

T6F64
B8\3
OFF

B.S.S.

PROVINCE DE QUÉBEC
MINISTÈRE DES TERRES ET FORÊTS
SERVICE FORESTIER

Bulletin No 3

(Nouvelle série)

L'INDUSTRIE
DE LA CARBONISATION DU BOIS
DANS LA PROVINCE
DE QUÉBEC

par

Jos. Risi, D. Sc.,

professeur de Chimie organique,
Faculté des Sciences,
UNIVERSITÉ LAVAL,
QUÉBEC,

et

directeur du Laboratoire des Produits forestiers,
MINISTÈRE DES TERRES ET FORÊTS,
DUCHESNAY, Co, Portneuf, P. Q.

QUÉBEC, CANADA

1942

Prix \$0.50

PROVINCE DE QUÉBEC
MINISTÈRE DES TERRES ET FORÊTS

Honorable Wilfrid HAMEL, ministre

Avila BÉDARD, i.f., m.f., sous-ministre

SERVICE FORESTIER

Chef du Service.....Fernand BOUTIN, i.f., s.g.
Conseiller technique.....J.-Edouard GUAY, i.f.
Inspecteur général (administration).....Roland DESCHAMPS, i.f.
Inspecteur général (exploitations).....Ernest MÉNARD, i.f.

SERVICE INTÉRIEUR

Bureau de l'Economie forestière.....J.-Edouard GUAY, i.f., directeur
Bureau de l'Exploitation et du Mesurage.....Lauréat GARNEAU, i.f., directeur
Bureau du Reboisement, Réserves
cantonales, Erabières et
Transport des Bois.....J.-A. ROY, i.f., directeur
Bureau de l'Enregistrement des
licences de coupe.....P.-R. PLAMONDON, directeur
Bureau des Permis (de coupe) spéciaux.....Paul LEMAY, i.f., directeur
Bureau des Statistiques et Produits
forestiers.....Rosaire VALIN, i.f., directeur
Bureau des Renseignements forestiers
(extension).....Roch DELISLE, i.f., directeur
Bureau de Pathologie forestière.....René POMERLEAU d. sc., directeur
Bureau des Bois (Montréal, P.Q.).....J.-A.-A. LEGENDRE, directeur

Etablissement de Duchesnay.....} Eric HUDON, i.f. { régisseur
Ecole des Gardes forestiers.....} directeur
Laboratoire des Produits forestiers.....Jos. RISI, d. sc., directeur

SERVICE EXTÉRIEUR

District de l'Abitibi (Amos, P.Q.).....Jos. P. MARTEL, i.f., chef
District du Témiscamingue
(Ville Marie, P.Q.).....Ber. GUÉRIN, i.f., chef
District de l'Ottawa (Hull, P.Q.).....J.-Oscar HÉLIE, i.f., chef
District de Montréal (Montréal, P.Q.).....Paul KIEFFER, i.f., chef
District du St-Maurice (La Tuque, P.Q.).....Thomas BARRY, i.f., chef
District de Québec (Québec, P.Q.).....J.-N. GUILMETTE, i.f., chef
District du Lac St-Jean (Chicoutimi, P.Q.).....Eudore RACINE, i.f., chef
District de la Rive Sud
(Rivière-du-Loup, P.Q.).....Lauréat LAVOIE, i.f., chef
District de la Gaspésie (Rimouski, P.Q.).....Gédéon ROY, i.f., chef
District de la Côte Nord
(Québec, P.Q.).....J.-A. BOISSONNAULT, i.f., chef

Pépinière forestière provinciale
(Berthierville, P.Q.).....Tanc. DESLAURIER, i.f., régisseur
Pépinière de la Gaspésie
(New Carlisle, P.Q.).....H.-G. RYLAND, i.f., régisseur

MUSEUM OF THE
UNITED STATES OF AMERICA
DEPARTMENT OF THE INTERIOR
BUREAU OF LAND MANAGEMENT

Section No. 1
Range 10N
Town 10N

DELA CAYE
DAN

Section No. 1
Range 10N
Town 10N

Section No. 1
Range 10N
Town 10N

Page 100



Bibliothèque Nationale du Québec

PROVINCE DE QUÉBEC
MINISTÈRE DES TERRES ET FORÊTS
SERVICE FORESTIER

Bulletin No 3

(Nouvelle série)

L'INDUSTRIE
DE LA CARBONISATION DU BOIS
DANS LA PROVINCE
DE QUÉBEC

par

Jos. Risi, D. Sc.,

professeur de Chimie organique,

Faculté des Sciences,

UNIVERSITÉ LAVAL,

QUÉBEC,

et

directeur du Laboratoire des Produits forestiers,

MINISTÈRE DES TERRES ET FORÊTS,

DUCHESNAY, Co, Portneuf, P. Q.

QUÉBEC, CANADA

1942

Prix \$0.50

MINISTRE DE L'AGRICULTURE
ET DES PÊCHERIES
DE QUÉBEC

PROVINCE DE QUÉBEC
LE 15 MARS 1964

INDUSTRIE
DE LA CARBONISATION DU BOIS
DANS LA PROVINCE
DE QUÉBEC

Le 15 Mars 1964
Monsieur le Ministre
de l'Agriculture
et des Pêcheries
de Québec

Je vous prie de bien vouloir
recevoir ci-joint le rapport
sur la situation de l'industrie
de la carbonisation du bois
dans la province de Québec.



QUÉBEC, CANADA
1964

THFG4

B8/3

OFF

" Accusez la pauvre routine pour ainsi "
" dire indécrottable; car, maintenant, "
" avec les appareils modernes, le premier "
" imbécile venu peut facilement faire un "
" excellent charbon de bois ".

La Ramée,
LE MONITEUR DES SCIERIES
ET DES TRAVAUX PUBLICS,
19 février , 1938.

"Secundo in quibus rationibus ponitur
hinc inde, et, ubi
etiam in quibusdam modis, in quibus
inducitur una pars rationis, talis est
etiam illa, quod in hoc."

Ex his
in quibusdam
in quibusdam
in quibusdam

VII

TABLE DES MATIÈRES .

	Page
Avant-propos	IX
Introduction (historique-statistique)	XIII
<u>Chapitre I</u> : Le bois, matière première de la carbonisation	1
Classification des bois	1
Structure anatomique du bois	5
Composition chimique du bois	6
Valeur calorifique du bois	10
La dureté du bois	15
L'humidité du bois	17
La densité du bois	20
<u>Chapitre II</u> : Théorie de la carbonisation	26
Influence de la rapidité de la carbonisation	28
Influence de la composition du bois	30
Influence de la température	30
Influence de l'humidité du bois	35
Bilan thermochimique de la carbonisation	37
<u>Chapitre III</u> : Les charbons de bois du Québec	41
1. Méthodes analytiques	42
2. Les résultats	46
3. Discussion des résultats	46
Fours	46
Bois carbonisés	46
Conditions de carbonisation	47
Produits de carbonisation	48
Propriétés physiques du charbon de bois	49
a) Poids au litre de la poudre de charbon	49
b) Densité apparente	52
c) Densité réelle	54
d) Porosité	56
e) Résistance à l'écrasement	57
f) Chaleur de combustion	60
Propriétés chimiques du charbon de bois	62
a) Analyse ultime	62
b) Analyse approximative	66
4. Influence des conditions de carbonisation	70
5. Autres propriétés du charbon de bois	72
<u>Chapitre IV</u> : Equipement et méthodes de carbonisation	76
1. Les meules	76
2. Fours en maçonnerie	80
a) Fours en briques	80
Devis	85
Description et coût des matériaux de construction	88
Nouvelle forme de four	90
Méthode de carbonisation	92
A. Enfournement	92
B. Allumage	93

VIII

	<u>Page</u>
C. Préchauffage du bois	94
D. Développement de la zone /de carbonisation	94
E. Blanchiment	95
F. Refroidissement	96
G. Défournement	96
Bilan économique	96
Equipement auxiliaire	97
b) Fours en ciment	102
c) Fours en pierres	103
3. Fours métalliques	103
Four horizontal rectangulaire	110
Four métallique primitif	116
<u>Chapitre V</u> : Briquettes de charbon. Charbon de bois /activé	119
A. Briquettes de charbon de bois	119
B. Charbon de bois activé	121
<u>Chapitre VI</u> : Usages du charbon de bois	122
1. Le charbon de bois comme combustible	123
2. Le charbon de bois activé	129
3. Le charbon de bois dans l'industrie	129
4. Le charbon de bois en hygiène	131
5. Le charbon de bois comme isolant	133
6. Le charbon de bois comme aliment	133
Marché du charbon de bois	133
<u>Chapitre VII</u> : Recommandations	135
Bibliographie :	138

+++++

AVANT-PROPOS

L'industrie séculaire de la carbonisation du bois, petite industrie très caractéristique du vieux Québec, est en voie de renaître grâce à une impulsion apportée par l'effort de guerre. En effet, cette industrie, autrefois très prospère, était tombée en décadence à cause de la substitution de la houille, puis de l'électricité, au charbon de bois, dans la fabrication du fer doux et de l'acier suédois, qui consommait, autrefois, d'énormes quantités de charbon de bois; en effet, un seul haut fourneau en demandait de 10,000 à 12,000 minots par jour. Mais il y a une autre cause, non la moindre, qui explique la décadence périodique de cette industrie ancestrale: elle a manqué du support théorique et pratique de la science, totalement chez nous, partiellement ailleurs. Voilà pourquoi elle a dégénéré à bien des endroits en activité routinière guidée par une tradition plus ou moins fondée et un empirisme presque impardonnable.

Dans plusieurs autres pays, l'industrie du charbon de bois a dû soutenir une dure lutte contre la concurrence de substituts à meilleur marché ou de qualités améliorées. Ainsi, dans la fabrication de la poudre à canon, découverte au moyen âge par Berthold Schwarz, le charbon de bois perdit de son importance -malgré les guerres atroces- à cause de la découverte et du perfectionnement d'autres substances explosives. Mais la concurrence la plus sérieuse surgit plutôt récemment, particulièrement aux Etats-Unis, par l'introduction de plusieurs grandes industries de distillation, produisant de l'alcool méthylique, de l'acétone, de l'acide acétique, du goudron de bois et des dérivés du goudron, comme principaux produits, tandis que d'énormes quantités de charbon de bois, obtenues plutôt comme sous-produits et vendues à bas prix, inondèrent le marché. Vu que la récupération, le fractionnement et la purification des produits volatils mentionnés est une opération réservée à la grande industrie, exigeant une forte mise de capital, nos charbonniers ne pouvaient songer à remplacer leurs modestes fours par des appareils à récupération plus compliqués.

D'autre part, il est hors de doute que le charbon de bois -unique produit de nos charbonnières rurales- est incontestablement supérieur dans sa qualité au charbon produit par les grandes distilleries. Le premier est plus lourd et plus riche en matières carburantes que le dernier. La vente du charbon pour usage domestique se faisant généralement au volume, nos producteurs étaient doublement perdants, et c'est seulement après des campagnes ardues, que certaines administrations locales ont ordonné la vente du charbon de bois au poids. Mais, malgré cela, notre industrie continuait à péricliter jusqu'à l'ouverture du présent conflit mondial, car elle avait perdu ses débouchés classiques en temps de paix en faveur de quelques substituts.

Néanmoins, dans certains pays, particulièrement en Scandinavie, les gouvernements, alarmés par cet état de chose, ont confié aux organisations scientifiques la tâche de perfectionner et d'unifier les méthodes de production, et de trouver de nouveaux usages au charbon de bois. On y a bien réussi, au point que le charbon de bois est devenu, en Suède, en Norvège, en France, en Suisse, en Australie, et dans quelques autres pays, le carburant forestier national, remplaçant le pétrole dans les moteurs à combustion interne. Dans ces pays, la production de charbon de bois est devenue le plus important com-

plément de l'exploitation forestière. Il existe même en Suède des écoles spéciales pour les charbonniers, alors que partout ailleurs le maître-charbonnier classique est chose du passé. Cette renaissance du charbon de bois est avant tout due aux recherches scientifiques entreprises, pour la plupart, au cours de la première guerre mondiale et, depuis, menées à bonne fin grâce aux louables initiatives des gouvernements et au travail d'une pléiade d'hommes de sciences spécialisés.

Chez nous, le gouvernement provincial n'a pas voulu rester en arrière. Il sait qu'une petite industrie rurale, saine, florissante, moderne, bien organisée et dirigée, est un important facteur dans notre cadre national, principalement au point de vue économique et social. Il sait également, que la carbonisation des déchets forestiers, considérés comme sans valeur, est une action de haute portée économique, imposée avant tout par les principes élémentaires d'une saine sylviculture, puisque le nettoyage systématique du plancher forestier fait disparaître d'un seul coup un grand nombre de causes d'incendie et d'infections causées par les insectes et les pourritures. Il sait encore que, pour équilibrer son budget, le cultivateur ou le colon doit produire et vendre beaucoup de choses à l'industrie en retour des nombreux articles manufacturés dont il a aujourd'hui besoin. D'autre part, le charbon de bois peut et doit, dans une province ultra-forestière comme la nôtre, devenir le combustible national en remplacement, partiel du moins, du charbon minéral et des produits du pétrole dont l'importation annuelle, seulement dans le Québec, atteint la valeur fabuleuse de \$100,000,000.00 environ: Quelle richesse si cet argent restait chez nous et travaillait en notre faveur! Enfin, le cultivateur, le colon, le pêcheur, le peuple rural en général, lui-même producteur de son propre combustible, pourrait par le fait même imposer à son industrie de carbonisation, un caractère stable, c'est-à-dire transformer la prospérité passagère du temps de guerre en prospérité permanente, grâce à l'introduction générale du gazogène dans le chauffage domestique, dans la traction agricole, maritime et forestière, dans l'électrification rurale et la génération de force motrice.

Voilà sans doute les principales raisons qui ont inspiré l'Honorable M. P.-E. Côté, ministre des Terres et Forêts de la province de Québec, et son dévoué sous-ministre M. Avila Bédard, directeur de l'Ecole d'Arpentage et de Génie forestier, lorsqu'ils ont bien voulu ordonner l'exécution d'un programme de recherches et d'enquêtes sur notre industrie de carbonisation. Le présent rapport en est le résultat. Son but immédiat est de rendre plus uniforme la qualité et la méthode de notre production domestique et d'indiquer à nos charbonniers les améliorations à apporter dans la construction des fours et à la méthode classique de carbonisation, afin d'obtenir des charbons dont la composition et les autres propriétés correspondent aux spécifications exigées par les diverses industries. Son but ultime est de diffuser davantage parmi la population rurale l'un des moyens d'exploitation rationnelle des sous-produits forestiers, de leur en faciliter la mise en valeur systématique, et surtout de faire mieux connaître et apprécier l'une de nos plus grandes richesses nationales: la forêt, dont l'exploitation scientifique peut énormément contribuer au relèvement économique de notre pays. C'est notre vœu le plus ardent!

Ce travail a été rendu possible grâce à l'initiative clairvoyante et à la généreuse collaboration de feu M. Henri Roy, I.F., chef du Service forestier et fondateur du Laboratoi-

re des Produits forestiers à Duchesnay, et de son successeur en office, M. Fernand Boutin, I.F. Qu'il me soit permis d'offrir ici, au premier, l'hommage posthume de notre admiration et de notre impérissable souvenir, au second, l'expression de notre vive gratitude pour l'intérêt constant et l'encouragement indéfectible qu'il n'a cessé de nous témoigner au cours de notre travail. Nos bien sincères remerciements s'adressent également à M. Eric Hudon, I.F., directeur de l'Ecole des Gardes forestiers à Duchesnay, ainsi qu'à tout son personnel, pour l'aide matérielle toujours spontanée et généreuse qu'ils ont bien voulu nous accorder à chaque occasion. Nous désirons aussi exprimer notre grande reconnaissance à M. L.-Z. Rousseau, I.F., professeur à l'Ecole d'Arpentage et de Génie forestier et à M. Ls-de G. Dubois, I.F., pour leur collaboration amicale et leurs nombreuses suggestions pratiques.

Les déterminations physiques et chimiques qui font partie du présent rapport ont été exécutées par M. Georges Filteau, B.Sc. Appl. (1); la compilation longue et pénible des nombreux résultats analytiques est l'oeuvre de M. Ls-Edouard Beaudry, B.A., tandis que la préparation des échantillons et la conduite des carbonisations expérimentales ont été confiées à M. Maurice Picard, G.F. Enfin, le prélèvement des échantillons et les nombreuses enquêtes d'ordre statistique auprès de nos charbonniers à travers la province, ont été dirigés par M. J.-A. Boisseau. A tous ces vaillants et dévoués collaborateurs, ainsi qu'à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin dans la préparation de ce travail, un très cordial merci!

Cet ouvrage n'est ni parfait, ni complet. Aussi faisons-nous appel à l'indulgence du lecteur et nous prions tous ceux qui s'intéressent à notre industrie de carbonisation, à partir de l'ingénieur forestier jusqu'au plus humble charbonnier, de bien vouloir nous signaler les erreurs et les lacunes. La puissance d'une collaboration amicale brise toutes les entraves!

Duchesnay, 1e I septembre 1942

J.R.

(1) Le travail de M. Filteau a été rendu possible grâce à l'aide financière du Ministère des Terres et Forêts et de l'Office provincial de Recherches scientifiques.

[The text on this page is extremely faint and illegible. It appears to be a multi-paragraph document, possibly a letter or a report, written in a cursive or semi-cursive hand. The ink is very light, and the paper shows signs of age and wear.]

te
an
sa
gu
sel
par
ph
sa

du
lan
ac
aie
tan
bon
do
sil
ves
lou
"j"
du
pi
qui
mit

sa
men
dur
tur
tur
sta
dus
ces
lan
lan
che
de
la

ti
nan
dan
le
mit
enc
Rus
Fra
rèp
nue
ind

INTRODUCTION

Historique—Statistiques

L'origine de la fabrication du charbon de bois remonte à la plus haute antiquité. Les historiens affirment que les anciens peuples savaient carboniser le bois et qu'ils connaissaient même la récupération de certains produits volatils. Le goudron de bois et l'acide pyroligneux ainsi obtenus étaient, selon Pline (*Historia Naturalis*, Lib. II, de pice), employés par les Egyptiens dans l'embaumement de leurs morts. Théophraste nous rapporte également que les Macédoniens carbonisaient le bois dans des fosses dans le but d'obtenir du goudron.

Il est à peu près certain que dans d'autres parties du monde primitif on brûlait du bois pour en obtenir du charbon, longtemps avant l'apparition de la civilisation et de l'histoire écrite, car, de tout temps, la carbonisation du bois a toujours été intimement liée à l'industrie minière et à l'usage des métaux. Certains historiens font remonter la découverte du charbon de bois jusqu'à l'Age de pierre, à l'époque où les hommes du paléolithique firent jaillir l'étincelle en taillant le silex pour en fabriquer des haches et d'autres armes défensives. L'homme primitif, devenu maître du feu, entretenait jalousement un feu de matières végétales de crainte de perdre "l'âme" de la flamme. Guidés par la même idée, les indigènes du Siam et de Java carbonisent, encore aujourd'hui, de grosses pièces de bois, pour obtenir ainsi des blocs de charbon dur qui servent de "coke" dans leurs procédés métallurgiques primitifs.

Au début de cette industrie, la carbonisation se faisait dans des fosses; les bûches entassées et recouvertes de menus bois qu'on enflammait, servaient à fabriquer un charbon dur, apte à liquéfier les minerais de fer. Ce charbon constituait le premier coke métallurgique. Plus tard, les fosses furent remplacées par des meules, mais là encore, le seul but était d'obtenir du charbon de bois exclusivement. Cette industrie ne prit son véritable essor qu'après l'invention de ces tiges plates en fer coulé et affiné telles que les Catalans les fabriquaient au moyen âge et qu'on transformait en lames, épées, couteaux, serpes, capables de débiter les branches en morceaux d'égale longueur et dont les tas recouverts de feuilles et de terre cuisaient lentement à la chaleur du feu allumé à leur base.

Voilà le modeste début des premières meules forestières. Le charbonnier qui les a inventées, non moins modeste et sans instruction, est parvenu, depuis des siècles, aussi bien dans l'antique Egypte qu'en Chine et en Europe, à transformer le bois en charbon dans un appareil aussi ingénieux que primitif. Cette méthode, vieille de deux mille ans ou plus, est encore très en vogue dans les régions fortement boisées de la Russie, de la Suède, de la Finlande, de l'Autriche et de la France. On la retrouve même aux Etats-Unis, dans certaines régions de l'Est, de l'Ouest et du Sud, où elle s'est maintenue, malgré la tendance moderne de centralisation en grande industrie. Le four en briques, tel qu'employé aujourd'hui au

Canada et dans quelques parties des Etats-Unis, n'est d'ailleurs qu'une forme améliorée de la meule classique; il vise tout simplement à plus de commodité, de permanence et de rendement que la vieille meule.

Jusqu'à vers l'an 1800, on ne carbonisait le bois que pour le charbon, source de chaleur et de lumière, et la récupération d'autres produits chimiques n'avait aucune importance. Quand, en 1789, Philippe Lebon découvrit sa "thermo-lampe", en montrant le parti que l'on pouvait tirer pour l'éclairage, des gaz produits par la carbonisation des bois, il était loin de penser que cette expérience si simple serait le point de départ d'une série de recherches scientifiques qui devaient aboutir à la création d'une grande et puissante industrie. La distillation destructive du bois en vase clos, avec récupération des sous-produits est, en effet, devenue une grande industrie typiquement française d'abord, puis américaine. Elle fournit plusieurs matières premières de haute importance à l'industrie chimique moderne. Mentionnons en particulier l'acide acétique, plusieurs acétates, esters et autres dérivés; l'acétone employée particulièrement dans la fabrication des vernis, des explosifs et de nombreux produits chimiques; l'alcool méthylique utilisé comme dissolvant, comme dénaturant, dans la fabrication de nombreuses teintures et d'une foule d'autres produits chimiques; le goudron de bois, employé par la marine, ainsi que par l'industrie chimique pour l'obtention d'un grand nombre de produits pharmaceutiques et autres. Vu que, d'une part, l'importance de la préparation de ces produits par distillation destructive du bois a considérablement diminué à la suite de la découverte de méthodes synthétiques d'un coût moins élevé, et que, d'autre part, il n'y a dans la province de Québec qu'une seule usine de ce genre, nous n'insisterons pas davantage sur l'historique de chacun de ces produits dérivés de la carbonisation du bois. Notons cependant que l'on distille dans le monde entier, à l'heure actuelle, plus de 3 millions de tonnes de bois par an, avec récupération des sous-produits.

Le développement de la carbonisation du bois dans le Québec

Comme en France du XVI^e et XVII^e siècles, il y avait au Canada, dès les premières années du régime français, des charbonniers qui carbonisaient du bois dans des meules forestières. Cette industrie n'y a jamais pris des proportions aussi fabuleuses qu'aux Etats Unis et ailleurs, elle s'est toujours limitée à la production du charbon pour usage domestique. Néanmoins, elle a connu de grandes ères de prospérité, particulièrement au cours de la période d'opération des hauts fourneaux servant à l'affinage du fer des marais que l'on trouvait à Radnor, au Lac à la Tortue et sur la Rive Sud. Malheureusement, avec l'introduction des procédés électrométallurgiques, l'emploi du charbon de bois en sidérurgie a graduellement disparu entre 1900 et 1910.

Selon une enquête récente, la fabrication du charbon de bois dans des fours en briques remonterait à 1875. Un jeune homme de Ste-Catherine de Portneuf, Elzéar Bertrand, ayant quitté son pays à l'âge de 18 ans, observa dans la région du Lac Supérieur qu'on y produisait du charbon de bois dans des fours en briques. Rentré au pays natal, il communiqua son observation à un nommé Soucy, charretier à Québec. Ce dernier se mit en société avec un certain Côté, plombier de Québec également; ils firent acquisition d'une terre à bois, apparte-

nant au dit Bertrand, dans la paroisse de Ste-Catherine; ce dernier y construisit le premier four en briques (vers 1875) et prit charge de son opération. Au cours des années suivantes, un grand nombre de fours en briques furent construits à Ste-Catherine, à St-Augustin, à St-Raymond, jetant ainsi la base de cette industrie si typique du comté de Portneuf. Partout, dans les forêts de la province, on abandonna alors petit à petit le procédé des meules, pour adopter presque exclusivement celui des fours en briques. Même actuellement, nous ne comptons pratiquement que des fours en briques dans la province; seuls quelques rares fours en ciment, en pierre, ou en métal font exception à la règle générale.

Malgré la disparition des hauts-fourneaux au Canada français et l'emploi très limité du charbon de bois pour la métallurgie du fer et de l'acier, de nouveaux emplois et de nouveaux marchés ont été graduellement développés, de sorte que l'industrie continua à exister presque malgré elle, avec des périodes de prospérité et de crise intermittentes. Au cours de la première guerre mondiale, la demande de charbon de bois fut très forte; on a vu alors surgir, de 1914 à 1923, près de 140 fours en briques, construits par des particuliers, dans diverses régions à bois francs, principalement dans les comtés de Portneuf, Dorchester, Lotbinière, Labelle, etc... La guerre terminée, un si grand nombre de fours eurent tôt fait de saturer le marché, et le prix du charbon fléchit de \$25.00 à \$20.00 la tonne. Malgré cela, la carbonisation devenait une industrie de plus en plus populaire et la construction de nouveaux fours continua. Mais la surproduction eut pour effet de faire baisser les prix davantage. De \$18.00 la tonne qu'il était de 1927 à 1930, le prix tomba à \$15.00 en 1931, puis à \$11.00 en 1932, alors qu'on comptait plus de 200 fours dans la province. Cependant, la surproduction domestique n'était pas l'unique raison de cette lamentable situation. Une concurrence effrénée des grandes distilleries américaines qui inondaient le marché du continent avec du charbon de cornue bon marché, déversait, même dans la province de Québec, des quantités extraordinaires de leur sous-produit. C'est ainsi que le Canada importa en 1931 pour une valeur de \$151,204.00 de ce résidu de fabrication américaine. La situation de nos charbonniers devenait alarmante; le gouvernement, à la suite des démarches du Ministère des Terres et Forêts de Québec, imposa un droit d'importation de \$7.50 la tonne. Les importations tombèrent alors à \$45,528.00 en 1933, puis à \$19,237.00 en 1935. Néanmoins, notre industrie continua à végéter, en raison d'un marché intérieur plutôt limité et de l'impossibilité d'exportation à des prix avantageux. En effet, les producteurs scandinaves, finlandais, allemands et français saturaient le marché de l'Empire en livrant le charbon à \$10.00 et \$12.00 f.à.b. Liverpool. Avec l'ouverture des hostilités en 1939, et la fermeture des sources d'approvisionnement sur le continent européen, la situation s'améliora rapidement pour le charbon canadien. En raison des besoins des industries de guerre, la consommation de l'Angleterre monta de 50,000 tonnes par année à 100,000 tonnes, et la demande des industries canadiennes augmenta dans les mêmes proportions, de sorte que la demande actuelle est très forte. Quant au prix, il se maintient, malgré la construction d'un grand nombre de nouveaux fours - nous en comptons actuellement 370 environ, dans la province- aux alentours de \$20.00 à \$26.00 la tonne selon la qualité.

Le tableau No 1 indique le nombre de fours en usage dans la province de Québec, au mois d'août 1942, ainsi que leur distribution par comtés et par localités ou gares d'expédition. Il donne aussi des indications plus précises sur les réserves

de bois disponibles, sur la production actuelle de charbon de bois (saison 1941-1942), et sur la possibilité de production maximum des fours établis, sur une base strictement sylvicole et selon une rotation de travail qui ne nuira pas à l'agriculture, principale occupation d'un grand nombre de charbonniers dans plusieurs régions.

L'annuaire du Canada (édition 1941) rapporte pour l'année 1938 seulement 195 établissements de carbonisation, avec une mise de capital de \$101,341.00. Ces établissements occupaient 238 hommes et payaient \$21,968.00 en salaires et \$15,050.00 en gages. La valeur nette et brute de la production était (en 1938) de \$44,640.00 et \$101,342.00 respectivement. L'année 1938 doit donc être considérée comme une année de faible production, pour ne pas dire une année de crise, car selon les données du tableau No 1, la valeur brute de la production totale, en 1942, peut être estimée à \$500,000.00 environ, c'est-à-dire, elle a quintuplé. Le nombre des employés et le montant des salaires et gages payés par cette industrie ont probablement augmenté dans les mêmes proportions. Aucun chiffre statistique précis n'est cependant accessible à ce sujet.

En prévision d'une autre crise après la guerre -gouverner, c'est prévoir- le Ministère provincial des Terres et Forêts s'efforce maintenant de développer d'autres usages du charbon de bois, qui remplaceront, en temps de paix, la consommation accrue des industries de guerre. Il désire en faire le carburant forestier national, en remplacement partiel du charbon minéral et des produits du pétrole, partout où la chose est économiquement possible. Nos ressources forestières sont, en effet, presque illimitées: la province de Québec possède une réserve prodigieuse de 66,000,000,000 pieds cubes de bois en futaie, conifères et feuillus, dans ses régions accessibles, et autant, sinon plus, dans les parties actuellement inaccessibles. En tenant compte de la surface de forêt productive de la province -environ 325,000 milles carrés (1)- nous avons une réserve de 60 acres de terre boisée per capita, réserve qui nous place parmi les premiers pays forestiers du monde, à côté de la Suède, de la Finlande et de la Russie (y compris la Sibérie).

L'accroissement naturel moyen dans nos forêts est, selon les experts, de 20 pieds cubes environ par acre et par année, ce qui correspond approximativement à 9,000,000,000 de grandes calories que nos forêts produisent gratuitement, chaque année, pour chaque habitant de notre province. Or, nous importons actuellement, dans le Québec seulement, 3,000,000 de tonnes de charbon minéral, 170,000,000 de gallons d'huile et 160,000,000 de gallons de gasoline par année, ce qui fait $21,000 \times 10^9$ kg cal. pour le charbon, $7,650 \times 10^9$ kg cal. pour l'huile, et $6,950 \times 10^9$ kg cal. pour l'essence à moteur, en d'autres mots, une importation totale de $35,600 \times 10^9$ kg cal., ou, en chiffre rond, 10,000,000 kg cal. par tête de population. Cette importation est balancée en exportant annuellement \$30.00 per capita.

Ainsi, sans priver les industries d'exploitation forestière actuelles d'aucune façon, au contraire, en augmentant la valeur des peuplements par une meilleur utilisation des déchets et sous-produits forestiers, nous pourrions donc élever le bois et le charbon de bois au rang de carburant et combustible national. Une telle orientation deviendrait sans doute l'un des plus puissants facteurs dans notre effort de relèvement économique.

(1) Boutin, F.- La Forêt Québécoise, Vol.4, No 7, p.345, 1942.

Tableau No 1.- Répartition et capacité de production des fours à charbon de bois dans la province de Québec, par localités (gares) et par comtés.

Comté et localité ou gare de chemin de fer.	Nombre de fours	Capacité totale, cordes de 128 p.c.	Capacité moyenne, cordes de 128 p.c.	PRODUCTION ACTUELLE		PRODUCTION MAXIMUM POSSIBLE sur une base sylvicole, avec les fours actuels.		Essences disponibles, % M - merisier E - érable P - plaine B - bouleau H - hêtre O - orme F - frêne T - tremble R - résineux A - autres essences	Réserves de bois dans le rayon d'action des fours, au taux de la production actuelle.					REMARQUES		
				Mois par année, travail irrégulier	Charbon de bois, tonnes	Mois par année, travail régulier.	Charbon de bois, tonnes.		très grosses, 15 ans et plus	grosses, 10 à 15 ans	moyennes, 5 à 10 ans	petites, 5 ans et moins	non spécifiées			
Co. PORTNEUF.																
St-Raymond	116	1090	9.4	9	3000	6	12,000	M55, E10, P10, H20, B5	23	40	20		40			
Ste-Christine	3	18	6.0													
St-Basile	4	51	12.7													
Allen's Mill	49	516	10.5	8	1500	6	5,200	M60, E15, P5, H15, B5	2	13	25	9				
Lac Sergent	23	159	7.0													
Lac St-Joseph	38	380	10.0													
Champigny	3	40	13.0	6	100	4	600	M15, E5, P5, H5, B5, R10, A55	3	2	2	4	1			
St-Augustin	9	64	7.0													
St-Gérard	5	25	5.0													
Ste-Catherine	31	164	5.3	6	650	5	2,600	M35, E10, P15, H30, B10	6	8	7	18	20			
Pont-Rouge	23	147	6.4													
TOTAL	304	2654	8.7		12400		25,800									
Co. LOTBINIERE.																
Ste. Thérèse	2	25	12.5	7	130	12	1000	M50, E10, P10, H5, O10, B15	5		2			80% des fours en mauvais ordre		
Vien	5	50	10.0													
Villeroy	3	48	16.0													
Val Alain	4	72	18.0	8	280	5	580	M45, E10, P25, H5, O5, B10	1	1	2	3				
Rivière Henri	2	75	37.5													
Joly	3	58	19.3													
			(pas en opération)													
TOTAL	19	328	17.3		700		3,200									
Co. DORCHESTER.																
Ste- Germaine	3	25	8.3	9	100	6	2,200	M50, E5, P5, H5, B35	3	14	4	3	2			
St-Luc	16	138	8.6													
St-Louis	3	27	9.0													
St-Cyprien	4	48	12.0													
TOTAL	26	238	9.1		100		2,200									
Co. LABELLE.																
Fassette	(Usine à distillation destructive)				10	10	8,000	M30, E20, P20, H10, B20		3						
L'Annonciation	3	195	65.0													
Macaza	2	130	65.0													
TOTAL	5	325	65.0		8,810		9,750									
Co. WOLFE.																
St-Gérard	1	75	75.0	6	90	10	450	M10, E5, P20, B40, T10, A15		1						
Weedon	6	540	90.0													
TOTAL	7	615	87.8		1790		3,650									
Co. MONTMAGNY.																
St-Fabien	4	32	8.0	2	16	10	200	M35, E30, P10, H10, B15	4							
Ste-Lucie	2	16	8.0													
			(pas en opération)													
TOTAL	6	48	8.0		---		300									
Co. TEMISCOUATA.																
Bélanger Siding	3	270	90.0	12	1200	12	1,400	M35, E25, P10, H10, O10, B10	3							
TOTAL	3	270	90.0		1200		1,400									
GRAND TOTAL, P.Q.	370	4478	12.1		25,000		46,300									

CHAPITRE I

Le bois, matière première de la carbonisation

Il convient d'abord d'exposer quelques considérations générales sur les propriétés physiques et chimiques des bois, en autant qu'elles jouent un rôle important au cours de la carbonisation.

Toutes les parties de nos arbres et arbustes, troncs, racines et branches, peuvent servir de matière première à la carbonisation, y compris, dans un sens plus large, les organes lignifiés de certaines plantes et sous-produits agricoles, tels que les noyaux de certains fruits, des noix, certaines tiges, etc. Evidemment, nous ne considérerons ici que les matières cellulosiques lignifiées d'origine forestière, communément appelées "bois".

Dans l'exécution d'un programme sylvicole bien ordonné, la carbonisation doit accompagner l'exploitation forestière ordinaire, en d'autres termes, après l'extraction du bon bois de pulpe, de sciage et de chauffage, on doit carboniser tous les déchets cellulosiques restant : billots ronds et fendus, branches de tout diamètre, parties de souches, bois endommagés par les insectes et les pourritures, bref tout ce qui ne peut être utilisé autrement avec plus de profit. Ajoutons à celà le grand nombre de scieries, de fabriques de meubles et d'autres établissements de transformation mécanique des bois qui pourraient carboniser avantageusement les déchets de leur industrie.

Toutes les espèces de bois peuvent être carbonisées, mais elles ne fournissent pas toutes un charbon d'égale qualité. Voilà pourquoi il est important de connaître certaines propriétés des bois, lorsqu'on veut obtenir des charbons dont les propriétés doivent répondre à des spécifications plus précises.

Classification des bois

Nos bois peuvent être classés à divers points de vue. Il y a d'abord la classification botanique qui n'est pas sans intérêt, même pour le propriétaire d'une charbonnière. Nous donnons donc ici une liste des plus importants bois de la province de Québec, classés par familles botaniques.

NOMS BOTANQUES

NOMS FRANCAIS

Taxacées

Taxus canadensis Marsh

If du Canada
Buis de Sapin
Buis
Sapin traînard

Cupressacées

Thuja occidentalis L.

Thuya (occidental)
Cèdre
Balai

NOMS BOTANIQUES

NOMS FRANÇAIS

Abiétacées

Pinus strobus L.

Pin blanc
Pin jaune
Pin potiron
Pin Weymouth
Pin Baliveau
Pin du Nord

Pinus resinosa Ait.

Pin rouge
Pin résineux
Pin de Norvège

Pinus Banksiana Lamb.

Pin gris
Pin de Banks
Pin chétif
Pin des Rochers
Cyprès

Larix laricina (Du Roi) Koch.

Mélèze d'Amérique
Epinette rouge
Tamarac

Picea glauca (Moench) Voss.

Epinette blanche
Epinette grise
Sapin blanc /France)
Sapinette blanche (en
Epinette à bière

Picea mariana (Mill.) BSP

Epinette noire
Epinette jaune
Epinette bâtarde
Sapinette noire (en
Sapin noir /France)
Epinette rouge

Picea rubra (du Roi) Dietr.

Tsuga canadensis (L.) Carr.

Pruche
Sapin du Canada
Pérusse (de France)
Tsuga du Canada

Abies balsamea (L.) Mill.

Sapin baumier
Sapin blanc
Sapin rouge

Bétulacées

Betula populifolia Marsh

Bouleau gris
Bouleau rouge
Bouleau à feuilles de
/peuplier.

Betula papyrifera Marsh.

Bouleau blanc
Bouleau à papier
Bouleau à canot

Betula lutea Michx.f.

Merisier
Bouleau jaune ou blanc
Merisier jaune
Merisier ondé
Merisier rouge

Betula lenta L.

Bouleau flexible
Merisier rouge

NOMS BOTANIQUES

NOMS FRANCAIS

Étoulacées

Alnus incana (L.) Willd.

Aulne blanchâtre
Vergne
Verne

Ostrya Virginiana (Mill.) Willd.

Ostryer de Virginie
Bois dur
Bois de fer

agacées

Quercus borealis Michx. f.

Chêne rouge
Chêne boréal

Quercus bicolor Willd.

Chêne bicolore
Chêne bleu

Quercus alba L.

Chêne blanc

Quercus macrocarpa Michx.

Chêne à gros glands
Chêne blanc frisé

Fagus grandifolia Ehrh.

Hêtre
Hêtre rouge
Hêtre à grandes feuilles

Juglandacées

Juglans cinerea L.

Noyer tendre
Noyer gris
Arbre à noix longues
Noyer cendré

Salicacées

Populus tacamahacca Mill.

Peuplier
Tacamahac (indien)
Liard

Populus balsamifera L.

Peuplier baumier
Peuplier du Canada (Europe)
Liard

Populus grandidentata Michx.

Grand tremble
Peuplier à grandes dents

Populus tremuloides Michx.

Tremble
Peuplier faux-tremble
Peuplier d'Athènes

Ulmacées

Ulmus americana L.

Orme blanc
Orme d'Amérique

Ulmus racemosa Thomas

Orme à grappes

Ulmus fulva Michx.

Orme roux
Orme rouge
Orme gras

Sorbaracées

Sorbus Americana Marsh.

Cormier
Sorbier d'Amérique
Masquabina (indien)

NOMS BOTANIQUES

NOMS FRANÇAIS

Rosacées

Prunus serotina Ehrh.

Cerisier tardif
Cerisier d'automne

Prunus virginiana L.

Cerisier à grappes

Prunus pennsylvanica L.f.

Petit merisier
Arbre à petites merises

Tiliacées

Tilia glabra Vent.

Bois blanc
Tilleul d'Amérique

Acéracées

Acer negundo L.

Erable à Giguère

Acer pennsylvanicum L.

Bois barré
Bois d'orignal

Acer spicatum Lam.

Plaine bâtarde

Acer saccharinum L.

Erable blanc
Plaine blanche
Erable à fruits cotonneux

Acer rubrum L.

Erable rouge
Plaine rouge
Erable tendre

Acer saccharum Marsh.

Erable dur
Erable à sucre
Erable piqué
Erable moiré
Erable ondé

Oléacées

Fraxinus Americana L.

Frêne blanc
Frêne d'Amérique
Franc frêne

Fraxinus pennsylvanica Lam.

Frêne rouge
Frêne pubescent
Frêne de savanne

Fraxinus nigra Marsh.

Frêne noir
Frêne à feuilles de sureau

N.B.- Le premier nom mentionné pour chaque variété d'arbres est le nom que l'on doit employer. Les autres noms qui suivent sont parfois employés pour désigner la même espèce, mais ces appellations sont erronées.

Au point de vue des produits fournis par la carbonisation, les bois peuvent être classés en deux groupes bien distincts:

- a) Les bois à feuilles larges, généralement appelés les feuillus, qui donnent, outre le charbon de bois, principalement de l'alcool méthylique, de l'acide acétique, des goudrons caractéristiques et certaines substances extractives.

- b) Les bois à feuilles aciculaires, ou résineux, fournissant moins d'alcool méthylique et d'acide acétique, mais plus de goudron, et surtout quelques produits spécifiques, tels que l'huile de pin, l'huile de cèdre, l'essence de térébenthine, les résines, etc.

Au point de vue de leurs emplois, les bois peuvent être classés en quatre catégories:

- a) Les bois à pulpe, employés dans l'industrie du papier.
- b) Les bois d'oeuvre (bois de sciage), utilisés pour la charpente, la menuiserie, l'ébénisterie, la tonnellerie, etc.
- c) Les bois de feu ou de chauffage qui servent de combustible domestique et industriel.
- d) Les bois à transformation chimique; dans cette catégorie, nous plaçons certains bois et sous-produits forestiers particulièrement aptes à des transformations chimiques, telles que la carbonisation, la saccharification, l'extraction, etc.

Enfin, on peut encore classer les bois selon leur dureté, leur poids spécifique, etc. Nous y reviendrons.

Les principales propriétés des bois ayant une influence directe sur les propriétés des charbons sont: la structure anatomique du tissu cellulaire, la composition chimique de ce tissu et du suc cellulaire, la dureté, la densité et l'état de siccité.

Structure anatomique du bois

Ce n'est pas notre intention de donner ici un exposé technique, même sommaire, de l'anatomie du bois. Cependant, quelques notions tout à fait élémentaires pourront nous aider à mieux comprendre certains phénomènes que l'on observe au cours de la carbonisation.

En examinant une section transversale d'un tronc d'arbre, on observe diverses régions nettement distinctes:

Au centre, il y a le coeur, tissu cellulaire de couleur foncée, souvent, surtout chez les arbres âgés, plus ou moins désagrégé et rempli de cavités. C'est la partie morte de l'arbre.

Autour du coeur se trouve la masse principale du "bois", apposée en couches concentriques et traversée radialement par des fentes appelées les rayons médullaires. La dernière couche de "bois" est entourée d'un tissu de croissance, le cambium, dont l'activité spécifique donne chaque année naissance à une double couche de nouveau bois, composé de vaisseaux, de trachéides, de parenchyme et de rayons médullaires. L'activité du cambium est rigoureusement saisonnière. Au printemps, quand la sève est abondante, les vaisseaux et les autres éléments du bois sont plus grands, plus larges, à parois plus minces, que ceux formés au cours de l'automne. Voilà pourquoi la section transversale d'un tronc ou d'une branche d'arbre se compose d'anneaux annuels, chaque anneau étant composé d'une large couche de bois de printemps, de couleur plus claire, et d'une couche plus foncée et plus étroite de bois d'automne. La largeur des anneaux annuels

dépend de l'âge de l'arbre, de la richesse et de l'humidité du sol, ainsi que de l'espèce. La densité et la dureté du bois dépendent justement de la largeur relative des anneaux. Plus les anneaux sont étroits, plus le bois est dense et dur. Mais la dureté varie aussi avec l'âge du bois d'une espèce donnée. Ainsi, les plus vieilles couches de bois vers le centre du tronc, -le coeur- généralement de couleur plus foncée, sont plus dures que les couches extérieures plus jeunes, appelées l'aubier. La différence de dureté et de densité s'explique par le fait que l'aubier contient des cellules vivantes à parois plus minces, aptes à transporter et à emmagasiner la sève et d'autres matériaux.

Enfin, à la périphérie de la section transversale, on remarque l'écorce, tissu protecteur composé d'une assise de cellules vivantes, le phéllogène; ce dernier engendre chaque année, vers l'extérieur, du liège dont la forme et l'épaisseur sont caractéristiques pour chaque espèce. Chez le bouleau, par exemple, le liège est mince, lisse, plus ou moins uniforme, tandis qu'il est épais, rugueux, fendillé, chez l'érable.

Nous n'insisterons pas sur les différences anatomiques entre le bois des arbres à feuilles caduques ("bois francs") et celui des conifères (bois résineux, "bois mous"). La principale différence est marquée dans la structure, la compacité et les dimensions des fibres dont dépend la dureté relative du bois. Au cours de la carbonisation, la chaleur pénètre dans le bois principalement dans la direction des fibres; la structure et les propriétés de ces dernières ont donc, comme nous le verrons plus loin, une répercussion directe sur les propriétés physiques des charbons de bois.

Composition chimique du bois

Les arbres forestiers jouent un rôle de premier plan comme chaînon du cycle du carbone dans la nature. L'atmosphère qui entoure le globe et dans laquelle nous vivons, contient en poids, d'une façon invariable, un dix-millième de carbone, sous la forme de gaz carbonique (CO_2). Malgré ce pourcentage apparemment très faible, 500 milliards de tonnes de carbone se trouvent engagées, sous la forme de gaz, dans une profonde couche gazeuse si légère à nos épaules. Ce carbone est considéré comme inactif, comme mort, aux emplois industriels, car il est à peu près impossible de l'extraire de l'atmosphère et de l'amener sous une forme utilisable. Il arrive dans l'atmosphère comme résultat des combustions de toutes sortes se jouant à la surface terrestre : combustions domestiques et industrielles de matières inflammables, respiration des hommes, animaux et plantes. Plus de 1,600 millions de tonnes de carbone font ainsi annuellement retour à l'atmosphère par ces différents processus.

Mais voilà où la forêt intervient. Elle reprend inlassablement ce carbone mort, usé, pour en faire un carbone actif au point de vue vital. C'est en effet par lui que les plantes élaborent la plus grande partie de leur matière constitutive.

La fonction chlorophyllienne puisant son énergie dans la lumière solaire, peut fixer annuellement 390 tonnes de carbone par mille carré de surface forestière, et, sur une surface égale de grande culture, plus de 1,000 tonnes. L'herbivore se nourrissant de plantes devient à son tour la nourriture du carnivore, et le carbone engagé dans l'organisme vivant retourne partiellement à l'atmosphère par le phénomène

de la respiration. C'est ainsi que les feuilles vertes des plantes ferment ce cycle si important au point de vue économique et physiologique.

C'est à cette série de réactions que nous devons la synthèse de l'amidon - notre pain quotidien - ainsi que celle de la cellulose et de la lignine, matières premières indispensables pour l'industrie, combustibles importants et précurseurs de la tourbe et du charbon. La cellulose, les hémicelluloses et la lignine sont donc les principaux éléments constitutifs du bois, et, en raison de leur composition chimique, ils jouent un rôle prépondérant dans la carbonisation du bois.

En effet, l'analyse élémentaire du bois démontre qu'il se compose de 50% de carbone, 6% d'hydrogène et 44% d'oxygène approximativement. La proportion de ces éléments est presque constante pour toutes les essences, et pour toutes les parties d'un arbre donné. Le tableau No 2, tiré d'un travail de E. Gottlieb (1), illustre bien cette faible variation dans la composition élémentaire de quelques essences européennes.

Tableau No 2. - Composition élémentaire du bois.

Essences	Carbone	Hydrogène	Oxygène	Azote	Cendres
Hêtre.....	49.14	6.16	44.07	0.09	0.54
Bouleau.....	48.88	6.06	44.67	0.10	0.29
Pin.....	50.36	5.92	43.39	0.05	0.28
Epinette.....	50.31	6.20	43.08	0.04	0.37

En tenant compte des cendres et de l'humidité, on peut encore résumer, selon Klar et Rule (2) les résultats de plusieurs chercheurs, dans le tableau suivant (No 3):

Tableau No 3. - Composition moyenne du bois.

	Carbone %	Hydrogène %	Oxygène & azote %	Cendres %	Eau %
Bois, exempt de cendres et d'humidité	50	6.0	44.0	-	-
Bois, avec cendres, mais exempt d'humidité	50	6.0	43.0	1.0	-
Bois, avec cendres et humidité (bois séché à l'air)	40	4.8	34.4	0.8	20

Cependant, de telles analyses élémentaires ont peu de valeur pour la comparaison des bois d'essences ou d'origines différentes, ou encore pour l'étude plus détaillée du bois comme matière première industrielle. Pour ce faire, il faut employer d'autres méthodes, permettant de déterminer les ingrédients de la matière ligneuse (cellulose, hémicellulose, lignine, protéine), les extraits obtenus au moyen de solvants appropriés, et les autres ingrédients constitutifs du bois. Le tableau No 4 fait voir les résultats de telles analyses faites sur quelques essences européennes par J. König et C.G. Schwalbe.

(1) J. pr. Chem. 136, 392 (1883).

(2) M. Klar et A. Rule: - The Technology of Wood Distillation, London, 1925.

Tableau No 4 .- Composition chimique de quelques bois

	Cellu- lose	Hémicellulose		Lignine	Protéine brute	Extrait benzène- alcool 1:1	Cendres
		Hexo- sane	Pento- sane				
Epinette	53,0%	14%		29,0%	1,0%	3,3%	-
Sapin	42,3%	13,3%	9,2%	28,5%	1,2%	2,3%	0,7%
Pin	41,9%	12,8%	8,7%	29,5%	1,3%	3,2%	0,5%
Bouleau	41,9%	4,6%	23,2%	28,3%	1,3%	2,4%	0,7%
Peuplier	47,4%	2,6%	15,4%	22,5%	1,4%	2,7%	0,8%
Hêtre	45,4%	4,4%	17,8%	22,7%	1,6%	0,7%	1,0%
Frêne	40,2%	5,7%	19,3%	26,0%	1,3%	2,2%	0,8%
Saule	42,9%	5,1%	16,8%	24,7%	1,2%	2,0%	0,8%
Aulne	43,6%	3,7%	15,9%	24,6%	1,8%	2,8%	0,5%

Afin de nous faire une idée de la variation dans la composition de diverses parties d'une essence, nous reproduisons un tableau (No 5), tiré d'un travail de Ritter et Fleck (1), sur la composition chimique du coeur et de l'aubier de quelques essences américaines.

La comparaison de ces tableaux permet de tirer quelques conclusions importantes. Les bois durs contiennent moins de lignine, mais plus de pentosanes, de méthoxyle et d'acétyle que les résineux. On constate aussi que les différences de composition les plus marquées se trouvent dans la quantité et dans le caractère des extraits obtenus sur diverses essences, ainsi que dans l'aubier et le coeur de ces essences. Ces extraits, sans former la partie essentielle de la matière ligneuse, déterminent néanmoins d'importantes propriétés du bois, telles que l'odeur, la couleur, la durabilité naturelle, la résistance aux agents mécaniques et chimiques, etc. Cette différence marquée entre la composition des bois durs et tendres nous permettra aussi d'expliquer leur comportement différent dans la carbonisation.

A côté des éléments principaux du bois, (cellulose, hémicellulose et lignine) on trouve presque toujours d'autres ingrédients mineurs, dont la présence n'influence guère la composition générale, mais qui peuvent occasionner certains emplois particuliers lorsqu'ils s'y trouvent en quantités suffisantes. Mentionnons dans cette catégorie de substances, certaines protéines, l'amidon, les dextrines, les sucres (érable), les tanins (chêne, pruche), des matières colorantes, des huiles essentielles (pin, cèdre, bouleau etc.) des résines (sapin, épinette), des sels organiques et inorganiques, des substances aromatiques, etc., etc...

La teneur en azote des bois ne dépasse guère 0.5%; aussi ne présente-elle qu'une importance très secondaire dans la carbonisation à moins que l'on ne s'occupe de la récupération des produits volatils qui contiennent de l'ammoniac et d'autres bases azotées.

(1) Ritter, G.J. et Fleck, L.C. : J. Ind. Eng. Chem.15, 1055 (1923).

Tableau No 5. - Analyse du coeur et de l'aubier de quelques essences américaines

ESSENCES	Echantillon	Humidité	Cendres	Solubilité dans				Acide acétique	Méthoxyle	Pentosane	Méthyle-pentosane	Cellulose	Lignine	Dans la cellulose				
				L'eau froide	L'eau chaude	L'éther	1p. 100 de NaOH							Pentosane	Méthyle-pentosane	Alpha-cellulose	Béta-cellulose	Gamma-cellulose
Frêne blanc -																		
Aubier No 2.....	179	5.34	0.61	5.81	6.41	1.17	21.77	3.23	4.70	19.85	2.40	50.38	26.95	18.83	1.60	74.67	13.67	11.66
Coeur No 2.....	180	5.45	0.30	2.24	3.40	0.43	19.59	2.31	5.36	19.90	2.25	53.56	27.39	16.75	1.34	64.68	24.58	10.84
Aubier No 3.....	181	4.91	0.57	5.25	7.02	0.88	21.93	3.70	5.66	20.16	2.63	49.72	27.39	19.67	1.60	55.11	28.29	16.50
Coeur No 3.....	182	7.42	0.32	2.12	4.46	0.46	18.97	2.66	5.20	19.87	2.46	53.40	28.38	17.34	1.47	42.45	33.22	24.33
Merisier -																		
Aubier No 1.....	207	4.92	0.26	1.05	1.98	0.48	16.77	2.34	5.66	21.36	1.66	58.91	24.69	20.72	1.13	52.15	32.90	14.45
Coeur No 1.....	208	4.76	0.40	4.16	5.69	0.81	20.51	1.78	5.46	20.37	1.39	56.88	24.62	21.87	1.12	61.17	23.23	15.60
Aubier No 2.....	213	4.28	0.18	1.74	2.10	0.88	19.78	3.75	5.47	22.30	1.82	56.57	27.76	22.19	1.71	52.40	26.82	20.78
Coeur No 2.....	214	4.36	0.23	2.76	3.96	0.99	21.14	2.83	5.27	23.21	1.07	54.93	28.13	21.81	1.04	53.56	25.00	21.44
Pin blanc -																		
Aubier No 1.....	193	3.90	0.23	3.55	5.15	5.46	17.16	1.68	4.16	9.31	2.14	54.25	26.51	6.81	2.09	54.56	17.47	27.97
Coeur No 1.....	194	2.92	0.42	5.97	7.68	3.62	19.15	1.43	4.60	8.56	1.00	50.23	26.14	7.12	2.02	57.29	22.42	19.29
Thuya -																		
Aubier No 3.....	199	6.02	0.48	3.02	3.96	1.44	12.71	1.11	5.23	10.82	1.16	55.02	32.14	8.95	1.28	69.17	14.04	16.79
Coeur No 3.....	200	6.48	0.27	2.80	4.01	1.87	14.14	0.74	5.09	10.36	1.56	54.42	32.42	7.97	1.32	55.22	24.74	20.04

Enfin, on doit attacher une certaine importance à la teneur du bois en cendres, puisque la teneur en cendres du charbon de bois en dépend directement. Vu que les charbons destinés à l'industrie métallurgique et à l'alimentation des gazogènes doivent avoir une faible teneur en cendres, il importe de faire un choix approprié des essences à carboniser. Les écorces sont particulièrement riches en cendres (de 1 à 5%), de sorte qu'il est préférable d'écorcer les essences à écorce épaisse avant l'opération, si l'on veut obtenir une bonne carbonisation et une bonne qualité de charbon.

Valeur calorifique du bois

Considérant que dans notre industrie de carbonisation, on brûle couramment une certaine partie du bois enfourné pour carboniser l'autre partie, il est avantageux de dire quelques mots sur la combustibilité et la valeur calorifique du bois.

Toutes les substances cellulosiques s'enflamment au contact de l'air sous l'action de la chaleur. Il en est ainsi des bois, qui, complètement desséchés, s'enflamment vers 300°C. A cause de leur teneur en résines, les bois de conifères sont les plus inflammables; ils brûlent rapidement, et donnent une flamme plus vive, plus longue et plus continue que celle des bois francs, ils atteignent également une température plus élevée; par contre, les bois francs brûlent beaucoup plus lentement et presque sans flamme sauf au début de leur ignition, mais ils donnent une chaleur rayonnante plus considérable. Voilà pourquoi il faut, pour allumer rapidement la charge d'un four à carbonisation, ou bien se servir des fumérons d'une opération précédente, ou employer un peu de résineux, ou encore améliorer la combustion des bois durs en les divisant en copeaux, brindilles, menus morceaux, ou enfin employer une combinaison de ces méthodes. Ajoutons encore que dans les bois pourris, il y a perte considérable d'hydrogène par suite de la décomposition de la lignine; ces bois sont donc de mauvais combustibles brûlant sans flamme. Comme on emploie, dans beaucoup de nos charbonnières, du bois à cœur pourri, il faudra tenir compte de ce fait qui explique pourquoi une consommation de bois plutôt forte, pour la combustion, donne un rendement en charbon relativement plus faible.

D'après Klar et Rule (1), la valeur calorifique du bois peut être calculée de la façon suivante:

Le pouvoir calorifique absolu du carbone passant à l'état d'anhydride carbonique (CO_2) est de 8080 kg cal. par kg, celui de l'hydrogène se transformant en vapeur d'eau est de 34,200 kg cal. par kg.

Selon la composition élémentaire du bois, donnée dans le tableau No 3, un kg de bois séché à l'air contient 0.400 kg de carbone, 0.048 kg d'hydrogène, 0.342 kg d'oxygène, 0.010 kg de cendres, et 0.200 kg d'eau.

En calculant la valeur calorifique selon la formule de Dulong, il est nécessaire de déduire d'abord la quantité équivalente d'oxygène de l'hydrogène total:

$$0.342 \text{ kg d'oxygène correspond à } \frac{2 \times 0.342}{16} = 0.042 \text{ kg d'hydrogène.}$$

(1) Klar et Rule, l.c.

La quantité d'hydrogène disponible est donc $0.048 - 0.042 = 0.006$ kg.
La chaleur de combustion d'un kg de bois se compose donc de la

chaleur de combustion

$$\text{du carbone : } 0.40 \times 8,080 = 3232.0 \text{ kg cal}$$

plus celle de l'hydro-

$$\text{gène : } 0.006 \times 34,200 = \underline{205.2 \text{ kg cal}}$$

$$\text{Total : } 3\,437.2 \text{ kg cal}$$

La quantité d'eau formée au cours de la combustion est $(0.042 + 0.006) \times 9 = 0.432$ kg, alors que l'eau originalement présente dans le bois $= 0.200$ kg

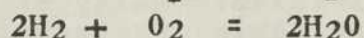
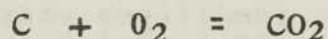
Total : 0.632 kg d'eau qui doit être évaporée; cela exige $0.632 \times 630 = 398.1$ kg cal qui doivent être déduites de la chaleur de combustion totale. La valeur calorifique théorique d'un kg de bois, séché à l'air, de la composition indiquée est donc:

$$3,437.2 - 398.1 = 3,039.1 \text{ kg cal}$$

Mais ce chiffre ne représente pas la valeur calorifique pratique du bois, car il est impossible d'utiliser dans un four ou une fournaise toute la chaleur dégagée dans la combustion. Il y a des pertes de chaleur inévitables par radiation des briques et des parties métalliques du four, par l'entremise des cendres chaudes, mais surtout par les gaz de combustion chauds s'échappant par les événements des fours en briques ou les cheminées de certains types de fours métalliques. La quantité de gaz de combustion produite et la température à laquelle ces gaz quittent le four, varient considérablement avec la disposition et le nombre des événements, la hauteur des cheminées, les conditions atmosphériques, mais surtout avec la rapidité de la carbonisation et la surveillance qu'on y apporte.

La quantité d'air exigée pour la combustion de 1 kg de bois de la composition indiquée se calcule de la façon suivante:

Selon les équations :



$$0.4 \text{ kg de carbone exige } \frac{32 \times 0.4}{12} = 1.066 \text{ kg d'oxygène}$$

$$0.006 \text{ kg d'hydrogène exige } \frac{16 \times 0.006}{2} = \underline{0.048 \text{ kg d'oxygène}}$$

$$\text{Total : } 1.114 \text{ kg d'oxygène}$$

$$\text{Ce poids d'oxygène équivaut à } \frac{100 \times 1.114}{23} = 4.843 \text{ kg}$$

d'air, contenant 1.114 kg d'oxygène et 3.729 kg d'azote.

Les quantités indiquées de carbone et d'hydrogène produisent dans la combustion 1.466 kg d'anhydride carbonique et 0.054 kg de vapeur d'eau respectivement.

Mais il a été prouvé par plusieurs auteurs que dans les fours et fournaises industrielles la quantité d'air admise n'est que partiellement utilisée, et que, selon l'expérience,

une quantité double d'air est réellement nécessaire pour obtenir une combustion complète. Dans notre cas pratique, 9.686 kg d'air devront donc être admis par kg de bois. La combustion donnera alors naissance aux produits suivants :

Vapeur d'eau	0.632 kg
Anhydride carbonique	1.466 kg
Oxygène (de l'air en excès)	1.114 kg
Azote	7.458 kg

On peut calculer les quantités respectives de chaleur perdue dans ces gaz selon la formule suivante :

$$L = w \times C. sp. (t_2 - t_1),$$

où w représente le poids du gaz par kg de combustible, $C.sp.$ la chaleur spécifique, t_2 la température des gaz de combustion sortants, et t_1 la température de l'air entrant.

En supposant que la température initiale du bois et de l'air entrant soit de $15^\circ C.$ et que les gaz de combustion laissent le four à une température de $340^\circ C.$, nous avons pour :

Eau	: 0.632 x (340-15) x 0.481 = 98.79 kg cal
Anhydride carbonique	: 1.466 x (340-15) x 0.217 = 103.38 kg cal
Oxygène	: 1.114 x (340-15) x 0.218 = 78.92 kg cal
Azote	: 7.458 x (340-15) x 0.244 = 591.41 kg cal
Total	: 872.50 kg cal

Il en résulte, qu'un kg de bois de la composition indiquée, brûlant avec le double de la quantité d'air théoriquement exigée et avec une différence de température de $325^\circ C.$ entre l'air entrant et les gaz de combustion sortants, ne peut dégager plus de :

$$3039 - 872.5 = 2166.5 \text{ kg cal,}$$

et cela dans les meilleures conditions possibles, c'est-à-dire avec une calorifugation parfaite. Mais, si nous tenons compte d'une perte de chaleur inévitable par radiation, on peut dire que la valeur calorifique du bois, dans les conditions pratiques d'un four en très bon état, est de l'ordre de 2000 kg cal par kg de bois.

En se basant simplement sur la composition élémentaire du bois, on peut, selon Petit (1), calculer, d'une façon très simple et avec un bon degré d'approximation, la valeur calorifique utilisable du bois, P_1 , selon la formule suivante :

$$P_1 = 8080 C + 34462 h - 5733 H - 910 - 637 A$$

où C est la teneur en % en poids du carbone, H , celle de l'hydrogène, A , celle de l'humidité, et h , l'excès de l'hydrogène sur le $1/8$ du poids de l'oxygène ($h = H - \frac{0}{8}$).

(1) O. Petit : Etudes calorimétriques sur la combustion des bois. Annales de la Société des Sciences industrielles de Lyon (1885).

Voici comment s'établit, d'après le même auteur, le bilan calorifique dans la combustion de 1 kg de bois sec ayant pour composition élémentaire: Carbone 48.79 % ; Hydrogène 6.18 % ; oxygène 42.07 % ; Azote 1.04 % ; Cendres 1.92 % :

1 - Volatilisation du carbone :	3.134 x 0.4879 = 1529 kg cal = 20 %
2 - Vaporisation de l'eau de combustion :	5733 x 0.0618 = 355 kg cal = 5 %
Décomposition chimique du bois {	3 - Dissociation de l'eau de composition : 34463 x 0.0526 = 1813 kg cal = 24 %
	4 - Décomposition des autres éléments constitutifs du bois : = 910 kg cal = 12 %
	5 - Effet calorifique utilisable : = 2994 kg cal = 39 %

Total de la chaleur développée... = 7601 kg cal = 100 %

D'après Petit, l'effet calorifique utilisable du bois ne s'élève donc qu'à 39 % de la chaleur totale engendrée dans la combustion.

Puisque la composition élémentaire varie très peu pour les diverses essences, on est porté à croire que la valeur calorifique reste à peu près constante pour toutes les sortes de bois. Cela est vrai en autant que ces considérations théoriques s'appliquent au bois anhydre. Cette valeur oscille autour de 4700 kg calories par kg de bois, où, pour nous servir de l'unité anglaise, autour de 8500 B.t.u. (1). Mais cette constance de la valeur calorifique n'est qu'apparente, car, dans les conditions ordinaires, le bois n'est jamais anhydre. Dès lors, le nombre de calories ou de B.t.u. devient une quantité variable qui dépend, selon McElhanney (2) de plusieurs facteurs :

I- du volume réel du bois. Quoique le volume théorique d'une corde de bois soit de 128 pieds cubes, le volume réel occupé par le bois n'atteint jamais cette valeur, car il dépend de la manière d'empiler le bois, de l'uniformité des morceaux, de leur diamètre et du pourcentage de bois rond et fendu. Selon les statistiques forestières, le volume réel d'une corde apparente de bois n'est que de

0.60	corde réelle pour des billots fendus						
0.72	corde réelle pour des rondins de bois	diamètre	8	à	10"		
0.70	" " " " " "	"	6	à	8"		
0.61	" " " " " "	"	4	à	6"		
0.60	" " " " " "	"	2.75	à	4"		
0.50	" " " " " de racines et / branches	"	1.5	à	3"		

(1) Une B.t.u. (British thermal unit) est égale à 1/180 de la chaleur nécessaire pour élever la température d'une livre d'eau du point de fusion au point d'ébullition. Pour convertir les B.t.u. en kg cal par kg (unité thermique du système métrique), on divise les B.t.u. par 1.8, plus exactement 1.796.

(2) T.A. McElhanney, Les Bois du Canada, Ottawa, 1940.

- 2 - de la densité du bois anhydre. La densité des diverses espèces de bois est très variable (voir plus loin). Il devient donc évident qu'une corde d'une essence à forte densité (calculée sur le bois anhydre) possède une plus grande valeur calorifique qu'un même volume de bois à densité faible. Ainsi, par exemple, une corde d'érable (densité 0.6) aura deux fois la valeur calorifique d'une corde de cèdre (densité 0.3).
- 3 - de la teneur en eau des bois. Quoique l'influence de la présence d'eau en quantités variables sur la valeur calorifique ne soit pas aussi drastique que celle des facteurs précédents, il faut tout de même en tenir compte, car il est évident qu'une partie de la chaleur produite par la combustion du bois vert n'est pas dégagée sous forme utilisable, puisqu'elle sert à évaporer l'humidité qu'il contient et à amener la vapeur d'eau ainsi produite à la température des gaz de combustion. Ainsi, de deux cordes de bois de la même essence, (leur densité est la même à l'état anhydre), si l'une contient 15% et l'autre 60 % d'eau, la valeur calorifique de la dernière équivaldra à 93 % de celle de la première.

Afin de permettre aux charbonniers de se rendre compte de la valeur relative de nos bois, au point de vue de la production de chaleur dans les fours, nous donnons ici (Tableau No 6) les valeurs calorifiques de nos plus importantes essences, ainsi que leur valeur comparée à l'anhracite, généralement mieux connue. Ce tableau est extrait d'un travail de Hale (1). La valeur calorifique de l'anhracite de comparaison est établie à 12,900 B.t.u. par livre, et la teneur en eau du bois à 20 % en volume du bois anhydre.

(1) Hale, J.D. : Heating Value of Wood Fuel. Laboratoire des Produits forestiers, Ottawa, 1933.

Tab. No 6.- Valeur calorifique de quelques essences canadiennes

Essences	Valeur Calorifique brute (millions de B.t.u. par corde de bois sec)	Nombre de cordes de bois secs (128 p.c.) requises pour éga- ler 2,000 lbs d'an- thracite.
Bois durs:		
Hêtre.....	27.8	1.13 à 1.35
Merisier.....	26.2	1.20 à 1.44
Orme liège.....	32.0	0.98 à 1.18
Carya amer.....	29.2	1.08 à 1.29
Erable à sucre.....	29.0	1.08 à 1.30
Chêne à gros glands..	28.2	1.11 à 1.34
Chêne rouge.....	27.3	1.15 à 1.38
Chêne blanc.....	30.6	1.03 à 1.23
Frêne noir.....	22.6	1.39 à 1.67
Frêne vert.....	22.1	1.42 à 1.70
Frêne blanc.....	25.0	1.25 à 1.50
Bouleau blanc.....	23.4	1.34 à 1.60
Cerisier tardif.....	23.5	1.34 à 1.60
Orme roux.....	25.4	1.24 à 1.48
Orme blanc.....	24.5	1.28 à 1.54
Erable rouge.....	24.0	1.31 à 1.57
Erable blanc.....	21.7	1.45 à 1.74
Tilleul d'Amérique...	17.0	1.85 à 2.22
Noyer cendré.....	17.4	1.80 à 2.17
Liard.....	16.8	1.87 à 2.25
Tremble.....	17.7	1.77 à 2.13
Grand tremble.....	18.2	1.73 à 2.07
Peuplier baumier.....	17.2	1.83 à 2.19
Erable négundo.....	19.3	1.63 à 1.95
Bois tendres :		
Mélèze.....	24.0	1.50
Thuya.....	16.3	2.30
Sapin baumier.....	15.5	2.40
Pruche de l'est.....	17.9	2.10
Pin gris.....	21.6	1.75
Pin rouge.....	19.7	1.90
Pin blanc.....	17.1	2.20
Epinette noire.....	19.1	2.00
Epinette rouge.....	18.1	2.10
Epinette blanche.....	16.2	2.30

La dureté du bois

La dureté relative des bois est une des plus importantes propriétés intéressant le charbonnier. En effet, dans une carbonisation bien conduite, la dureté du charbon de bois dépend directement de celle du bois. Vu que la dureté et la résistance mécanique du charbon sont de la plus haute importance pour les charbons destinés aux procédés métallurgiques, nous donnons ci-après un tableau (No 7) présentant la dureté relative de nos essences les plus communes. Ce tableau permettra de guider le charbonnier dans le choix des essences lorsque l'acheteur spécifiera un charbon de dureté déterminée.

Les valeurs indiquées au tableau expriment le nombre de livres à appliquer sur une boule d'acier de 0.444 pouces de diamètre pour la faire pénétrer dans le bois à une profondeur égale à la moitié de son diamètre.

Tableau No 7.- Dureté de quelques essences

Essences	Dureté
Tilleul d'Amérique	242
Thuya (cèdre) de l'Est	266
Epinette blanche	280
Sapin baumier	290
Pin blanc	296
Tremble	320
Peuplier baumier	340
Liard	340
Epinette rouge	346
Saule	360
Grand tremble	370
Melèze d'Amérique	375
Noyer cendré	386
Pruche de l'Est	406
Bouleau blanc	490
Frêne noir	550
Erable blanc	590
Erable rouge	610
Orme roux	660
Cerisier tardif	664
Merisier	740
Hêtre	824
Erable à sucre	910
Frêne blanc	940
Chêne rouge	980
Hamamélis de Virginie	980
Orme liège	990
Frêne vert	1000
Chêne blanc	1060
Chêne à gros glands	1110
Chêne bicolore	1160

Selon la dureté relative, nous pouvons donc grouper nos principales essences de la façon suivante:

Bois très durs : : Chêne bicolore, chêne à gros glands, chêne (1000 lbs et plus) blanc, frêne vert.

Bois durs : : Orme liège, chêne rouge, frêne blanc, érable (800-1000 lbs) à sucre, hêtre,

Bois modérément durs: (600-800 lbs)	Merisier, cerisier, orme roux, érable rouge.
Bois peu durs (400-600 lbs)	: Erable blanc, frêne noir, bouleau blanc, pruche.
Bois mous (300-400 lbs)	: Noyer cendré, mélèze, grand tremble, saule, épinette rouge, liard, peuplier baumier, tremble.
Bois très mous (200-300 lbs)	: Pin blanc, sapin, épinette blanche, thuya, tilleul.

L'humidité du bois

L'humidité du bois est probablement le facteur le plus important qui intervient dans la carbonisation. C'est pourquoi nous allons étudier en quelques lignes ses formes, sa distribution, ses propriétés.

On peut dire que l'eau forme, avec la cellulose et la lignine, la masse principale du bois. Son influence est donc très grande, non seulement sur la valeur du bois, mais, ce qui nous intéresse en particulier, sur le rendement en charbon de bois et sur la conduite générale de la carbonisation. Tout changement dans l'état d'hydratation du bois entraîne infailliblement un changement de la densité, du volume et du poids du bois, car tout ces facteurs dépendent rigoureusement l'un de l'autre.

L'humidité, dit M. McElhanney (1), existe dans le bois sous deux formes, qu'on peut appeler hygroscopique et libre. Pour saisir le sens de ces deux termes, il faut se représenter la nature du bois comme analogue à celle d'un rayon de miel ou d'une éponge, les vaisseaux du bois faisant l'office des cavités ou cellules de l'éponge. L'eau retenue dans la matière qui compose les parois cellulaires est dite hygroscopique, et celle qui occupe les espaces intercellulaires est dite libre.

L'état dans lequel se trouve le bois lorsque toute l'eau libre en a été éliminée (par séchage naturel ou artificiel), alors que les parois cellulaires retiennent encore la plus grande quantité de l'humidité hygroscopique, s'appelle le point de saturation des fibres. Ce point, qui varie selon les espèces, est d'ordinaire atteint quand la teneur en eau est entre 23 et 30 % du poids du bois anhydre.

La sève contenue dans les arbres sur pied et fraîchement coupés, se compose presque entièrement d'eau qui contient en solution de faibles quantités de matières organiques et minérales : surtout des sucres dans l'aubier, des tanins et des matières colorantes dans le cœur.

Il est à peu près impossible de donner une idée générale sur la teneur en eau des arbres fraîchement coupés, car celle-ci varie énormément selon la localité, la saison, l'essence et l'âge du bois. Reproduisons tout de même un tableau (No 8), tiré du traité de Klar et Rule (2), qui illustre le pourcentage moyen en humidité du bois de quelques essences fraîchement coupées, ainsi que les variations extrêmes.

(1) Les Bois du Canada, 1.c.

(2) The Technology of Wood Distillation, 1.c.

Tableau No 8.- Teneur en eau de bois fraîchement coupés

	Moyenne annuelle %	Extrêmes	
		Minimum %	Maximum %
Epinette.....	56	11	57
Peuplier noir.....	52	43	61
Mélèze.....	50	17	60
Aulne.....	50	33	58
Bouleau.....	47	24	53
Hêtre.....	39	20	43
Erable.....	39	27	49
Chêne.....	35	22	39
Orme.....	34	24	44
Frêne.....	27	14	34

Le lieu de croissance d'un arbre, dit encore M. McElhanney, a également une grande influence sur la quantité d'eau contenue dans l'arbre sur pied. Ainsi, les essences des régions humides ou marécageuses contiennent plus d'eau que celles qui croissent sur des terrains secs ou élevés. Toutefois, certaines essences contiennent une quantité d'eau exceptionnellement forte même lorsqu'elles se développent en terrain sec. L'humidité varie parfois aussi selon les diverses parties de l'arbre. Ainsi, chez les conifères, on constate une proportion d'eau plus forte dans l'aubier que dans le cœur des parties plus élevées. Les bois durs par contre, démontrent une répartition plus uniforme de la teneur en eau. Afin d'illustrer ce que nous venons de dire, nous reproduisons un tableau (No 9) tiré d'un travail de Scarth et Jahn (1) qui démontre que l'aubier des conifères contient, au mois d'août, beaucoup plus d'eau (sève) que le cœur.

Tableau No 9.- Teneur en eau de quelques conifères, en août

Essence	Pourcentage du poids du bois anhydre	
	Aubier	Cœur
Pin gris.....	124	33
Epinette.....	154	49
Sapin baumier.....	239	109

La quantité de sève est naturellement beaucoup plus forte

(1) Scarth, G.W., et Jahn, E.C. - Canad. J. of Research, Vol. 2, pp. 409-24, 1930.

au printemps et en été qu'en hiver. Au printemps, plusieurs espèces sont tellement inondées de sève que celle-ci s'écoule spontanément (bouleau) ou à la suite d'une blessure pratiquée dans l'écorce (érable).

Le tableau suivant (No 10), de Schübler, prouve clairement que le bois est plus riche en eau au printemps qu'en hiver.

Tableau No 10.- Variation de la teneur en eau selon la saison

Essence	Fin de janvier	Début d'avril
Frêne	28.8	38.6
Erable	33.6	40.3
Maronnier	40.2	47.1
Sapin argenté	52.7	61.0

Non seulement le bois coupé en hiver est-il moins riche en eau, mais il contient aussi de plus faibles quantités de sels, de matières extractives organiques, etc. A cause du caractère hygroscopique nettement marqué de ces substances, il s'ensuit que le bois coupé en hiver sèche mieux et plus rapidement. Il est donc évident que l'hiver est la saison idéale, la seule saison recommandable, pour couper le bois destiné à la carbonisation.

D'ailleurs, la croissance des arbres sur un sol fertile et riche dans des conditions climatiques favorables, est bien plus rapide que celle des arbres qui se développent dans des conditions contraires. Il s'ensuit que le bois de la première catégorie possède des vaisseaux et des anneaux annuels plus larges, et que, par conséquent, il se rétrécit beaucoup plus au cours de la carbonisation, que le bois poussé sur un terrain sec et pauvre. De plus, le rendement en charbon est moindre et il est plus léger que celui de la deuxième catégorie, plus lourd, plus dense, de meilleure qualité. Autant que possible, nos charbonniers devraient donc réserver à la carbonisation, de préférence, le bois coupé sur un terrain sec et pauvre.

Une remarque semblable s'applique à l'âge des arbres. Le jeune bois, riche en sève, convient moins bien à la carbonisation que le bois plus âgé. D'autre part, le vieux bois, trop âgé, comme, par exemple, le vieux hêtre, a la tendance à séparer les fibres longitudinales au cours de la carbonisation, de sorte que le charbon obtenu est fissuré et s'effritte plus que normalement au cours du transport et de la manutention.

Enfin, la teneur en sève varie fortement selon le diamètre des diverses parties d'un arbre. Le tableau suivant (No 11) de Chevandier démontre les variations importantes dans la teneur en eau, exprimée en pourcentage en poids, du bois de tronc, de branches épaisses et minces, six, douze, dix-huit et vingt-quatre mois après la coupe.

Tableau No 11.- Variation de la teneur en eau selon la partie de l'arbre et le temps de séchage après la coupe.

Essence	Mois après la coupe			
	6	12	18	24
	Tronc			
Hêtre.....	23.24	19.34	17.40	17.74
Chêne.....	29.63	23.75	20.74	19.16
Bouleau.....	23.28	18.10	15.98	17.17
Sapin.....	28.56	16.65	14.78	17.22
Epinette.....	29.31	28.54	15.81	17.76
	Branches épaisses			
Hêtre.....	33.48	24.00	19.80	20.32
Chêne.....	31.20	26.90	24.55	21.09
Bouleau.....	37.34	28.99	24.12	21.78
Sapin.....	28.29	17.41	15.09	18.66
Epinette.....	35.30	17.59	15.72	17.39
	Branches minces			
Hêtre.....	30.44	23.46	18.60	19.95
Chêne.....	32.71	26.74	23.35	20.28
Bouleau.....	39.72	29.01	22.73	19.52
Sapin.....	33.78	16.87	15.21	18.09
Epinette.....	41.49	18.67	15.63	17.42

Ce tableau démontre, que malgré la grande variation déjà signalée de l'humidité dans les arbres sur pied et fraîchement coupés, la teneur en eau tombe, indépendamment de la nature de l'essence, à un minimum de 20 % environ après 12 à 18 mois de séchage à l'air.

Ce bois renfermant de 20 à 25 % d'eau, ayant perdu à peu près toute son eau libre, se comporte très différemment dans la carbonisation en comparaison avec le bois vert. La carbonisation est plus rapide, elle est plus facile à surveiller et à diriger, le rendement en charbon est de beaucoup supérieur, et sa qualité infiniment meilleure. Nous ne pouvons insister suffisamment sur tous ces avantages, et malgré les petits inconvénients que cela puisse entraîner, nous recommandons fortement aux charbonniers d'avoir toujours une réserve de bois séché pendant 12 mois environ, c'est-à-dire de ne carboniser que du bois à un taux d'humidité uniforme de 20 à 25 %.

La densité du bois

A cause de la forte porosité du bois, il faut distinguer entre sa densité absolue et sa densité apparente.

Toutes les sortes de bois, durs et tendres, réduits en fine poudre, c'est-à-dire débarrassés de l'air inclus dans les fibres et desséchés, sont plus lourds que l'eau. D'après Violette

ils ont tous, même le liège, une densité voisine de 1.5 lorsqu'ils sont complètement déshydratés. La densité absolue ou réelle ne présente donc rien de bien intéressant, car elle ne permet pas de distinguer les diverses essences. La densité pratique des bois est donc la densité apparente, beaucoup plus faible, à cause de la quantité variable d'air et de gaz qu'ils contiennent. La faible valeur de la densité apparente permet le flottage de la plupart des bois, et sa grande variabilité explique les grandes différences de poids entre des volumes égaux d'essences différentes.

La densité apparente des bois varie :

- 1.- Avec les essences selon leur structure anatomique.
D'une façon générale, plus les anneaux annuels sont étroits, plus les bois sont denses.
- 2.- Avec l'âge de l'arbre et de ses diverses parties. Le bois de branches est moins dense que le bois de tronc, le bois de racine moins dense que le bois de branches. Les noeuds, les excroissances de galles et les plaies guéries augmentent considérablement la densité. Le coeur est généralement moins dense que l'aubier, les parties supérieures de l'arbre moins que les parties inférieures.
- 3.- Avec les conditions de nutrition, de lumière, du sol, des agents atmosphériques, bref, avec les conditions de croissance qui modifient la structure.
- 4.- Avec la saison, c'est-à-dire avec la proportion de sève qui forme la majeure partie de l'eau hygroscopique. Ainsi, l'aubier d'un bois vert qui renferme, par exemple, 50 % d'eau, est plus dense que le coeur qui n'en renferme, disons, que 20 %.
- 5.- Avec le degré de siccité; le bois parfaitement anhydre a une densité apparente égale environ aux $\frac{4}{5}$ de celle du bois séché à l'air avec 20 % d'humidité.

Malgré les fluctuations imposées par l'interdépendance de ces divers facteurs, il est tout de même possible d'attribuer aux différentes essences une densité apparente moyenne caractéristique. Le tableau No 12 représente donc la densité apparente de nos plus importantes essences séchées à l'air.

Tableau No 12.- Densité apparente de quelques essences

Essences	Densité apparente
Thuya (cèdre) de l'Est	0.30
Pin blanc	0.34
Sapin baumier	0.35
Epinette blanche	0.37
Epinette rouge	0.39
Liard	0.39
Noyer cendré	0.39
Pin rouge	0.40
Tremble	0.40
Pruche de l'Est	0.41
Peuplier baumier	0.41
Epinette noire	0.42
Tilleul d'Amérique	0.42
Pin gris	0.44
Erable blanc	0.48
Frêne noir	0.49
Mélèze d'Amérique	0.50
Erable rouge	0.54
Cerisier tardif	0.55
Bouleau blanc	0.57
Frêne blanc	0.57
Orme roux	0.60
Orme blanc	0.60
Chêne rouge	0.61
Merisier	0.62
Hêtre	0.65
Chêne à gros glands	0.65
Erable à sucre	0.66
Carya amer	0.68
Chêne blanc	0.68
Orme liège	0.70
Ostryer de Virginie	0.72

Selon l'échelle de classification proposée par Gayer, nous pouvons donc classer nos bois par ordre de densité apparente à l'état sec, de la façon suivante:

Bois très lourds :

Densité supérieure à 0.80 : aucun

Bois lourds:

Densité 0.80 à 0.70 : Ostryer, orme liège.

Bois moyennement lourds:

Densité 0.70 à 0.55: Carya, les chênes, érable à sucre, hêtre, merisier, orme blanc et roux, frêne blanc, bouleau blanc, cerisier tardif.

Bois légers:

Densité 0.55 à 0.40: Erable rouge et blanc, mélèze, frêne vert et noir, pin gris et rouge, tilleul, épinette noire, peuplier baumier, pruche, tremble et grand tremble.

Bois très légers:

Densité au-dessous
de 0.40: Noyer cendré, liard, épinette rouge et blanche, sapin baumier, pin blanc et thuya.

Le poids du bois par unité de volume varie évidemment avec la manière de l'empiler, avec l'espèce de bois, la qualité et les dimensions. En supposant que ces facteurs soient constants, le poids ne signifie, malgré cela, rien de précis, à moins de connaître le degré de siccité. D'autre part, quand le bois est séché à l'air, on sait qu'il contient environ 20 % d'eau, et il est dès lors possible pour le charbonnier d'établir le rendement exact de son four, de sa méthode de carbonisation, et, s'il y a lieu, d'améliorer ou de varier l'un ou l'autre. Il lui sera également possible de tirer des conclusions sur la valeur de son bois, car le poids est directement proportionnel à la masse de bois anhydre dans l'unité de volume. Des calculs de rendement en charbon par corde de bois, sans considérer simultanément la teneur en eau et le poids, n'ont aucune valeur pratique, pas plus que les comparaisons du poids par corde d'essences différentes, sans considération de leur degré d'humidité.

Voilà donc une autre raison qui nous justifie d'insister auprès des charbonniers, leur demandant de carboniser autant que possible du bois séché à l'air et exactement mesuré, afin de pouvoir appliquer les corrections nécessaires, si le bilan économique en est désavantageux.

Afin de faire les calculs de ce genre avec un certain degré de précision, il faut encore éliminer l'erreur de l'empilement, par corde apparente. Nous avons déjà indiqué, à la page 13, quelques chiffres statistiques à ce sujet, et nous reproduisons ici un tableau (No 13), donnant le poids en livres d'une corde de bois solide (réelle), à l'état vert et séché à l'air, pour quelques-unes de nos plus importantes essences.

Afin de déterminer le poids du bois anhydre d'une corde de bois de carbonisation, on n'a qu'à multiplier le chiffre indiquant le volume solide de la corde par le poids d'une corde de bois séché à l'air tel que donné dans le tableau No 13. Calculons, par exemple, le poids du bois anhydre d'une corde de rondins de hêtre d'un diamètre moyen de 7 pouces. Selon le tableau à la page 13, une corde de bois empilé du diamètre donné contient en réalité 0.70 corde de bois solide. D'après le tableau No 13, une corde solide de hêtre, séché à l'air, pèse 5680 lbs. Une corde de rondins de hêtre séché à l'air de 7 pouces de diamètre moyen pèsera donc $0.70 \times 5680 = 3976$ lbs. D'autre part, le bois séché à l'air contient, comme nous avons déjà dit, envi-

ron 20% d'humidité (c'est-à-dire 80 % de bois anhydre). Notre corde de hêtre contient, par conséquent, $80 \times 3976 = 3180$ lbs, de bois anhydre, c'est-à-dire de substan- $\frac{100}{100}$ ce réellement apte à la carbonisation.

Tableau No 13.- Poids en lbs d'une corde solide de diverses essec

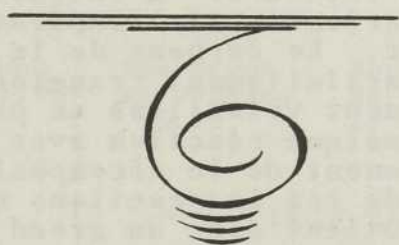
Essences	Vert	Séché à l'air
Chêne	8320	6080
Frêne	7040	6000
Hêtre	7840	5680
Erable	7680	6020
Orme	7600	5520
Merisier	7300	5630
Bouleau	7680	5200
Mélèze	6480	4720
Pin	6560	4160
Tremble	6480	4080
Peuplier	7600	3840
Sapin	7760	3760
Epinette	6080	3600

Afin de placer notre industrie de carbonisation sur un pied quelque peu scientifique et d'obtenir partout des résultats comparables et d'une plus grande valeur statistique, il est donc dans son intérêt de s'exprimer toujours en cordes de bois anhydre, donc, de substituer ce terme à la mesure forestière, la "corde" apparente de bois humide.

En terminant, nous présentons, à titre de commodité, un tableau de Gayer (No 14), modifié et adapté par nous; ce tableau, calculé à partir des données du tableau No 13, et de la page 13, donne les poids d'une corde de bois séché à l'air, ainsi que le poids du bois anhydre, pour des essences différentes de diamètre varié.

Tableau No 14.- Poids d'une corde de bois séché à l'air et anhydre de diverses essences.

ESSENCE	Billots fendus, 1 corde apparente = 0.60 corde solide, Humidité 20 % (séché à l'air)		Rondins fins de 1.5" à 3" diamè- tre, 1 corde ap- parente= 0.50 corde solide, hu- midité 20% (séché à l'air		Rondins de 6"à 8" diamètre, 1 corde apparente =0.70 corde soli- de, humidité 20 % (séchés à l'air	
	I corde apparente					
	pèse lbs	contient du bois anhydre lbs	pèse lbs	contient du bois anhydre lbs	pèse lbs	contient du bois anhydre lbs
Chêne	3648	2918	3040	2432	4256	3405
Frêne	3600	2880	3000	2400	4200	3360
Hêtre	3408	2726	2840	2272	3976	3180
Erable	3612	2890	3010	2408	4214	3371
Orme	3312	2650	2760	2208	3864	3091
Merisier	3378	2702	2815	2252	4571	3656
Bouleau	3120	2496	2600	2080	3640	2912
Mélèze	2832	2265	2360	1888	3304	2643
Pin	2496	1996	2080	1664	2912	2330
Tremble	2448	1958	2040	1632	2856	2284
Peuplier	2304	1843	1920	1536	2668	2150
Sapin	2256	1804	1880	1504	2632	2105
Epinette	2160	1728	1800	1440	2520	2016



CHAPITRE II

Théorie de la carbonisation

Nous avons vu que les principaux constituants du bois sont la cellulose, la lignine et l'eau, et que les seuls éléments importants dans la carbonisation sont, par conséquent, le carbone, l'oxygène et l'hydrogène.

Dans la pratique, la carbonisation du bois se fait de deux manières:

- a) en vase clos, c'est-à-dire par une véritable distillation permettant la récupération de divers produits déjà mentionnés.
- b) par combustion partielle (procédé des meules, fosses et fours), généralement sans récupération des produits volatils.

Quoique, dans la province de Québec, la carbonisation par combustion partielle dans des fours soit la seule méthode employée (1), et que les produits volatils (gaz, alcool méthylique, acide acétique, goudron, etc.) ne soient pas récupérés, il nous faut néanmoins tenir compte, dans le présent chapitre, de la formation de ces produits, afin de donner une explication théorique, même très élémentaire, des phénomènes qui se passent au cours de la carbonisation du bois.

Le bois exposé à l'action de la chaleur perd d'abord son eau, et tant que la température ne dépasse pas sensiblement 100°C (2), il se dessèche simplement sans subir des changements d'ordre chimique; dans le cas des résineux cependant, l'eau entraîne les huiles essentielles contenues dans le bois. Au fur et à mesure que la chaleur augmente, disons vers 150°, le bois brunit et on peut déceler la présence de l'acide acétique dans l'eau condensée. Puis, les cellules du bois se décomposent de plus en plus, les produits volatils ci-dessus mentionnés se dégagent en quantités de plus en plus abondantes selon un rythme dépendant de plusieurs facteurs. L'intensité de ces phénomènes de décomposition varie avec la température et les autres conditions de chauffage. Le carbone de la cellulose et de la lignine du bois, est partiellement transformé en charbon de bois solide, partiellement volatilisé en produits liquides ou gazeux à la suite de quelque réaction avec l'oxygène et l'hydrogène provenant également de la décomposition pyrogénée du bois. Comme résultat de ces interactions nombreuses des constituants du bois, on obtient donc un grand nombre de produits solides, liquides et gazeux.

Vers 280°, le bois est en pleine décomposition; par condensation des vapeurs qui se dégagent, on obtient un liqui-

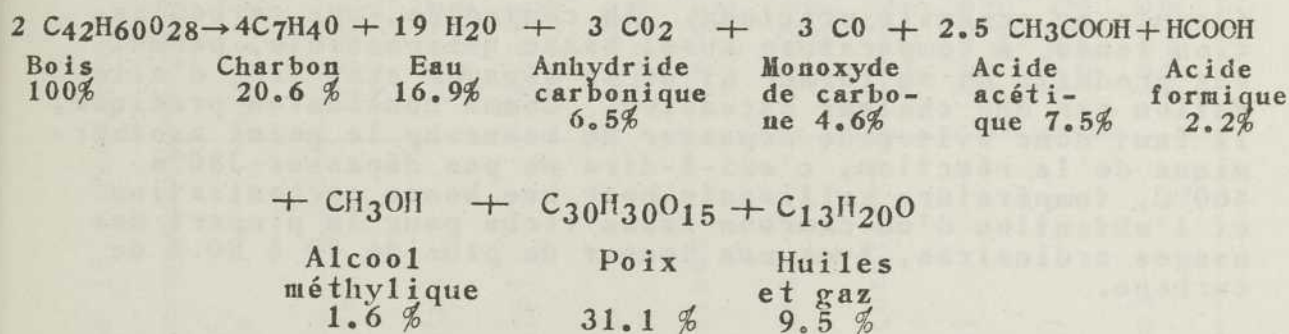
- (1) Exception faite pour l'usine de la Standard Chemicals Co., à Fassette, comté de Labelle, qui distille le bois en cornues (vase clos) pourvues de tous les appareils de récupération.
- (2) Sans mention contraire, les températures sont exprimées, dans ce travail en degrés centigrades; pour les convertir en degrés Fahrenheit, on n'aura qu'à multiplier les degrés centigrades par 9, diviser par 5 et additionner 32.

de abondant qui se sépare, par repos, en deux couches: une couche inférieure de goudron d'un noir intense, et une couche supérieure aqueuse, de couleur rouge foncé, à réaction fortement acide. C'est à ce liquide aqueux, contenant l'acide acétique et l'alcool méthylique, que l'on donne le nom de "pyroligneux". Les gaz incondensables qui s'échappent sont constitués d'anhydride carbonique, de monoxyde de carbone, de méthane et d'autres hydrocarbures. Notons, en passant, que la cellulose du bois ne fournit que de l'acide acétique, tandis que la lignine contribue à la formation de l'acide acétique et de l'alcool méthylique à la fois. Le rendement en acide et en alcool dépend donc largement de la teneur en cellulose et en lignine des essences employées.

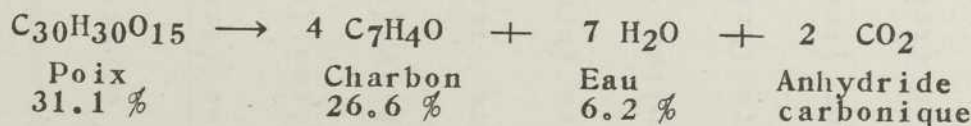
Vers 300°, la décomposition du bois s'exagère encore. La température s'élève rapidement, toute seule, sans chauffage, à la suite d'un fort dégagement de chaleur qui accompagne la réaction primaire. C'est la phase exothermique de la carbonisation, phase critique qui, sans une surveillance particulière, peut conduire à des explosions sérieuses et à l'effondrement de la voûte et des murs du four. La chaleur de réaction dégagée au cours de cette phase est égale à 6% de la chaleur de combustion du bois.

Au delà de 350°, la distillation se ralentit et elle devient pratiquement complète vers 450°. Il ne se dégage plus alors que de faibles quantités de gaz et de vapeurs condensables. Après refroidissement à l'abri de l'air, on trouve dans le four un résidu de charbon de bois noir, brillant et sonore, si la carbonisation a été suffisamment poussée et bien dirigée.

Le véritable mécanisme de la décomposition pyrogénée du bois est extrêmement compliqué et encore peu connu. Toutefois, en se basant sur des observations quantitatives dans des conditions rigoureusement déterminées, Klason (1) a réussi à formuler ces réactions complexes, en commençant la distillation dans le vide de la lumière cathodique, mais en maintenant la température à moins de 400°C., car à des températures plus élevées il se forme principalement des gaz stables à pression ordinaire. Dans le vide, même la poix distille, et la décomposition primaire du bois, par exemple du bouleau, se fait d'après l'équation suivante:



D'autre part, quand on distille très lentement (pendant environ 14 jours) jusqu'à 400° à pression ordinaire, la poix primaire se décompose d'après l'équation suivante:



(1) Klason, P. et collaborateurs: J. pr. Chem. 90, 445 (1914) et Arkiv Kem. Min. Geol. (10), 1 (1908).

fournissant ainsi une quantité considérable de charbon secondaire, même plus qu'il s'en est formé dans la réaction primaire.

Influence de la rapidité de la carbonisation

Voilà déjà une conclusion extrêmement importante pour nos charbonniers: tandis que le rendement en produits volatils est constant (il ne s'en forme pas dans la réaction secondaire) et ne varie que légèrement avec les essences, celui du charbon, le seul produit qui les intéresse, augmente considérablement avec le temps. On a donc tout intérêt à carboniser très lentement, car ce que l'on perd en temps, on le gagne en profit, en bois et en main-d'oeuvre. Voici un tableau (No 15), extrait d'un travail de Senff (1), donnant les rendements en produits de distillation lente et rapide, qui confirme singulièrement cette conclusion.

Ce tableau prouve nettement qu'une carbonisation lente augmente considérablement le rendement en charbon et en sous-produits au détriment de celui en gaz, grâce à la transformation secondaire de la poix et du goudron en charbon.

Les expériences de Klason abondent dans le même sens. Le tableau No 16 présente deux de ses résultats extrêmes, obtenus par carbonisation très rapide (3 heures) et très lente (14 jours) du bouleau.

On constate que l'influence de la rapidité a été énorme sur le rendement en charbon et en goudron; le premier augmente avec la lenteur, au détriment du goudron.

Violette a trouvé que le bois de bourdaine donnait 18.9 % de son poids de charbon dans une carbonisation lente, mais seulement 9 % dans une opération rapide.

Enfin, Karsten obtenait sur 11 essences différentes, une moyenne de rendement en charbon de 25.6 % dans des carbonisations lentes, et seulement 14.4 % dans des opérations rapides.

Toutes ces données prouvent clairement qu'une distillation rapidement poussée donne toujours des rendements insuffisants en produits précieux. Au contraire, une carbonisation lente, à température aussi basse que possible, permet aux produits de se former et de se dégager sans trop d'altération par une chaleur excessive. Comme conclusion pratique, il faut donc éviter de dépasser de beaucoup le point exothermique de la réaction, c'est-à-dire ne pas dépasser 380° à 400°C, température suffisante pour une bonne carbonisation et l'obtention d'un charbon assez riche pour la plupart des usages ordinaires, avec une teneur de plus de 70 à 80 % de carbone.

(1) Ber. 18, 60 (1885)

Tableau No 15.- Rendement pour 100 kg de bois séché à l'air (d'après Senff).

Espèce de bois	Opération	Distillat total kg	Goudron kg	Pyroligneux			Char- bon kg	Gaz kg
				Poids kg	Teneur en acide %	Acide (poids) kg		
Aulne (tronc écorcé)	Lente	50.53	6.39	44.14	13.08	5.77	31.56	17.71
	rapide	47.76	6.06	40.70	10.14	4.13	21.11	31.13
Bouleau (tronc sain)	Lente	51.05	5.46	45.59	12.36	4.63	29.24	19.71
	rapide	42.98	3.24	39.74	11.16	4.43	21.46	35.56
Sorbier (tronc sain)	Lente	51.54	7.43	44.11	12.60	5.56	27.84	20.62
	rapide	46.40	6.41	39.99	10.41	4.16	20.20	33.40
Hêtre (tronc sain)	Lente	51.65	5.85	45.80	11.37	5.21	26.69	21.66
	rapide	44.35	4.90	39.45	9.78	3.86	21.90	33.75
Hêtre (branches saines)	Lente	49.89	4.81	45.08	11.40	5.14	26.90	23.92
	rapide	43.14	2.90	40.24	10.89	4.38	21.30	35.56
Peuplier (tronc sain)	Lente	47.44	6.19	40.54	12.57	5.10	25.47	27.09
	rapide	46.36	6.91	39.45	11.04	4.36	21.33	32.31
Hêtre (branches échauffées)	Lente	51.31	3.56	47.75	10.08	4.81	23.23	25.46
	rapide	47.32	5.99	41.33	8.88	3.67	20.98	31.70
Chêne (tronc sain)	Lente	48.15	3.70	44.45	9.18	4.08	34.68	17.17
	rapide	45.24	3.20	42.04	8.19	3.44	27.73	27.03
Sapin (tronc sain)	Lente	45.37	4.42	40.95	6.66	2.73	30.27	24.36
	rapide	51.75	9.77	41.98	5.70	2.39	24.18	24.07
Mélèze (tronc sain)	Lente	51.61	9.30	42.31	6.36	2.69	26.74	21.65
	rapide	43.77	5.58	38.19	5.40	2.06	24.06	32.17

Tableau No 16.- Rendement du bouleau dans une carbonisation lente et rapide

	3 heures	14 jours
	%	%
Charbon.....	25.51	39.44
Goudron.....	18.00	1.80
Acide acétique.....	6.50	6.48
Acide formique.....	0.71	0.33
Alcool méthylique....	1.49	1.41
Acétone.....	0.16	0.35
Formol.....	1.00	0.80

Influence de la composition du bois

En dehors de l'influence de la rapidité de la carbonisation, celle de l'espèce de bois carbonisé est également remarquable. D'une façon générale, les résineux donnent un plus fort rendement en charbon, calculé sur le bois anhydre enfourné, que les feuillus. D'autre part, ces derniers étant beaucoup plus denses, leur rendement, à volumes égaux, est bien supérieur, et il en est ainsi, comme nous verrons plus tard, de la qualité, particulièrement en ce qui concerne les propriétés physiques. Klason (1) a soigneusement étudié les produits de carbonisation de quatre essences: pin, sapin, bouleau et hêtre. Le tableau (No 17), extrait de son travail, fait clairement ressortir que les feuillus donnent beaucoup plus d'alcool et d'acide que les résineux, moins de charbon, et à peu près la même quantité de gaz.

Influence de la température

La température de la carbonisation est sans doute le facteur le plus important qui gouverne les propriétés physiques et chimiques du charbon de bois. D'où la nécessité impérieuse de bien la contrôler, si l'on veut obtenir un charbon de composition définie. Voilà pourquoi nous recommandons à nos charbonniers de surveiller le progrès de la cuisson au moyen d'un pyromètre électrique dont l'installation, même dans le cas des vieux fours, peut se faire facilement. (Voir le chapitre IV: Appareils et méthodes de carbonisation).

L'étude systématique classique de l'influence de la température sur la qualité et la quantité de produits de carbonisation a été faite par E. Juon (2), en distillant du bois dans un four en briques du type Schwartz. Cet auteur distingue, dans la carbonisation, six phases distinctes selon les températures. Le tableau No 18 résume ses résultats.

(1) Z. Angew. Chem. 23, 1252 (1910).

(2) Juon, E.- Stahl und Eisen, 27, 733, 771 (1907)
J. Soc. Chem. Ind. 26, 677 (1907)

Tableau No 17.- Rendement en produits de carbonisation de diverses essences.

		Pin	Sapin	Bouleau	Hêtre
		%	%	%	%
Analyse du bois traité	Eau.....	7.52	9.27	8.79	7.11
	Cendres.....	0.21	0.22	0.38	0.43
	Matières organiques	92.27	90.51	90.83	92.46
Produits obtenus:					
Charbon de bois.....		37.83	37.81	31.80	34.97
Gaz.....	CO ₂	10.13	10.30	9.96	10.90
	C ₂ H ₄	0.23	0.20	0.19	0.20
	CH ₄	0.59	0.62	0.54	0.47
	CO.....	3.74	3.76	3.32	4.22
Alcool méthylique.....		0.88	0.96	1.60	2.07
Acétone.....		0.18	0.20	0.19	0.20
Acétate de méthyle.....		0.01	0.02	0.02	0.03
Acide acétique.....		3.50	3.19	7.08	6.04
Matières organiques.....		8.03	7.75	8.15	5.89
Goudron.....		11.79	8.08	7.93	8.11
Eau.....		22.27	25.70	27.81	26.58
Pertes et erreurs.....		0.82	1.41	1.41	0.32
TOTAL.....		100.00	100.00	100.00	100.00

Tableau No 18.- Les phases de la carbonisation du bois selon Juon.

	1e phase: Désydrata- tion	2e phase: début du dé- gagement de gaz conte- nant de l'o- xygène	3e phase: début du dégagement d'hydro- gène	4e phase: dégagement d'hydro- carbures	5e phase: période de dissocia- tion	6e phase: dégagement d'hydrogène	
Température dans le four (°C.)	150-200	200-280	280-380	380-500	500-700	700-900	
Teneur en carbone du charbon de bois (%)	60	68	78	84	89	91	
Composi- tion des gaz, % en volume	Anhydride carbonique	68	66.5	35.5	31.5	12.2	0.4
	Monoxyde de carbone	30.5	30	20.5	12.3	24.5	9.6
	Hydrogène	0.0	0.2	5.5	7.5	42.7	80.7
	Hydrocarbures	2	3.3	36.5	48.7	20.4	8.7
Valeur calorifique d'un mètre cube de gaz en kg cal.	1100	1210	3920	4780	3630	3160	
Constituants condensables	eau	eau et acide acé- tique	acide acé- tique, naphtha et goudron léger	grandes quantités de gou- dron vis- queux	grandes quantités de goudron avec de la paraffine	peu de produits condensa- bles	
Quantité de gaz	très peu	modérée	considérable		faible	très faible	

Au cours de la première phase, il y a simplement évaporation de l'humidité du bois, grâce à la chaleur dégagée par la combustion d'une partie de la charge. Cette phase se déroule à une température moyenne de 170° environ et elle est caractérisée par un très faible dégagement de gaz.

La deuxième phase, de 200° à 280°, nécessite toujours de la chaleur. Le gaz formé se compose principalement d'anhydride carbonique et de monoxyde de carbone; il y a également dégagement d'un peu d'acide acétique et de matières goudronneuses.

A 280°, commence soudainement la phase de l'auto-carbonisation, la période exothermique, qui non seulement se développe sans l'apport de chaleur extérieure, mais qui fait subitement monter la température de l'intérieur du four à plus de 300°; le degré de la température finale varie selon le poids de la charge et le degré de siccité du bois. C'est au cours de cette phase, la plus importante de toutes, que le charbon de bois s'enrichit en carbone, tandis qu'il se forme des hydrocarbures, la majeure partie de l'acide acétique et des matières goudronneuses. La température finale de cette phase atteint alors 380° environ. C'est à cette température, disons vers 400° que le charbonnier a tout intérêt à interrompre son opération, après avoir continué à chauffer quelque peu pour compléter la carbonisation de façon uniforme dans toutes les parties du four. Les phases 4, 5, et 6, telles que définies par Juon, ne l'intéressent qu'indirectement; même il doit plutôt les éviter, puisque dans ces phases il y a d'abord décomposition plus profonde en hydrocarbures riches en carbone, puis dissociation, et finalement formation d'hydrogène, tout cela évidemment au détriment du charbon de bois.

Ajoutons aussi la phase du refroidissement dont l'importance n'est pas à négliger. La carbonisation terminée, on ferme le four hermétiquement. En supposant que le four soit parfaitement étanche, il se fait une pression intérieure assez considérable, due à l'accumulation de gaz hydrocarbonés qui continuent à se former pendant quelque temps après la fermeture du four. Comme Juon l'a prouvé, ces gaz très riches en carbone sont alors énergiquement adsorbés par le charbon encore chaud, où ils subissent une condensation en composés carbonés plus complexes et moins volatils. Comme résultat pratique de cette adsorption extrêmement importante, la teneur en carbone du charbon de bois augmente de 5 à 6 %. D'où l'impérieuse nécessité de toujours maintenir les fours en très bon état, car un four parfaitement étanche permet ainsi d'enrichir le charbon gratuitement en carbone, et cela sans augmenter la température de la carbonisation.

Mais la température affecte également, et cela pour beaucoup, la quantité de charbon formée. Violette (1), dans une série d'expériences très concluantes, a prouvé le rôle important joué par la température dans le phénomène de la carbonisation. Le tableau suivant (No 19) résume ses résultats.

Ce tableau démontre clairement les relations qui existent entre la température, la quantité et la composition chimique du charbon. Plus la température est élevée, plus le charbon est riche en carbone et en cendres, plus il est pauvre en hydrogène, oxygène et azote. On constate encore que les fumérons se forment par combustion incomplète à une température trop basse (en bas de 260° ou 270°), tandis que la région où se forme un bon charbon à 75 ou 80% de carbone se trouve située vers 400°, confirmant ainsi ce que nous avons

(1) Ann. Chim. 32 (III), 304 (1851)

Tableau No 19.- Rendements dans la carbonisation du bois en vase clos à diverses températures (Violette).

No	Température de carbonisation, °C.	Matières volatiles dégagées, parties en poids par 100 parties de bois anhydre	Charbon formé, parties en poids par 100 parties de bois anhydre.	Composition du charbon			
				Carbone %	Hydrogène %	Oxygène, plus azote, plus pertes %	Cendres %
1	160	2.00	98.00	47.60	6.06	46.27	0.08
2	170	5.45	94.55	47.77	6.19	45.95	0.09
3	180	11.41	88.59	48.93	5.84	45.12	0.11
4	190	18.01	81.99	50.61	5.11	44.06	0.22
5	200	22.90	77.10	51.81	3.99	43.97	0.22
6	210	26.86	73.14	53.37	4.90	41.53	0.20
7	220	32.50	67.50	54.57	4.15	41.39	0.21
8	230	44.63	55.37	57.14	5.50	37.04	0.31
9	240	49.21	50.79	61.30	5.50	32.70	0.51
10	250	51.33	48.67	65.58	3.81	28.96	0.63
11	260	58.77	41.23	67.89	5.03	26.49	0.55
12	270	62.86	37.14	70.45	4.64	24.19	0.85
13	280	63.84	36.16	72.63	4.70	22.09	0.56
14	290	65.91	34.09	72.49	4.98	21.92	0.61
15	300	66.39	33.61	73.23	4.25	21.96	0.56
16	310	67.13	32.87	73.63	3.82	21.81	0.74
17	320	67.77	32.23	73.57	4.83	21.08	0.51
18	330	68.23	31.77	73.55	4.62	21.33	0.47
19	340	68.47	31.53	75.20	4.40	19.96	0.47
20	350	70.34	29.66	76.64	4.13	18.44	0.61
21	432	81.13	18.87	81.97	2.29	14.14	1.59
22	1020	81.25	18.75	83.29	1.70	13.79	1.22
23	1110	81.60	18.40	88.13	1.41	9.25	1.19
24	1350	82.54	17.46	90.81	1.58	6.48	1.15
25	1500	82.60	17.31	94.56	0.73	3.84	0.66
26	1770	85.00	15.00	96.51	0.62	0.93	1.94

dit précédemment. Enfin, à des températures très élevées, il est possible de préparer un charbon de bois constitué presque exclusivement de carbone pur.

Mais le travail de Violette démontre encore que le charbonnier doit choisir entre la qualité et le rendement; tandis que le rendement baisse, la teneur en carbone augmente avec la température. Cet écart en direction opposée est nettement illustré par la figure 1, (de Ullmann) où la courbe en trait plein indique le pourcentage en carbone, et celle en pointillé, le rendement en charbon exprimé en pour cent, par rapport au bois anhydre. L'allure des deux courbes varie naturellement avec la vitesse que prend le bois pour traverser l'intervalle de température de 250° à 400°, mais, dans la pratique, cette variation n'est pas grande.

L'équilibre le plus avantageux se trouverait théoriquement à l'intersection des deux courbes, mais à cette température (environ 250°), la phase exothermique de

la carbonisation ne s'établit pas encore et l'on n'obtiendrait que des fumerons. Il faut donc à tout prix sacrifier le rendement en faveur de la qualité. Le charbonnier doit établir lui-même la température finale la plus avantageuse, selon la teneur

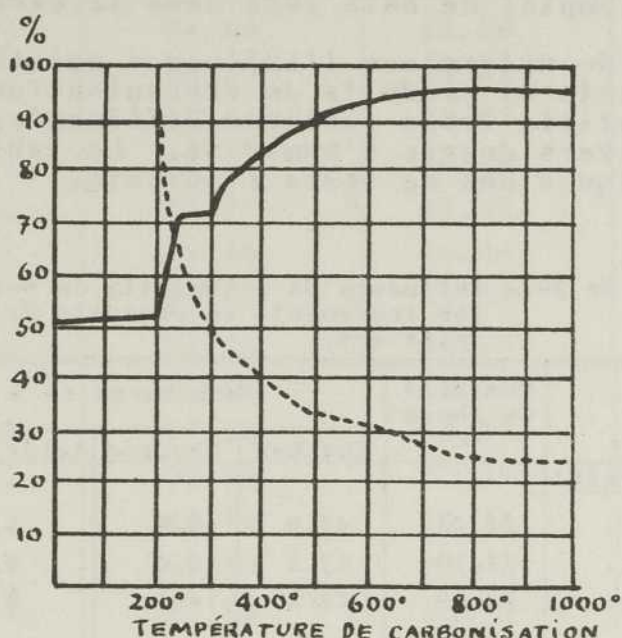


Fig. 1 Relations du rendement en charbon et de la teneur en carbone avec la température. (Reproduite de Ullmann : Enzyklopädie der technischen Chemie, 2. Aufl., Vol. VI, p. 174.)

en carbone spécifiée par l'acheteur de son charbon. Dans la majorité des cas, une température de 380° à 400° donnant un charbon de 75 à 80% de carbone, est suffisante, mais lorsqu'on lui demandera un charbon très riche en carbone et pauvre en matières volatiles (charbon à gazogène, par exemple), il devra pousser la température finale de la carbonisation à 450°.

Il est évident que la carbonisation, au fur et à mesure que la température augmente, enlève au bois et au charbon une partie de son carbone qui est transformé en monoxyde de carbone, anhydride carbonique et divers hydrocarbures volatils. Ainsi que l'a démontré Violette, cette perte est directement proportionnelle à la température: à 200°, par exemple, le poids du carbone volatilisé est le cinquième, à 250° la moitié, de 300° à 350° l'égal, et de 400° à 1500° le double de celui du carbone restant.

Influence de l'humidité du bois.

Il est presque évident que la présence d'une quantité excessive d'eau dans le bois diminue le rendement en charbon. Le rôle joué par l'humidité au cours de la carbonisation s'explique assez facilement: au contact du charbon, la vapeur d'eau se transforme en monoxyde de carbone et en hydrogène au rouge vif, en anhydride carbonique et en hydrogène au rouge sombre. Vu que dans les fours à carbonisation, la température est plutôt modérée, on admet que la dernière des deux réactions est la plus probable.

Afin d'éviter cette perte de carbone sous forme de gaz carbonique, on a donc intérêt à ne carboniser que des bois séchés à l'air, qui contiennent encore, malgré le séchage, 20 % d'eau environ. Dans certaines grandes distilleries, on sèche

le bois même totalement dans des chaufferies appropriées, mais il est évident qu'une telle opération ne peut être faite dans les conditions pratiques de nos charbonnières forestières. Voilà donc une nouvelle raison pour insister sur le grand avantage que présente l'emploi de bois secs dans la carbonisation.

Afin de déterminer l'influence nuisible de l'humidité sur les rendements en produits de carbonisation, Palmer et Cloukey (1) ont distillé trois essences différentes (hêtre, bouleau et érable) à divers degrés d'humidité. Le tableau suivant (No 20) résume quelques uns de leurs résultats.

Tableau No 20.- Influence de l'humidité du bois sur les rendements en produits de carbonisation.

	Humidité du bois %	Rendement en % de bois sec			
		Charbon	Goudron	Acide total	Alcool de bois
<u>Bois séchés à l'air:</u>					
Hêtre.....	22.25	42.0	9.8	5.0	1.7
Bouleau....	21.10	42.3	9.6	5.4	1.7
Erable.....	22.80	42.3	10.1	5.5	1.9
<u>Bois humides:</u>					
Hêtre.....	32.27	39.8	10.6	6.2	1.9
Bouleau....	26.78	42.3	10.8	5.5	1.4
Erable.....	27.03	38.9	9.7	5.5	1.8

Si l'on tient compte du fait que les différences dans le degré d'humidité ne sont pas très fortes entre les trois essences séchées et humides (l'humidité des dernières correspond à des bois après 4 à 8 mois de la coupe seulement) les différences dans les rendements en charbon sont néanmoins appréciables dans le cas du hêtre et de l'érable; pour le bouleau cependant, le rendement en charbon n'a pas été modifié.

Mais il y a encore une autre considération qui réclame l'emploi de bois aussi secs que possible pour la carbonisation. Un four chargé de bois séché à l'air contient évidemment plus de bois anhydre, c'est-à-dire plus de substance carbonée, qu'un four rempli de bois vert. Le rendement en charbon s'accroît dans les mêmes proportions, diminuant d'autant le coût de la main-d'oeuvre et les charges fixes de l'entreprise. Dans le tableau suivant (No 21), extrait d'une publication de O. Petit, on voit nettement l'avantage du bois sec sur le bois vert en comparant les rendements en charbon produit pour cent de bois sec (parties en poids) et pour cent de bois vert.

L'examen de ce tableau montre, par exemple, que le chêne, un bois relativement peu humide (en haut du tableau) donne un peu plus de charbon à l'état sec qu'à l'état vert, mais que le peuplier (en bas du tableau), un bois très humide contenant presque la moitié de son poids d'eau, fournit, à sec, presque le double de la quantité de charbon obtenue à l'état vert.

(1) J. Ind. Eng. Chem. 10, 262 (1918)

Tableau No 21.- Rendements en charbon de bois secs et verts

Essences	Rendement en poids %		
	Du bois vert en bois sec	Du bois sec en charbon	Du bois vert en charbon
Chêne.....	84.60	46.09	38.99
Orme.....	90.87	34.69	31.43
Tremble.....	87.06	34.87	30.36
Aune.....	85.10	34.40	29.27
Mélèze.....	72.17	40.31	20.09
Charme.....	83.46	34.44	28.74
Saule.....	84.97	33.74	28.67
Frêne.....	82.61	33.20	27.49
Merisier.....	81.25	32.70	26.57
Erable champêtre.	77.28	33.75	26.08
Coudrier.....	70.80	32.79	23.22
Pin sylvestre....	53.90	40.75	21.96
Bouleau.....	62.80	34.17	21.46
Erable sycomore..	62.50	33.76	21.10
Cornouiller sanguin	56.20	33.36	18.76
Tilleul.....	54.69	31.85	17.42
Peuplier.....	54.55	31.12	16.98

Bilan thermochimique de la carbonisation.

Nous avons déjà parlé de la phase exothermique de la carbonisation du bois. Son importance mérite une considération plus détaillée au point de vue thermochimique.

Notons d'abord qu'elle présente le type d'une véritable distillation avec abondante formation de vapeurs d'eau qui se condensent sur les parois intérieures du four, le rendant plus étanche et augmentant ainsi la pression interne. Grâce à cette pression subite qui peut même provoquer des explosions sérieuses, les réactions de la décomposition du bois subissent des modifications profondes, ce qui est clairement démontré par l'analyse des produits gazeux, avant, pendant et après la phase exothermique; la voici:

	<u>Avant et après</u>	<u>pendant</u>
Anhydride carbonique	19 %	51 %
Oxygène	0 %	0 %
Monoxyde de carbone	6 %	29 %
Azote et méthane	75 %	20 %

Afin d'examiner cette curieuse réaction de plus près, Klason (1) a étudié la thermochimie de plusieurs essences. Le tableau No 22, emprunté à son travail, reproduit les résultats obtenus avec le bouleau, distillé pendant 8 heures à pression ordinaire.

(1) Z. Angew. Chem. 22, 1205 (1909); 23, 1252 (1910)

Tableau No 22.- Thermochimie de la distillation du bois de bouleau

Produits	%	Chaleur de combustion en Calories		Chaleur absorbée en calories, par quantité de produit formé en % en poids
		par kg	par quantité de produit formé en % en poids	
Charbon de bois..	30.85	7,860	2,428.3	20.1
Goudron.....	16.94	6,053	1,025	40.2
Acide acétique...	6.77	3,500	237	14.3
Acide formique...	0.61	1,341	8.2	1.4
Alcool méthylique	1.49	5,310	79.1	5.8
Acétone.....	0.20	7,300	14.6	1.1
Formaldéhyde.....	1.00	4,566	45.7	5.6
Dioxyde de carbone	10.17			6.1
Monoxyde de "	3.57	2,430	86.8	2.4
Méthane.....	0.98	13,060	128	1.8
Ethylène.....	0.25	11,860	29.6	0.3
Huiles volatiles.	3.00	7,875	236.3	7.1
Matières organiques non déterminées.	3.69	8,598	317.3	8.8
Eau.....	20.48			147.5
Somme.....	100.00		4,636.4	262.5
Bois de bouleau..		4,895		100.6

Tous les résultats que donne ce tableau sont calculés pour 1 kg de bois à la température exothermique (275°). Vu que la chaleur de combustion du bouleau est de 4,895 calories, et que 100.6 calories sont nécessaires pour le porter à 275°, la chaleur totale entrant en jeu égale 4,995.6 calories. En faisant un calcul semblable pour les produits de distillation, on obtient:

$4,636.4 + 262.5 = 4,898.9$ calories. La chaleur totale libérée est donc de:

$4,995.6 - 4,898.9 = 96.7$ calories.

D'autre part, la chaleur de réaction est de

$$4,895 - 4,636.4 = 258.6 \text{ calories}$$

Voici maintenant les résultats que Klason (1) donne pour quelques autres essences (tableau No 23) :

(1) Z. angew. Chem. 23, 1256 (1910)

Tableau No 23.- Thermochimie de la distillation de divers bois

Essence	Chaleur de combustion, en cal.	Chaleur de combustion des produits, en cal.	Chaleur absorbée par les produits en cal.	Chaleur libérée en cal.	Chaleur libérée exprimée en % de la chaleur de combustion du bois, en cal.
Pin	5070	4605.6	241.1	316.6	6.3
Epinette	4910	4547.2	233.0	223.3	4.6
Bouleau	4910	4470.4	243.6	289.3	5.9
Hêtre	4790	4322.5	245.3	315.5	6.6

(Klason (1) nous présente encore un bilan thermochimique complet pour le bouleau distillé à diverses vitesses, qui se lit ainsi : (tableau No 24).

Tableau No 24.- Bilan thermochimique de la distillation du bois de bouleau

	Pression ordinaire. Temps de carbonisation : 8 heures	Pression ordinaire. Temps de carbonisation : 14 jours
Chaleur de réaction, Cal.	+ 258.8	+ 340.0
En % de la chaleur de combustion du bois.	+ 5.3	+ 7.1
Chaleur libérée, Cal.	+ 96.7	+ 169.2
En % de la chaleur de combustion du bois.	+ 2.0	+ 3.5
Eau formée au cours de la combustion, %..	20.5	26.1
Anhydride carbonique formé, %.....	10.2	12.7

Klason en conclut que les quantités d'eau et d'anhydride carbonique formées sont, au point de vue thermique, les facteurs prépondérants de la distillation.

La chaleur libérée (2 à 3 % de la chaleur de combustion du bois) au cours de la phase exothermique, joue un rôle de premier plan, car elle sert surtout à sécher et à préchauffer le bois. D'où encore une fois la nécessité de ne pas employer des bois verts trop humides, si on veut réellement profiter de la chaleur libérée d'une façon économique. Les calculs de Klason montrent que, théoriquement parlant, la chaleur libérée par la réaction exothermique est presque suffisante pour accomplir la carbonisation du bois sans l'apport de chaleur extérieure. Cela, bien entendu, à la condition d'avoir des fours parfaitement calorifugés, ce qui n'existe pas en réalité. En pratique, le charbonnier est donc obligé de sacrifier, c'est-à-dire de brûler, de 15 à 25 % du bois enfourné, pour porter la charge à la température de la phase exothermique et pour terminer ensuite la carbonisation. La quantité de bois brûlé dépend donc en grande partie de l'état du four, de son épaisseur, de sa calorifugation.

(1) Klason : 1. c.

Les travaux de Klason nous font comprendre encore pourquoi une température finale de 400° est à peu près le maximum d'une température économique, car, une fois la phase exothermique passée (vers 380°), la réaction redevient endothermique, de sorte que la production d'un charbon cuit à une température supérieure à 400° coûterait beaucoup plus de combustible au détriment du rendement en charbon.

En résumant ce que nous avons vu dans ce chapitre, on peut dire que les principaux facteurs qui règlent le rendement et la qualité du charbon de bois sont la durée de la carbonisation et la température finale. La vigueur de la réaction dépend surtout de la teneur en humidité du bois enfourné, tandis que la teneur en carbone du charbon dépend de la température finale de la carbonisation.

CHAPITRE III

Les charbons de bois du Québec

Dans le but de connaître la qualité des charbons de bois produits dans la province de Québec au moyen de l'équipement et des méthodes actuellement en usage, nous avons soumis à l'analyse un certain nombre d'échantillons provenant des plus importants centres de production.

Les échantillons de charbon furent prélevés soit dans le four après le refroidissement, soit dans les sacs après le défournement, en même temps qu'on notait tous les renseignements nécessaires concernant le four, le bois, le rendement, la méthode et les conditions de la carbonisation. Les échantillons, placés dans des sacs de papier, furent exposés à l'air pendant au moins 48 heures, envoyés au laboratoire et immédiatement pulvérisés et partagés à la main selon la méthode standard décrite par Scott (1), puis conservés dans des récipients métalliques hermétiquement fermés jusqu'au moment de l'analyse.

Voici la liste des déterminations faites sur la plupart des échantillons:

- Poids au litre de la poudre non foulée
- Poids au litre de la poudre foulée
- Densité apparente
- Densité réelle
- Porosité
- Résistance à l'écrasement
 - a) en direction perpendiculaire aux fibres
 - b) en direction parallèle aux fibres
- Chaleur de combustion
- Humidité
- Cendres
- Carbone
- Hydrogène
- Azote
- Soufre
- Oxygène
- Indice de coke
- Matières volatiles
- Carbone fixe

Tous les résultats analytiques ont été calculés sur la base de l'échantillon tel que reçu ("as received basis"), c'est-à-dire qu'ils correspondent au charbon de bois tel que vendu dans le commerce et à son véritable degré d'hydratation. Ils tiennent donc compte de l'absorption assez considérable d'humidité atmosphérique au cours des premières 48 heures après le défournement.

(1) Scott, W.W.- Standard Methods of Chemical Analysis, Volume II, p. 1616-1618; New York, 1927.

I. Méthodes analytiques

Poids au litre de la poudre non foulée.

Au moyen d'une cuillère à manche plat, on remplit, mesure rase, un récipient cylindrique de forme haute et d'une capacité de 1000cc exactement, avec de la poudre de charbon tamisée au tamis de 60 mailles au pouce, et on pèse en prenant soin de ne pas fouler la poudre par des secousses brusques au cours du remplissage et de la pesée.

Poids au litre de la poudre foulée.

On procède tel que décrit dans la méthode précédente, mais après l'addition de chaque cuillerée de charbon, on fait subir au récipient deux vigoureux coups sur le coin de la table.

Densité apparente.

On pèse un bloc de charbon de bois aussi peu fendillé que possible. On le trempe dans de la paraffine fondue afin de le recouvrir d'une mince couche de paraffine et de le rendre imperméable à l'eau. On détermine ensuite le volume de l'eau déplacée par ce bloc à l'aide de la balance de Mohr.

Densité réelle.

Il n'y a pas de méthode standard pour la détermination de la densité réelle du charbon de bois, opération plutôt difficile en raison de la forte porosité du charbon. Nous avons adopté une méthode décrite par Tschapek (1) qui nous a donné de bons résultats.

On place environ 1 g (pesé exactement) de charbon absolument sec dans un picnomètre pesé, on recouvre le charbon d'un peu d'eau, on place le tout dans un dessiccateur à vide dans lequel on fait un très bon vide (au-dessous de la pression de la vapeur d'eau) au moyen d'une pompe à l'huile. Lorsqu'on ne voit plus de bulles d'air sortir du liquide, c'est-à-dire au bout d'environ 3 à 4 heures, on retire le picnomètre, on le remplit d'eau jusqu'à la marque et on pèse de nouveau à la température de 15°.

Nous avons constaté que cette méthode originale de Tschapek peut être avantageusement modifiée en opérant avec du charbon humide tel que reçu. La détermination est plus facile et les pores du charbon s'emplissent plus rapidement. Dans ce cas, on doit évidemment tenir compte du pourcentage de l'humidité présente dans le calcul.

La densité réelle se calcule d'après la formule suivante :

$$d = \frac{P_2}{P_1 + P_2 - P_3} d_0$$

où d = densité réelle
P₁ = poids du picnomètre rempli d'eau
P₂ = poids du charbon en poudre placé dans le picnomètre
P₃ = poids du picnomètre contenant le charbon et rempli
d₀ = densité du liquide employé (pour l'eau : d₀ = 1)

(1) Kolloid Zeitschrift, 63, 34 (1933)

Porosité

Le degré de porosité du charbon de bois peut être calculé à partir de ses densités apparente et réelle. Si, dans une unité de volume de charbon dont les pores sont débarrassés des gaz occlus, nous avons x unités de volume de pores et (1 - x) unités de volume de masse de charbon, nous avons, en plongeant le charbon dans l'eau, l'équilibre hydrostatique suivant :

$$0.0013x + A(1 - x) = B$$

où 0.0013 est le poids spécifique de l'air (eau = 1)

A est le poids spécifique de la masse de charbon, et

B est le poids spécifique d'un morceau de charbon poreux.

La porosité x, calculée au pourcentage, est alors :

$$x = \frac{(A - B) 100}{A - 0.0013}$$

Vu que, dans les déterminations de routine des densités apparentes et réelles, on se contente de deux décimales, on peut facilement éliminer, sans faire une erreur substantielle, 0.0013 de la deuxième expression. La porosité x se calcule donc de façon suffisamment précise d'après la formule suivante:

$$x = \frac{(A - B) 100}{A}$$

où A est la densité réelle, et

B est la densité apparente.

Résistance à l'écrasement.

La résistance à l'écrasement étant une propriété importante pour les charbons de bois destinés à l'usage dans les industries métallurgiques, nous l'avons déterminée perpendiculairement et parallèlement aux fibres, dans la machine d'Amsler du Département de Métallurgie de la Faculté des Sciences de l'Université Laval.

On place un cube de charbon de 1 cm de côté sur le porte-échantillon de la machine qui possède un écraseur en forme de demi-sphère pour compenser le manque de parallélisme des deux surfaces qui subissent la pression. Les arêtes verticales du cube doivent être aussi parallèles que possible.

L'écart entre les résistances de plusieurs cubes taillés dans le même échantillon de charbon est souvent très grand. Cela est dû au manque d'homogénéité du charbon et à la présence de petites fissures invisibles à l'oeil nu. Voilà pourquoi on doit choisir des cubes aussi parfaits que possible.

En ce qui concerne les détails de la méthode opératoire, voir les instructions du constructeur de la machine Amsler.

Chaleur de combustion.

La chaleur de combustion des échantillons pulvérisés et tamisés au tamis de 100 mailles au pouce a été déterminée au moyen d'une bombe calorimétrique au peroxyde de Parr. On a suivi les instructions fournies par les constructeurs de l'appareil en ce qui concerne l'opération et les corrections. Les résultats sont présentés en calories par gramme de charbon et en B.t.u. par lb. Les derniers ont été calculés en multipliant les calories par 1.8.

Humidité.

Nous avons suivi la méthode officielle de l'A.S.T.M. (1). A l'aide d'une spatule, on place 4 g de l'échantillon tel que reçu, pulvérisé et passé au tamis de 100 mailles, dans un verre à peser large, en prenant soin que le charbon soit exposé à l'air le moins longtemps possible. On met le tout dans une étuve à température constante (105°- 110°) et on l'y laisse jusqu'à poids constant.

Selon les suggestions données par les auteurs de la méthode, nous remplacions d'abord l'atmosphère ordinaire dans l'étuve par de l'azote, afin d'éviter l'oxydation du charbon au cours du séchage. Mais de nombreux essais nous ont démontré que cette précaution, bonne pour le charbon minéral, n'est pas recommandable pour le charbon de bois, qui adsorbe l'azote assez énergiquement. Nous avons donc supprimé l'azote, mais, pour diminuer les chances d'oxydation par l'air, nous avons réduit la durée du séchage à l'air au strict minimum, c'est-à-dire, une heure. Les essais préliminaires nous ont en effet prouvé que le séchage à l'air pendant exactement une heure à la température indiquée, donne les meilleurs résultats. Après une heure, le poids reste pratiquement constant, ce qui indique que le gain de poids dû à l'oxydation spontanée du charbon compense la très faible quantité d'humidité qu'il pourrait encore y avoir.

La limite d'erreur permise selon cette méthode est de 0.2 %.

Indice de coke.

Selon la méthode décrite par Post et Neumann (2), on place l'échantillon qui a servi au dosage de l'humidité, dans un creuset de 3.5 cm de haut et d'au moins 2 cm de diamètre à la base, et possédant un couvercle très bien ajusté. On place le creuset couvert sur un triangle de fil métallique fin, au-dessus d'un bec Bunsen dont l'orifice est à 3 cm du fond du creuset. La flamme du brûleur doit avoir au moins 18 cm de hauteur. On chauffe le creuset jusqu'à ce que les gaz s'échappant entre le creuset et le couvercle cessent de brûler en produisant une flamme éclairante. La fin de l'essai est indiquée par la disparition de la flamme éclairante. On laisse refroidir le creuset couvert dans le dessiccateur et on pèse le résidu considéré comme coke.

Cendres.

D'après la méthode officielle de l'A.S.T.M. (3), on place le creuset contenant le résidu de la détermination de l'indice de coke dans un four électrique porté à la température constante de 750° et on l'y laisse jusqu'à ce que son poids ne

(1) Book of A.S.T.M. Standards, 1933, p. 278.

(2) Analyse chimique, Tome I, fascicule 1, p. 45.

(3) Book of A.S.T.M. Standards, 1933, p. 279.

varie pas plus de 0.5 mg dans une heure, ce qui, d'ordinaire, arrive après 5 ou 6 heures de calcination.

La limite d'erreur permise est de 0.2 %.

Matières volatiles.

Les matières volatiles peuvent être calculées selon la formule :

$$\text{Matières volatiles} = 100 - (\text{indice de coke} + \text{humidité})$$

Dans de nombreux cas, nous avons cependant expérimentalement vérifié le calcul, en suivant la méthode officielle de l'A.S.T.M. (1).

On place 1 g de l'échantillon préalablement séché dans l'étuve à 105°-110°, dans un petit creuset de porcelaine bas et large de capacité de 20 cc, recouvert d'un couvercle bien ajusté. On introduit le creuset couvert dans un four électrique vertical maintenu à 950°, et on l'y laisse pendant exactement sept minutes. Le four est fermé de façon étanche et on contrôle la température au moyen d'un pyromètre électrique; elle ne doit pas varier de plus de 15°.

La perte de poids subie au cours de cette carbonisation rapide constitue les matières volatiles.

Carbone fixe.

On obtient le carbone fixe en soustrayant les cendres de l'indice de coke.

Carbone et hydrogène.

Nous avons déterminé la teneur en carbone et en hydrogène en soumettant les échantillons à la combustion sur une grille chauffée au gaz, et en suivant les recommandations données par l'A.S.T.M. (2).

Azote.

Ce dosage fut effectué selon la méthode de Kjeldahl-Gunning, adoptée par l'A.S.T.M. (3).

Soufre.

Nous avons déterminé le soufre dans plusieurs échantillons de charbon de bois, en soumettant les eaux de lavage de la bombe calorifique à l'analyse dans un turbidimètre Parr, selon les instructions fournies par le constructeur. Mais, après avoir constaté que la teneur en soufre de nos charbons de bois est presque constante et toujours faible (en bas de 0.1%), nous avons renoncé à faire ces dosages sur tous les échantillons, en raison du peu d'intérêt que ces résultats auraient apporté au point de vue pratique. Une remarque analogue s'applique d'ailleurs aux halogènes dont la présence dans nos charbons de bois ne dépasse guère des traces.

(1) Book of A.S.T.M. Standards, 1933, p. 240
(2) id p. 295
(3) id p. 300

Oxygène.

Sans tenir compte de la très faible erreur commise en négligeant de considérer le soufre et les halogènes, l'oxygène a été calculé par différence de la façon suivante :

$$\text{Oxygène} = 100 - (\text{carbone} + \text{hydrogène} + \text{azote} + \text{cendres})$$

Remarques :

Dans la majorité des cas, les déterminations physiques et chimiques ont été exécutées en triple, et les résultats enregistrés représentent généralement la moyenne de trois prises.

2. Les résultats.

Les résultats analytiques, ainsi que les renseignements statistiques concernant les fours, les essences brûlées, les conditions et le rendement de la carbonisation, sont compilés dans le grand tableau hors-texte (No 25), inséré dans la pochette de la troisième page de la couverture.

Les détails donnés dans ce tableau sont suffisamment précis et ne nécessitent pas d'autres explications. Ajoutons cependant que les échantillons Nos 1 à 18 en tête du tableau proviennent de carbonisations expérimentales faites dans les divers types de fours métalliques appartenant au Ministère des Terres et Forêts. Tous les autres échantillons figurant au tableau proviennent de fours particuliers situés dans les plus importants centres de production; ils représentent donc le type de charbon de bois commercial, tel qu'actuellement produit dans la province de Québec.

3. Discussion des résultats.

L'interprétation du tableau No 25 nous permet de conclure comme suit.

Fours.

Les fours en briques sont incontestablement à l'honneur dans la province de Québec. Très peu de fours métalliques, en ciment ou en pierres sont en opération.

A l'exception de quelques rares fours de 30 à 90 cordes (1) de capacité appartenant à des établissements purement commerciaux, la capacité moyenne des fours, opérés plutôt occasionnellement par des colons et cultivateurs, est de 12 cordes.

L'état des fours laisse trop souvent à désirer. Un four non étanche veut dire : perte de temps, de charbon et de profit. Nous recommandons donc aux propriétaires de faire les réparations nécessaires et de maintenir leurs fours en parfaite condition.

Bois carbonisés.

Dans la majorité de nos charbonnières, on brûle exclusivement des bois francs; seuls quelques établissements, situés principalement dans le comté de Lotbinière, ont l'habitude d'enfourner un certain pourcentage de résineux. Cette

(1) A moins d'indication contraire, la corde considérée dans ce travail est la corde standard de 128 pieds cubes.

habitude dépend sans doute de conditions forestières locales.

Très généralement le bois provient des terres privées des colons et cultivateurs. Jusqu'ici, très peu de bois extrait des forêts de la couronne a été carbonisé. Cette habitude devrait pourtant se généraliser chez nous. Des petits établissements de carbonisation semi-stationnaires ou entièrement mobiles devraient suivre en grand nombre les exploitations forestières des grandes compagnies de pulpe et de papier, et carboniser économiquement les menus déchets, particulièrement les bois francs, laissés par elles.

Nos charbonniers brûlent généralement des rondins et des billots non fendus et non écorcés de tout diamètre. Cette pratique n'est pas tout à fait irréprochable, car l'enfournement simultané de gros bois de 24 à 36" de diamètre à côté de petits rondins et de bois de branches, conduit sûrement à la combustion trop avancée du petit bois (perte de charbon) et à la combustion incomplète des grosses bûches (beaucoup de fumérons ou "corbeaux"), de sorte que le rendement en bon charbon de composition homogène est grandement diminué. Nous recommandons donc fortement de fendre les gros billots de 6" ou plus; la peine est plus que récompensée par le rendement et la qualité du charbon. La majorité de nos charbonniers brûlent du bois de 36" de longueur. Cette habitude nous paraît bonne, car le chargement du four est sûrement plus compact et uniforme qu'avec du bois de 4 pieds.

En ce qui concerne l'état du bois enfourné, nos charbonniers brûlent presque exclusivement du bois vert. Nous avons déjà signalé dans un chapitre précédent le grand avantage qu'il y aurait de carboniser du bois sec. L'état de santé du bois carbonisé n'est généralement pas trop mauvais, mais il y a quelques charbonniers qui enfournent un trop fort pourcentage de bois échauffé ou à cœur pourri. Il est recommandable de n'enfournier pas plus de 10 % de bois malade, vu que le rendement et la qualité du charbon dépendent, dans une large mesure, de la santé du bois.

Conditions de carbonisation.

a) Durée de la combustion, par corde de bois enfourné :

Moyenne sur 70 carbonisations.....	10.7 heures
Maximum (No 108, vieux four non étanche).....	23.4 "
Minimum :	
pour un grand four de 90 cordes (No 89)....	1.6 "
pour les fours ordinaires de la classe des 10 cordes (No 98)....	4.0 "

b) Durée du refroidissement, par corde de bois enfourné :

Moyenne sur 69 carbonisations.....	11.4 heures
Maximum (No 106, vieux four non étanche).....	38.0 "
Minimum :	
pour un grand four de 90 cordes (No 89)...	2.3 "
pour les fours ordinaires (No 21, four peu étanche)....	6.0 "

Le grand écart que l'on observe dans la durée de la combustion et du refroidissement dépend donc principalement de l'étan-

chêité des fours.

Produits de carbonisation.

a) Rendement en cendres, par corde de bois enfourné :

Moyenne sur 48 carbonisations.....	23.6 lbs
Maximum (No 37, carbonisation rapide et sans surveillance).....	61.2 lbs
Minimum :	
pour un grand four de 90 cordes (No 89).....	7.0 lbs
pour les fours ordinaires (No 58, car- bonisation bien conduite)....	9.3 lbs

On constate donc que le rendement en cendres (preuve d'une combustion trop avancée) augmente avec le défaut de surveillance. Conclusion : un bon charbonnier ne quitte jamais son four .

b) Rendement en fumerons, par corde de bois enfourné :

Moyenne sur 44 carbonisations.....	0.08 cord
Maximum (No 26, carbonisation sans surveil- lance, four fermé trop vite)	0.21 "
Minimum :	
pour un four de 90 cordes (No 89).....	0.008 "
pour les fours ordinaires de la classe de 10 cordes (No 56, carbonisation bien con- duite, mais très mauvaise qualité de bois).....	0.018 "

Conclusion : pour éviter un gros rendement en "corbeaux", surveillez le four et ne le fermez pas trop tôt. Une carbonisation bien conduite, même avec une mauvaise qualité de bois, ne donne presque pas de fumerons (v. No 56).

c) Rendement en bon charbon, par corde de bois enfourné :

Moyenne sur 56 carbonisations.....	707 lbs
Maximum (No 116, four du type amélioré, par- faitement étanche).....	1080 lbs
Minimum :	
pour les fours de la classe des 3 cordes (No 61, mauvaise qualité de bois).....	320 lbs
pour les fours de la classe des 10 cordes (No 56, mauvaise qualité de bois).....	590 lbs

Ces chiffres démontrent qu'à part de la température finale (voir chapitre précédent), l'étanchéité du four et la qualité du bois sont les plus importants facteurs gouvernant le rendement en charbon. Un rendement moyen de 700 lbs par corde tel qu'obtenu actuellement, n'est pas tout à fait satisfaisant. Avec un four en parfait état, une qualité raisonnable de bois et une étroite surveillance de la carbonisation, le rendement moyen par corde de bois vert devrait facilement atteindre 800 lbs et il pourrait même monter, dans des conditions idéales, à 1000 lbs (voir No 116).

Propriétés physiques du charbon de bois.

a) Poids au litre de la poudre de charbon.

La densité apparente du charbon de bois est une des propriétés les plus importantes déterminant sa valeur pour l'usage dans certaines industries. Vu que, d'autre part, sa détermination exige un équipement de laboratoire assez dispendieux et des connaissances techniques spéciales, nous avons appliqué une méthode excessivement simple, permettant au charbonnier de déterminer lui-même, avec une approximation suffisante, la densité apparente, en contrôlant le poids au litre de la poudre de charbon foulée et non foulée. Pour ce faire, un pulvérisateur, un tamis de 60 mailles au pouce, une balance de cuisine un peu précise (indiquant par exemple, le dixième d'une once (1)), et un récipient de forme haute contenant exactement un litre (2), sont tout ce qu'il faut pour exécuter ce travail. La méthode à suivre est décrite au début du présent chapitre. Afin d'obtenir des résultats comparables, il est très important d'éliminer autant que possible les pores du charbon, c'est-à-dire de le réduire en fine poudre passant au tamis de 60 mailles.

Si nous examinons maintenant le poids au litre de la poudre de charbon non foulée (voir tableau No 25), nous pouvons résumer les données obtenues dans le tableau suivant (No 26) :

Tableau No 26.- Poids au litre, maximum, minimum et moyen, de la poudre de charbon non foulée, par groupes de bois.

Charbon de	Nombre d'échantillons	Poids au litre de la poudre non foulée, g	No de l'échantillon	Essence	Remarques
Tous bois:					
Moyenne	99	324.7	-	-	
Maximum		452.1	24	hêtre	carbonisation lente
Minimum		139.1	70	cèdre	carbonis. bien conduite
Feuillus:					
Moyenne	94	330.8	-	-	
Maximum		452.1	24	hêtre	carbonisation lente
Minimum		146.3	88	tremble	
Résineux:					
Moyenne	5	208.4	-	-	
Maximum		260.9	76	pruche	coeur pourri
Minimum		139.1	70	cèdre	carbonisation bien conduite

Par ordre décroissant des poids au litre moyens, nous pouvons grouper les essences individuelles telles que présentées dans le tableau No 27.

(1) 1 once = 28,35 grammes (g).

(2) On peut également se servir d'une boîte dont le volume intérieur mesure exactement un pied cube. On obtiendra alors le poids de la poudre au pied cube. Un pied cube = 28.32 litres.

Tableau No 27.- Poids au litre maximum, minimum et moyen, de la poudre de charbon non foulée, par essences.

ESSENCE (1)	MOYENNE		MAXIMUM		MINIMUM	
	Nombre d'échantillons	Poids au litre de la poudre non foulée, g	No de l'échantillon	Poids au litre de la poudre non foulée, g	No de l'échantillon	Poids au litre de la poudre non foulée, g
Ostryer	1	386.7	-	-	-	-
Hêtre	5	382.4	100	290.6	24	452.1
Orme	3	361.1	121	376.4	114	345.2
Merisier	15	343.6	105	411.4	85	239.8
Bouleau	3	321.6	84	331.7	90	307.5
Erable	12	306.1	111	393.0	103	226.7
Plaine	8	295.4	77	371.9	104	174.2
Pruche	1	260.9	-	-	-	-
Frêne	5	247.1	54	294.2	74	169.3
Aulne	3	246.4	73	270.8	83	215.3
Cormier	1	242.5	-	-	-	-
Epinette	1	240.8	-	-	-	-
Pin	1	221.0	-	-	-	-
Tremble	4	199.0	14	252.0	88	146.3
Sapin	9	189.0	16c	215.0	16a	172.0
Cèdre	1	139.1	-	-	-	-

(1) Pour plus de commodité, nous donnons ici les numéros des échantillons de charbon composés d'une seule essence, ainsi que, là où c'est possible, une définition plus précise des espèces mentionnées dans ce tableau et les tableaux subséquents :

Espèce	Nos des échantillons (Tableau No 25)
Aulne commun	73, 83, 120
Bouleau (blanc)	84, 86, 90
Cèdre de l'Est	70
Cormier	78
Epinette noire	75
Erable à sucre	13 (a,b,c,d,) 25, 79, 93, 94, 98, 103, 111, 118
Frêne noir	50, 54, 61, 62, 74
Hêtre	24, 82, 89, 96, 100
Merisier	9, 11, 12, 15, SR 1, 23, 71, 85, 92, 97, 101, 102, 105, 113, 117
Orme	53, 114, 121,
Ostryer	115
Pin blanc	87
Plaine (érable rouge)	77, 80, 91, 95, 99, 104, 112, 119
Pruche de l'Est	76
Sapin baumier	5, 6, 7, 8, 16 (a,b,c,d), 72
Tremble	10, 14, 81, 88

Le tableau suivant (No. 28) présente les poids au litre de la poudre foulée, par groupes de bois.

Tableau No 28.- Poids au litre maximum, minimum et moyen, de la poudre de charbon foulée, par groupes de bois.

Charbons de	Nombre d'échantillons	Poids au litre de la poudre foulée, g	No de l'échantillon	Essence	Remarques
Tous bois :					
Moyenne	98	384.6	-	-	
Maximum		520.8	82	hêtre	
Minimum		170.0	70	cèdre	Carbonisation bien conduite
Feuillus :					
Moyenne	93	391.0	-	-	
Maximum		520.8	82	hêtre	
Minimum		238.9	51	feuillus mixtes	
Résineux :					
Moyenne	5	267.9	-	-	
Maximum		307.9	76	pruche	Coeur pourri
Minimum		170.0	70	cèdre	Carbonisation bien conduite

En groupant les essences individuelles par ordre décroissant des poids au litre moyens, nous obtenons le tableau No 29.

Tableau No. 29.- Poids au litre maximum, minimum et moyen, de la poudre de charbon foulée, par essences.

Essence	MOYENNE		MAXIMUM		MINIMUM	
	Nombre d'échantillons	Poids au litre de la poudre foulée, en g	No de l'échantillon	Poids au litre de la poudre foulée, en g	No de l'échantillon	Poids au litre de la poudre foulée, en g
Ostryer	1	473.0	-	-	-	-
Hêtre	3	456.4	53	494.5	121	421.5
Orme	5	454.9	24	531.9	100	342.0
Merisier	15	405.4	SR 1	488.5	85	302.0
Bouleau	3	358.7	84	382.1	90	346.8
Erable	12	354.3	79	434.7	103	266.0
Plaine	8	344.2	95	426.6	104	231.3
Aulne	3	314.8	73	426.0	83	246.6
Pruche	1	307.9	-	-	-	-
Cormier	1	305.8	-	-	-	-
Frêne	5	301.1	54	346.7	74	207.5
Epinette	1	294.9	-	-	-	-
Pin	1	276.1	-	-	-	-
Tremble	4	246.5	14	284.0	88	198.2
Sapin	9	233.6	72	291.0	16a	203.5
Cèdre	1	170.0	-	-	-	-

La comparaison des tableaux Nos 27 et 29 montre que la densité dépend surtout des espèces, que l'ordre des essences est sensiblement la même pour les poids au litre des poudres non foulées et foulées, et que le poids des premières atteint environ 80 % des dernières. Ces deux tableaux donnent une bonne indication de la valeur relative des charbons fournis par nos diverses essences en ce qui concerne la densité.

b) Densité apparente.

L'étude de la densité apparente nous permet de tirer des conclusions plus précises sur la pesanteur relative des diverses sortes de charbon de bois. Elle est très variable, selon le pourcentage et la nature des pores qui contiennent des volumes différents d'air ou des résidus de gaz de combustion. Voilà ce qui explique pourquoi le charbon de bois surnage dans l'eau tant que ses pores retiennent les gaz, tandis que le charbon pulvérisé (sans pores) a une densité réelle plus élevée que celle de l'eau. La densité apparente est donc une valeur très intéressante au point de vue commercial et industriel.

Le tableau No 30 présente un résumé des densités apparentes, par groupes de bois, telles qu'énumérées en détail au tableau No 25.

Tableau No 30.- Densité apparente maximum, minimum et moyenne, des charbons de bois, par groupes de bois.

Charbon de	Nombre d'échantillons	Densité apparente	No de l'échantillon	Essence	Remarques
<u>Tous bois :</u>					
Moyenne	50	0.436	-	-	
Maximum		0.701	96	hêtre	bien cuit
Minimum		0.175	8	sapin	carbonisation très lente
<u>Feuillus :</u>					
Moyenne	45	0.443	-	-	
Maximum		0.701	96	hêtre	bien cuit
Minimum		0.261	54	frêne	four d'acier
<u>Résineux :</u>					
Moyenne	5	0.352	-	-	
Maximum		0.422	76	pruche	coeur pourri, bonne carbonisation
Minimum		0.175	8	sapin	carbonisation très lente.

Le tableau suivant (No 31) résume les densités apparentes par essences individuelles.

Tableau No 31.- Densité apparente maximum, minimum et moyenne, des charbons de bois, par essences.

Essence	MOYENNE		MAXIMUM		MINIMUM	
	Nombre d'échantillons	Densité apparente	No de l'échantillon	Densité apparente	No de l'échantillon	Densité apparente
Erable	4	0.501	118	0.649	13a	0.239
Hêtre	5	0.494	96	0.701	89	0.320
Bouleau	3	0.489	90	0.526	84	0.424
Merisier	13	0.449	71	0.548	101	0.302
Aulne	3	0.448	120	0.509	83	0.330
Plaine	5	0.443	99	0.577	80	0.347
Cormier	1	0.443	-	-	-	-
Pruche	1	0.422	-	-	-	-
Orme	2	0.350	53	0.361	121	0.339
Frêne	4	0.315	50	0.388	54	0.261
Epinette	1	0.315	-	-	-	-
Tremble	4	0.305	88	0.359	10	0.169
Pin	1	0.289	-	-	-	-
Cèdre	1	0.268	-	-	-	-
Sapin	5	0.204	5	0.228	8	0.175

En nous basant sur les moyennes observées pour chaque essence, on obtient les rapports suivants, si nous mettons la plus faible moyenne égale à 1 :

Sapin	1
Cèdre	1.31
Pin	1.41
Tremble	1.49
Epinette	1.54
Frêne	1.54
Orme	1.71
Pruche	2.07
Cormier	2.17
Plaine	2.17
Aulne	2.19
Merisier	2.20
Bouleau	2.39
Hêtre	2.42
Erable	2.45

Ces rapports indiquent, par exemple, qu'un pied cube de charbon de hêtre ou d'érable pèse environ $2\frac{1}{2}$ fois plus qu'un égal volume de charbon de sapin de la même grosseur.

D'autre part, les tableaux Nos 30 et 31 prouvent que, pour la même essence, la densité apparente varie dans de grandes limites. Cela veut dire que l'espèce n'est pas le seul facteur déterminant la densité apparente du charbon. Voici, d'après Mariller (1), les facteurs qui influencent le poids du charbon.

(1) Mariller, Ch. : La carbonisation des bois, lignites et tourbes. Paris, Dunod, 1924.

- 1) La nature du bois et les conditions de la végétation. Règle générale, les bois durs donnent les charbons les plus denses, mais une végétation lente accroît également la densité.
- 2) La grosseur des morceaux de charbon, c'est-à-dire la proportion de menus, moyens et gros morceaux dans un mélange de charbon commercial.
- 3) La teneur en eau qui, évidemment, augmente la densité apparente.
- 4) Les conditions de la carbonisation. Une opération lente et régulière donne le meilleur rendement en poids, c'est-à-dire la plus forte densité apparente.

Si nous considérons en détail les conditions de la carbonisation des essences analysées (voir tableau No 25), nous arrivons à la conclusion que quelques espèces ne sont pas tout à fait à leur place dans l'ordre précité des densités apparentes. Pour obtenir leur ordre réel, il faudrait pouvoir faire l'échantillonnage et l'analyse du charbon de diverses espèces carbonisées exactement dans les mêmes conditions, ce qui est pratiquement impossible, car les méthodes de carbonisation varient d'un charbonnier à l'autre. De plus, il faudrait que les espèces considérées aient eu les mêmes conditions de végétation, et que les charbons respectifs titrent le même degré d'humidité et soient de la même grosseur. Si on pouvait remplir toutes ces conditions à la fois, nous croyons que la moyenne des densités apparentes de nos charbons de bois suivrait le même ordre que les densités apparentes de nos essences, telles qu'indiquées au tableau No 12.

c) Densité réelle.

La véritable densité de la masse du charbon de bois, c'est-à-dire du charbon pulvérisé débarrassé de ses pores et des gaz occlus, est toujours supérieure à celle de l'eau et elle varie beaucoup moins que la densité apparente. En effet, la plupart des échantillons analysés ont une densité réelle variant de 1.3 à 1.5. Les tableaux Nos 32 et 33 contiennent des indications plus détaillées à ce sujet.

Tableau No 32.- Densité réelle maximum, minimum et moyenne, des charbons de bois, par groupes de bois

Charbon de	Nombre d'échantillons	Densité réelle	No de l'échantillon	Essence	Remarques
<u>Tous bois :</u>					
Moyenne	96	1.385	23 104	Merisier Plaine	Carbonis. très lente Vieux four non étan- /che
Maximum		1.684			
Minimum		1.033			
<u>Feuillus :</u>					
Moyenne	91	1.382	23 104	Merisier Plaine	Carbonis. très lente Vieux four non étan- /che
Maximum		1.684			
Minimum		1.033			
<u>Résineux :</u>					
Moyenne	5	1.437	72 87	Sapin Pin	Carbonisation bien /conduite
Maximum		1.500			
Minimum		1.269			

Tableau No 33.- Densité réelle maximum, minimum et moyenne, des charbons de bois, par essences.

Essence	MOYENNE		MAXIMUM		MINIMUM	
	Nombre d'échantillons	Densité réelle	No de l'échantillon	Densité réelle	No de l'échantillon	Densité réelle
Cormier	1	1.495	-	-	-	-
Cèdre	1	1.483	-	-	-	-
Epinette	1	1.474	-	-	-	-
Pruche	1	1.462	-	-	-	-
Sapin	5	1.449	16c	1.596	6	1.330
Aulne	3	1.426	120	1.559	83	1.214
Frêne	5	1.417	61	1.483	50	1.350
Orme	3	1.401	121	1.470	114	1.350
Tremble	4	1.391	14	1.493	88	1.342
Merisier	15	1.387	23	1.684	11	1.171
Hêtre	5	1.365	89	1.409	100	1.313
Erable	10	1.359	13a	1.440	118	1.244
Plaine	8	1.336	80	1.483	104	1.033
Pin	1	1.269	-	-	-	-
Bouleau	3	1.231	86	1.383	84	1.060

La comparaison des moyennes pour chaque essence nous permet d'établir les rapports suivants, en mettant la plus faible moyenne égale à 1 :

Bouleau	1.00	Frêne	1.15
Pin	1.03	Aulne	1.16
Plaine	1.08	Sapin	1.17
Erable	1.10	Pruche	1.18
Hêtre	1.11	Epinette	1.19
Merisier	1.12	Cèdre	1.20
Tremble	1.13	Cormier	1.21
Orme	1.14		

Cette échelle relative montre que la densité réelle des résineux a la tendance d'être plus forte que celle des bois durs. Ce fait est anormal et il dépend exclusivement de l'équipement et de notre méthode actuelle de carbonisation du bois vert. Les résineux carbonisant plus facilement à l'état vert, la densité réelle dépend donc bien plus du degré de perfection de la cuisson, que de la densité de l'essence carbonisée. Pour des carbonisations parfaites, la densité réelle du charbon devrait logiquement dépendre de la densité de l'essence.

Juon (1) avait obtenu les moyennes suivantes pour la densité réelle des charbons de bois russes:

bouleau 1.46 épinette 1.40 sapin 1.38

(1) 1. c.

et il a calculé la valeur théorique de la densité réelle selon la composition élémentaire des charbons. La moyenne théorique est égale à 1.53, mais, comme on peut le constater (voir tableau No 25), la majorité des échantillons analysés n'atteint pas la valeur théorique. Cela s'explique par le fait qu'il est pratiquement impossible de pousser la pulvérisation du charbon assez loin pour faire disparaître totalement la structure poreuse. Juon en a donné une preuve expérimentale, car, en augmentant le degré de finesse de la poudre, sa densité réelle s'approche de plus en plus de la valeur théorique calculée.

D'autre part, on constate que quelques échantillons, plutôt rares, dépassent cette limite théorique pour atteindre une densité réelle de 1.60, voire même 1.65. Ces cas s'expliquent par une température de carbonisation exceptionnellement élevée. En effet, Violette (1) a prouvé que la densité réelle varie peu avec les espèces, mais qu'elle est surtout affectée par la température finale de la carbonisation. Ainsi, il donne des densités réelles de 1.50, 1.40, 1.50 et 2.0 pour des charbons obtenus en vase clos à des températures de 150°, 270°, 340° et 1500° respectivement.

d) Porosité.

La porosité, valeur calculée d'après la formule donnée au début du présent chapitre, indique le pourcentage de pores contenus dans la masse de charbon. Le degré de porosité varie avec les espèces en fonction des densités apparente et réelle. Il donne une indication directe sur la masse de charbon pur, contenu dans un volume donné de charbon poreux, indication parfois importante, particulièrement en métallurgie, ainsi que dans l'industrie du charbon activé. Les tableaux No 34 et 35 présentent des données plus précises sur la variation de la porosité avec les espèces.

Tableau No 34.- Porosité maximum, minimum et moyenne, des charbons de bois, par groupes de bois.

Charbons de	Nombre d'échantillons	Volume des pores %	No de l'échantillon	Essence	Remarques
Tous bois:					
Moyenne	47	68.4			
Maximum		87.3	8	Sapin	Four métallique Carbonisation bien conduite
Minimum		47.8	118	Erable	
Feuillus:					
Moyenne	42	67.4			
Maximum		81.1	74	Frêne	Carbonis. bien conduite
Minimum		47.8	118	Erable	
Résineux:					
Moyenne	5	76.7			
Maximum		87.3	8	Sapin	Four métallique Carbonis. bien conduite
Minimum		71.1	76	Pruche	

(1) 1.c.

Tableau No 35.- Porosité maximum, minimum et moyenne, des charbons de bois, par essences.

Essence	MOYENNE			MAXIMUM		MINIMUM	
	Nombre d'échantillons	Volume des pores %	Volume de la masse de charbon %	No de l'échantillon	Volume des pores %	No de l'échantillon	Volume des pores %
Sapin	6	84.8	15.2	8	87.3	72	74.8
Cèdre	1	81.9	18.1	-	-	-	-
Épinette	1	78.6	21.4	-	-	-	-
Hêtre	4	78.0	22.0	10	87.6	88	73.2
Frêne	4	77.8	22.2	74	81.1	50	71.2
Pin	1	77.2	22.8	-	-	-	-
Orme	3	72.6	27.4	53	73.9	121	71.3
Pruche	1	71.1	28.9	-	-	-	-
Cormier	1	70.3	29.7	-	-	-	-
Plaine	5	69.2	30.8	80	76.6	99	57.9
Aulne	3	69.0	31.0	83	72.8	73	66.3
Merisier	13	68.1	31.9	101	77.9	105	61.3
Érable	3	64.1	35.9	13a	83.4	118	47.8
Hêtre	5	63.7	36.3	89	77.3	96	48.2
Bouleau	3	60.1	39.9	86	62.5	90	57.9

En résumé, on peut conclure que, d'une façon générale, le degré de porosité croît indirectement, et le pourcentage de la masse de charbon pur directement, avec la densité respective des essences. Les charbons de cèdre, de pin et de sapin contiennent donc le plus de pores et le moins de masse de charbon, tandis que l'inverse est le cas pour le hêtre et l'érable, par exemple.

e) Résistance à l'écrasement.

Une forte résistance à l'écrasement du charbon de bois est de la plus haute importance pour son usage dans les procédés métallurgiques, ainsi que, à un degré moindre, dans les gazogènes. Le degré de résistance mécanique varie énormément avec le degré de cuisson du charbon, et, bien plus encore, avec l'orientation des fibres par rapport à la force écrasante. Voilà pourquoi nous résumons dans les tableaux Nos 36 et 37 les résultats de nos observations.

Tableau No 36.- Résistance à l'écrasement des charbons de bois, par groupes de bois.

Charbon de	Direction perpendiculaire aux fibres				Direction parallèle aux fibres			
	Nombre d'échantillons	Résistance à l'écrasement, kg par cm ²	No de l'échantillon	Essence	Nombre d'échantillons	Résistance à l'écrasement, kg par cm ²	No de l'échantillon	Essence
Tous bois:								
Moyenne	43	49.1	-	-	46	297	-	--
Maximum		156	25	érable		817	SR 1	merisier
Minimum		5	70	cèdre		64	103	érable
Feuillus:								
Moyenne	37	49.7	-	-	39	327	-	--
Maximum		156	25	érable		817	SR 1	merisier
Minimum		8	54	frêne		64	103	érable
Résineux:								
Moyenne	6	28.7	-	-	7	100	-	--
Maximum		103	7	sapin		236	7	sapin
Minimum		5	70	cèdre		19	5	sapin

Tableau No 37.- Résistance à l'écrasement des charbons de bois, par essences.

Essence	Direction perpendiculaire aux fibres						Direction parallèle aux fibres					
	Moyenne		Maximum		Minimum		Moyenne		Maximum		Minimum	
	Nombre d'échantillons	Résistance, kg par cm ²	No de l'échantillon	Résistance, kg par cm ²	No de l'échantillon	Résistance, kg par cm ²	Nombre d'échantillons	Résistance, kg par cm ²	No de l'échantillon	Résistance, kg par cm ²	No de l'échantillon	Résistance, kg par cm ²
Merisier	9	59	SR 1	129	92	34	10	491	SR 1	817	85	162
Bouleau	3	56	86	90	84	37	3	406	86	580	84	240
Erable	6	114	13a	222	103	11	6	368	13a	735	103	64 (?)
Plaine	6	60	95	139	80	16	6	291	95	500	80	182
Tremble	4	20	14	28	10	10	3	268	14	375	10	182
Hêtre	2	28	100	36	89	20	3	189	82	298	100	118
Aulne	2	32	120	45	83	19	3	154	83	172	73	142
Frêne	4	17	61	23	54	8	4	153	50	253	54	102
Cormier	1	35	-	-	-	-	1	131	-	-	-	-
Sapin	3	45	7	103	6	9	3	126	7	236	5	19
Epinette	-	-	-	-	-	-	1	116	-	-	-	-
Pin	1	15	-	-	-	-	1	78	-	-	-	-
Cèdre	1	5	-	-	-	-	1	76	-	-	-	-
Pruche	1	17	-	-	-	-	1	74	-	-	-	-

Ces deux tableaux démontrent d'abord que la résistance des charbons de toutes les essences est beaucoup plus forte en direction parallèle aux fibres que perpendiculairement à celles-ci. Ensuite, on constate également un très grand écart entre les maximums et les minimums pour chaque essence. Cela est dû en premier lieu à la difficulté de couper des cubes exactement semblables et sans fissures, même invisibles à l'oeil nu, puis, au nombre relativement petit d'échantillons soumis à l'examen de la résistance, ce qui diminue le degré de précision des moyennes statistiques.

Néanmoins, les deux tableaux prouvent assez clairement que la résistance des charbons dans les deux directions augmente généralement avec la densité et la dureté des bois correspondants.

Si nous prenons maintenant la résistance à l'écrasement de la pruche comme égale à 1, nous obtenons le tableau suivant (No 38) qui indique grossièrement l'ordre relatif des essences.

Tableau No 38.- Rapport des résistances à l'écrasement des charbons de bois, par essences.

Essence	Résistance à l'écrasement		
	Direction perpendiculaire	Direction parallèle	Moyenne
Pruche	1	1	1
Cèdre	0.3	1.0	0.7
Pin	0.9	1.0	1.0
Epinette	-	1.5	-
Cormier	2.0	1.8	1.9
Aulne	1.9	2.1	2.0
Hêtre	1.6	2.6	2.1
Sapin	2.7	1.7	2.2
Tremble	1.2	3.6	2.4
Plaine	3.5	3.9	3.7
Bouleau	3.3	5.5	4.4
Merisier	3.5	6.6	5.0
Erable	6.7	4.9	5.8

A l'exception du sapin et du hêtre, déplacés pour les raisons probables ci-dessus indiquées, le rapport exprimant la résistance à l'écrasement augmente approximativement avec le carré des rapports exprimant le poids de volumes égaux des essences correspondantes.

Dans l'industrie métallurgique on exige du charbon de bois une combustion sans fumée et sans étincelles, une valeur calorifique élevée, une grande inflammabilité, mais avant tout une forte densité apparente. Ainsi, le rapport du rendement en métal, pour des volumes égaux de charbon de bois employé comme agent de réduction, en métallurgie, est de 1.5 à 1.17 pour du charbon de bouleau et de sapin respectivement, ce qui illustre clairement l'avantage des charbons plus denses. Vu que la résistance à l'écrasement augmente généralement avec la densité, on peut donc conclure, que la valeur de nos charbons de bois pour l'usage général en métallurgie augmente avec la densité et la dureté des essences carbonisées (voir les tableaux Nos 7 et 12).

f) Chaleur de combustion.

Le charbon de bois étant employé essentiellement comme combustible, sa valeur calorifique est évidemment l'un des plus importants critères de qualité. La chaleur de combustion dépend exclusivement de sa teneur en carbone et en hydrogène, laquelle, de son côté, est conditionnée par la température finale de la carbonisation. Ainsi, en réglant la température de façon convenable, il est possible de préparer un charbon de bois d'une valeur calorifique donnée.

Connaissant la composition chimique du charbon, on peut calculer approximativement sa valeur calorifique en appliquant la formule de Dulong :

$$h = 81 C + 290 \left(H - \frac{O}{8} \right)$$

où h = chaleur de combustion en kg calories,

C, H et O = teneurs pour 100 en carbone, hydrogène et oxygène respectivement.

Afin d'obtenir des données plus précises, nous l'avons déterminée expérimentalement selon la méthode indiquée au début de ce chapitre. Les tableaux Nos 39 et 40 résument les résultats obtenus.

Tableau No 39.- Valeur calorifique maximum, minimum et moyenne, des charbons de bois, par groupes de bois.

Charbon de	Nombre d'échantillons	Valeur calorifique, cal. par g	Valeur calorifique, B.t.u. par lb.	No de l'échantillon	Essences	Remarques
<u>Tous bois:</u>						
Moyenne	69	7,445	13,547	-	-	
Maximum		8,259	14,867	84	bouleau	
Minimum		6,754	12,158	106	diverses	four non étanche
<u>Feuillus:</u>						
Moyenne	62	7,425	13,365	-	-	
Maximum		8,259	14,547	84	bouleau	
Minimum		6,754	12,158	106	diverses	four non étanche
<u>Résineux:</u>						
Moyenne	7	7,628	13,730	-	-	
Maximum		8,026	14,447	87	pin	
Minimum		7,218	12,993	8	sapin	carbonisation très lente.

Tableau No 40.- Valeur calorifique maximum, minimum et moyenne, des charbons de bois, par essences.

Essence	Moyenne			Maximum			Minimum		
	Nombre d'échantillons	Valeur calorif., cal. par g	Valeur calorif., B.t.u. par lb.	No de l'échantillon	Valeur calorif., cal. par g	Valeur calorif., B.t.u. par lb.	No de l'échantillon	Valeur calorif., cal. par g	Valeur calorif., B.t.u. par lb.
Pin	1	8,026	14,447	-	-	-	-	-	-
Cèdre	1	7,971	14,347	-	-	-	-	-	-
Bouleau	3	7,748	13,940	84	8,259	14,867	90	7,233	13,000
Pruche	1	7,706	13,870	-	-	-	-	-	-
Frêne	1	7,539	13,570	-	-	-	-	-	-
Hêtre	4	7,516	13,529	96	8,007	14,413	89	6,953	12,515
Sapin	4	7,423	13,309	5	7,833	14,100	8	7,218	12,993
Aulne	2	7,356	13,241	120	7,539	13,570	83	7,174	12,913
Plaine	7	7,285	13,113	95	8,076	14,537	99	6,843	12,318
Merisier	14	7,229	13,013	97	7,609	13,697	11	6,683	12,030
Tremble	2	7,197	12,933	81	7,635	13,743	10	6,759	12,123
Erable	9	7,113	12,804	94	7,972	14,350	13a	6,577	11,838
Ostryer	1	7,024	12,643	-	-	-	-	-	-
Orme	2	6,857	12,343	114	6,911	12,440	121	6,804	12,247

Si nous mettons maintenant la valeur calorifique de l'orme comme égale à 1, nous obtenons l'ordre suivant de la valeur calorifique relative de nos charbons de bois :

Orme	1
Ostryer	1.02
Erable	1.04
Tremble	1.05
Merisier	1.06
Plaine	1.06
Aulne	1.07
Sapin	1.08
Hêtre	1.09
Frêne	1.10
Pruche	1.11
Bouleau	1.12
Cèdre	1.16
Pin	1.17

Cet ordre relatif des essences, ainsi que les données des tableaux Nos 39 et 40, nous indiquent que :

- 1- La différence entre les valeurs calorifiques des diverses essences n'est pas forte, c'est-à-dire que la chaleur de combustion du charbon de bois est pratiquement indépendante de la nature du bois.
- 2- La valeur calorifique du charbon de bois dépend presque exclusivement de la température finale de la carbonisation, c'est-à-dire de la teneur du charbon en carbone et en hydrogène.
- 3- La chaleur de combustion nettement plus forte des résineux est sans doute due au fait que la température finale du four, dans les conditions habituelles de nos charbonnières, atteint un niveau plus élevé que dans le cas des bois durs, grâce à la plus grande inflammabilité et à la teneur en résine des bois tendres.

- 4- La chaleur de combustion moyenne des bois durs atteindrait sans doute celle des résineux, si on augmentait la température finale de la carbonisation, en augmentant leur degré d'inflammabilité, c'est-à-dire en carbonisant du bois sec.
- 5- Le charbonnier peut produire à volonté un charbon de valeur calorifique donnée, en réglant convenablement la température finale de la carbonisation, c'est-à-dire en produisant un charbon de composition chimique définie selon les données du tableau No 19.

Propriétés chimiques du charbon de bois.

Selon la coutume habituelle de l'industrie charbonnière, les propriétés chimiques de nos charbons de bois, énumérées en détail dans le tableau No 25, peuvent être divisées en deux groupes:

a) Analyse ultime :

Teneur en carbone
Teneur en hydrogène
Teneur en azote
Teneur en oxygène
Teneur en soufre
Teneur en halogènes
Teneur en cendres.

L'addition de ces composants exprimés en % doit donner 100. Nous avons déjà dit que la teneur de nos charbons de bois en soufre et en halogènes est négligeable. Par contre, nous ajouterons une rubrique indiquant le rapport Oxygène/Hydrogène, qui exprime plus nettement le degré de carbonisation. Les cendres seront traitées avec les propriétés du groupe b, afin d'éviter une répétition inutile.

b) Analyse approximative :

Teneur en humidité
Teneur en cendres
Teneur en matières volatiles
Teneur en carbone fixe.

L'addition de ces composants exprimés en parties pour cent doit également donner 100. Les indices de coke figurant au tableau No 25 fournissent parfois des renseignements très intéressants à certaines industries, mais nous ne les considérerons pas davantage dans les tableaux subséquents; la discussion détaillée de leur variation est d'ailleurs superflue, car celle-ci va de pair avec celle du carbone fixe, puisque le coke se compose, par définition, du carbone fixe et des cendres.

a) Analyse ultime du charbon de bois.

Les tableaux Nos 41 et 42 résument la teneur moyenne, maximum et minimum, en carbone, hydrogène, azote et oxygène, ainsi que le rapport Oxygène/Hydrogène, par groupes de bois et par essences.

Tableau No 41.- Composition élémentaire maximum, minimum et moyenne, des charbons de bois, par groupes de bois.

Charbon de	Nombre d'échantillons	Carbone	Hydrogène	Azote	Oxygène	$\frac{\text{Oxygène}}{\text{Hydrogène}}$
Tous bois:						
Moyenne	99	77.84	3.46	0.28	17.33	4.9
Maximum		86.75	4.50	0.68	27.06	8.6
Minimum		67.21	1.61	0.01	8.20	2.8
Feuillus:						
Moyenne	89	77.44	3.49	0.30	17.91	5.0
Maximum		86.75	4.50	0.68	27.06	8.6
Minimum		67.21	1.61	0.04	8.79	2.8
Résineux:						
Moyenne	10	81.46	3.26	0.15	13.65	4.2
Maximum		85.95	3.49	0.27	17.58	5.1
Minimum		76.82	2.67	0.01	8.20	3.0

Tableau No 42.- Composition élémentaire maximum, minimum et moyenne, des charbons de bois, par essences.

Essences	Nombre d'échan- tillons	M o y e n n e					M a x i m u m					M i n i m u m				
		C %	H ₂ %	N ₂ %	O ₂ %	O ₂ H ₂	C %	H ₂ %	N ₂ %	O ₂ %	O ₂ H ₂	C %	H ₂ %	N ₂ %	O ₂ %	O ₂ H ₂
Epinette	1	87.32	2.75	0.17	8.20	3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pin	1	85.60	2.67	0.21	9.36	3.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cèdre	1	82.72	3.08	0.27	12.50	4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pruche	1	81.64	3.07	0.24	13.59	4.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sapin	9	80.77	3.01	0.07	14.61	4.9	85.95	3.60	0.14	18.25	5.1	76.82	1.94	0.01	9.35	3.2
Frêne	5	77.52	3.36	0.25	16.58	4.8	83.33	3.82	0.27	21.73	5.6	72.26	3.14	0.23	10.78	3.4
Hêtre	5	77.40	3.69	0.31	17.21	4.5	86.60	4.31	0.41	23.66	5.8	70.54	2.97	0.18	8.79	3.0
Tremble	4	76.13	3.76	0.17	17.93	4.8	78.81	4.50	0.37	23.75	5.5	70.30	2.98	0.07	13.31	3.8
Erable	12	75.69	3.73	0.24	18.99	5.0	86.48	4.59	0.49	25.69	6.2	68.48	2.70	0.06	9.24	3.5
Bouleau	3	75.52	3.80	0.38	18.69	4.8	80.88	4.16	0.43	21.85	5.3	72.69	3.12	0.34	13.31	4.2
Plaine	8	75.42	3.55	0.27	19.32	5.5	84.98	4.22	0.41	27.06	8.6	68.25	2.40	0.07	10.59	3.6
Aulne	3	75.31	3.64	0.55	18.63	5.1	78.50	4.24	0.68	21.16	5.3	72.25	3.22	0.49	16.11	5.0
Merisier	15	74.73	3.55	0.23	19.93	5.2	79.61	4.41	0.43	24.87	5.8	69.90	3.28	0.04	15.07	4.5
Cormier	1	72.14	3.76	0.39	22.35	6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ostryer	1	70.57	4.23	0.36	23.22	5.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Orme	3	70.06	4.07	0.29	22.48	5.5	75.07	4.38	0.36	24.63	5.7	67.21	3.53	0.24	18.81	5.3

Les deux derniers tableaux nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

- 1- La composition élémentaire des charbons de bois est totalement indépendante de la nature de l'essence carbonisée. La teneur en carbone varie considérablement pour une seule essence donnée; ainsi, par exemple, le hêtre donne 86.60 et 70.54%, l'érable 86.48 et 68.48%, la plaine 84.98 et 68.25% et le merisier 79.61 et 69.90% de teneur maximum et minimum en carbone respectivement.
- 2- Le seul facteur qui détermine la teneur en carbone (ou, ce qui est presque synonyme, sa valeur calorifique, ou sa valeur tout court), est donc, comme nous l'avons déjà vu, la température finale de la carbonisation.
- 3- Selon le tableau No 42, les résineux, en tête de la colonne des valeurs moyennes, contiennent nettement plus de carbone que les bois durs : merisier, ostryer, orme, en bas de la colonne. Cela signifie, nous le répétons, que les résineux, à cause de leur teneur en résines et leur plus grande inflammabilité, permettent au charbonnier d'obtenir plus facilement une température finale convenable que les bois durs. Parmi tous les charbons analysés, 6% contiennent moins de 70 % de carbone, et ce sont tous des bois durs.
- 4- La teneur en carbone dépend donc exclusivement des conditions de la carbonisation, à savoir, de l'étanchéité et de la calorifugation du four, de la lenteur avec laquelle le bois traverse l'intervalle critique de température de 270° à 380° (la phase exothermique), et d'une température finale suffisamment élevée. Nos charbonniers auraient donc moins de difficultés à atteindre cette dernière, en carbonisant des bois séchés à l'air, ce qui augmenterait l'inflammabilité insuffisante des bois durs à l'état vert.
- 5- Conformément aux données du tableau No 19, la teneur en hydrogène varie en sens inverse avec la teneur en carbone.
- 6- La teneur en azote de nos charbons de bois est toujours très faible, par contraste avec ceux obtenus par distillation en vase clos (voir le No 65). Cela prouve qu'au cours de la carbonisation dans des fours opérant sans récupération, la presque totalité de l'azote, originalement présent dans les bois, se volatilise et s'en va dans les goudrons. Au point de vue pratique, la teneur en azote de nos charbons de bois est donc négligeable.
- 7- Il n'y a rien d'extraordinaire à signaler en ce qui concerne la teneur en oxygène, puisqu'elle est calculée par différence et qu'elle varie, grosso modo, en sens inverse avec la teneur en carbone.
- 8- Plus significatif est le rapport Oxygène/Hydrogène, car il exprime directement le degré d'oxydation au cours de la carbonisation, et, par le fait même, la valeur du charbon de bois comme combustible. Plus ce rapport se rapproche de 1, plus la valeur calorifique du charbon

est grande. Ainsi, pour l'anthracite, le rapport Oxygène/Hydrogène est égal à 1, tandis qu'il varie de 2 à 4 pour certains charbons bitumineux, lignites et plusieurs sortes de charbons artificiels. Certains échantillons de charbon de bois (voir les Nos 5, 82, 94, et 95) donnent un rapport Oxygène/Hydrogène très intéressant, comparable même à plusieurs types de charbon minéral. D'une façon générale, ce rapport peut être amélioré à volonté en augmentant la température finale de la carbonisation.

b) Analyse approximative du charbon de bois.

Les tableaux Nos 43 et 44 reproduisent les valeurs moyennes, minimum et maximum, de l'analyse approximative de nos charbons de bois, par groupes de bois, et par essences.

Tableau No 43.- Composition approximative moyenne, maximum et minimum, des charbons de bois, par groupes de bois.

Charbon de	Nombre d'échantillons	Humidité %	Cendres %	Matières volatiles %	Carbone fixe %
<u>Tous bois:</u>					
Moyenne	99	3.46	1.77	23.26	73.29
Maximum		6.55	4.53	38.54	83.69
Minimum		1.50	0.40	10.96	56.73
<u>Feuillus:</u>					
Moyenne	89	3.54	1.79	22.44	72.85
Maximum		6.55	4.53	38.54	83.69
Minimum		1.50	0.40	10.96	56.73
<u>Résineux:</u>					
Moyenne	10	2.69	1.54	18.52	77.22
Maximum		3.45	2.16	24.52	82.40
Minimum		1.54	0.81	14.36	71.11

Tableau No 44.- Composition approximative moyenne, maximum et minimum, des charbons de bois, par essences individuelles.

Essences	Nombre d'échantillons	M O Y E N N E				M A X I M U M				M I N I M U M			
		Humidité %	Cendres %	Matières volatiles %	Carbone fixe %	Humidité %	Cendres %	Matières volatiles %	Carbone fixe %	Humidité %	Cendres %	Matières volatiles %	Carbone fixe %
Sapin	9	3.33	1.53	18.15	76.98	5.43	1.82	24.52	82.40	1.54	1.27	13.89	71.11
Epinette	1	2.85	1.56	17.24	78.35	-	-	-	-	-	-	-	-
Pin	1	1.72	2.16	14.36	81.76	-	-	-	-	-	-	-	-
Cèdre	1	2.68	1.43	17.13	78.76	-	-	-	-	-	-	-	-
Pruche	1	3.45	1.46	15.77	79.31	-	-	-	-	-	-	-	-
Ostryer	1	3.68	1.62	30.78	63.82	-	-	-	-	-	-	-	-
Orme	3	4.29	3.10	27.33	65.27	4.77	3.51	30.61	71.98	3.95	2.32	20.93	61.86
Aulne	3	3.54	1.82	25.30	69.10	4.23	2.21	29.47	72.66	2.94	1.57	22.72	64.51
Hêtre	5	3.26	1.17	22.54	73.03	4.36	1.46	34.36	78.73	1.61	0.87	10.96	59.94
Erable	12	3.74	1.36	23.91	70.38	4.81	2.30	35.17	83.69	2.00	0.60	12.87	59.41
Plaine	8	3.56	1.43	25.36	69.52	4.24	3.23	33.74	82.12	2.50	0.40	14.16	61.62
Merisier	15	3.41	1.27	24.13	67.92	5.45	2.51	38.97	75.89	1.78	0.54	20.09	56.73
Bouleau	3	3.36	1.60	27.21	67.82	3.83	2.53	34.83	75.80	2.89	1.00	18.78	60.34
Tremble	4	3.13	2.01	26.02	68.86	3.48	4.53	35.02	74.62	2.61	0.89	20.84	60.59
Frêne	5	4.14	2.29	20.73	72.57	4.81	2.59	28.41	79.46	3.02	1.92	14.35	64.96
Cormier	1	4.39	1.36	30.65	63.60	-	-	-	-	-	-	-	-

La comparaison des tableaux Nos 25, 43 et 44, nous permet de tirer les conclusions suivantes:

- 1.- Humidité. La teneur en eau de tous nos charbons de bois est en général excellente, la moyenne se tient autour de 3.5 %, tandis que le maximum pour les essences mélangées et les essences individuelles ne dépasse guère 6.5 et 5.5 % respectivement. Si l'on tient compte du fait que la "Standards Association of Australia" exige un maximum de 10 % d'humidité pour un bon charbon à gazogène, on peut dire que tous nos charbons sont excellents en ce qui concerne l'humidité.

La teneur en eau est généralement indépendante des essences, mais on peut tout de même remarquer une teneur quelque peu plus faible des résineux (voir les tableaux Nos 43 et 44). Cette tendance ne dépend cependant pas de la nature de l'essence, mais bien de la carbonisation plus parfaite des résineux pour les raisons déjà exposées. Le degré d'humidité dépend donc plutôt des conditions de la carbonisation, et, en particulier, du traitement du charbon après le défournement. La méthode de conservation dans les hangars fermés ou exposés à la pluie ou à l'humidité atmosphérique, est naturellement de la plus haute importance, surtout au cours des premières 24 à 48 heures après le défournement. En effet, il a été prouvé par Violette (1) que le charbon fraîchement préparé peut absorber de 4 à 16 % d'eau au cours des premières 24 heures, que l'absorption de l'humidité, rapide au début, se calme ensuite rapidement et qu'une température élevée de carbonisation réduit le pouvoir hygroscopique du charbon. Cette dernière constatation explique sans doute la plus faible teneur en eau de nos charbons de résineux.

Conclusion pratique : pour obtenir un charbon de teneur en eau et de pouvoir hygroscopique aussi faibles que possible, il faut augmenter la température finale de la carbonisation, et conserver le charbon à l'abri de l'humidité atmosphérique, surtout pendant les deux ou trois premiers jours après le défournement.

- 2.- Cendres. La teneur en cendres des charbons de bois dépend naturellement de la teneur en matières minérales des essences carbonisées. Vu que celle-ci varie peu d'une essence à l'autre et qu'elle est toujours inférieure à 1 %, la teneur en cendres des charbons dépend donc, en pratique, plutôt d'autres facteurs, en particulier du soin accordé au défournement et à la manutention subséquente du charbon. Le danger de contamination par le sable et autres matières minérales qui composent le plancher du four et le terrain avoisinant est naturellement très grand.

La teneur moyenne en cendres de nos charbons (voir le tableau No 43) est très acceptable, vu que les spécifications des industries exigent généralement un maximum de 3 % de cendres. Ce maximum, qui s'applique d'ailleurs aussi aux charbons à gazogène, est cependant assez souvent dépassé par plusieurs de nos producteurs.

Le tableau No 25 nous prouve encore que l'écorce des arbres, en raison d'une plus forte teneur en matières minérales, donne un charbon particulièrement riche en cendres (voir l'échantillon No 4c : 4.84 %), et nous constatons la même chose pour un charbon commercial obtenu par distillation en vase clos (voir l'échantillon No 65 : 5.4 %).

(1) 1.c.

Conclusion pratique : nous recommandons à nos charbonniers d'éviter le contact du charbon avec des matières minérales étrangères, sable, etc., en construisant dans leurs fours des planchers en ciment et en accordant un soin particulier au cours de la manutention et du transport des sacs de charbon. Lorsqu'une très faible teneur en cendres est spécifiée par un acheteur, il est même recommandable d'écorcer les billots avant la carbonisation, particulièrement ceux des essences à écorce très épaisse.

3.- Matières volatiles. Selon le tableau No 43, la moyenne des matières volatiles de tous nos charbons est inférieure à 25 %, c'est-à-dire inférieure au maximum toléré par la "Standards Association of Australia" pour un bon charbon à gazogène. Mais la teneur maximum de nos charbons en matières volatiles dépasse souvent cette limite, car 32 % des échantillons commerciaux analysés (sur un total de 100) contiennent plus de 25 % de matières volatiles (voir le tableau No 25). La proportion est encore plus désavantageuse pour les charbons de bois durs dont le maximum de la teneur en matières volatiles est de 38.54 %, alors que le maximum du charbon résineux n'est que de 24.52 %. Cela s'explique toujours de la même façon : plus grande inflammabilité et plus haute température finale de carbonisation pour les résineux. À part cette différence entre les charbons de bois durs et tendres, qui s'explique de la façon indiquée, la teneur en matières volatiles est apparemment indépendante de la nature de l'essence.

Pour les usages ordinaires, une forte teneur en matières volatiles n'est pas de prime importance, mais elle l'est assurément pour les charbons à gazogène, vu que les matières volatiles contribuent le plus à encrasser les filtres et les appareils d'épuration. Actuellement, deux tiers seulement de nos charbons de bois conviendraient donc à l'usage comme combustible dans les gazogènes, à condition que l'on adopte comme standard celui employé en Australie. Dans plusieurs autres pays on a la tendance à être encore plus sévère et de fixer la limite supérieure à 15 ou 20 %. Dans ce cas, la proportion de nos charbons de bois aptes à l'usage dans le gazogène serait encore moins forte.

La conclusion pratique qui s'impose est toujours la même; si l'on veut obtenir un charbon sec, bien cuit, débarrassé des matières volatiles et engendrant moins de matières goudronneuses, il faut viser à atteindre une température finale de carbonisation plus élevée. Le moyen le plus sûr pour y arriver est de carboniser du bois sec. Ceci est particulièrement vrai pour les bois durs, moins inflammables à l'état vert que les résineux.

4.- Carbone fixe. Vu que la teneur en carbone fixe est, *grosso modo*, inversement proportionnelle à celle des matières volatiles, il n'est pas nécessaire d'interpréter davantage les données des tableaux Nos 43 et 44, car les constatations et les conclusions que nous venons de voir pour les matières volatiles, s'appliquent sans réserve également au carbone fixe.

4. Influence des conditions de la carbonisation.

A la suite des conclusions générales que nous avons tirées dans le paragraphe 3 du présent chapitre, il y a lieu de faire encore une étude très sommaire du tableau No 25 en ce qui concerne les méthodes et les conditions de la carbonisation. Afin d'éliminer les variations possibles dues à la nature de l'essence et d'obtenir des résultats réellement comparables, nous reproduisons dans le tableau No 45, les plus importantes données analytiques obtenues sur des charbons de merisier exclusivement. Pour la description détaillée des fours et des méthodes employées, voir le tableau No 25.

Ce tableau nous permet de tirer les conclusions suivantes :

- 1- Les fours en métal donnent, en général, un rendement plus faible en charbon que les fours en maçonnerie. De plus, la teneur en carbone et la valeur calorifique sont plutôt faibles, tandis que le pourcentage en matières volatiles est trop élevé (voir Nos 9 et 11). En cherchant à obtenir un charbon avec une teneur en carbone et un pouvoir calorifique raisonnable (No 12), le rendement baisse à un niveau incompatible avec le principe de l'économie. Nous attribuons l'ensemble de ces faits à la conductibilité thermique trop élevée des fours métalliques à paroi simple, car la durée du refroidissement est trop courte pour la durée de la combustion. Ces trois fournées (Nos 9, 11, et 12) ayant été faites en été, on est justifié de supposer que les résultats seraient encore plus désavantageux en hiver, avec une plus forte différence entre les températures intérieure et extérieure. Normalement, la durée du refroidissement doit être aussi longue, sinon plus longue, que la durée de la combustion (voir Nos 92 à 117 du tableau).
- 2- La comparaison des propriétés des charbons Nos SR 1, 23 et 71, nous prouve clairement qu'une carbonisation bien conduite (No. 71) donne toujours de bons résultats, même avec du bois dont la qualité laisse à désirer. Le charbon No 71 est excellent à tous les points de vue.
- 3- L'échantillon No 92 nous démontre que la qualité du charbon ne dépend pas de la capacité du four, car un four de 90 cordes donne un charbon acceptable quoiqu'un peu fort en matières volatiles.
- 4- La comparaison des échantillons Nos 97 et 101 nous conduit à des conclusions très significatives. Nous avons déjà insisté sur l'importance de la lenteur de la carbonisation. En voici la preuve concluante. Une carbonisation lente donne un meilleur rendement et un charbon de qualité supérieure à celle qui résulte d'une carbonisation rapide. La différence est particulièrement nette dans les densités, la valeur calorifique et les matières volatiles.
- 5- Les échantillons Nos 102 et 105 illustrent le cas typique des vieux fours non étanches. La durée de la combustion s'éternise, le refroidissement ne se fait pas parce qu'une combustion lente continue à consommer le bon charbon, le rendement est tout à fait insuffisant et la qualité du charbon laisse également à désirer à plusieurs points de vue.

Tableau No 45.- Variation des propriétés du charbon de merisier avec les conditions de la carbonisation.

No de l'échantillon	Four en	Charge, en cordes	Durée de la combustion par corde, hrs	Durée du refroidissement par corde, hrs	Rendement en bon charbon par corde, hrs	P r o p r i é t é s d u c h a r b o n								C o n d i t i o n s
						Densité apparente	Valeur calorifique, cal. par g	Humidité %	Cendres %	Carbone %	Hydrogène %	Matières volatiles %	Carbone fixe %	
9	métal	1.0	23	9	670	-	6939	2.60	0.83	72.22	3.94	31.85	64.72	Carbonisation très lente
11	métal	1.7	20	7	650	0.341	6683	2.75	0.87	69.90	4.32	38.97	57.40	
12	métal	1.05	22	12	540	0.489	7522	3.03	1.96	79.61	3.28	20.93	74.08	
SR 1	briques	11.0	15	8.7	730	0.544	7385	5.45	0.87	77.38	3.61	20.09	73.59	
23	briques	10.5	13.2	6.6	750	0.535	7493	1.78	1.10	76.04	4.08	23.08	73.44	Carbonisat. souvent sans surveillance Combustion très lente; charge compacte Carbonisat. bien conduite, bois de mauvaise qualité
71	briques	22.5	-	-	-	0.268	7971	2.68	1.43	82.72	3.08	17.13	78.76	
92	pierres	90.0	1.6	2.3	855	0.443	6797	4.27	2.05	71.86	4.05	34.18	59.50	
97	briques	12.0	9	10	790	0.441	7609	2.99	0.87	78.38	3.64	20.25	75.89	
101	briques	12.0	4	8	665	0.302	7216	2.85	1.52	76.57	3.85	32.98	62.65	Carbonisation assez lente Carbonisation très rapide Vieux four non étanche, carbonisation ultra-lente id.
102	briques	9.0	19	27	670	0.407	7148	3.55	1.18	70.92	4.17	38.54	56.73	
105	briques	7.25	21.6	31	645	0.506	7261	3.90	0.74	75.35	3.64	22.20	73.16	
113	briques	7.75	21	27.8	630	-	6998	3.96	0.54	70.11	4.41	32.83	62.67	
117	briques	9.3	6.8	10.3	1080	0.377	7514	2.36	1.41	75.54	3.69	24.59	71.64	Four de 10 cordes non rempli à capacité; carbonisation lente et incomplète Four amélioré étanche; carbonisation bien conduite.

- 6- Les charbons Nos 113 et 117 ont été préparés par le même charbonnier dans le même four du type amélioré, parfaitement étanche. La carbonisation No 113 trop lente et incomplète, avec un four non rempli à sa capacité et fermé trop vite, donnait un rendement insuffisant et un charbon de qualité inférieure. La carbonisation No 117, par contre, fut bien conduite et donnait un charbon de propriétés excellentes. De plus, à cause de l'étanchéité à peu près parfaite du four, le refroidissement était très lent, ce qui a, tel que déjà vu, un heureux effet sur la teneur en carbone et sur la valeur calorifique. Enfin, le rendement de ce four (1080 lbs de bon charbon par corde) est exceptionnellement élevé.

Les comparaisons qui résultent de ce tableau ne souffrent pas d'autres interprétations. Aussi, les conclusions pratiques sont-elles tout à fait évidentes.

Il est superflu de faire une étude systématique semblable du tableau No 25 en ce qui concerne les autres essences, car les conclusions seraient analogues.

5. Autres propriétés du charbon de bois

Le tableau No 25 ne tient pas compte de quelques autres propriétés physiques, parfois importantes pour le consommateur. L'étude de ces propriétés n'a pas été négligée dans le cadre du présent travail, mais les résultats n'ont pas été ajoutés au tableau No 25 déjà suffisamment chargé. Cette omission se justifie pour trois raisons : soit que nos charbons de bois correspondent généralement avec avantage aux propriétés en question (l'aspect physique, par exemple), soit que les propriétés données n'intéressent pas directement le producteur au point de vue de la méthode de carbonisation (le pouvoir d'adsorption, la conductibilité et l'oxydation, par exemple), soit qu'elles concernent le charbon à gazogène en particulier dont les propriétés très spéciales (dureté, propreté, activité chimique, etc.) feront le sujet d'un autre travail actuellement en préparation. Nous ne donnerons donc ici qu'un bref aperçu de quelques unes de ces propriétés, simplement à titre de renseignement.

Aspect physique du charbon de bois.

Le charbon de bois se présente généralement sous la forme de l'essence carbonisée. Lorsque la carbonisation se fait à une température pas trop élevée, disons jusqu'à 500°, il est facile de retrouver la structure anatomique du bois en examinant la section transversale du charbon. Si la carbonisation est très lente, la texture reste parfaitement conservée; mais dans les conditions générales assez violentes de la carbonisation, les gaz et vapeurs qui se dégagent rapidement provoquent des fissures plus ou moins profondes.

Un charbon incomplètement carbonisé, à trop basse température, disons au-dessous de 270°, présente une teinte brune noirâtre. Il manque de dureté et brûle avec fumée et flamme. Ce sont les fumerons, ou "corbeaux" en terme populaire. Au-dessus de 270° et jusqu'à 300°, la carbonisation est plus complète, le charbon est brun noir plus foncé, assez dur, mais peu sonore, facilement pulvérisable et il laisse sur le papier un trait de couleur sépia; c'est le charbon roux, autrefois spécialement préparé pour la fabrication des poudres de chasse. Enfin, un charbon obtenu à plus de 350° est bien cuit; il est dur, très noir, il a un son métallique caractéristique, il adhère fortement à la langue, il brûle sans flamme, sans fumée et sans étincelles, il est plus

ou moins friable et cassant, sec et sans poussières adhérentes, et la cassure fraîche présente la forme convexe d'une écaille avec une surface brillante et soyeuse caractéristique. Pratiquement tous les charbons produits dans le Québec présentent, dans l'ensemble, un aspect physique acceptable.

Pouvoir d'adsorption.

Le pouvoir d'adsorption du charbon de bois est considérable. Ce phénomène capillaire est dû à l'extrême porosité du charbon. Selon Mittscherlich, le diamètre des pores est d'environ $1/100$ de millimètre, de sorte qu'un gramme de charbon présenterait une surface totale de 8 mètres carrés. Lowry et Hullett vont encore plus loin en disant que les diamètres des pores de charbon de bois examiné par eux varient entre 2.8×10^{-7} et 9.2×10^{-7} millimètres, ce qui ferait une surface de 160 à 460 mètres carrés par gramme de charbon. Il est évident que le pouvoir adsorbant d'un charbon fraîchement préparé est beaucoup plus grand que celui d'un charbon saturé de gaz à la suite d'une exposition à l'air plus ou moins prolongée. Nous n'insisterons pas davantage sur le mécanisme de l'adsorption, car cette étude sortirait du cadre de ce travail.

Le pouvoir d'adsorption pour les gaz et les liquides est sélectif, de sorte qu'il est possible de fractionner des mélanges de gaz ou de solides en solution. A cause de cette propriété, le charbon de bois a trouvé de nombreux emplois dans l'industrie, en hygiène, en médecine, et, pendant la première guerre mondiale, dans la fabrication des masques pour l'adsorption des gaz asphyxiants. Le pouvoir d'adsorption du charbon de bois activé est particulièrement fort, et c'est sous cette forme que l'industrie l'emploie dans de nombreuses opérations de décoloration, de purification et de fractionnement. Vu que l'industrie du charbon adsorbant intéresse surtout la grande industrie, nous n'en dirons pas plus dans ce travail qui traite plutôt de notre production rurale. Par contre, nous signalerons quelques usages particuliers des charbons adsorbants dans un chapitre subséquent.

Pouvoir rayonnant.

Selon un travail de Péchet, le rapport entre la chaleur rayonnée et la chaleur totale dégagée dans la combustion du charbon de bois est égal à $1/1.78 = 0.56$. Cette énorme puissance de rayonnement - le double de celle du bois - empêche l'emploi du charbon de bois dans les foyers à tirage actif, car la chaleur excessive y causerait des détériorations rapides. C'est pourquoi il est nécessaire de prendre des dispositions spéciales d'ordre structural dans les foyers des gazogènes à charbon de bois.

Conductibilité.

Le charbon de bois cuit à basse température est un bon isolant parce qu'il est mauvais conducteur de la chaleur. Cependant, le degré de conductibilité thermique augmente rapidement avec la température de la carbonisation; ainsi, la conductibilité d'un charbon cuit à 1000° et plus, atteint les deux tiers de celle du fer. Nous retrouvons à peu près le même comportement en ce qui concerne la conductibilité électrique; le charbon de bois cuit à haute température sert comme conducteur dans la fabrication de puits à paratonnerres, de crayons pour lampes à arc, d'électrodes, de balais à moteur, etc.

Combustion du charbon de bois.

L'oxydation du charbon de bois par l'oxygène de l'air commence à des températures plus basses que l'on ne pense généralement. Selon Moissan (1), le charbon de bois subit une combustion lente déjà à température ordinaire. A 100°, la vitesse de cette combustion est remarquable, car cet auteur avait obtenu 4.4 % d'anhydride carbonique en maintenant de la braise débarrassée de ses gaz dans le vide à 104° pendant 264 heures. A des températures plus élevées encore, la vitesse de la combustion croît rapidement, mais, ce qui est particulièrement important, l'oxydation se fait déjà à basse température. D'autre part, l'adsorption des gaz de l'atmosphère par le charbon après le défournement se fait avec dégagement d'une quantité considérable de chaleur; en d'autres termes, le seul contact avec l'oxygène et même avec l'azote de l'air chauffe le charbon fraîchement carbonisé. Mais, vers 100°, ou même au-dessous de cette température, l'oxygène adsorbé commence son rôle d'agent d'oxydation; cette oxydation, lente au début, dégage encore de la chaleur. Ce double phénomène exothermique d'adsorption et d'oxydation peut alors se répéter indéfiniment au point d'élever la température de la masse de charbon à un niveau qui causera son inflammation spontanée. Nous désirons attirer l'attention très particulière de nos charbonniers sur cette propriété redoutable du charbon de bois. Le charbon réduit en poudre est particulièrement apte à s'enflammer spontanément à l'air. Le danger de l'auto-inflammation est plus grand pour les charbons cuits à basse température, pour ceux qui renferment peu de cendres, ainsi que pour les mélanges de charbon contenant un fort pourcentage de résineux. Il importe donc de toujours laisser refroidir les fours complètement, de ne jamais défourner du charbon chaud, d'entreposer le charbon dans des hangars protégés contre la pluie mais très bien ventilés sur les quatre côtés, afin que la vigoureuse adsorption des gaz atmosphériques puisse se faire sans danger d'incendie au cours des premiers jours après le défournement. En raison des pertes sérieuses que cela pourrait entraîner, l'ensachement du charbon immédiatement après le défournement et le transport en wagon fermé, ne sont pas recommandables. (2)

Le mécanisme de la combustion du charbon de bois dépend de la quantité d'oxygène disponible. En présence d'une quantité insuffisante d'oxygène, le charbon se transforme en monoxyde de carbone :



mais en présence d'un excès d'oxygène, il se forme de l'anhydride carbonique:



Les deux réactions sont donc fortement exothermiques.

Lorsqu'un foyer de charbon de bois est incandescent, il peut y avoir dissociation des deux produits de combustion précédents: le monoxyde de carbone se dissocie en carbone et en anhydride carbonique :



tandis que l'anhydride carbonique se dissocie en monoxyde de carbone et en oxygène :



(1) Comptes rendus, Acad. des Sc. 1902, 135-925

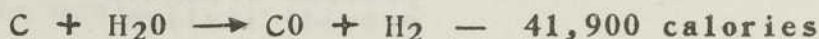
(2) Si l'ensachement immédiat après le défournement s'impose pour des raisons locales, il faut faire attention que les sacs ne soient pas souillés de matières grasses ou huileuses et qu'ils n'aient servi auparavant au transport de graines, farines, pyrites et autres minéraux sulfurés. Le contact de ces substances favorise l'auto-inflammation du charbon. Les sacs doivent alors être conservés isolément pendant 4 ou 5 jours à un endroit sec et très bien ventilé, en piles de pas plus de 6 sacs de hauteur et avec une allée entre chaque rangée, après quoi on peut transporter ces sacs dans le hangar abritant la réserve principale de charbon.

La première réaction de dissociation dégage, la deuxième absorbe de la chaleur. Les deux jouent un rôle considérable dans la carbonisation du bois. Le monoxyde de carbone est le plus stable des deux produits à haute température, car, comme Boudouard l'a prouvé, sa dissociation est négligeable au-dessus de 1000°. D'autre part, la dissociation de l'anhydride carbonique augmente avec la température jusqu'à 2000°.

Mais la réaction la plus intéressante de l'anhydride carbonique formé est sans doute sa réduction en présence d'un excès de charbon incandescent:



Cette réaction absorbe donc une quantité considérable de la chaleur du foyer, mais en retour elle fournit le monoxyde de carbone dont l'énergie est avantageusement utilisée dans les moteurs mus au gazogène. Enfin, en présence d'eau, il peut également y avoir dissociation de l'eau par le charbon porté à haute température :



réaction qui a pour effet d'enrichir le gaz pauvre en hydrogène dont la valeur calorifique est très élevée. Les constructeurs de gazogènes modernes ont maintenant la tendance à mettre à profit cette importante réaction qui peut d'ailleurs aussi jouer un certain rôle dans la carbonisation de bois humides.

Propriétés du charbon de bois concernant son emploi dans le gazogène.

A titre de renseignement seulement, nous mentionnons en passant les plus importantes propriétés du charbon de bois, autres que celles déjà mentionnées dans le présent travail, propriétés d'une importance considérable dans le gazogène. Ce sont :

- la dureté,
- la friabilité,
- la grosseur,
- la propreté,
- l'activité chimique,
- le gonflement et le retrait au cours de la gazéification,
- le comportement au cours de la carbonisation en fonction du temps, de la température, ainsi que du degré d'humidité et de la forme des diverses essences.

Vu que le présent travail est plutôt réservé à l'industrie de la carbonisation proprement dite, nous ferons une étude détaillée de quelques-unes des propriétés du charbon à gazogène dans une autre publication.

CHAPITRE IV.

Appareils et méthodes de carbonisation.

Nous ne traiterons ici que la carbonisation partielle du bois et nous passerons sous silence les procédés à distillation en vase clos et à récupération des produits volatils qui, en raison du capital exigé, sont réservés à la grande industrie.

Notre petite industrie rurale peut effectuer la carbonisation partielle du bois :

1- par les meules:

a) meules verticales:

procédé français
procédé italien

b) meules horizontales:

procédé autrichien

c) meules enfouies:

fosse chinoise
fosse australienne

2- par les fours en maçonnerie:

- a) en briques
- b) en ciment
- c) en pierres

3- par les fours métalliques.

I - Les meules

En principe nous ne voulons pas faire revivre les morts et nous ne préconisons nullement la substitution des meules ancestrales aux fours modernes. Bien au contraire, nous désirons développer davantage la carbonisation par les fours améliorés. Mais il peut arriver qu'un cultivateur ou un colon, ne disposant pas d'une somme d'argent suffisante pour la construction ou l'achat d'un four, désire carboniser les déchets de sa terre boisée tout en se créant une intéressante source de revenu supplémentaire. Il peut arriver encore qu'un propriétaire de gazogène, sans vouloir fabriquer du charbon de bois commercial, préfère produire occasionnellement son propre approvisionnement de carburant forestier. Dans ces cas, la carbonisation en meule est tout indiquée, d'autant plus que la qualité du charbon de meule est généralement supérieure à tout autre charbon de bois, et que la construction n'occasionne à peu près pas de déboursés directs.

Nous ne donnerons évidemment pas de description détaillée de toutes les meules ci-dessus mentionnées, mais nous limiterons ce bref exposé à la meule française, la mieux étudiée et la seule connue en notre pays avant l'introduction des fours modernes. Le texte du paragraphe qui suit a été emprunté à Mariller (1) et légèrement modifié par nous dans le but d'adapter le procédé à nos habitudes locales.

(1) 1.c.

Meule française .

Le procédé forestier français comprend cinq opérations successives : le dressage, l'habillage ("bouchage"), l'allumage, la cuisson et le défournement.

Le dressage est l'opération qui consiste à établir la meule de bois à carboniser. L'endroit choisi dit "fosse" ou "fould" ne doit être ni trop humide, ni pierreux, point ou peu argileux, plutôt poreux, avoir si possible déjà été utilisé à cause du fraisil qu'il peut fournir pour la couverture, être abrité des vents, être d'un accès facile aux véhicules, être établi sur un sol dégazonné sur lequel on étend une couche de terre et de fraisil que l'on tasse fortement, enfin être situé près d'un ruisseau ou d'une source d'eau .

La surface de la base doit être plus élevée au centre que sur la périphérie pour faciliter l'écoulement des liquides qui se produisent au cours de la carbonisation. Il est même utile de creuser un fossé circulaire à environ trois ou quatre pieds d'écart du périmètre de la meule.

Un emplacement ayant déjà servi est toujours préférable. Les charbonniers estiment que la première opération ne donne que 80%, la seconde 95 % du rendement habituel.

Les bois coupés depuis 6 à 9 mois sont débités en bûches d'égale longueur, trois à quatre pieds, les coupures sont perpendiculaires à l'axe, parfois en flûte, mais jamais en gueule ou en biseau.

La capacité d'une meule varie de 10 à 100 cordes et le dressage est différent suivant que l'allumage doit se faire par le haut ou par le bas.

S'il s'agit de l'allumage par le haut, on fixe au centre de la meule un mât de 13 à 20 pieds de hauteur suivant la capacité de la meule. Ce mât est garni sur toute sa longueur d'un anneau de feuilles mortes, brindilles, etc., formant une cheminée de 12 pouces de diamètre dite cheminée slave (voir fig. 2).

Parfois, dans les grandes meules à 50 cordes et plus, au lieu d'un seul mât on en dispose trois en triangle réunis par des liens. Cet ensemble forme la cheminée dite de Galles que l'on remplit des matières facilement inflammables sus-indiquées.

A la base de la meule on établit un cône de bois menus et bien secs ayant 4 pieds de diamètre de base, sous une inclinaison de 60° à 70° . Ce cône est destiné à fournir la chaleur nécessaire à la carbonisation et il est parfois recouvert comme la meule pour l'isoler du bois à carboniser et éviter que le feu ne gagne ce dernier.

Ensuite les bûches inclinées à 45° sont disposées sur trois assises superposées. Les bûches moyennes forment la première assise; les plus grosses, la seconde dite éclice, et les plus petites, la troisième et éventuellement la quatrième. Cette dernière dite chapeau ou dôme est échancrée et parfois recouverte par des rondins placés horizontalement.

Dans le cas d'allumage par le bas, une grosse bûche de 8" à 10" de diamètre est placée radialement, une extrémité touchant la cheminée. En établissant les assises, on recule cette bûche au fur et à mesure, et il reste ainsi un canal de 10" de diamètre environ destiné à l'allumage. Le chapeau peut être dans ce

cas pointu sans échancrure, c'est-à-dire on ferme le dôme complètement jusqu'à la cheminée avec le bois formant la dernière assise.

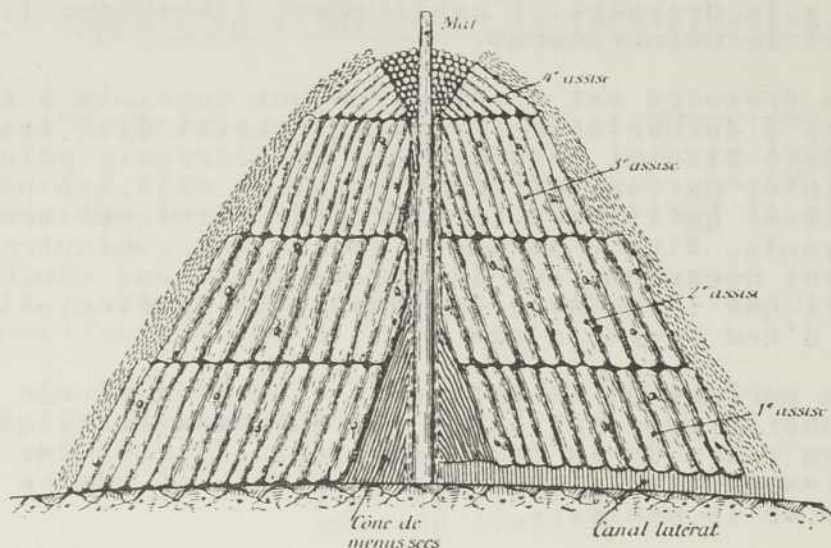


Fig. 2.- Meule française
(cliché de Marillier)

L'habillage ou "bouchage" consiste à établir une double couverture sur la meule. La pose de la couverture se fait de bas en haut.

La première couverture de 4" à 5" d'épaisseur, formée de gazon, bruyère, paille, mousse, etc., repose sur le bois.

La seconde couverture qui s'applique sur la précédente, est de 2½" à 3" d'épaisseur et formée de terreau, de fraisil humecté et battu, ou de terre non calcinable et assez liante pour ne pas se gercer.

On ferme l'échancrure du sommet avec une motte de terre. En cas d'éboulement de la couverture, il faut la refaire et, pour les grandes meules, il y a lieu de construire des échafaudages permanents. Un mur de pierres sèches de 8 pouces de hauteur tout autour de la meule est parfois employé et facilite l'habillage.

L'allumage peut maintenant s'effectuer. S'il se fait par le bas, il suffit de remplir le canal ménagé comme dit plus haut, de charbons ardents, ou d'y introduire un sac imbibé de pétrole allumé, que l'on pousse jusqu'au centre de la meule au moyen d'une perche. Le courant d'air établit la combustion et, après environ $\frac{3}{4}$ d'heure, le feu gagnant le sommet, des fumées épaisses s'échappent; on bouche l'ouverture supérieure et le canal avec des mottes.

Mais l'allumage par le haut est préférable. Il se fait en introduisant une matière enflammée quelconque par l'échancrure. Le feu descend peu à peu dans la cheminée, et on l'active en pratiquant avec une pelle des trous dans la couverture. Aux fumées blanches du début, indice de l'évaporation de l'eau, font place peu à peu des vapeurs fuligineuses, brunes, à odeur caractéristique, indiquant le commencement de la carbonisation. On bouche alors l'échancrure avec de la terre en conservant les ouvertures d'aérage latérales (évents).

Parfois on ne pose la deuxième couverture du pied de la meule qu'à ce moment.

La cuisson ou carbonisation est alors démarrée. Environ 24 heures après l'allumage, la couverture commence à suinter, à "suer". Ceci se continue pendant 7 à 9 jours; au bout de quelque temps les fumées s'éclaircissent peu à peu, deviennent transparentes, pendant que la meule se tasse.

Si le tassement est irrégulier, on bouche les trous et on renforce la couverture du côté du tassement et on fait l'inverse du côté opposé.

Par les temps secs on arrose un peu la couverture. Si le vent est violent et emporte la couverture, on la protège par des paillassons maintenus par des perches.

Si malgré ces précautions il se produit des vides (ce qui est surtout fréquent vers le dôme), il faut les combler avec du charbon ou du bois et recouvrir ensuite.

Lorsque la suée est achevée, on bouche quelques événements et on renforce la couverture pour ralentir le feu. La distillation sèche s'effectue alors grâce à la chaleur de la masse. La partie centrale haute est la première à carboniser, puis la carbonisation s'étend, en forme d'éventail, de haut en bas et du centre à la périphérie. (voir fig. 3).

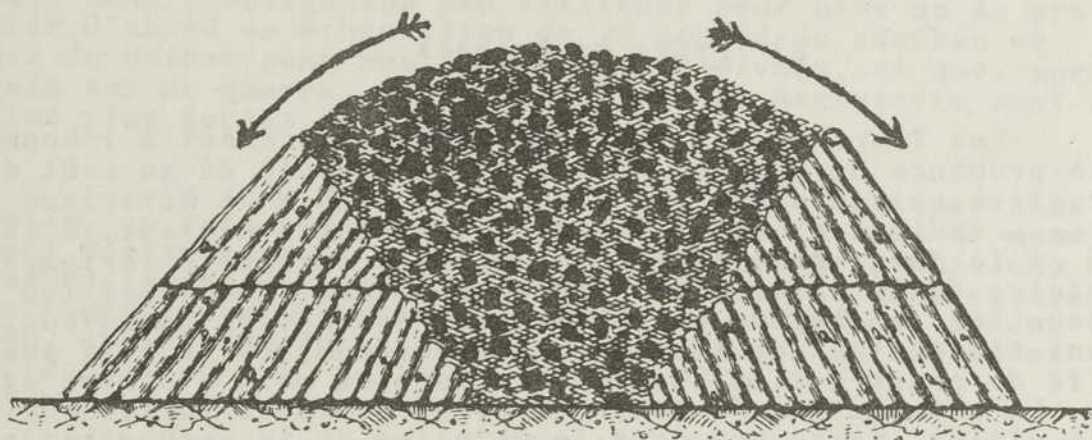


Fig. 3.- Processus de la carbonisation en meules.
(cliché de Mariller).

Après la distillation sèche du centre, on provoque la carbonisation de la périphérie par la "mise à grand feu", en pratiquant deux rangées de trous (événets), superposées à 12" ou 15" l'une de l'autre.

Lorsque le dégagement des fumées se modère par la rangée supérieure, on la bouche et on ouvre une nouvelle rangée au-dessous de la seconde, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on arrive au pied de la meule. A ce moment la carbonisation est terminée.

L'opération dure de 16 à 18 jours pour les petites meules de 10 à 15 cordes et parfois 5 semaines pour les grandes de 100 cordes.

On bouche tous les événements en renforçant la couverture pour éteindre le feu et refroidir le charbon.

Le défournement se fait après plusieurs jours de refroidissement. On enlève la couverture par segments et on jette

de la terre dans la meule pour boucher les vides et éviter le contact de l'air qui provoquerait la combustion du charbon éventuellement encore trop chaud. En défournant la nuit, il est facile de voir les charbons ardents et de les éteindre.

Le charbon est enlevé assise par assise et circulairement. Le charbon des couches périphériques, évidemment le moins carbonisé, constitue les fumerons ("corbeaux") qui servent à allumer d'autres meules ou sont carbonisés à part en petites meules.

Le charbon de la deuxième assise (échie) est le meilleur. Celui du centre, trop carbonisé, constitue la braise.

Le charbon est trié, éventuellement concassé, et mis en sacs ou en tas en observant les précautions que nous avons indiquées à la page 74.

La carbonisation en meules se pratique de préférence pendant la belle saison, de mai à septembre, pour éviter un sol trop humide, des vents violents occasionnant des incendies par éboulement de la couverture, ainsi que les fortes pluies faisant glisser cette couverture.

2. Fours en maçonnerie

a) Fours en briques

Les fours en briques sont particulièrement à l'honneur dans la province de Québec. Cela est sans doute dû au coût de construction relativement bon marché, au besoin de matériaux de construction ordinaires que l'on peut se procurer partout, à la solidité et la durée prolongée des fours, au caractère fortement réfractaire de la brique qui assure une bonne calorifugation même dans les conditions rigoureuses de nos hivers canadiens, à la bonne étanchéité des fours bien entretenus, enfin à la possibilité de construction sans le concours de main d'oeuvre experte. La combinaison de tous ces avantages nous incite d'ailleurs à plaider fortement pour le maintien de la carbonisation économique dans les fours en briques.

En ce qui concerne l'évolution historique des fours en briques tels qu'en usage chez nous, ce sont simplement des meules auxquelles on a donné un caractère permanent par la construction d'une "couverture" et d'un "dôme" en matière réfractaire. Aussi, les méthodes de chargement et de carbonisation ressemblent-elles de façon étrange à celles que nous venons de décrire pour les meules.

Les fours en opération dans la province de Québec ont des dimensions variant entre 3 et 90 cordes. Les plus importants points qui caractérisent la construction particulière de plusieurs de ces fours sont décrits dans le tableau No 25. Les fours de 50 cordes et plus sortent évidemment du cadre de la petite industrie rurale saisonnière, pour entrer dans le domaine de la moyenne industrie permanente. Comme ce travail a pour but principal d'aider, de créer et de maintenir une petite industrie dont les propriétaires sont le simple cultivateur, le colon, l'ouvrier forestier ou même le petit industriel, nous nous en tiendrons plutôt au four de dimensions moyennes, à coût de construction relativement faible. Une enquête

d'ordre statistique nous a démontré en effet que le four en briques d'une capacité de 10 à 12 cordes est le four le plus économique au point de vue qualitatif et quantitatif, pour une petite entreprise. Là où les conditions locales et les réserves de bois le permettent, on érigera avec avantage des batteries de deux, trois, quatre ou même plus de fours, ce qui abaisse les charges fixes de l'opération unitaire et augmente naturellement les revenus nets.

Le chapitre III nous a démontré que la qualité des charbons de bois produits dans notre province est généralement bonne, mais qu'elle varie d'une région à l'autre. Ce manque d'uniformité dans la qualité du produit est dû sans doute à la façon différente de construire et d'entretenir les fours, ainsi qu'à la méthode différente d'enfournement et de carbonisation qui est souvent dirigée sans surveillance selon le principe criminel de l'à-peu-près. D'autre part, l'absence d'uniformité et l'impossibilité de pouvoir offrir à l'acheteur un produit certifié, sont, toutes deux, préjudiciables et pour le producteur et pour le consommateur. Voilà pourquoi il se fait qu'au début de la guerre actuelle, l'Angleterre, coupée de ses sources d'approvisionnement continentales, mais avec un pressant besoin annuel de 100,000 tonnes de charbon de bois pour ses industries de guerre, était dans l'obligation peu flatteuse pour nous de se procurer d'abord un échantillon de 20 tonnes de charbon de bois du Québec pour analyse et essais divers, et que, après trois ans de guerre, nos exportations en Angleterre sont à peine plus fortes qu'auparavant.

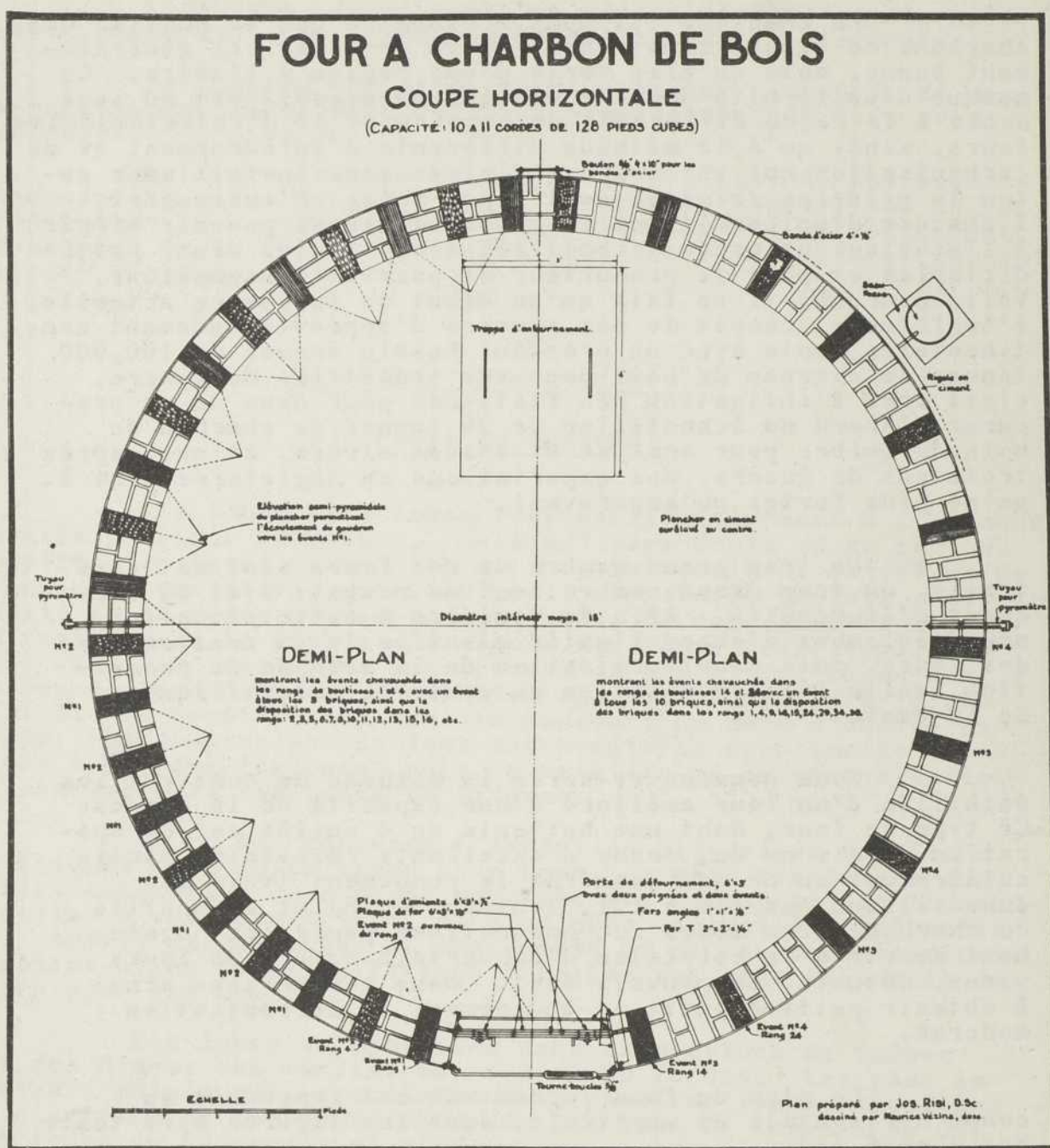
Un trop grand nombre de nos fours sont mal construits, un trop grand nombre sont en mauvais état et manquent d'étanchéité. Afin de remédier à cette situation, nous réclamons d'abord l'uniformisation de la construction des fours, puis l'uniformisation de la méthode de production, enfin l'uniformisation du contrôle scientifique et de la vente.

Nous donnons ci-après la méthode de construction détaillée d'un four amélioré d'une capacité de 10 cordes. Ce type de four, dont une batterie de 4 unités est en opération depuis un an, donne d'excellents résultats, particulièrement en ce qui concerne le rendement (voir les échantillons Nos 116 à 121, tableau No 25) et la qualité du charbon. Ces mêmes recommandations pourraient également servir à la réfection d'un certain nombre de fours vieux, désuets, en mauvais état. Nous arriverions ainsi à obtenir petit à petit un équipement de carbonisation moderne.

Le plan du four recommandé est reproduit en coupe horizontale et verticale, dans les figures hors-texte Nos 4 et 5 (1).

(1) On peut se procurer gratuitement des copies de ce plan, en s'adressant au Chef du Service forestier, Ministère des Terres et Forêts, Hôtel du Gouvernement, Québec.

Fig. 4



FOUR A CHARBON DE BOIS

COUPE VERTICALE

(CAPACITÉ: 10 A 11 Cordes de 128 Pieds Cubes)

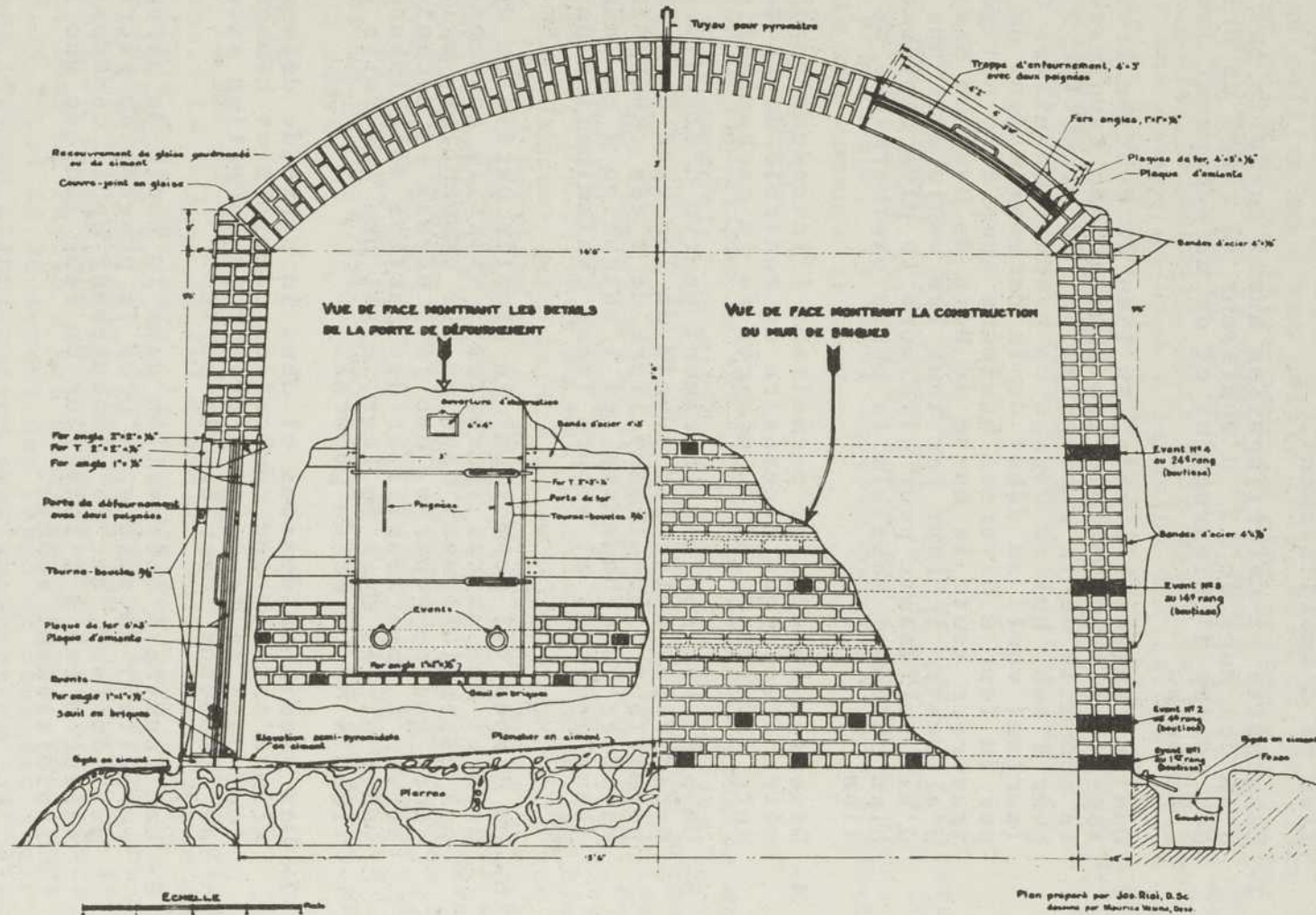


Fig. 5

En élaborant ce plan, nous voulions viser les perfectionnements suivants, qui résultent des conclusions pratiques tirées au chapitre précédent :

- 1- Solidité et durée, c'est-à-dire peu de frais d'entretien et d'amortissement.
- 2- Etanchéité et calorifugation aussi parfaite que possible, d'où des murs de 12" d'épaisseur (3 rangs de briques), et des portes d'enfournement et de défournement isolées à l'amiante.
- 3- Quatre rangées d'évents, au lieu de deux ou trois seulement, afin d'obtenir une plus grande souplesse dans la conduite de la carbonisation, de permettre à la vapeur d'eau, qui se dégage en grandes quantités du bois (surtout vert) au début de la carbonisation, de s'échapper du four à diverses hauteurs sans être obligée de traverser toute la masse de bois du haut en bas; enfin, d'alimenter le four par tous les vents avec une quantité d'air suffisante pour atteindre le plus rapidement et le plus sûrement possible la phase exothermique de la réaction.
- 4- Diverses ouvertures permettant l'introduction d'un pyromètre électrique nécessaire au contrôle de la température intérieure et du progrès de la carbonisation.
- 5- Un plancher conique en ciment pourvu d'élévations semi-pyramidales entre les événements du 1er rang de briques, permettant l'écoulement libre de l'eau condensée et des matières goudronneuses, et l'obtention d'un charbon sec (sans goudron) et propre (sans contamination de sable, etc.)
- 6- Un dispositif permettant la récolte partielle du goudron et des autres ingrédients volatils condensés, non pas essentiellement dans un but commercial, mais bien parce que ce goudron, une fois déposé et décanté, peut servir à imperméabiliser des parties défectueuses de la voûte et des murs du four, ainsi que les toits de bâtiments de ferme en général.
- 7- Des événements en-dessous et dans la porte de défournement, afin d'assurer une combustion complète et homogène partout dans le four, et d'éviter la formation excessive de "corbeaux" derrière la porte.
- 8- Une fenêtre d'observation dans la porte de défournement, permettant de suivre de près le progrès du refroidissement du four, car le commencement de la condensation de vapeur d'eau à l'intérieur du four indique que le refroidissement achève.

Le devis descriptif qui suit est calculé pour la construction d'un four d'une capacité de 10 cordes réelles de bois (12.5 cordes apparentes). Son volume utile est de 1600 pieds cubes environ. En changeant l'échelle du plan, le même devis peut évidemment servir à la construction d'un four de capacité plus forte ou plus faible.

Devis pour la construction d'un four à charbon
de bois (capacité: 10 cordes réelles de 128 p.c.)

SITE.

Le four doit, autant que possible, être installé au pied d'une colline ou d'une petite côte, afin de faciliter le chargement qui doit se faire pour la plus grande partie par la porte d'enfournement de la voûte. On érigera à cet effet une passerelle entre la partie supérieure du four et le flanc de la colline. Cette passerelle devra être assez forte pour pouvoir supporter une charge de bois d'au moins dix cordes; elle peut être faite en bois rond. Le four devra être bâti dans un endroit sec, où l'on pourra avoir du bois en assez grande quantité pour alimenter l'industrie pendant quelques années. L'emplacement du four devra être libre de très grosses pierres.

EXCAVATION.

Une fois le site choisi, l'on procédera à l'excavation d'un emplacement circulaire dont le diamètre sera de 20 pieds environ. Cette excavation devra avoir au moins deux pieds de profondeur. La terre enlevée pourra servir à niveler le terrain qui entoure le four.

FONDATION EN CIMENT.

Les fondations seront faites de grosses pierres de forme le plus angulaire possible, et l'on devra ajuster le tout avec de plus petites pierres, de sorte que le plancher prenne la forme conique indiquée sur le plan, avec le centre du four surélevé de 6" par rapport à la circonférence, dans le but de faciliter l'écoulement du goudron vers l'extérieur. La circonférence qui servira de base au mur de briques devra être bien nivelée. Le plancher sera fait d'un mortier composé de une partie de ciment Portland et de deux parties de sable fin, propre et exempt de matières organiques. Il en est ainsi des élévations semi-pyramidales que l'on fera sur le plancher entre les événements de la première rangée de briques, toujours dans le but de favoriser l'expulsion rapide du goudron. Aux endroits où le sol est mou ou marécageux, on fera en-dessous de ces fondations un pontage avec des grosses pièces de bois, de préférence du cèdre.

MUR ET VOÛTE.

Le mur et la voûte seront faits de briques de glaise bien cuites. La brique de tuf convient moins bien, parce qu'elle s'effrite à la chaleur. Leur épaisseur sera de 12", c'est-à-dire la largeur de trois briques. Afin de favoriser une prise lente du mortier, on devra remplir d'eau les pores de la brique, soit en l'arrosant copieusement, soit de préférence, en la plaçant dans un bassin d'eau avant le posage. Les rangs 1, 4, 9, 14, 19, 24, 29, 34 et 38 seront des rangs de boutisse (voir le plan). Les briques seront posées avec un joint de 3/8" d'épaisseur, en plein mortier. Ce mortier sera composé d'une partie de terre glaise exempte de petits cailloux, d'une partie de chaux vive et de deux ou trois parties de sable fin, propre et exempt de matières organiques, mais ce mortier devra être préparé trois semaines à l'avance, afin de l'empêcher de se désagréger au cours des cuissons successives. Pour ce qui est de la voûte, le premier rang de briques sera posé de la manière indiquée sur le plan, c'est-à-dire que la brique sera posée debout. Après le posage du deuxième rang, on devra poser le cadre de la trappe d'enfournement, puis continuer avec les autres rangs, toujours de la même manière, jusqu'à ce que la voûte soit terminée. La construction de la voûte se fera avantageusement au moyen d'une forme en bois que l'on enlèvera seulement après quelques jours, quand le mortier sera bien pris.

La construction d'une voûte de 12" d'épaisseur, telle que décrite, n'est pas absolument indispensable. Il est donc permis de réduire son épaisseur à 8", c'est à dire l'épaisseur d'une brique debout. La construction en sera simplifiée, et la solidité, moins importante dans cette partie du four, n'en souffrira pas trop.

ÉVENTS.

On laissera dans le mur, aux endroits indiqués sur le plan, des ouvertures (évents) de la dimension d'une brique avec son mortier. Il y aura une première série d'évents, dite No 1, qui sera placée au premier rang du bas (rang de boutisse). Les événements seront placés à toutes les cinq briques (voir le plan). On laissera également une ouverture dans la partie du premier rang formant le seuil de la porte de défournement. On commencera donc avantageusement le posage du premier rang de briques du côté de la porte, en laissant un événement à toutes les cinq briques.

Une deuxième série d'évents, dite No 2, sera placée au quatrième rang du bas, qui sera également un rang de boutisse. Il y aura une ouverture à toutes les cinq briques, placée entre les événements No 1, c'est-à-dire chevauchés (voir le plan).

Une troisième série d'évents, dite No 3, sera placée au quatorzième rang du bas. Dans ce rang de boutisse, il y aura une ouverture à toutes les dix briques seulement (voir le plan), et les événements seront placés juste au-dessus de chaque deuxième événement de la série No 1.

Une quatrième série d'évents, dite No 4, sera placée au quatorzième rang du bas. Dans ce rang de boutisse, il y aura une ouverture à toutes les dix briques, et les événements seront placés entre les événements No 3, c'est-à-dire chevauchés.

PORTES.

L'ouverture dans la voûte, dite trappe d'enfournement, aura les dimensions indiquées sur le plan, soit 4' x 3'. Cette ouverture sera fermée avec une trappe faite de deux plaques de tôle de fer de 1/8" d'épaisseur, entre lesquelles on placera, avant de les boulonner ensemble, une plaque d'amiante, 3' x 4' x 1/4", comme isolant. La trappe sera munie de deux poignées de fer soudées ou boulonnées. Le cadre de cette ouverture sera fait de fers angle de 3" x 3" x 1/4", auxquels on donne le rayon de courbure de la voûte dans les deux directions, et que l'on boulonne ensemble au moyen de travers en fer plat de 2" x 3/16". Ces deux fers angle, posés l'un à l'extérieur, l'autre à l'intérieur de la voûte, serviront à protéger la brique contre le choc à l'occasion de l'enfournement de grosses pièces de bois. Environ au centre des travers en fer plat, entre les deux fers angle formant le cadre, on boulonnera un troisième fer angle, non courbé, 1" x 1" x 3/16", qui servira de feuillure de porte.

La porte de défournement aura 6' x 3'. Comme la trappe d'enfournement, cette porte sera en double tôle de fer (1/8" d'épaisseur chaque plaque), avec une plaque d'amiante entreposée, tel que décrit plus haut, et munie de deux ou quatre poignées en fer rond de 3/8", soudées ou boulonnées. A la hauteur du quatrième rang de briques, on percera dans cette porte deux ouvertures rondes, ayant chacune 4" de diamètre. La distance entre ces deux ouvertures sera égale à celle de cinq briques, et on les percera à une égale distance par rapport aux événements de la série No 2, afin d'avoir une suite d'évents équidistants tout le tour du four à la hauteur du quatrième rang

de briques. Ces deux événements de la porte se fermeront au moyen d'un couvercle de fer, basculant sur un boulon fixe au-dessus de l'ouverture. A cinq pieds du sol, on percera dans le centre de la porte une autre ouverture, également munie d'un couvercle basculant, mais de forme carrée, 7" x 5". Cette ouverture permettra de surveiller la condensation de la vapeur d'eau à l'intérieur du four vers la fin du refroidissement. Le cadre de cette porte sera fait tel que décrit pour la trappe d'enfournement. Les deux fers angle verticaux extérieurs du cadre seront reliés au moyen de boulons aux deux bandes d'acier posées autour du four à deux et à quatre pieds du bas respectivement (voir plus bas). Près de l'extrémité de ces bandes on percera dans les fers angle extérieurs du cadre des trous, un de chaque côté de la porte, de grandeur suffisante pour recevoir les bouts recourbés de deux boucles taraudées ("turn-buckles") de 5/8", qui serviront à raidir les bandes durant la cuisson. Dans les quatre coins du cadre de porte, les fers angle seront soudés ensemble. Le seuil de la porte sera fait, tel que déjà dit, d'un rang de briques en boutisse, posé à la même hauteur que le premier rang du mur, et on le protégera contre le choc et l'usure au moyen de deux fers angle formant la partie inférieure du cadre décrit. Le seuil sera finalement couvert de ciment auquel on donnera une pente vers l'intérieur du four, afin de faciliter l'écoulement du goudron vers les événements No 1.

BANDES D'ACIER.

Autour du four on posera six bandes d'acier de longueur exactement ajustée, de 4" de largeur par 3/16" d'épaisseur. Ces bandes serviront à retenir le mur et la voûte durant l'enfournement et la cuisson. Chaque bande sera composée de quatre pièces reliées ensemble au moyen de rivets. On réunira les deux extrémités de chaque bande au moyen d'un boulon bien serré. Ces bandes seront posées exactement aux endroits indiqués sur le plan, à savoir: la première à deux pieds du sol, la deuxième à quatre pieds, la troisième à six pieds, et les trois dernières complètement en haut du mur, en laissant $\frac{1}{2}$ " d'espace entre chaque bande.

IMPERMÉABILISATION.

Tous les joints extérieurs du mur seront tirés au fer avec du mortier de ciment composé d'une partie de ciment, une partie de chaux vive et deux parties de sable fin.

Sur la voûte, au point de sa rencontre avec le mur, on posera une épaisse couche de terre glaise de la manière indiquée sur le plan. Sur toute la surface extérieure de la voûte on posera une couche de glaise d'environ 1" d'épaisseur, laquelle, après avoir bien séché, sera recouverte d'une couche de goudron chaud de 1/8" d'épaisseur environ. A défaut de glaise et de goudron, on recouvrira toute la voûte d'une couche de ciment de $\frac{3}{4}$ " à 1" d'épaisseur, composé d'une ou deux parties de sable fin par partie de ciment.

RÉCUPÉRATION DU GOUDRON.

Vu que les goudrons de bois francs, particulièrement le goudron de hêtre, trouvent un marché avantageux surtout en temps de guerre, le four ci-dessus décrit, voire même tout vieux four, peut être facilement converti en four à récupération partielle. Dans ce but, on fera dans la terre, tout au tour du four, juste en bas de la première rangée de briques, une petite rigole en ciment, à laquelle on donnera la pente nécessaire pour permettre l'écoulement des goudrons vers un endroit déterminé (sur un côté ou en arrière du four), où l'on creusera une fosse assez profonde pour y placer un seau pour la récupération des goudrons.

CONTRÔLE DE LA TEMPÉRATURE.

Afin d'équiper dès maintenant les nouveaux fours de façon adéquate en prévision des futurs développements dans le domaine du gazogène, nous recommandons aux constructeurs de cimenter dans la brique neuf tuyaux de fer (diamètre intérieur environ $\frac{3}{4}$ " , longueur 18"), ouverts à l'intérieur du four au niveau de la brique, et fermés à l'extérieur au moyen d'un bouchon de fer vissé sur un fil standard. L'un de ces tuyaux sera posé perpendiculairement à la surface de la brique à l'endroit le plus élevé de la voûte, les quatre suivants sur un côté du four à 2, 4, 6 et 8 pieds du sol respectivement, les quatre derniers du côté opposé dans les mêmes hauteurs. Ces tuyaux serviront à introduire un pyromètre pour le contrôle de la température à l'intérieur du four.

DESCRIPTION ET COÛT APPROXIMATIF DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION POUR UN FOUR D'UNE CAPACITÉ DE 10 CORDES RÉELES (prix de base 1941)

Maçonnerie

11,500 briques de glaise, communes, environ	\$200.00
13 barils (à 200 lbs) de chaux vive, à \$ 2.50	32.50
50 à 75 sacs de ciment Portland, à \$ 0.70 (la quantité varie selon les conditions locales du sol, mettons une moyenne de 60 sacs	42.50
8 à 12 verges cubes de pierres { selon les condi- tions locales }	env. 15.00
8 à 12 verges cubes de sable { id }	

Ferrures

a) pour les 6 bandes de fer

- 24 morceaux de fer plat, 14' x 4" x $\frac{3}{16}$ " (4 morceaux par bande)
- 6 boulons 8" x $\frac{5}{8}$ ", avec écrous
- 72 rivets $\frac{1}{2}$ " x $\frac{5}{16}$ " (4 rivets pour chaque jonction)
- 16 boulons 1" x $\frac{5}{16}$ ", pour fixer les deux bandes inférieures au cadre de porte.
- 2 tourne-boucles, $\frac{5}{8}$ ", avec tiges de fer 4' x $\frac{5}{8}$ ", pour raidir les bandes d'acier devant la porte de défournement

b) pour le cadre de la porte de défournement

- 4 morceaux de fer angle 72" x 3" x 3" x $\frac{1}{4}$ "
- 4 id 40" x 3" x 3" x $\frac{1}{4}$ " (à courber)
- 2 id 72" x 1" x 1" x $\frac{3}{16}$ "
- 2 id 40" x 1" x 1" x $\frac{3}{16}$ "
- 14 morceaux de fer plat pour faire les travers entre les fers angle, 2" x $\frac{3}{16}$ ", la longueur dépend de l'épaisseur du mur, en tout on aura besoin d'environ 15 courants pour le four classique, et 25 courants pour la nouvelle forme de four.
- 48 boulons 1" x $\frac{1}{4}$ ", pour fixer les travers de fer plat sur les fers angle.

c) pour le cadre de la trappe d'enfournement

- 4 morceaux de fer angle 48" x 3" x 3" x $\frac{1}{4}$ " (à courber)
- 4 id 40" x 3" x 3" x $\frac{1}{4}$ " (à courber)
- 2 id 48" x 1" x 1" x $\frac{3}{16}$ "
- 2 id 40" x 1" x 1" x $\frac{3}{16}$ "
- 12 morceaux de fer plat pour faire les travers entre les fers angle, 2" x $\frac{3}{16}$ "; la longueur dépend de l'épaisseur de la voûte; en tout 8' courants pour une voûte de 8", ou 12' pour une voûte de 12" d'épaisseur.
- 36 boulons 1" x $\frac{1}{4}$ ", pour fixer les travers de fer plat sur les fers angle.

d) pour la porte de défournement

- 2 plaques de fer, 6' x 3' x $\frac{1}{8}$ "
- 1 plaque d'amiante, 6' x 3' x $\frac{1}{4}$ "
- 12 boulons 1" x $\frac{1}{2}$ ", pour boulonner ensemble les trois plaques précédentes
- 1 plaque de fer, 8" x 6" x $\frac{3}{16}$ ", pour le couvercle basculant de l'ouverture d'observation
- 1 boulon $1\frac{1}{4}$ " x $\frac{5}{16}$ ", pour fixer ce couvercle
- 2 plaques de fer rondes, diamètre 5", épaisseur $\frac{3}{16}$ ", pour les événements de la porte
- 2 boulons $1\frac{1}{4}$ " x $\frac{5}{16}$ ", pour fixer les plaques précédentes
- 4 tiges de fer rondes, 18" x $\frac{3}{8}$ ", pour les 4 poignées.

e) pour la trappe d'enfournement

- 2 plaques de fer, 4' x 3' x $\frac{1}{8}$ "
- 1 plaque d'amiante, 4' x 3' x $\frac{1}{4}$ "
- 9 boulons 1" x $\frac{1}{2}$ ", pour boulonner ensemble les trois plaques précédentes
- 2 tiges de fer rondes, 18" x $\frac{3}{8}$ ", pour les 2 poignées

f) pour le contrôle de la température

- 9 morceaux de tuyau de fer galvanisé, $\frac{3}{4}$ " d'eau, avec bague et bouchon de fer, excédant environ 6" à l'extérieur du mur; la longueur des morceaux dépend de l'épaisseur du mur; en tout environ 15' courants de tuyau sont nécessaires

Total des ferrures, environ	\$110.00
Coût approximatif des matériaux de construction	\$400.00
Coût approximatif de la main-d'oeuvre	\$100.00
Coût total approximatif du four	\$500.00
Coût de construction de la passerelle, d'un hangar à charbon et d'un abri pour les chevaux	\$100.00
Coût total approximatif de l'établissement	\$600.00

Nouvelle forme de four.

Les plans et devis que nous venons de décrire correspondent à la forme classique de fours, si répandus dans notre province. Pourvu des améliorations sus-mentionnées, ce four donne en général de bons résultats. Sa forme est un tronc de cône ayant le plus grand diamètre à sa base. Tout en respectant le fondement de l'évolution historique de cette forme, et les services qu'elle a rendus jusqu'ici, nous croyons cependant qu'il y aurait intérêt de la modifier. En effet, les nombreuses observations faites nous portent à croire que la carbonisation, toujours accompagnée d'un affaissement du charbon, devient inégale, à cause des vides qui se forment inévitablement au cours du tassement. Ces vides agissent alors comme des "cheminées"; ils facilitent la circulation d'air et la combustion locale du charbon déjà formé; ils entraînent une perte de charbon par combustion totale et la formation d'un excès de cendres. Ces facteurs combinés causent donc les "creux", c'est-à-dire l'inégalité de la hauteur du charbon que l'on observe très généralement lors du défournement, même à la suite d'une carbonisation apparemment bien conduite.

Nous croyons qu'il y aurait moyen d'éviter ces pertes de rendement inutiles et d'obtenir une carbonisation plus uniforme, en empêchant le charbon de former des "cheminées" au cours du tassement, c'est-à-dire en restreignant de plus en plus la place disponible vers le bas du four. Dès lors, la forme générale d'un véritable gazogène et de nombre de foyers industriels s'impose logiquement, c'est-à-dire la forme d'un tronc de cône renversé ayant le plus petit diamètre à sa base.

Nous proposons donc pour les futures constructions de fours, la forme indiquée dans la figure 6, qui donne en même temps les dimensions d'un four d'une capacité de 10 cordes réelles.

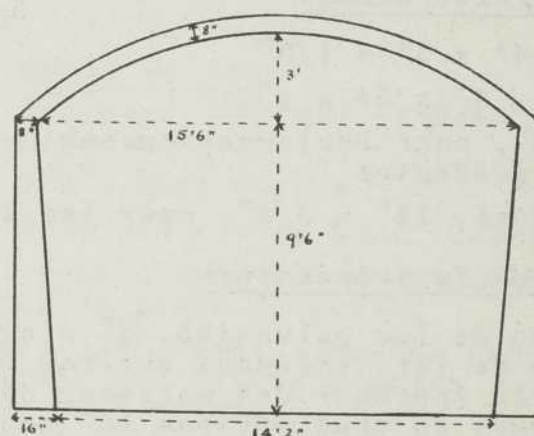


Figure 6.- Nouvelle forme de four à charbon de bois.

Cette figure montre que les faces extérieures du mur sont parallèles et verticales, mais que les faces intérieures convergent vers le bas. Pour la construction du mur, on partira, à la base, avec une largeur de quatre briques (16" avec les joints), on diminuera l'épaisseur graduellement vers le haut, pour terminer à la base de la voûte avec une épaisseur égale à la largeur de 2 briques. Quant au reste de la construction, fondations, voûte, portes, événements, bandes d'acier, quantité et genre de matériel, etc..., rien ne changera, et on suivra les plans et devis tels qu'expliqués pour le four du type ordinaire amélioré.

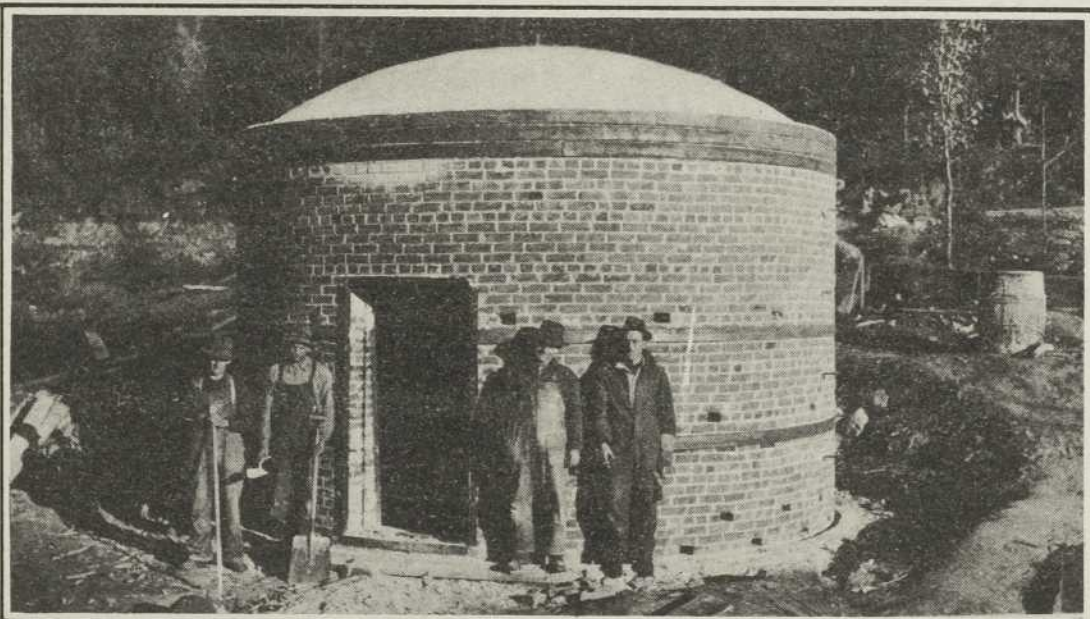
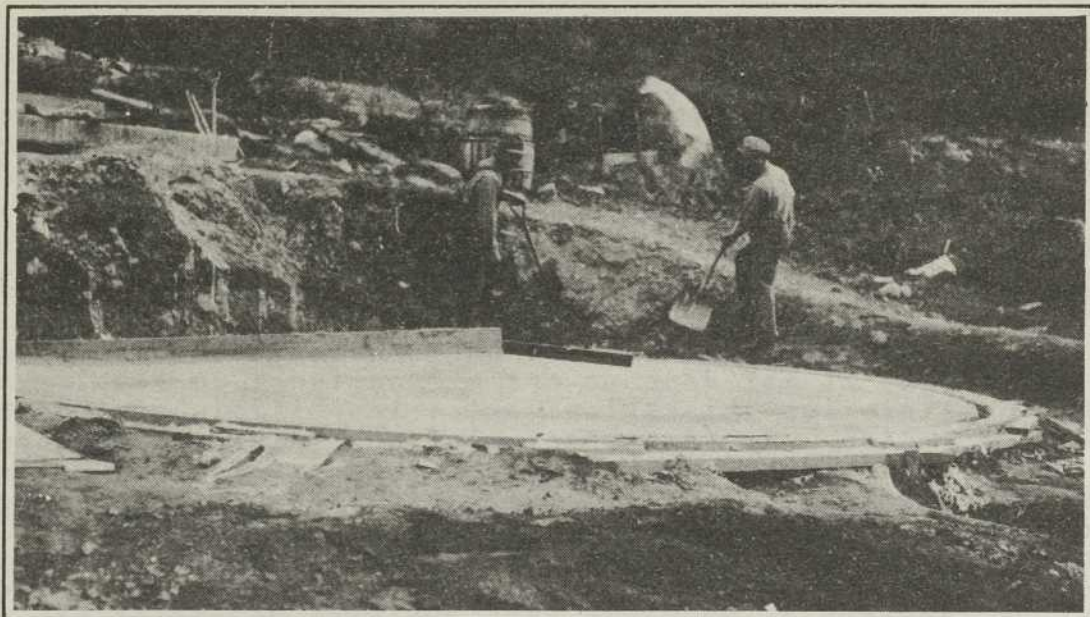


Fig. 6a.- Base, construction du mur et vue extérieure
du nouveau type de four.
(cliché Eric Hudon, i.f.)

Une telle conception de four ne manquera sûrement pas de donner une bonne qualité de charbon de composition uniforme et avec un bon rendement. La fig. 6a reproduit la photographie du premier four de ce genre, construit à titre de démonstration, à Duchesnay, par le Ministère des Terres et Forêts.

Méthode de carbonisation.

A. Enfournement.

Le premier principe de l'enfournement est la compacité de la charge; il est donc de prime importance de remplir autant que possible les interstices entre les billots avec du bois de faible diamètre. Il faut absolument que la résistance opposée à la circulation de l'air dans les interstices soit partout la même dans le four, sinon, la combustion se fera inégalement, le contrôle sera difficile, et il y aura perte de charbon, c'est-à-dire formation excessive de cendres et de fumerons. Il est difficile de charger un four de façon compacte avec du bois de 4 pieds de longueur; on devra donc employer de préférence du bois de 3 pieds au maximum.

Il y a deux méthodes d'enfournement, la méthode radiale et la méthode parallèle. En principe, les deux méthodes sont également bonnes, à condition que le principe de compacité soit rigoureusement observé. Cependant, comme il est plus difficile d'éviter des interstices plus ou moins grands dans le cas de l'enfournement radial, surtout dans les fours de faible diamètre (moins de 15 pieds, par exemple), l'enfournement parallèle est préférable.

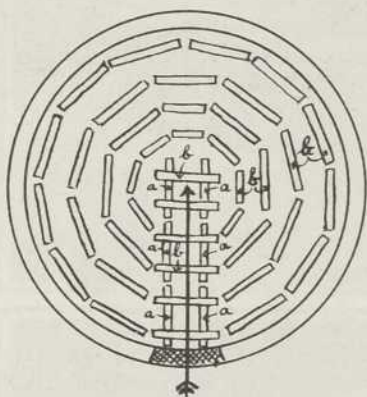


Fig. 7.- Enfournement radial.
Disposition des rances au
fond du four.

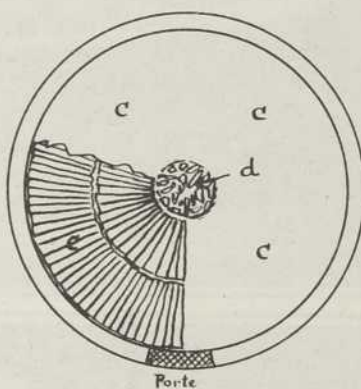


Fig. 8.- Enfournement radial.
Disposition du bois.

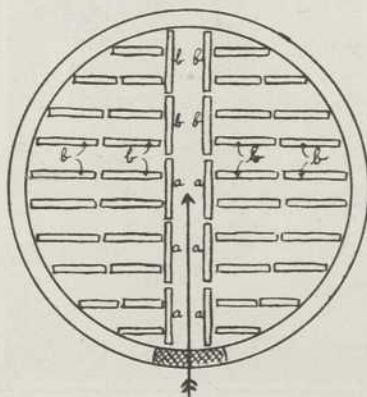


Fig. 9.- Enfournement parallèle.
Disposition des rances au
fond du four.

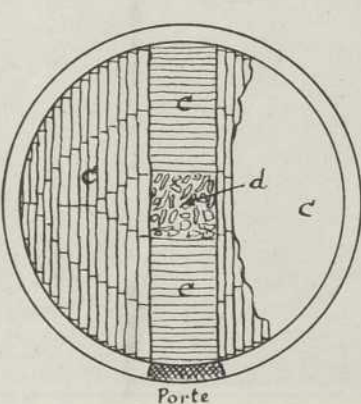


Fig. 10.- Enfournement parallèle.
Disposition du bois.

Voici ce que signifient les lettres dans ces figures:

- a) Rances principales : rondins de bois ou bons fumerons solides de 5" à 6" de diamètre environ, laissant libre le canal d'allumage indiqué par le flèche.
- b) Rances secondaires : rondins de bois ou bons fumerons solides de 3" de diamètre, servant de support à la charge de bois et permettant la circulation d'air au-dessous de celle-ci.
- c) Charge de bois à carboniser. Voici comment cette charge doit être distribuée. Dans l'impossibilité pratique de n'enfourner que du bois de diamètre uniforme — ce qui serait le cas idéal pour obtenir une carbonisation uniforme — on commence par charger, sur les rances du fond, le bois de faible diamètre, jusqu'à une hauteur de 18" à 24" environ, puis on continue avec le bois de moyen diamètre, enfin, on place le gros bois dans la partie supérieure du four, et cela, vers le centre. Cette dernière remarque s'applique d'ailleurs au bois de tout diamètre, c'est-à-dire à l'ensemble de la charge : le gros bois vers le centre, le petit à la périphérie du four. La nécessité de cette précaution s'explique par le fait que la chaleur la plus intense se concentre dans le haut du four sur une période de temps la plus longue possible, et cela indépendamment du mode d'allumage par le bas ou par le haut. Le gros bois, placé en haut, a donc une chance d'être totalement carbonisé, tandis que le petit bois, en bas, ne brûle pas trop vite. En négligeant cette précaution, le gros bois sera seulement converti en fumerons, alors que le petit sera consommé et transformé en cendres. Voilà ce qui explique l'échec d'un certain nombre de charbonniers en ce qui concerne le rendement en bon charbon.
- d) Cheminée centrale. Au centre du four, on réserve une place suffisante (diamètre : 2 pieds environ) à la cheminée d'allumage. Cette cheminée est construite au fur et à mesure que l'enfournement progresse, en y plaçant à partir des rances du fond jusqu'au sommet de la voûte, des fumerons, les gros dans le fond, les moyens au centre et les petits dans le haut du four. On peut y ajouter aussi d'autres matières facilement inflammables, telles que de menus bois secs, des copeaux de bois, voire même du charbon de bois. Si l'allumage se fait par le haut, on aura soin de placer sur le dessus de la cheminée, dans le haut de la voûte, une quantité suffisante de copeaux ou de charbon de bois, remplissant une échancrure telle que décrite pour les meules.

Si la quantité de fumerons à placer dans le four excède celle nécessaire à la construction de la cheminée, le reste des gros fumerons devra être disséminé à travers le bois, de préférence entre les gros billots du haut afin de faciliter leur carbonisation; cependant, l'excédent des petits fumerons devra être placé à travers le bois plutôt dans les parties inférieures du four si l'on veut éviter leur combustion totale.

Le four est maintenant prêt à l'allumage.

B. Allumage.

S'il se fait par le bas, il suffit d'allumer un sac imbibé de pétrole, roulé et attaché au bout d'une perche que l'on

introduit par le canal d'allumage jusqu'au centre de la cheminée. Le feu ne tardera pas à se communiquer aux fumerons et à monter rapidement en haut en suivant les matières inflammables qui composent la cheminée. Les fumées épaisses qui se dégagent aussitôt indiquent que le feu est bien pris.

L'allumage par le haut se fait de la même manière, en mettant le feu à la matière inflammable déposée dans l'échancrure du centre haut de la cheminée. Il descendra plus tard vers le bas en suivant la cheminée, tout en se communiquant au reste du bois qui l'entoure.

Dans la province de Québec, on procède généralement à l'allumage par le bas. Les deux méthodes sont également bonnes lorsqu'on carbonise du bois vert. Mais nous préférons de beaucoup l'allumage par le haut, surtout dans la carbonisation du bois sec, telle que nous la préconisons. Dans une charge de bois sec, allumé par le bas, le feu montant dans la cheminée ne tarderait pas à se communiquer trop tôt au bois sec qui l'entoure; il est infiniment mieux que la carbonisation progresse du haut en bas et qu'elle ne parte pas dans plusieurs parties du four à la fois.

Immédiatement après l'allumage on doit placer la porte de défournement et la fermer de façon étanche au moyen d'un bon mortier à la chaux, sinon le feu prendrait en arrière du four, dans les parties opposées à la porte, et il faudrait alors fermer trop vite les événements de ce côté, empêchant ainsi la carbonisation complète du bois.

C. Préchauffage du bois.

Après l'allumage, la porte d'enfournement de la voûte, ainsi que les événements, restent ouverts. Ainsi, avec un bon tirage d'air, le feu s'intensifie rapidement et se concentre dans la voûte. Une grosse fumée épaisse s'en dégage. La concentration du feu dans le haut du four a pour but d'élever la température du bois à un endroit limité au point de le porter à la température de carbonisation. Ce point est généralement atteint environ $\frac{3}{4}$ d'heures après l'allumage. On le reconnaît par une fumée chaude, très dense, noire, à odeur âcre et vinaigrée, indiquant qu'une première zone de carbonisation s'est formée. On place alors la porte d'enfournement sur son cadre, mais il est préférable de ne pas la cimenter au mortier avant deux heures, à cause du danger d'explosion, plus fort au début, et, aussi, afin de pouvoir vérifier au besoin le progrès normal du feu.

D. Développement de la zone de carbonisation.

Le premier centre de carbonisation formé dans la voûte doit maintenant être développé vers le bas et la périphérie. Ce développement doit être aussi uniforme que possible et il doit, théoriquement, se propager en affectant la forme d'un entonnoir. La figure 11 présente schématiquement le cas idéal du progrès successif de la zone de carbonisation initiale (en noir) dans la direction des flèches.

La régularité de ce développement dépend du charbonnier et des conditions atmosphériques; l'action du vent et de la température affecte fortement la vitesse de la carbonisation. Dans les jours pluvieux et humides, le tirage doit être plus ouvert que par les jours secs, clairs ou venteux. A tout événement, le charbonnier peut à volonté avancer ou retarder le progrès de la zone, en ouvrant ou en fermant les événements. Dès que la phase exothermique d'une assez forte quantité de bois est définitivement

atteinte, c'est-à-dire dès qu'une fumée très abondante, noire et acide, entremêlée de beaucoup de vapeur d'eau, se dégage, on ferme la moitié des événements de la rangée No 4, en y plaçant une brique cimentée au moyen d'un bon mortier de chaux. L'autre moitié des événements de cette rangée (chaque deuxième événement) est prête à être fermée entre 8 et 12 heures après l'allumage. Tout dépend évidemment du vent, et le charbonnier doit souvent modérer le feu sur un côté ou l'autre en plaçant temporairement une brique ou une moitié de brique dans les événements sans toutefois la cimenter, quitte à l'enlever de nouveau lorsque cette partie du four demande plus d'air.

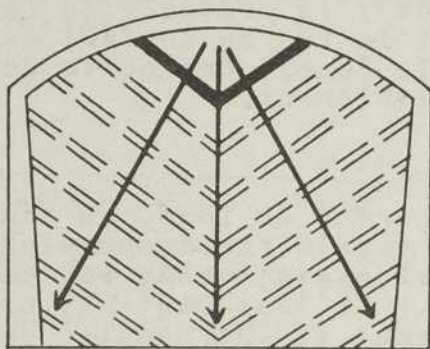


Fig. 11.- Mode de propagation en entonnoir de la zone de carbonisation initiale.

Puis la carbonisation continue en descendant et le charbonnier continue à la régler de la façon indiquée. A chaque rangée d'événements, une épaisse fumée blanche se dégage d'abord pendant les premières heures ou les premiers jours (tout dépend de la grandeur du four), puis la fumée prend une teinte jaunâtre, indiquant que la zone de carbonisation s'approche de l'événement en question; enfin, la fumée devient bleue, ce qui veut dire que la température est très forte, que la carbonisation dans cette région est terminée, et que le charbon formé commence à être consommé par le feu. Dès lors, on ferme cet événement et on le cimente hermétiquement. Ainsi, au fur et à mesure que la zone de carbonisation progresse vers la base du four, on ferme, rangée par rangée, événement par événement.

Nous avons déjà dit précédemment qu'il est important de développer rapidement le premier centre de carbonisation, mais de le faire progresser ensuite aussi lentement que possible, si l'on veut obtenir un bon charbon avec un bon rendement. Le charbonnier ne doit pas oublier que ce qu'il perd en temps il le gagne amplement en charbon. Une carbonisation bien conduite d'un four de 10 cordes réelles ne demande pas moins de 72 heures, parfois plus. Ajoutons à cela, 3 à 4 jours pour le refroidissement, un jour pour l'enfournement, un autre pour le défournement, et nous avons un cycle total de 8 à 9 jours pour une opération complète, c'est-à-dire de trois à quatre carbonisations par mois. Les fours de plus faible capacité demanderont, proportions gardées, plus de temps, les plus grands fours en exigeront moins.

E. Blanchiment.

Dès que le dernier événement est fermé et cimenté, il faut, pour augmenter la teneur en carbone du charbon de bois, mettre le four sous pression, comme nous l'avons déjà expliqué. A cet effet, on recouvre les murs et la voûte du four avec une épaisse couche de chaux (lait de chaux), afin de boucher les pores de la brique, dilatés sous l'action de la chaleur, et de rendre le four parfaitement étanche. Nous avons déjà suffisamment insisté sur l'importance de l'étanchéité absolue des fours. L'évaporation de l'eau que contient le lait de chaux a d'ail-

leurs l'heureux effet d'accélérer le refroidissement.

F. Refroidissement.

Nous avons déjà parlé de sa durée moyenne. La fin du refroidissement peut être reconnue facilement en introduisant la main dans l'ouverture d'observation pratiquée dans la porte de défournement (voir le plan). La condensation de la vapeur d'eau en gouttelettes abondantes sur la surface intérieure de la porte indique que le refroidissement est assez avancé. Ce contrôle simple est très avantageux, car il est très important de ne pas ouvrir le four trop tôt ; la présence de charbon encore ardent mettrait immédiatement le feu au contact de l'air, et il faudrait dans ce cas refermer le four. Une perte de temps et de charbon en résulterait infailliblement.

G. Défournement.

En ouvrant les portes du four, on constate d'abord que le volume de charbon est considérablement plus petit que celui du bois enfourné ; le charbon est foulé, il remplit environ les 2/3 de la hauteur du four. Ce tassement est plus ou moins régulier, et son observation permet au charbonnier de tirer des conclusions sur le succès de son opération, ainsi que de corriger, s'il y a lieu, sa méthode de carbonisation. En effet, le tassement doit se faire également dans toutes les parties du four, c'est-à-dire que le charbon doit arriver partout à la même hauteur. S'il y a des "creux" à la surface, cela indique que la combustion a été inégale, que le chargement n'a pas été suffisamment compact à cet endroit, que l'air a pénétré dans les "cheminées" ainsi créées en quantités surabondantes, que la combustion, par conséquent, a été trop vive à cet endroit et qu'elle y a consommé même le bon charbon. Cette assertion est soutenue par le fait qu'on trouve toujours beaucoup de cendres là où il y a des vides. Un tassement inégal peut encore indiquer que les événements de ce côté ont été mal réglés et que l'air y a trouvé accès trop facile ou trop prolongé. L'examen de l'uniformité de tassement ne doit donc pas être négligé. Grâce à sa forme de cône renversé, le nouveau modèle de four proposé à la page 90 (voir figure 6) donnera un tassement du charbon beaucoup plus régulier.

Le mode de défournement dépend évidemment de la forme et de la grosseur du charbon demandé par l'acheteur. Parfois on procédera directement à l'ensachement, d'autres fois au concassage préalable. Mais, dans tous les cas, le charbonnier devra tenir compte des règles de précaution exposées à la page 74, afin d'éviter des pertes irréparables au cours de l'entreposage du charbon.

Bilan économique.

Pendant qu'un four est au stage de la carbonisation ou du refroidissement, on peut charger et allumer un deuxième, puis un troisième, un quatrième four. Voilà pourquoi nous préférons plutôt des batteries de petits fours, car le même charbonnier peut facilement surveiller de 4 à 6 fours, et ses aides seront continuellement occupés à remplir et à vider les fours. Un tel emploi judicieux du temps n'aura que de bons effets sur le bilan économique de l'entreprise.

Il est impossible de donner ici un calcul précis des revenus et dépenses d'un établissement de carbonisation ; tout dépend des conditions locales : nature de la réserve forestière, distance du four au centre de coupe, conditions de transport du bois et du charbon, main d'oeuvre étrangère ou familiale, etc. Ce-

pendant, on peut dire d'une façon générale que le bois, abattu, scié de longueur et transporté au four, soit par contrat ou sous-contrat, sur une terre boisée privée (cest-à-dire sans payer de royauté) coûte aujourd'hui en moyenne \$ 4.00 par corde standard. De plus, si l'on tient compte que l'enfournement et le défournement d'un four de 10 cordes demandent environ 8 heures de travail pour chaque opération, pour une équipe composée du charbonnier et de deux aides, qu'un cycle complet d'opération exige 8 jours, que le rendement moyen est de 800 lbs. de bon charbon par corde de bois, et que son prix de vente actuel est de \$22.00 par tonne environ, le bilan économique approximatif d'un établissement de carbonisation peut se formuler ainsi:

Nombre de fours de 10 cordes :	1 four	2 fours	3 fours	5 fours
Dépenses (frais d'opération)	\$	\$	\$	\$
Coût du bois, à \$ 4.00 par corde	40.00	80.00	120.00	200.00
Salaire du charbonnier à \$ 40.00 par semaine	40.00	40.00	40.00	40.00
Salaire de 2, (3) aides, à \$ 15.00 par "	30.00	30.00	45.00	60.00
Sacs, ficelles, outils, accessoires et diverses dépenses	5.00	10.00	15.00	25.00
Frais de transport du charbon	5.00	10.00	15.00	25.00
Amortissement des fours en 5 ans, par semaine	2.00	4.00	6.00	10.00
Intérêt sur capital investi, 5%, par semaine	0.60	1.20	1.80	3.00
Total des frais	122.60	175.20	242.80	363.00
Recettes				
Vente du charbon à \$ 22.00 par tonne	88.00	176.00	264.00	440.00
Profit net approximatif, par semaine	perte	0.80	21.20	77.00

Un seul four travaille donc à perte sur une base commerciale; seul le cultivateur ou le colon coupant lui-même le bois et opérant le four à temps perdu avec de la main d'oeuvre familiale et sans déboursés directs en argent, peut en faire un succès, tout en se faisant un salaire intéressant. Avec de la main d'oeuvre étrangère, une batterie de 2 fours boucle à peu près le budget, mais avec trois unités ou plus, le rendement financier est de plus en plus encourageant.

La figure 12 (hors texte) montre une telle batterie de 4 fours du type amélioré (voir page suivante).

Équipement auxiliaire

Selon l'importance de l'entreprise, un certain équipement mécanique est parfois nécessaire pour diminuer les frais généraux d'opération.

Nous avons déjà insisté sur l'importance de carboniser du bois de diamètre à peu près uniforme et son influence sur le rendement. Un petit établissement de carbonisation ne dispose, pour fendre les gros billots d'aucun autre moyen bon marché que la hache et le biceps du bûcheron. Mais une entreprise d'une certaine envergure emploierait avec avantage une fendeuse mécanique, du genre de celle illustrée par la fig. 13.

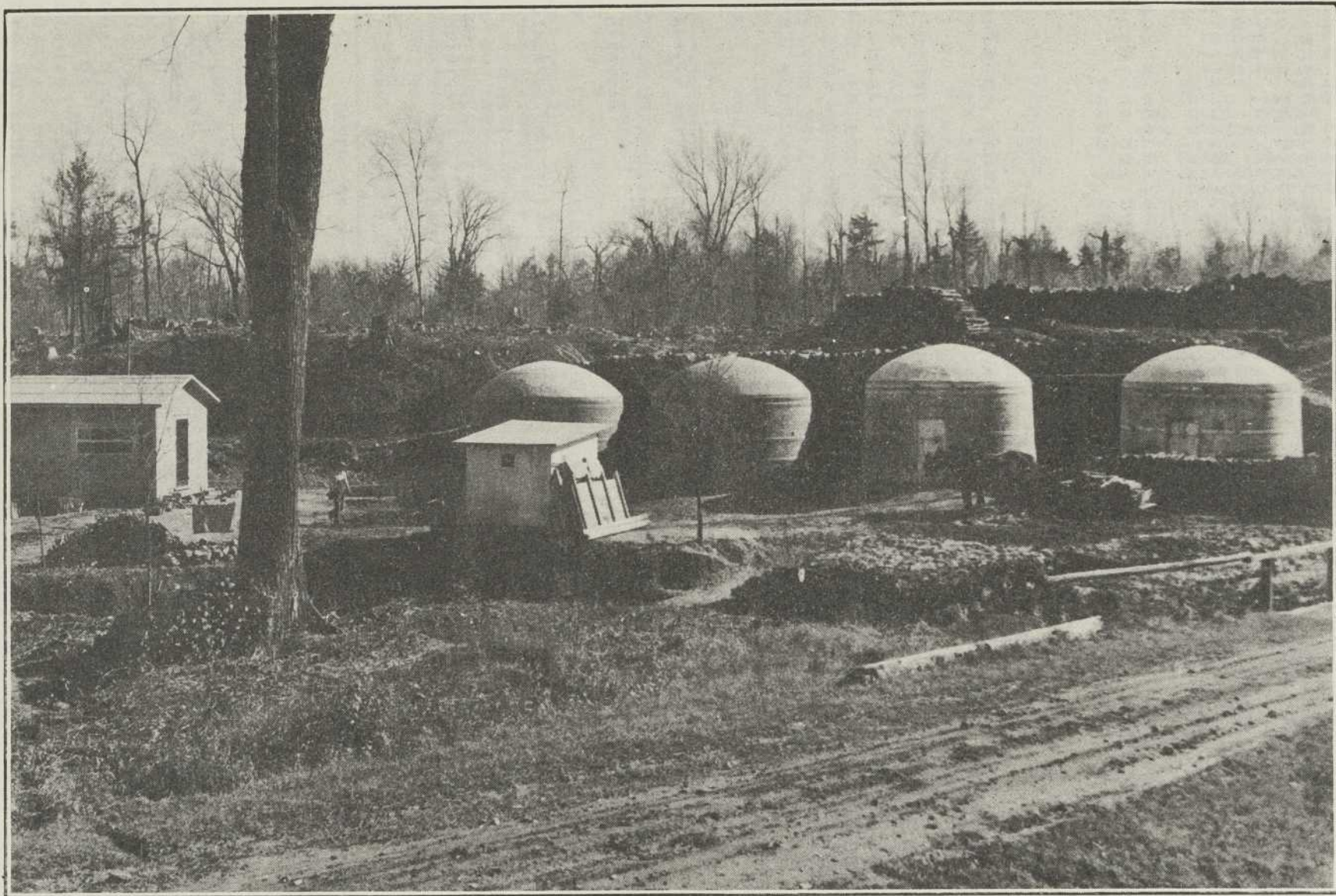


Fig. 12.- Batterie de quatre fours
(cliché de M. A. Joly de
Lotbinière).

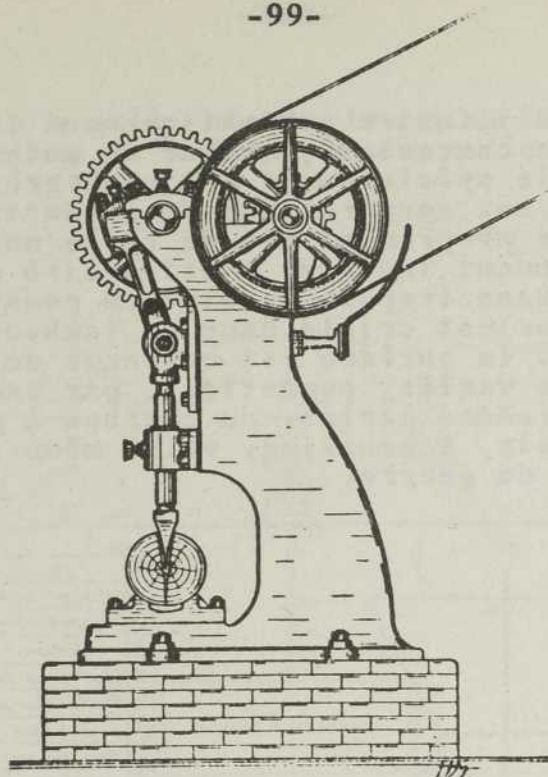


Fig. 13.- Fendeuse mécanique
(cliché de Klar et Rule)

Le concassage du charbon de bois est particulièrement nécessaire pour la préparation du combustible pour gazogènes dont le bon fonctionnement exige un charbon bien criblé et calibré. Il peut se faire au moyen de machines plus ou moins compliquées. La fig. 14 présente le type d'une petite machine à action manuelle, convenable pour une petite entreprise. Sa partie essentielle est constituée de disques en fer, à distance ajustable selon le degré de fragmentation que l'on désire obtenir. Les mâchoires de cette machine sont arrangées pour ne pas broyer le charbon et le réduire en poussière (déchets), mais bien pour faire "éclater" le charbon en morceaux de dimensions désirées.



Fig. 14.- Concasseur à main
(cliché de Vélard)

La fig. 15 illustre schématiquement la construction d'un grand modèle de concasseur, mu par un moteur ou par un gazogène, recommandable spécialement aux plus grands établissements de carbonisation et aux coopératives de producteurs de charbon de bois. Le concasseur proprement dit de cette machine travaille selon le principe précédemment indiqué, c'est-à-dire qu'il doit faire éclater le charbon sans trop le réduire en poussière. Le charbon tombant du concasseur est criblé dans un tambour tournant légèrement incliné et dont la surface est couverte de plusieurs sections de tamis de calibres variés, permettant, par exemple, de préparer à la fois et sans grandes pertes, du charbon à gazogènes, du charbon à poules, à poulets, à poussins, voire même du gros charbon pour les industries de guerre.

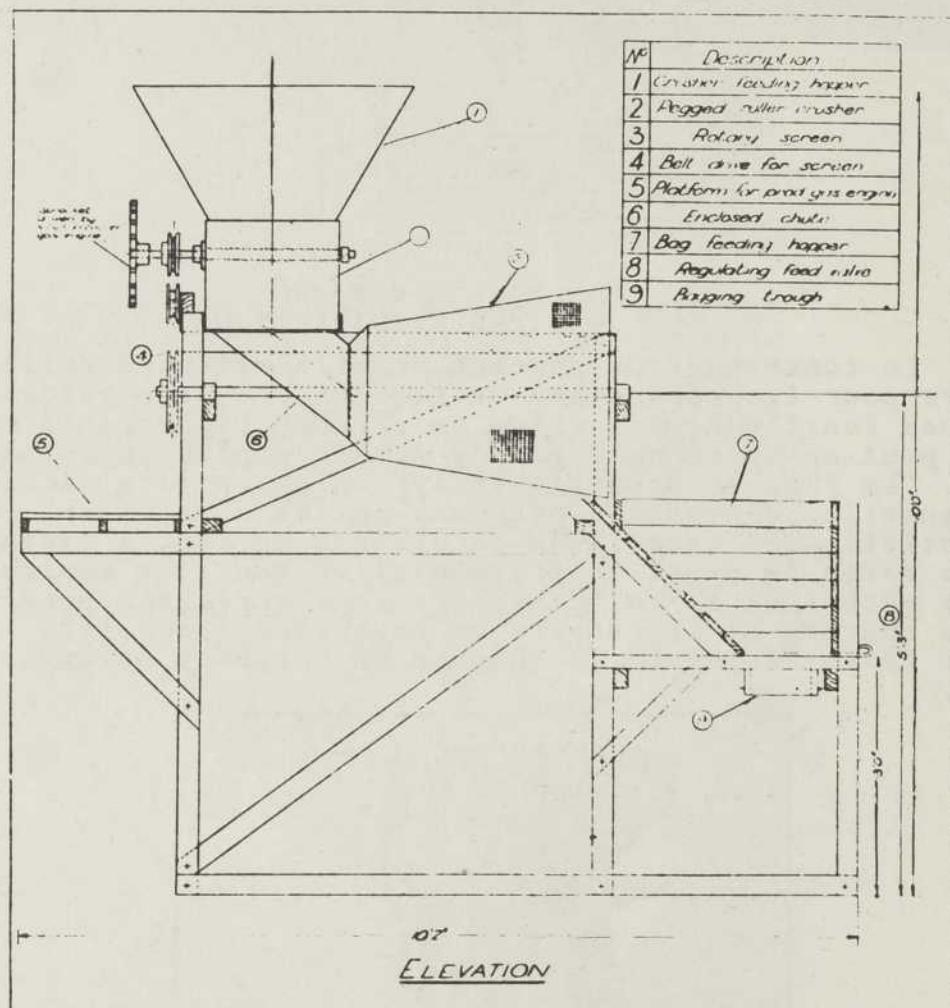


Fig. 15.- Concasseur, grand modèle.
(cliché de la Commission forestière,
New South Wales, Australie)

Afin de coordonner de façon économique tout le travail d'un grand établissement de carbonisation disposant d'une ou de plusieurs batteries de fours, il faut avant tout viser à réduire autant que possible la manutention du bois et du charbon, ainsi que d'occuper l'équipe de travailleurs de façon continue et systématique. Selon une étude détaillée faite par M. E.-H.-F. Swain, la Commission forestière de New South Wales propose de centraliser la production en disposant une batterie de six fours en cercle, ou une batterie de 11 fours en cercle double avec l'un des fours au point d'intersection des deux cercles, et, au centre de la deuxième intersection, le concasseur et les cribles. La fig. 15a montre schématiquement la disposition d'une batterie de six ou de onze fours de 10 cordes chacun. Pour la batterie

de 6 fours, on n'aura qu'à enlever les cinq fours disposés sur l'un des deux cercles, et à disposer le reste selon le bon sens et les conditions locales.

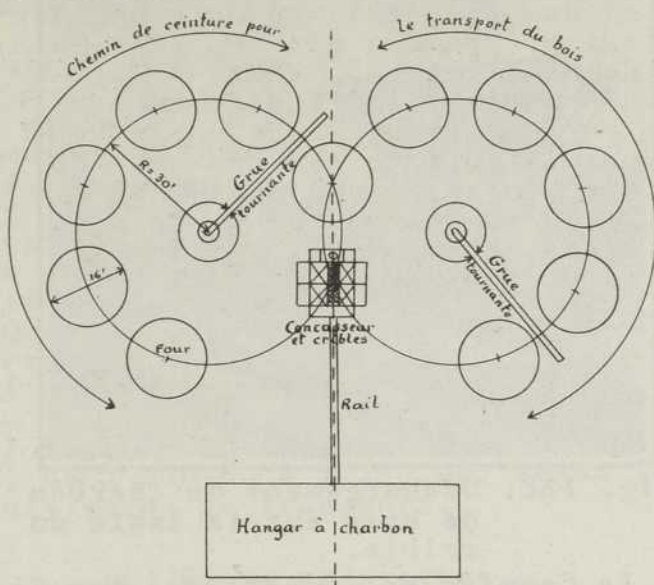


Fig. 15a. Disposition d'une batterie de fours.
(dessin adapté selon un cliché de la
commission forestière, New South Wa-
les, Australie).

Avec une telle organisation, toutes les opérations de manutention sont réduites à la plus simple expression, car l'enfournement du bois, le défournement du charbon et le transport du charbon des fours au concasseur se font au moyen d'une grue tournante à opération manuelle. Tout ce travail, en plus de la surveillance des fours en état de carbonisation, du concassage, du criblage, de l'ensachement, de la pesée et du transport au hangar, ne demanderait qu'une équipe de 4 à 5 hommes pour les batteries de 6 fours, et de 7 à 8 hommes pour les batteries de 11 fours à 10 cordes chacun. Les fig. 15b et 15c présentent des photographies d'une organisation de ce genre établie en Australie (on remarquera que les fours utilisés dans ce pays sont, du moins en partie, du type métallique).



Fig. 15b. Défournement du charbon
de bois au moyen d'une
grue tournante.

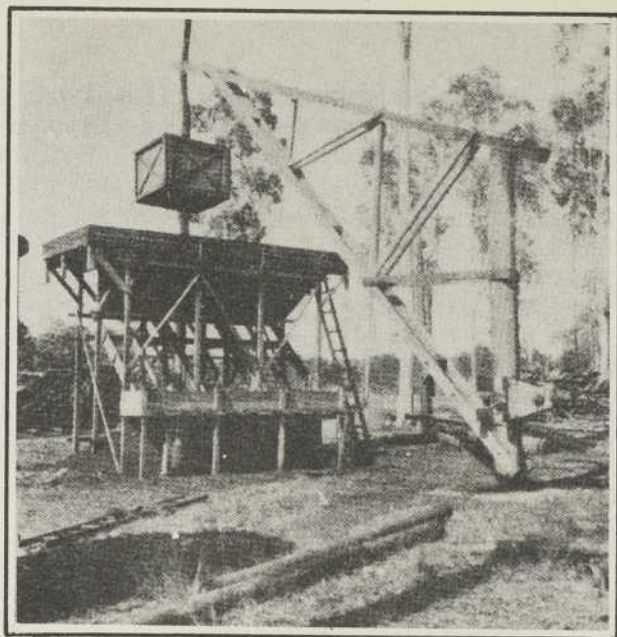


Fig. 15c. Déchargement du charbon de bois sur la table du crible.

(clichés de la Commission forestière, New South Wales, Australie).

b) Fours en ciment

Il y a, à l'heure présente, quelques fours en ciment en opération dans notre province. En raison du coût de construction peu élevé de ces fours, nous croyons réellement qu'ils mériteraient un peu plus d'attention. Il y aurait sans doute des réserves à faire en ce qui concerne la durabilité des fours en ciment, car les adeptes du four en briques prétendent, probablement non sans raison, que le ciment s'effrite à la longue par l'action de la chaleur intense. Il y a cependant lieu de croire que la période de service d'un four en ciment puisse être raisonnablement prolongée, à condition que l'on prenne les précautions élémentaires qui s'imposent dans une construction de ce genre. Il faudra, par exemple, faire un ciment assez riche, réserver un temps suffisant pour la prise du ciment, et ne pas l'exposer au froid, c'est-à-dire construire le four en été ou en automne avant les gelées nocturnes. On obtiendra ainsi un four étanche, sans fissures, et résistant au feu.

A titre d'exemple, les figures 16 et 17 présentent un croquis d'un four de 10 cordes réelles:

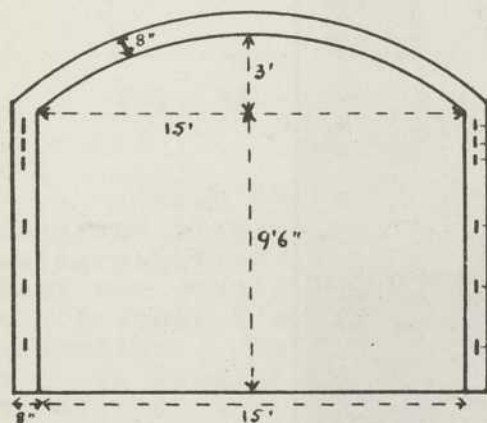


Fig. 16 - Four en ciment de 10 cordes, forme classique.

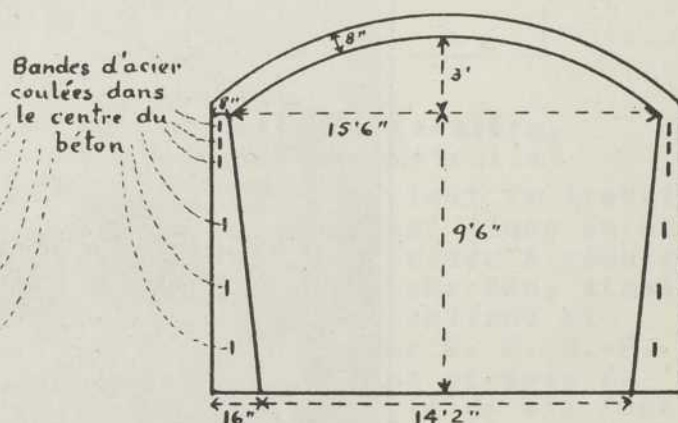


Fig. 17 - Four en ciment de 10 cordes, forme nouvelle.

Afin d'empêcher, autant que possible, ces fours de "travailler" et de se fissurer, il est évident que de très bonnes fondations en pierres sur un fond très solide sont de la plus haute importance.

Le coulage du ciment se fait au moyen d'une forme en bois sur les deux faces du mur, ou, un peu plus économiquement, une forme en bois à l'extérieur, et, à l'intérieur, une forme faite au moyen de "broche à poulailier" revêtue de papier goudronné.

La construction d'un four de 10 cordes réelles exige environ 100 sacs de ciment, 12 verges cubes de pierres de champ de 3" à 4" de diamètre, et 25 à 30 verges cubes de gravier ou de bon sable. Quant au reste de l'équipement, ferrures, disposition des portes et des événements, etc., on procédera tel qu'exposé en détail dans le devis précédent.

Un tel four de 10 cordes coûte, main d'oeuvre et matériaux compris, de \$ 200.00 à \$ 250.00, selon les conditions locales et les distances de transport.

c) Fours en pierres.

Nous ne connaissons présentement que quelques très rares fours construits en pierres taillées. Il y aurait avantage à bâtir des fours en pierres là où le cultivateur dispose de pierres convenables et préparées à bon compte grâce à la main d'oeuvre familiale. Dans toutes les autres conditions, les fours en pierres ne présentent pas d'autres avantages par rapport aux fours en briques ou en ciment. L'érection et l'équipement d'un tel four se font d'ailleurs de la façon déjà décrite, de sorte qu'il n'est pas nécessaire d'insister davantage.

3. Les fours métalliques.

Grâce à l'encouragement financier du gouvernement, les fours métalliques se sont rapidement introduits en France, où ils ont donné de bon résultats économiques dans les conditions forestières de ce pays. En raison de leurs dimensions plutôt restreintes - les capacités ne dépassent généralement pas 2 ou 3 cordes - ces fours sont moins massifs que les fours en maçonnerie; ils sont démontables, plus ou moins faciles à transporter, et conviennent donc très bien à la fabrication de charbon à proximité de la matière première, même sur des terrains boisés à superficie restreinte comme c'est le cas de la forêt privée ou communale en France. Les manufacturiers français ont développé plusieurs types de fours métalliques dont quelques-uns avec des dispositifs permettant la récupération partielle des produits volatils, pyroligneux et goudrons. Les fours de la marque Trihan, Delhommeau, Colson, Magnein et Vidal (ce-dernier avec système de récupération partielle), sont probablement les plus répandus. Les fours Trihan, Delhommeau et Vidal faisant partie de l'équipement du Laboratoire des Produits forestiers du Ministère des Terres et Forêts à Duchesnay, ces fours nous ont servi à des carbonisations expérimentales dont les résultats sont compilés dans le tableau No 25 ; on y trouvera également une description de ces fours en ce qui concerne les capacités, les dimensions et le nombre d'événements. Ajoutons seulement que le four Trihan possède, dans le couvercle, une bouche d'allumage de 6" de diamètre et un seul événement (sur le côté) de 12" de diamètre qui amène l'air dans toutes les parties du four

à travers un plancher métallique perforé. Le four Delhommeau a, dans le couvercle, une bouche d'allumage de 15" de diamètre et six ouvertures, servant de cheminées, de 4" de diamètre. Trente-six événements de 1" de diamètre distribués à la périphérie de la base du four et ayant des disques perforés pour régler le débit, amènent l'air au four. Le four Vidal, enfin, a 16 événements de 4" (dont 4 dans le fond et les autres distribués à diverses hauteurs sur le cylindre vertical formant le four), une bouche d'allumage de 18" de diamètre sur le dessus, et 4 cheminées de 12" de diamètre permettant non seulement d'activer et de régler le tirage, mais aussi de récupérer partiellement les produits volatils qui s'y condensent. Les figures 18, 19, 20 et 21 illustrent ces trois types de fours(1).

Malgré leurs qualités et leurs avantages, les fours métalliques français n'ont pas réussi à s'introduire chez nous, à cause des frais de transport trop élevés en temps ordinaire, et des difficultés de transport au cours de la présente guerre. Il y a d'ailleurs d'autres raisons d'ordre technique et local qui empêchent l'introduction plus générale de ces fours. Le facteur climatique apporte sans doute une objection assez sérieuse, car, à cause de la forte perte de chaleur due à la grande conductibilité thermique du métal, il est difficile, dans les conditions pratiques de nos hivers canadiens, d'obtenir et de maintenir une température de carbonisation convenable, à moins de construire des appareils à parois doubles avec, entre deux, une couche d'air isolant, ce qui a naturellement pour effet d'alourdir l'appareil, de le rendre moins mobile et plus dispendieux. Mais il y a aussi le facteur local à considérer, car, avec la grande étendue de nos réserves forestières, le déplacement fréquent des fours ne s'impose pas généralement. Enfin, le facteur économique est également défavorable à l'introduction générale de tels fours métalliques, car le coût plus élevé de la main d'oeuvre forestière canadienne est, par suite de la perte de temps occasionnée par les fréquents déménagements, un sérieux obstacle. Enfin, la capacité généralement faible de ces fours et leur coût d'achat élevé complètent ces objections.



Fig. 18 - Four Trihan, en opération.

(1) Les photographies reproduites dans les fig. 18 à 24, nous ont été gracieusement fournies par M. Robert Bellefeuille, I.F.



Fig. 19- Four Delhommeau, en opération.

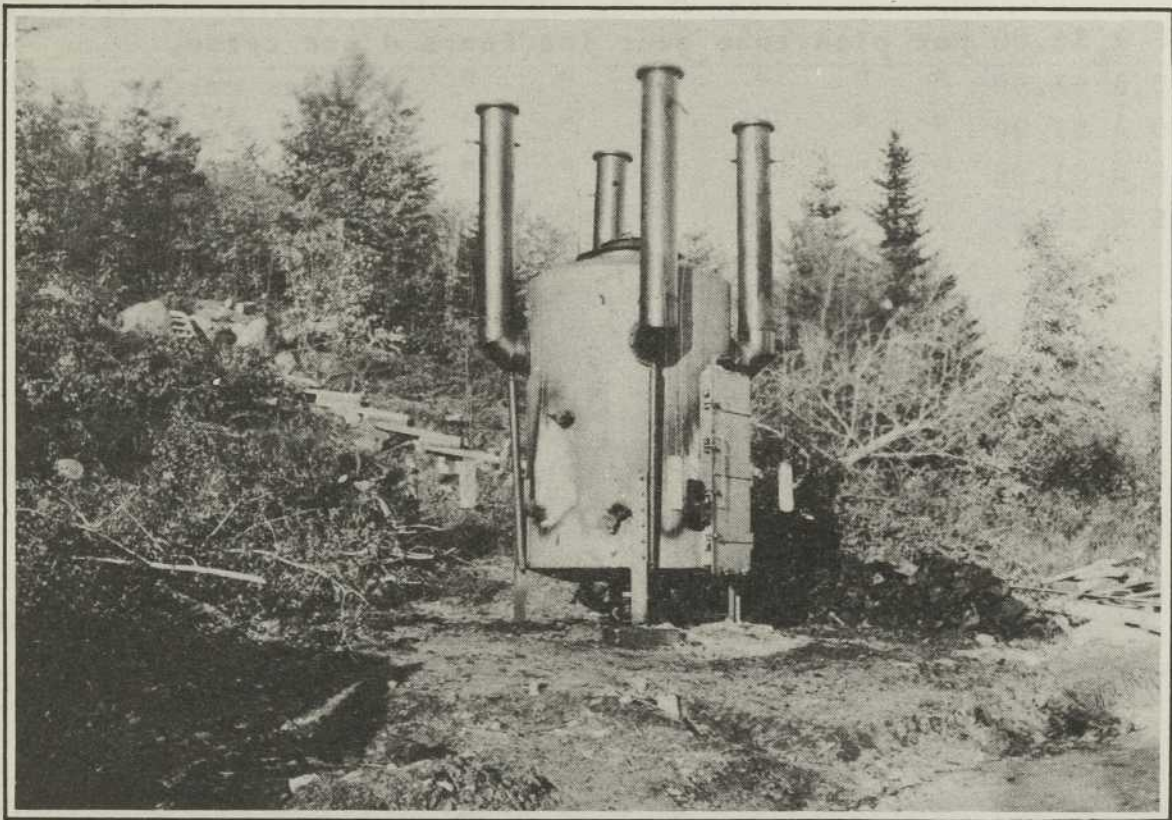


Fig. 20 - Four Vidal, vue générale.

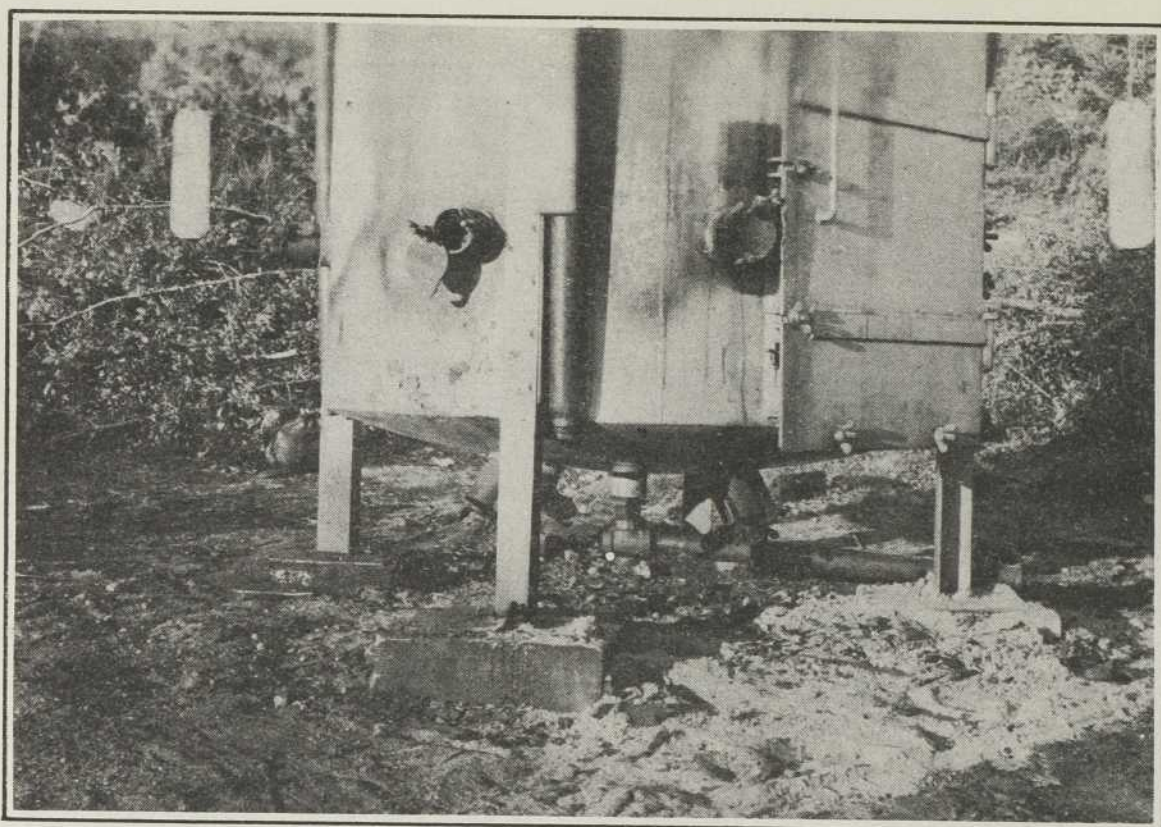


Fig. 21 - Four Vidal, partie inférieure du four montrant les évents et le tuyau d'écoulement pour les goudrons.

En effet, le prix des divers modèles de fours métalliques varie entre:

\$1.25 à \$2.00	par	pied	cube	pour	les 'fours	d'une	corde,
\$1.00 à \$1.50	"	"	"	"	"	"	de deux cordes,
\$0.80 à \$1.30	"	"	"	"	"	"	de trois cordes,
\$0.75 à \$1.25	"	"	"	"	"	"	de cinq cordes,
\$0.75 à \$1.25	"	"	"	"	"	"	de dix cordes.

Ces prix sont d'ailleurs calculés sur la base normale d'avant-guerre, et il est probable qu'il faudrait maintenant ajouter une forte majoration en raison de la rareté du métal.

Dans l'intention de résoudre plusieurs de ces objections, un certain nombre de manufacturiers québécois ont récemment entrepris la construction de fours métalliques mieux adaptés aux conditions locales. Mentionnons particulièrement les fours :

- "Cossette" ; constructeur: M. Maurice Cossette, 18 Ave. Lorne, St-Lambert, Co. de Chambly.
- "Laurentien"; constructeur: M. Eugène Patenaude, Nominingue, Co. Labelle.
- "Alain" ; constructeur: M.le professeur Alain, Ecole Technique, Trois-Rivières.
- "Bang " ; constructeur: M. C.S. Bang, I.C., 4266 Old Orchard Ave., Montréal.
- "d'Aragon" ; constructeur: M. Paul d'Aragon, I.M., 1035 University Tower Bldg., Montreal.

Vu que l'appareil "d'Aragon" est un four rotatif à carbonisation continue et à foyer externe, et que nous ne considérons dans ce travail que l'équipement destiné à la carbonisation sans récupération des produits secondaires dans le cadre de notre petite industrie rurale, nous ne donnerons pas d'autres détails sur ce procédé malgré tous les avantages qu'il possède.

Les capacités, les dimensions et le nombre d'évents des fours "Cossette", "Laurentien" et "Alain" qui ont servi à nos carbonisations expérimentales figurent au tableau No 25. Ajoutons à cette description sommaire que le four "Cossette" est de forme hexagonale, qu'il possède à sa base 6 évents de 4" de diamètre, et 5 cheminées de 8" de diamètre pour activer le tirage et pour condenser partiellement les matières volatiles que l'on peut récupérer. Le four "Laurentien" a, sur le dessus, 4 cheminées de 10" de diamètre, et, à la périphérie de sa base, 12 évents de 2½" de diamètre. Le four "Alain", facile à démonter et à transporter, de conception simple et efficace, est caractérisé par un cylindre de tôle en 2 sections portant à la périphérie de sa base 12 évents de 2" de diamètre, et un couvercle entièrement mobile, pourvu d'une bouche d'allumage de 15" de diamètre. Enfin, le four "Bang" (brevet canadien No 346,366; brevet américain No 2,159,310) est un modèle perfectionné à doubles parois et pourvu d'un dispositif pour la récupération partielle des goudrons et pyroligneux.

Il est inutile de donner ici de plus amples détails sur la construction, les avantages et les qualités de ces divers types de four, car nos charbonniers peuvent facilement obtenir de la littérature descriptive et autres renseignements désirés en s'adressant directement aux manufacturiers ci-dessus mentionnés. Il en est de même de la méthode de carbonisation qui, tout en s'inspirant de la méthode générale exposée plus haut pour les fours en briques, varie quelque peu avec le genre de four. Nous donnerons plutôt quelques figures (Nos 22 à 27) qui illustrent les principaux points caractéristiques de ces fours.

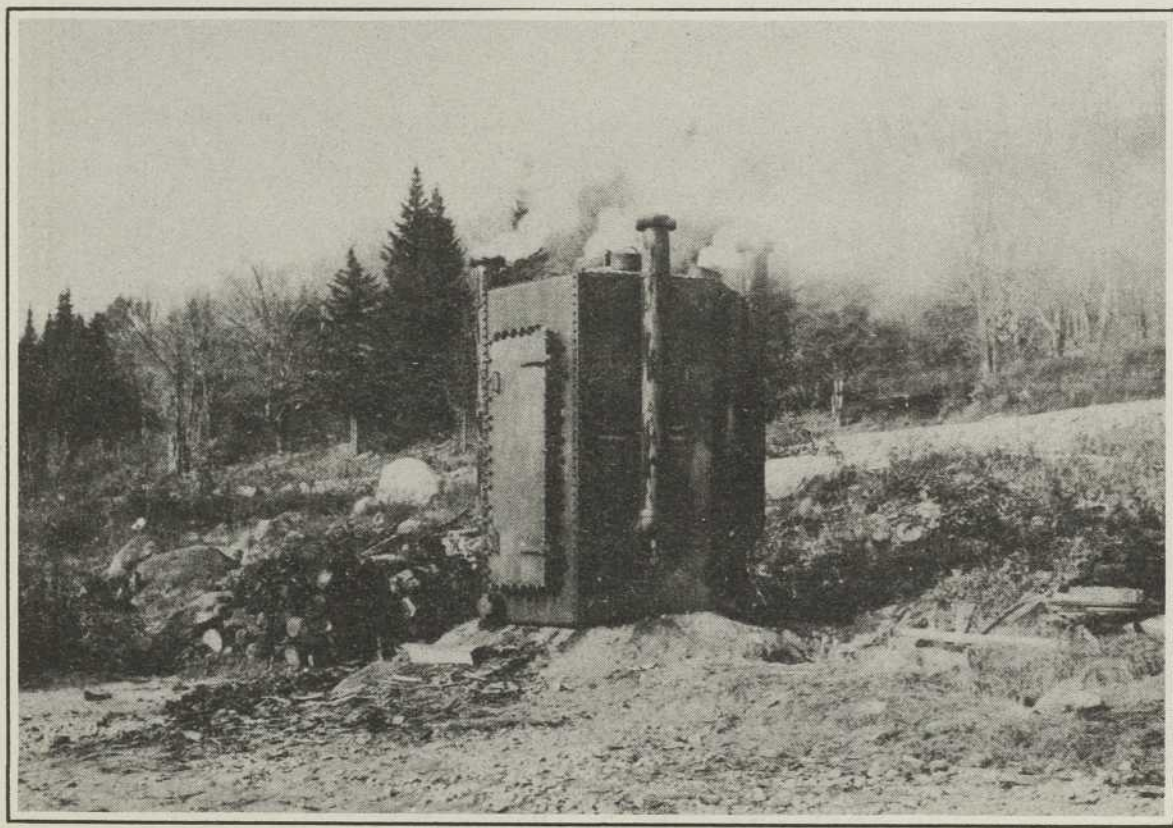


Fig. 22 - Four "Cossette".



Fig. 23.- Four "Laurentien".



Fig. 24 - Four "Alain".

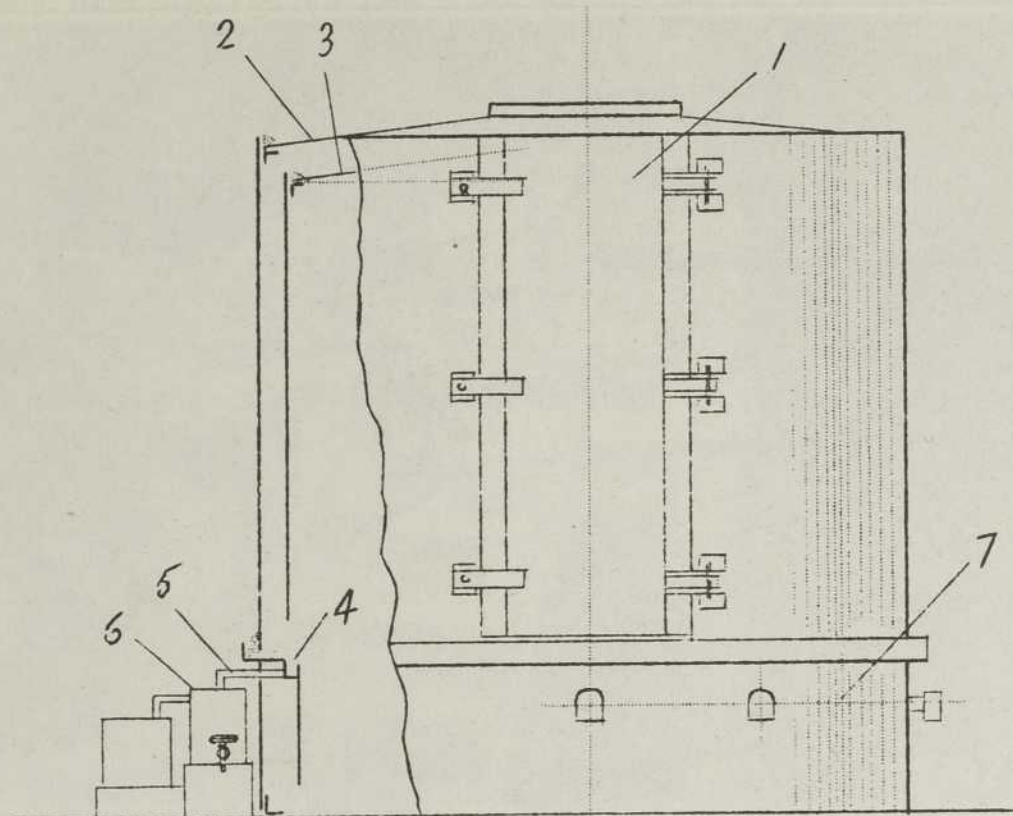


Fig. 25 - Dessin schématique du four "Bang".

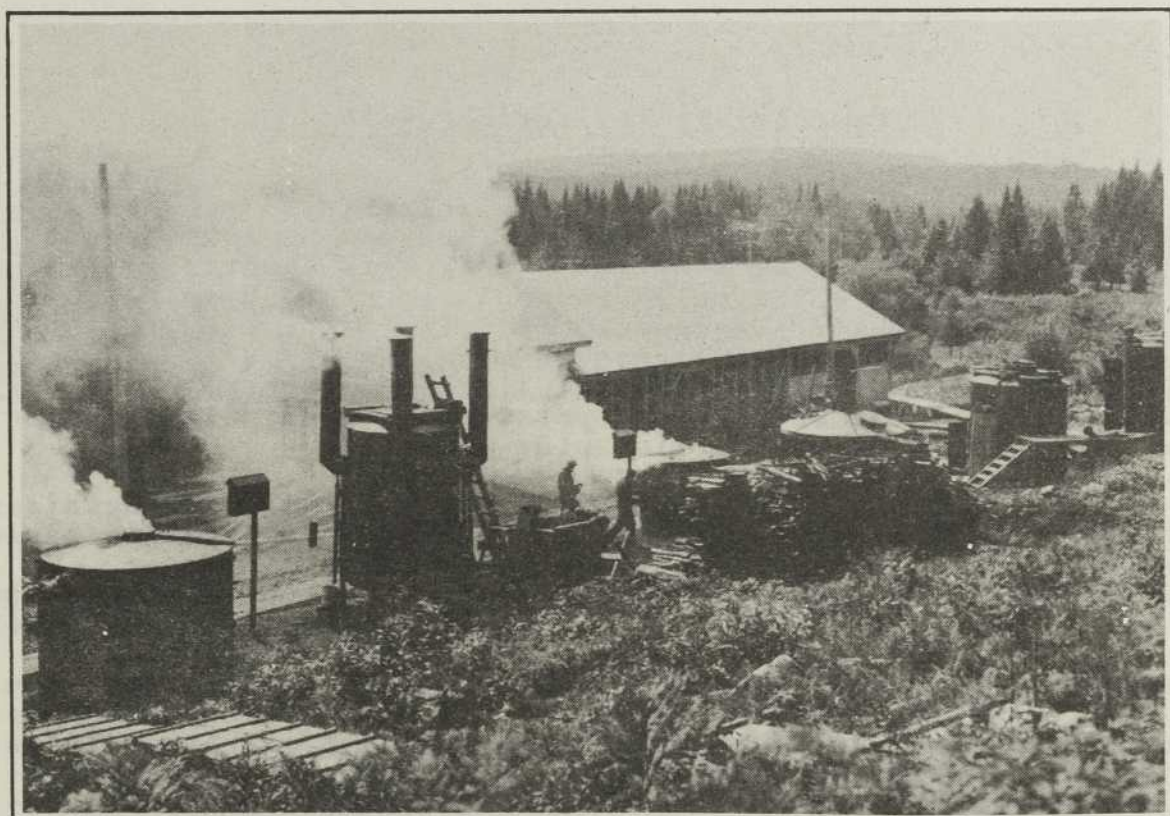


Fig. 26 - Vue d'ensemble de la Station expérimentale de carbonisation à Duchesnay, Co. Portneuf.



Fig. 27 - Installation d'un pyromètre électrique pour le contrôle de la température de carbonisation.

Four horizontal rectangulaire.

Les fours métalliques jusqu'ici décrits sont tous du type vertical, essentiellement constitués par un cylindre ou un prisme polygonal. La construction de tels appareils en tôle d'acier pesante exige un équipement mécanique dispendieux, tel que des rouleuses, coupeuses, etc. etc., que l'on ne trouve que dans des ateliers mécaniques bien équipés et hautement spécialisés. D'où d'ailleurs la solidité et la perfection de ces appareils, mais aussi leur prix relativement élevé, principal obstacle à l'introduction plus générale.

Voilà sans doute la raison qui a incité des ingénieurs suédois à développer un petit four métallique horizontal et rectangulaire, facile à construire, à opérer et à déménager. Ce four ne nécessite que quelques feuilles de tôle d'acier, quelques écrous et autres ferrures, et il peut être préparé et assemblé par n'importe quel ouvrier le moins spécialisé dans le travail du fer. Pour toutes ces raisons, la construction d'un tel four, mobile, simple, bon marché est surtout recommandable pour le propriétaire d'une petite terre boisée qui ne peut opérer avec profit un plus grand four, ou encore pour le propriétaire d'un gazogène à charbon de bois qui désire préparer lui-même son carburant forestier. Vu que le coût de revient d'un tel four ne doit pas dépasser, matériel et main d'oeuvre compris, la somme de \$100.00 à \$150.00 pour un modèle de capacité variant de une à deux cordes, nous nous croyons justifié de

donner une description un peu plus détaillée de sa construction, ainsi que de la méthode d'opération. Dans la suite, nous appellerons ce four: le "suédois", et nous empruntons ce qui suit à MM. Olson et Hicock (1), qui ont le plus contribué à sa vulgarisation en Amérique. Le travail de ces deux auteurs comprend une description détaillée du montage de deux fours suédois de 1 et 4 cordes de capacité respectivement, ainsi que des méthodes d'enfournement et de carbonisation. Pour les motifs ci-dessus mentionnés, nous ne traiterons ici que du petit four d'une corde, très utile pour la carbonisation sur petite échelle, destinée à fournir le charbon pour la consommation domestique du producteur.

La figure 28 donne une vue de côté du four suédois tel que construit par Olson et Hicock.

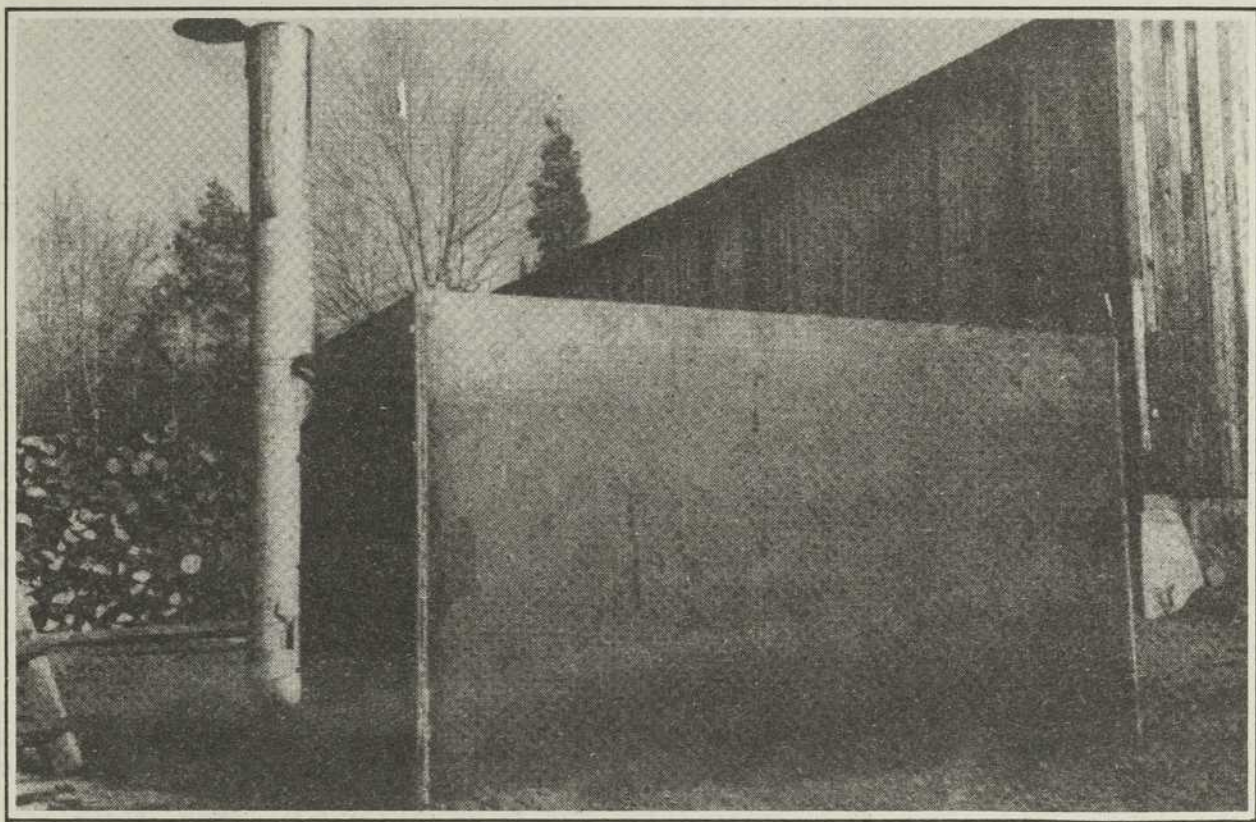


Fig. 28 - Vue de côté du four suédois,
capacité : une corde
(cliché Olson et Hicock, par courtoisie du Service forestier des Etats-Unis.)

(1) Olson, A.R. et Hicock, H.W. - A Portable Charcoal Kiln using the Chimney Principle. Bulletin No. 448, Connecticut Agricultural Experiment Station, New Haven, Conn. (Octobre 1941).

La figure 29 représente un dessin schématique de l'appareil avec les diverses parties qui le composent.

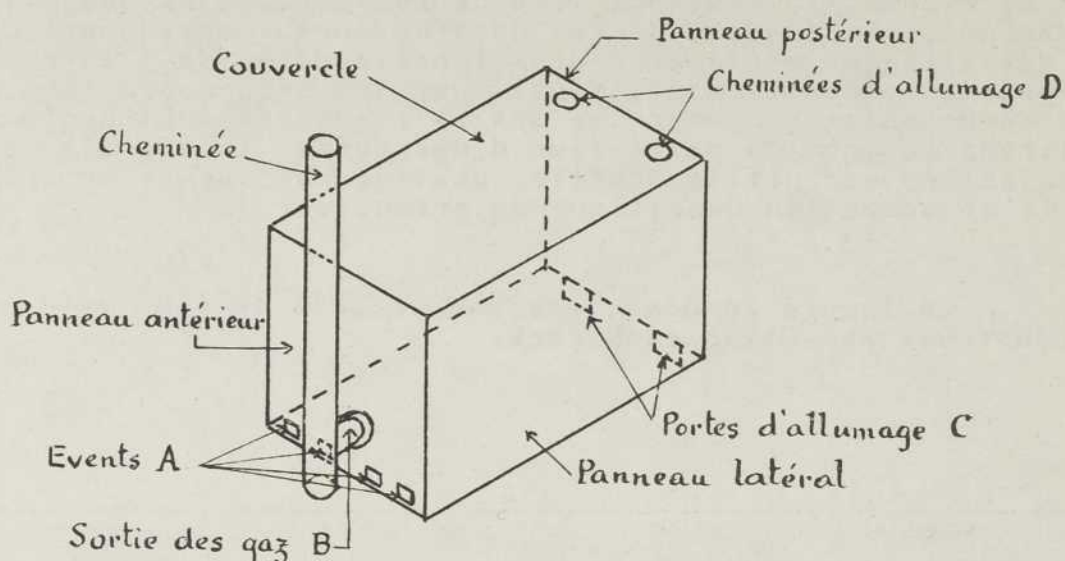


Fig. 29 - Schéma du four suédois, capacité : une corde (cliché Olson et Hicock).

Le tableau No 46 donne une liste des matériaux nécessaires à la construction d'un tel four.-

Ce four doit être érigé sur un sol ferme et bien nivelé, sur lequel on place des grandes pierres plates formant le support des quatre coins du four, ainsi que d'autres pierres semblables à tous les quatre pieds, supportant les deux panneaux.

L'assemblage du four se fait de la façon suivante: On place d'abord sur les fondations un panneau latéral et un panneau de bout, que l'on boulonne ensemble, puis on place l'autre panneau latéral et le deuxième panneau de bout et on les boulonne aux deux panneaux déjà fixés. Après avoir mis d'équerre les 4 coins, on place le couvercle sur son cadre formé par des fers angle fixés au bord supérieur des 4 panneaux. On boulonne le couvercle sur les panneaux antérieurs et postérieurs et on pose les clavettes qui le relient aux panneaux latéraux. Afin de préserver le panneau postérieur (du côté des bouches d'allumage) contre une chaleur excessive, on le protège au moyen d'une plaque d'acier posée parallèlement à peu de distance, et retenue en place au moyen de briques que l'on pose de façon à ne pas obstruer la circulation d'air passant par les événements. La toile métallique est placée à l'intérieur du four sur la sortie des gaz, afin d'empêcher son obstruction par le charbon de bois qui pourrait y tomber. On rend étanches tous les joints horizontaux avec une couche de sable, et les joints verticaux au moyen de ciment d'amiante que l'on applique avant de serrer les boulons complètement. Au cours de la carbonisation, les fuites (indiquées par l'échappement de fumées) peuvent être arrêtées au moyen d'une suspension aqueuse de chaux de consistance crémeuse.

L'enfournement se fait par le côté, en enlevant temporairement un panneau latéral. On place dans le fond du four, dans le sens longitudinal, deux rangées de rances, à une distance de 18" des panneaux latéraux, puis on met des copeaux imbibés de pétrole dans les bouches d'allumage (formées par deux trous de 2.5" x 8" faits dans le sol et protégées par des briques), sur lesquels on place d'autres menus bois secs également imbi-

Tableau No 46.- Matériaux de construction pour le four suédois, capacité : 1 corde (d'après Olson et Hicock).

Matériel	Dimensions	Pan- neau anté- rieur	Pan- neau poste- rieur	Cou- ver- cle	Chaque panneau laté- ral	Total pour le four
Nombre de pièces						
Tôle d'acier No 10 ga	4'6" x 5'0"	1(1)	1(1)			2
" " " " "	0'10" x 4'2"	1(1)				1
" " " " "	4'6" x 8'0"			1		1
" " " " "	5'0" x 8'0"				1	2
" " " " "	0'3" x 0'6"	4(2)				4
" " " " "	0'8" x 0'8"			2(3)		2
" " " " "	4'0" x 4'3"		1			1
" " " " "	4'0" x 2'6"				1	2
Plaque d'acier 1" x 1/4"	4'2" x 3'2"	2				2
" " " " "	3'2" x 2'4"	1				1
" " " " "	2'4" x 0'11 1/2"	1(4)				1
" " " " "	0'11 1/2" x 0'11 1/2"	1(4)				1
Fer angle 1 1/2" x 1 1/2" x 1/4"	8'0" x 4'2"				1	2
" " " " "	4'2" x 5'0"	3	1			4
" " " " "	5'0" x 4'10 1/4"	2	2			4
" " " " "	4'0" x 4'2"				2	2
" " " " "	4'2" x 4'4"	1				1
" " " " "	4'4" x 3'0"	1	1	2		4
" " " " "	3'0" x 4'8 1/2"					1
" " " " "	4'8 1/2" x 8'0"		2			2
" " " " "	8'0" x 4'10 1/2"			2	1	4
Fer T 1 1/2" x 1 1/2" x 1/4"	4'10 1/2" x 4'4"		1		2	5
" " " " "	4'4" x 1"			2		2
Rivets 5/16" x 1"		37	57	84	89	356
Boulons 5/16" x 7"		1				1
" " 5/16" x 1 1/2"		18		6		24
" " 5/16" x 1 3/4"		12				12
" " 5/16" x 4"		9				9
" " 5/16" x 2 1/2"			24			24
" " 5/16" x 4 1/2"			6			6
" " 5/16" x 2"					12	24
" " 3/8" x 1 1/2"					10	20
Tuyau, 1" diam. 3" x 1 1/2"		9	6			15
" " 1 1/2" x 3"			24		12	48
Clavettes 5/16" x 3"				8		8
Couvercles de cheminée 8"		1(5)				1
Tuyau de poêle, 24 ga. 8"		3-4				3-4
" " " " T, 24 ga. 8"		1				1
Toile Métallique, 1" de maille, fil de 10 ga. 4'0" x 4'0"		1(5)				1

- (1) tous coupés dans une feuille de 5' x 10'.
- (2) pour le cadre des événements (glissoires).
- (3) pour les couvercles des cheminées d'allumage.
- (4) pour le collet de la sortie des gaz.
- (5) pas indiqué sur la fig. 29.

bés de pétrole (voir fig. 30). Puis, on place le bois, séché à l'air, de façon aussi compacte que possible sur les rances, tout comme on fait une pile de bois très serrée, mais en prenant soin de placer le bois le plus sec et le plus petit au-dessus du bois d'allumage, tandis que le gros bois doit être distribué uniformément dans la partie supérieure du four. Les corbeaux, provenant d'une carbonisation antérieure, doivent être placés au-dessus du bois d'allumage. La longueur du bois doit être ajustée aussi exactement que possible à la largeur du four. La fig. No 30 présente le mode d'enfournement de façon schématique.

L'opération de ce four s'inspire des mêmes principes généraux que nous avons antérieurement exposés. A part l'allumage, les principales phases de la carbonisation sont : 1) le préchauffage, qui consiste à développer un feu intense au moyen du tirage forcé obtenu en plaçant une longueur de tuyau de poêle sur chaque ouverture du couvercle marquée "cheminée d'allumage". Dès que le panneau antérieur est uniformément chaud sur toute son étendue, on ferme les bouches d'allumage au moyen de sable et on procède 2) au développement de la zone de carbonisation initiale, en ouvrant les événements et en enlevant la cheminée afin de permettre à l'air d'entrer librement dans le four. Dès que la moitié du couvercle est uniformément chaud, tout comme les deux panneaux latéraux, sur une distance de 17 à 18" de l'extrémité antérieure, on enlève les deux cheminées d'allumage et on bouche leur ouverture avec les couverts métalliques et de la terre. La première zone de carbonisation étant suffisamment développée, il s'agit maintenant de 3) propager la carbonisation, en plaçant la grande cheminée et en réglant les événements de façon à promouvoir le dégagement d'une fumée grisâtre ou jaunâtre dont l'abondance doit aller en croissant. Si, au contraire, la fumée diminue, la zone de carbonisation initiale a été insuffisamment développée, et on doit retourner au stage 2. Dans l'autre cas, on procède 4) à la carbonisation principale : on ferme quelque peu les événements et on peut même abandonner le four jusqu'à vers la fin de cette période (après 20 heures environ), où il faudra enlever de temps en temps la cheminée et

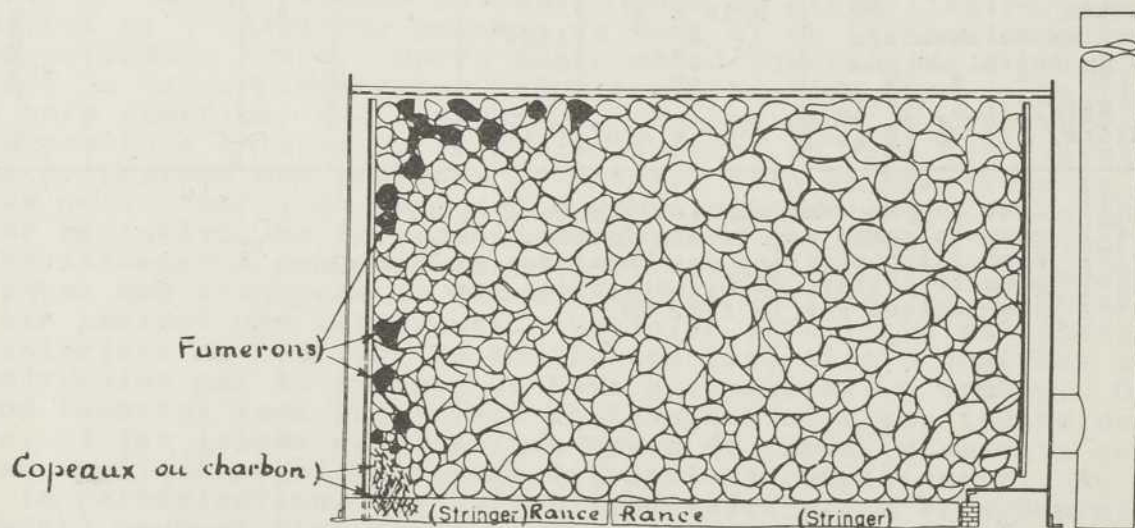


Fig. 30 - Section verticale du four suédois, montrant la méthode d'enfournement. (cliché Olson et Hicock).

la nettoyer afin d'éviter son obstruction par les abondantes matières goudroneuses qui s'y condensent. Le progrès de la carbonisation peut être suivi facilement par la chaleur plus intense de la tôle à l'endroit de la combustion vive. Dans ce genre de fours horizontaux, la zone de carbonisation initiale (en noir) se

Tableau No 47. - Schéma d'opération du four suédois,
capacité : 1 corde (selon Olson et
Hicock).

Phase No	Opération	Durée appro- ximative, en heures	P o s i t i o n d e s c o n t r ô l e s			
			Bouches d'allumage C	Cheminées d'allumage D	Sortie des gaz B	Events A
1	Préchauffage	3/4 - 1	ouvertes	ouvertes	fermée avec couvert mé- tallique	fermées
2	Développement de la zone de carbonisation initiale	1 - 1 $\frac{1}{4}$	fermées de façon é- tanche	ouvertes	ouverte sans cheminée	fermées
3	Propagation de la carbo- nisation	1	id.	fermées de façon étanche	ouverte a- vec chemi- née en place	ouverts 3 $\frac{1}{4}$ "
4	Carbonisation principale	21	id.	id.	id.	ouverts 1 $\frac{1}{2}$ "
5	Refroidisse- ment	24	id.	id.	fermée avec couvert mé- tallique de façon étan- che	fermés de façon étanche

propage dans la direction de la flèche en forme de demi-éventail, tel que schématiquement représenté par la fig. 31. Enfin, quand on aperçoit du goudron brûlant à l'entrée des événements, la carbonisation est terminée et on procède 5) au refroidissement. On remplace la cheminée par un couvercle métallique que l'on bouche hermétiquement, en même temps que les événements et toute autre partie non étanche du four.

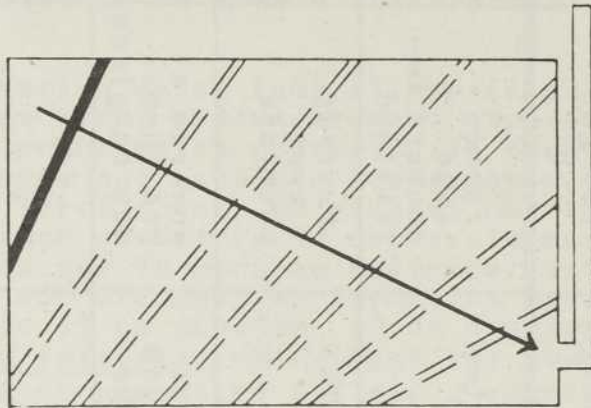


Fig. 31 - Propagation de la zone de carbonisation dans un four horizontal.
(Cliché Olson et Hicock).

Toute la conduite de la carbonisation peut être résumée, phase par phase, de la façon exposée au tableau No 47.

Le défournement qui doit s'opérer selon les règles de précaution déjà définies (voir page 74), produit alors un excellent charbon modérément dense, avec une teneur approximative de 80% de carbone, et avec un rendement raisonnable de 800 lbs. par corde de bois franc (érable, merisier, etc.) Ce charbon peut servir à tous les usages ordinaires, le gazogène y compris.

Four métallique primitif.

Ce travail ne serait pas complet sans une mention particulière de la méthode du baril, tel qu'employée en Australie. Le principal avantage de cette méthode rudimentaire est la possibilité de faire un excellent charbon de bois, sur une très petite échelle, mais sans déboursier un sou pour l'équipement de carbonisation. En donnant une description détaillée de cette méthode de carbonisation, nous pensons plus spécialement au colon, au cultivateur, au pêcheur, au petit industriel et à l'automobiliste ayant un petit gazogène à charbon de bois, et qui désire se faire à bon marché sa propre réserve de carburant forestier.

Un vieux baril d'acier de 45, 60 ou 90 gallons est tout ce qu'il faut pour faire du charbon. Les barils d'acier en bon état devant être réservés à notre effort de guerre en général, on ne devra donc employer que des vieux barils, endommagés, percés, inutilisables pour le transport de l'essence et de l'huile. Un tel baril, qui se trouve à peu près sur chaque ferme, réparé et soudé afin de le rendre étanche, peut alors être transformé en four à charbon de bois de la façon suivante (voir fig. 32) :

- I- Enlever d'abord le fond du baril en le coupant aussi près du rebord que possible, sans le briser ou le déformer, au moyen d'une torche oxy-acétylénique ou d'un ciseau (fig. 32,a).

- 2- Dévisser les deux bouchons ("plugs") du côté opposé du baril et faire, au moyen d'un ciseau à froid, 2 autres ouvertures de 2" x 1½" à égale distance entre les deux trous de bouchon (fig. 32,b). Ces quatre ouvertures formeront les événements du four.
- 3- Le baril est déjà prêt pour la carbonisation. On le place, le côté ouvert en haut, sur deux bouts de tuyau de fer (tuyau à eau) d'un pouce de diamètre, afin de dégager les événements du sol et de permettre une circulation d'air suffisante (fig. 32,c).
- 4- Mettre des écorces, des copeaux, du charbon de bois, ou autre matériel inflammable dans le fond du baril, et allumer.
- 5- Quand le feu est intense, remplir le baril avec du bois sec. Placer le bois debout (fig. 32,d). Le bois doit avoir un diamètre de 3" ou 4" au maximum et il doit être coupé de longueur telle qu'une ou deux longueurs soient égales à la hauteur intérieure du baril. Dans tous les cas, le bois ne doit pas dépasser l'ouverture supérieure du baril.
- 6- Quand toute la charge est bien en feu, on doit périodiquement ébranler ou secouer le baril, afin de faire descendre le charbon au fond et de maintenir le feu et la compacité de la charge. Il est parfois même nécessaire de faire descendre le charbon à coup de marteau ou d'un gros pilon.
- 7- Au fur et à mesure que la première charge de bois brûle et descend, il faut la remplacer par d'autre bois de la même épaisseur, mais coupé plus court. Le baril doit donc toujours être rempli à capacité. En maintenant ainsi une charge toujours compacte, le feu ne deviendra pas trop vigoureux. On peut régler son intensité et la vitesse de la combustion, en variant l'alimentation d'air par les événements, c'est-à-dire en enlevant, au besoin, un ou les deux tuyaux de fer en-dessous du baril. Il faut à tout prix éviter la propagation de grandes flammes ; l'apparition d'un dépôt blanc de cendres sur le charbon indique que le feu est trop fort et qu'il consomme le charbon formé. Il faut donc essayer de régler la compacité du four de sorte qu'une très petite flamme entoure et lèche le bois. Le charbonnier doit continuellement surveiller le feu au cours des deux premières heures - la période critique qui détermine les rendements et la qualité de charbon - et il lui est impossible de diriger simultanément plus de deux fours de ce genre.
- 8- Quand le baril est rempli de charbon, c'est-à-dire quand il n'y aura plus de place pour ajouter d'autre bois, on place le couvert (le fond découpé du baril) et on le fixe aussi bien que possible au moyen de fil de fer lacé dans des trous faits dans le rebord du baril (fig. 32,e)
- 9- On étend un grand sac ou une toile à côté du baril, et au moyen d'une pelle, on renverse le baril et on le tourne, au milieu du sac, avec les quatre événements sur le dessus (fig. 32,f.) On attend la fin du dégagement de fumée, puis on place un morceau de tôle ou d'autre métal sur chacun des quatre événements et on les étanche parfaitement avec du sable ou de la glaise. On étanche également le fond du baril en relevant sur le pourtour un talus de sable ou de glaise.
- 10- Le refroidissement du baril hermétiquement fermé se fait alors au cours de la nuit, de sorte qu'on peut le vider le lendemain matin en détachant les fils de fer et en soulevant le baril.

- 11- On trie alors le charbon en enlevant les fumerons et les noeuds partiellement carbonisés, et on procède à l'ensachement. Un baril de 45 gallons donne, dans une carbonisation conduite de la façon indiquée, deux sacs de bon charbon de bois. (120 lbs. environ). Au cours du défournement et de l'ensachement, une attention particulière est de mise, afin d'éviter la contamination du charbon avec du sable ou d'autres matières minérales.
- 12- Une carbonisation complète exige de 5 à 6 heures, le refroidissement environ 18 heures ; l'opération totale demande donc 24 heures environ.
- 13- Ce genre primitif de carbonisation donne des résultats particulièrement intéressants en employant les déchets secs de bois francs provenant des manufactures de meubles ou d'autres industries travaillant le bois. La carbonisation de petits blocs de bois de dimensions semblables se fait sans aucune complication en un temps plus court. Le charbon ainsi obtenu a une composition très uniforme et il convient particulièrement bien à l'usage dans le gazogène.
- 14- En tenant compte de la restriction faite au paragraphe 7 en ce qui concerne la surveillance au cours des deux premières heures, un charbonnier peut conduire simultanément plusieurs de ces fours primitifs à des phases de carbonisation différentes ; leur nombre dépend de son habilité et de son expérience.

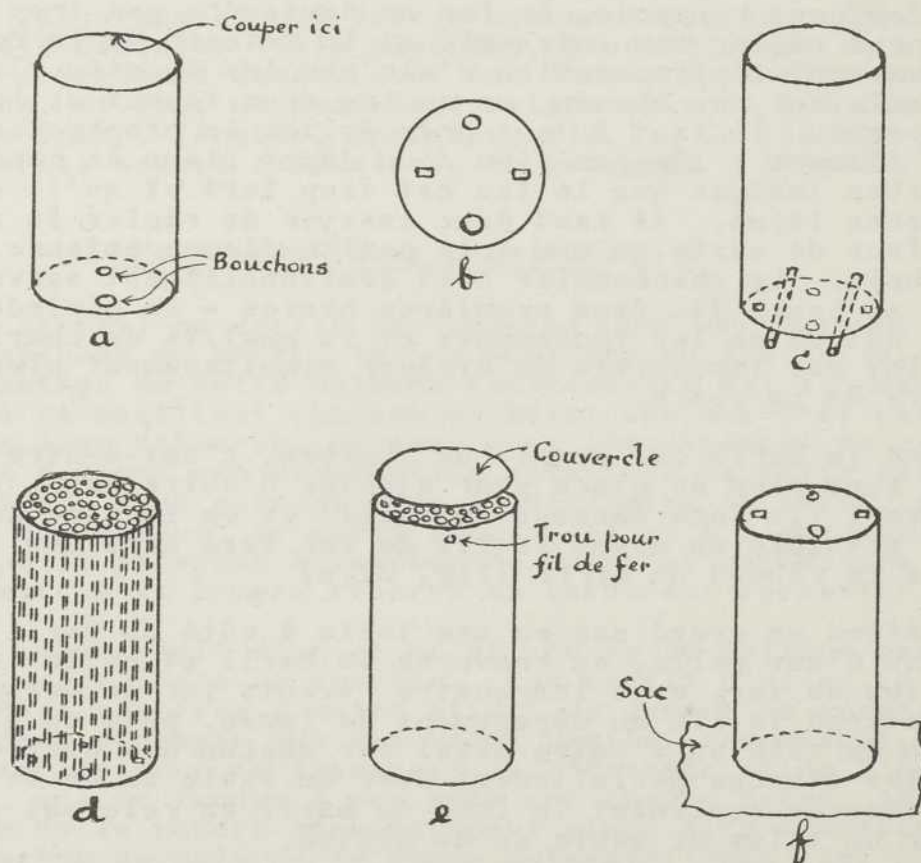


Fig. 32- Carbonisation par la méthode du baril.
(schéma reproduit de "Producer Gas Vehicles",
du Ministère de la Défense, Australie).

CHAPITRE V.

Briquettes de charbon de bois. Charbon de bois activé.

A. Briquettes de charbon de bois

Dans plusieurs pays, particulièrement en France, l'emploi de briquettes de charbon de bois est très en vogue, pour l'usage domestique général aussi bien que pour son emploi dans le gazogène. Chez nous, la fabrication commerciale de briquettes de charbon n'a pas encore été tentée, malgré que cette industrie pourrait probablement disposer d'une abondante quantité de matière première bon marché, c'est-à-dire de poussière de charbon difficilement vendable, dans les principaux centres de production tels que Portneuf, Lotbinière, Dorchester, etc.

L'emploi de briquettes présente réellement de grands avantages sur le charbon de bois ordinaire, surtout en ce qui concerne son usage dans le gazogène :

- 1- La densité apparente des briquettes est à peu près le double de celle du charbon ordinaire ; à poids égal, les briquettes occuperont donc dans la trémie la moitié de l'espace du charbon non en briquettes.
- 2- La dureté des briquettes est plus grande ; leur tendance à se désagréger en poussière au cours du transport et de la manutention sera donc beaucoup moins forte.
- 3- Moins de poussière veut dire : plus grande propreté au cours de l'ensachement et du chargement de la trémie d'un gazogène.
- 4- La fabrication des briquettes permet d'utiliser économiquement les déchets de poussière de charbon de bois qui s'accumulent dans le concassage et la manutention des diverses catégories de charbon de bois commercial.

Mais, malheureusement, il n'y a pas que des avantages. En effet, une industrie de ce genre devra faire face aux objections suivantes :

- 1- Le prix de vente des briquettes ; il dépassera de beaucoup le prix courant du charbon ordinaire, car la fabrication en grande échelle, exigeant un équipement mécanique assez compliqué et dispendieux, coûtera, au bas mot, de \$ 5.00 à \$ 10.00 par tonne, selon les conditions.
- 2- La composition des briquettes exige une attention très particulière en ce qui concerne le choix du liant, vu qu'un bon nombre d'adhésifs employés comme tels, émettent à la température du foyer des gaz ou vapeurs dommageables pour le moteur.
- 3- Une objection semblable s'applique en ce qui regarde la tendance de plusieurs adhésifs à former des résidus de combustion trop volumineux ou fondant à trop basse température.
- 4- L'objection la plus sérieuse résulte cependant de la nature même des briquettes. A cause de la forte compression subie, la porosité originale du charbon de bois est fortement diminuée. Or, la porosité assure une rapi-

de pénétration de la chaleur dans le foyer du gazogène, ainsi qu'une bienfaisante friabilité du charbon exposé à haute température. Il en résulte naturellement une gazéification plus souple et plus rapide : qualité essentielle du véhicule à gazogène au pied d'une côte, en pleine montée, ou pendant le changement de vitesse.

Dans la fabrication de briquettes de lignite ou de charbon minéral ordinaire, il n'est pas nécessaire d'ajouter un liant particulier, car ces charbons contiennent généralement assez de matières bitumineuses servant d'adhésif naturel. Il en est autrement dans le cas du charbon de bois qui exige l'addition d'un liant particulier dont la nature peut fort varier. La littérature et les brevets proposent à cet effet des centaines de substances que l'on peut classer en trois catégories :

- 1- substances inorganiques, telles que des silicates, etc.
- 2- substances organiques de la nature de l'amidon, dextrines, etc.
- 3- substances organiques de nature résineuse, gommeuse ou goudronneuse.

La première catégorie de liants ne convient évidemment pas à la fabrication de briquettes pour gazogène, à cause de l'augmentation trop considérable du volume de cendres.

La troisième catégorie fournit des adhésifs bon marché, d'autant plus que le liant couramment employé est la poix du goudron de bois franc, elle-même un sous-produit de la distillation du bois. Cependant, ce procédé, inventé par S.J. Seaman et depuis longtemps employé aux États-Unis, produit des briquettes qui brûlent avec une flamme fuligineuse; afin de pouvoir servir de combustible domestique où la combustion sans odeur et sans fumée est une propriété essentielle, il faut donc les soumettre à une cokéification à des températures variant entre 300° et 1000°. Cette cokéification est non seulement une opération dispendieuse, mais elle enlève aux briquettes beaucoup de leur valeur calorifique originale, par la perte plus ou moins totale des matières volatiles.

La préparation sans cokéification de briquettes brûlant sans fumée et ne laissant pas de résidu appréciable, ne peut donc se faire qu'au moyen de liants de la deuxième catégorie, procédé qui est employé sur une vaste échelle par la compagnie Ford. On mélange très intimement à la poussière de charbon de bois environ 10% de farine ou d'amidon sous forme d'empois ou de pâte aqueuse, puis on comprime la masse dans une presse hydraulique. En raison de l'emploi de fortes quantités d'eau dans la préparation de la pâte adhésive, on doit naturellement exposer ces briquettes à un procédé de séchage à température peu élevée (en bas de 100°), ce qui complique énormément l'opération de l'usine.

A cause de la mise considérable de capital exigée, la fabrication de briquettes de charbon de bois sur une échelle commerciale, ne peut se ranger dans le cadre de la petite industrie rurale. Voilà pourquoi nous passerons sous silence le côté technique et matériel de cette industrie.

Notons finalement qu'une compagnie suédoise vient de mettre au point un procédé de fabrication de briquettes grosses comme une noisette qui, en raison de leurs faibles dimensions ne présentent aucun des désavantages ci-dessus mentionnés. Ces

briquettes constitueraient un combustible peu volumineux, propre, bon marché, à gazéification assez rapide, bref, un combustible idéal pour les gazogènes. La compagnie mentionne que le coût d'installation n'est que de l'ordre de \$ 20,000.00 pour une usine de capacité de 15,000 tonnes de "noix" par année. (1)

B. Charbon de bois activé

Le pouvoir adsorbant du charbon de bois a été observé pour la première fois en 1785 par Lowitz et mis à profit dans l'industrie du sucre, en 1794, dans une raffinerie anglaise. Depuis, on a appris à augmenter artificiellement le pouvoir adsorbant naturel du charbon de bois, de sorte que la fabrication du charbon activé est devenue une importante branche de plusieurs industries modernes. Vu que certains types de charbon québécois, particulièrement ceux à grande porosité, pourraient avantageusement servir de matière première dans l'industrie des charbons activés - industrie actuellement inconnue chez nous - quelques remarques d'ordre général à ce sujet sont donc justifiées.

On définit les charbons activés comme substances carbonées à fort pouvoir adsorbant. Ils contiennent généralement jusqu'à 97 % de carbone, à côté de peu d'hydrogène, d'oxygène et de cendres, parfois même de l'azote. Le pouvoir adsorbant ne dépend pas, cependant, de la composition chimique, mais bien exclusivement de la structure physique, de la porosité dont le comportement est régi par le principe des grandes surfaces, et probablement aussi de la teneur en atomes de carbone amorphe, du degré de désordre de leur arrangement, ainsi que de leur position relative par rapport à la surface.

La fabrication industrielle des charbons activés se fait aujourd'hui selon deux méthodes :

- a) parchauffage du charbon de bois, à l'abri de l'air à 850° - 900°, et traitement simultané avec de la vapeur d'eau surchauffée.
- b) par carbonisation chimique du bois à haute température en présence de chlorure de zinc ou d'acide phosphorique. Les charbons adsorbants employés au cours de la première guerre mondiale dans les masques à gaz étaient préparés selon cette méthode.

L'installation mécanique d'une usine d'activation est fort compliquée et dispendieuse. Cette industrie ne pouvant se ranger dans le cadre de la petite industrie rurale, nous ne donnerons pas d'autres détails à ce sujet.

Par contre, nous passerons en revue, dans le chapitre suivant, quelques uns des plus importants usages des charbons activés.

(1) Remarquons en passant que le culte catholique dépense, dans la province de Québec, une quantité appréciable de briquettes de charbon de bois auto-inflammables, dans le but de faciliter le maintien de la combustion dans les encensoirs.

CHAPITRE VI.

Usages du charbon de bois.

Nous avons dit au début de ce travail qu'il fallait multiplier les usages du charbon de bois, si nous voulions rendre notre belle industrie rurale indépendante des caprices du temps et des crises périodiques. Afin de lui assurer une prospérité permanente et enviable, nous devons donc vulgariser davantage les usages déjà connus chez nous et, de plus, en introduire des nouveaux. Voilà pourquoi nous allons faire, dans le présent chapitre, une étude sommaire des divers usages, anciens et nouveaux, du charbon de bois.

Selon leur emploi, on peut les diviser en six grandes catégories:

1- Usages du charbon de bois comme combustible

- a) à domicile
- b) dans l'industrie
- c) dans la navigation
- d) pour la génération de force en général (gazogène)

2- Usages du charbon de bois activé

- a) charbons décolorants et adsorbants
- b) charbons à condensation
- c) charbons à contact
- d) charbons pour masques à gaz
- e) charbons médicaux

3- Usages du charbon de bois comme matière première dans l'industrie chimique

- a) charbons métallurgiques
- b) charbons pour les explosifs
- c) charbons pour diverses synthèses industrielles
- d) charbons à électrodes
- e) charbons pour laboratoires de recherches

4- Usages du charbon de bois en hygiène

- a) charbons à filtration
- b) charbons pour incinérateurs
- c) charbons désodorisants

5- Usages du charbons de bois comme isolant

6- Usages du charbon de bois comme aliment.

Nous donnerons dans la suite quelques indications plus détaillées sur ces divers usages, indications qui pourraient servir de base à une campagne de propagande destinée à stimuler chez nous la multiplication des usages du charbon de bois.

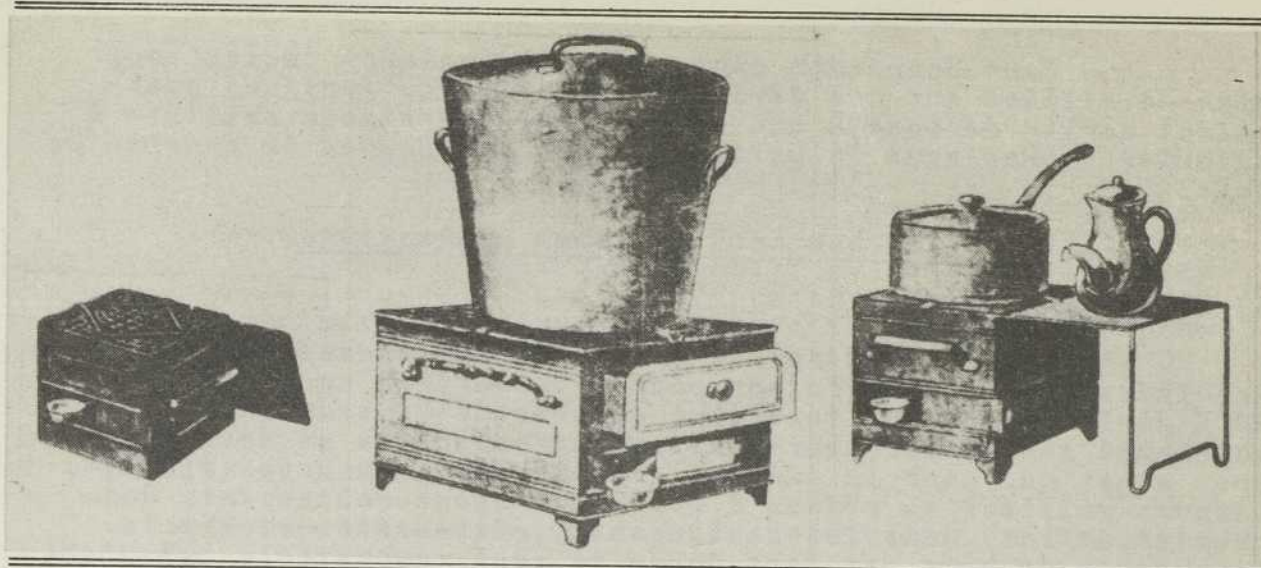
I- Le charbon de bois comme combustible.

a) Usages domestiques.

Sans considérer la forte production actuelle pour les industries de guerre, on peut affirmer, qu'en temps normal, 90 % de la production totale de charbon de bois du Québec est consommée à domicile pour l'allumage des poêles et des fournaies, ainsi que pour la cuisson des aliments, la préparation de viandes grillées ou rôties à bord des wagons-restaurants des chemins de fer, dans les restaurants, rôtisseries et hôtels. Le charbon de bois est sans doute le seul combustible qui n'affecte d'aucune façon le goût, la saveur et l'arôme naturel des aliments; il a même la réputation d'en augmenter la digestibilité. Les gourmets savent que rien n'est comparable à un "steak" d'original ou même de vulgaire boeuf, à une perdrix, un poulet, une truite, rôtis sur du charbon de bois. Le plaisir des parties de pique-nique, de chasse, de pêche, de campement, etc., serait plus complet si l'on prenait l'habitude d'ajouter à l'équipement d'excursion régulier, une petite rôtissoire portative (un petit "express", comme on dit en France), permettant de préparer en plein air et en un clin d'oeil, viandes, gibier et poissons, de la façon la plus délicieuse. La fig. 33 présente quelques types d'"express" de ce genre, et nous invitons en particulier un manufacturier québécois à entreprendre la fabrication en série de tels appareils. Si, en plus, nos producteurs mettaient sur le marché un petit sac de charbon de bois spécialement pour les excursionnistes, un sac de 5 à 10 livres de charbon de bonne grosseur uniforme et sans poussière, le tour serait vite joué à la concurrence de la fameuse bouteille ou "canistre" de gasoline qui contamine et empeste toutes les provisions.

Avec des rôtissoires convenables et un charbon propre, il est certain que cette méthode saine et hygiénique de préparer les viandes, s'introduirait rapidement même dans les villes. En effet, rien de plus agréable pour la ménagère que de ne pas être obligée d'allumer le poêle à bois, à gaz ou à l'électricité au cours des grandes chaleurs; le petit "express" est si rapide, et la chaleur dégagée par le charbon de bois a un pouvoir de rayonnement plus faible que tous les autres combustibles ordinaires.

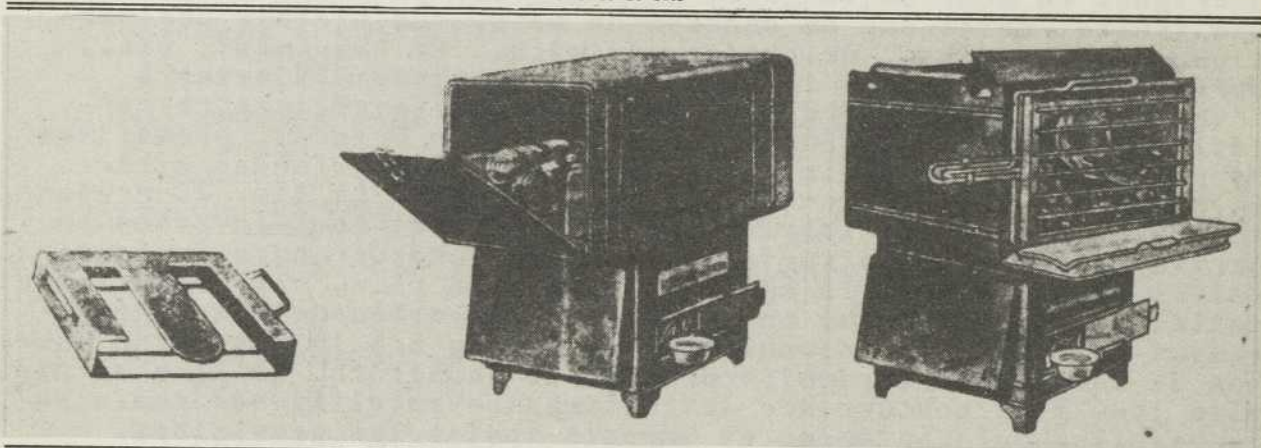
Mais il y a aussi le grand problème du chauffage domestique qui mérite toute notre attention, car, sous notre climat, le budget du chauffage n'est pas négligeable. Nous nous proposons d'étudier ce problème dans un travail particulier où il sera question de chauffage économique au bois et au gazogène à bois. Disons cependant dès maintenant, que l'usage du charbon de bois peut nous permettre de diminuer considérablement l'exportation de millions de piastres pour l'achat de charbon à l'étranger. L'usage du charbon de bois dans les systèmes de chauffage domestique à eau chaude n'est évidemment pas économique, à moins de faire des transformations profondes et dispendieuses. Mais il a été prouvé en Norvège, que l'emploi d'un mélange de 1 volume de charbon de bois et de 2 volumes de charbon bitumineux très commun et bon marché, permet d'obtenir, sans modification des systèmes actuels, un chauffage très économique,



EXPRESS N° 1
18 centimètres de côté

EXPRESS N° 3 p' LESSIVEUSE
Foyer-Tiroir permettant le rechargement
sans toucher au récipient.
30 centimètres de côté

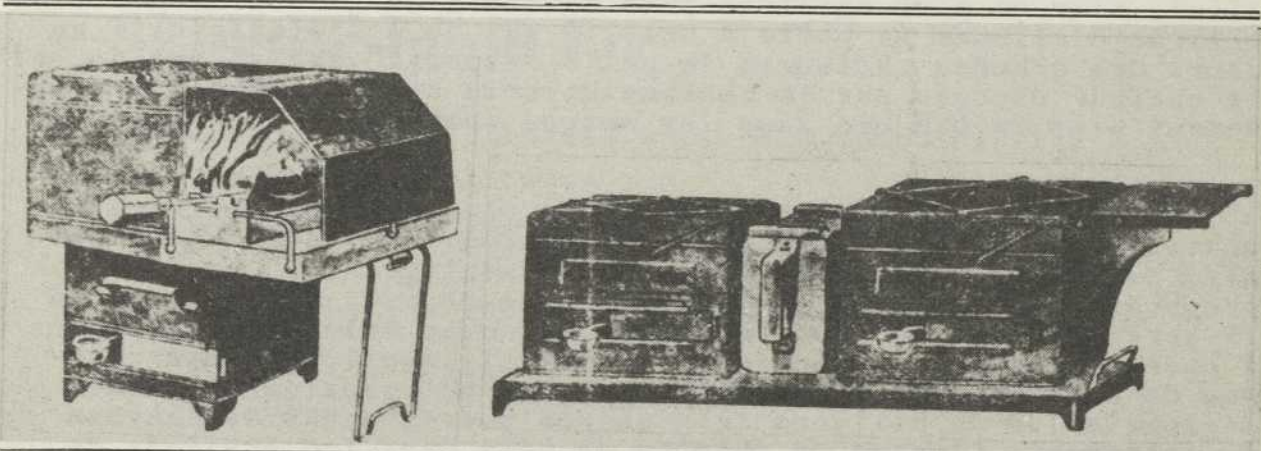
EXPRESS N° 2 avec table pliante
20 centimètres de côté



PORTE-FERS
À REPASSER

EXPRESS N° 2
avec Table pliante repliée
accompagné d'un FOUR MOBILE

EXPRESS N° 2
avec Table pliante accompagné d'un
GRIL SANS FUMÉE mobile



EXPRESS N° 2
avec Table pliante accompagné
d'une ROTISSOIRE MOBILE

EXPRESS A 2 FOYERS Bouilloire au milieu
Table pliante sur le côté pour GRIL SANS FUMÉE et ROTISSOIRE

Fig. 33.- Quelques types de rôtissoires à charbon
de bois.
(Cliché d'une maison française non spécifiée).

à condition que le tirage puisse être bien réglé. Outre l'économie réalisée, voici les autres avantages de ce moyen de chauffage :

- 1- Le charbon de bois est produit chez nous; l'acheteur contribue à faire vivre la famille d'un brave charbonnier.
- 2- Le charbon bitumineux est produit dans les provinces de l'Est; l'argent reste au pays.
- 3- L'emploi d'un mélange à base de charbon de bois nécessite beaucoup moins de tirage, donc: la perte de chaleur par la cheminée est considérablement diminuée.
- 4- Pas de mâchefer désagréable.
- 5- Moins de cendres.
- 6- Chauffage plus rapide.
- 7- Moins de fumée.
- 8- Pas d'obstruction des conduites.

Ajoutons encore, toujours dans le domaine domestique, la possibilité de l'emploi économique du charbon de bois pour le travail de buanderie, le service d'eau chaude, etc., partout où le gaz ou l'électricité ne peuvent être obtenus à des prix convenables.

Sans faire appel au gazogène et aux nombreux autres emplois encore à discuter, les usages domestiques que nous venons de décrire pourraient, à eux-seuls, doubler et tripler la consommation actuelle. Et ce serait déjà suffisant pour imposer à notre industrie charbonnière le caractère d'une aisance permanente!

b) Chauffage industriel.

Le système de chauffage avec chargeur mécanique ("Stoker"), utilisant la poussière de charbon comme combustible, est actuellement le plus économique et le plus répandu pour le chauffage des bâtisses industrielles, des églises, écoles, couvents, hôpitaux et autres constructions de grandes dimensions. Les nombreux avantages économiques de ces systèmes sont trop bien connus pour les énumérer ici. Aussi, ne préconisons-nous pas de substituer le charbon de bois à \$20.00 la tonne, à la poussière de charbon minéral à \$ 6.00 ou \$ 7.00 la tonne. Mais le problème change immédiatement de face, dès que l'on peut se procurer des déchets de charbon de bois provenant du concassage - déchets sans valeur pour le marché ordinaire du charbon de bois - à un prix comparable. Avec l'introduction de la fabrication du charbon de bois à gazogène et d'autres sortes de charbons spéciaux, l'accumulation de poussière de charbon deviendra telle que leur utilisation dans le chauffage industriel s'imposera automatiquement. Elle se fera d'autant plus spontanément que les avantages du charbon de bois sont infiniment supérieurs à ceux du charbon bitumineux. En voici les plus importants :

- 1- Coût de chauffage moins élevé.
- 2- Valeur calorifique supérieure du charbon de bois.
- 3- Tirage moins fort: moins de perte de chaleur par la cheminée.

- 4- Pas de mâchefer.
- 5- Très peu de cendres.
- 6- Pas de fumée. Le grave problème hygiénique de la fumée dans les villes se trouverait par le fait même résolu. Afin d'encourager l'emploi du charbon de bois comme combustible dans les agglomérations urbaines, les conseils de ville devraient partout adopter des règlements à l'effet de supprimer la fumée (voir, par exemple, le règlement No 1112 de la cité de Montréal).
- 7- Teneur variable du charbon de bois en matières volatiles, avec la possibilité de fabriquer du charbon de bois "sur commande" avec une teneur idéale donnée de matières volatiles dont l'influence sur la conduite du feu est très grande. Par contre, le charbon bitumineux doit être utilisé comme la nature nous l'offre: il n'y a pas de choix.
- 8- Teneur contrôlable de l'humidité du charbon de bois.
- 9- Densité apparente beaucoup moins élevée du charbon de bois, nécessitant des courants d'air moins violents et des souffleries moins puissantes.
- 10- Grande porosité du charbon de bois, qualité désirable.
- 11- Moins grande dureté du charbon de bois, d'où plus grande facilité de pulvérisation.

Afin d'étudier l'adaptabilité du charbon de bois au chauffage industriel de façon définitive, il faudrait qu'une de nos Ecoles de Génie mécanique entreprenne une série de recherches dans le but de répondre une fois pour toutes à la question suivante : "Le charbon de bois pulvérisé peut-il produire de la vapeur à meilleur marché que les autres combustibles industriels ?".

c) Le charbon de bois dans la navigation.

Ce que nous venons de dire pour le chauffage industriel, s'applique mot à mot au chauffage des navires, plus particulièrement au trafic local dans les ports. Y a-t-il quelque chose de plus disgracieux que les maisons sales et enfumées dans les quartiers entourant les ports de mer ? Y a-t-il quelque chose de plus ennuyeux que de se faire abimer le visage et les vêtements par la fumée noire et épaisse des petits remorqueurs qui conduisent au quai les bateaux chargés de touristes ? Afin de protéger les beautés naturelles et la santé des citoyens de la ville d'Oslo, le gouvernement de Norvège, par exemple, a défendu la circulation de bateaux de tout genre, chauffés au charbon bitumineux, dans le Fjord d'Oslo. Les bateaux assurant là-bas le trafic local, se servent, comme combustible, d'un mélange de charbon bitumineux et de charbon de bois dans les proportions de 1 à 4 volumes. Non seulement ce moyen de chauffage est-il plus économique, mais il n'y a pas de trace de fumée ! Nous souhaitons ce même plaisir aux habitants des ports de Québec et de Montréal, ainsi qu'aux voyageurs qui y descendent !

d) Le charbon de bois, générateur de force motrice.

C'est avant tout l'introduction générale du gazogène utilisant le carburant forestier qui pourrait sauver à jamais

notre industrie charbonnière. Loin de nous l'idée de réclamer la substitution totale du charbon de bois à la gasoline dans les moteurs à combustion interne. L'essence, en temps normal, a ses qualités indéniables que le charbon de bois ne peut pas totalement atteindre. Mais il est un domaine de notre économie domestique, déficitaire à l'heure présente, où le gazogène pourrait jouer un rôle salubre de premier plan. Il s'agit du chauffage domestique et industriel, du moteur stationnaire du cultivateur et de l'industriel, du moteur de la barge de pêche, du tracteur agricole et forestier, il s'agit encore de l'électrification rurale, voire même, dans une certaine mesure, du transport par camion et par automobile. Bref, il s'agit de tous les cas où le facteur économique l'emporte sur tous les autres. Un tel programme de développement nécessiterait la fabrication de 40,000 gazogènes environ, avec une mise de capital approximative de \$10,000,000.00. Sur une telle base d'organisation, on pourrait remplacer annuellement 15,000,000 de gallons d'essence à moteur par le charbon de bois, et ce ne serait qu'une fraction de 10% de la consommation totale actuelle dans notre province. En d'autres termes, \$ 5,000,000.00 resteraient annuellement dans nos campagnes. Le capital dépensé pour la construction des gazogènes rapporterait donc 50 % au pays ! Mais ce n'est pas l'unique avantage, car l'effet se ferait surtout sentir du côté de notre régime forestier ; l'industrie de carbonisation, à laquelle on demanderait ainsi une production annuelle de 100,000 tonnes de charbon de bois, se trouverait définitivement assise sur une base économique sérieuse et permanente. N'oublions pas que chaque moteur de 50 chevaux mû au gazogène et fonctionnant régulièrement, donne de l'ouvrage à un ouvrier forestier pendant 100 jours. Quelle révolution dans la stabilité du travailleur forestier ! Quelle bénédiction sociale et économique !

Mais l'économie que le gazogène permet de réaliser n'est pas moins intéressante pour son propriétaire en particulier, car les essais pratiques faits dans le passé prouvent que 12 à 15 livres de charbon de bois égalent environ un gallon de gasoline, en d'autres mots, 15 sous de charbon de bois fourniraient l'énergie d'un gallon d'essence, d'où une économie d'au moins 50% sur le compte du carburant.

Donner ici d'autres détails d'ordre général, statistique, technique ou mécanique sur le gazogène, nous ferait sortir du cadre restreint de ce travail. Ceux qui s'intéressent au gazogène de façon particulière, en trouveront une bonne description dans un ouvrage récemment publié par M. Ls de G. Dubois, i.f. (1)

Nous résumerons plutôt les propriétés caractéristiques d'un bon charbon à gazogène, de sorte que nos charbonniers seront en mesure d'en produire à la lumière des recommandations données dans les chapitres précédents concernant les méthodes de carbonisation. Voici donc les spécifications sommaires et préliminaires que nous réclamons d'un bon charbon à gazogène (2) :

- (1) Le gazogène - Bulletin No 2 (nouvelle série) du Service forestier; Québec, 1942.- On peut se procurer ce bulletin gratuitement en s'adressant au Service forestier, Ministère des Terres et Forêts, Hotel du Gouvernement, Québec.
- (2) La substance de quelques-unes de ces spécifications est tirée du Standard d'urgence No (E) D. 3002 - 1941, de la "Standards Association of Australia".

- 1- Origine : Charbon noir, sec, brillant, sonore, obtenu par carbonisation complète du hêtre, de l'érable, du merisier, de la plaine et éventuellement du bouleau, de préférence de bois de tronc secs et sains.
- 2- Propreté : le charbon doit être exempt de bois, d'écorces, de cendres, de sable, de terre et d'autres saletés adhérentes. Les impuretés, selon la méthode standard australienne, ne devront pas dépasser 0.3% du poids de l'échantillon sec.
- 3- Dureté et friabilité : le charbon doit être ferme au toucher et s'écraser assez difficilement. En le cassant, il ne doit pas se fragmenter en un grand nombre de morceaux, mais bien présenter une fracture nette et brillante. La friabilité sera déterminée selon une méthode actuellement à l'étude.
- 4- Grosueur : le charbon devra être criblé de façon à ce que 98 % au moins des morceaux passent le tamis de $1\frac{1}{4}$ " de maille (mesure de côté), et 95% au moins soient retenus sur le tamis de $3\frac{3}{8}$ " de maille.
- 5- Cendres : les cendres, déterminées selon la méthode standard, ne devront pas dépasser 3 % du poids du charbon sec.
- 6- Humidité : le charbon doit être aussi sec que possible; l'humidité ne doit dans aucun cas dépasser 10 % ; elle devrait être de préférence inférieure à 6 %.
- 7- Valeur calorifique : la valeur calorifique ne devra pas être inférieure à 7500 calories.
- 8- Teneur en carbone : l'analyse élémentaire devra indiquer une teneur minimum de 75% de carbone.
- 9- Matières volatiles : les matières volatiles, déterminées selon la méthode standard, ne devront pas dépasser 25 %, et de préférence, être en bas de 20%.
- 10- Densité apparente : la densité apparente ne devra pas être inférieure à 0.40.

Un grand nombre de propriétés de nos charbons de bois ont été étudiées en détail dans un chapitre précédent. D'autres — quelques propriétés intéressantes particulièrement le charbon à gazogène — feront le sujet d'un travail spécial actuellement en préparation.

L'analyse complète du charbon à gazogène, telle que ci-dessus indiquée, étant un travail de longue haleine, nous proposons d'introduire un nouveau critère analytique, en quelque sorte une méthode d'analyse simplifiée, mais qui permettra de dire rapidement si un charbon de bois convient ou non pour le gazogène. Ce critère tient compte de deux des plus importantes propriétés du charbon à gazogène: le volume (la densité apparente) et le pouvoir calorifique. Nous avons déjà vu que, d'une façon générale, la densité apparente va de paire avec la dureté. D'autre part, le pouvoir calorifique reflète directement la teneur en carbone et indirectement en matières volatiles. L'ensemble de ces importantes propriétés se trouve donc du coup exprimé en créant le nouveau critère de "densi-calories", obtenu en multipliant la densité apparente par le pouvoir calorifique. Les "densi-calories" d'un bon charbon à gazogène ne devront pas être inférieures à $0.40 \times 7500 = 3000$. En jetant un coup d'oeil sur

le tableau No 25, on peut constater qu'un bon nombre de charbonniers produisent déjà un excellent charbon à gazogène, mais que plusieurs autres devront modifier leur méthode d'opération.

2. Le charbon de bois activé.

a) Charbons adsorbants et décolorants.

L'usage des charbons adsorbants activés est aujourd'hui très répandu pour la décoloration et la purification d'un grand nombre de produits industriels. Mentionnons en particulier l'industrie du sucre de betterave, du sirop de glucose, de certaines huiles comestibles, de la gélatine, de la colle, de la crème de tartre, du lithopone, de la gasoline, de la glycérine, du vin, des acides citrique, lactique, tartrique, gallique, etc., etc.

b) Charbons à condensation.

On appelle ainsi les charbons activés - sans doute aujourd'hui le plus important groupe - employés pour la récupération de vapeurs, telles que, par exemple, la récupération de l'éther d'un mélange air-éther, du benzène dans le gaz d'éclairage, de la gasoline dans le gaz naturel, etc.

c) Charbons à contact.

La présence de ces charbons permet la préparation catalytique de plusieurs produits industriels importants, tels que, par exemple, la préparation du chlorure de sulfuryle à partir du chlore et de l'anhydride sulfureux, la préparation du phosgène, la précipitation du soufre dans des gaz contenant de l'hydrogène sulfuré, etc.

d) Charbons pour masques à gaz.

Ce sont des charbons hautement poreux et activés, ayant le pouvoir d'adsorber rapidement et totalement les gaz toxiques passant à travers le masque. Au cours de la première guerre mondiale, le charbon de bois jouait un rôle considérable dans ce domaine, mais on a aujourd'hui la tendance à le remplacer par d'autres charbons encore plus actifs, tels que le charbon de noix de coco.

e) Charbons médicaux.

Ils doivent être particulièrement purs et exempts de métaux ou combinaisons métalliques toxiques. On les prescrit fréquemment contre l'aérophagie, les brûlements d'estomac, les fermentations intestinales, voire même comme antidote contre les empoisonnements causés par les champignons vénéneux.

3. Le charbon de bois dans l'industrie.

a) Charbons métallurgiques.

On appelle ainsi les charbons employés dans plusieurs procédés métallurgiques, tels que, par exemple, la réduction au haut fourneau des minerais de fer selon un procédé répandu aux Etats-Unis, en Russie, en Hongrie et en

Suède (fer suédois) ; la trempe de certains aciers particulièrement durs (acier à canon) ; la purification de la fonte et certain autres travaux de fonderie (polissage des moules) ; l'affinage du cuivre, etc.

Les spécifications demandées par nos usines de guerre varient selon leurs spécialités. Mais, d'une façon générale, on exige du charbon tout venant (c'est-à-dire des morceaux de toutes dimensions) exempt de poussière et avec une teneur en carbone d'au moins 70 % à 80 %. Pour l'affinage du cuivre on demande des morceaux de 3" x 4" environ, tandis que pour la trempe de l'acier on exige du charbon granulé de $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", $\frac{1}{3}$ ", $\frac{1}{32}$ ", et $\frac{1}{16}$ ", exempt de matières étrangères, sec et bien carbonisé. Enfin, pour les travaux de fonderie, on spécifie généralement du charbon pulvérisé et criblé au tamis de 150 mailles au pouce carré.

b) Charbons pour les explosifs.

Nous avons déjà dit que le charbon de bois jouait un important rôle dans la composition de la poudre noire depuis sa découverte au moyen âge. Aujourd'hui les spécifications exigées pour les charbons entrant dans la fabrication des poudres commerciales sont très détaillées. Voici, par exemple, les spécifications des charbons de la catégorie A, B et D, que nous devons à la courtoisie de la firme Canadian Industries Limited.

	Charbon de bois A	Charbon de bois B	Charbon de bois D
Humidité	pas plus de 5%	pas plus de 5%	pas plus de 5%
Cendres	pas plus de 2.5%	pas plus de 2.5%	pas plus de 2.5%
Carbone total (par combustion)	80 - 84%	75 - 84%	80 - 84%
Matières volatiles	20 - 30%	20 - 35%	20 - 30%
Carbone fixe	65 - 80%	65 - 80%	65 - 80%
Bois à carboniser	80% érable 10% merisier 10% hêtre épaisseur : pas plus de 3"	Aulne écorcé diamètre : pas plus de 3"	Erable à sucre diamètre : pas plus de 3"
Pureté	Les trois catégories doivent être exemptes de matières étrangères : fer et autres métaux, rouille, pierres, sable, mortier, terre, etc.		
Note : Les données analytiques sont calculées sur la base anhydre.			

Nul doute que quelques charbonniers disposant des essences indiquées, pourraient se faire une intéressante spécialité en produisant des charbons correspondant à ces spécifications.

c) Charbons pour diverses synthèses chimiques.

Le charbon de bois entre dans la fabrication industrielle du cyanure de potassium, du cyanure de calcium, de plusieurs carbures métalliques, ainsi que du verre. Mais son plus important champ d'application se trouve sans doute dans l'industrie de la soie artificielle (soie rayonne), où il sert à la fabrication du bisulfure de carbone. Les marchés américain et anglais en demandent

de très grandes quantités et ils spécifient du charbon de hêtre et de merisier en blocs de forme irrégulière d'environ 3" par 4", exempts de poussières et de matières étrangères.

d) Charbons à électrodes.

Les immenses électrodes telles qu'employées dans la fabrication de l'aluminium (Arvida) et dans d'autres procédés électrométallurgiques sont aujourd'hui préparées à partir de certaines variétés spéciales de coke importé. En raison de sa pureté et de sa conductibilité électrique, le coke de charbon de bois devrait fournir une meilleure matière première pour la fabrication d'électrodes de toutes sortes. Des recherches sur les conditions de cokéification du charbon de bois nous permettraient probablement de trouver un nouveau et important marché pour notre charbon de bois.

e) Charbons pour laboratoires.

Diverses sortes de charbons de bois finement pulvérisés sont couramment employés dans les laboratoires de recherches chimiques, biologiques et physicochimiques, pour l'étude des phénomènes de décoloration et d'adsorption.

f) Charbons pour le fumage industriel.

Très récemment, on a introduit, aux Etats-Unis, le charbon de bois avec grand succès pour le fumage du tabac et du poisson. Comme les industries du tabac et du poisson séché progressent énormément chez nous depuis quelques années, nous recommandons l'essai du charbon de bois pour la production d'une chaleur inodore, saine et hygiénique dans les séchoirs respectifs.

4. Le charbon de bois en hygiène.

a) Charbons à filtration.

Plusieurs systèmes modernes de filtration des eaux, tant industrielles que potables, se servent d'une couche de charbon de bois comme médium filtrant. Non seulement le charbon de bois retient les bactéries et les matières minérales et organiques en suspension, mais il a la propriété particulièrement bienvenue de détruire par adsorption l'excès de chlore employé pour la stérilisation des eaux.

Pour la filtration et la purification industrielles du sucre et des huiles végétales dans les industries alimentaires, on exige généralement du charbon de bois pulvérisé et criblé au tamis de 150 mailles au pouce carré.

b) Charbons pour incinérateurs.

Plusieurs villes ont maintenant adopté des systèmes hygiéniques de destruction des déchets et vidanges, en forçant les fumées et les gaz nauséabonds dégagés à passer à travers un lit de charbon de bois incandescent qui détruit toutes les mauvaises odeurs pouvant incommoder le voisinage. Afin de protéger la santé publique et, en même temps, de favoriser l'industrie du charbon de bois, le gouvernement norvégien, par exemple, oblige toutes les villes et municipalités à employer de tels systèmes d'incinération améliorés. La fig. 34 reproduit un dessin schématique tiré d'une publication de l'Insti-

tut central pour les petites industries du gouvernement de Norvège. L'incinérateur est constitué de briques ou de toute autre matière réfractaire. Le charbon de bois est suspendu à la base de la cheminée dans un panier perforé. On met le feu aux vidanges et au charbon au moyen d'une torche, et les gaz et les fumées produits par les vidanges sont rendus inoffensifs en passant à travers le charbon ardent.

Selon les dimensions que l'on donne à l'incinérateur, il convient à la fois pour des entreprises municipales ou privées, voire même pour la ferme et les résidences d'été.

c) Charbons désodorisants.

Le charbon de bois ayant le pouvoir d'adsorber jusqu'à 400 fois son volume de gaz, il peut être employé avec succès dans la désodorisation de systèmes fermés d'atmosphères de toutes sortes.

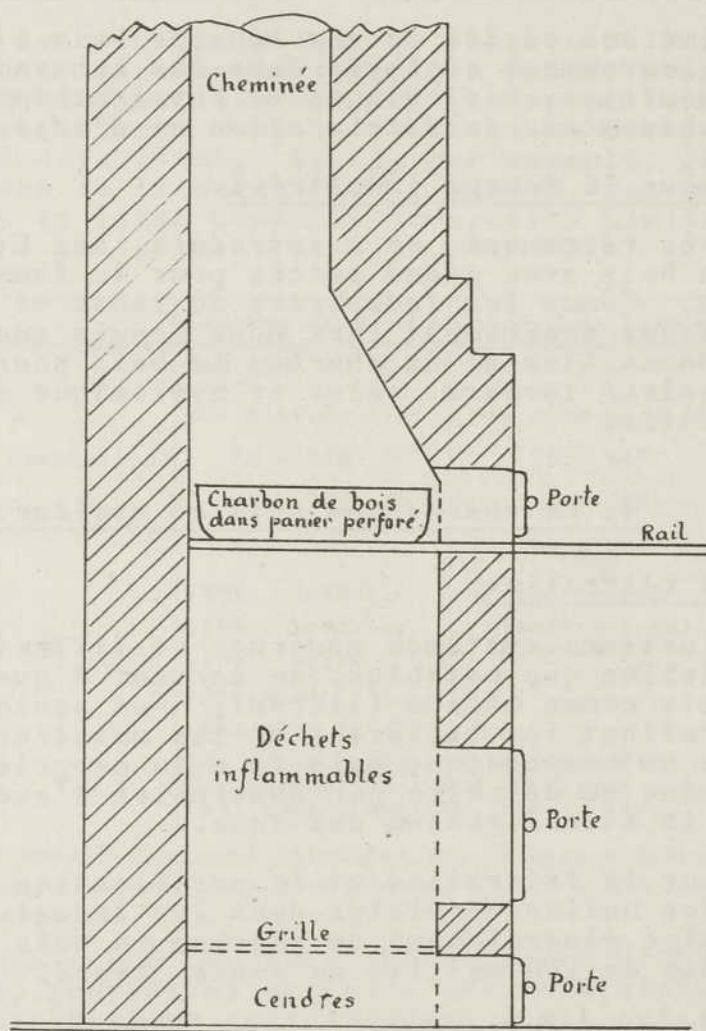


Fig. 34 - Schéma d'un incinérateur à charbon de bois (système norvégien).

d) Charbons préservatifs.

Pour conserver les viandes, les poissons et les légumes, on les entoure de charbon de bois finement pulvérisé. Ainsi, par exemple, pour préserver la pomme de terre de la pourriture durant l'hiver et retarder sa germination au

printemps, il n'y a pas de meilleure méthode que de remplir les interstices de poudre de charbon de bois.

Si la ménagère veut empêcher les bouillons de viande de sûrir durant plusieurs jours de la période des chaleurs, elle n'a qu'à y jeter quelques morceaux incandescents de charbon de bois, puis les enlever avec un écumoir.

Dans un autre domaine de la préservation, disons que le charbon de bois finement pulvérisé constitue une excellente base pour la préparation de poudres dentifrices ; il n'est pas abrasif, il n'affecte pas l'émail dentaire, il alcalinise les interstices dentaires et la cavité buccale, il est nettement aseptique.

5. Le charbon de bois comme isolant.

Le charbon de bois est un isolant de la chaleur de première valeur. En raison de son prix très avantageux par comparaison avec d'autres matières isolantes, son emploi s'impose particulièrement dans la construction de glaciers de toutes dimensions pour l'industrie de la pêche, l'industrie alimentaire et les besoins domestiques.

6. Le charbon de bois comme aliment.

Certaines variétés de charbon de bois trouvent maintenant une forte demande sur le marché des engrais alimentaires. Le charbon concassé et criblé se vend, selon la grosseur, comme charbon alimentaire pour les poules, les poulets et les poussins (1). La poussière de charbon est également employée dans l'alimentation des porcs, ainsi que dans la fabrication de nombreuses préparations alimentaires pour chiens, oiseaux de cage, oiseaux de basse-cour et autres animaux domestiques.

Dans le domaine des engrais agricoles, le charbon de bois finement pulvérisé constitue un excellent amendement pour la purification du sol, particulièrement en horticulture.

Nul doute qu'avec un peu de recherches, on pourrait développer chez nous plusieurs autres usages pour nos charbons de bois.

MARCHÉ DU CHARBON DE BOIS.

Nous n'avons ni l'intention, ni la compétence pour faire la mercuriale du charbon de bois. Ce n'est d'ailleurs pas le but de ce travail. Notons seulement en passant que la demande actuelle des marchés domestique et extérieur est très forte. Un grand nombre de nos producteurs fournissent régulièrement à nos usines de guerre ; d'autres ont même réussi à ouvrir le marché américain, beaucoup plus considérable en importance que notre marché intérieur. La demande du marché anglais est extrêmement forte, mais, faute de pouvoir produire du charbon correspondant à des spécifications données, nos producteurs n'ont pas encore réussi à le conquérir. Voilà la

(1) Grandeur des mailles du tamis : pour charbon à poules $3/8''$ charbon à poulets $1/4''$, charbon à poussins $1/16''$.

raison pour laquelle nous réclamons avec tant d'insistance l'adoption de méthodes de production uniformes ainsi que le contrôle scientifique pour toute l'industrie.

Le charbon de bois pour usage domestique général se vend aujourd'hui (août 1942) sur le marché de Montréal entre \$ 19.00 et \$ 20.00 par tonne, plus les frais de transport du point de production à Montréal. Le charbon à pous-sins et à poules vaut, convenablement concassé et nettoyé, \$ 25.00 et \$ 28.00 par tonne respectivement. Les industries de guerre payent maintenant de \$ 25.00 à \$ 26.00 par tonne, f.à.b. usine, et \$27.00 pour le charbon livré en sacs.

En ce qui concerne le transport par rail, les compagnies de chemins de fer nous ont fourni les taux en vigueur pour le transport à Montréal à partir des centres de production suivants :

St-Raymond (Portneuf)	\$3.80 par tonne
Villeroy (Lotbinière)	2.60 " "
Bélanger Siding (Témiscouata)	4.10 " "
Montmagny	5.00 " "
Weedon (Wolfe)	3.30 " "
La Macaza (Labelle)	2.60 " "
Comté de Dorchester	6.50 " "

Nous attribuons au dernier taux, tout à fait prohibitif, l'état lamentable de l'équipement de carbonisation et de la situation financière des charbonniers de ce comté.

CHAPITRE VII

RECOMMANDATIONS

Inspirés par le vif désir de fonder notre industrie de carbonisation sur des bases économiques solides et permanentes, nous résumons, en terminant ce travail, nos conclusions générales en quelques recommandations pratiques.

A. Recommandations générales:

- 1- Le cadre actuel de notre industrie de carbonisation presque entièrement limité aux terres à bois des colons et cultivateurs, devrait être étendu aux grandes opérations forestières. L'ouvrier forestier devrait suivre les grands chantiers et carboniser tous les déchets forestiers, fermant ainsi le cycle d'une saine action sylvicole.
- 2- Par l'entremise du Service de renseignements du Ministère des Terres et Forêts, lancement d'une grande campagne de propagande :
 - a) auprès de la population de la province, en faveur d'une plus forte et plus générale consommation de charbon de bois;
 - b) auprès de nos producteurs de charbon, en faveur de l'adoption d'une méthode uniforme de production et de classification.
- 3- Institution de cours de carbonisation, qui, dans un cadre efficace et peu dispendieux, pourraient se greffer sur le plan d'organisation de l'Ecole des Gardes à Duchesnay. On inviterait les charbonniers, particulièrement les jeunes, à venir suivre, pendant une dizaine de jours par année, des cours théoriques et pratiques où on leur apprendrait les meilleures méthodes d'enfournement et de carbonisation.
- 4- Création permanente d'un laboratoire central d'analyses et de recherches dont l'activité consisterait à contrôler scientifiquement les méthodes de carbonisation, à indiquer aux charbonniers comment produire un charbon correspondant aux spécifications posées par l'acheteur, à stimuler cette industrie en développant, par la recherche, de nouveaux emplois et de nouveaux débouchés pour nos charbons.
- 5- Développement des relations commerciales et ouverture de nouveaux marchés domestiques et extérieurs, avec la collaboration des Ministères des Terres et Forêts et du Commerce.
- 6- Création, dans chaque comté, ou chaque centre de production, d'une coopérative de producteurs, saine et bien administrée. Afin de vulgariser davantage la puissance de la coopération parmi nos producteurs, le gouvernement devrait, en principe, transiger de préférence avec les directeurs d'une coopérative, pour tout ce qui concerne la production, la vente, le marché, etc.

B. Recommandations aux conseils de villes et de municipalités.

- 1- Adoption d'un règlement interdisant la vente du charbon de bois autrement qu'au poids, sur le territoire de leur cité ou municipalité. Un tel règlement protégerait le charbon produit au four, plus lourd et de meilleure qualité que le charbon produit par distillation en vase clos.
- 2- Adoption d'un règlement à l'effet de supprimer la fumée. Tout en respectant la santé publique, la propreté et l'aspect de l'endroit, un tel règlement favoriserait une plus forte consommation de charbon de bois comme combustible industriel et domestique.

C. Recommandations à nos producteurs.

(Les 10 commandements du charbonnier).

- 1- Pour réussir vos carbonisations: enfournement compact dans un four étanche, surveillance de tous les instants et contrôle de la température.
- 2- Pour avoir un bon rendement : il est indispensable de cuire des bois secs ou mi-secs. Les bois verts fournissent peu de charbon, une partie du combustible étant employée à vaporiser l'eau du ligneux.
- 3- Pour avoir un beau charbon non brisé : le diamètre du bois doit être aussi uniforme que possible; les billots de plus de 6" de diamètre devraient être fendus. Le bois, étant mauvais conducteur de la chaleur, ne se dilate pas également à la circonférence et au coeur; il éclate et tombe en morceaux pendant la cuisson, si son diamètre est trop fort.
- 4- Pour avoir une cuisson bien homogène : afin d'éviter la formation de fumerons et de braise, les bois ne doivent pas être coupés trop longs, disons 36" au maximum, et surtout avoir une longueur uniforme. Les bois de longueur inégale s'arriment mal et laissent des vides inévitables qui nuisent à la transmission de la chaleur et, par suite, à la bonne cuisson.
- 5- Pour obtenir un tassement régulier: l'enfournement doit se faire méthodiquement; les gros morceaux doivent être placés près du centre et en haut, les petits en bas et sur la périphérie du four.
- 6- Pour obtenir un charbon de haute qualité: un charbon bien cuit et contenant, disons, 80 % de carbone, il n'y a qu'un moyen: la carbonisation lente. Plus la vitesse de carbonisation est grande et la température initiale élevée, plus l'intervalle de temps entre la température initiale et finale est petit et la qualité du charbon mauvaise.
- 7- Pour obtenir un charbon de composition donnée: rappelez-vous que seule la densité apparente du charbon dépend de la nature du bois enfourné. Toutes les autres propriétés, la composition chimique, le pouvoir calorifique, etc., dépendent des conditions de la carbonisation. En les faisant varier convenablement vous obtiendrez un charbon de composition désirée.

- 8- Pour carboniser du bois vert de façon plus ou moins convenable: faire une plus grande cheminée d'allumage avec beaucoup de matériel sec et inflammable; faire l'enfournement tel que dit au paragraphe 5; allumage vif; laisser dégager les gaz de combustion plus librement au début afin que le feu se propage de façon vigoureuse; empêcher la condensation de la vapeur d'eau dans le four en laissant les événements dans la partie supérieure du four ouverts le plus longtemps possible, ou en retardant la fermeture de la porte d'enfournement, afin que la vapeur d'eau puisse sortir librement et abondamment; donner beaucoup d'air durant les premières heures de l'opération, afin de créer une forte zone de carbonisation initiale; plus tard, modérer le feu afin d'obtenir une carbonisation beaucoup plus lente qu'avec du bois sec.
- 9- Pour obtenir du succès dans vos affaires; groupez-vous en coopératives. L'union fait la force! Vous aurez un bon prix et un marché stable. En cas de difficultés ou d'insuccès d'ordre technique, adressez-vous avec confiance aux techniciens du Ministère des Terres et Forêts, ils vous aideront.
- 10- Pour aimer votre métier; n'oubliez pas que votre métier est très honorable, et que votre face noire vaut bien toutes les faces blanches du village.

NOTRE MOT D'ORDRE:

Au moins un four à charbon de bois dans chacune de nos paroisses pour la fabrication locale de NOTRE carburant forestier!

Au moins un gazogène sur chaque ferme pour la production économique de l'énergie rurale sous toutes ses formes!

Au moins un gazogène dans chaque petite industrie, signe tangible de progrès, de prospérité et de patriotisme!

Notre vieille industrie de carbonisation, modeste, timide, irrégulière, tantôt payante, tantôt désastreuse, peut et doit devenir rapidement une grande, florissante et permanente industrie rurale, un puissant facteur dans notre effort d'émancipation économique.

Elle le mérite. C'est de l'action sociale et économique!

BIBLIOGRAPHIE.

Nous donnons ci-après une liste partielle des ouvrages consultés. Cette liste contient aussi les travaux se rapportant au charbon à gazogène; mais par contre, la bibliographie complète des publications traitant du gazogène proprement dit fera partie d'un autre travail.

a) Ouvrages complets.

- Armstrong, John.- Carbonisation Technology and Engineering.- London, C. Griffin & Co. Ltd., 1929.
- Bunbury, H.M.- The destructive distillation of Wood.- London, Benn Brothers, Ltd., 1923.
- Dupont, G.- Distillation du bois.- Paris, Gauthier-Villars & Cie., 1924.
- Klar, M., and Rule, A.- The Technology of Wood Distillation.- London, Chapman & Hall, Ltd., 1925.
- Mariller, Ch.- La carbonisation des bois, lignites et tourbes.- Paris, Dunod, 1924.

b) Ouvrages traitant partiellement de carbonisation.

- Brown, N.C.- Forest Products, their manufacture and use.- New York, John Wiley & Sons, Inc., 1919.
- Brown, N.C.- Timber Products and Industries.- New York, John Wiley & Sons, Inc., 1937.
- Dumesney, P., and Noyer, J.- Wood Products, Distillates and Extracts.- London, Scott Greenwood & Son, 1921.
- Hawley, L.F., and Wise, L.E.- The Chemistry of Wood.- New York, Chemical Catalog Co. Inc., 1926.
- McElhanney, T.A.- Les bois du Canada, leurs propriétés et leurs usages.- Ottawa, Imprimeur de S.T.E.M. le Roi, 1940.
- Schorger, A.W.- The Chemistry of Cellulose and Wood.- New-York, McGraw-Hill Book Co., Inc., 1926.
- Trendelenburg, R.- Das Holz als Rohstoff.- München, J.F. Lehmanns Verlag, 1939.
- Ullmann, F.- Enzyklopädie der technischen Chemie, Bd. 6. Berlin, Urban & Schwarzenberg, 1930.

c) Brochures.

- Almond, J.N., Holmes, B.M., and Plante, E.C. - An examination of some Australian hardwood charcoals, with special reference to their suitability for charcoal gas producers.
- Part I : Pamphlet No 103, Council for Scientific and Industrial Research, Melbourne, 1940.
- Part II : (by E.C. Plante) : J. of the C.S.I.R., Vol. 14, No 3, pp. 191-200. August, 1941.

- Brigden, A.C.- Report on the investigation of the tar producing properties of N.S.W. charcoals.-New South Wales State Fuel Research Committee.
- Donald, G.H.- Further notes on the manufacture of charcoal in portable kilns.- C.S.I.R., Forest Products Research Laboratory, Princes Risborough, England.
- Egleston, T.- The manufacture of charcoal in kilns.- New York, School of Mines, 1879.
- Forest Commission of Victoria.- The manufacture of wood charcoal.- Leaflet No 1., Melbourne, Australia, 1941.
- Harkom, J.F.- Manufacture of charcoal without recovery of by-products.- Ottawa, Forest Products Laboratories of Canada, 1930.
- Johnston, A.K.- Report on the Effects of Grading or Sizing of Charcoal on gas producer performance.- Forestry Commission of New South Wales.
- Legendre, J.R.- L'inventaire de l'industrie du charbon de bois dans la province de Québec.- Ministère des Terres et Forêts, Québec. 1934.
- Marriatt, F.G., and Greaves, C.- The Chemical Utilization of Wood.- Ottawa, Department of the Interior, Forest Service, 1935.
- Mercier, T. - La carbonisation des bois dans la province de Québec.- Ministère de la Colonisation, Québec, 1930.
- New South Wales Forestry Commission.- Charcoal burning; Portable kiln and Pit methods.- Pamphlet No 5, Sydney, Australia, 1940.
- New South Wales Forestry Commission.- Charcoal for Mobile Gas Producers.- Pamphlet No 5, 2nd edition. Sydney, Australia, 1941.
- New South Wales Forestry Commission.- Report on the construction and operation of the N.S.W. Forestry Charcoal producing plant.- Sydney, 1941.
- Olson, A.R., and Hicock, H.W.- A portable kiln using the chimney principle.- New Haven, Connecticut Agricultural Experiment Station, Bulletin 448, 1941.
- Piché, G.C.- Notes sur la carbonisation des bois.- Ministère des Terres et Forêts, Québec, 1934.
- Queensland Government Producer Gas Committee.- The manufacture of charcoal for producer gas vehicles.- Bulletin No 5, Brisbane, Australia, 1941.
- Standards Association of Australia.- Australian Standard Specification (Emergency Series) for Wood Charcoal for use in gas producers for vehicles and tractors. Emergency Standard No (E) D.3002 - 1941.

- Strong, R.A., Swartzman, E., and Burrough, E.J.- Fuel Briquetting. Ottawa, Department of Mines and Resources, Bureau of Mines, 1937.
- U.S. Department of Agriculture.- Chemical Utilization of Wood.- Forest Products Laboratory, Madison, 1935.
- U.S. Department of Agriculture. - The production of charcoal in the ordinary pit-kiln.- Forest Products Laboratory, Madison, 1932.

d) Articles de revues.

1.- Généralités et statistiques.

- Beckman, J.W. - Le charbon de bois en Suède. (en anglais).- Ind. Eng. Chem. 11, 1063-4, 1919.
- Lothigius, W. - Un four à charbon de bois dans chaque paroisse. (en suédois). - Skogsägaren, 16, 107-10, 1940.
- Loghigius, W.- La "rationalisation" de la fabrication du charbon de bois. (en suédois).- Skogsägaren, 15, 14-9, 1939.
- Miura, I.- La fabrication du charbon de bois au Japon (en anglais).- Ind. Eng. Chem. 23, 631, 1931.
- Wallman, P.H. - La fabrication du charbon de bois en temps de crise, (en suédois).- Skogen, 26, 420-1, 1939.
- (Editorial)- La fabrication du charbon de bois en Australie occidentale, (en anglais).- Austral. Timber J., 7, 318-23, 1941.
- (Editorial)- Le carburant forestier (en français).- Chimie et Industrie, 1937, II, 603.

2.- Equipement et méthodes de carbonisation.

- Bergström H.- Le four à charbon de bois versus la meule (en suédois).- Jernkonterets Annaler, 124, 265-73, 1940.
- Donald, G.H.- La fabrication du charbon de bois en petits fours mobiles, (en anglais).- Empire Forestry J., 18, 95-100. 1939.
- Klar, M.- La situation actuelle de la technique de carbonisation. (en allemand).- Holz, 1, 139-45, 1938.
- Lindman, K.- La carbonisation du bois vert (en suédois).- Skogen, 27, 377-8, 1940.
- Mauger, J.- La carbonisation du bois en vase clos (en français).- Chimie et Industrie, 15, 474, 1926.
- Robertson, E.D. - Les fours à charbon de bois dans la forêt de Malaisie, (en anglais).- Malay Forester, 9, 178-83, 1940.
- Rodrigue - Le choix d'un four à carbonisation (en français).- Chimie et Industrie, 45, 564, 1941.

- Romanet, A.- Amélioration dans la technique de carbonisation (en français).- Bull. Comm. Forest., Paris, 11, 648-67, 1938.
- Schwalbe, C.G., et Neumann, K.E.- Carbonisation de déchets de bois par voie humide (en allemand).- Z. f. angew. Chem. 1935, 207.
- (Editorial) - Le four en briques du Service forestier de Queensland (en anglais).- Australian Timber J., 7, 63, 100, 1941.
- (Editorial) - Les fours "Trollebo" et "Sparreholm" (en suédois).- Skogen 26, 426-7, 382-3, 1939.
- (Editorial) - Utilisation de la chaleur des fours à charbon de bois pour le chauffage des serres (en suédois).- Skogsägaren, 16, 142-3, 1940.
- (Editorial) - Détails de construction de fours et cornues; spécifications de la Commission suédoise des Combustibles (en suédois).- Skogen, 27, 267-8, 1940.

3.- Concassage et pulvérisation du charbon.

- Garland, H.- Le charbon de bois pulvérisé, un combustible moderne (en anglais).- Timberman, Mai 1934.
- (Editorial) - Note préliminaire sur les concasseurs à charbon de bois (en suédois).- Skogsägaren, 15, 302-3, 1939.

4.- Analyse du charbon de bois; propriétés chimiques et physiques.

- Burstein, R., et Frumkin, A.- Preuve expérimentale pour l'adsorption activée de l'hydrogène par le charbon de bois (en anglais).- J. Am. Chem. Soc., 55, 3052, 1933.
- Cude, H.E., et Hulett, G.A.- Les propriétés du charbon de bois (en anglais).- J. Am. Chem. Soc., 42, 391, 1920.
- Culbertson, J.L., et collaborateurs.- Les densités de substances finement pulvérisées (en anglais). J. Am. Chem. Soc. 59, 306, 1937 et 60, 2695, 1938.
- Danforth, J.D., et De Vries, T.- Les densités de vapeurs adsorbées par le charbon de bois (en anglais).- J. Am. Chem. Soc. 61, 873, 1939.
- De Vries, T.- La densité de l'anhydride carbonique adsorbé par le charbon de bois (en anglais).- J. Am. Chem. Soc. 57, 1771, 1935.
- Felsing, W.A., et Ushby, C.T.- L'adsorption de la méthylamine par le charbon de bois (en anglais).- J. Am. Chem. Soc., 56, 2226, 1934.
- Frolich, P.K., et White, A.- L'adsorption du méthane et de l'hydrogène par le charbon de bois, à haute pression (en anglais).- Ind. Eng. Chem., 22, 1058, 1930.
- Heinze, R.- Détermination de la réactivité du charbon à gazogène par des méthodes de laboratoire (en allemand).- Feuerungstechn., 28, 49-54, 1940.

- Juon, E.- Les types de charbon de bois produits dans les monts Ourals (en allemand).- *Stahl und Eisen*, 24, 1230-38, 1904.
- McBain, J.M., et collaborateurs.- La nature de l'adsorption de l'eau par le charbon de bois (en anglais).- *J. Am. Chem. Soc.*, 55, 2294, 1933.
- Mott, R.A., et Spooner, C.E.- Méthode rapide pour la détermination de la teneur en goudron dans le charbon à gazogène (en anglais).- *Fuel*, 20, 71-3, 1941.
- Plante, E.C., et Holmes, B.M. - Aspect chimique des gazogènes et du charbon de bois (en anglais).- *Austral. Chem. Inst. J. and Proc.*, 9, 11-13, 1942.
- Powell, A.R., et Russell, C.C.- Méthode de détermination de la pulvérulence du charbon (en anglais).- *Ind. Eng. Chem. Analyt. Ed.*, 5, 340, 1933.
- Schwob, C., et collaborateurs.- Propriétés catalytiques du charbon de bois (en anglais).- *J. Am. Chem. Soc.*, 58, 1115, 1936; 60, 2480, 1938; 60, 2483, 1938.
- Smith, R.C., et Howard, H.C.- La densité et la porosité de matières carbonées (en anglais).- *Ind. Eng. Chem.*, 34, 438-41, 1942.
- Tschapek, M.W.- Les densités de fines poudres (en allemand).- *Kolloid Zeitschr.*, 63, 34, 1933.
- (Editorial).- Demandes de charbon de bois et spécifications (en anglais).- *Canad. Chem. & Proc. Ind.*, 24, 415, 1940.

5.- Charbons de bois spéciaux.

- Genel, S.V.- La fabrication du charbon de bois pour le polissage (en russe). *Lesokhim. Prom.*, 1939, No 7, 7-12.
- Hawley, L.F.- La fabrication artificielle d'un charbon de bois très dense (en anglais).- *Ind. Eng. Chem.*, 13, 301-2, 1921.
- Mayers, M.A.- Les substances oxydantes solubles dans l'acide, extraites du charbon de bois (en anglais).- *J. Am. Chem. Soc.*, 55, 2435, 1933.
- Miller, E.J.- Enlèvement de la matière minérale du charbon de bois, pour préparer du carbone pur (en anglais). - *J. Phys. Chem.*, 30, 1031, 1926.

6.- Briquettes de charbon de bois.

- Berthelot, C.- La fabrication de briquettes mixtes à charbon et charbon de bois pour le gazogène (en français).- *Génie Civil*, 117, 165-9, 1941.
- Snell, F.D., et Kimball, C.S.- Briquettes de charbon à base de silicate de sodium (en anglais).- *Ind. Eng. Chem.* 29, 724, 1937.
- (Editorial)- Briquettes de charbon de bois pour le gazogène (en anglais).- *Australian Timber J.*, 5, 353, 1939.

(Editorial) - Fabrication de briquettes par carbonisation des feuilles d'arbres forestiers (en allemand).- Chem. Fabrik, 14, 108, 1941.

(Editorial) - Description d'une machine à briquettes (en anglais).- Ind. Eng. Chem. News Edit., 19, 562, 1941.

7. Charbon de bois activé.

Barker, M.E.- Mécanisme de l'activation du charbon de bois (en anglais).- Ind. Eng. Chem., 22, 926, 1930.

Bartell, F.E., et Lloyd, L.E.- Activation du charbon de bois dans différents gaz à différentes températures (en anglais).- J. Am. Chem. Soc., 60, 2120, 1938.

Culbertson, J.L., et Winter, L.L.- Chaleur d'humectation du charbon de bois activé (en anglais).- J. Am. Chem. Soc., 59, 308, 1937.

Hertzog, E.S., et Broderick, S.J.- Le charbon activé pour la décoloration du sucre (en anglais).- Ind. Eng. Chem., 33, 1192-8, 1941.

Honig, P.- Investigation sur le charbon activé (en allemand).- Koll. Beihefte, 22, 346-419, 1926.

Kolthoff, I.M.- Propriétés du charbon de bois activé dans l'oxygène à 400° (en anglais).- J. Am. Chem. Soc., 54, 4473, 1932.

Maumené, A.- L'adsorption d'eau par le charbon de bois activé (en français).- Comptes rend. Acad. Sc., 87, 943, 1878.

Neubauer, L.G., et Rands, M.B.- Le charbon de bois activé (en anglais).- New Zealand J. Sci. Tech., 22B, 216-24, 1941.

Schindel, E.- Le charbon de bois "Supersorbon" hautement activé (en allemand).- Chem. App., 27, 257-62, 273-5, 1940.

e) Brevets récents.

1) Equipement et méthodes de carbonisation.

Bouvier, H. - Appareil à carbonisation - Brevet suisse No 215,896, Nov. 1, 1941; No 216,147, Déc. 1, 1941; No 216,148 Nov. 17, 1941.

Dunker, L.H.A.- Méthode de carbonisation pour réduire la teneur en matières volatiles du charbon de bois. - Brevet anglais No 526,135, Sept. 11, 1940.

Kirchhoff, L., et Vogt, A.E.- Four mobile pour la carbonisation du bois, de la tourbe, etc.- Brevet allemand No 699,766, Nov. 7, 1940.

Koppers Co. - Appareil à carbonisation - Brevet suisse No 238,800, Nov. 7, 1941.

Minami, T., et Kawauti, A. - Préparation d'un charbon à gazogène très poreux.- Brevet japonais No 130,978, Juillet 7, 1939.

Whitfield, C.- Four à charbon de bois.- Brevet anglais No 526,416, Sept. 18, 1940.

Zorn, R.- Appareil à carbonisation.- Brevet suisse No 216,642, Déc. 16, 1941.

2) Charbon de bois pour électrodes.

Ruzicka, S. - Fabrication du coke de bois.- Brevet américain No 2,184,317, Déc. 26, 1939.

3) Charbon de bois activé.

Davis, R.G. - Charbon de bois activé de la sciure de pin. - Brevet américain No 2,245,579, Juin 17, 1941.

Klein, H.E., et McVay, W.S.- Dévolatilisation du charbon de bois par chauffage à 800°-1000°.- Brevet américain No 2,224,823, Déc. 10, 1940.

Scheffler, G.H.- Charbon de bois activé.- Brevet américain No 2,216,756, Oct. 6, 1940.

Uthe, H.- Activation du charbon de bois, de tourbe, de lignite, etc.- Brevet allemand No 699,551, Nov. 7, 1940.

4) Briquettes de charbon.

Atcherley, J.R.- Briquettes de charbon de bois pour gazogènes.- Brevet australien No 114,035, Oct. 13, 1941.

Clerc, V.L.- Briquettes de combustibles.- Brevet suisse No 212,610, Mars 17, 1940.

Futs, J., et Futs, A.- Briquettes de combustibles et liants pour en préparer.- Brevet anglais No 514,340, Nov. 6, 1939.

Kovats, L.- Liants pour les briquettes de charbon de bois.- Brevet hongrois, No 127,441, Juillet 15, 1941.

Levesque, J. (Gouvernement de la Province de Québec).- Liants pour les briquettes, dérivant du goudron de bois francs.- Brevet américain No 2,210,212, Août 6, 1940.

Oakley, W.A.- Briquettes de charbon de charbon de bois.- Brevet australien No 113,224, Mai 30, 1941.

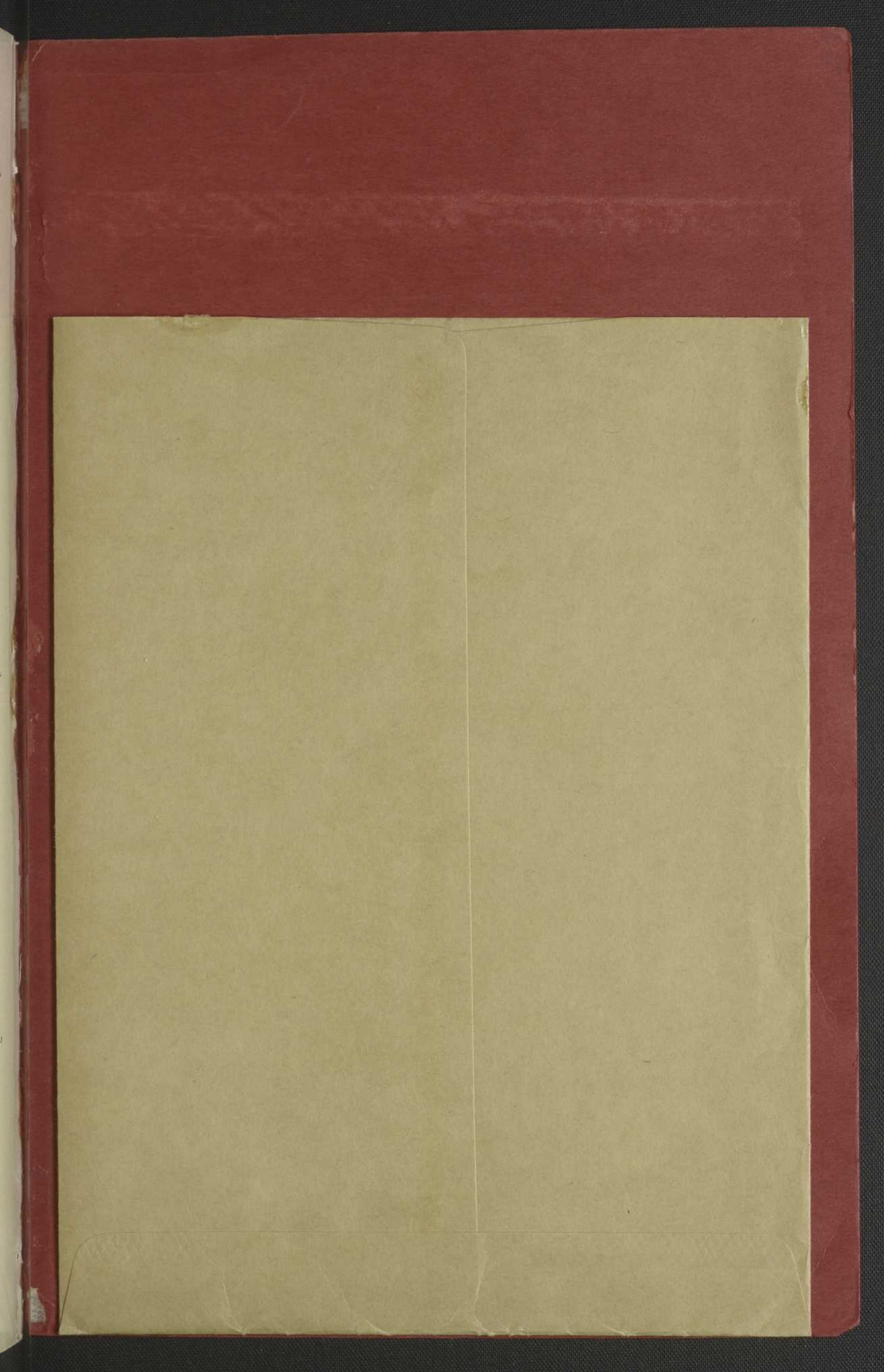
Petterson, F.M.- Méthode et machine pour briqueter le charbon de bois.- Brevet anglais No 526,491, Sept. 19, 1940.

Reitzer, M., et Stux, S.- Briquettes de charbon de bois.- Brevet hongrois No 127,474, Juillet 15, 1941.

Rick, G.G., et Loetel, C.E.- Briquettes de charbon de bois avec un nouveau liant.- Brevet américain No 2,217,994, Oct. 15, 1940.

Sengoku, K.- Briquettes de charbon de bois activé et chimiquement traités.- Brevet allemand No 693,469, Juin 13, 1940.

Young, J.K., Horn, L.G., et Steel, F.W.- Briquettes de charbon de bois.- Brevet australien No 111,652, Sept. 25, 1940 ; No 114,378, Déc. 9, 1941.



BNQ



000 489 340

PUBLICATIONS DU SERVICE FORESTIER

Bulletins
(nouvelle série)

Le Service forestier du Ministère des Terres et Forêts de la province de Québec publie une nouvelle série de bulletins. Leur but est de mettre à la portée des industriels, forestiers, consommateurs de bois et du public en général, les résultats pratiques obtenus dans les divers centres de recherches dirigés par le Service forestier. Voici les bulletins parus jusqu'à date:

- No 1 - A. Desjardins, i.f., m.f.: La cour à bois et les empilements pour le séchage à l'air libre des bois sciés. 1942. (Imprimé). Prix: \$ 0.10
- No 2 - L. de G. Dubois, i.f.: Le gazogène (essai de vulgarisation). 1942. (Imprimé). (gratuit)
- No 3 - Jos. Risi, D.Sc.: L'industrie de la carbonisation du bois dans la province de Québec. 1942. (Photo-lithe). Prix: \$ 0.50

On peut se procurer ces bulletins en envoyant la commande et le montant indiqué au Service forestier, Ministère des Terres et Forêts, Hôtel du Gouvernement, Québec, P.Q., Canada.

TABLEAU No 25.

Description des fours, du bois, de la méthode et des produits de carbonisation, et des propriétés physiques et chimiques de quelques

charbons de bois produits dans la province de Québec.

Tous les résultats analytiques sont exprimés sur la base de l'échantillon tel que reçu ("as received basis").

[illegible]