

GALONIER

SOCIÉTÉ NATIONALE
DES CHEMINS DE FER FRANÇAIS
DIRECTION GÉNÉRALE
6 JUIN 1939

décembre 1937

SOCIÉTÉ NATIONALE
DES CHEMINS DE FER FRANÇAIS
DIRECTION GÉNÉRALE
6 JUN 1939
Dossier n° 8599/2911
Fiche n° 1

RECHERCHES DE LABORATOIRE
SUR LA VALEUR D'USAGE DES CHARBONS
EN MATIÈRE DE TRACTION
(Pouvoir cokéfiant par chauffe brusquée)

par **M. GALONIER,**

Docteur ès sciences,
Sous-Ingénieur du Contrôle des Usines P.O.-MIDI.

Extrait de la **Revue Générale des Chemins de fer**
(N° du 1^{er} Décembre 1937)

PARIS

DUNOD

92, RUE BONAPARTE (VI)

Tous droits réservés.

1937

La Revue Générale des Chemins de fer paraît mensuellement depuis juillet 1878, sous le patronage et avec la collaboration d'un Comité de Rédaction composé actuellement de:

MM.

RIBOUD, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Directeur honoraire de la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, **Président**.

BERTHELIER, Administrateur de la Société générale des Chemins de fer économiques.

GODFERNAUX, Ingénieur, Membre du Comité des Travaux publics des Colonies, Directeur honoraire de la Revue Générale des Chemins de fer.

HENRY-GRÉARD, Ingénieur des Mines, Directeur de la Compagnie du Chemin de fer de Paris à Orléans.

HERDNER, Ingénieur en chef honoraire du Matériel et de la Traction de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, Président honoraire du Comité de rédaction de la Revue Générale des Chemins de fer.

LE BESNERAIS, Ingénieur des Mines, Directeur de l'Exploitation de la Compagnie du Chemin de fer du Nord.

LECLERC du SABLON, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Directeur de la Compagnie des Chemins de fer du Midi.

LEGOUX, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Directeur général des Chemins de fer de l'État.

MUGNIOT, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Directeur général de la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

PELLARIN, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Directeur de la Compagnie des Chemins de fer de l'Est.

SURLEAU, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Directeur des Chemins de fer de l'Alsace et de Lorraine.

Siège du Comité: 42, rue de Châteaudun, PARIS

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION:

M. RIBARD, Inspecteur principal adjoint attaché à la Direction de la Compagnie des Chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée.

88, rue Saint-Lazare, PARIS (IX^e)

BUT de la REVUE GÉNÉRALE des CHEMINS de FER

La Revue Générale des Chemins de fer a pour but de réunir et de centraliser toutes les publications spéciales relatives à l'industrie des chemins de fer. Elle est destinée à tenir tous ceux qui s'occupent de ces importantes questions au courant des travaux exécutés, des progrès tentés et réalisés, et, en général, de tous faits techniques ou commerciaux qui, en France ou à l'étranger, présentent quelque intérêt.

Elle publie, tout à la fois, des articles spéciaux relatifs à la construction des chemins de fer, à leur entretien, à l'établissement du matériel fixe et roulant, à la traction, etc., des études économiques ou financières, des résultats ou renseignements ayant trait à l'exploitation technique ou commerciale, tels que: dispositions de gares, manutention, télégraphie et applications de l'électricité, chauffage et éclairage des gares et des trains, tarifs, jurisprudence, comptabilité, statistique, etc. Elle donne d'une façon complète la statistique annuelle des principaux chemins de fer du monde.

En un mot, la Revue Générale des Chemins de fer constitue en France, l'organe spécial des chemins de fer et, à ce titre, elle mérite d'appeler l'attention de toutes les personnes qui s'intéressent à la grande industrie des transports, ainsi qu'on pourra d'ailleurs le constater par les **Tables Générales des Matières** parues dans cette publication du 1^{er} juillet 1878 au 31 Décembre 1930.

*En Respectueux Hommage
au nom de l'auteur et au mien
R. Dugas*

RECHERCHES DE LABORATOIRE SUR LA VALEUR D'USAGE DES CHARBONS EN MATIÈRE DE TRACTION

(Pouvoir cokéfiant par chauffe brusquée)

par **M. GALONIER**,

Docteur ès sciences,
Sous-Ingénieur du Contrôle des Usines P.O.-MIDI.

INTRODUCTION

Dans un article paru en Janvier 1934 dans la « Revue Générale » (1), j'avais montré que les essais classiques effectués sur les charbons (teneur en cendres, teneur en matières volatiles, pouvoir calorifique, fusibilité des cendres) étaient insuffisants pour apprécier la valeur d'usage d'un combustible en matière de traction. J'avais préconisé de compléter ces essais par la détermination de l'indice limite d'agglutination (au sens de M. Audibert).

Ces indices limites permettent de dresser une échelle de l'aptitude des différents charbons à cokéfier par chauffe brusquée. Or, le dépouillement de nombreux essais en ligne m'avait conduit à penser que cette caractéristique des charbons devait jouer un rôle considérable dans la pratique.

Les travaux de M. Galonier, qui font l'objet de la présente Note, apportent à cette question une contribution des plus intéressantes. La méthode dilatométrique de MM. Audibert et Delmas est bien connue et couramment utilisée pour le dosage des mélanges de fines dans la fabrication du coke. Mais il fallait l'adapter à des vitesses de chauffe beaucoup plus élevées pour se rapprocher des conditions réalisées dans les foyers de locomotives.

Les indices d'agglutination par chauffe brusquée diffèrent profondément des indices obtenus à la vitesse de chauffe de 1° par minute

(1) René Dugas Analyses et Essais des combustibles destinés à la consommation des locomotives Revue Générale, N° de Janvier 1934.

intéressant la fabrication du coke. On peut en déduire un classement des charbons que M. Galonier traduit par une échelle de coefficients théoriques de qualité.

Circonstance tout à fait remarquable, ces coefficients obtenus au laboratoire offrent une corrélation directe avec les coefficients virtuels de consommation que j'avais obtenus en dépouillant les essais pratiques effectués sur le P.O.-Midi. Il s'agit d'une corrélation et non d'une véritable relation chiffrée, mais les échelles de laboratoire recourent les résultats pratiques de telle manière que l'ordre de succession des valeurs d'usage est, dans une très large mesure, conservé. On peut donc conclure d'un essai de cokéfaction par chauffe brusquée au laboratoire qu'un charbon offrira un rendement pratique de la calorie supérieur ou inférieur à celui d'un autre charbon, prédiction impossible à faire à l'aide des seules analyses classiques.

Dans une étude parue en Février-Mars 1935 dans la « Revue Générale » (1), M. A. Chapelon, Ingénieur, Chef des Études du Matériel au P.O.-Midi, chiffre, pour la première fois, au cours d'essais à vitesse constante par locomotives freins, l'influence que pouvait avoir, sur la puissance et le rendement thermique des chaudières, le stockage des charbons, qui en diminue plus ou moins le pouvoir cokéfiant ; des écarts systématiques de 10 à 15 % ont été ainsi constatés dans le rendement thermique des chaudières.

M. Galonier a effectivement mis en évidence, par la méthode dilatométrique, la dépréciation des charbons par stockage.

Les recherches de cette nature rencontrent parfois le scepticisme des techniciens. A mon sens, ce scepticisme est une erreur ; en effet, de nombreuses anomalies — analogues à celles que M. Chapelon a relevées — se rencontrent dans le service courant, sans que l'on puisse les expliquer par les analyses habituelles : on trouve un pouvoir calorifique normal, une fusibilité des cendres normale ; si l'on allait au fond des choses, on s'apercevrait que seul le pouvoir cokéfiant est en jeu. Des études comme celles de M. Galonier méritent donc de retenir la plus sérieuse attention. Elles nous apprennent à mieux connaître — et partant, à utiliser plus rationnellement les charbons que nous consommons.

René DUGAS,

Ingénieur des Mines,

Ingénieur en Chef du Service des Machines du P.O.-MIDI.

(1) André Chapelon, Locomotives à grande vitesse à bogie et 4 essieux accouplés de la Compagnie d'Orléans Revue Générale, N° de Février-Mars 1935.

I. — Fusion des houilles. — Méthode dilatométrique de MM. Audibert et Delmas. — Les houilles dites cokéfiables subissent entre 350° et 500° une sorte de fusion pâteuse.

L'appareil permettant d'étudier ce phénomène est le dilatomètre de MM. Audibert et Delmas. Cet appareil se compose d'un tube de 35 cm de hauteur environ, fermé à l'une de ses extrémités, dans lequel coulisse, à frottement très doux, une tige cylindrique formant piston et terminée à son extrémité libre par un index qui permet d'en repérer la position. Le charbon à essayer, convenablement broyé et humidifié, est moulé en un comprimé de 6 cm de hauteur environ, ayant la forme d'un crayon. On le place au fond du tube, le piston de la tige appuyant dessus. L'ensemble est disposé verticalement dans un four chauffé électriquement et muni d'un couple pyrométrique (voir croquis et photographie ci-joints).

On constate, lorsqu'on chauffe, les phénomènes suivants :

a) départ de l'eau d'humidification, puis de l'eau hygroscopique, ainsi que de certains gaz se dégageant à basse température (CO² notamment). Aucun déplacement du piston pendant cette période ;

b) fusion plus ou moins complète de la houille. Descente du piston. On note le déplacement du piston en fonction de la température ;

c) dégagement gazeux boursoufflant la masse pâteuse. Remontée du piston. On note ce déplacement du piston en fonction de la température.

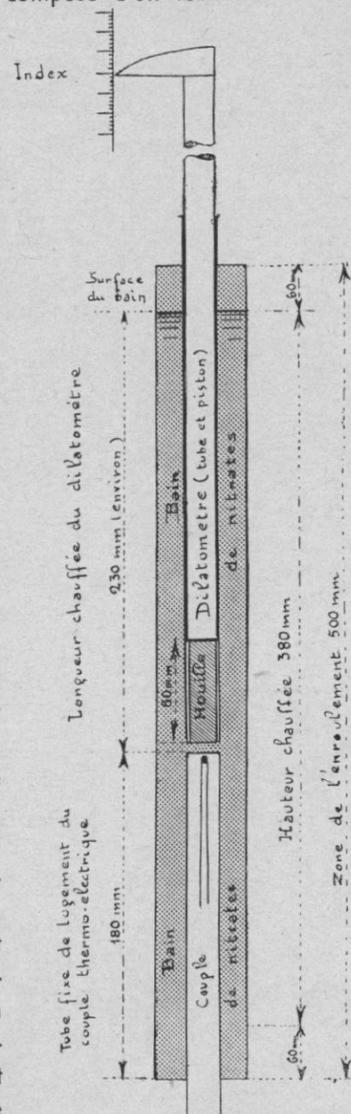
Pour une vitesse de chauffe donnée, on obtient ainsi un diagramme en portant en ordonnée les déplacements du piston et en abscisse les températures. Ce diagramme est caractéristique du charbon essayé. Il est très sensible et se modifie profondément en cas de « vieillissement » de l'échantillon.

L'incorporation d'infusibles (sable, coke, semi-coke, anthracite ou houille maigre) à l'échantillon de charbon essayé permet de faire disparaître le gonflement qui suit la phase de contraction décrite sous b). La recherche de la proportion d'infusible nécessaire à la disparition du gonflement se fait par approximations successives.

M. Audibert appelle **indice d'agglutination** à une vitesse de chauffe donnée, le poids d'infusible qu'il faut incorporer à un poids 100 de la houille essayée pour que le mélange se trouve ainsi à la limite du gonflement.

II. — Détermination des indices-limites d'agglutination par chauffe brusquée. — Voulant nous rapprocher, dans toute la mesure compatible avec la méthode dilatométrique, des conditions qui peuvent se rencontrer dans un foyer de locomotive, nous avons opéré en plongeant brusquement notre échantillon dans un bain maintenu à 550° centigrades. Avec certains charbons à très haute teneur en matières volatiles, distillant très rapidement, la condensation sur les parois du tube des produits distillés peut freiner le mouvement du piston et rendre ainsi toute mesure illusoire. Aussi, en pareil cas, avons-nous dû remplacer cette plongée brusque par un chauffage à 25° par minute.

Nous avons opéré sur éprouvette de 60 mm de longueur et 6,5 mm de diamètre. Avec les conditions de chauffe précisées ci-dessus, nous appelons **indice-limite** et nous désignons dans ce qui suit par λ le poids d'infusible qu'il est nécessaire d'incorporer à un poids 100 de la houille essayée pour obtenir un gonflement



(1) André Chapelon, Locomotives à grande vitesse à bogie et 4 essieux accouplés de la Compagnie d'Orléans Revue Générale, N° de Février-Mars 1935.

≤ à 1 mm. Nous faisons un essai de contrôle pour vérifier qu'avec une proportion d'infusible $\frac{\lambda+5}{100}$ tout gonflement a effectivement disparu.

La figure 1 montre dans ces conditions (plongée brusque à 550°) la recherche de l'indice-limite λ

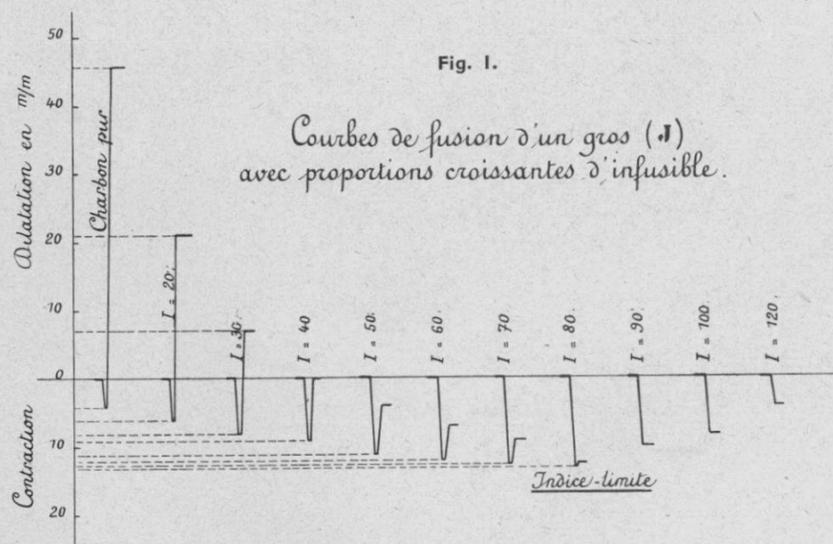


Fig. 1.

Courbes de fusion d'un gros (J) avec proportions croissantes d'infusible.

pour un charbon du type J (v. Annexe, liste et caractéristiques des charbons essayés). Pour l'éprouvette de charbon pur, la contraction est faible. Elle est rapidement arrêtée par le dégagement des matières volatiles et l'index remonte en accusant un gonflement important.

Si on recommence l'essai avec des proportions croissantes d'infusible, on constate que la contraction augmente et que le gonflement diminue. Avec 80 (en poids) d'infusible, la contraction est maximum et le gonflement inférieur à 1 mm. C'est le point d'indice-limite : $\lambda = 80$. Au delà, la contraction diminue, le gonflement restant toujours nul.

La figure 2 montre pour trois houilles différentes (A, C, L., v. Annexe) la manière dont l'indice d'agglutination varie avec la vitesse de

chauffe. On y voit comment les indices-limites λ obtenus par chauffe brusquée à 550° se situent par rapport aux indices d'agglutination obtenus avec des vitesses de chauffe allant jusqu'à 25° par minute.

Signalons que nous avons, dans tous les cas, utilisé comme infusible de l'antracite du Pays de Galles (M. V. 7,5 %, cendres 2,6 %).

Quelques détails sur notre appareillage :

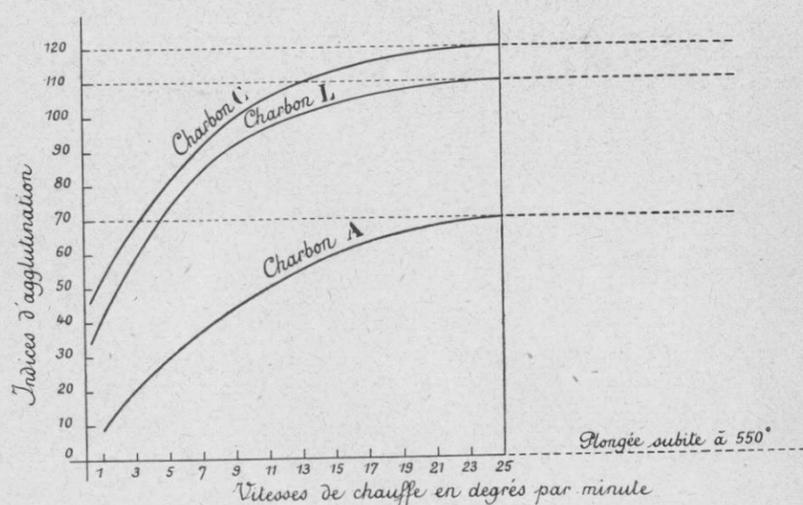
Nous avons été conduits à apporter quelques modifications au dilatomètre dont le réseau P. O.-Midi avait fait l'acquisition au début, appareil qui ne pouvait convenir, étant données les vitesses rapides de chauffe que nous voulions obtenir et les températures élevées

que nous devons maintenir pendant un temps assez long.

L'appareil que nous avons construit à l'atelier de notre Service est à peu près identique à celui

Fig. 2.

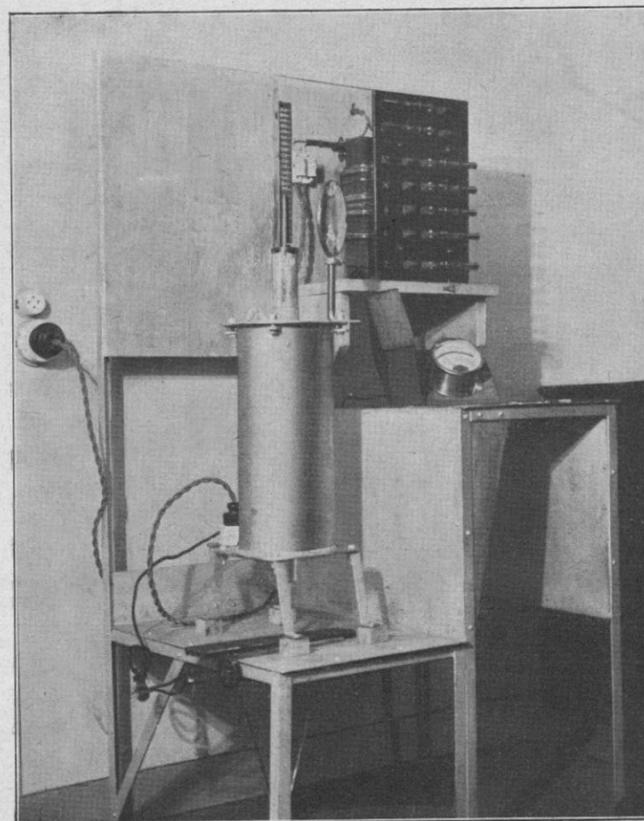
Courbes des indices d'agglutination en fonction des vitesses de chauffe, en degrés-minute.



de la station d'essais du Comité Central des Houillères de France à Montluçon, qui a bien voulu nous initier à son fonctionnement. Nous sommes heureux d'adresser ici nos vifs remerciements à M. Cheradame, Directeur de la station d'essais, qui a mis son laboratoire à notre disposition dans ce but.

Nous donnons, fig. 3 bis, une photographie de l'ensemble de notre appareillage, qui nous a donné jusqu'ici entière satisfaction.

Fig. 3 bis. — Ensemble de l'appareillage.



Sur un bâti en tôle, nous avons réuni le four et ses accessoires (tube dilatomètre simple ou duplex, loupe réglable pour bien saisir le léger déplacement du piston lors de la détermination de λ).

Sur la table, qui peut être utilisée pour noter les résultats observés, est placé l'ampèremètre du couple thermo-électrique indiquant les températures et sur le panneau vertical est fixé le transformateur à prises multiples permettant de faire varier la tension d'alimentation de 2 en 2

volts jusqu'à 220 volts. Une lampe montée sur flexible règle l'éclairage de l'ensemble qui peut être déplacé facilement.

III. — Résultats obtenus. — Le lecteur trouvera en annexe une liste des charbons essayés, avec indication de leur teneur en cendres et de leur teneur en matières volatiles sur charbon pur.

Les indices-limites y figurent.

On s'aperçoit immédiatement de leur grande dispersion, qui traduit la sensibilité de la méthode.

On vérifie également que les charbons à haute teneur en matières volatiles n'ont pas nécessairement un indice élevé.

Le tableau qui fait l'objet de l'annexe est à vrai dire une sélection. Nous nous sommes bornés à des qualités couramment utilisées par les réseaux et présentant toutes un indice-limite positif. Les qualités à indice-limite négatif se rencontrent aux deux extrémités de la gamme des charbons (houilles maigres et houilles sèches à longue flamme).

Pour les charbons maigres, le fait est bien connu : nous avons d'ailleurs indiqué plus haut qu'ils peuvent servir d'infusibles et que leur action se traduit par la diminution du gonflement.

Pour les charbons secs à longue flamme, nous pouvons citer l'expérience suivante : un tel charbon titrant 41,5 % de matières volatiles sur charbon pur a été mélangé, en parties égales, respectivement à trois charbons ($\lambda = 110, 90, 80$) titrant en matières volatiles, cendres déduites : 24,7 %, 30 %, 41 %. Les trois indices obtenus par mélange sont respectivement 20, 10, 5.

Une construction dans le plan (v, λ) où v est la teneur en matières volatiles, nous donne

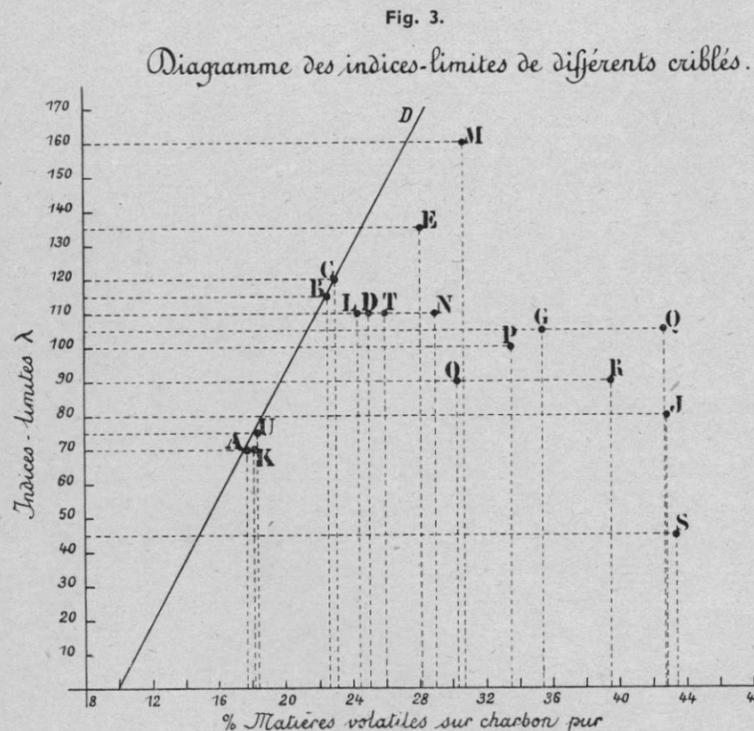
en joignant les points représentatifs des trois charbons et des trois mélanges, 3 droites concourantes sur l'ordonnée $v = 41,5$ ce qui permet d'affecter l'indice négatif $\lambda = -70$ au charbon sec à longue flamme essayé. Tout se passe comme si ce dernier charbon jouait purement et simplement le rôle d'un infusible diminuant proportionnellement l'indice du charbon auquel on le mélange.

La figure 3 donne le diagramme des indices-limites dans un plan de coordonnées (v, λ) où v

est la teneur en matières volatiles sur charbon pur. Il est remarquable que tous les points obtenus sont d'un seul côté d'une droite (D) au voisinage

de λ est positif. En règle générale, les charbons maigres dont λ est négatif ne peuvent, d'ailleurs, être utilisés seuls dans les foyers de locomotives. Une série d'essais de laboratoire sur des mélanges permettrait de définir leur λ , les seuls mélanges intéressants dans la pratique, comme l'avait déjà souligné M. Dugas, étant ceux dans lesquels un lien cokéfiant permet d'obtenir un λ nettement positif.

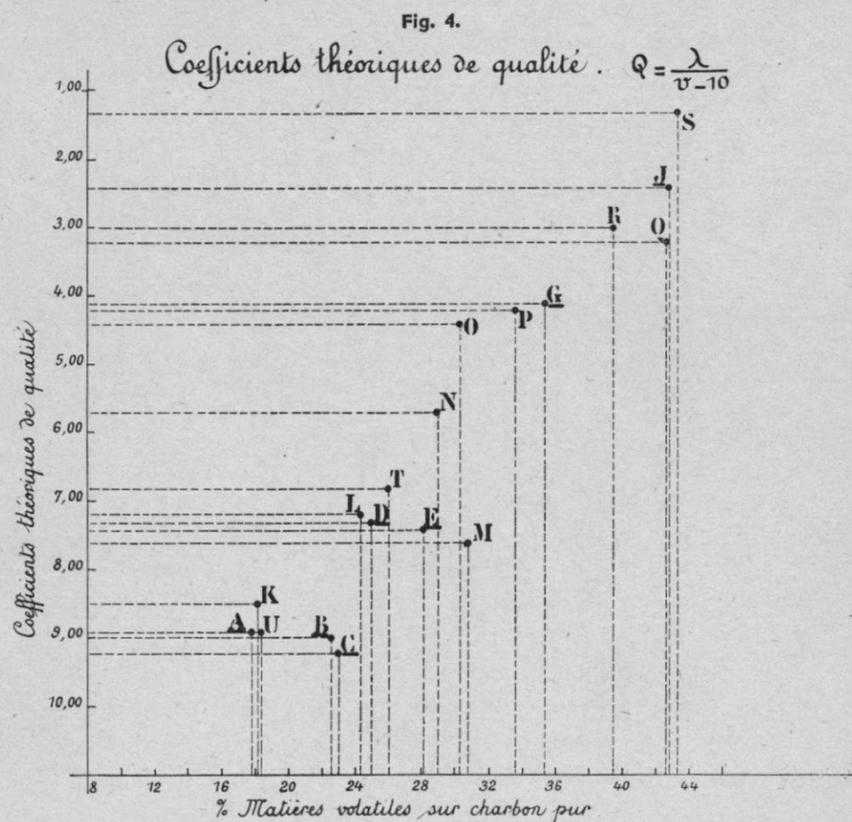
Nous laissons ainsi de côté les charbons secs à longue flamme, qui peuvent être utilisés seuls dans les foyers de locomotives. Il est bien connu d'ailleurs que ces charbons donnent un rendement déplorable de la calorie. M. Dugas a montré qu'un tel charbon, titrant 38,2 % de matières volatiles sur charbon pur et utilisé sous forme de criblé,



immédiat de laquelle nous avons cinq points expérimentaux. Ces cinq points représentent des charbons 3/4 gras, bien connus pratiquement pour être par excellence des charbons de choix.

Nous avons essayé de traduire cette circonstance en caractérisant chaque charbon d'indice limite positif par le rapport $\frac{\lambda}{v-10}$

Ces rapports figurent également dans le tableau annexé à la présente note : nous les appellerons coefficients théoriques de qualité. Cette notion ne peut avoir de sens que pour les charbons dont l'in-

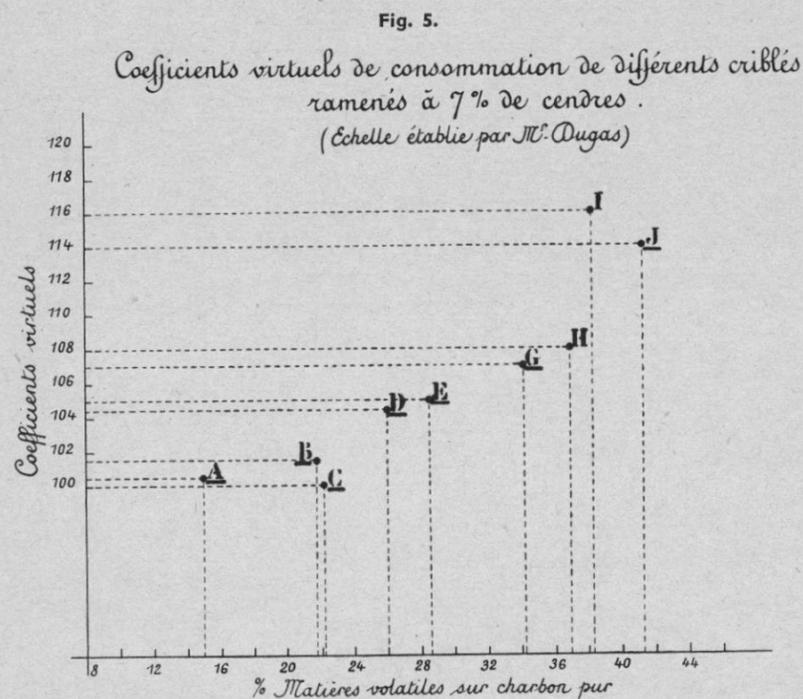


c'est-à-dire sous la forme la plus favorable, donnait un rendement pratique de la calorie inférieur de 10 % à celui des charbons 3/4 gras et de 6 % à celui des charbons flambants gras.

La figure 4 donne, pour les charbons énumérés dans l'annexe, les coefficients théoriques de qualité

$$\frac{\lambda}{v-10}$$

La figure 5 reproduit les coefficients virtuels de consommation obtenus par M. Dugas, dans



l'étude citée dans l'introduction à la présente note. Il s'agit des coefficients de consommation virtuels à 7 % de cendres d'un certain nombre de charbons à l'état de criblés (1).

Les charbons de même origine sont soulignés sur les deux diagrammes : la corrélation entre les deux échelles, celle des coefficients $\frac{\lambda}{v-10}$ obtenus au laboratoire et celle des coefficients de consommation obtenus aux essais pratiques, est très nette : ceci doit donner une certaine confiance dans l'emploi de la méthode dilato-

(1) Pour la définition précise de ces coefficients, le lecteur est prié de se reporter à la note de M. Dugas (loc. cit.).

métrique, telle que nous l'avons adaptée au problème posé. Il va de soi qu'un réseau plus important d'expériences reste désirable, mais la corrélation entre la valeur d'usage d'un charbon en matière de traction et son aptitude à la cokéfaction par chauffe brusquée nous paraît, dès maintenant, nettement établie.

IV. — Étude du vieillissement par stockage. — Le vieillissement des charbons par stockage est un fait bien connu. De nombreuses expériences

faites au P.-O.-Midi ont montré que le pouvoir calorifique n'était pas sensiblement diminué par stockage. Les anomalies constatées dans les chiffres de consommation, lors de la reprise de tas ayant supporté un stockage prolongé, ne peuvent donc s'expliquer que par la modification d'une autre caractéristique et il est naturel de songer au pouvoir cokéfiant.

Nous nous bornerons, sur ce point, à citer l'expérience suivante :

Nous sommes partis de deux charbons menus que nous désignons ici par X et Y et dont voici les caractéristiques :

Charbons	Matières volatiles sur charbon pur	Cendres	Indice-limite à l'état frais
X	23,6 %	12,25 %	40
Y	41,6 %	14,3 %	50

Au bout de quelques jours de stockage à l'air libre, le pouvoir cokéfiant du menu X n'a subi aucune diminution appréciable, alors que le menu Y, qui gonflait nettement à la vitesse de chauffe de 2° par minute, ne boursoffle plus du tout.

Après sept mois de stockage, l'indice-limite du menu X tombe à 30, soit une diminution de 25 % alors que l'indice-limite du menu Y tombe à 10, soit une diminution de 80 %. Leurs coefficients de qualité théorique se sont inversés.

Cet exemple montre que, dans les mêmes conditions atmosphériques, le vieillissement est un phénomène subjectif à chaque charbon : d'où la nécessité d'une quantité d'expériences pour connaître, à cet égard, les propriétés des divers charbons. Cet exemple recoupe les constatations faites par M. A. Chapelon (étude citée dans l'introduction à la présente Note) : il est illusoire de comparer des essais dynamométriques effectués avec le même charbon à l'état frais ou « vieilli », c'est-à-dire considérablement diminué dans son pouvoir cokéfiant.

Conclusions. — Comme M. Dugas, qui a été l'instigateur de nos travaux, nous pensons qu'il doit être possible « à la faveur d'un réseau suffisamment serré d'essais pratiques, appuyé par l'étude approfondie des caractéristiques de labo-

ratoire, de se rendre compte, à priori, de l'ordre de grandeur du coefficient de consommation d'un charbon ».

Dans cette recherche, l'indice-limite de cokéfaction par chauffe brusquée est appelé à jouer un rôle essentiel. Il permet de différencier des charbons dont les analyses classiques donneraient des résultats très voisins, d'apprécier l'intérêt d'un mélange, d'étudier le vieillissement par stockage.

Les études dont nous avons rendu compte sont encore fragmentaires et il reste beaucoup à faire : mais les premiers résultats obtenus nous ont semblé suffisamment encourageants pour être mentionnés ici. Nous espérons que la méthode dilatométrique, convenablement adaptée au problème particulier du chemin de fer, prendra droit de cité dans les laboratoires des réseaux.

Annexe

Désignation des charbons essayés	Cendres %	Matières volatiles % sur charbon pur	Indices limites λ	Coefficients théoriques de qualité Q
A	5,51	17,8	70	8,9
K	5,87	18,2	70	8,5
U	3,25	18,4	75	8,9
B	5,58	22,6	115	9,0
C	4,10	23,0	120	9,2
L	5,13	24,3	110	7,2
D	4,08	25,0	110	7,3
T	3,20	26,0	110	6,8
E	4,20	28,1	135	7,4
N	9,80	29,0	110	5,7
O	20,35	30,3	90	4,4
M	5,05	30,8	160	7,6
P	12,30	33,6	100	4,2
G	4,64	35,4	105	4,1
R	6,40	39,5	90	3,0
Q	11,02	42,7	105	3,2
J	13,23	42,8	80	2,4
S	18,10	43,4	45	1,3