

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- Le Conservatoire numérique communément appelé le Cnum constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - https://cnum.cnam.fr](https://cnum.cnam.fr))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment possible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

Auteur(s)	Cellerier, F. (18..-19..)
Auteur(s) secondaire(s)	Laboratoire d'essais mécaniques physiques chimiques et de machines du Conservatoire national des Arts et Métiers
Titre	Résumé des travaux sur la fabrication des briques de silice
Adresse	Paris : Imprimerie militaire Chapelot, 1918
Collation	1 vol. (104 p.-4 p. de pl. depl. -XXIV p. de pl.) : ill. ; 24 cm
Nombre de vues	130
Cote	CNAM-BIB 8 Ku 108 (9)
Sujet(s)	Briques -- Procédés de fabrication Silice
Thématique(s)	Histoire du Cnam Matériaux
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	10/04/2025
Date de génération du PDF	10/04/2025
Notice complète	https://www.sudoc.fr/097190136
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8KU108.9

Ku
108

8-Ku 108

MINISTÈRE DE L'ARMEMENT ET DES FABRICATIONS DE GUERRE
Direction des Inventions, Études et Expériences techniques

Mission d'Essais, Vérifications et Expériences techniques

LABORATOIRE D'ESSAIS

DU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS



RÉSUMÉ DES TRAVAUX

SUR LA

FABRICATION DES BRIQUES DE SILICE

PAR LE COMMANDANT F. CELLERIER

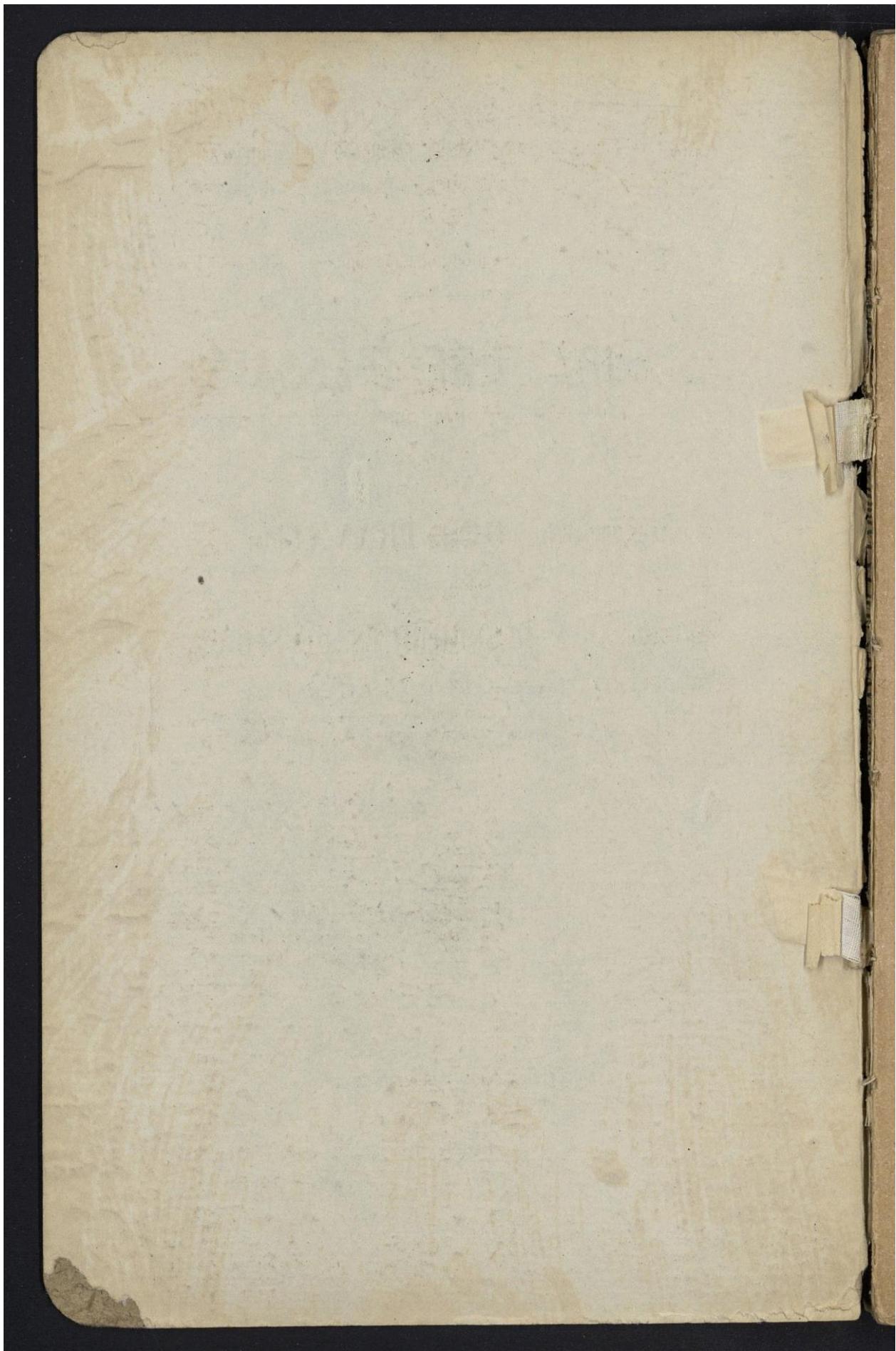
Président de la Commission des Produits Céramiques et Réfractaires
Directeur du Laboratoire d'Essais du Conservatoire National
des Arts et Métiers



PARIS
LIBRAIRIE MILITAIRE CHAPELOT

MARC IMHAUS & RENÉ CHAPELOT, ÉDITEURS
136, Boulevard Saint-Germain, VI^e (Même Maison à Nancy)

1918



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires

MINISTÈRE DE L'ARMEMENT ET DES FABRICATIONS DE GUERRE
Direction des Inventions, Études et Expériences techniques

Mission d'Essais, Vérifications et Expériences techniques

LABORATOIRE D'ESSAIS

DU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

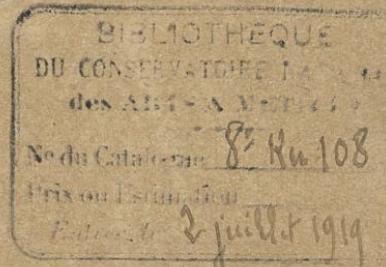
RÉSUMÉ DES TRAVAUX

SUR LA

FABRICATION DES BRIQUES DE SILICE

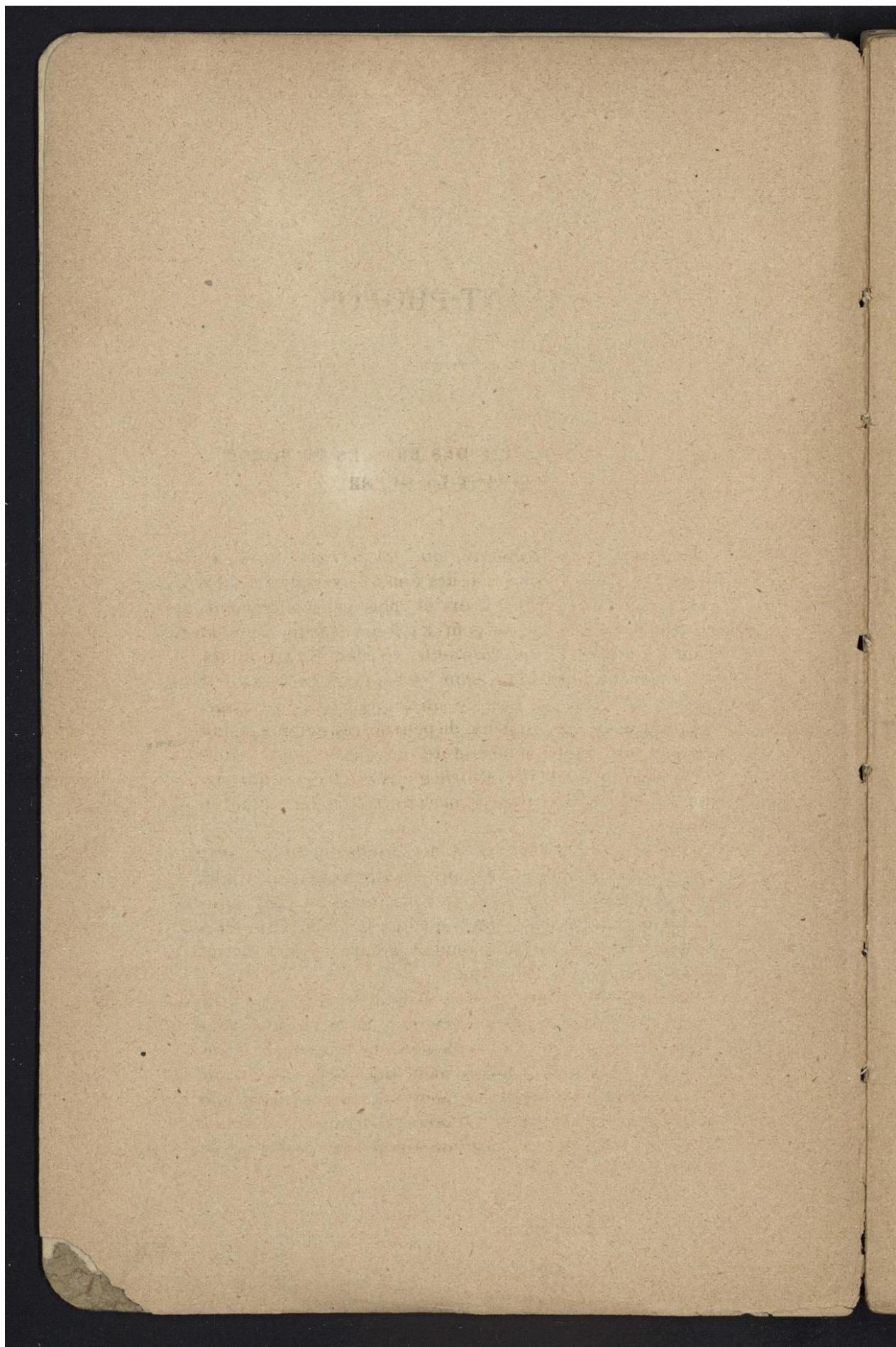
PAR LE COMMANDANT F. CELLERIER

Président de la Commission des Produits Céramiques et Réfractaires
Directeur du Laboratoire d'Essais du Conservatoire National
des Arts et Métiers



IMPRIMERIE CHAPELOT
PARIS - NANCY

1918



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires

AVANT-PROPOS

A. — L'INDUSTRIE DES BRIQUES DE SILICE PENDANT LA GUERRE

Rappelons, pour mémoire, que les briques de silice sont utilisées pour la construction des fours de verrerie, des fours à coke, de certains récupérateurs et, plus particulièrement, par les usines métallurgiques pour les fours Martin. Ce sont des briques « acides » et qui, par suite, résistent à l'action des scories acides. En particulier, pour les voûtes et brûleurs de fours Martin, les bonnes briques de silice présentent l'avantage, sur les produits silico-alumineux, de pouvoir résister aux conditions d'emploi aux hautes températures auxquelles sont soumis ces fours, sans éprouver des déformations et attaques qui seraient susceptibles de déformer les maçonneries et, par suite, de les détruire.

L'industrie de la fabrication des briques de silice, avant la guerre, s'était surtout développée en Allemagne, en Angleterre et en Amérique. En France, la consommation était annuellement d'environ 37.000 tonnes; quant à la production, elle était presque nulle, ce qui nous rendait tributaires de l'étranger et particulièrement des Allemands.

Aussi, quelques mois après le commencement des hostilités, et bien que l'Angleterre et l'Amérique aient pu nous approvisionner quelque peu, non seulement les briques de silice faisaient défaut dans nos usines métallurgiques, mais encore les connaissances indispensables pour leur bonne fabrication y étaient presque totalement ignorées. Par suite de l'intensification de la production de l'acier nécessaire aux besoins impérieux

de la guerre, il devenait indispensable de pouvoir fabriquer sans retard les 57.000 tonnes annuelles de briques de silice qu'exigeaient alors les aciéries, afin d'éviter une crise grave de conséquences.

Malgré les difficultés que présentait pour eux cette nouvelle fabrication, les industriels français se mirent aussitôt résolument à l'œuvre. Non seulement on ne possédait qu'une documentation insuffisante sur la technique et la pratique de cette fabrication, mais surtout l'étude préalable des matières premières n'était connue en France que par des mémoires scientifiques très intéressants, mais portant uniquement sur des points spéciaux, et non d'après un programme d'ensemble comportant des recherches méthodiques sur les roches de notre sous-sol en vue de leur utilisation. Enfin, si l'empirisme n'avait pas eu encore l'occasion de présider aux opérations, par contre, des principes basés sur des présomptions, sur des expériences très particulières, servirent de base, dès le début, aux choix des matières premières, des fours, des modes opératoires, etc.

Les fournitures ayant donné lieu à des déboires, le Ministre de l'Armement, après une enquête préalable dans les usines, faite par M. le professeur Léon Bertrand, chargeait, en 1917, la Commission des Produits Céramiques et Réfractaires, présidée par le commandant Cellerier, d'examiner la question des briques de silice, en vue de coordonner les efforts tentés de divers côtés pour améliorer sans retard une fabrication de première nécessité.

Les intéressés furent aussitôt invités à se grouper pour faciliter, d'une part, la répartition des commandes des divers Services de la Défense nationale centralisées au Ministère de l'Armement et, d'autre part, la coopération des études que nécessitait la mise au point de la fabrication.

C'est dans ces conditions que se fonda le Comptoir des Fabricants de Produits de silice, Comptoir qui réunit rapidement la plupart des fabricants et dont le concours a été particulièrement précieux à la Commission des Produits Céramiques et Réfractaires du Ministère de l'Armement.

Cette Commission comprenait :

Commandant CELLERIER, directeur du Laboratoire d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers, *président*;

M. Léon BERTRAND, professeur à la Faculté des Sciences de Paris;

M. LANQUINE, chef des Travaux de géologie à la Faculté des Sciences de Paris ;

Capitaine BARADUC-MULLER, chef du Service des Produits Métallurgiques au Ministère de l'Armement;

Capitaine Fernand WATTEBLEED, chef du Service des Produits Céramiques et Réfractaires au Ministère de l'Armement;

Lieutenant JORDAN, chef du Service des Fontes au Ministère de l'Armement.

En outre, la Commission s'est adjoint :

Lieutenant DE REYTERE, Ministère du Travail et de l'Industrie du Gouvernement belge ;

M. BIGOT, docteur ès sciences, ingénieur céramiste;

Capitaine BODIN, chef de la Section des Matériaux de Construction du Laboratoire d'Essais;

M. GRIFFITHS, chef de la Section de Chimie du Laboratoire d'Essais.

La Commission, s'inspirant des études connues à ce jour, et notamment de celles de M. H. Le Chatelier, s'est mise en liaison avec les intéressés, en particulier avec le Comptoir des Fabricants de Produits de silice. Elle a établi un programme d'ensemble portant sur l'étude des méthodes d'essais et la technologie des matières premières et des produits fabriqués, en cherchant à élucider l'influence des divers facteurs qui interviennent d'une façon si complexe sur la bonne qualité de la fabrication.

Le Laboratoire d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers, organe expérimental de la Mission d'Essais, Vérifications et Expériences Techniques, fut chargé de procéder aux diverses recherches qu'il nécessitait le programme de la Commission.

Pour la réalisation de ces études, nous avons pensé qu'il était nécessaire de faire appel non seulement aux moyens d'investi-

gation scientifique de laboratoire les plus minutieux, mais encore aux procédés d'expériences semi-industrielles se rapprochant autant que possible des conditions d'emploi des produits.

Dans ce double but, une place à part a été réservée aux examens pétrographiques et à la recherche des caractères géologiques des roches. Une section nouvelle, dite « Section de Pétrographie), fut, en conséquence, créée spécialement au Laboratoire. M. le professeur Léon Bertrand en prit la direction, assisté de M. Lanquine. Les résultats obtenus ont bientôt démontré le précieux concours que pouvaient apporter les examens pétrographiques pour l'avenir de la fabrication française des briques de silice. M. Bigot, bien connu par ses travaux, et le capitaine Bodin, ont été chargés des recherches qu'exigeaient les essais physiques et mécaniques et ont pu obtenir des résultats nouveaux très intéressants, en utilisant un dispositif d'essais à haute température du capitaine Bodin, un four semi-industriel Bigot-Bodin édifié au Laboratoire, et par l'emploi de méthodes expérimentales rationnelles spécialement étudiées par le capitaine Bodin. Enfin, M. Griffiths, apportant des modifications heureuses aux procédés chimiques habituels, a effectué les analyses, le plus souvent très délicates, des divers produits.

Le rapprochement et la coordination des divers résultats ainsi obtenus au moment de l'armistice par ces distingués collaborateurs et de ceux obtenus par les divers chercheurs, permettent, dès maintenant, de dégager quelques conclusions qui, si elles ne terminent pas encore la question particulièrement complexe de la technique des produits de silice, contribueront, nous en avons le ferme espoir, à guider nos industriels et à les inciter à apporter de nouveaux progrès dans leurs fabrications.

La réalisation complète de telles études eût, en effet, nécessité de consacrer tout le temps désirable et aussi d'avoir à sa disposition un personnel technique en nombre suffisant. En raison des circonstances de la guerre, de l'urgence à apporter des améliorations, il a fallu limiter les travaux et ne procéder qu'à un nombre relativement restreint d'expériences. C'est ainsi que la recherche systématique des meilleurs gisements des roches pouvant servir de matières premières, existant en France, serait encore à entreprendre. Il est à souhaiter que des dispositions soient prises en conséquence après la guerre. Il

eût été également désirable de pouvoir recueillir dans les aciéries des renseignements précis sur l'emploi comparé et méthodique des divers échantillons de briques utilisés ; malheureusement, la nécessité de sacrifier à la surproduction rendait souvent difficiles, dans les usines métallurgiques, des observations continues ou des expériences spéciales de longue durée.

Dans ces derniers temps, de réels progrès ont été réalisés par certaines usines. Si toutes celles qui se sont créées en France à l'occasion de la guerre se décident résolument à faire appel aux procédés des méthodes scientifiques, à organiser à côté de leur fabrication des laboratoires appropriés, à suivre et contrôler avec soin toutes les phases des opérations, on peut prévoir qu'en un temps relativement court se sera établie une nouvelle industrie nationale pouvant produire couramment et à des prix raisonnables des briques de silice de première qualité, et suffire à tous les besoins du pays, sans avoir recours à l'étranger.

B. — TRANSFORMATIONS ALLOTROPIQUES DE LA SILICE

Pour faciliter l'étude des phénomènes complexes qui se passent soit au cours de la fabrication des briques de silice, soit pendant leur emploi, nous résumons ci-après les connaissances que l'on possède sur les états allotropiques de la silice (1).

La silice anhydre existe sous différents états allotropiques distincts, facilement transformables l'un dans l'autre, de part et d'autre d'un point de transformation reversible. La température à laquelle ces variétés se transforment sont :

Quartz.....	570° C.
Cristobalite.....	225° C.
Tridymite.....	150° C.

(1) H. LE CHATELIER. L'état actuel de la fabrication des briques de silice. — Sur la cristobalite. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences.*)

H. LE CHATELIER et BOGITCH. Sur les propriétés réfractaires de la silice; la fabrication des briques de silice. (*Société de l'Industrie Minérale.*)

SPOTTS MAC DOWELL. Silices réfractaires. (*Bulletin of the American Institut of Mining Engineers*, novembre 1906.)

Quand on soumet le quartz à l'action de la chaleur, la transformation à température montante est toujours accompagnée d'une augmentation brusque des dimensions linéaires.

Les transformations des quatre variétés : quartz, cristobalite, tridymite et verre, l'une dans l'autre sont possibles, mais difficiles à réaliser. Il faut pour cela un traitement thermique approprié.

La transformation en tridymite exige la présence d'un fondant. La cristobalite se forme même en l'absence de tout fondant. (« Silice réfractaire », par Spotts Mac Dowell.)

D'après les expériences de Day et Fenner au Geophysical Laboratory de Washington, on trouve les transformations suivantes :

A 870° C ± 10 , transformation du quartz en tridymite (réversible);

A 1.470° C ± 10 , transformation de la tridymite en cristobalite (réversible);

A 575° C, transformation du quartz α en quartz β ;

570° C — du quartz β en quartz α ;

117° C — de la tridymite α en tridymite β_1 ;

163° C — de la tridymite β_1 en tridymite β_2 ;

$274^{\circ},6 - 219^{\circ},7$ C, transformation de la cristobalite α en cristobalite β ;

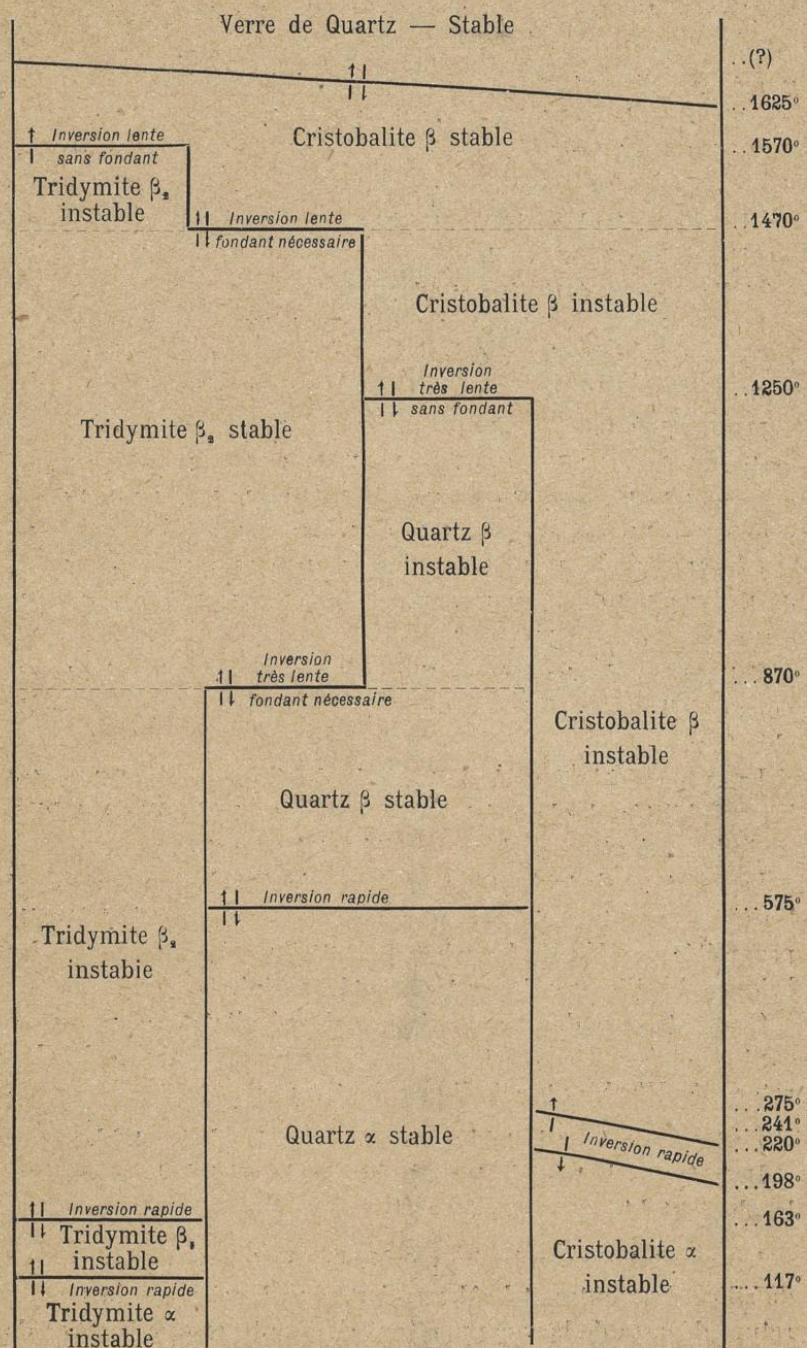
$240^{\circ},5 - 198^{\circ},1$ C, transformation de la cristobalite β en cristobalite α .

A la température ordinaire, chaque minéral n'existe que dans la phase α , mais change en β quand la température monte.

La transformation est toujours lente à se produire. Il ne se produit jamais de transformation du quartz en dessous de 800° C et même, à cause de résistances passives exceptionnelles, le quartz peut ne pas subir de transformation à des températures bien au-dessus de 800° C.

En présence d'un fondant, quand le quartz est chauffé un temps suffisamment long, il se transforme vers 870° en tridymite. A partir de 1.470° , la tridymite se transforme en cristobalite.

Chauffé sans fondant, le quartz se transforme vers 1.250° directement en cristobalite. La tridymite est transformée en cristobalite, sans fondant, à une température de 1.570° .



Relations de stabilité des diverses formes de silice, d'après FENNER.

D'après M. H. Le Chatelier, aux hautes températures en présence d'un dissolvant, de silicates fondus, par exemple, le quartz se dissout, mais avec une solubilité beaucoup plus grande que la cristobalite et la tridymite. Le quartz donne des solutions sursaturées qui laissent bientôt cristalliser l'une des variétés plus stables : cristobalite ou tridymite. La masse fondue n'étant plus alors saturée par rapport au quartz, peut en dissoudre de nouvelles quantités pour laisser de nouveau cristalliser la variété plus stable.

De proche en proche, la totalité du quartz recristallise ainsi pour arriver finalement à être remplacée par la variété la plus stable aux températures élevées, qui serait la tridymite.

M. Le Chatelier signale que, dans les briques de silice, pour arriver à la cristallisation finale de la tridymite, il faut une cuisson très longue. En pratique, il reste de la cristobalite en proportion bien supérieure à la tridymite, ainsi que du quartz.

Le mécanisme de la formation de la tridymite aux dépens de la cristobalite serait le même que celui de la formation de cette dernière aux dépens du quartz.

Cette seconde transformation est beaucoup plus lente et, pour qu'elle se produise complètement, il faut des semaines de chauffage.

La cause réside dans le fait que la différence qui existe entre les solubilités de la cristobalite et de la tridymite est bien moindre qu'entre ces deux variétés et le quartz.

Les cristaux de tridymite formés par la dissolution se soudent les uns aux autres et forment un réseau continu. C'est à cette propriété que M. H. Le Chatelier attribue la supériorité des briques de silice sur les autres matériaux réfractaires.

On se trouve donc en présence de résultats en apparence contradictoires. Ceux obtenus par Fenner au Geophysical Laboratory de Washington indiqueraient que :

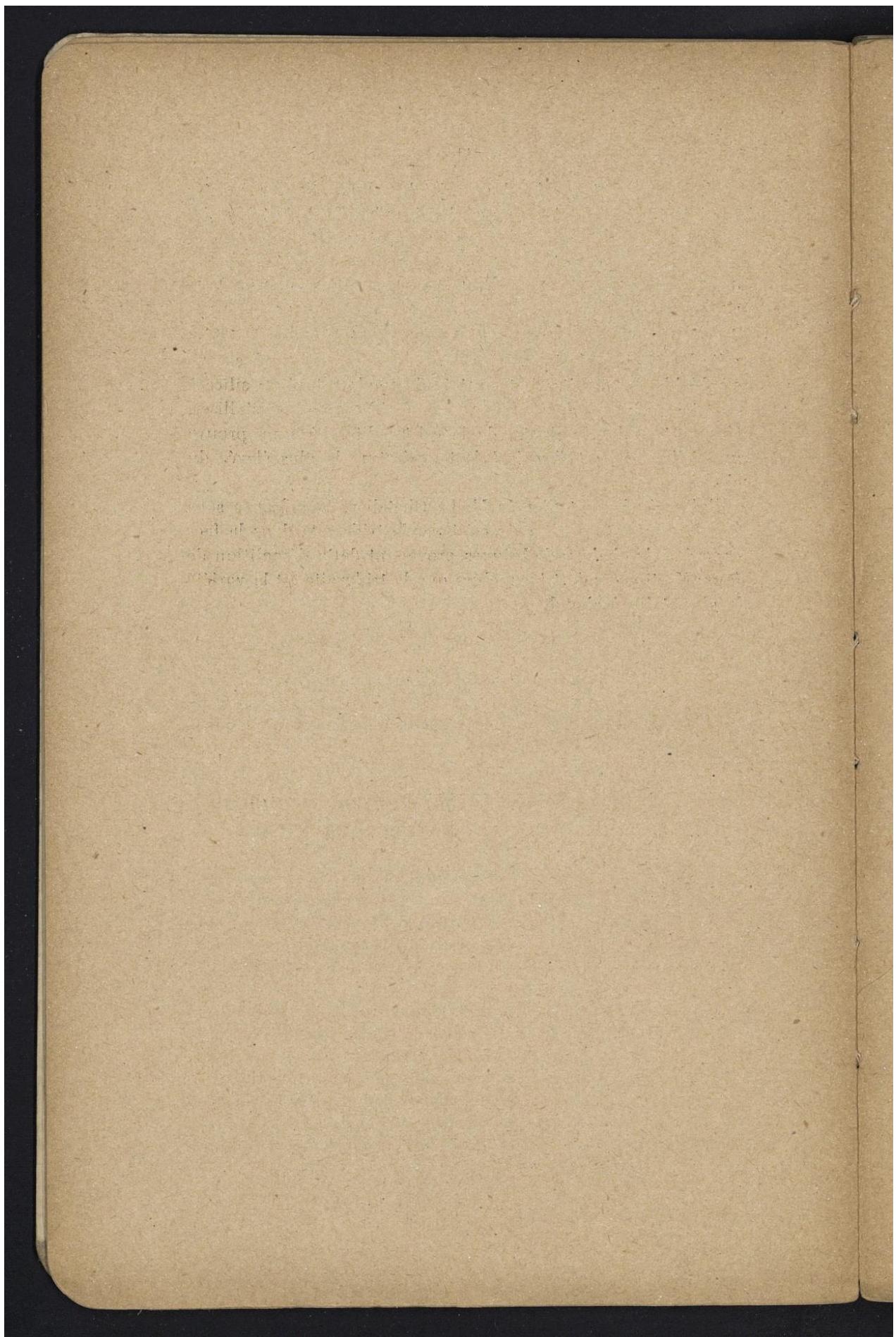
De 870° à 1.470° la tridymite constitue la phase stable;

De 1.470° à la température de fusion, la cristobalite constitue la phase stable.

Les constatations relevées par M. Le Chatelier sur les briques de silice des voûtes et brûleurs des fours à acier, où la température dépasse de beaucoup 1.470° C, montrent que la silice de ces briques se transforme intégralement en tridymite.

M. H. Le Chatelier fait à ce sujet les observations suivantes sur les résultats de Fenner : ce dernier chauffe de la tridymite ou de la cristobalite en présence du tungstate de soude et note, au refroidissement, l'apparition de l'une ou l'autre des variétés de silice. Or, à 1.500° C, on voit, dans le cas du chauffage de la tridymite en présence du fondant, se former une petite quantité de cristobalite, d'où l'on conclut à la non stabilité de la tridymite à cette température. Mais il y a une explication plus vraisemblable de ce fait : le tungstate de soude saturé de silice à une température élevée laisse au refroidissement cristalliser, comme tous les fondants, de la cristobalite. Rien ne prouve que celle-ci se soit formée à la température la plus élevée du chauffage.

Enfin, également d'après M. Le Chatelier, la présence sans jamais d'exception, de gros cristaux de tridymite dans la face exposée à la chaleur de briques provenant de la démolition de fours Martin, conduit à conclure que la tridymite est la variété la plus stable à chaud.



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires

CHAPITRE PREMIER

MATIÈRES PREMIÈRES

RÉSUMÉ des TRAVAUX du LABORATOIRE D'ESSAIS du Conservatoire National des Arts et Métiers

Des séries méthodiques de recherches ont été entreprises par le Laboratoire d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers, au cours de l'année 1918, sur des variétés de roches siliceuses, en vue de leur emploi éventuel pour la fabrication des briques de silice.

Ces recherches ont porté sur :

Etude des caractères pétrographiques et géologiques ;

Analyses chimiques ;

Essais physiques et mécaniques.

Les modes opératoires sont ceux décrits dans un chapitre spécial (chapitre III).

A. — ÉTUDE DES CARACTÈRES PÉTROGRAPHIQUES ET GÉOLOGIQUES DES MATIÈRES PREMIÈRES

L'étude des matières premières propres à la fabrication des briques de silice avait fait l'objet, en Allemagne, de recherches très importantes sur les divers gisements de roches siliceuses et sur les caractères pétrographiques de ces roches; les Allemands lui attribuaient, en grande partie, le succès qu'avaient leurs briques dans les divers pays.

En France, de nombreux savants et industriels ont envisagé cette importante question sous divers points de vue un peu spéciaux, mais des études méthodiques d'ensemble n'avaient pas été entreprises jusque dans ces derniers temps. Bien plus, on semblait considérer les études pétrographiques des roches comme devant rester l'apanage de savants spécialistes et avoir une tendance à s'en passer. Et, pourtant, il est hors de doute aujourd'hui, chez les fabricants eux-mêmes,

qu'une grande partie de leurs insuccès tiennent à la méconnaissance de la structure intime des matières premières. D'autre part, le rapprochement des résultats obtenus au Laboratoire d'Essais, dans les études pétrographiques et les essais physiques et chimiques, confirment les prévisions de ces études pour l'emploi des matières premières.

Nous sommes d'avis qu'il y a lieu d'encourager la vulgarisation des méthodes optiques et de les rendre courantes dans les laboratoires d'usines.

Dans cet ordre d'idées, la Commission a prié M. Léon Bertrand d'établir un *Exposé pratique des Méthodes optiques pour l'Etude microscopique des Roches* (1), méthodes qui ont été appliquées au Laboratoire d'Essais pour les travaux faisant l'objet de la présente étude.

D'autre part, MM. Léon Bertrand et A. Lanquine donnent ainsi qu'il suit le résumé de leurs recherches sur les « Caractères pétrographiques et géologiques des Matières premières propres à la fabrication des Briques de silice » :

Ainsi qu'il résulte de toutes les études, les roches destinées à la fabrication des briques de silice doivent, chimiquement, être constituées presque exclusivement par de la *SiO₂ anhydre*. Celle-ci se présente généralement à l'état de *quartz*, plus rarement de *calcédoine*.

Les diverses roches rencontrées dans la nature qui répondent à cette condition contiennent d'ailleurs presque toujours, en proportions plus ou moins abondantes, certains minéraux accessoires (paillettes micacées, argile, etc.) qui introduisent d'autres éléments chimiques (Al^2O^3 , Fe^2O^3 , CaO , MgO , alcalis), jouant le rôle d'*impuretés* à l'égard de la silice. La présence d'une *faible* proportion de ces impuretés, loin d'être un inconvénient pour la fabrication en question, lui est d'ailleurs favorable. Elles peuvent se combiner, à la cuisson, avec une petite partie de la silice finement pulvérisée, en servant ainsi de *fondants* et facilitant l'agglomération, si la proportion n'en est pas trop grande pour accroître la fusibilité des briques d'une façon fâcheuse.

Du quartz à peu près chimiquement pur (98 à 100 % de SiO^2) ne semble pas, en effet, permettre la fabrication de bonnes briques de silice, tout au moins avec les techniques actuelles. Mais le *total* de ces diverses impuretés doit rester très faible et ne pas dépasser quelques centièmes du poids de la roche siliceuse (5 % environ) ; en ce qui

(1) Ministère de l'Armement et des Fabrications de Guerre. Laboratoire d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers (1918).

concerne les alcalis, en particulier, dont le rôle fondant est très marqué, on n'en peut tolérer que quelques millièmes au maximum. Il y a, d'autre part, avantage à ce que la *structure de la roche* soit telle que ces impuretés s'y présentent naturellement *disséminées*, d'une façon très fine et uniforme, au milieu du quartz. Sans cela, malgré les précautions prises au broyage et au malaxage et l'addition d'un peu de chaux, elles risquent de constituer dans la brique des nids trop fusibles, alors que, par contre, des parties quartzeuses étendues pourront rester dépourvues de ces impuretés agglomérantes (la chaux ne paraissant pas suffire, à elle seule).

Ces considérations, jointes à ce que nous connaissons des transformations allotropiques de la silice à la cuisson, vont nous diriger dans l'étude très sommaire, qui va suivre, des divers types de matières premières possibles.

I. — Roches formées fondamentalement de quartz

Le quartz susceptible d'être employé industriellement peut se rencontrer :

1° A l'état de filons ayant rempli des fentes de terrain ou de roches quelconques et cristallisé dans ces fentes (*quartz filonien*);

2° Sous forme de banes plus ou moins régulièrement intercalés au milieu des schistes cristallins, gneiss et micaschistes (*quartz des schistes cristallins*) ;

3° Dans les formations sédimentaires, à l'état remanié : le quartz provenant des précédents gisements ayant été transformé en un *sable quartzeux*, tantôt resté à son état originel et incohérent, tantôt cimenté de façon à donner un *grès*, qui, à son tour, a pu être plus ou moins transformé en un *quartzite* (*roches quartzeuses sédimentaires*).

1° QUARTZ FILONIENS. — Il est, *a priori*, naturel de s'adresser aux quartz filoniers; mais l'expérience a montré que ceux-ci ne donnent généralement pas de bons résultats, et cela s'explique facilement.

Le quartz s'y montre souvent à l'état de cristaux d'assez grande taille, tendant souvent à s'orienter et à prendre les formes cristallines propres au quartz (prismes hexagonaux terminés par des pyramides); ces cristaux, simplement accolés les uns aux autres, ont une tendance marquée à se disjoindre au chauffage, amenant ainsi une désagrégation de la matière première avant que se produise sa transformation allotropique. La photographie n° 1 (Pl. I) montre, en lumière polarisée entre nicols croisés, la structure de l'un de ces quartz filoniers.

Dans d'autres cas, la cristallisation du quartz s'étant faite d'une

façon plus confuse, les préparations microscopiques montrent de grandes plages à contours plus ou moins irréguliers et même engrenés. Mais l'orientation cristallographique reste la même dans toute l'étendue de chacune de ces grandes plages (microphotographie n° 2, Pl. I). Or, l'expérience montre qu'au chauffage, avant que commence à se produire le changement allotropique d'état cristallin (qui se traduit en lumière polarisée par la disparition de la biréfringence et des teintes de polarisation qui en sont la conséquence), ces plages de grande étendue commencent par se craqueler et se fendiller en tous sens. Dans ce cas encore, il y a donc désagrégation de la matière première avant sa transformation, d'où une diminution notable de sa résistance mécanique, même lorsqu'elle est englobée dans la pâte de la brique.

D'autre part, les quartz filoniens sont, d'ordinaire, trop purs chimiquement et, lorsqu'ils contiennent d'autres minéraux que le quartz, introduisant les impuretés désirables pour l'agglomération, ces minéraux s'y montrent en grands cristaux épars ou en véritables nids distribués çà et là dans le quartz, sans mélange intime avec celui-ci. C'est là, à ajouter à la précédente, une raison de plus pour faire rejeter généralement les quartz filoniens pour la fabrication des briques de silice.

La microphotographie n° 3 (Pl. II) montre un quartz filonien d'abord largement cristallisé en cristaux ayant tendance à prendre des formes définies, qui a été ensuite disloqué et cimenté par une seconde venue de quartz bien plus finement cristallisé. Certains quartz de cette origine ne montrent plus que cette structure finement microgranuleuse, indiquant une cristallisation rapide; seuls, ils méritent d'être expérimentés, si, en outre, leur analyse chimique montre qu'ils contiennent les impuretés désirables, celles-ci étant alors forcément disséminées d'une façon plus intime dans le quartz. Ces types se rapprochent d'ailleurs, comme structure, des quartzites et n'en sont que difficilement discernables au premier abord.

2^o QUARTZ DES SCHISTES CRISTALLINS (GNEISS ET MICA-SCHISTES). -- Dans les schistes cristallins et même parfois dans les granites qui se sont développés au milieu d'eux, à côté des quartz filoniens et souvent confondus avec eux (même sur les cartes géologiques), il existe d'autres quartz qu'une minutieuse étude du terrain montre avoir une origine différente. On sait que les schistes cristallins résultent d'une transformation, dite « métamorphique », d'anciens schistes sédimentaires. Ceux-ci pouvaient contenir originellement des bancs interstratifiés de grès siliceux, qui ont alors été transformés en véritables quartzites, comme nous le verrons plus loin; mais, souvent, il y a eu en outre une quartzification par une venue de quartz microcristallin.

tallin d'un type analogue à celui dont nous venons de parler. On a alors des roches mixtes, intermédiaires entre des quartzites et des quartz filoniens, dont les propriétés seront elles-mêmes intermédiaires. La microphotographie n° 4 (Pl. II) représente l'un de ces types, exploité dans diverses localités voisines sur les confins du Puy-de-Dôme et de la Loire (Chabreloche, Saint-Rémy-sur-Durole, etc.). Ces quartz seront généralement préférables aux quartz filoniens véritables pour la fabrication des briques de silice.

3° ROCHES QUARTZEUSES SÉDIMENTAIRES. — Parmi les couches sédimentaires normales, certains sables et grès quartzeux sont assez riches en SiO_2 pour pouvoir, chimiquement, être envisagés comme matière première, d'autant que les impuretés qu'ils peuvent renfermer sont alors disséminées dans toute la masse, entre les grains de sable quartzeux qui constituent le fond de la roche. Si la composition chimique est favorable, c'est-à-dire si ces impuretés sont en proportion convenable, il faut soigneusement envisager la structure de la roche, qui joue alors un rôle tout à fait capital.

a) *Sable quartzeux.* — L'emploi de sable quartzeux comme *unique* matière première pour les briques de silice de bonne qualité semble unanimement rejeté, en raison des difficultés d'agglomération des grains quartzeux, plus ou moins arrondis et polis au cours de leur transport et de leur formation, résultant de la destruction d'anciennes roches telles que les granites et les schistes cristallins. Avec les techniques actuelles de fabrication, un sable ne donne que des produits de qualité inférieure.

Les microphotographies de la planche X représentent une brique faite avec un sable quartzeux assez grossier, dont une partie est transformée en fin à peu près impalpable au broyeur Alsing; cette brique n'est d'ailleurs employée que dans les empilages et non pour les voûtes et les brûleurs des fours Martin. Une brique (de provenance étrangère) que l'examen microscopique nous a montré être simplement fabriquée au moyen de sable fin, nous avait été signalée comme particulièrement mauvaise par l'aciériste qui nous l'a remise, celui-ci n'ayant d'ailleurs aucun renseignement à son sujet, au point de vue de sa fabrication.

Quant à l'emploi, préconisé par M. Le Chatelier, de sable quartzeux fin pour fabriquer, au tube finisseur, de la silice impalpable destinée à être mélangée à une autre matière première employée pour la grenaille et le menu, il nous semble nécessaire d'attendre les résultats d'expériences faites sur une certaine échelle pour savoir s'il ne peut résulter d'inconvénient d'employer ainsi un mélange de deux matières premières différentes.

b) *Grès quartzeux*. — Un grès est un ancien sable, ultérieurement consolidé dans son gisement géologique; les grains quartzeux du sable (qui peuvent être parfois de menus fragments roulés de roches anciennes) ont été agglutinés plus ou moins complètement par un ciment siliceux, tantôt à l'état amorphe et hydraté (opale), tantôt à l'état anhydre. La microphotographie n° 5 (Pl. III) représente un semblable grès où les grains sableux de quartz, à contours plus ou moins arrondis, sont enrobés, à la façon de l'amande des dragées, par une croûte de *calcédoine* qui les unit les uns aux autres, tout en laissant subsister de nombreux vides dans la roche. C'est ce grès qui a servi de matière première pour la fabrication de la brique représentée par les microphotographies de la planche IX. Une telle cimentation est manifestement le simple résultat de la circulation d'eaux siliceuses.

Il semble bien que les grès à cimentation très imparfaite, ne produisant qu'une faible cohésion à froid, de même que ceux à ciment de SiO_2 hydratée, sont entièrement à rejeter pour la fabrication qui nous intéresse. Nous n'avons pas parlé des grès cimentés par du calcaire ou par des oxydes de fer, qui sont assez fréquents dans la nature et qui, évidemment, ne peuvent aussi être pris en considération; l'examen microscopique ou l'analyse chimique suffiront à les déceler. Quant au grès à ciment calcédonieux dont nous avons parlé, bien qu'il ait servi à la fabrication de briques de silice, nous ne saurions le conseiller; la cuisson de ces briques n'a pas été poussée assez loin pour obtenir le moindre début de transformation, alors qu'il résulte de nos constatations que là calcédoine se transforme bien plus facilement que la plupart des quartz; il est probable que la juxtaposition de deux formes de silice anhydre ayant des densités et des propriétés physiques nettement différentes ne donnerait pas une bonne tenue au feu pour cette matière première (d'ailleurs très exceptionnelle) à une température élevée.

c) *Grès quartziteux*. — Dans beaucoup de cas, le ciment des grès siliceux a, plus ou moins, cristallisé autour des grains sableux de quartz sous le même état cristallin, en les *nourrissant*, comme cela a lieu pour un cristal qui s'accroît ou pour un fragment de cristal qui se répare lorsqu'il est baigné par une solution de la même substance. Les grains sableux ont ainsi perdu graduellement leur ancien contour, plus ou moins arrondi, et, dans les grès quartziteux où la transformation est en cours, on voit souvent, au microscope, le contour des grains devenir irrégulier et, en certains points, se fondre parfois avec le ciment, au lieu d'en être nettement délimité.

D'autre part, lorsque, dans leur accroissement, deux grains voisins arrivent à se toucher, leur séparation se fait par un contour dentelé,

produisant *un engrènement partiel* de ces grains, qu'on peut constater en quelques points de la microphotographie n° 6 (Pl. III) d'un de ces grès quartziteux.

On peut d'ailleurs rencontrer tous les passages entre un grès normal et un *quartzite* entièrement formé de quartz cristallisé.

d) *Quartzites.* — Cette complète cristallisation a d'ailleurs pu se faire suivant deux types principaux :

α) Lorsque tous les interstices originels des grains sableux ont été ainsi remplis, très lentement, par le phénomène de « nourrissement » de ces grains qui vient d'être indiqué, on arrive aux quartzites les plus typiques au point de vue pétrographique. Ces grains quartzzeux, primitivement arrondis et orientés cristallographiquement d'une façon quelconque dans le grès originel, sont alors arrivés à se juxtaposer étroitement. Mais, ils ne se sont pas régénérés en donnant des cristaux à formes définies, comme cela aurait eu lieu s'ils avaient été isolés dans un bain siliceux; ils se sont générés mutuellement dans leur accroissement et, en se juxtaposant, ils ont pris des contours très irréguliers, souvent même engrenés plus ou moins complètement les uns par rapport aux autres. Dans les cas les plus typiques, il ne subsiste aucun ciment appréciable entre les grains ainsi développés (*quartzites sans ciment*); ces grains sont sensiblement isométriques si les grains de sable originels étaient bien calibrés, comme dans le quartzite représenté par la microphotographie n° 7 (Pl. IV). La roche ainsi produite est extrêmement compacte et tenace, difficile à broyer; elle englobe cependant toujours les fines paillettes micacées et autres impuretés qui se trouvaient mêlées aux grains de sable dans le grès originel.

β) Dans d'autres cas, après que les grains sableux de quartz se furent plus ou moins nourris, il y a eu cristallisation rapide d'un ciment quartzzeux ayant pris une structure microcristalline, formé de grains engrenés beaucoup plus fins que les grains sableux. On a alors des *quartzites à ciment quartzzeux microcristallin*.

On conçoit d'ailleurs facilement que tous les intermédiaires puissent se rencontrer entre les deux types, suivant que le ciment cristallin sera absent ou bien plus ou moins développé. C'est ainsi que la microphotographie n° 8 (Pl. IV) montre, en certaines de ces parties, un peu de ciment microcristallin interposé entre les gros grains de quartz à contours dentelés, alors que ceux-ci sont étroitement juxtaposés et engrenés en d'autres portions de la préparation et y constituent alors un quartzite extrêmement typique de la première espèce.

La microphotographie n° 9 (Pl. V) représente, par contre, un quartzite dans lequel le ciment microcristallin est extrêmement abondant et prédomine même par rapport aux grains du grès primitif, lequel

a été abondamment silicifié, comme le montre, sur le terrain ou même dans beaucoup de morceaux de cette roche, le mélange très intime avec ce quartzite d'un silex rubané et concrétionné, évidemment formé par voie aqueuse. Le fond de ce silex (microphotographie n° 11, Pl. VI) est formé d'une silice cryptocrystalline, dans laquelle se distinguent de nombreuses zones extrêmement minces de calcédoine fibreuse alternant avec d'autres formées de quartz fibreux (ou quartzine) ; enfin, le remplissage des dernières cavités laissées par le concrétionnement hydrothermal précédent s'est fait par des géodes de quartz typique. Il est d'ailleurs possible qu'une partie de la silice restée à l'état cryptocrystallin dans le ciment du quartzite lui-même puisse être aussi à l'état de calcédoine, ce qui expliquerait que ce quartzite, employé dans beaucoup de nos fabriques de silice, se transforme beaucoup plus facilement à la cuisson que les autres quartzites et que les quartz filoniens ou de micaschistes. Il prend alors la forme allotropique à texture globulaire en lumière naturelle et sans biréfringence appréciable que M. Le Chatelier avait désignée sous le nom de « Silice X » et qu'il a, plus récemment, attribuée à la cristobalite. C'est ce même type de transformation que présentent les silex rubanés associés à ce quartzite, de même que les meulières dont nous parlerons plus loin. On ne saurait donc considérer, au sens purement pétrographique, le quartzite en question comme identique aux autres ; c'est plutôt un *grès silicifié* qu'un véritable quartzite.

Quant aux qualités d'emploi des grès quartziteux et des quartzites dans la fabrication des briques de silice, on conçoit facilement qu'en raison des variations assez grandes de structure qu'ils peuvent présenter, ces qualités puissent être assez variables. D'une façon générale, il est cependant permis de dire que ces roches seront habituellement supérieures aux quartz filoniens et même aux quartz de micaschistes ; la dissémination intime des impuretés, que nous avons déjà signalée, est, en outre, particulièrement favorable.

Cependant, les quartzites sans ciment et à grains isométriques semblent, d'après nos constatations et aussi d'après les études faites autrefois en Allemagne par Wernicke, d'un moins bon usage que les quartzites à ciment microcristallin ou cryptocrystallin. On sait, en effet, que si la présence de gros grains quartzueux est nécessaire à la bonne tenue d'une brique, la finesse d'une partie de la silice est favorable à sa transformation. D'autre part, les quartzites à grains trop isométriques peuvent gonfler fortement au feu, par suite d'un léger écartement de leurs grains, que nous avons eu l'occasion de constater dans certaine préparation d'un de ces quartzites calciné, sans cependant qu'il y ait eu désagrégation de la roche, en raison des contours engrenés des grains en question.

La microphotographie n° 10 (Pl. V) est celle d'un quartzite allemand, d'âge tertiaire, employé par une usine avant la guerre et qui donnait de bons résultats; on voit, par cette photographie, qu'il s'agissait d'un quartzite à ciment assez abondant.

II. — Roches siliceuses formées fondamentalement de calcédoine

On rencontre dans la nature deux types très fréquents : les *silex* et les *meulières*, qui passent d'ailleurs l'un à l'autre et qui, tous deux, résultent généralement d'un processus de formation secondaire au milieu de couches calcaires.

Les *silex* se rencontrent dans la craie ou dans certains autres calcaires (il ne s'agit ici que de leur gisement géologique véritable et non de certains gisements *remaniés* où ils ont été accumulés par des actions ultérieures après avoir été séparés de leur gisement géologique originel, comme c'est le cas pour les accumulations de silex de la craie au pied des falaises crayeuses de la Manche ou pour certaines formations géologiques analogues produites anciennement, le poudingue de Nemours, par exemple). Ces silex ont été développés dans la roche calcaire par circulation d'eaux chargées de silice soluble, celle-ci pouvant d'ailleurs provenir simplement d'organismes fossiles siliceux existant dans la roche mère elle-même ; cette silice s'est alors concrétionnée à l'état de calcédoine cryptocrystalline ou à l'état amorphe.

De même, la *meulière compacte* est le résultat d'une silicification plus ou moins complète d'un calcaire compact par circulation d'eau chargée de silice et substitution de celle-ci au carbonate de chaux, toujours à l'état de calcédoine. Si la substitution a été incomplète, le calcaire se dissolvant ensuite, suivant les surfaces d'affleurement, sous l'action des agents atmosphériques alors que la calcédoine est insoluble, cette attaque donne naissance à la *meulière caverneuse*, bien connue de tous, souillée par le résidu argileux rubéfié du lessivage du calcaire, qui fournit d'excellents matériaux de construction mais ne saurait évidemment être envisagée pour la fabrication des briques de silice. On a seulement, pour cette fabrication, employé dans quelques cas une *meulière compacte* résultant d'une silicification complète de certains calcaires. Il faut d'ailleurs faire observer qu'une telle matière première doit forcément renfermer des parties où subsiste un résidu calcaire plus ou moins abondant, englobé dans la silice et devant échapper à un triage même soigneux, qui nécessairement donnera lieu à des défauts de fabrication. En admettant que

la facilité de transformation de la calcédoine, dont il a été question plus haut, fasse rechercher certaines meulières compactes comme matière première, nous devons appeler fortement l'attention sur cette circonstance, qui ne permet guère d'envisager qu'elle soit la base d'une fabrication de *qualité régulière*.

La microphotographie n° 12 (Pl. VI) représente une de ces meulières; nous la retrouverons comme matière première de la brique figurée dans les microphotographies de la planche XII. La roche en question, avant cuisson, ne montre qu'un fond cryptocrystallin où s'individualisent quelques très petits sphérolithes à structure radiée, formés de fibres microscopiques de calcédoine disposées radialement, ainsi que quelques géodes de quartz. Dans la brique où elle figure, elle est transformée en cette variété allotropique (Silice X ou cristobalite) dont il a été question plus haut, alors que les géodes de quartz qu'elle contient et des grains sableux de quartz additionnés à elle dans la brique n'ont subi aucune transformation cristalline et sont seulement craquelés. Il faut noter que la pâte de cette brique contient une abondante formation cryptocrystalline qui semble pouvoir être attribuée à un silicate à base calcique, corrélatif d'une fusibilité trop grande et qui, très probablement, est en relation avec la présence de parties restées calcaires dans la meulière.

Quant aux silex, il ne saurait pratiquement être question de les exploiter dans leur gisement géologique, tel qu'il a été défini plus haut, mais seulement dans les gisements de silex remaniés. Les résultats obtenus jusqu'ici par l'emploi des silex de la craie, tout au moins, ne semblent d'ailleurs pas encourageants en ce qui concerne la fabrication de briques de premier choix.

Il résulte d'ailleurs de plusieurs essais faits par M. Bigot que ces silex de la craie arrivent, après calcination à 1.700°, à une densité de 2,22 qui est celle des silices fondues alors que certains autres silex nettement calcédonieux, soumis à la même épreuve, donnent la densité 2,31 des variétés habituelles de la silice cristalline à haute température.

B. — ESSAIS CHIMIQUES, PHYSIQUES ET MÉCANIQUES DES MATIÈRES PREMIÈRES

Pour les sept roches du premier groupe figurant au tableau ci-après, les essais de tenue au feu ont été effectués de la façon suivante :

Une première catégorie d'échantillons de chacune de ces sept roches a été chauffée à 1.710°.

Une seconde catégorie a été portée en trois heures et demie à la température de 1.650° . Le four a été arrêté dès que la montre décimale 165 s'est inclinée.

Une troisième catégorie, constituée d'échantillons des mêmes roches, a été maintenue pendant trois heures à la température de 1.650° .

Pour les sept roches du second groupe, les essais de tenue au feu ont été effectués de la façon suivante :

1^o Une catégorie a été portée à 1.710° et maintenue pendant deux heures à cette température;

2^o Une autre catégorie, comprenant deux échantillons de chacune des sept roches, a été portée à 1.710° et maintenue à cette température pendant quatre heures;

3^o Les échantillons de chaque roche qui avaient été maintenus pendant quatre heures à 1.710° ont été soumis à une seconde épreuve, et une roche de chacun d'eux a été de nouveau portée à 1.710° et maintenue à cette température pendant une nouvelle période de quatre heures.

Les tableaux suivants donnent les résultats des essais physiques, rapprochés de ceux fournis par l'examen pétrographique.

TABLEAUX

PREMIÈRES POUR BRIQUES DE SILICE

Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires

RÉSULTATS D'ESSAIS SUR MATIÈRES
Premier

PREMIÈRES POUR BRIQUES DE SILICE
Groupe (Suite)

PREMIÈRES BRIQUES DE SILICE

Groupes (Suite).

DESIGNATION de la matière	EXAMEN PÉTROGRAPHIQUE
	<p>Contours de ces grains le plus souvent assez irréguliers, mais ayant parfois des formes presque géométriques; ces grains sont étroitement accolés et juxtaposés sans se toucher, mais il n'y a qu'un peu de contact; véritablement enroulés entre les grains voisins. C'est donc une malère abondante en peu complète déclive et la quantité importante de la silice en quartz, plié en <i>grès quartzé</i> qu'un</p> <p><i>Préfession</i>. — Il semble résulte de la structure que ces <i>grès</i> quartzeux doivent avoir une disposition fort étroite dans la direction de posse assez facilement leur cohésion par la disposition des grains en contact.</p>
	<p>Les deux matières se montrent sensiblement identiques à tous points de vue: elles appartiennent d'ailleurs rigoureusement à la même formation géologique et proviennent de deux localités assez voisines. Les légères variations, soit de l'âge des deux échantillons, soit de l'origine karriére, sont de l'ordre de celles qu'on rencontre entre les divers bancs d'une même carrière.</p> <p>La presque totalité de la roche est constituée par des grains quartzeux de formes et de tailles très variées. La taille de ces grains est assez grande, mais assez moyennement engendrées entre eux. Ces dernières sont assez régulières, mais quelquefois assez irrégulières.</p> <p>Les deux matières se montrent sensiblement identiques à tous points de vue: elles appartiennent d'ailleurs rigoureusement à la même formation géologique et proviennent de deux localités assez voisines. Les légères variations, soit de l'âge des deux échantillons, soit de l'origine karriére, sont de l'ordre de celles qu'on rencontre entre les divers bancs d'une même carrière.</p> <p>La presque totalité de la roche est constituée par des grains quartzeux de formes et de tailles très variées. La taille de ces grains est assez grande, mais assez moyennement engendrées entre eux. Ces dernières sont assez régulières, mais quelquefois assez irrégulières.</p>
5. Gres de C. (Suite.)	<p>et petits grains de l'ordre de 0,04 à 0,03 m/m.</p> <p>0,07 — 0,16 mm 0,05 — 0,16 mm 0,03 — 0,23 mm 0,03 — 0,17 mm 0,13 — 0,15 mm 0,12 — 0,08 mm</p> <p>et petits grains de l'ordre de 0,04 à 0,03 m/m.</p> <p>0,07 — 0,16 mm 0,05 — 0,16 mm 0,03 — 0,23 mm 0,03 — 0,17 mm 0,13 — 0,15 mm 0,12 — 0,08 mm</p>
6. Gres de M. et 7. Gres de B.	<p>Beaucoup de ces <i>grès</i> quartzeux présentent des extractions rouillées indiquant qu'ils proviennent de roches anciennes ayant subi des actions dynamiques intenses.</p> <p>Il existe des roches quartzeuses anciennes à graines assez grosses, mais assez régulières, à structure solitaire et riches en minéral noir très décomposé ayant perdu toute leur élasticité et leur énergie.</p> <p>Il existe aussi des roches quartzeuses anciennes à graines assez grosses, mais assez régulières, à structure solitaire et riches en minéral noir très décomposé ayant perdu toute leur élasticité et leur énergie.</p> <p>Cette roche semble devoir moins échapper à la chaleur qu'un <i>grès</i> pur-pétrifié. C'est pourquoi elle doit être d'un tempérament plus doux. D'autre part elle est moins résistante et moins dure que les <i>grès</i> pur-pétrifiés, mais elle est tout aussi dure que les <i>grès</i> pur-pétrifiés.</p> <p>Cette roche semble devoir moins échapper à la chaleur qu'un <i>grès</i> pur-pétrifié. C'est pourquoi elle doit être d'un tempérament plus doux. D'autre part elle est moins résistante et moins dure que les <i>grès</i> pur-pétrifiés, mais elle est tout aussi dure que les <i>grès</i> pur-pétrifiés.</p>

RÉSULTATS D'ESSAIS SUR MATIÈRES
Deuxième

(11) L'allongement n'a pu être mesuré.

(2) Un certain nombre d'allongements n'ont pu être mesurés.

RÉSULTATS D'ESSAIS SUR MATERIALES
Deuxième

PREMIÈRES POUR BRIGUES DE SILICE
Groupe (suite).

DÉSIGNATION de la matière	EXAMEN PETROGRAPHIQUE	ANALYSE	CHIMIQUE			TENUE AU FEU			OBSERVATIONS		
			Alumine	Silice totale	Chaux	Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux
7. Quartz de L. (Rhone).	Quartz très largement cristallisé. En lumière naturelle, aspect extrêmement homogène, mais avec nombreuses cristaux assez peu apparents. En lumière polarisée, lorsqu'on est au voisinage du maximum d'éclairement, on voit une phénomène intéressant : il éclairent dans une orientation cristalline, indiquant l'axe de la préparation. Mais lorsqu'on approche au contraire de l'extinction, on voit d'autant plus clairement que l'axe des cristaux est perpendiculaire à l'axe de l'orientation cristalline. Cela démontre que les cristaux ont une des orientations optiques très éloignées. Ces apparences ne sont pas pourraient s'expliquer que par le broyage (par des actions dynamiques très puissantes) des cristaux, mais par l'effacement progressif des cristaux, dans les zones de plus grande densité, et l'absence de zones de plus grande densité, dans les zones de moins grande densité. De toute manière, cette roche ne présente pas la structure très exceptionnelle normale. C'est un type de structure très exceptionnelle.	Prévision. — Différeversible, en raison de sa structure et de l'absence à peu près complète d'impuretés.									

DÉSIGNATION de la matière	EXAMEN PETROGRAPHIQUE	ANALYSE	CHIMIQUE			TENUE AU FEU			OBSERVATIONS		
			Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux
Non desséchée	Non desséchée										

DÉSIGNATION de la matière	EXAMEN PETROGRAPHIQUE	ANALYSE	CHIMIQUE			TENUE AU FEU			OBSERVATIONS		
			Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux
Porte au feu											

DÉSIGNATION de la matière	EXAMEN PETROGRAPHIQUE	ANALYSE	CHIMIQUE			TENUE AU FEU			OBSERVATIONS		
			Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux
Alumine											

DÉSIGNATION de la matière	EXAMEN PETROGRAPHIQUE	ANALYSE	CHIMIQUE			TENUE AU FEU			OBSERVATIONS		
			Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux
Porte au feu											

DÉSIGNATION de la matière	EXAMEN PETROGRAPHIQUE	ANALYSE	CHIMIQUE			TENUE AU FEU			OBSERVATIONS		
			Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux
Alumine											

DÉSIGNATION de la matière	EXAMEN PETROGRAPHIQUE	ANALYSE	CHIMIQUE			TENUE AU FEU			OBSERVATIONS		
			Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux
Porte au feu											

DÉSIGNATION de la matière	EXAMEN PETROGRAPHIQUE	ANALYSE	CHIMIQUE			TENUE AU FEU			OBSERVATIONS		
			Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux
Alumine											

DÉSIGNATION de la matière	EXAMEN PETROGRAPHIQUE	ANALYSE	CHIMIQUE			TENUE AU FEU			OBSERVATIONS		
			Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux
Porte au feu											

DÉSIGNATION de la matière	EXAMEN PETROGRAPHIQUE	ANALYSE	CHIMIQUE			TENUE AU FEU			OBSERVATIONS		
			Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux
Alumine											

DÉSIGNATION de la matière	EXAMEN PETROGRAPHIQUE	ANALYSE	CHIMIQUE			TENUE AU FEU			OBSERVATIONS		
			Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux
Porte au feu											

DÉSIGNATION de la matière	EXAMEN PETROGRAPHIQUE	ANALYSE	CHIMIQUE			TENUE AU FEU			OBSERVATIONS		
			Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux
Alumine											

DÉSIGNATION de la matière	EXAMEN PETROGRAPHIQUE	ANALYSE	CHIMIQUE			TENUE AU FEU			OBSERVATIONS		
			Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux
Porte au feu											

DÉSIGNATION de la matière	EXAMEN PETROGRAPHIQUE	ANALYSE	CHIMIQUE			TENUE AU FEU			OBSERVATIONS		
			Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux
Alumine											

DÉSIGNATION de la matière	EXAMEN PETROGRAPHIQUE	ANALYSE	CHIMIQUE			TENUE AU FEU			OBSERVATIONS		
			Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux
Porte au feu											

DÉSIGNATION de la matière	EXAMEN PETROGRAPHIQUE	ANALYSE	CHIMIQUE			TENUE AU FEU			OBSERVATIONS		
			Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux	Alumine	Silice	Chaux

RÉSULTATS D'ESSAIS SUR MATIÈRES PREMIÈRES

Troisième Groupe

Les roches siliceuses *provenant d'un même gisement* sont fréquemment très différentes; les unes conviennent à la fabrication, d'autres sont impropre. A titre d'exemple, citons les résultats d'essais sur trois roches de l'Allier extraites d'un même gisement, savoir :

- 1^o Un quartzite à faible allongement, 9,80 %, restant compacte à 1.700°, convenant parfaitement à la fabrication;
- 2^o Un quartzite semblable au précédent, à environ 12 % d'allongement, qui tombe en poussière dès 1.650° et ne convient pas à la fabrication;
- 3^o Un quartz rubané qui éclate au feu et est absolument impropre à la fabrication.

Ces trois roches après chauffage à 1.700° ont pour densité absolue 2,31.

La roche n° 1	contient	97,90	de silice après cuisson;	
—	n° 2	—	98,70	—
—	n° 3	—	99,60	—

Les analyses confirment les essais physiques.

La roche n° 3 étant de la silice presque pure est tout à fait impropre à la fabrication des produits de silice; la roche n° 2, qui ne contient pas assez d'oxydes étrangers, ne convient pas.

Ces roches siliceuses se rencontrent dans la même carrière; elles sont souvent intimement soudées les unes avec les autres et il est très important pour les fabricants de faire un choix judicieux sur le gisement même, afin d'utiliser dans la fabrication la qualité qui convient. Tout mélange de roche de bonne qualité et de roche de mauvaise qualité amène un produit de mauvaise qualité.

C. — CONCLUSIONS DE L'ÉTUDE DES MATIÈRES PREMIÈRES

I. — Nécessité de l'étude des matières premières

Les *essais sur les matières premières* sont nécessaires, mais ne sont pas forcément suffisants pour être certain que ces matières pourront produire de bonnes briques. Autrement dit, les études physiques, chimiques, mécaniques, l'examen pétrographique, tels qu'ils ont été décrits, devront, en tous cas, être exécutés sur les matières premières et, pour que celles-ci puissent être utilisables pour la fabrication des briques de silice, il faudra que les résultats satisfassent aux conditions d'allongement, porosité, infusibilité, friabilité.

Toutefois, il sera toujours indispensable de procéder ensuite à des *essais sur les produits fabriqués* pour être certain de leur valeur.

L'étude des matières premières permettra donc d'éliminer très rapidement les cas, et ce sont les plus nombreux, où des matières premières seraient incapables de fournir de bonnes briques de silice. On évitera ainsi facilement beaucoup de mécomptes.

II. — Matières premières à rechercher

La présente étude confirme les résultats des premiers essais qui avaient précédemment été indiqués dans l'Instruction provisoire.

Les matières premières qui paraissent devoir être recherchées sont les quartzites, qui présentent généralement des impuretés disséminées favorables à l'agglomération, et sous la condition que la proportion totale de ces impuretés soit de 2 % à 5 % sans alcalis et que la structure intime (observable au microscope) soit elle-même convenable.

Les quartzites avec ou sans ciment supportent généralement bien la cuisson ; ils se dilatent, avec le minimum de gonflement ; ils ne se désagrègent pas.

Les quartzites à ciment microcristallin semblent devoir être préférés aux autres.

Les roches formées de silice presque pure et de structure différente sont, *en général*, nettement *inférieures* dans l'emploi. Parmi ces

roches, nous citerons en particulier : les quartz filoniens, les quartz interstratifiés dans les micaschistes, les silex, etc.

La plupart des quartz filoniens et des silex subissent au chauffage une fissuration; par suite, ils *augmentent davantage de volume*, finissent par s'émettre et même s'émettent parfois dès la première calcination.

D'autre part, les quartz filoniens, habituellement trop purs, exigent souvent, pour l'agglomération, une addition de chaux incompatible avec une bonne résistance à la chaleur.

Les quartz interstratifiés dans les micaschistes, quoique entièrement cristallins comme ceux des filons, mais à texture souvent plus fine, sont intermédiaires entre les deux catégories précédentes, donc *inférieurs généralement aux quartzites*.

Au sujet des *cailloux roulés* divers provenant des massifs anciens, leur valeur est variable, souvent incertaine, fonction des différentes roches de silice qui s'y trouvent mélangées et des roches étrangères qui les souillent encore quand le triage est insuffisant. Un examen et quelques essais préliminaires s'imposent donc dans chaque cas.

Les *sables siliceux* n'ont jamais donné que des briques inférieures.

On évitera de mélanger des matières premières de provenances différentes et dont les allongements ne sont pas les mêmes; on s'exposerait à fabriquer des produits peu homogènes et défectueux.

CHAPITRE II

BRIQUES DE SILICE

RÉSUMÉ des TRAVAUX du LABORATOIRE D'ESSAIS du Conservatoire National des Arts et Métiers

Des séries méthodiques d'expériences ont été entreprises par le Laboratoire d'Essais sur de nombreux échantillons de diverses fabrications de briques de silice, avant usage, et sur des briques usagées.

Ces recherches ont porté sur :

Étude des caractères pétrographiques ;

Analyses chimiques ;

Essais physiques et mécaniques.

Les modes opératoires sont décrits dans un chapitre spécial (chap. III).

A. — ÉTUDES DES CARACTÈRES PÉTROGRAPHIQUES DES BRIQUES DE SILICE

Cette étude, faite par M. le professeur Léon Bertrand et M. A. Lanquine, apporte une contribution importante et toute nouvelle en France, sur la technique de fabrication des briques de silice.

I. — Briques avant emploi

De nombreuses briques de silice ont été, avant emploi dans les fours métallurgiques et telles qu'elles sont obtenues par le fabricant, taillées en lames minces comme les matières premières, pour être étudiées en lumière naturelle et polarisée.

L'examen en lumière naturelle donne de très utiles indications sur la nature de la matière première (ces indications étant complétées et précisées en lumière polarisée); il permet, en outre :

De mesurer la dimension des fragments de matière première contenus dans la préparation;

De reconnaître la forme plus ou moins arrondie ou anguleuse que leur a donné le broyage;

De vérifier l'enrobage plus ou moins parfait de ces fragments dans la pâte de la brique;

D'examiner la structure plus ou moins vacuolaire de cette pâte, etc., en un mot d'acquérir des renseignements assez précis sur la préparation mécanique de la matière première.

L'examen en lumière polarisée permet, à son tour :

De déterminer exactement la nature de la matière première, lorsque celle-ci n'a pas été entièrement transformée à la cuisson;

De reconnaître l'état de transformation de la silice des fragments de cette matière première, obtenu à la cuisson ;

De déceler, dans la pâte de la brique, le développement de cristaux microscopiques de tridymite et, accessoirement, d'autres minéraux (silicates calciques ou alumineux) individualisés dans cette pâte.

En résumé, en même temps que ce procédé d'examen permet de reconnaître, dans la grande majorité des cas, *la matière première employée* pour la fabrication d'une brique, il fournit des indications très précises sur la granulation de cette matière première, sur le malaxage et le moulage, et sur le degré de cuisson, c'est-à-dire *sur les parties essentielles de la technique de fabrication*.

Nous reproduisons simplement ici, à titre d'exemples, quelques-une des microphotographies (en lumière naturelle et en lumière polarisée) de briques de silice faites par MM. Bertrand et Lanquine, montrant l'emploi de matières premières très différentes, ainsi que divers degrés de transformation de la silice à la cuisson. Nous y joignons quelques autres microphotographies, relatives, cette fois, aux transformations subies par les briques de silice au cours de leur emploi dans les fours métallurgiques ; pour une brique peu cuite, ces transformations ultérieures de la silice rappellent naturellement (à la différence près de l'infiltration de vapeurs ferrugineuses et de scories qui n'existent pas dans les fours céramiques) les transformations qui se produisent au cours de la cuisson lorsque celle-ci a été plus poussée.

Les caractéristiques de ces briques peuvent être sommairement résumées ainsi qu'il suit :

Brique I (Pl. VII)

Brique peu cuite, fabriquée avec un grès quartziteux à texture serrée, grains isométriques et sans ciment.

Matière première non transformée, même dans les très petits grains impalpables (de l'ordre du 1/100^e de millimètre), dont l'abondance caractérise cette brique. Aucun début de formation de tridymite dans la pâte de la brique.

Au broyage, certains gros fragments du grès ont été fortement arrondis et la photographie en lumière naturelle montre qu'il en résulte un défaut d'adhérence de la pâte à ces fragments, qui n'existe pas pour les fragments anguleux voisins.

Fort gonflement probable à l'emploi dans les fours métallurgiques.

Brique II (Pl. VIII)

Brique peu cuite, faite en quartz de filon et de micaschiste.

Matière première non transformée, même pour les fines esquilles de l'ordre de 1/100^e de millimètre. Pas de développement appréciable de tridymite dans la pâte.

Au broyage, fragments restés généralement assez anguleux ; proportion de fin impalpable beaucoup moindre que dans la précédente.

Fort gonflement probable à l'emploi dans les fours métallurgiques.

Brique III (Pl. IX)

Mêmes caractéristiques générales que pour la précédente ; mais matière première toute différente. Cette brique est faite en grès à grains quartzeux réunis par un ciment calcédonieux (le même que figure 5, planche III, mais à grain plus fin).

Aucune transformation appréciable de la silice, même pour la calcédoine du ciment du grès. Aucun début de développement de tridymite dans la pâte de la brique.

Broyage satisfaisant, mais cuisson insuffisante.

Fort gonflement probable à l'emploi dans les fours métallurgiques.

Brique IV (Pl. X)

Brique plus cuite que les précédentes, fabriquée avec un sable quartzeux.

Gros grains sableux de 1 à 2 millimètres, plus ou moins corrodés, avec adjonction du même sable broyé très finement.

Pas de transformation cristallographique du quartz ; cependant les gros grains ont été très fendillés à la cuisson. Fines aiguilles de tridymite dans la pâte de la brique.

Moyen gonflement probable à l'emploi dans les fours métallurgiques.

Brique V (Pl. XI)

Brique peu cuite, faite en quartz filonien, avec adjonction d'une autre matière première d'une nature tout à fait différente (probablement un mineraï de chrome).

Quartz non transformé, mais cependant craquelé à la cuisson.

L'adjonction de l'autre matière première, bien que celle-ci soit par elle-même réfractaire, a donné naissance à un composé fusible verdâtre, bien visible dans certaines parties de la pâte de la brique, dans la photographie en lumière naturelle.

Développement, dans la pâte, de nids de fins cristaux de tridymite, en relation évidente avec la présence de ce fondant spécial.

Fort gonflement probable à l'emploi dans les fours métallurgiques et fusibilité anormale en raison du fondant spécial existant dans cette brique.

Brique VI (Pl. XII)

Brique assez cuite, faite de deux matières premières siliceuses :

1^o L'une dominante, entièrement transformée à la cuisson (meilleure de la figure 12, planche VI), ayant à peu près perdu toute biréfringence et ne polarisant plus (sauf les petites géodes de quartz qu'elle renferme), avec structure globulaire visible en lumière naturelle (« Silice X » ou cristobalite) ;

2^o L'autre, moins abondante, formée d'un quartz filonien, non transformé de façon appréciable à la cuisson, et seulement craquelé.

Développement, dans la pâte, de nombreuses aiguilles très fines de tridymite et surtout d'un feutrage cryptocrystallin d'un silicate calcaire polarisant vivement.

Faible gonflement probable à l'emploi dans les fours métallurgiques; fusibilité probablement un peu trop grande en raison du développement du silicate calcique.

Brique VII (Pl. XIII)

Brique très cuite, formée d'une matière première presque entièrement transformée, dans laquelle on peut cependant encore reconnaître un quartz filonien ne montrant plus que de petits noyaux quartzeux polarisant encore, avec aspect très craquelé en lumière naturelle. Fragments de la matière première souvent fortement corrodés par les fondants de la pâte.

Abondant développement de fins cristaux de tridymite dans la pâte.

Gonflement probable à l'emploi dans les fours métallurgiques à peu près nul.

Brique VIII (Pl. XIV)

Brique très cuite, formée d'une matière première entièrement transformée, dans laquelle toutefois certains caractères encore appréciables en lumière naturelle permettent, à un observateur exercé, de reconnaître le quartzite de la figure 9, planche V, et le silex rubané

de la figure 11, planche VI, intimement mélangés l'un à l'autre dans la nature, ainsi qu'il a été dit plus haut.

Pâte de la brique transformée en un véritable feutrage de fins cristaux de tridymite. Celle-ci a même envahi la périphérie (devenue claire en lumière naturelle) des gros fragments de matière première, dont la partie centrale (plus sombre en lumière naturelle) avait été antérieurement transformée en « Silice X ». Le fragment situé au centre de la photographie est même envahi par le développement de tridymite jusqu'en son milieu, le long de fissures qu'il présente (silex rubané). Ce développement de la tridymite dans les fragments de matière première est évidemment lié à l'action chimique des fondants existant dans la pâte, alors que la transformation en « Silice X » ou cristobalite est purement thermique.

Gonflement probable à l'emploi dans les fours métallurgiques pratiquement nul.

Brique IX (Pl. XV)

Brique extrêmement cuite, formée d'une matière première devenue indiscernable (certains caractères présentés par divers fragments de la préparation permettent cependant, à un observateur exercé, de considérer comme probable l'emploi de la même matière première que pour la brique précédente).

Très abondant développement de tridymite, non seulement dans la pâte, mais aussi dans la plupart des grands fragments de matière première, dont certains sont envahis dans toute leur masse (tout en restant bien visibles en lumière naturelle, mais avec un contour plus ou moins fondu). D'autres fragments n'ayant pas subi cette transformation en tridymite montrent que leur silice est à l'état de « Silice X ». Somme toute, cette brique montre l'exagération des faits déjà reconnus dans la précédente.

En résumé, brique ayant acquis à la cuisson la composition d'une véritable brique de tridymite. Gonflement probable à l'emploi dans les fours métallurgiques, tout à fait nul.

Les quelques exemples qui précédent, qu'il eût été facile de multiplier, permettent donc de suivre tout le processus des transformations que peut subir une brique de silice à la cuisson, depuis des types n'ayant subi aucune modification appréciable et qui devront parcourir ultérieurement ces transformations au cours de leur emploi avec le gonflement qui en résulte nécessairement, jusqu'à des briques ayant déjà atteint l'ultime état de la silice au cours de leur cuisson et ne devant plus, par conséquent, gonfler dans les fours

métallurgiques. On a d'ailleurs pu constater aussi, dans la brique VI, que le quartz se transforme bien moins facilement que les roches à base de calcédoine; cette constatation est confirmée aussi par l'examen des briques faites avec le quarzite 9 et le silex 11 qui lui est intimement associé. La calcédoine se transforme facilement, par simple action thermique, en « Silice X » ou cristobalite, alors que le développement de la tridymite, aussi bien aux dépens de celle-ci que du quartz directement, semble nécessiter l'action de fondants.

Il résulte, d'autre part, de ce qui précède, que l'état de cuisson d'une brique de silice ne dépend pas exclusivement de la température maxima atteinte au cours de la cuisson et de la durée de celle-ci; cet état de transformation est intimement lié à la nature de la matière première employée : à conditions égales de cuisson, il est d'autant plus avancé que cette matière est plus transformable. On peut noter, à cet égard, que les briques VIII et IX, les plus transformées, sont fabriquées avec une matière facilement transformable; il est possible que la brique VII, en quartz filonien, ait été aussi fortement cuite que ces dernières.

Pour ne pas allonger démesurément cet exposé, MM. Bertrand et Lanquine n'ont pas cru devoir, à propos de chaque brique, indiquer la taille des éléments obtenue au broyage, ni insister sur les constatations qu'on peut faire au sujet de ce broyage, de la granulation et de l'adhérence de la pâte aux fragments. Ces constatations résultent immédiatement de l'examen de la photographie en lumière naturelle, d'autant que toutes ces photographies, aussi bien de briques que de matières premières, ont été faites à un grossissement uniforme (grossissement linéaire = 15). Appelons simplement l'attention sur le fait que certaines préparations n'ont pu être débarrassées entièrement de l'émeri qui a servi à leur polissage et qui s'est serti dans la pâte de la brique; c'est là l'origine des points noirs visibles en lumière naturelle sur certaines des photographies.

II. — Briques usagées

Ainsi qu'il a été dit plus haut, MM. Bertrand et Lanquine ont jugé utile de reproduire quelques-unes des préparations qu'ils ont faites dans les diverses zones des briques de silice ayant fait un usage plus ou moins long à la voûte de fours Martin, afin de suivre les transformations qu'elles subissent par ce chauffage extrêmement prolongé à une température voisine de leur température de fusion, atteignant et dépassant même 1.700° pour la face de ces briques tournée vers l'intérieur du four. On sait d'ailleurs qu'en raison de la faible conductibilité des briques de silice, leur face extérieure ne dépasse pas,

par contre, la température à laquelle elles ont été cuites ; par suite, le sommet de la brique ne doit pas subir de transformation thermique.

La tête d'une brique usagée n'ayant pas subi une usure trop marquée a donc conservé la constitution originelle de la brique; tout au plus peut-elle présenter une légère variation de teinte, mais l'état cristallin de la silice des fragments de matière première n'a généralement pas été modifiée dans cette partie, que nous appelons *zone A*.

Plus bas, on voit la brique s'infiltrer graduellement de produits ferrugineux, sa pâte devient brune ou noirâtre, tandis que les fragments de matière première se détachent très nettement en blanc, ou tout au moins, avec une teinte très claire. Au microscope, on voit que, dans cette zone, que nous désignerons sous le nom de *zone B*, sous l'action prolongée des vapeurs ferrugineuses, et d'une température déjà plus élevée, les fragments de matière première se sont transformés et de la tridymite s'est développée dans la pâte, et cela d'autant plus qu'on descend davantage.

La zone B conduit insensiblement à une *zone noire C*, où les fragments de matière première ne se voient plus à l'œil nu. En réalité, le microscope montre que ces fragments sont encore apparents en lumière naturelle, mais qu'ils sont de plus en plus transformés, soit que simplement toute trace de polarisation y ait disparu, soit même qu'ils soient plus ou moins transformés en tridymite. Quant à la pâte de la brique, elle est formée exclusivement de nombreux cristaux microscopiques de tridymite englobés dans un ciment noir et opaque, formé d'oxyde de fer Fe^3O_4 (magnétite).

A l'existence près de ces oxydes de fer, si l'on part, dans la zone A, d'une brique peu transformée à la cuisson, on trouve donc, dans les zones B et C, les différences graduelles constatées précédemment pour les briques non usagées présentant une cuisson de plus en plus forte. A mesure que les briques s'usent à la voûte des fours métallurgiques, les zones B et C se déplacent graduellement vers le haut.

Les briques provenant de la démolition des fours montrent, sur la face en contact avec la flamme, une dernière zone, de structure et de couleur tout à fait différentes (*zone grise D*). L'analyse chimique de même que l'examen microscopique, montrent que la proportion d'oxyde de fer y est notablement moins grande que dans la zone noire C. D'autre part, le microscope y révèle une structure tout à fait nouvelle, n'ayant plus aucun rapport avec celle de la brique originelle, alors que dans la zone C on retrouve encore tous les gros fragments de matière première à leur place et toujours reconnaissables en lame mince. On y observe l'existence de bulles arrondies, indi-

quant nettement que cette zone D a été suffisamment ramollie pour devenir au moins visqueuses. Dans certaines briques usagées cette zone grise a d'ailleurs pris une véritable forme de stalactites et il n'y a pas de doute qu'elle ait été momentanément assez ramollie pour avoir pu s'écouler à la façon d'une matière visqueuse.

Les essais faits comparativement sur les zones C et D montrent d'ailleurs que cette dernière est moins fusible que la zone C. Il semble que, dans la fusion graduelle qui détruit progressivement les briques de bas en haut dans la voûte du four, il y ait une sorte de liquation donnant une partie plus fusible qui « pleure » et un résidu moins fusible qui, après refroidissement, donne naissance à la zone grise. Dans ce refroidissement, la silice s'est encore nettement individualisée de l'oxyde de fer restant, mais sous une forme cristalline entièrement différente de celle qu'elle affecte dans la zone noire. Elle prend une structure sphérolitique, formée de globules arrondis présentant une cristallisation confuse, avec biréfringence encore assez forte qui, au premier abord, semble se rapporter à de la cristobalite, tout en différant considérablement de la forme que nous avons vue précédemment se produire, au cours de la cuisson, aux dépens des fragments de matière première à base de calcédoine. Une étude minutieuse de ces variétés de silice serait encore à faire.

Les microphotographies suivantes montrent quelques exemples de ces diverses zones : les quatre premières représentent les structures des zones différentes d'une même brique, ce qui est particulièrement instructif.

Brique usagée n° 1, zone A (Pl. XVI)

Cette préparation a été faite dans la tête de la brique, qui n'a pas subi de transformation appréciable au cours de son service dans le four métallurgique. La brique en question a été fabriquée avec un grès à ciment quartziteux microcristallin, encore entièrement reconnaissable et non transformé. Les alternatives de chauffage et de refroidissement, s'ajoutant à un défaut originel de pression au malaxage et au moulage, ont provoqué un défaut d'adhérence entre les gros fragments de matière première et la pâte de la brique, décollée d'après ces fragments (la zone en question de cette brique est devenue assez friable).

Même brique, zone B (Pl. XVII)

La microphotographie en lumière naturelle montre l'infiltration de sels de fer à la fois dans la pâte et dans les interstices produits au contact de celle-ci et des fragments de matière première, qui

apparaissent cernés d'un liseré foncé; cette zone est devenue très compacte et a perdu toute friabilité.

Abondant développement de tridymite dans la pâte de la brique; les fragments de matière première sont maintenant en partie transformés, les gros grains de quartz seuls polarisant encore et le ciment microcristallin du grès restant éteint en lumière polarisée.

Même brique, zone noire C (Pl. XVIII)

La microphotographie en lumière naturelle montre encore les fragments de matière première à un état assez analogue à celui où ils existent dans les briques non usagées extrêmement cuites. Mais, en lumière polarisée, de même d'ailleurs que dans ces briques (comparer à la planche XV), ils ne se différencient plus de la pâte qui les entoure, étant envahis par de grands cristaux de tridymite, de taille exceptionnellement grande pour le plus grand fragment de la photographie. Quant à la pâte, ainsi que cela a été dit précédemment, elle est devenue un feutrage de cristaux de tridymite englobés par l'oxyde de fer. On peut d'ailleurs remarquer que cette pâte est devenue très vacuolaire.

Même brique, zone grise D (Pl. XIX)

Le haut de la photographie montre encore une petite partie de la zone noire précédente, avec de longues aiguilles de tridymite moulées par l'oxyde de fer, ce qui facilite la comparaison des structures très différentes des zones C et D. On y voit, d'autre part, que le contact est très irrégulier et que la zone noire est corrodée au contact.

Les caractères précédemment indiqués pour la zone grise (diminution très notable de la proportion de l'oxyde de fer par rapport à la zone noire, structure globuleuse très spéciale pour la silice, présence de bulles arrondies n'ayant pu se développer qu'en milieu presque fluide) ressortent très nettement de cette microphotographie.

Brique usagée n° 2, zone noire C (Pl. XX)

Cette photographie montre un développement d'oxyde de fer beaucoup plus abondant que la zone noire de la brique précédente. Les mêmes caractères essentiels s'y retrouvent d'ailleurs (pâte de la brique entièrement formée de fins cristaux de tridymite moulés par l'oxyde de fer et devenue très vacuolaire, fragments de la matière première encore reconnaissables en lumière naturelle et à contour parfois sou-

ligné par l'oxyde de fer, polarisation du quartz ayant disparu entièrement, début de développement de tridymite dans ces fragments, d'ailleurs bien moins marqué que pour la préparation de la planche XVIII).

Même brique, zone grise D (Pl. XXI)

Comme on le voit, malgré les différences notables de la zone noire correspondante et de celle de la brique n° 1, la zone grise s'y montre analogue comme structure à celle de cette première brique; il en est d'ailleurs de même pour d'autres préparations de la zone grise d'autres briques usagées, à la différence près de la taille des globules siliceux, toujours moulés par de l'oxyde de fer en bien moindre quantité que dans la zone noire de la même brique.

Brique usagée n° 3, zone noire (Pl. XXII)

La zone noire en question montre les fragments de matière première sensiblement au même état de transformation que dans la planche XX; certains d'entre eux ayant été craquelés, on y observe en outre la pénétration de l'oxyde de fer dans ces craquelures. La pâte de la brique contient d'ailleurs moins d'oxyde de fer que dans la planche en question; mais, par contre, la tridymite y est développée en cristaux notablement plus gros. D'autre part, cette pâte est beaucoup moins vacuolaire que dans les photographies des planches XVIII et XX. On voit donc que, tout en se ressemblant beaucoup fondamentalement, les zones noires des diverses briques présentent d'assez grandes variations individuelles.

Enfin, d'après les expériences de M. Bigot, les caractéristiques physiques et chimiques de ces zones grise et noire sont les suivantes (en moyenne) :

	ZONE GRISE	ZONE NOIRE
Point de fusion brusque.....	»	1.710°
Point où la montre s'incline.....	1.730°	»
Résistance à l'écrasement à froid.....	1.415 k ^{gs}	1.115 k ^{gs}
Résistance à l'écrasement à 1.500°.....	138 k ^{gs}	52 k ^{gs}
Porosité apparente.....	0,30	2,10
Densité apparente.....	1,75	1,15
Densité absolue.....	2,40	2,52
Silice.....	85 %	79 %
Chaux.....	3,55	»
Magnésie.....	1,05	»
Oxyde de fer.....	9,25	»
Oxyde de manganèse.....	0,95	»

Le mécanisme de l'attaque des scories n'est pas encore bien déterminé, malgré les études qui en ont été faites dans divers autres laboratoires, notamment par MM. Le Chatelier, Rengade, Bied, etc.

**B. — ESSAIS CHIMIQUES, PHYSIQUES ET MÉCANIQUES
DE BRIQUES DE SILICE**

De très nombreux essais chimiques, physiques et mécaniques ont été effectués au Laboratoire sur des briques de silices de diverses provenances et qualités, d'après les procédés indiqués au chapitre III.

Les tableaux concernent, à titre d'exemple :

Un premier groupe de 17 briques;
Un second groupe de 24 briques.

Pour ces dernières, on a rapproché les résultats de ceux fournis par l'examen pétrographique. Des observations qui peuvent être faites, on ne retiendra que celles qui présentent un caractère qui permet de guider la fabrication et l'élimination des produits de qualité inférieure.

TABLEAUX

BRIGUES DE SILICE (1er Groupe). — ESSAIS PHYSIQUES SUR 17 VARIÉTÉS.

DENSITE APPARENTE		POROSITE RELATIVE						TENSILE STRENGTH AT 1000°						TENSILE STRENGTH AT 1500°						TENSILE STRENGTH AT 1500°							
Densité apparente des briques		Après chauffe à 1500°						Après chauffe à 1400°						Après chauffe à 1500°						Après chauffe à 1500°							
1	1,87	1,85	1,79	1,66	8,5	8,05	9,6	12	13,4	0,41	0,6	1,7	0,36	1,9	13,8	11,3	10,8	11,3	11,9	11,9	1,02	0,3	2,5	3,1	3,43		
2	1,96	1,93	1,83	1,80	7,1	7,65	8,8	12	13,4	0,41	0,6	1,7	0,36	1,9	13,8	11,3	10,8	11,3	11,9	11,9	1,02	0,3	2,5	3,1	3,43		
3	1,72	1,73	1,68	1,66	10,6	10,8	10,6	10,6	10,8	11,3	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	1,02	0,3	2,3	0,8	0,8		
4	1,65	1,65	1,61	1,59	13,9	13,55	14,4	14,4	14,8	16,26	0,71	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,6	1,7	1,7	1,7	
5	1,60	1,60	1,56	1,52	16,4	16,7	15,9	16,4	16,7	15,9	8,4	21,6	0,71	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	2	3	3	3	3
6	1,72	1,70	1,65	1,62	13,2	13,45	11,8	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	
9	1,66	1,73	1,65	1,50	14,4	12,5	13,9	13,9	13,9	20,2	5,59	0,53	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	
10	1,67	1,66	1,66	1,64	11,2	12,32	11,3	12,3	12,3	13,45	0,53	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
11	1,67	1,67	1,67	1,66	11,8	13,60	11,5	12,8	12,8	13,45	1,73	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
12	2,03	2,01	1,97	1,92	6	6,14	6,2	7	10	—	—	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2	2	4,3	4,3	4,3	
13	1,87	1,87	1,84	1,53	10,1	10,30	12,3	18	13,33	0,41	0,41	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	
14	1,67	1,66	1,62	—	11,5	12	14,7	14	13,86	0,74	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	
15	1,78	1,67	1,65	1,55	10,9	11,6	11,7	15	16,8	16,8	0,26	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	2,1	2,1	2,5	3,5	3,5	
22	1,90	1,89	1,81	1,76	8,2	8,4	9,3	9,7	19,5	0,17	0,17	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,8	1,8	4,2	4,2	4,2	
G	1,90	1,91	1,83	1,58	9,5	10,1	9,9	15,9	—	—	0,52	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	
BS	1,67	—	—	1,57	13,6	—	—	—	—	—	19,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	

BRICKS DE SILICE — 2^e GROUPE — 24 BRICKS

RÉSULTATS SUR LA TECHNIQUE DE FABRICATION

RÉSULTATS	MATERIEL CLIGNATION POUR LA FABRICATION	BROYAGE ET GRANULATON:	ANGLOIS HANT	MOULAGE ET AGGRÉGAT	CUSSION	MATIÈRE PREMIÈRE: STRUCTURE DE LA BRIQUE DÉMOCRATIQUE DES ÉTATS-UNIS	ESSAIS PHYSIQUES ET MÉCANIQUES	
							TESTS FAISANT PARTIE DES BRICKS DE SILICE	TESTS FAISANT PARTIE DES BRICKS DE SILICE
1	1. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 2. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 3. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 4. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 5. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg.	1. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 2. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 3. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 4. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 5. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg.	1. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 2. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 3. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 4. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 5. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg.	1. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 2. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 3. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 4. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 5. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg.	1. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 2. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 3. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 4. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 5. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg.	1. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 2. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 3. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 4. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg. 5. Broyage à la machine à concasser à 1,000 kg.	1. Tests de la résistance à la traction 2. Tests de la résistance à la compression 3. Tests de la résistance à la tension 4. Tests de la résistance à la tension 5. Tests de la résistance à la tension	1. Tests de la résistance à la traction 2. Tests de la résistance à la compression 3. Tests de la résistance à la tension 4. Tests de la résistance à la tension 5. Tests de la résistance à la tension
1	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant
2	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant
3	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant
4	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant
5	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant
6	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant	Anglais Hant

20-34

BRIQUES DE SILICE — 2^e GROUPE — 24 BRIQUES

(Suite)

RENSEIGNEMENTS SUR LA TECHNIQUE DE FABRICATION

RÉSULTATS DE L'EXAMEN PÉTROGRAPHIQUE

ESSAIS PHYSIQUES ET MÉCANIQUES

ANALYSES CHIMIQUES

BRASSAILLYS	MATERIELS	CAGNATION BROUAGE ET GRANULATION	AGLOM. HANT. et secours	CUISISON	MATERIE POUR LA BRIQUE	STRUCTURE DE LA BRIQUE	ÉTAT CUISTALIN et la silice	APPELATION (gas pour la machine à presser)	OBSERVATIONS PARTICULIÈRES	ESSAIS PHYSIQUES ET MÉCANIQUES			ANALYSES CHIMIQUES
										TESTS FAISANTES SUR LES MATERIELS	TESTS FAISANTES SUR LES BRIQUES THÉORIQUES A 100%	TESTS FAISANTES SUR LES BRIQUES THÉORIQUES A 20%	
12	Quarte silice au Bilion du Prez- er	1. Combusteur à mélangeur (4 tonnes)	2. Brouage à mélangeur (4 tonnes)	3. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	4. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	5. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	6. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	7. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	8. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	9. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	10. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	11. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	12. Cuve à mélangeur (4 tonnes)
13	Quarte silice au Bilion du Prez- er	1. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	2. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	3. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	4. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	5. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	6. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	7. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	8. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	9. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	10. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	11. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	12. Cuve à mélangeur (4 tonnes)
14	Quarte silice au Bilion du Prez- er	1. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	2. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	3. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	4. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	5. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	6. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	7. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	8. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	9. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	10. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	11. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	12. Cuve à mélangeur (4 tonnes)
15	Quarte silice au Bilion du Prez- er	1. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	2. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	3. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	4. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	5. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	6. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	7. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	8. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	9. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	10. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	11. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	12. Cuve à mélangeur (4 tonnes)
16	Quarte silice au Bilion du Prez- er	1. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	2. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	3. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	4. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	5. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	6. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	7. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	8. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	9. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	10. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	11. Cuve à mélangeur (4 tonnes)	12. Cuve à mélangeur (4 tonnes)

BRIQUES DE SILICE - 2^e GROUPE - 24 BRIQUES (Suite)

THE JOURNAL OF CLIMATE

C. — CONCLUSIONS DE L'ÉTUDE DES BRIQUES DE SILICE

I. — Examen pétrographique

Comme conclusion à cet exposé sommaire des principaux caractères qu'on peut tirer de l'examen pétrographique des briques de silice, il paraît utile d'indiquer, ainsi que l'a exposé M. le professeur Bertrand à la Commission technique du Comptoir des Fabricants de Produits de Silice, l'utilité de traduire par un coefficient l'état pétrographique de transformation, à la cuisson, de la silice des fragments de matière première et le développement plus ou moins marqué de tridymite dans la pâte.

On sait, en effet, que parmi les caractéristiques d'une brique de silice, l'une des plus importantes à connaître pour les acieristes est son *coefficient d'allongement*, qu'on déduit trop souvent de la densité absolue de la brique. Sans entrer dans le détail de la discussion des résultats des essais faits sur les mêmes briques au Laboratoire d'Essais par M. le capitaine Bodin, en même temps que des études pétrographiques de MM. Léon Bertrand et Lanquine, on peut dire que :

1^o Pour les briques très cuites, où la silice des fragments de matière première est en grande partie ou totalement transformée et où la pâte contient un abondant développement de tridymite, la densité absolue de la brique se rapprochant beaucoup de sa valeur finale 2,31, les différences de gonflement inhérentes aux diverses matières premières employées se sont surtout produites au cours de la cuisson. Dans ce cas, le gonflement ultérieur qui se produit lors de l'emploi dans les voûtes de fours métallurgiques est pratiquement le même, à densité ou à transformation égales, d'autant qu'il est alors faible.

2^o Pour les briques très peu cuites, il n'en est pas de même. La matière première n'étant pas transformée, ou l'étant à peine, il peut exister d'importantes différences de densité tenant à la nature de cette matière première. Une brique légèrement transformée peut, dans ces conditions, avoir une densité un peu supérieure à celle d'une autre brique dont la matière première n'a pas subi de transformation appréciable. La première aura subi à la cuisson une partie de son allongement total, qu'elle n'aura plus à prendre ultérieurement; la seconde devra prendre tout son allongement à l'emploi.

Pour cette raison, M. Léon Bertrand pense utile d'évaluer, par un premier coefficient k allant de 0 à 1, l'état de transformation de la silice dans les fragments de matière première visibles au microscope. Un autre coefficient k' , aussi gradué de 0 à 1, exprimera le développement, dans la pâte, de la tridymite qui est l'état stable auquel est passée la silice qui était à l'état le plus fin, donc la plus attaquable par les fondants, et qui échappe à notre appréciation pour le premier coefficient.

En combinant ces deux coefficients, en donnant au premier une valeur relativement double de celle du second, c'est-à-dire en prenant $K = \frac{2k + k'}{3}$ (le résultat obtenu changerait à peine en donnant à k un coefficient triple de celui de k'), on peut admettre que le nombre K ainsi obtenu donne une appréciation très approchée de l'état de transformation de la silice dans la brique (*coefficient de transformation pétrographique*).

Les variations de la densité absolue et du coefficient d'allongement se faisant naturellement en sens inverse de celles du coefficient K , il vaut mieux les comparer pratiquement à celles de $(1 - K)$, qui représente, pour ainsi dire, le coefficient de conservation de la silice sous sa forme originelle. En reportant ainsi les résultats obtenus sur les vingt-quatre briques du 2^e groupe, de provenances différentes, M. Léon Bertrand a constaté que :

1^o Pour les briques à forte densité, c'est-à-dire peu ou pas transformées, les variations du coefficient d'allongement concordent beaucoup mieux avec celles du coefficient pétrographique $(1 - K)$ qu'avec celles de la densité absolue ; et il faut noter qu'il s'agit justement des cas où cet allongement est le plus fort ;

2^o Pour les briques à faible densité, donc très transformées, les variations du coefficient d'allongement sont davantage liées à celles de la densité ; cependant, elles suivent encore mieux celles du coefficient pétrographique.

C'est d'ailleurs par la simple considération des éléments qui servent à établir ce coefficient que, dans leurs diagnoses pétrographiques, MM. Léon Bertrand et Lanquine ont introduit une prévision sur la valeur de l'allongement des briques en question, prévision qui s'est toujours trouvée d'accord avec les résultats des expériences faites au Laboratoire d'Essais. Il semble donc nécessaire d'introduire, pour l'appréciation de la valeur pratique d'une brique de silice, *le coefficient pétrographique de transformation de la silice*, tel qu'il a été défini plus haut.

Nous estimons avec M. le professeur Bertrand que le coefficient pétrographique de transformation pourrait avantageusement, pour

ces briques, remplacer la considération de la densité absolue ou, tout au moins, qu'il devra doubler la détermination de cette densité.

II. — Essais chimiques

La détermination de tous les éléments est indispensable, quelle que soit la difficulté de l'analyse, à cause, ainsi qu'on l'a vu plus haut, du rôle prépondérant que jouent dans les produits les matières autres que la silice. La détermination de la proportion des sulfates peut fournir des indications, mais ne donne pas des garanties comparables, au sujet de la fusibilité.

III. — Essais physiques et mécaniques

En vue de chercher à établir des comparaisons entre les caractéristiques des produits fabriqués, les essais du Laboratoire ont porté sur la détermination des *densités*, *porosités*, *tenue au feu* et *résistance à l'écrasement*, à froid et à chaud.

Pour limiter le nombre relativement élevé des expériences et se rapprocher autant que possible des conditions d'emploi des produits, en utilisant les moyens dont pouvait disposer le Laboratoire, on a d'abord effectué des déterminations à haute température à 1.500° C après deux chauffes à 1.600° pendant deux heures.

Dès qu'il a pu être fait un usage courant du nouveau four semi-industriel Bigot-Bodin, du Laboratoire, on a remplacé ces deux épreuves par une seule en portant les produits chauffés à 1.700° pendant quatre heures. Ces derniers ne doivent être ni fondus ni déformés dans l'opération. S'ils sortent intacts du four et sans fissures, on constate que leur allongement a été plutôt faible : 2 % au maximum.

S'ils sortent fissurés de tous côtés et fortement gonflés (photographie), ils sont à grains trop gros et la roche qui les constitue gonfle trop. Si l'on veut employer cette roche, il faudra diminuer dans de fortes proportions la grosseur des grains.

Le gonflement d'une roche présente un chiffre constant, que la roche ait été chauffée lentement ou rapidement jusqu'au point où elle atteint sa densité minima, ainsi qu'il résulte de nombreuses expériences.

Densités

La densité absolue des silices fondues est de 2,22, celles des roches siliceuses après chauffage à 1.700° pendant quatre heures est de 2,22 pour les silex de la craie et 2,30 à 2,32 pour les quartz, quartzites et

pour certains silex. Les produits de silice confectionnés avec des quartzites chauffés dans les mêmes conditions, prennent assez rapidement une densité de 2,32 à 2,34 avant toute transformation en tridymite.

La densité absolue de la matière première étant de 2,65 à 2,66, il sera facile, en prenant la densité absolue d'un produit sortant de l'usine, de déterminer si le produit a été suffisamment chauffé, suivant que le chiffre de la densité absolue est plus ou moins voisin de 2,33.

La densité relative dépend de la composition mécanique des grains et de la température de cuisson.

Porosité relative

La porosité relative est déterminée conventionnellement en pesant le produit sec et en le pesant à nouveau après un séjour de vingt-quatre heures dans l'eau; l'augmentation de poids divisée par le poids du produit sec indique le pourcentage d'eau absorbée, c'est-à-dire la porosité relative. Elle a été ainsi adoptée conventionnellement à cause de la simplicité de sa détermination rapide dans les usines, ce qui permet de se faire une idée de la porosité réelle.

Certains produits à gros grains fabriqués à la presse ont une porosité inférieure à 8 %; d'autres ont une porosité double, ils sont à grains fins. Les produits poreux sont plus facilement attaquables par les poussières et les scories des fours Martin.

Après cuisson à 1.700°, on détermine à nouveau la porosité des produits; ceux qui ne sont pas fendillés ont à peu près la même porosité qu'avant l'opération si leurs grains ne se sont pas réduits en poussière; ceux qui se sont fendillés absorbent une grande quantité d'eau; leur porosité relative a augmenté dans de fortes proportions; ils deviendront très attaquables aux scories des fours Martin.

Les produits sont formés de grains de roches plus ou moins gros enrobés dans un mortier constitué par de la chaux et de la roche pulvérisée; sous l'influence des températures élevées, la roche se gonfle et la porosité augmente. (Après chauffage à 1.700°, M. Bigot a constaté que la porosité apparente d'un quartzite de l'Allier atteint 5 %.) Le mortier qui entoure les grains se transforme en une sorte de pâte de verre dont M. Le Chatelier a donné une étude complète. À la suite d'une cuisson prolongée, les grains de silice se transforment peu à peu pour former dans la brique une sorte de pâte de verre assez homogène, les grains de roche ayant disparu. Une brique ainsi transformée est un peu plus fusible que celles qui renferment des grains de roche; elle est, comme toutes les pâtes de verre, très sen-

sible aux variations brusques de température qui provoquent dans ces briques des étonnements partiels ou des ruptures complètes. Les grains de quartzite ne sont pas relativement très sensibles aux changements rapides de température, tandis que la pâte vitrifiée qui les entoure y est très sensible.

Les briques faites avec des éléments assez gros sont ordinairement assez denses et ont une faible porosité, si les grains moyens et les grains fins qui les accompagnent sont bien dosés. Les briques à grains moyens et fins sont moins denses et plus poreuses que les précédentes.

La porosité relative est parfois élevée : 17,9 % dans certaines briques assez bonnes; elle est aussi parfois relativement basse. De même pour les briques mauvaises.

On ne peut donc rien conclure de précis à ce sujet, même après deux chauffes.

Par contre, nous constatons que la variation de porosité relative faite après deux chauffes à 1.600° est faible avec les bonnes briques, elle est élevée avec les mauvaises.

Exemple :

	%	
Bonnes briques...	17,9 — 18,4	Différence = 0,5.
	14,3 — 15,3	= 1,0.
	9,8 — 10,2	= 0,4.
	10,1 — 11	= 0,9.
Mauvaises briques.	13,2 — 19,4	= 6,2.
	9,8 — 15,6	= 5,8.
	10,4 — 17,9	= 7,5.
	10,4 — 17,8	= 7,4.



Il semble donc, sous réserve de confirmation par de nombreux essais, que l'on pourrait adopter pour les bonnes briques une variation de la porosité relative avant et après deux chauffes à 1.600° de 1 % (3 % au plus).

Tenue au feu et résistance à l'écrasement

Le capitaine Bodin, en déterminant par la méthode nouvelle (voir chapitre III) les courbes de résistance à l'écrasement des produits réfractaires jusqu'à 1.500°, a trouvé que la plupart d'entre eux, et notamment les produits de silice, présentent un maximum de résistance à l'écrasement vers 1.100° - 1.200°. La courbe ci-jointe est un exemple des résistances à l'écrasement d'une brique de silice à grains assez fins.

La résistance à l'écrasement à la température ordinaire n'a qu'une importance relative pour la connaissance de la valeur d'emploi des briques. Il a été constaté cependant que, pour les bonnes briques, elle n'est pas inférieure à 150 kilogrammes par centimètre carré.

Il y a, par contre, intérêt à connaître la résistance aux températures élevées telles que 1.700° environ, auxquelles ces briques doivent résister. En raison des difficultés d'expériences à ces hautes températures, on a été d'abord conduit à effectuer l'essai de résistance à l'écrasement à 1.500° C sur les produits fabriqués, après leur avoir fait subir deux chauffages préalables à 1.600° pendant quatre heures. Par la suite, on a pu atteindre 1.700° pendant deux heures. Dans l'un ou l'autre cas, si après chauffage les grains sont restés compacts et si le produit n'est pas fendillé, on peut espérer avoir de bonnes briques. Avec ces dernières, la résistance à l'écrasement, dans ces conditions, est de 40 kilogrammes au moins.

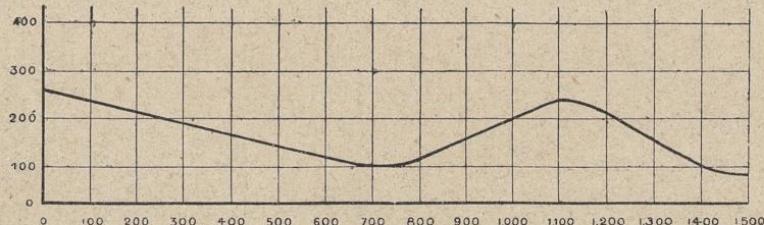


Fig. 1. — Courbe des résistances d'une brique de silice.

Si le produit n'est pas fendillé et si ses grains sont devenus friables, la résistance à l'écrasement a beaucoup diminué; ainsi un produit de ce genre résistant à 160 kilogrammes à la température ordinaire, après deux chauffages à 1.600°, ne supporte plus que 52 kilogrammes; sa résistance à 1.500° est devenue nulle. A la température ordinaire, le mortier qui entoure les grains devenus friables est dur et résiste à l'écrasement; mais à 1.500° il est ramolli et l'ensemble ne présente aucune résistance.

Si après chauffages à 1.600° le produit s'est fendillé, sa résistance est nulle. M. Bigot cite le cas d'une brique de silice qui résistait à 480 kilogrammes à la température ordinaire et qui, après deux chauffages à 1.650°, avait perdu toute sa résistance à l'écrasement, soit à froid, soit à chaud. Au cours des expériences, on a constaté un grand nombre de résultats de ce genre.

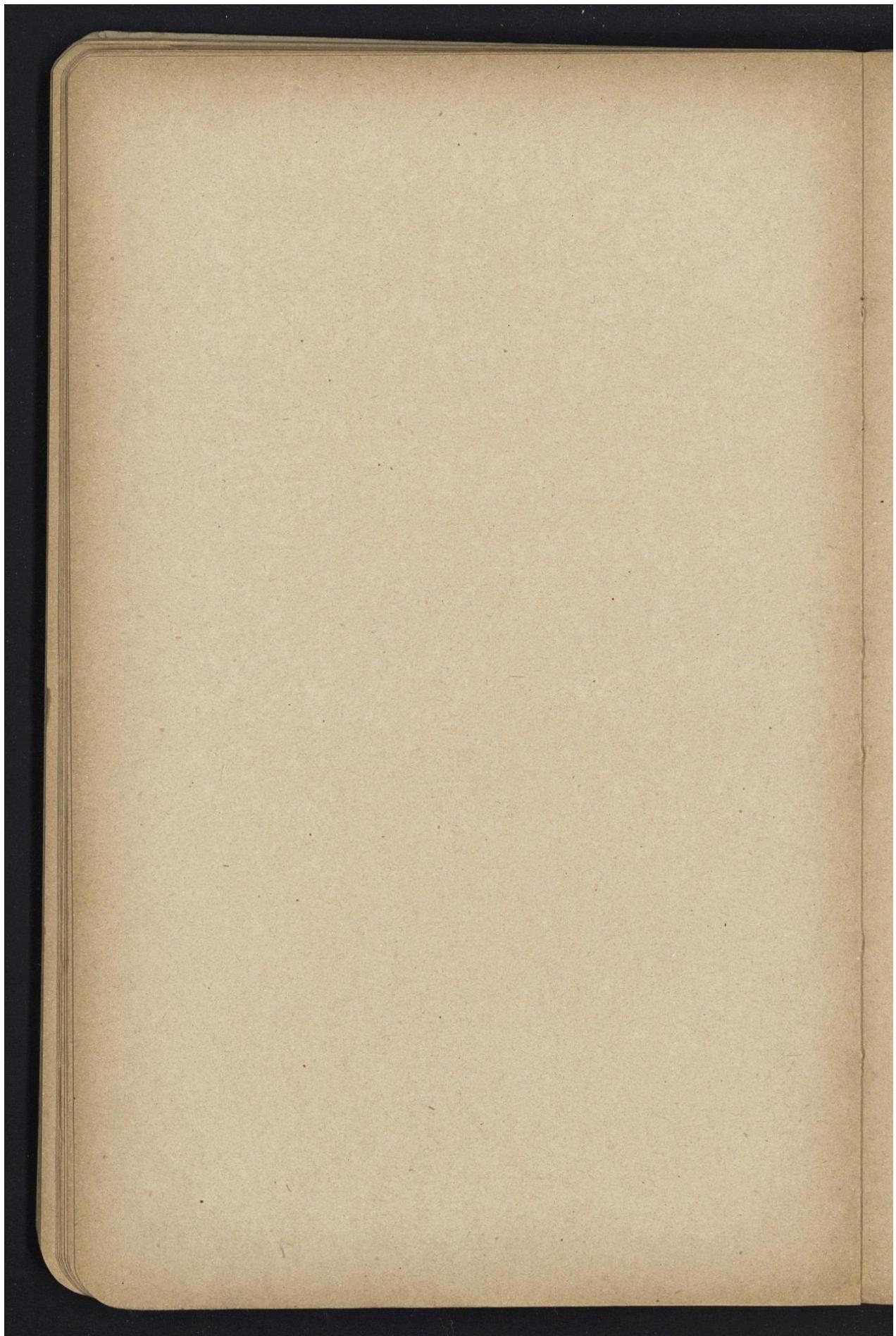
On sait l'importance que présente la résistance à l'écrasement dans

les fours Martin; les briques qui ne présentent pas de résistance après chauffage ne peuvent convenir à cet emploi.

D'une étude comparative faite sur vingt-quatre des briques analysées et essayées au Laboratoire d'Essais, il semble d'ailleurs bien résulter que celles de ces briques qui ont présenté cette insuffisance de résistance à chaud étaient celles qui avaient la plus faible teneur en silice. Il importe d'ailleurs d'observer qu'il n'y avait, par contre, aucune relation entre cette caractéristique résultant d'un ramollissement prématué de la pâte de la brique et la température de fusion définie par l'affaissement d'une petite éprouvette de la brique sous son simple poids.

Ces essais de résistance à l'écrasement à 1.500° après deux chauffes à 1.600° pendant deux heures (ou une chauffe à 1.700° pendant deux heures) permettent donc de fournir des indications très nettes sur la présence, dans les produits de silice, de roches défectueuses qui s'effritent au chauffage.

Il y aurait, par suite, à notre avis, une condition relative à la résistance à chaud à imposer dans un cahier des charges de fournitures de briques de silice; il semble qu'on pourrait adopter la résistance minima de 40 kilogrammes par centimètre carré à l'écrasement, à 1.500° après deux chauffes à 1.600° C.



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires

CHAPITRE III

RÉSUMÉ DES MODES OPÉRATOIRES

utilisés pour l'examen pétrographique et les essais physiques, chimiques et mécaniques des **ROCHES SILICEUSES** et des **BRIQUES** de SILICE.

A. — EXAMEN PÉTROGRAPHIQUE (RÉSUMÉ)

I. — But des essais

- a) Pour le *quartz* : détermination de la structure de la roche et de l'état cristallin de la silice;
- b) Pour les *briques* : détermination de la matière première, de la structure de la brique, de l'état cristallin de la silice, après cuisson.

II. — Procédé d'examen

- a) Taille d'une plaque mince à 3 centièmes de millimètre d'épaisseur environ;
- b) Examen microscopique à divers grossissements (objectifs 2 à 7 Nachet) :
 - 1^o En lumière naturelle : structure, mesure de la dimension des éléments au micromètre oculaire;
 - 2^o En lumière polarisée : caractères optiques de la silice dans les fragments de matière première et dans la pâte de la brique;
- c) En outre, éventuellement, détermination des autres produits cristallisés se rencontrant en quantité appréciable dans la brique.

L'étude des procédés d'examen pétrographiques des roches se trouve détaillée dans le travail de M. Léon Bertrand : *Exposé pratique des Méthodes optiques pour l'étude microscopique des Roches* ; Ministère de l'Armement, Laboratoire d'Essais, 1918.

B. — ESSAIS PHYSIQUES ET MÉCANIQUES (RÉSUMÉ)

I. — Détermination des dimensions (briques)

Les mesures sont prises (sur trois briques au moins), avec un pied à coulisse au $1/10^{\text{e}}$ de millimètre et chaque dimension est définie par la moyenne de trois mesures prises au voisinage du milieu de la brique et de ses deux extrémités.

Les dimensions sont exprimées en millimètres, en arrondissant le dernier chiffre d'après celui des dixièmes.

II. — Densité apparente après dessiccation

Les briques (trois au moins), sont d'abord placées pendant vingt-quatre heures dans une étuve à 100° , puis pesées au gramme près et mesurées avec un pied à coulisse au $1/10^{\text{e}}$ de millimètre.

La densité apparente d est exprimée par le quotient :

$$d = \frac{\text{Poids en grammes}}{\text{Volume en centimètres cubes}}$$

elle est donnée avec deux décimales.

Les résultats indiquent les dimensions, le volume, le poids et la densité de chaque brique, et la moyenne des trois densités.

III. — Densité absolue

La brique est pulvérisée jusqu'à passer sans refus à travers un tamis de 210 mailles par centimètre carré, puis desséchée pendant vingt-quatre heures dans une étuve à 100° et laissée à refroidir dans une atmosphère desséchante.

La densité absolue π est alors déterminée dans le voluméromètre Candlot et Le Chatelier, rempli de benzine, par la méthode habituelle de la détermination du poids spécifique des chaux et ciments.

Vingt-quatre heures avant l'essai, le voluméromètre est rempli de benzine, un peu au-dessus du trait inférieur, et placé dans un récipient cylindrique en verre garni intérieurement d'un disque de caoutchouc et contenant environ deux litres d'eau. Le remplissage est tel que le trait supérieur au voluméromètre soit à peu près au niveau de l'eau. Le tout est placé dans une salle à température modérée.

Le jour de l'essai, la benzine en excès est retirée au moyen d'un buvard, de façon à ce que le dessous du ménisque affleure juste le trait inférieur.

On pèse, au centigramme, 65 grammes de poudre dans une main en nickel tarée et l'on fait tomber cette poudre peu à peu dans le voluménomètre, muni d'un petit entonnoir, en poussant de petites quantités de poudre, au moyen d'une spatule, jusqu'à ce que le niveau de la benzine dépasse le trait supérieur de plusieurs millimètres.

On agite alors le voluménomètre en lui imprimant de légers coups sur le fond du récipient cylindrique pour permettre à l'air contenu dans la poudre de s'échapper.

Lorsqu'on ne voit plus de bulles se dégager, on lit la division où affleure le dessous du ménisque, soit v centimètres cubes.

On détermine par pesée de la main le poids de matière immergée, soit p grammes.

$$\text{Le poids spécifique } \pi = \frac{p}{v}$$

Le résultat s'exprime avec deux décimales.

IV. — Porosité absolue ou volume des pores %

La porosité absolue ou volume des pores % se déduit des chiffres de la densité apparente et de la densité absolue par la formule :

$$\omega = \left(\frac{\pi - d}{\pi} \right) \times 100$$

Ce résultat s'exprime sans décimale.

V. — Porosité relative

Les briques (3 au moins) sont d'abord placées pendant vingt-quatre heures dans une étuve à 100°, puis pesées au gramme près. Soit P_1 le poids. Elles sont ensuite immergées pendant une heure, puis, au bout de ce temps, elles sont complètement immergées et après un séjour total de vingt-quatre heures dans l'eau, elles sont retirées, essuyées et pesées à nouveau avec la même approximation. Soit P_2 le poids.

La porosité relative, ou proportion d'eau absorbée %

$$\left(\frac{P_2 - 1}{P_1} \right) \times 100$$

est exprimée avec un chiffre décimal, par la formule

VI. — Détermination du point de fusion

Cet essai est exécuté sur des pyramides triangulaires d'environ trois centimètres de hauteur, taillées dans la brique ou dans la roche.

Une de ces pyramides est fixée ainsi que deux montres étalonnées fondant à des températures connues sur un support très réfractaire et le tout est placé dans un four à flamme spiralée chauffé avec un chalumeau à gaz d'éclairage et oxygène (fig. 2).

Par tâtonnements successifs, on détermine la montre dont la courbure se produit sous l'action de la chaleur en même temps que la pyramide d'essai et on admet que la température de fusion de celle-ci est la même que celle indiquée comme correspondant à la fusion de la montre.

Il arrive qu'on ne puisse trouver aucune montre se courbant en même temps que la pyramide d'essai; on détermine alors celle se courbant immédiatement avant et celle se courbant immédiatement après, et on admet que la température de fusion de la pyramide est comprise entre celles des deux montres.

Dans tous les cas, on ne considère l'essai comme terminé que lorsqu'on a obtenu dans deux expériences successives deux résultats concordants.

Observation. — Dans les briques de silice, en raison de la faible cohésion de la matière, il est fréquemment impossible de tailler des pyramides. On broie alors la brique, on malaxe la poudre obtenue avec une quantité d'eau convenable additionnée de gomme arabique et on la moule dans un moule approprié.

De nombreuses expériences ont montré qu'étant donnée l'approximation assez grossière du procédé, on ne trouve pas de différence appréciable entre le point de fusion d'une pyramide taillée dans une brique et celui d'une pyramide faite par broyage et agglomération de la matière.

VII. — Détermination de la tenue au feu et de l'allongement linéaire %

Cet essai est exécuté sur trois baguettes prismatiques à section carrée de 20 millimètres de côté, taillées dans la brique ou dans la roche et dont deux ont environ 90 millimètres de longueur et une 100 millimètres, chauffées dans un four à flamme nue à récupération de chaleur, système Bigot.

Les deux baguettes de 90 millimètres de longueur sont posées à plat sur un support pour la détermination de l'allongement linéaire et celle de 100 millimètres sur deux appuis approximativement distants de 80 millimètres pour la détermination de la flèche prise dans ces conditions.

Les températures sont contrôlées au moyen de montres étalonnées

fondant à des températures connues, placées dans le voisinage immédiat des baguettes.

Dans toutes les chauffes, on s'attache à n'obtenir le rouge qu'environ une heure après l'allumage et à prolonger le refroidissement pendant douze heures, au moins, en fermant tous les registres du four le soir, aussitôt après son arrêt, et en ne défournant que le lendemain matin.

La longueur des baguettes est prise avant et après chaque chauffe entre repères, au moyen d'un pied à coulisse donnant le $1/10^{\circ}$ de millimètre.

La flèche est mesurée au demi-millimètre près avec une réglette graduée en millimètres.

La dilatation linéaire % $\left(\frac{L_2 - L_1}{L_1} \times 100 \right)$ est exprimée avec un chiffre décimal.

L_1 et L_2 étant respectivement les longueurs avant et après essai de chaque baguette.

La flèche est exprimée en millimètres et demi-millimètre.

Une observation indique comment se sont comportées les baguettes au cours des différentes chauffes : si elles sont restées intactes, si elles se sont fissurées, si elles ont perdu leur cohésion, si elles sont vitrifiées.

Un tableau donne également les renseignements utiles sur les différentes chauffes en indiquant l'heure d'allumage et d'arrêt, et l'état des montres ayant servi au contrôle des températures.

Observation. — Depuis l'édition du four semi-industriel Bigot-Bodin, cette détermination est effectuée sur 3 briques entières.

VIII. — Résistance à l'écrasement à la température ordinaire

Cet essai est exécuté, autant que possible, sur six blocs obtenus en superposant et cimentant entre elles les deux moitiés de six briques sciées par le milieu.

Chaque bloc ainsi constitué est rompu par écrasement sur une presse Amsler-Laffon.

Pour assurer une bonne portée, des feuilles de carton épais sont interposées entre les faces des cubes et les plateaux de la machine, et le plateau inférieur de celle-ci est monté sur rotule de façon à corriger, s'il y a lieu, le non-parallélisme des faces inférieure et supérieure.

Les dimensions des faces sont prises avec une erreur $< 0^{\text{m}} 5$; la surface est exprimée en centimètres carrés.

Lorsque la charge de rupture en kilogrammes au centimètre carré de la brique est < 100 kilogrammes, on emploie sur la machine la sensibilité de 15 T. et quand elle est > 100 kilogrammes, celle de 50 T.

Le résultat s'exprime dans les deux cas en kilogrammes, sans décimale.

Les résultats indiquent pour chaque cube ses dimensions et la charge totale de rupture. On indique seulement la moyenne des charges de rupture par centimètre carré.

IX. — Résistance à l'écrasement à chaud

Cet essai est exécuté pour une température déterminée, autant que possible, sur trois cubes de $2 \times 2 \times 2$ centimètres taillés dans la brique après un chauffage.

Chaque cube est soumis à l'écrasement sur une machine de traction de Frémont, munie d'un appareil de réversion convenable.

On enregistre pour chaque opération, à l'aide du dispositif enregistreur de la machine, modifié d'une façon appropriée, le diagramme des pressions développées en fonction du déplacement des plateaux de l'appareil de réversion, l'un par rapport à l'autre. La machine ayant été préalablement tarée, on lit la charge de rupture sur le diagramme sans utiliser la bascule d'équilibrage.

Dans chaque opération, le volant de la machine est actionné avec une vitesse régulière.

La température est obtenue à l'aide d'un four à flamme spiralée à gaz et air comprimé placé entre les plateaux de l'appareil de réversion, à l'intérieur duquel est disposé le cube à écraser entre deux supports réfractaires. Elle est contrôlée à l'aide d'un couple Le Chatelier dont la soudure est placée au voisinage immédiat du cube. Elle est élevée progressivement jusqu'au point fixé et l'écrasement est effectué à ce moment sans qu'il soit nécessaire d'arrêter le four.

Les dimensions des faces d'appui du cube sont prises au pied à coulisse avec une erreur $< 0 \frac{m}{m} 1$; la surface est exprimée en centimètres cubes avec une décimale.

Le résultat s'exprime en kilogrammes sans décimale.

On peut déterminer ainsi les résistances à l'écrasement jusqu'à 1.500° C. (fig. 3 et 4).

C. — ANALYSES CHIMIQUES (RÉSUMÉ)

a) *Préparation de l'échantillon.* — L'échantillon doit être finement pulvérisé dans un mortier d'acier dit d'Abich ou dans un mortier ordinaire en fonte. Passer au tamis n° 100 et recommencer le broyage

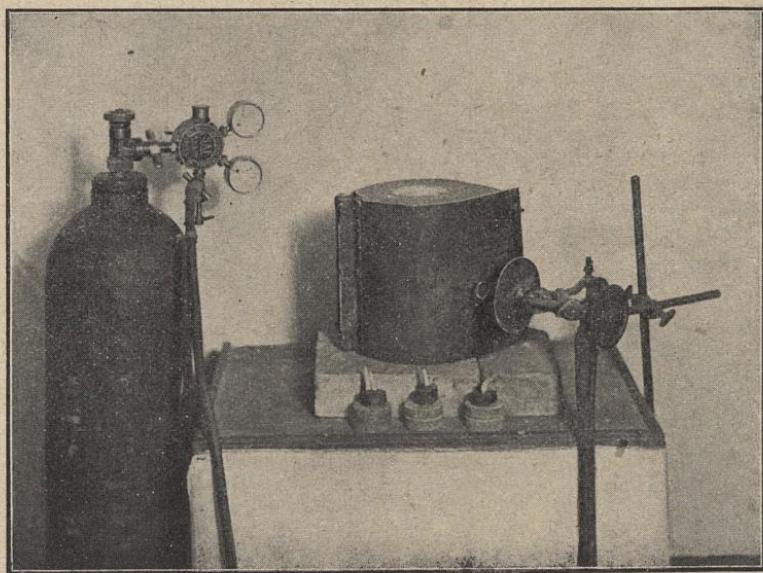


Fig. 2. — Four à gaz et oxygène utilisé pour la détermination du point de fusion.

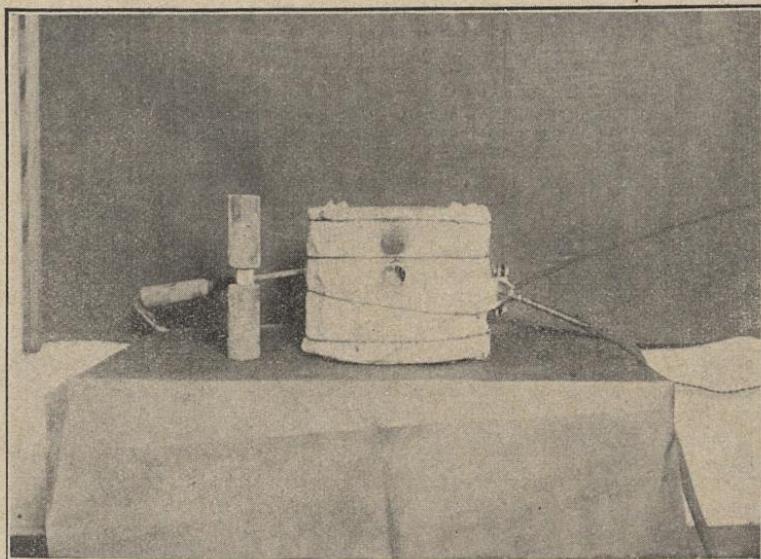


Fig. 3. — Four et disposition des mandrins d'écrasement.

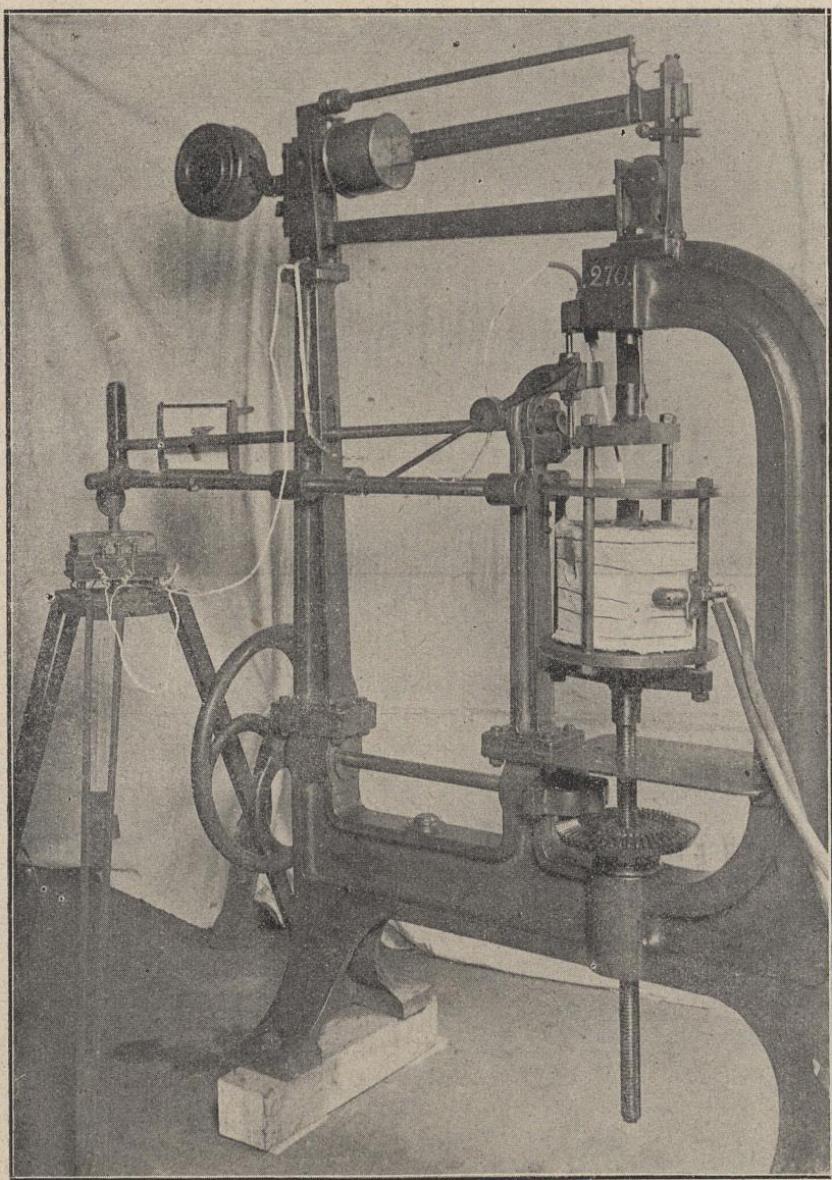


Fig. 4. — Dispositif utilisé au Laboratoire d'Essais pour la détermination de la résistance à l'écrasement à chaud.

du résidu jusqu'à ce que la totalité de la matière ait traversé le tamis. Le fer provenant de l'usure du mortier est enlevé avec un aimant.

Principe. — Chasser la silice au moyen des acides fluorhydrique et sulfurique, et doser les bases dans le résidu.

La silice est obtenue par différence.

Mode opératoire. — Chasser la silice par les acides fluorhydrique et sulfurique, et dissoudre le résidu dans l'acide chlorhydrique pur.

Dosage du sesquioxyde de fer et de l'alumine. — Précipiter par l'ammoniaque, faire bouillir, filtrer, laver, sécher, calciner et peser.

On obtient ainsi la somme sesquioxyde de fer et alumine. Dissoudre le produit calciné dans l'acide sulfurique, réduire la liqueur par le zinc et titrer le fer au moyen du permanganate de potasse.

Connaissant le sesquioxyde de fer, on obtient l'alumine par différence.

Dosage de la chaux. — Précipiter la chaux par l'oxalate d'ammoniaque en évitant tout excès de ce sel, maintenir au bain-marie bouillant pendant une heure, séparer, puis calciner le précipité et peser à l'état de chaux.

Dosage des alcalis. — La liqueur privée de chaux est évaporée à sec et la capsule contenant le résidu est chauffée dans un four à moufle pour chasser les sels ammoniacaux. Le résidu restant dans la capsule est constitué par les sulfates alcalins.

Peser les sulfates et évaluer en potasse.

Remarque. — Lorsque la brique renferme de la magnésie, ce corps se trouve avec les alcalis à l'état de sulfate. Il est donc nécessaire de doser la magnésie, qui est ensuite calculée en sulfate de magnésie, que l'on déduit du poids des sulfates trouvé précédemment.

Dosage de la magnésie. — Dissoudre dans l'eau le mélange de sulfates alcalins et de sulfates de magnésie, ajouter ensuite un excès d'ammoniaque et du phosphate de soude. La magnésie précipite à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien, qui est filtré après un repos de vingt-quatre heures, calciné et pesé sous forme de pyrophosphate de magnésie.

Silice. — Connaissant les bases, on déduit la silice par différence.

Dosage de l'acide titanique. — Chasser la silice par les acides fluorhydrique et sulfurique, fondre le résidu avec du bisulfate de

potasse, reprendre par l'eau et ajouter un excès d'eau oxygénée; il se produit une coloration jaune en présence d'acide titanique. On apprécie la teneur en acide titanique avec des solutions-types de titane.

Dosage des sulfates (d'après M. LE CHATELIER)

Contrôle de l'acide fluorhydrique. — On met 20 centimètres cubes d'acide fluorhydrique additionnés de 1 centimètre cube d'acide sulfurique normal à évaporer à une douce chaleur; après dessiccation, on chauffe jusqu'à 400 ou 500° et on pèse. L'acide laisse parfois un résidu de 0 gr. 02 à 0 gr. 04 que l'on devra défaillir du poids des sulfates trouvés.

Attaque de l'échantillon. — Un gramme de l'échantillon pulvérisé est placé dans une capsule de platine de 25 centimètres cubes et additionné de 20 centimètres cubes d'acide fluorhydrique, et chauffé à une douce chaleur, de façon à faire durer l'évaporation à sec une dizaine d'heures. La lenteur de l'attaque est une condition essentielle pour obtenir la dissolution complète de la silice à l'état de quartz.

Transformation en sulfate. — La matière amenée à sec est additionnée de 10 centimètres cubes d'une solution normale d'acide sulfurique (50 gr. d'acide sulfurique par litre). On recommence l'évaporation en la poussant cette fois plus rapidement. Une fois la matière sèche, on chasse les dernières traces d'acide sulfurique en chauffant vers 400 - 500°. On reconnaît cette température à la couleur jaune que prend le sulfate ferrique. Après refroidissement, la masse doit revenir au blanc grisâtre. Si elle présente une nuance rosée, c'est que l'on a chauffé trop fort. On remet alors quelques gouttes d'acide sulfurique et on recommence l'évaporation à sec en chauffant moins.

Le meilleur appareil de chauffage pour ces expériences est un bec de gaz à verre pour éclairage. On met au sommet du verre un petit support en clinquant sur lequel on pose la capsule. Le réglage à la vue de la hauteur de la flamme brillante est bien facile et permet d'avoir à coup sûr la température dont on a besoin.

On détermine, enfin, l'augmentation de poids de la capsule, ce qui donne les sulfates plus le quartz inattaqué, s'il en est resté. On défaillit de ce poids de sulfates le résidu donné par l'acide fluorhydrique seul.

Vérification de l'attaque. — On s'assure que l'attaque a été complète en redissolvant dans l'eau les sulfates. Cette opération est délicate parce que les sulfates d'alumine et de fer sont insolubles à froid.

le sulfate de chaux cristallisé à l'état d'anhydride est très long à redissoudre. On ajoute dans la capsule 10 centimètres cubes d'acide sulfurique normal et on fait bouillir un quart d'heure. Cela suffit pour dissoudre la majeure partie des sulfates et désagréger la masse.

On fait passer dans une fiole de verre ou une capsule en étendant de 100 centimètres cubes d'eau. On fait bouillir une heure, ce qui suffit pour dissoudre tous les sulfates, y compris celui de chaux. On filtre et on pèse le résidu insoluble que l'on défalque du poids des sulfates. Ce résidu comprend le quartz inattaqué, s'il en est resté. Il est facile à reconnaître, car il est formé seulement de gros grains qui tombent *immédiatement* au fond de la fiole. Le *titane* reste, au contraire, en suspension dans le liquide sous forme de précipité très léger. Sa proportion toujours faible ne dépasse pas 0,5 %. On peut se dispenser de peser, quand il n'est pas accompagné de résidu quartzeux.

**D. — FOURS SPÉCIAUX
UTILISÉS AU LABORATOIRE D'ESSAIS
pour les expériences à hautes températures des Matières premières
et des Produits de Silice**

Les essais de tenue au feu et la détermination de l'allongement des matières premières et des produits de silice doivent être exécutés à des températures élevées : 1.600 et même 1.700°, et de préférence sur des blocs volumineux ou sur des briques entières. Ils nécessitent des fours permettant d'atteindre couramment ces températures et de les conserver assez longtemps sans changements sensibles.

Deux types de fours ont été employés :

**I. — Four système Perrot, modifié par M. Bigot,
à récupération de chaleur**

Un premier type de four (fig. 5) est du système Perrot, modifié par l'adjonction d'un récupérateur ; le tuyau T d'échappement des gaz de la combustion est entouré d'un tuyau T' ; les ouvertures O font communiquer l'intervalle entre les deux tuyaux avec l'air extérieur. Les tuyaux T et T' sont en tôle. Lorsque le four est en marche, l'air extérieur appelé par ces ouvertures s'échauffe au contact du tuyau T, arrive chaud aux brûleurs et contribue à l'élévation de la température du four. Par suite de cette amélioration, le four pouvait atteindre 1.450°.

En 1915, M. Bigot ayant remplacé le tuyau T en tôle employé initialement par un tuyau à ailettes, en matière réfractaire et le

tuyau T' par une enveloppe en matière isolante qui fut elle-même noyée dans de la terre à diatomées, on atteignit la température de 1.750° C.

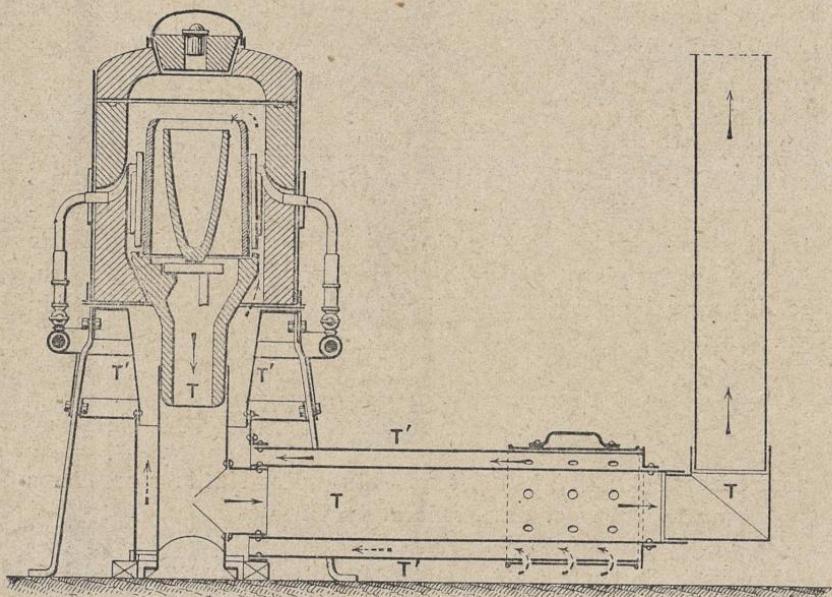


Fig. 5. — Four Bigot, 1892.

C'est ce modèle de four (fig. 6) qui fut construit en 1916 au Laboratoire et fut utilisé jusqu'au commencement de 1918, d'une façon courante; toutefois, la partie de ce four portée à température élevée étant fort restreinte, il ne permettait d'expérimenter que des éprouvettes de petites dimensions, telles que des baguettes prismatiques à section carrée de 20 millimètres de côté et de 9 à 10 centimètres de longueur, taillée dans les produits.

La taille de ces éprouvettes exigeait d'ailleurs un travail considérable; en outre, dans les produits à faible cohésion, on rencontrait de grandes difficultés, et dans ceux à gros grains, l'exiguité des éprouvettes donnait lieu à quelque incertitude dans la détermination de leur allongement.

Pour ces différentes raisons et aussi pour pouvoir exécuter les essais à hautes températures des matières premières sur des quantités d'une certaine importance, il était devenu nécessaire d'avoir un appareil qui, tout en permettant d'obtenir ces températures, possédât une capacité beaucoup plus considérable.

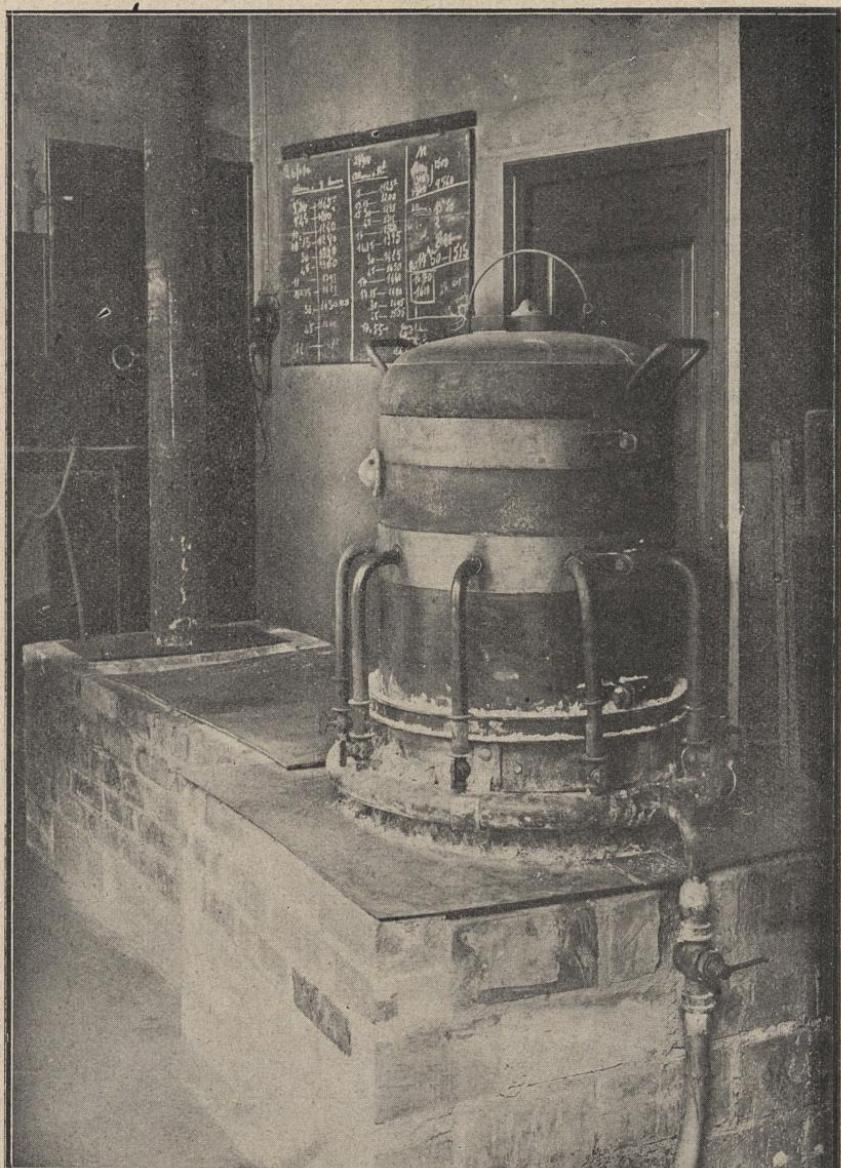


Fig. 6. — Four Bigot pour températures 1.700°-1.750°.

II. — Four de laboratoire semi-industriel, système Bigot-Bodin,
à récupération de chaleur

C'est dans cet ordre d'idée que M. Bigot et le capitaine Bodin, chef de la Section des Matériaux de Construction, étudièrent un four

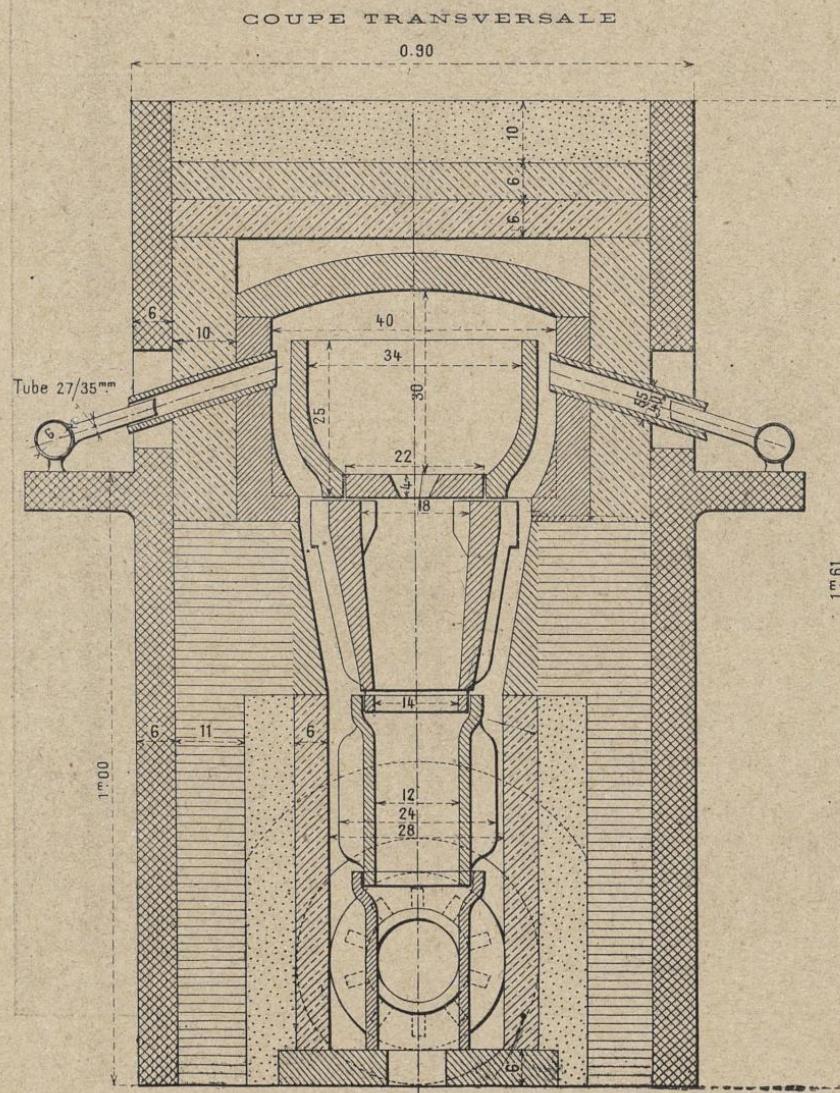


Fig. 7. — Four de Laboratoire semi-industriel, système Bigot-Bodin
utilisé au Laboratoire d'Essais, pour les essais à haute température.

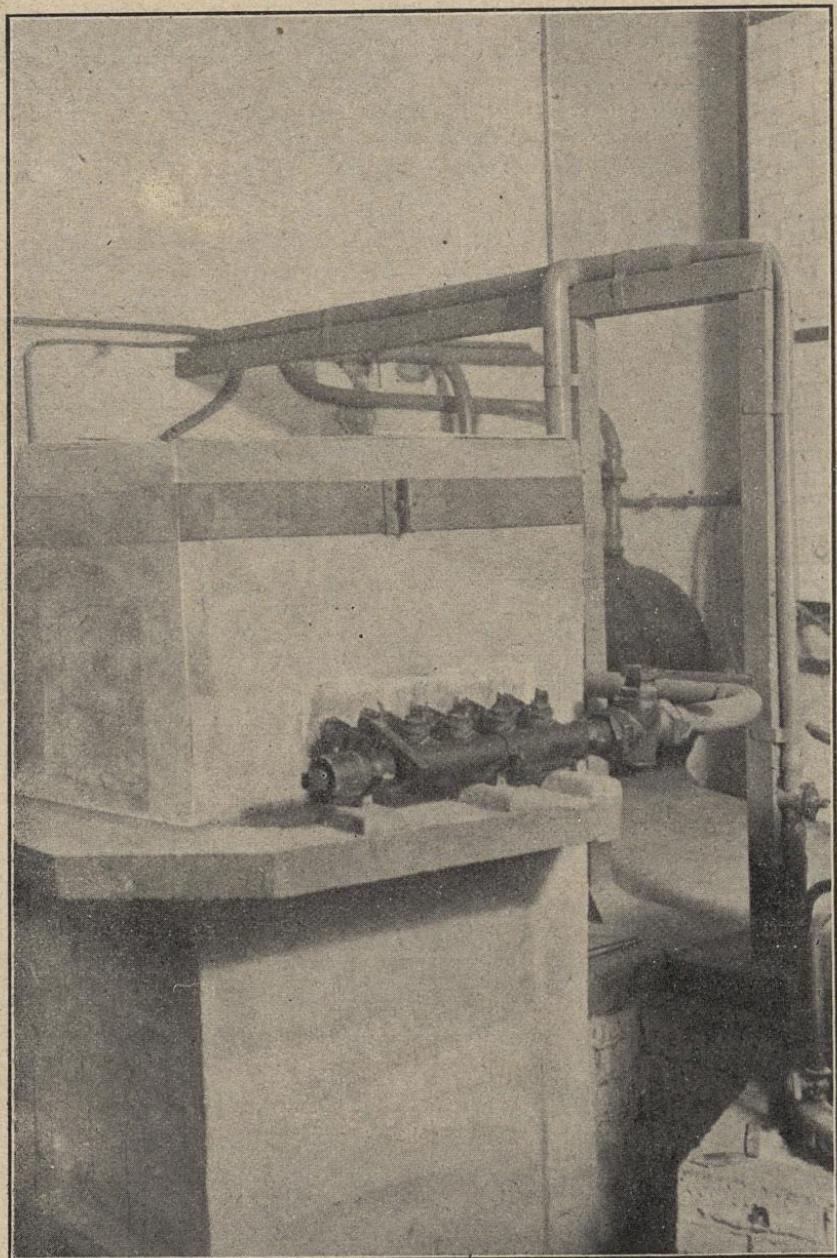


Fig. 8. — Vue du four semi-industriel Bigot-Bodin.

d'un type nouveau, *semi-industriel*, permettant de chauffer neuf briques entières à la fois.

Ce four (fig. 8) est rectangulaire ; il est chauffé par deux séries de cinq brûleurs placés sur chacun des grands côtés. La partie intérieure, en matériaux ultra-réfractaires, est garnie extérieurement de briques isolantes et d'une enveloppe en béton armé. Le dessus de la voûte est recouvert d'une couche de terre à diatomées.

Le four est muni du récupérateur décrit précédemment.

La température peut atteindre 1750°C au bout de cinq heures et demie de chauffe environ, avec une consommation horaire d'environ 11 mètres cubes du gaz d'éclairage fourni par la Ville de Paris pendant la guerre, sous une pression de cinq centimètres d'eau.

La courbe (fig. 9) indique la montée des températures et montre que si les réfractaires intérieurs pouvaient résister à des températures plus élevées, il serait certainement possible de les obtenir.

Ce four fut édifié dans un bâtiment spécial, construit à cet effet au

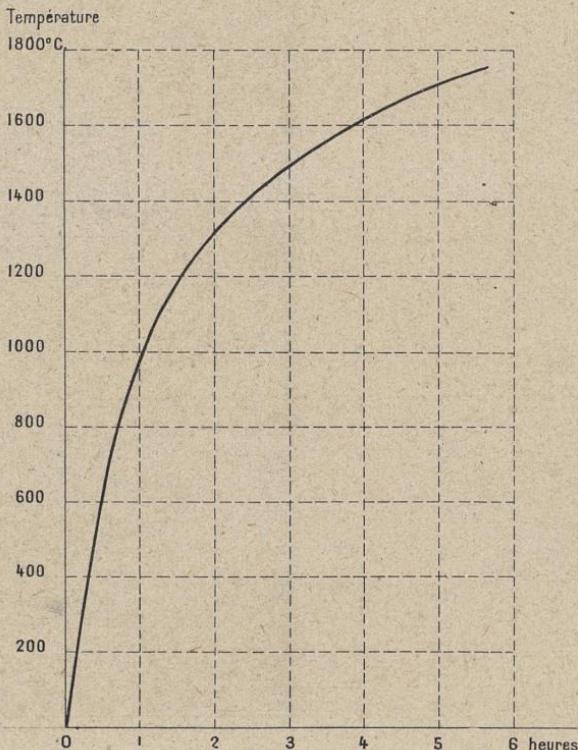


Fig. 9. — Courbe du four Bigot-Bodin.



Fig. 10. — Bâtiment du four semi-industriel du Laboratoire d'Essais.

Laboratoire d'Essais. En même temps furent construits deux nouveaux fours ronds du modèle indiqué précédemment. Ces trois fours évacuent leurs fumées dans trois conduits placés côté à côté dans un même corps de cheminées, se réunissant à environ six mètres du sol dans un tuyau unique en tôle, lui-même haut de six mètres (fig. 10).

CHAPITRE IV

FABRICATION DES BRIQUES DE SILICE

La fabrication des briques de silice dans les divers pays producteurs présente des différences assez sensibles. Une étude détaillée de chacun des modes opératoires sortirait du cadre de la présente étude. Mais pour faciliter la vulgarisation en France des meilleures conditions de fabrication suivant les cas d'espèce, nous résumons ci-après les caractéristiques principales de la technique en usage en Angleterre, en Amérique, en Italie, en Allemagne et en France depuis la guerre.

A. — FABRICATION ÉTRANGÈRE

I. — Fabrication anglaise

Généralement, en Angleterre, on emploie des quartzites à grain fin. On élimine dans les blocs de matières premières ceux contenant des grains de quartz. A l'aide d'un concasseur à mâchoires, on réduit les roches en fragments de la grosseur d'un œuf, qu'on introduit dans l'auge d'un broyeur à deux meules verticales. On ajoute un lait de chaux dosé en conséquence.

Quand la pâte a pris la consistance désirable, on peut l'utiliser pour le moulage qui s'effectue dans des moules doubles.

Le démoulage se fait sur une aire chauffée, en deux temps à cause du peu de consistance de la brique; à cet effet, le moule a une forme un peu spéciale.

La cuisson est généralement réalisée dans des fours discontinus à flamme renversée renfermant 100 tonnes au plus.

Ce qui caractérise la plupart des briques anglaises, c'est que le broyage est fait sans tamisage, ce qui fournit des briques qui présentent l'aspect d'un béton parfois à gros grains.

On constate, au microscope, dans certaines de ces briques, deux sortes de matières premières :

1° Les gros fragments sont de grès quartzite à grains extrêmement fins;

2° Le fin est constitué par des grains de quartz très notablement plus gros que les éléments du grès quartzite et n'en pouvant provenir, tout en étant d'un même type ; ce qui indique que le fin est une autre matière première qui peut, du reste, être d'un banc voisin d'une même formation.

II. — Fabrication américaine

Un certain nombre de briques américaines avaient été introduites en France pendant la guerre, particulièrement la marque « Star ». La matière première est un quartzite.

Le mélange se fait dans des alvéoles; quant à la cuisson, elle est effectuée dans un four tunnel, d'un type analogue à ceux qui ont été décrits dans l'Instruction provisoire de la Commission des Produits Réfractaires, mais présentant des dimensions considérables.

Le chauffage a lieu pendant douze jours par progression continue, puis pendant vingt-quatre heures à température constante s'approchant de 1.600°; le refroidissement est aussi lent que la cuisson.

La cassure présente une teinte presque blanche; fragments de la grenaille peu distincts du ciment et quelquefois fondus dans celui-ci; apparence très cristalline rappelant celle du sucre.

Le microscope montre, dans quelques préparations, que la silice est presque entièrement transformée en tridymite.

III. — Fabrication italienne

Au cours d'une mission en Italie, le capitaine Wattebled, membre de la Commission, a pu recueillir des renseignements intéressants sur la fabrication des produits réfractaires et, en particulier, sur celle des briques de silice.

C'est avec une grande largeur d'esprit que nos Alliés savent s'unir pour améliorer leurs fabrications, déjà très soignées cependant, et se libérer définitivement du joug allemand qui a pesé sur eux, peut-être encore plus que sur nous.

La fabrication des produits réfractaires en Italie est concentrée dans un nombre très restreint d'usines; chacune des usines est importante et comporte d'ordinaire plusieurs fours continus et de nombreux fours intermittents; ce renseignement suffit à caractériser leur capacité de production auprès des praticiens. Souvent un même administrateur technique dirige les fabrications de plusieurs usines, tandis qu'un administrateur commercial assume la charge de la direction administrative de ces mêmes usines et d'autres. De cet enchevêtrement des usines les unes dans les autres, de cette division du travail,

il résulte une unité de vues tout à fait heureuse. Ces administrateurs, hommes actifs, énergiques, expérimentés, à l'esprit très ouvert et très hardi, toujours à l'affût des améliorations, industriels en un mot, impriment à leurs fabrications une impulsion qui, de toute évidence, a le plus heureux effet sur la prospérité de leurs affaires.

Aussi, la jeune et belle industrie italienne des produits réfractaires est-elle florissante et il est particulièrement agréable de constater ce résultat quand on sait qu'il est, pour une bonne part, dû à l'initiative de quelques Français.

Avant la guerre, l'Italie importait des quantités très considérables de briques de silice, de fabrication allemande et de fabrication américaine.

Il semble bien que la seule technique allemande ait retenu l'attention des fabricants italiens. La technique américaine (grains fins, transformation à peu près complète en tridymite) est très contestée en Italie. La fabrication est considérée comme irrégulière, le même état de transformation n'existe pas dans toutes les briques ; il en résulte des accidents de mise en route fort désagréables.

Les matières premières sont tirées du Piémont, de la Toscane, de la Sardaigne. Des carrières nouvelles ont dû être ouvertes et, si le choix de ces carrières n'a pas toujours été très heureux, les fabricants sont armés pour en trouver d'autres; leur laboratoire, d'une part, et l'Institute Sperimentale Ferrovie dello Stato répareront rapidement les erreurs.

Le traitement de la matière première est, d'ordinaire, effectué d'une façon méthodique; dans plusieurs usines, on pratique la granulation systématique et le mélange employé est le suivant :

Un tiers en volume de farine légèrement granuleuse;

Un tiers en volume de grains de 0,5 à 1 millimètre;

Un tiers en volume de grenaille de 1 à 4 millimètres.

L'agglomérant est la chaux à 2 % environ, avec repos de vingt-quatre heures du mélange avant malaxage.

L'humidité est normale, 10 à 12 %.

La plasticité est bonne, grâce à la forte proportion de farine.

La préparation des matériaux se fait à l'aide de broyeurs à mâchoires, de lourds broyeurs à meules verticales, de broyeurs à boulets entre lesquels sont intercalés des tamiseurs de différents modèles. Pas de calcination préalable.

Le malaxage se fait tantôt sous les meules, tantôt dans de petits malaxeurs verticaux très simples. Quand ces derniers traitent une

matière contenant un tiers de farine, la plasticité du mélange est très bonne.

Le moulage se fait presque partout dans un outil dénommé « presse », mais qui, en réalité, est plutôt une démouleuse.

L'ouvrier mouleur bourre avec le manche de sa truelle la matière dans un moule en fonte, comportant deux alvéoles, ayant la forme de deux briques placées de champ; il pousse ensuite ce moule dans l'outil. Le gamin placé en face du mouleur manœuvre un premier levier qui a pour but de venir appliquer la marque de fabrique sur la face inférieure (6×22) de la brique, en même temps la face supérieure du moule s'applique contre un chapiteau à deux empreintes (6×22) correspondant aux creux de mêmes dimensions du moule; puis, à l'aide d'un second levier, le gamin soulève le moule par les oreilles ménagées sur les côtés et les briques démolées se trouvent alors placées sur une plaquette de tôle, qui sert pour le transport au séchoir.

Le séchage se fait sur des aires chauffées, sans empilage et sans dispositif spécial pour le séchage.

Les fours employés sont pour la plupart intermittents, surtout pour la fabrication des briques destinées à la construction des fours Martin.

La consommation dans les fours de ce type, bien étudié pour une capacité de 90 à 100 tonnes, ne dépasse pas 350 kilogrammes par tonne cuite; elle est même sensiblement inférieure quand on emploie un bon charbon de New-Pelton, elle s'établit autour de 200 à 220 kilogrammes pour cuison à la montre 16.

D'une façon générale, les produits italiens résistent dans les fours basiques à 350 coulées, avant la première réparation, puis supportent ensuite 250 coulées. Mais certaines marques se distinguent déjà et, dans un four basique en parfait état, on avait déjà dépassé 360 coulées sans réparation.

D'autre part, le capitaine Wattebled a constaté l'énorme différence d'usure pour une brique de même fabrication employée dans un four acide ou dans un four basique. Dans un four acide, la brique de silice de fabrication italienne résiste à peu près pendant un temps deux fois plus long que dans un four basique.

Ce détail serait à retenir pour la passation des commandes en France.

Enfin, sans insister sur les causes qui ont pu déterminer les métallurgistes et les fabricants de produits réfractaires en Italie à s'unir financièrement pour l'exploitation des usines fabriquant les produits réfractaires, causes qui sont d'ailleurs évidentes, il faut constater

que cette union a eu les effets les plus heureux : création d'usines puissantes, bien outillées, munies des moyens de manutention les plus modernes, produisant des matériaux de bonne qualité avec un prix de revient aussi bas que possible.

IV. — Fabrication allemande

La fabrication allemande des briques de silice avant la guerre était très importante. En dehors des produits utilisés dans l'Empire, l'Allemagne exportait de grandes quantités, en particulier en Italie et en France.

La fabrication était basée sur l'étude pétrographique préalable des divers gisements de roches siliceuses; une prospection déjà très complète avait été faite, particulièrement en Allemagne occidentale. Cette étude pétrographique permet ainsi de classer les roches. Il nous paraît intéressant de résumer le point de vue allemand (Wernicke et Wildschrey) sur ces matières premières auxquelles nos ennemis attribuaient le succès de leurs briques. Ce point de vue a été plus spécialement examiné par le lieutenant Jordan.

Les matières premières que l'on peut envisager pour la fabrication des briques de silice sont de deux sortes : le quartz — roche cristalline — et le quartzite — roche détritique siliceuse composée d'une infinité de petits grains de quartz provenant en majorité de la destruction d'une roche primitive et qui, amenés par les eaux dans leur gisement actuel, y ont subi une agglomération due à un ciment siliceux qui s'y est développé après coup. De ces deux roches, la plus pure est le quartz cristallin, minéral unique ; les quartzites sont plus ou moins purs, suivant que leur ciment est moins ou plus abondant et moins ou plus chargé d'impuretés.

Le *quartz cristallin* examiné au microscope se révèle comme formé d'un assemblage de petits cristaux étroitement accolés; les rares impuretés ne peuvent provenir que des nombreuses inclusions que l'on remarque souvent dans les cristaux et qui donnent parfois au quartz un aspect laiteux. La teneur en silice atteint 99 %.

Le *quartzite détritique* présente au microscope un assemblage de petits grains de quartz à contours plus ou moins réguliers. Tantôt ces grains sont étroitement accolés et l'on n'observe que très peu de ciment s'insinuant avec peine entre les joints et dans les pores, c'est le cas des quartzites paléozoïques d'origine géologique ancienne (terrains primaires); l'agglomération s'y est même souvent produite uniquement par le développement des grains de quartz qui se sont nourris de silice jusqu'à venir en contact intime les uns avec les autres. Tantôt les grains sont complètement enrobés dans un ciment

abondant, microgrenu le plus souvent, parfois amorphe; c'est le cas de certains quartzites tertiaires. La teneur en silice des quartzites est variable, elle peut aller de 88 à 98 %.

Ceci posé, deux points sont à considérer dans l'examen d'une roche étudiée au point de vue de son aptitude à la fabrication de bonnes briques de silice: d'une part, son point de fusion; d'autre part, sa variation de volume au feu.

Le point de fusion dépend de la teneur en fondants, c'est-à-dire des éléments formant avec la silice les composés plus fusibles à haute température. Ce sont des éléments basiques tels que l'alumine et le fer, les alcalis et les terres alcalines. Une teneur en silice trop faible rend donc la roche inutilisable; cette teneur est jugée convenable aux environs de 95 ou 96 %.

Ces bonnes briques de silice augmentent de volume, se gonflent d'un certain pourcentage à la première cuisson; elles doivent ensuite conserver leurs dimensions.

On sait que tous les corps se dilatent à la chaleur; il en est de même pour les grains de quartz qui présentent, en outre, la particularité de se gonfler d'une manière permanente en raison des changements d'état de la silice. Or, quand les grains de quartz sont directement accolés, ils ne peuvent trouver à l'intérieur de la roche elle-même d'espace où ils puissent s'étendre; par suite, la roche elle-même se gonfle de 8 à 10 % à la première cuisson. Ils n'ont aucune valeur pour la fabrication des briques de silice, malgré leur pureté, et celles qu'on a tenté d'en fabriquer sont de mauvaise qualité; elles gonflent de 8 à 10 % dès la première cuisson et se désagrègent ensuite complètement sous le marteau.

Il semble que les grains de quartz puissent trouver un espace permettant librement leur gonflement s'ils se trouvent enrobés dans un ciment qu'ils peuvent comprimer grâce à l'élasticité relative que donne à ce ciment le grand nombre de ses joints. Aussi les conditions sont-elles déjà meilleures dans les quartzites paléozoïques qui possèdent un peu de ciment se glissant entre les grains et dans les pores. Leur gonflement au feu dépend de leur teneur en silice; on ne peut donner ici de chiffres fermes, car les résultats diffèrent avec chaque variété; à une teneur élevée en silice correspond toujours un fort gonflement à la première cuisson, et avec une teneur plus faible on observe un gonflement moins important qui augmente avec le nombre des cuissons.

Les quartzites qui ont donné les meilleurs résultats sont ceux qui possèdent un ciment abondant dans lequel les grains de quartz sont enrobés, c'est-à-dire les bons quartzites tertiaires qui présentent de plus l'avantage d'avoir des grains beaucoup plus petits en moyenne

que ceux des quartzites tertiaires grossiers et des quartzites paléozoïques. Ils ne se gonflent que de 4 % à la première cuisson et le gonflement va en diminuant aux cuissons successives, 2 %, puis 1 %, 1/2 %. Après huit cuissons, il n'y a plus de changement de volume.

Ainsi donc, si l'examen microscopique indique que la roche est un quartz cristallin, il faut la rejeter. La roche est-elle détritique, mais les grains de quartz primaires y ont-ils la prédominance sur le ciment qui ne fait que s'insinuer entre les joints et dans les pores comme c'est le cas dans les quartzites paléozoïques et les quartzites tertiaires grossiers, le gonflement au feu qui en découle ne permet pas de fabriquer avec ces quartzites des briques de silice de qualité supérieure. Constate-t-on, enfin, la présence d'un ciment abondant, il n'y a plus d'inquiétude à avoir sur la teneur au feu et il n'y a plus à considérer que le point de fusion, dont l'élévation dépend de la rareté des impuretés. Avec un peu d'expérience, l'examen microscopique lui-même permet d'évaluer la quantité de ces impuretés en observant les éléments étrangers qui se trouvent dans la roche. Dans tous les cas, il n'y aurait pas lieu de soumettre de prime abord à l'analyse chimique une roche examinée, car cette analyse ne donne qu'un résultat unilatéral et facilement trompeur. Il faut d'abord effectuer l'examen microscopique dans le sens exposé; s'il donne de bons résultats, on le complétera par la détermination du point de fusion et l'on pourra se passer de l'analyse chimique plus longue et plus coûteuse.

Tel est ce point de vue allemand. C'est en s'appuyant sur ces théories, en même temps que sur de bons résultats de fabrication, que les producteurs allemands offraient en France, avant la guerre, les quartzites tertiaires du pays rhénan, du Westerwald, par exemple.

Le classement allemand comporte donc :

- 1° Quartz cristallin (et silex), à rejeter;
- 2° Quartzites pauvres en ciment (le plus souvent paléozoïques), souvent médiocres;
- 3° Quartzites riches en ciment (certains quartzites tertiaires), les meilleures.

Les Allemands choisissaient généralement les meilleurs quartzites tertiaires à grains fins et à ciment abondant, à point de fusion élevé.

Un quartz convenable pour la fabrication des briques « Dinas » contient en moyenne :

SiO ₂	97,5
Al ² O ₃	1,5
Fe ² O ₃	0,5

La composition chimique d'une des meilleures qualités de « Dinas » est la suivante :

	I	II	III
SiO ₂	95,19	96,18	96,28
Al ₂ O ₃	1,47	1,39	1,00
Fe ₂ O ₃	1,18	0,68	1,08
CaO.....	1,48	0,99	1,06
	99,32	99,24	99,42

Les roches lavées sont cassées au marteau, concassées et broyées dans divers appareils, de façon à obtenir une proportion convenable de grains et de sable quartzeux très fin. Ceci est une condition indispensable au point de vue de la dilatation.

Pour agglomérer la matière première, on emploie de la chaux dans une proportion qui ne dépasse pas 2 %. La chaux est utilisée sous forme de lait de chaux soigneusement débarrassé des impuretés et des parcelles non éteintes; à cet effet, on fait passer le lait de chaux dans un tamis de 25 mailles au centimètre carré.

Le façonnage à la main dans des moules donne des produits de meilleure qualité que celui à la machine. L'ouvrier projette la pâte dans un moule qui, par suite de l'augmentation de volume à la cuisson, doit être d'environ 3 à 4 % plus petit que les pièces cuites. Il estampe à la main, bat la pâte avec un pilon de bois recouvert de zinc et retourne le moule sur une feuille de tôle; on évite le contact de l'air humide, aussi laisse-t-on les briques au séchoir jusqu'à l'enfournement. Celui-ci terminé, on allume le four et on entretient pendant vingt-quatre heures environ un feu très faible, ensuite on monte rapidement au grand feu que l'on maintient jusqu'à la température de 1.650° (chiffre pris dans l'ouvrage original, c'est probablement 1.450° C). Une condition essentielle de bonne qualité est un refroidissement lent.

Les briques allemandes le plus couramment employées en France, avant la guerre, étaient les briques « Dinas » d'Allemagne, dont les meilleures provenaient de la firme « Stella ».

La température de fusion était généralement comprise entre 1.710 et 1.730°, et la densité absolue environ 2,47.

Les fragments de matières premières présentent à peine un début

de transformation de la silice, ce qui explique la densité relativement élevée ; par contre, il y a déjà développement de tridymite dans la pâte. La température de cuisson devait être de 1.450°, les bons quartzites allemands employés ayant un allongement faible, de 9,25 % environ.

B. — FABRICATION FRANÇAISE DES BRIQUES DE SILICE

L'Instruction provisoire de la Commission des Produits réfractaires du Ministère de l'Armement a fourni, en 1917, des éléments utiles à la fabrication des briques de silice.

Nous rappelons ces indications en y ajoutant quelques remarques que l'expérience a pu suggérer depuis à ceux qui se sont occupés de ce genre de fabrication.

I. — Constitution de la pâte

a) *Préparation des matières premières.* — On broie d'abord les roches avec un concasseur à mâchoires. Les uns écrasent les roches concassées sous des meules verticales de poids connu pendant un temps que l'expérience indique. Par cette méthode, malgré toutes les précautions que l'on peut prendre, on ne peut avoir aucune indication précisée sur la composition mécanique des grains broyés, à cause des différences de résistance à l'écrasement des roches provenant d'un même gisement et de la difficulté pratique de régler sous les meules verticales le temps de l'écrasement des roches. Par ce procédé de broyage, les grains de certaines matières se trouvent arrondis sur leurs angles. D'autre part, après avoir écrasé la roche sous les meules verticales, on fait subir un blutage sommaire qui permet un classement.

Quelques-uns, au lieu de meules verticales, emploient pour le broyage des cylindres qui écrasent sans arrondir les angles. Ils procèdent aussi à un blutage rationnel avant de mélanger avec la chaux.

La matière première est tamisée et classée en trois grosses :

1° Les grains anguleux, à arêtes vives, de 2 à 3 millimètres, constituant la *grenaille*, environ 40 %;

2° Les grains de 0,5 à 2 millimètres en moyenne, constituant le *menu*, environ 35 %;

3° Le *fin impalpable* ou *farine*, traversant le tamis n° 200, soit 4.900 mailles au centimètre carré (mailles de 0^{mm} 05).

La grosseur des grains, la proportion de grenaille, de menu, de fin, dépendent avant tout de la qualité de la matière première et de son allongement. Si ce dernier est faible, on pourra employer des grains assez gros; s'il est important, on devra se servir d'une mouture plus fine pour éviter les fendillements des briques à haute température sous l'influence des gros grains à forte dilatation.

Enfin, il faudra effectuer un triage soigné des matières premières, de façon à éliminer les roches de mauvaise qualité.

b) *Agglomérants.* — Les fabricants français de briques de silice ont adopté l'addition à la roche siliceuse d'un agglomérant, généralement la *chaux éteinte*, dont la proportion ne dépasse pas habituellement 2 %. Cette proportion facilite notamment l'obligation de donner à la pâte humide de la brique pressée une solidité suffisante pour son transport au séchoir, puis son empilage dans le four de cuisson; on admet quelquefois qu'une augmentation de 1 % de la teneur en chaux produit un abaissement de 50° environ de la température de fusion de la brique.

Quelques fabricants font varier légèrement cette proportion et font intervenir des additions de matières étrangères en petite quantité, tels que l'argile, l'oxyde de fer. Ils n'ont pas envisagé la possibilité de fabriquer des produits avec des mélanges plus riches en chaux et oxyde de fer, bien que ces mélanges possèdent des propriétés réfractaires aussi avantageuses que celles des produits à 2 % de chaux.

Dans certaines roches, l'alumine se trouve à l'état d'argile; lorsqu'on la broie finement, on met l'argile en liberté; les produits de silice faits avec ces roches n'exigent qu'une très petite quantité de chaux pour bien s'agglomérer.

M. Bied, après une série d'expériences intéressantes, a trouvé que l'addition à un mélange déterminé de 1 % de chaux hydraulique et de 2 % de pyrites grillées n'avait abaissé le point de fusion que de quelques degrés. Il faut remarquer toutefois que le fer seul ne donne pas d'agglomération; il ne permet pas la formation du réseau de tridymite, aussi sera-t-il nécessaire de l'associer à la chaux.

On doit également attirer l'attention sur le fait que plus le fin est impalpable, plus il permet d'obtenir le résultat cherché en réduisant l'addition de chaux. C'est ainsi que l'usine de Firminy-les-Dunes se trouve bien d'une proportion de chaux de 0,6 % de la masse totale.

D'autre part, M. A. Bigot a montré que, dans certains cas, l'impalpable renferme une quantité notable d'alumine sous forme d'argile qui, en présence de la silice et de la chaux, forme un composé assez fusible; plus il y a de fin, plus la proportion d'alumine aug-

mente et plus le mortier fin entourant les grains de silice est fusible. Si l'impalpable contient une proportion notable d'alumine (6 à 10 %), son point de fusion diminue au fur et à mesure qu'on augmente la proportion de chaux.

c) *Fondants.* — Le point de fusion de la roche dépend de sa teneur en fondants, c'est-à-dire en éléments formant avec la silice des composés plus fusibles à haute température. Ce sont des éléments basiques tels que : alcalis, alumine, fer, magnésie et chaux.

D'après M. Bigot, la présence de matières étrangères en excès, telles que chaux, magnésie, oxyde de fer, n'abaisserait pas sensiblement le point de fusion, à la condition que l'alumine ne dépasse guère 2 à 2,5 %.

Des briques contenant :

Silice, 87 %; chaux, 5 %, oxyde de fer, 8 % résistent sans déformation à des cuissons prolongées entre 1.700° et 1.730°.

La proportion de silice n'est pas le seul facteur qui détermine la résistance pyrométrique et, en imposant dans les cahiers des charges la proportion de 95 % de silice, on s'est basé non pas sur des expériences, mais sur des habitudes. Il est vrai que les produits de silice riches en fer et en chaux ne sont pas encore entrés dans la pratique.

Dans l'état actuel de la question, la teneur en fondants doit être d'environ 5 %.

Ainsi que le fait remarquer M. Le Chatelier, « il est indispensable, si l'on fabrique l'impalpable avec des sables plus purs que les quartzites employés, d'ajouter à ces sables une quantité d'alumine et de fer égale à celle que renfermaient les dits quartzites. Cette proportion est habituellement de 2 %. Si l'on emploie du sable de Fontainebleau à 99,5 % de silice, il faudra y ajouter 2 % de fer et d'alumine, ce qui peut se faire en ajoutant au sable à broyer 5 % de déchets de briques rouges ordinaires. Si, au contraire, on emploie des sables ferrugineux comme ceux de Clamart, il pourrait même se faire qu'ils soient trop impurs et il faudrait alors les couper avec du sable plus pur et bien blanc de Fontainebleau pour arriver toujours à la teneur de 2 % d'oxydes basiques. Cette recommandation est d'autant plus importante qu'il n'est pas certain que l'on puisse cuire utilement des briques qui ne renfermeraient comme fondant que de la chaux sans fer ni alumine. En effet, les silicates de chaux pure les plus fusibles ne fondent qu'à 1.450°, température supérieure à celle de cuisson de la plupart des briques de silice, tandis que les silico-aluminates et les sillco-ferrites de chaux commencent à fondre dès 1.150°. Cette

fusion est indispensable pour la recristallisation du réseau de tridymite ».

d) *Humidité*. — La pâte est complétée par l'addition aux éléments solides d'environ 10 à 15 % d'eau, du poids de la matière sèche. La quantité d'eau doit augmenter lorsqu'il y a dans la masse une forte proportion d'impalpable. Il y a d'ailleurs intérêt à employer la plus forte quantité d'eau compatible avec la possibilité du transport des briques moulées sans déformation. En effet, la résistance des briques après séchage et cuisson est d'autant plus grande que la quantité d'eau ajoutée à la pâte est plus élevée. De plus, les briques gâchées trop sec ont une tendance à se fendre à la cuisson suivant les plans de superposition des couches de matières versées successivement dans le moule; c'est le phénomène dit de la schistosité. Dans l'eau à ajouter il faut tenir compte de celle qui a pu déjà être introduite, la chaux étant employée sous forme de lait de chaux.

II. — Préparation des matériaux

Un chapitre spécial a été consacré à la préparation des matériaux dans l'Instruction provisoire sur la fabrication des briques de silice établie par la Commission en 1917. Nous rappelons l'essentiel des indications déjà fournies en les complétant par des renseignements nouveaux et notamment par une Note de M. Le Chatelier sur la préparation de l'impalpable.

Les précautions à prendre dans la préparation des matériaux sont tout à fait analogues à celles qui président à la préparation des bétons très soignés. Il faut donc avoir :

Des produits rigoureusement propres;

Des dosages bien étudiés et correctement exécutés;

Des grenailles à vives arêtes, sans angles arrondis, sans parties écrasées, sans fentes, complètement débarrassées de poussières.

Des fins tout à fait impalpables, qui puissent happer presque sans addition de chaux.

a) *Sélection et lavage*. — Quelque soit le soin apporté à la sélection dans les carrières, il convient d'effectuer, avant la mise en fabrication, un examen très sévère de la matière première et d'en éliminer soigneusement tous les éléments étrangers ou douteux. Il est, en outre, tout à fait recommandable, si la matière a été tant soit peu souillée pendant les manutentions et le transport, de lui faire subir un lavage à grande eau. Avec les cailloux roulés, la sélection doit être particulièrement soignée et le lavage est de rigueur.

b) *Calcination préalable.* — Les matériaux à broyer étant très durs, certains industriels pratiquent une calcination préalable de la roche qui facilite la fabrication. Par cette pratique, les grains perdent de leur résistance et s'arrondissent au broyage; les matières étrangères contenues dans la roche perdent de leur qualité d'agglomérant naturel. Le résultat est nettement mauvais.

Par suite, règle générale, pas de calcination préalable.

c) *Broyage.* — La matière subit toujours, en premier lieu, un concassage. Cette opération s'effectue dans un broyeur à mâchoires. Parfois il existe deux de ces appareils en cascade, le deuxième concassant en morceaux plus menus que le premier. Les plus gros fragments sont, au besoin, brisés à la masse avant de passer au concasseur.

La matière subit ensuite une granulation.

Cette opération s'effectue généralement en plusieurs temps :

1^o Les morceaux concassés passent, en premier lieu, dans un broyeur à meules ou dans un broyeur à cylindres.

Pour que les grenailles soient à angles bien vifs, certaines précautions sont indispensables :

Le broyeur à meules doit être muni de meules *lourdes*, cinq tonnes environ; l'opération ne doit pas être trop prolongée et il doit y avoir un dispositif mécanique pour éliminer la matière dès qu'elle atteint la finesse voulue.

Le broyeur à cylindres, bien réglé, peut donner d'excellents résultats; il donne, toutes choses égales d'ailleurs, des grains à angles bien vifs;

2^o A la sortie du broyeur, les matières broyées subissent un tamisage qui en effectue le classement.

Les morceaux trop gros sont renvoyés au broyeur; la grenaille est séparée des menus et ceux-ci des éléments plus fins; ces éléments rentrent en fabrication pour produire le fin impalpable.

Pour produire le fin impalpable, le tube finisseur des usines à ciment est un appareil particulièrement à recommander. Une bonne précaution à prendre, une fois la grenaille obtenue, consiste à la laver avec soin pour en enlever toutes les poussières provenant du broyage. Pour la production de la grenaille, le broyeur à boulets doit être absolument rejeté, il arrondit beaucoup trop les arêtes des grains et introduit trop de fer dans la pâte.

Remarque. — Certains fabricants arrivent à préparer d'un seul coup un mélange satisfaisant au moyen d'un broyeur à meules. Seulement la réussite de ce procédé tient à une adaptation exacte du

matériel à la qualité propre de la matière première en ce qui concerne la granulation ainsi obtenue directement. L'obtention de cette granulation ne peut être que le résultat de nombreux essais méthodiques préalables; elle doit être contrôlée en cours de fabrication, au fur et à mesure de l'usure des meules. Il faut rappeler qu'en aucun cas les meules légères ne peuvent donner un résultat satisfaisant.

La classification méthodique de la mouture assurera une grande régularité dans la fabrication.

d) *Préparation de l'impalpable.* — Le sujet a été particulièrement traité par M. Le Chatelier, dont nous reproduisons ci-dessous les prescriptions (1) :

« La silice impalpable nécessaire à la fabrication de bonnes briques de silice ne semble pouvoir être obtenue qu'au tube broyeur à galets de silex, dit tube « Dana ».

« Les grains de quartz donnés au tube doivent, autant que possible, avoir un diamètre au plus égal au 1/50^e de celui des galets de silex. Les sables naturels fins, comme celui de Fontainebleau, semblent particulièrement recommandables.

« Le diamètre de ces grains est compris entre 0 $\frac{m}{m}$ 2 et 0 $\frac{m}{m}$ 3. L'impalpable doit avoir un diamètre dix fois moindre environ, soit 0 $\frac{m}{m}$ 02 et 0 $\frac{m}{m}$ 03. Au delà de 0 $\frac{m}{m}$ 05, les grains de quartz n'arrivent plus à se dissoudre complètement dans le fondant, de façon à former le réseau de tridymite. Pratiquement, on pourra compter comme impalpable ce qui traverse le tamis de 4.900 mailles au centimètre carré (n° 200), dont la maille a 0 $\frac{m}{m}$ 05 d'ouverture.

« Pour obtenir un bon broyage au tube, il est indispensable de lui donner une vitesse de rotation rigoureusement déterminée, que l'on calcule par la formule :

$$n = \frac{32}{\sqrt{D}}$$

n étant le nombre de tours par minute;

D le diamètre intérieur en mètres.

« Pour les vitesses trop faibles, la masse des galets glisse d'un seul bloc contre la paroi du tube, le broyage se faisant seulement alors au contact de la paroi du tube. Pour les vitesses trop fortes, la force centrifuge colle les boulets contre le tube et il n'y a plus aucun broyage. L'effet produit est maximum pour une certaine vitesse intermédiaire amenant la chute libre des boulets qui décrivent de petites paraboles à travers la section du tube.

(1) Note de M. H. LE CHATELIER au Comptoir des Fabricants de Produits de silice.

« Les conditions les plus économiques de broyage correspondent à une vitesse d'alimentation telle qu'il y ait à chaque instant dans le tube une quantité de matière à broyer représentant 15 % environ du poids des galets de silex.

« Le travail dépensé pour faire fonctionner un tube broyeur est donné par la formule

$$HP \equiv 8Q \sqrt{D}$$

« dans laquelle les lettres ont la signification suivante :

HP, travail en chevaux;

Q, poids en tonnes (1.000 kilos) de la charge : galets et matières à broyer pris ensemble;

D, diamètre en mètres de l'intérieur du tube.

« Il est sous-entendu, pour l'application de cette formule, que la vitesse de rotation est celle qui correspond à la formule donnée plus haut.

« Au démarrage brusque, il faut compter une dépense momentanée de travail dépassant de 25 % celle de la marche de régime.

« La finesse obtenue dépend de quatre facteurs principaux :

« 1^o La dureté de la matière à broyer;

« 2^o Son degré de finesse à l'entrée dans le tube;

« 3^o Le rapport du poids de matière à celui des galets;

« 4^o Le diamètre du tube.

« Pour un broyage économique, il faut régler l'admission de façon à avoir un poids de matière à broyer égal à 15 % de celui des galets. La finesse se trouve déterminée alors par les dimensions du tube. Si l'on veut augmenter la finesse en continuant à travailler dans les conditions les plus économiques, il faut augmenter le diamètre du tube, ce qui est très coûteux, puisque cela exige l'achat d'un nouveau tube; à défaut, on augmentera la finesse de la matière à l'entrée du tube ou, enfin, à défaut de ces deux procédés, souvent difficiles à réaliser, on réduira la vitesse d'admission de la matière au tube. Cela diminue le poids de cette matière par rapport à celui des boulets et augmente la finesse de mouture. Mais le travail total dépensé ne varie pour ainsi dire pas, parce que les changements du poids de la matière admise sont négligeables vis-à-vis du poids de la charge des boulets. La dépense de force motrice par 1.000 kilogrammes de matière broyée varie donc en raison inverse de cette admission.

« Enfin, le diamètre des galets doit être proportionné à la grosseur de la matière introduite, cinquante fois plus gros environ.

« Par conséquent, pour broyer un sable fin, comme celui de Fon-

tainebleau, il suffit de prendre des boulets de 10 à 15 millimètres de diamètre, ce qui augmente beaucoup le rendement du tube en multipliant le nombre des boulets et, par suite, celui des chocs produits dans l'unité de temps. »

e) *Agglomération.* — L'agglomérant habituel est la chaux, soit à l'état de lait, soit plus rarement à l'état de chaux fraîchement éteinte ajoutée en poudre fine au mélange. Ce second procédé a l'inconvénient d'introduire des fragments incuits dans la pâte et des éléments trop grossiers.

Au point de vue de la *pratique de l'opération*, dans le cas désirable où le gros, le menu et le fin ont été soigneusement séparés, il est tout à fait rationnel de mélanger d'abord intimement le fin et la chaux et d'incorporer ensuite la grenaille à ce mélange.

M. H. Le Chatelier signale les précautions suivantes :

« Il est indispensable de donner à la chaux la plus grande finesse possible. Si on emploie de la chaux en poudre éteinte à l'avance et surtout de la chaux hydraulique dont les éléments sont toujours très grossiers, comme le montre un tamisage à la toile n° 200 (4.900 mailles au centimètre carré), il semble indispensable de faire passer cette chaux au tube broyeur avec la silice, mais cela diminue nécessairement le rendement de l'appareil.

« Il est préférable, quand on a de la chaux grasse suffisamment pure, de l'éteindre par voie humide et de l'employer à cet état. On a le maximum de finesse dans l'extinction de la chaux en l'éteignant avec un excès d'eau bouillante. On peut prendre, par exemple, trois parties d'eau pour une partie de chaux. Pendant l'extinction, une partie de cette eau sera évaporée par la chaleur même de la réaction et il restera environ 2,5 parties d'eau pour une partie de chaux. Il faut connaître la composition finale du lait de chaux pour savoir dans quelle proportion l'ajouter à la masse siliceuse. Une mesure de densité de ce lait de chaux donne très rapidement le renseignement utile. On pèse un seau de capacité connue rempli de lait de chaux.

« Pour faire cette extinction à l'eau bouillante, on peut procéder ainsi. Au-dessus de la cuve où doit se faire l'extinction, on suspend un seau où l'on met 2 kilogrammes de chaux et 6 litres d'eau bouillante. La réaction commence de suite et l'ébullition devient tumultueuse. On ajoute peu à peu de la chaux et de nouvelles quantités d'eau froide, en laissant déborder la masse bouillante dans la cuve et on continue ainsi progressivement en ne faisant de nouvelle addition que quand l'ébullition s'est de nouveau rétablie, puis on continue dans la cuve même, une fois que la masse de liquide chaud

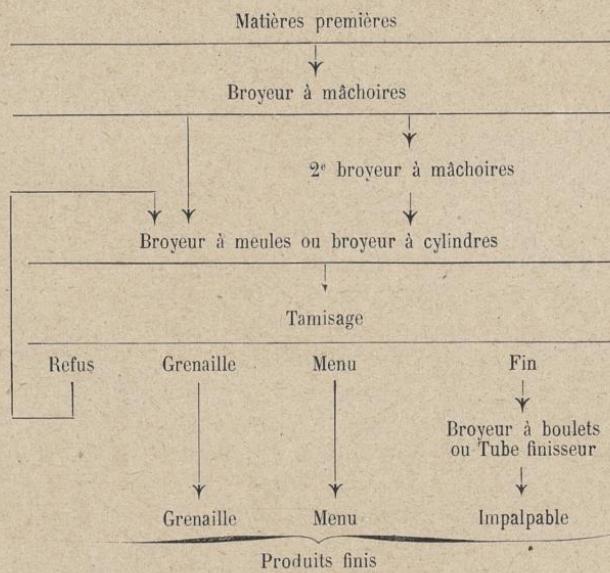
tombé est assez importante. On peut ainsi, en partant de six litres d'eau bouillante seulement, éteindre à l'eau bouillante des centaines de kilogrammes de chaux, tant que le réservoir employé en peut contenir, la chaleur étant fournie par l'extinction. »

f) *Malaxage*. — Il est recommandable de procéder à un mélange préalable suivant la méthode des maçons, en le faisant aussi homogène que possible.

L'opération se termine soit dans un malaxeur spécial, soit dans un broyeur à meules. Pour obtenir une liaison bien intime de la grenaille et de la pâte, il faut des meules assez lourdes, de deux à trois tonnes environ.

L'addition d'eau doit être suffisante pour obtenir une pâte plastique et élastique (12 à 15 % d'eau).

Le graphique ci-joint donne le schéma général des opérations.



g) *Matériel*. — Le matériel d'une usine moderne pour la fabrication des briques de silice paraît pouvoir comprendre :

- Un broyeur à mâchoires (ou deux de ces broyeurs en cascade);
- Un broyeur à meules ou à cylindres;
- Une bluterie;
- Un tube broyeur dit finisseur;
- Un malaxeur à meules;

Une presse hydraulique (dans le cas où le moulage n'est pas fait à la main).

h) *Moulage.* — Dans la plupart de nos usines, le moulage est fait à la main, avec diverses variantes (masse et plaques, tapette, damette, etc.). Il est généralement satisfaisant. Il faut naturellement veiller soigneusement au bon garnissage des angles du moule. La pâte doit être assez humide pour que l'eau ressorte légèrement au moulage et que la brique présente au démoulage une élasticité marquée.

En vue de remédier à la faible capacité de rendement de ce procédé de moulage, quelques fabricants utilisent des presses de divers modèles, principalement hydrauliques, mais il ne semble pas que cela entraîne une amélioration de la qualité. D'ailleurs la nature de la matière à presser provoque une usure bien plus rapide du matériel qu'avec des produits céramiques ordinaires.

i) *Séchage.* — Le séchage se fait généralement sur des aires chauffées, sans particularités spéciales. Nous devons toutefois conseiller de ne pas empiler les briques encore molles sur plusieurs épaisseurs, car il peut en résulter un déchet parfois considérable.

D'autre part, il importe de pousser le séchage aussi loin que possible avant l'enfournement, pour éviter, autant qu'il se peut, la cause de désagrégation tenant à un brusque départ de l'eau restante au début de la cuisson, si celle-ci n'était pas conduite d'une façon suffisamment lente au commencement.

j) *Cuisson.* — La cuisson des briques varie suivant les usines. On peut la ramener à deux méthodes.

La méthode usitée généralement consiste à cuire les briques vers 1.400° - 1.450° C pendant un temps plus ou moins long. Malgré la durée de la cuisson, la température n'est pas assez élevée pour amener la dilatation complète de la brique ni la transformation de la silice en tridymite.

L'autre méthode, pratiquée en Amérique, chez les fabricants de briques « Star », consiste à cuire les produits jusqu'à 1.600° C assez longtemps pour transformer la silice en tridymite et pour leur faire prendre son allongement maximum.

Pendant la guerre, en raison de la pénurie de charbon, c'est plutôt la première méthode qui était employée très souvent en France, et même on a eu des difficultés à maintenir les fours à 1.400° C. La méthode américaine ne semble d'ailleurs pas donner des produits préférables à ceux qui sont fabriqués en Europe avec de bons quartzites à faible allongement, composés de grains assez gros et qui,

après leur sortie du four, ne prennent pas un allongement supérieur à 2 % lorsqu'on les porte à 1.700°.

Nous renvoyons à l'Instruction provisoire de la Commission les divers détails relatifs aux fours, étudiés plus particulièrement par le capitaine Wattebled, membre de la Commission.

III. — Résumé des travaux du Comptoir des Fabricants de Produits de Silice (1)

Le Comptoir des Fabricants de Produits de Silice, constitué en France pendant la guerre, fit entreprendre par sa Commission technique, présidée par M. H. Le Chatelier, des études sur les divers facteurs susceptibles d'influencer la fabrication dans les diverses usines des adhérents du Comptoir.

Afin de préciser les conditions susceptibles de caractériser des briques de bonne qualité, il a été envisagé, dès le 30 octobre 1917, l'élaboration d'un projet de cahier des charges ayant un caractère provisoire et qui devait être complété au fur et à mesure des résultats acquis. L'étude systématique de la fabrication de chaque usine fut ensuite envisagée en prenant comme base les prescriptions de ce projet de cahier des charges. Les deux essais essentiels proposés à cette époque comportaient une mesure de gonflement et un écrasement à 1.600°.

Après quelques mois de recherches, M. H. Le Chatelier présentait à la Commission technique du Comptoir des Fabricants un nouveau projet de cahier des charges ne comportant plus d'essais à haute température. Les raisons qu'il invoquait à l'appui sont ainsi exprimées :

« Dans ce projet on renonce complètement aux essais de haute température en raison de leur imprécision. Dans les conditions actuelles, ils donneraient lieu à des contestations sans issue. Pour être intéressants, ces essais portant sur le gonflement et la résistance mécanique doivent être faits assez près du point de fusion, au moins à 1.600°. Or, à ces températures toutes les propriétés des briques varient avec une extrême rapidité; les plus légers écarts dans la température de l'essai en font varier du tout au tout les résultats. Ces études aux températures élevées, certainement très utiles dans les recherches visant l'amélioration de la fabrication des briques, ne semblent dans l'état actuel convenir ni pour les conditions de réception, ni pour le contrôle courant de la fabrication.

(1) D'après une Note de M. H. Le Chatelier communiquée par le Comptoir des Fabricants de Produits de silice.

« On peut en dire autant de l'examen microscopique, qui exige une grande habileté et a, de plus, l'inconvénient de ne comporter aucune mesure. Il ne renseigne d'ailleurs pas exactement sur la proportion de tridymite formée, les cristaux les plus fins échappant à l'observation. Les essais de réception proposés ici seront donc des essais de réception à froid qui ont l'avantage de comporter une précision relativement élevée. Ils seront au nombre de trois, choisis de façon à contrôler les conditions essentielles de bonne fabrication.

1^{er} ESSAI. — *Proportion des sulfates*

« *Briques de 1^{re} qualité.* — Résultat de la brique moyenne, $\leq 12\%$; aucun résultat partiel supérieur à 13% .

« *Briques de 2^e qualité.* — Résultat de la brique moyenne $\leq 14\%$; aucun résultat partiel supérieur à 15% .

« Cet essai donne une garantie partielle de non-fusibilité.

2^e ESSAI. — *Densité absolue*

« *Briques de 1^{re} qualité.* — Brique moyenne, $\leq 2,40$; aucun résultat $> 2,42$.

« *Briques de 2^e qualité.* — Brique moyenne $\leq 2,45$; aucun résultat $> 2,50$.

Cet essai donne une garantie partielle de bonne cuisson. Il est illusoire avec les quartz facilement transformables.

« Les briques ne rentrant pas dans le 1^{er} choix comme densité peuvent être considérées cependant comme susceptibles d'un bon usage lorsqu'elles conservent après deux chauffages à 1.600° , pendant une heure, une résistance mécanique suffisante.

3^e ESSAI. — *Résistance à l'écrasement à froid*

« *1^{re} Qualité.* — Brique moyenne, résistance > 200 kilogrammes par centimètre carré; aucun résultat < 150 kilogrammes par centimètre carré.

« *2^e Qualité.* — Résistance < 100 kilogrammes par centimètre carré; aucun résultat ≤ 75 kilogrammes par centimètre carré.

« Cet essai donne une garantie de présence d'impalpable et de bonne cuisson. Il est particulièrement important pour les briques fabriquées avec les quartz facilement transformables. » .

D'autre part, la Commission technique du Comptoir des Fabricants de Produits de Silice, estimant que la régularité des produits est de la plus grande importance pour le consommateur, alors qu'il est

assez facile d'obtenir cette régularité par un service de contrôle, émettait l'avis que :

« Dans toute usine du Comptoir, un service de contrôle chargé de vérifier d'une façon incessante la régularité de la fabrication devrait être installé. Ce contrôle consisterait en mesures qui porteraient sur les points suivants :

« 1^o *Composition granulométrique des quartz broyés.* — Les échantillons devront être prélevés immédiatement avant l'addition du lait de chaux. On déterminera sur 100 grammes de matière le résidu du tamis n° 5 et du tamis n° 200.

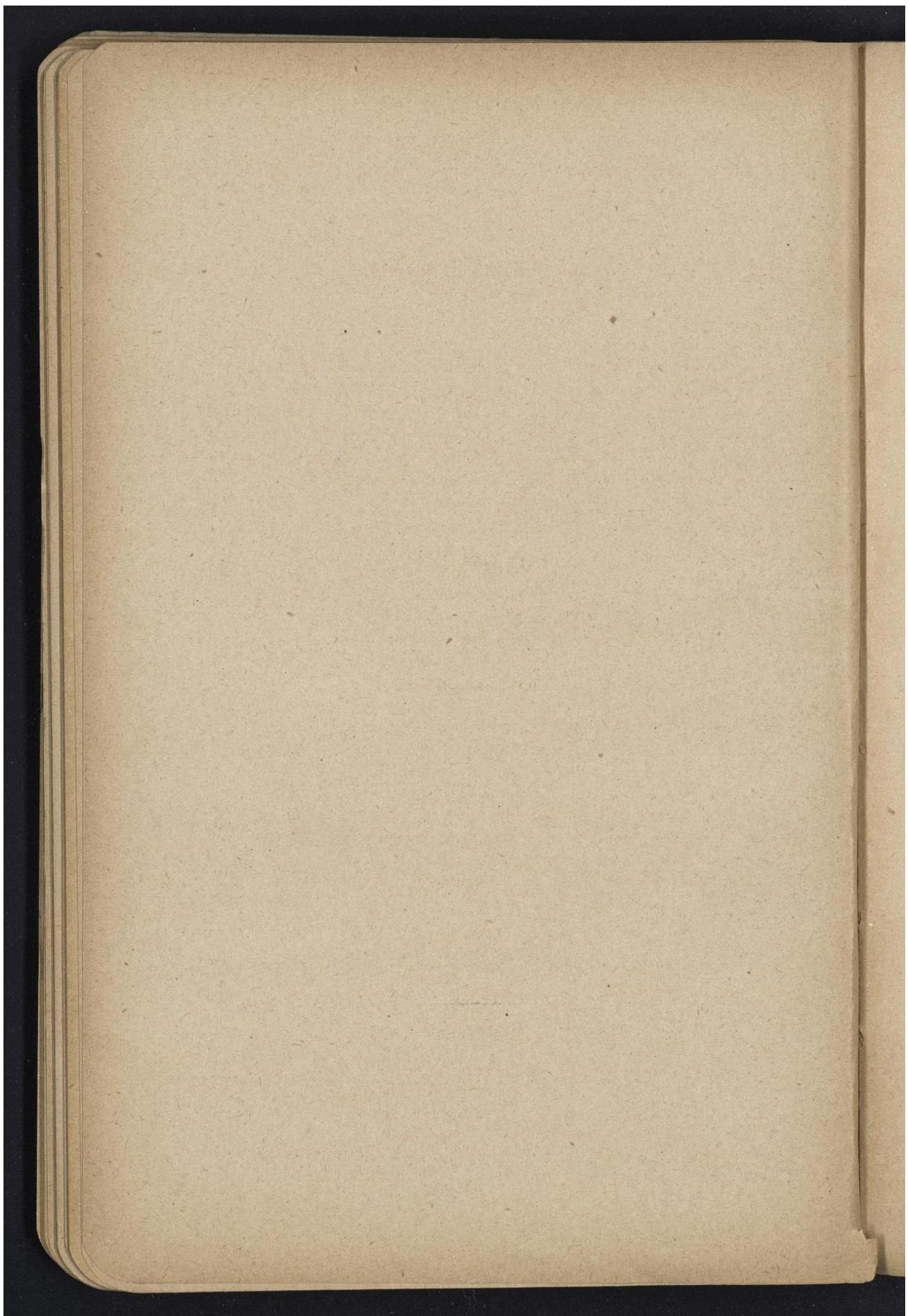
« 2^o *Poids des briques.* — Les mesures porteront d'une part sur les briques humides, prises aussitôt leur sortie du moule, d'autre part sur les briques cuites.

« 3^o *Le gonflement de la brique à la cuisson.* — On déterminera après cuisson la longueur des briques en employant le pied à coulisse et on rapprochera cette longueur de la dimension de la brique moulée avant cuisson. Pour rendre cette comparaison possible, il faut, bien entendu, que tous les moules employés dans l'usine soient de mêmes dimensions.

« On aura soin de noter la région du four où la brique a été prise. »

Enfin, le Comptoir a reconnu que les essais de laboratoire, malgré leur intérêt, ne renseignaient pas, avec un caractère décisif, sur la valeur à l'usage des briques de silice; seule l'utilisation dans les fours Martin est concluante. Encore faut-il opérer dans de bonnes conditions, en cherchant à éviter les accidents que peuvent occasionner une mauvaise mise en feu des fours.

Sur l'initiative de M. Laurent, directeur de la Compagnie des Forges et Aciéries de la Marine, un programme d'essais comparatifs dans les usines métallurgiques a été étudié par M. Damour, et les précautions nécessaires pour le mener à bien ont été prises de concert avec les acieristes et les fabricants. Le résultat présenterait un sérieux intérêt.



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Il résulte de l'ensemble des études faites par les divers chercheurs, ainsi que des observations des savants et des praticiens, et des travaux les uns scientifiques, les autres de nature semi-industrielle qu'a effectués pendant la guerre le Laboratoire d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers, que nous pouvons actuellement énoncer certaines conclusions générales qui nous paraissent susceptibles de faciliter la fabrication, nouvelle en France, des briques de silice.

A. — ESSAIS DES MATIÈRES PREMIÈRES ET BRIQUES

Les essais à préconiser sont les suivants :

I. — Matières premières

- 1^o Analyse chimique complète;
- 2^o Chauffage à 1.700° pendant quatre heures;
- 3^o Détermination de la courbe d'allongement;
- 4^o Détermination de la courbe de porosité relative;
- 5^o Détermination des densités;
- 6^o Examen pétrographique avant et au cours de ces essais;
- 7^o Fabrication de produits avec les matières convenablement broyées, additionnées de 2 % de chaux et comprimées, et soumises à :
 - α) Cuisson à 1.450° pendant quatre heures;
 - β) Cuisson à 1.700° pendant quatre heures;
- 8^o Essais physiques et mécaniques sur α) et β) comme ci-après pour les produits fabriqués.

II. — Produits fabriqués

- 1^o Analyse chimique complète;
- 2^o Chauffage à 1.700° pendant quatre heures;
- 3^o Détermination de la courbe d'allongement;

4° Détermination de la courbe de porosité relative :

- α) Sur le produit venant de l'usine;
- β) Sur le produit chauffé à 1.700°;

5° Détermination des densités apparentes et absolues :

- α) Sur le produit venant de l'usine;
- β) Sur le produit chauffé à 1.700°;

6° Examen pétrographique avant et au cours de ces essais;

7° Courbe de résistance à l'écrasement jusqu'à 1.500° sur le produit chauffé à 1.700°.

Les divers procédés d'essais sont indiqués dans le présent rapport (chap. III) ;

8° Essais méthodiques comparatifs dans les usines métallurgiques, de concert entre les acieristes et les fabricants.

B. — OBSERVATIONS GÉNÉRALES

1° *Intérêt de l'examen pétrographique*, qui permet de déterminer la nature et les caractéristiques physiques de la matière première, ainsi que les facteurs essentiels de la technique de fabrication;

2° *Concordance*, dans la plupart des cas, des prévisions déduites des examens pétrographiques avec les résultats des essais de tenue au feu ;

3° *Nécessité de compléter l'examen pétrographique par des essais physiques et mécaniques* sur des produits fabriqués;

4° *Les matières premières qui paraissent devoir être recherchées* sont les quartzites, de préférence les quartzites à ciment micro-cristallin;

5° *La densité absolue* des bonnes briques de silice est généralement $\leq 2,40$ avant chauffe et $\leq 2,35$ après deux chauffes à 1.600°, quoique certaines briques, considérées comme satisfaisantes par des spécialistes qui les emploient judicieusement, dépassent ces limites;

6° *La densité absolue* des bonnes briques après deux chauffes à 1.600°, est sensiblement la même et voisine de 2,31, comme conséquence de la transformation complète de la silice;

7° *La densité apparente* des bonnes briques est généralement $\geq 1,65$; toutefois, il ne semble pas que ce chiffre doive actuellement être considéré comme une limite nécessaire; il faut rechercher une densité apparente aussi élevée que possible;

8° La porosité relative est relativement élevée (17,9 %) dans certaines briques assez bonnes; elle est aussi parfois relativement basse (9,8 %).

De même pour les briques mauvaises.

On ne peut donc rien conclure de précis, même après deux chauffes, du chiffre même de la porosité.

9° Par contre, la variation de porosité relative avant et après deux chauffes à 1.600° s'est montrée faible (1 à 3 % au maximum) avec les bonnes briques essayées, et élevée (6 à 7 %) avec les mauvaises;

10° La porosité absolue ne varie guère; elle ne peut servir, semble-t-il, utilement;

11° La température de fusion des briques pour les fours Martin doit être $\geq 1.710^\circ$ C environ;

12° La teneur en silice est supérieure ou au moins égale à 95 % pour les bonnes briques;

13° La détermination de la proportion des sulfates fournit des indications, mais ne donnant qu'une garantie partielle de non-fusibilité;

14° Si l'allongement après deux chauffes à 1.600° (ou une chauffe à 1.700°) est élevé, la brique est mauvaise.

Il faut prendre :

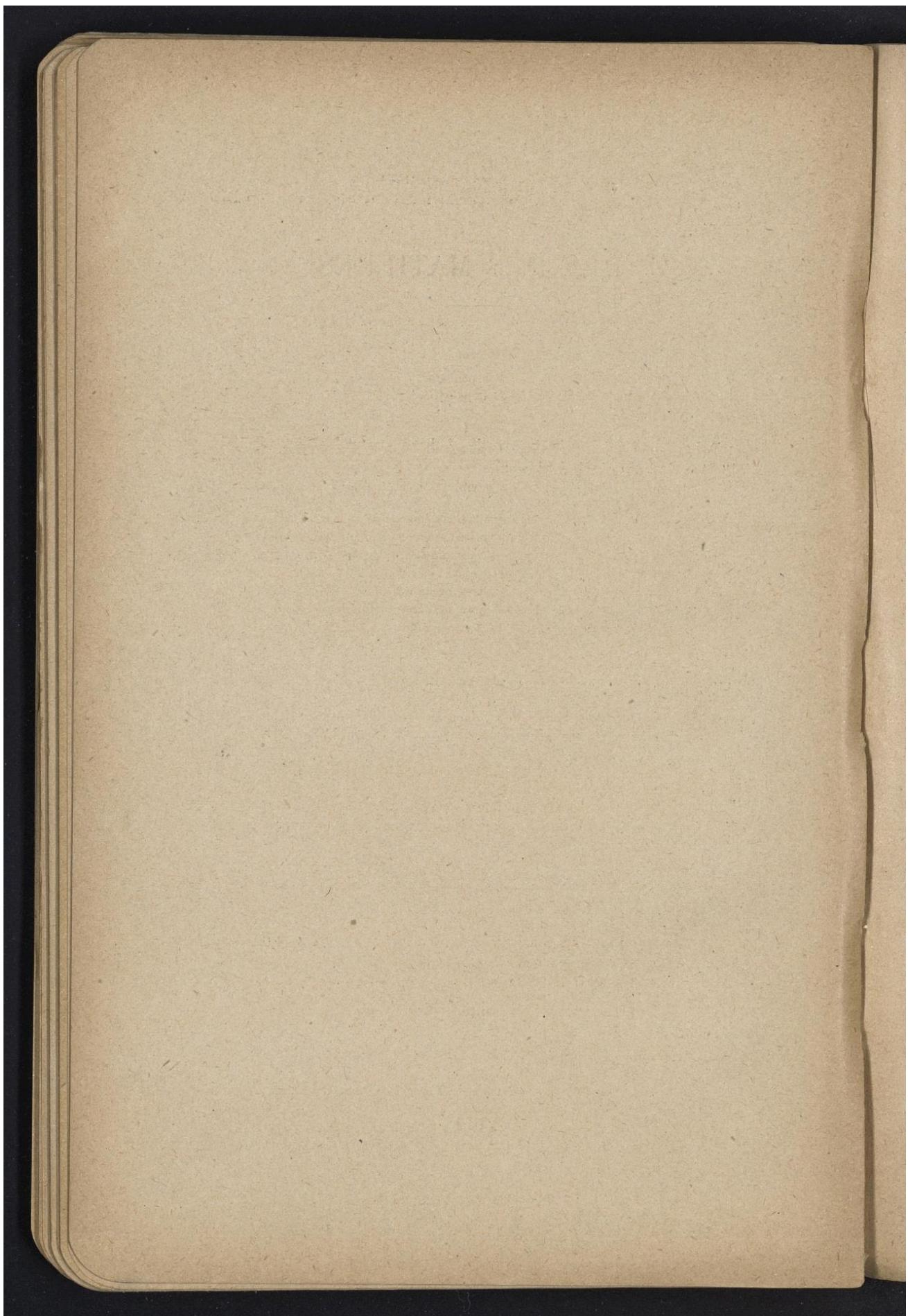
Allongement ≤ 2 à 5 % à la rigueur.

La réciproque n'est pas vraie; on éliminera déjà les mauvaises ou alors on effectuera l'essai d'allongement;

15° La résistance à l'écrasement à température ordinaire ne doit, bien entendu, pas descendre au-dessous d'une certaine limite : 150 kilogrammes par centimètre carré pour les bonnes briques; 75 pour celles de 2^e qualité. Elle ne suffit d'ailleurs pas à donner une garantie de bonne résistance à chaud.

16° La résistance à l'écrasement à 1.500° sur cubes de 2 × 2 × 2 centimètres, après deux chauffes à 1.600° (ou une chauffe à 1.700°) fournit de précieuses indications.

Les bonnes briques donnent, dans ces conditions, $R \geq 40$ kilogrammes au centimètre carré.



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires

TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
AVANT-PROPOS	
a). — L'Industrie des Briques de silice pendant la guerre.....	3
b). — Transformations allotropiques de la silice.....	7
CHAPITRE I	
Matières premières. — <i>Résumé des Travaux du Laboratoire d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers</i>	13 ^a
a). — Examen des caractères pétrographiques et géologiques de matières premières.....	13
I. — Roches formées fondamentalement de quartz.....	15
II. — Roches siliceuses formées fondamentalement de calcédoine.....	21
b). — Essais chimiques, physiques et mécaniques des matières premières.	22
Tableaux des résultats d'essais.....	24
c). — Conclusions de l'étude des matières premières.....	37
I. — Nécessité de l'étude des matières premières.....	37
II. — Matières premières à rechercher.....	37
CHAPITRE II	
Briques de silice. — <i>Résumé des Travaux du Laboratoire d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers</i>	39
a). — Etudes des caractères pétrographiques des briques de silice.....	39
I. — Briques avant emploi.....	39
II. — Briques usagées.....	44
b). — Essais chimiques, physiques et mécaniques de briques de silice....	49
Tableaux des résultats d'essais.....	50
c). — Conclusions de l'étude des briques de silice.....	51
I. — Examen pétrographique.....	51
II. — Essais chimiques.....	53
III. — Essais physiques et mécaniques.....	53
CHAPITRE III	
Modes opératoires :	
a). — Examen pétrographique.....	59
b). — Essais physiques et mécaniques.....	60
c). — Analyses chimiques.....	64
d). — Fours spéciaux utilisés.....	69
CHAPITRE IV	
Fabrication des briques de silice :	
a). — Fabrication étrangère.....	77
I. — Fabrication anglaise.....	77
II. — — — américaine.....	78
III. — — — italienne.....	78
IV. — — — allemande.....	81

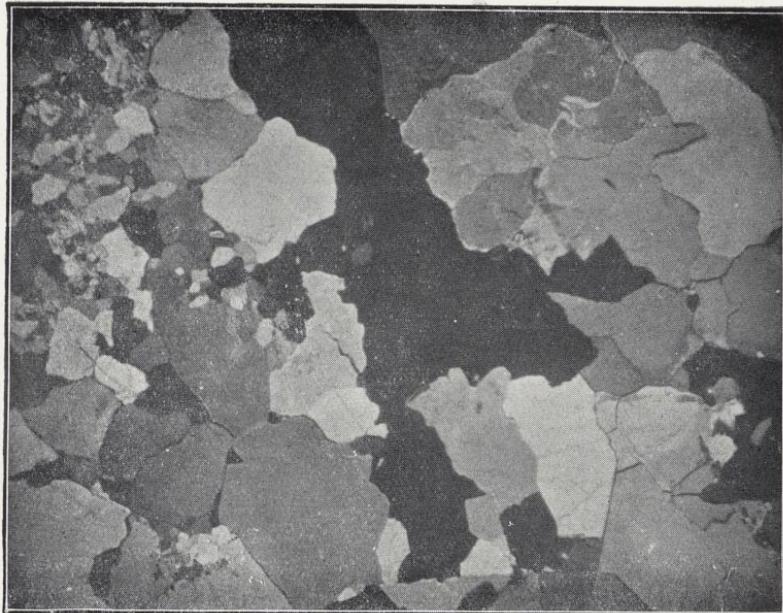
	Pages.
b). — Fabrication française.....	85
I. — Constitution de la pâte.....	85
II. — — — des matériaux.....	88
III. — Résumé des travaux du Comptoir des Fabricants de briques de silice.....	95

CHAPITRE V

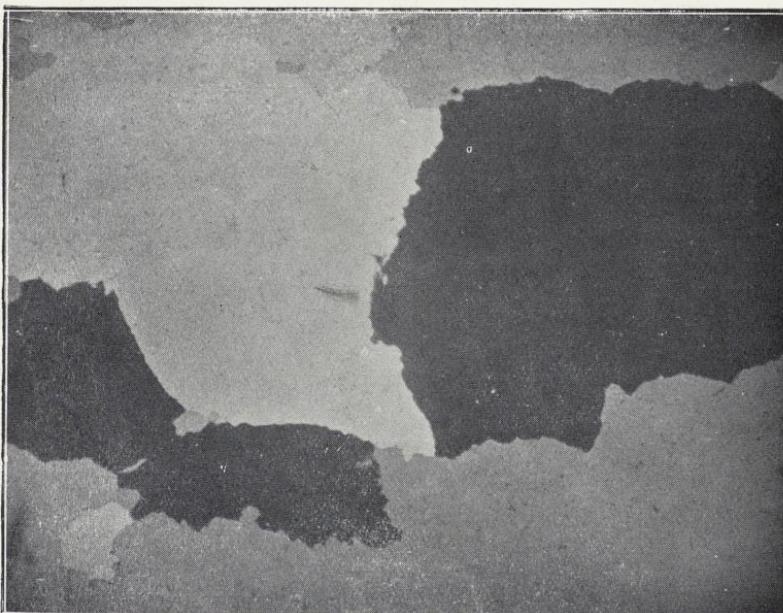
Conclusions générales :

a). — Essais des matières premières et briques.....	99
I. — Matières premières.....	99
II. — Produits fabriqués.....	99
b). — Observations générales.....	100

Marc Imhaus et René Chapelot, imprimeurs, Nancy et Paris

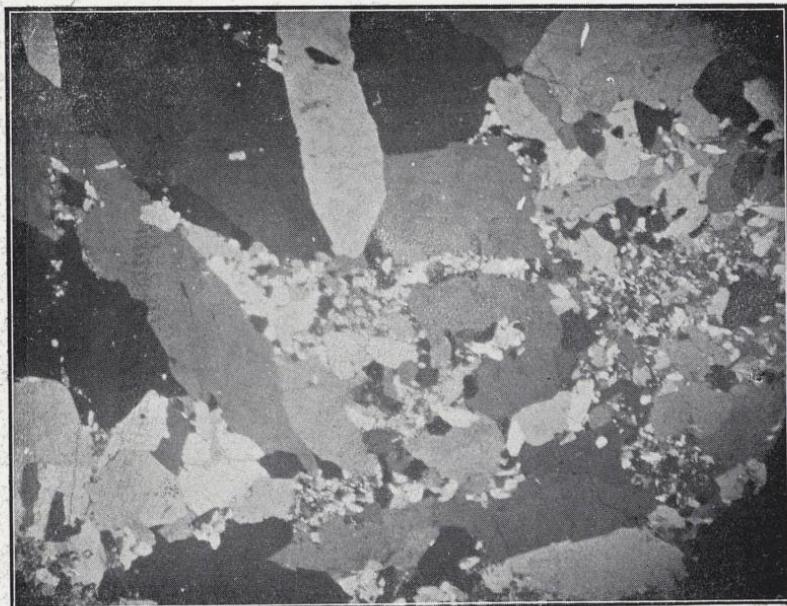


Microphotographie (1) n° 4.

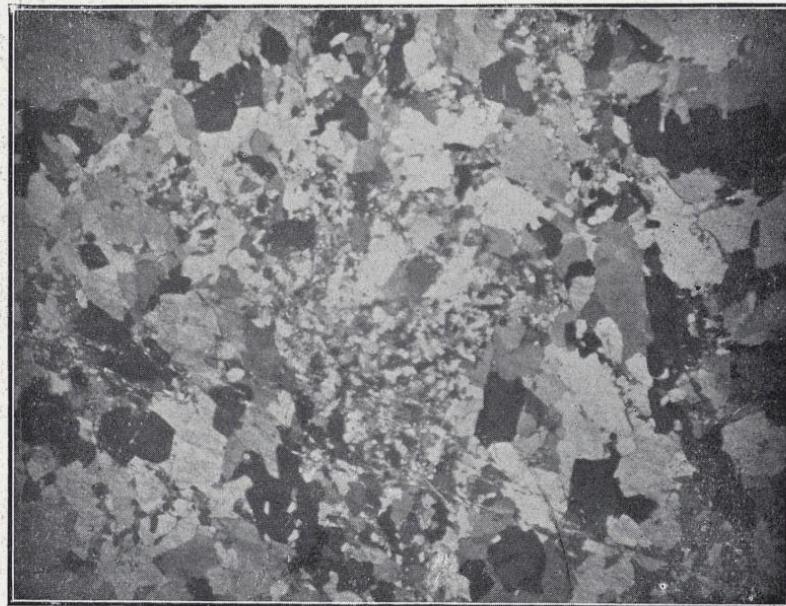


N° 2.

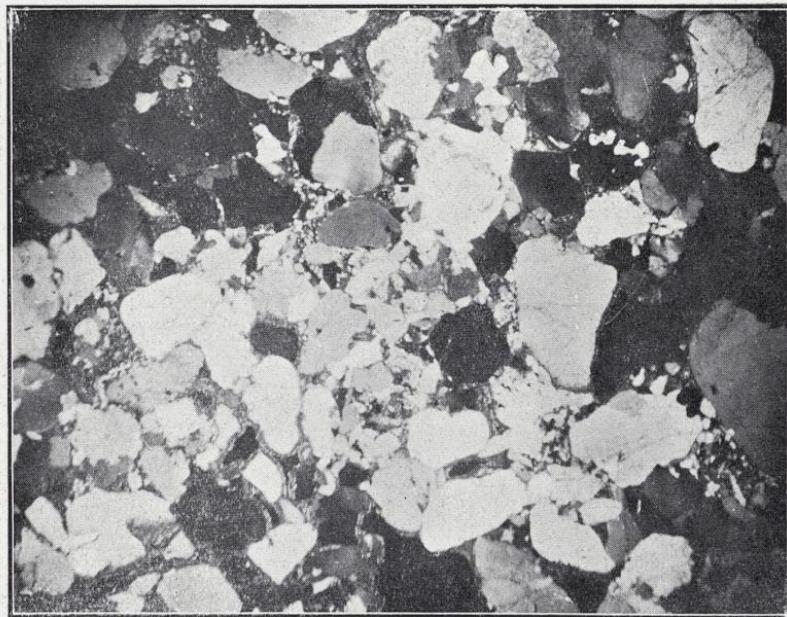
(1) Toutes les microphotographies des Pl. I-XXI ont été faites au grossissement linéaire de 15.



Microphotographie n°3 (lumière polarisée).



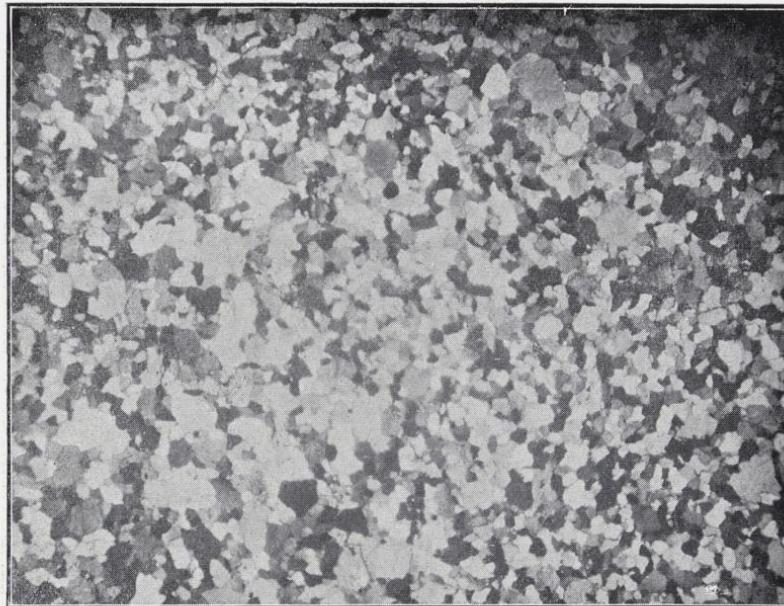
Microphotographie n°4 (id.).



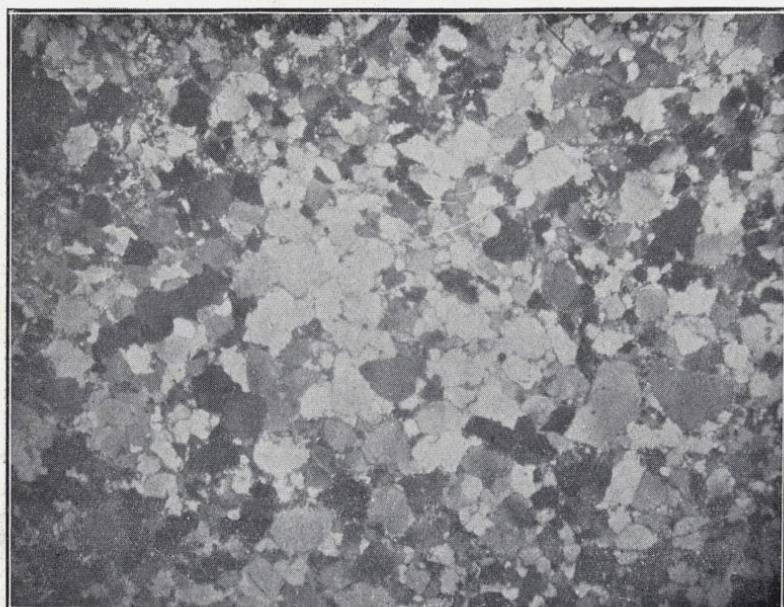
Microphotographie n° 5 (lumière polarisée).



N° 6 (id.).



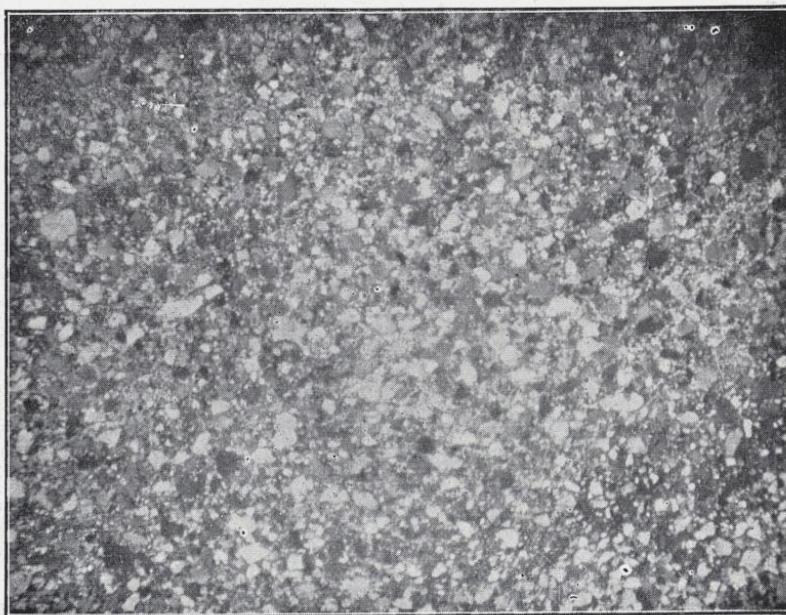
Microphotographie n° 7 (lumière polarisée).



N° 8 (id.).



Microphotographie n° 9 (lumière polarisée).



N° 10 (id.).



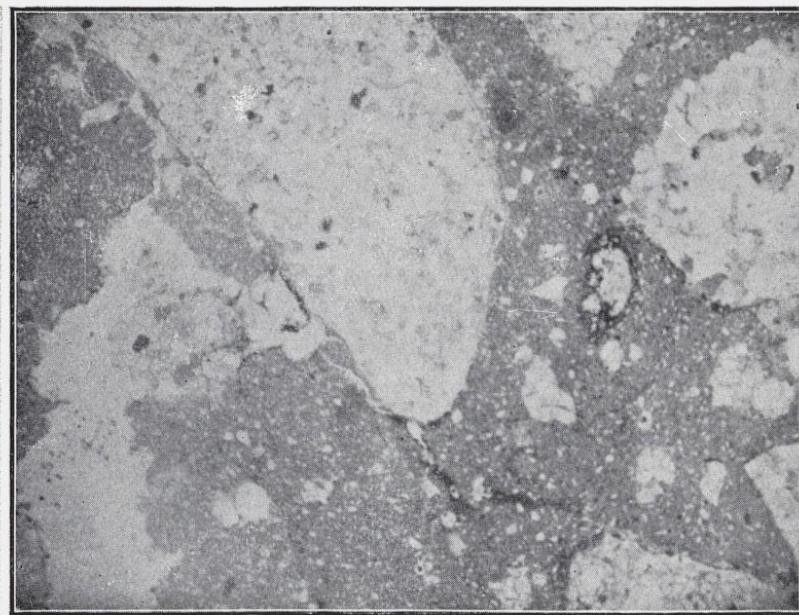
Microphotographie n° 11 (lumière polarisée).



N° 12 (id.).

BRIQUES NEUVES

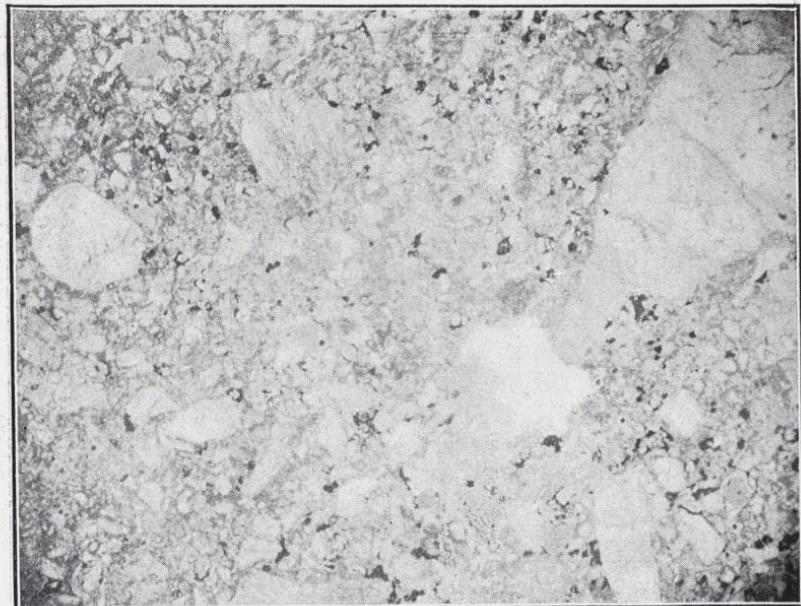
PLANCHE VII



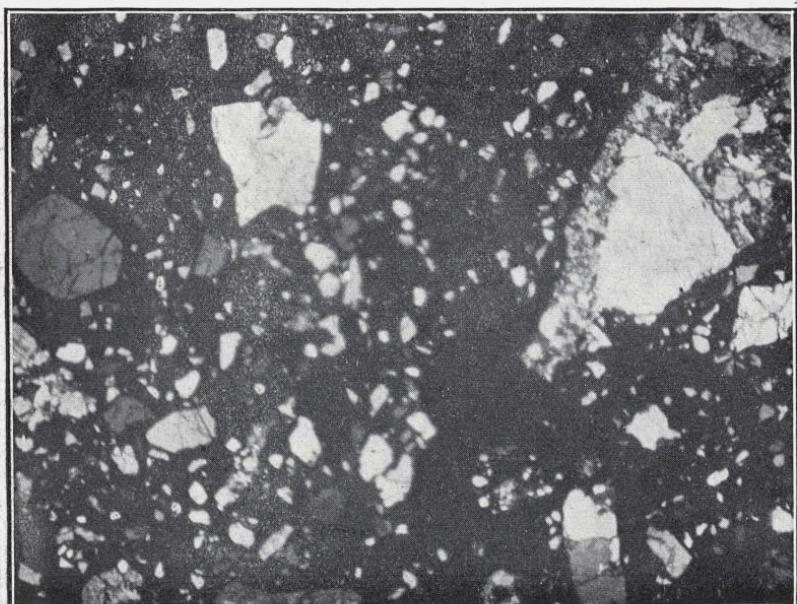
(Lumière naturelle).



(Lumière polarisée).



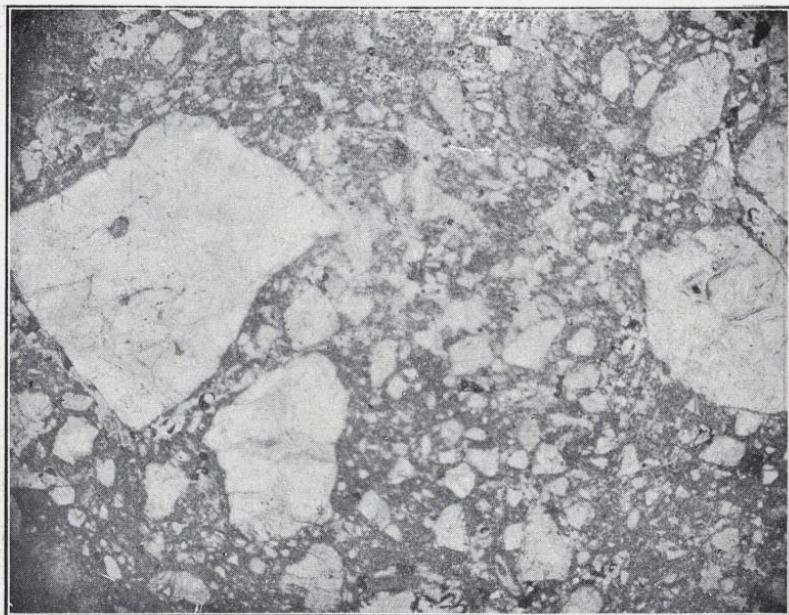
(Lumière naturelle).



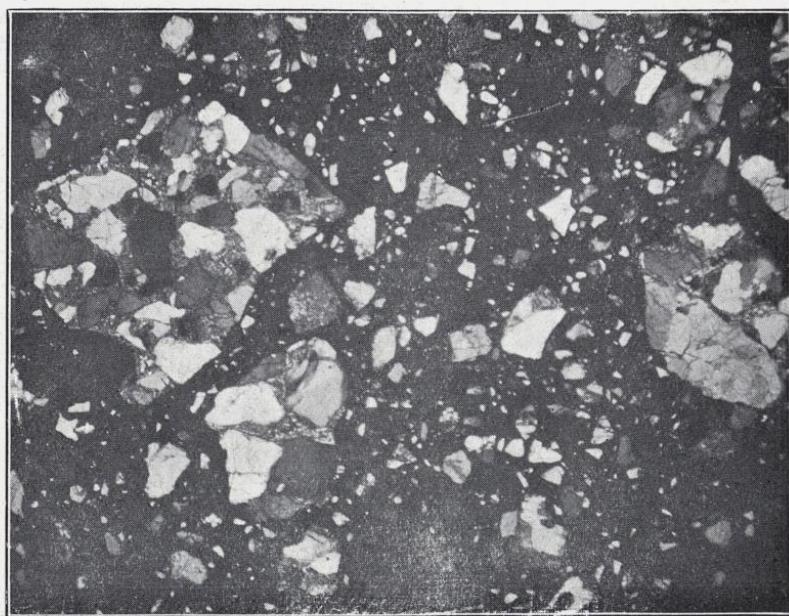
(Lumière polarisée).

BRIQUES NEUVES

PLANCHE IX



(Lumière naturelle).



(Lumière polarisée).



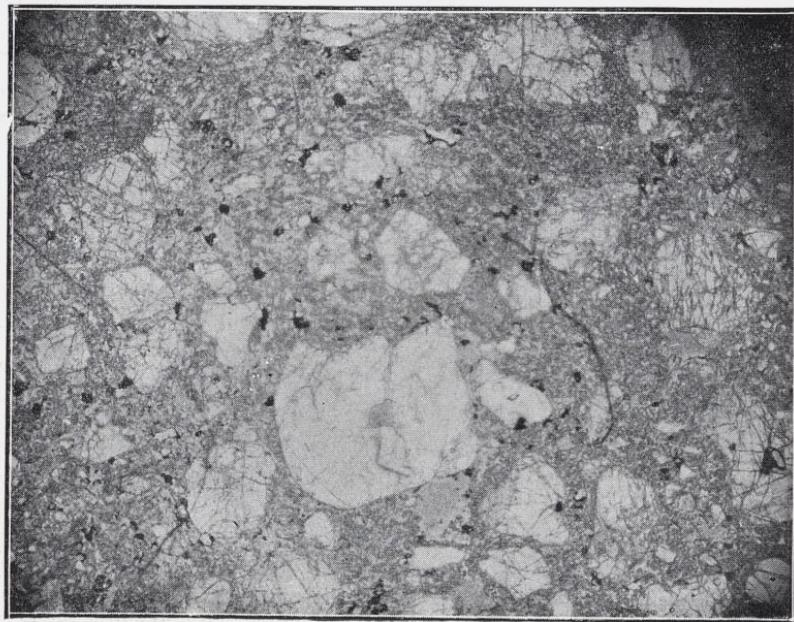
(Lumière naturelle).



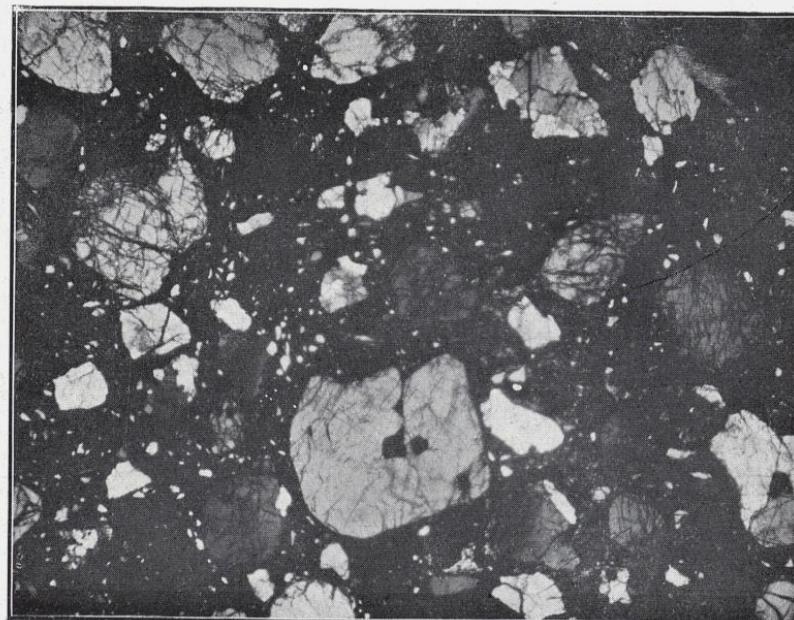
(Lumière polarisée).

BRIQUES NEUVES

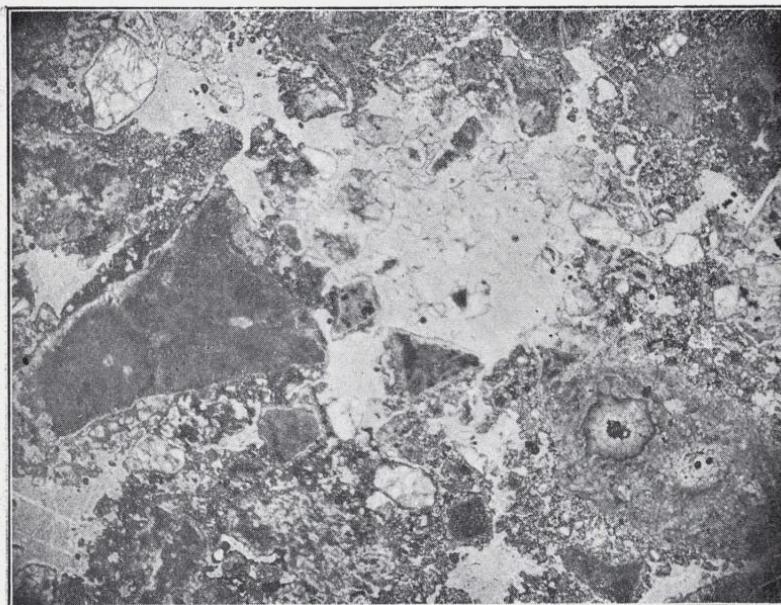
PLANCHE X



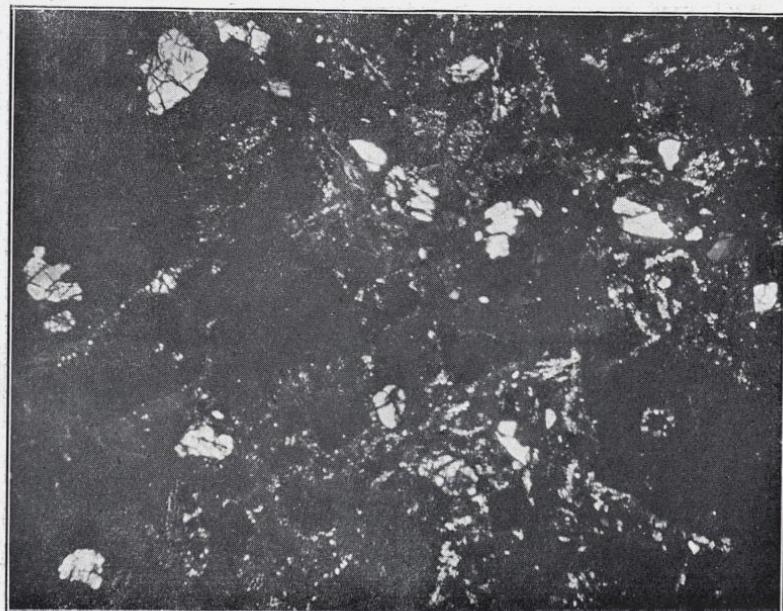
(Lumière naturelle).



(Lumière, polarisée).



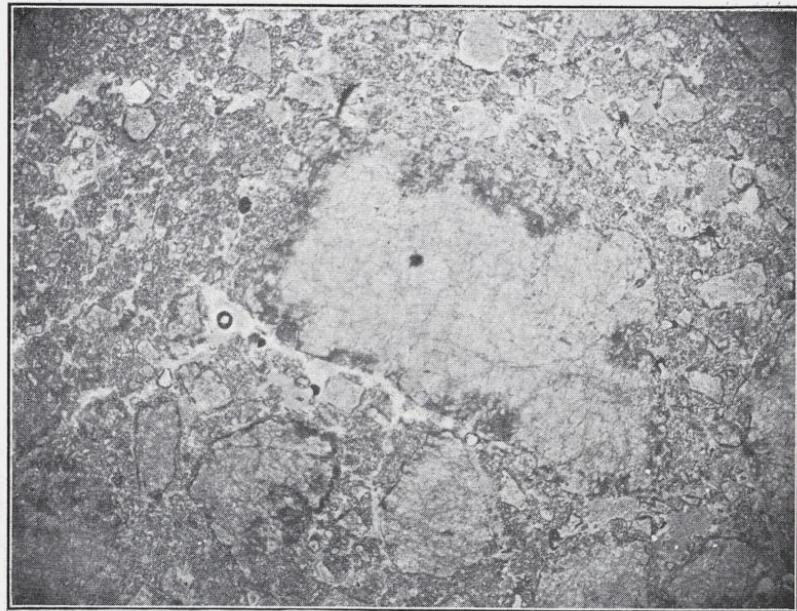
(Lumière naturelle).



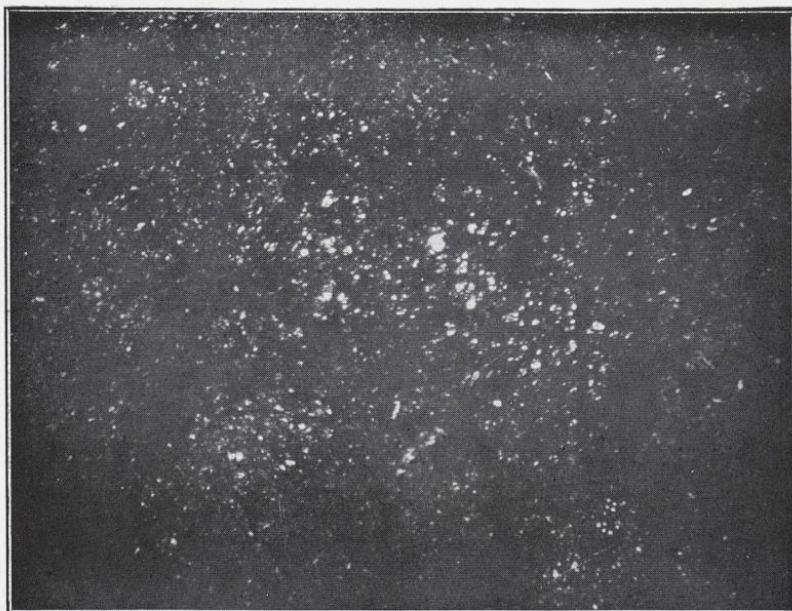
(Lumière polarisée).

BRIQUES NEUVES

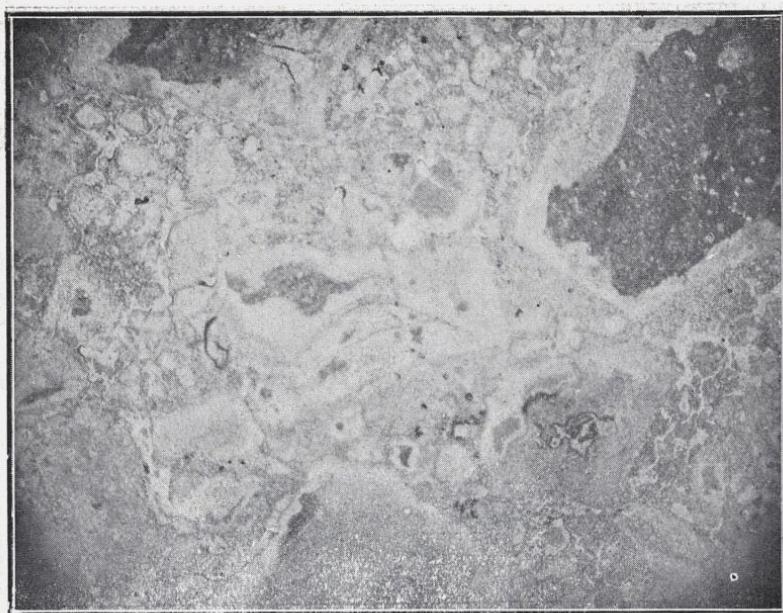
PLANCHE XIII



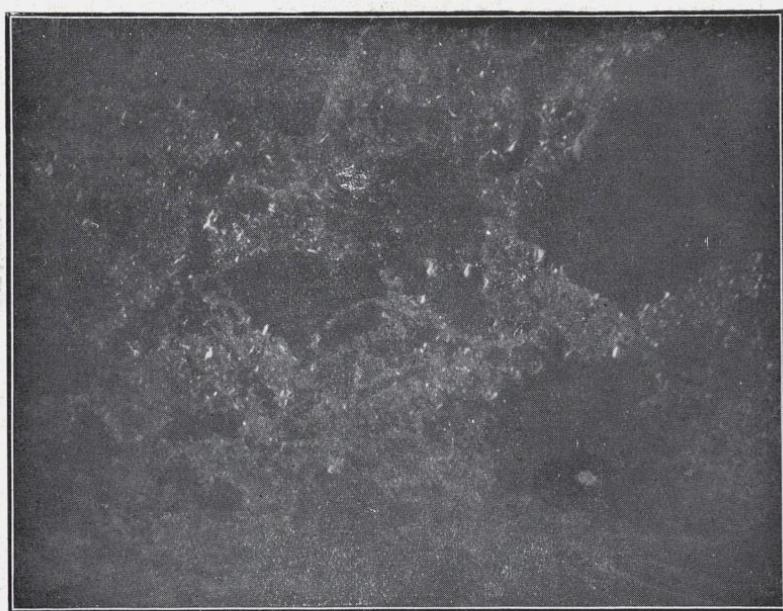
(Lumière naturelle).



(Lumière polarisée).



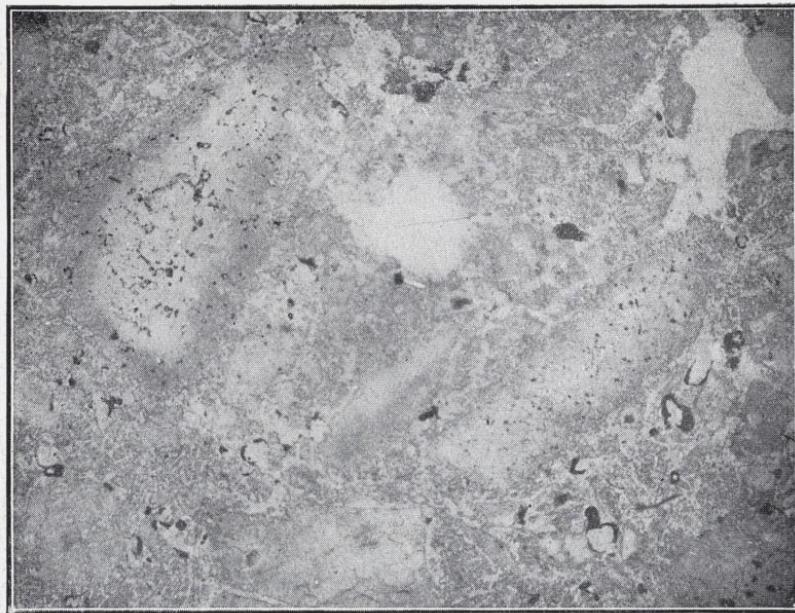
(Lumière naturelle).



(Lumière polarisée).

BRIQUES NEUVES

PLANCHE XV



(Lumière naturelle).



(Lumière polarisée).



(Lumière naturelle).

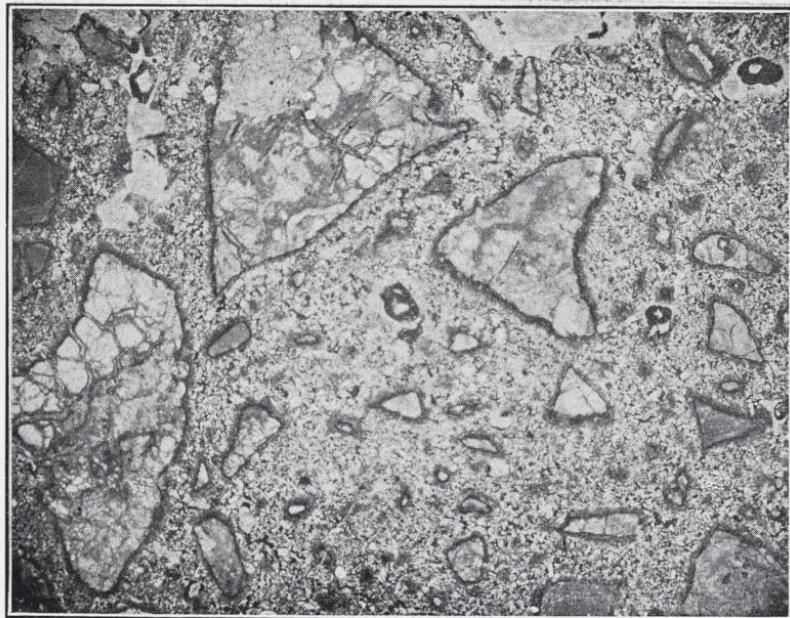


(Lumière polarisée).

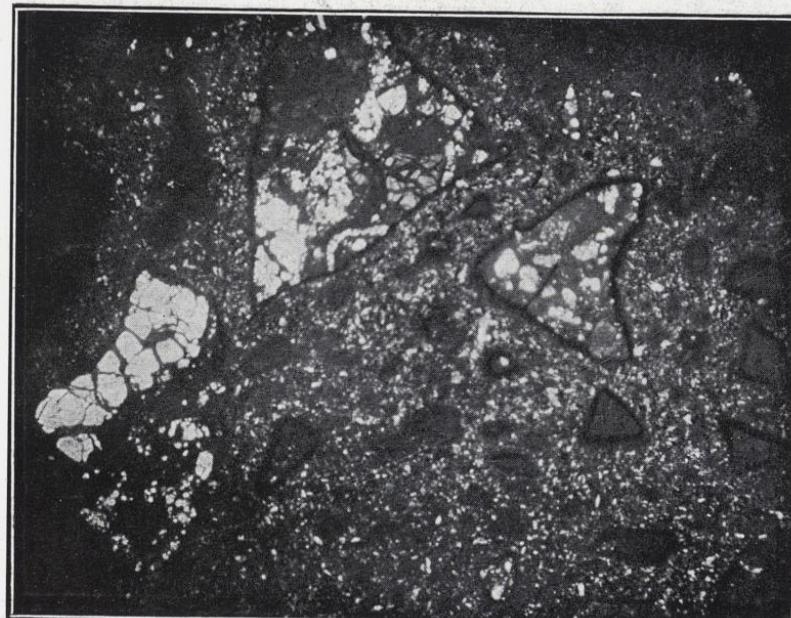
BRIQUE USAGÉE n° 1. — Tête de la brique n'ayant pas subi de transformation (Zone A).

BRIQUES USAGÉES

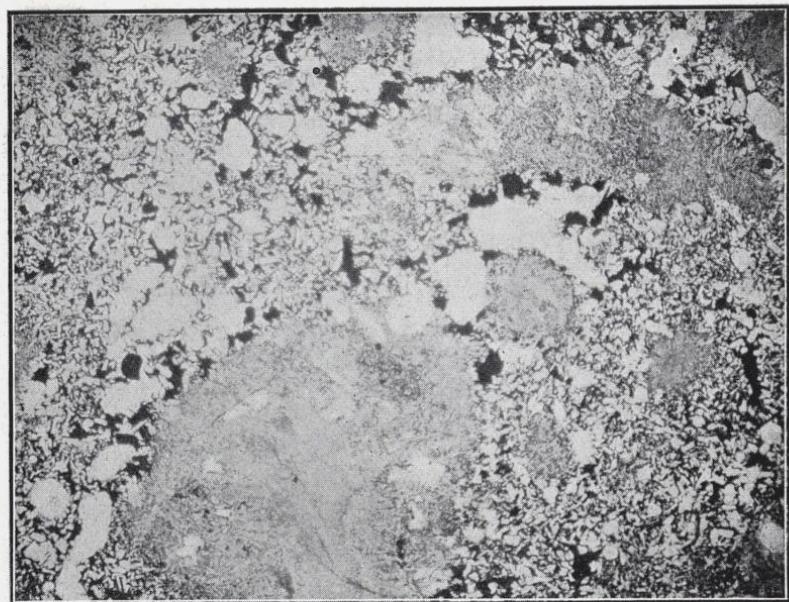
PLANCHE XVII



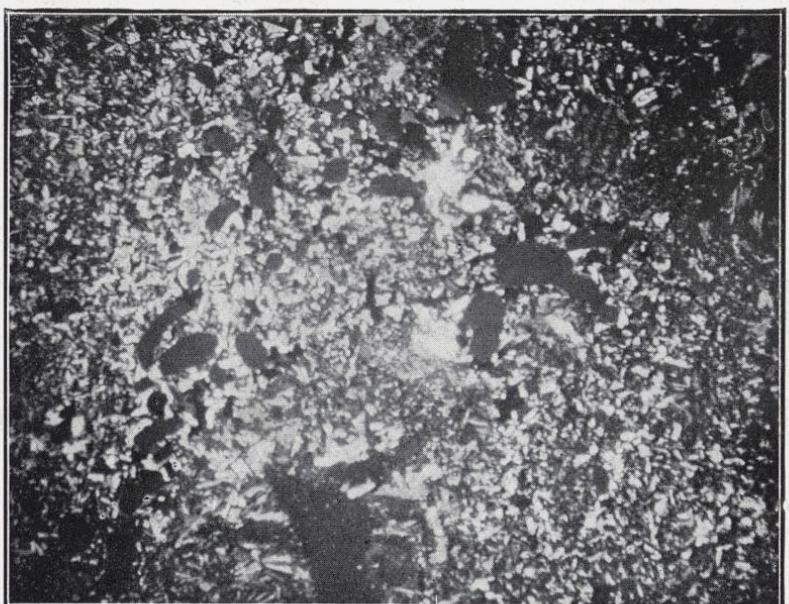
(Lumière naturelle).



(Lumière polarisée).
BRIQUE USAGÉE N° 1. — (Zone brune B).

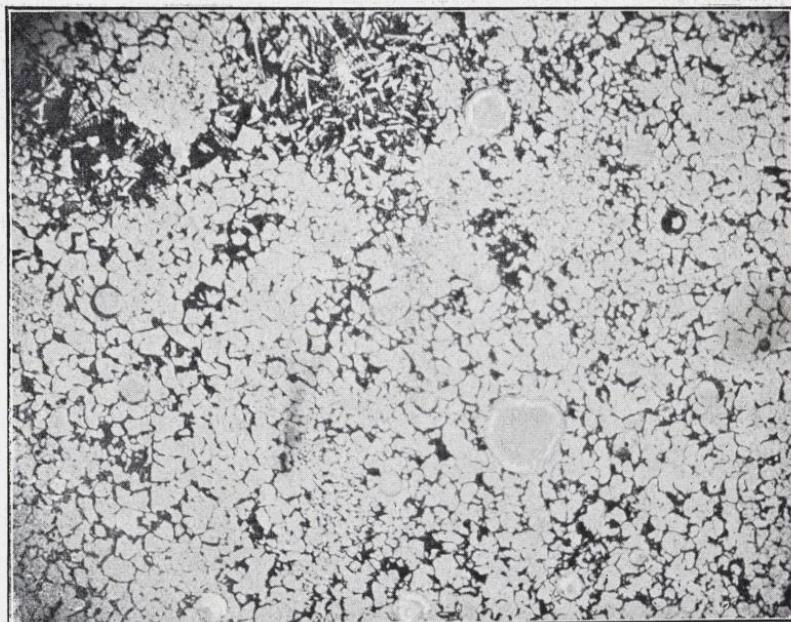


(Lumière naturelle).

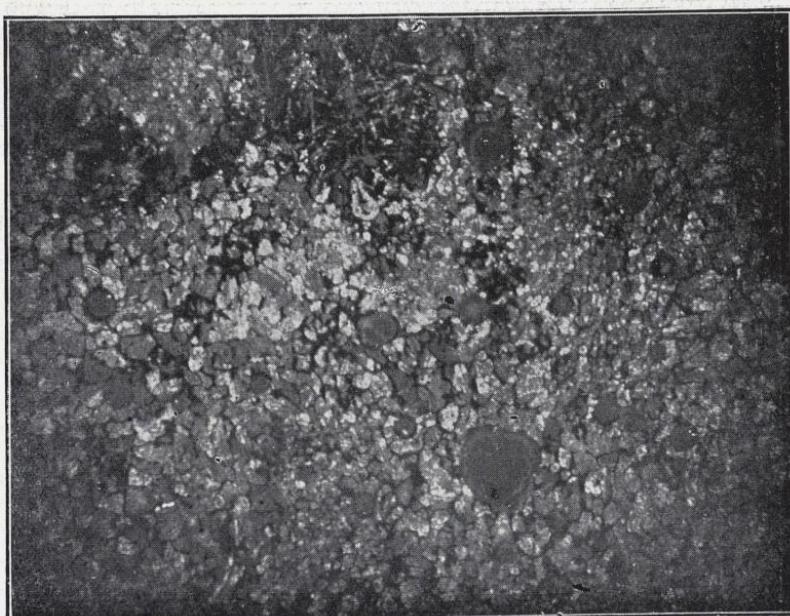
(Lumière polarisée).
BRIQUE USAGÉE N° 1. — (Zone noire C).

BRIQUES USAGÉES

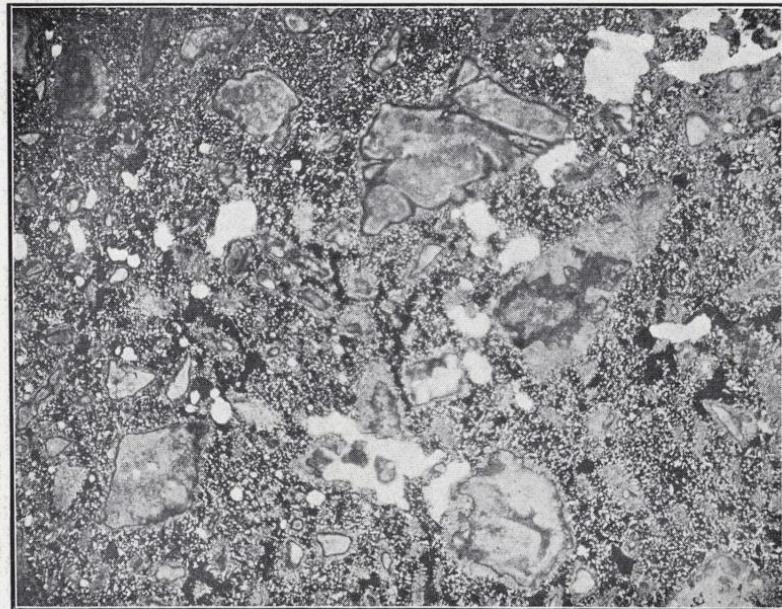
PLANCHE XIX



(Lumière naturelle).



(Lumière polarisée).
BRIQUE USAGÉE N° 1. — (Zone grise D).



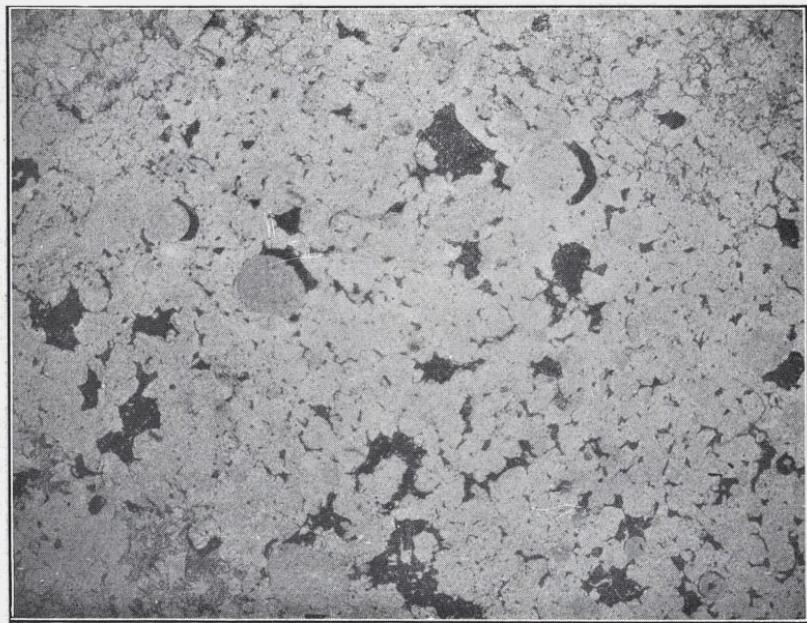
(Lumière naturelle).



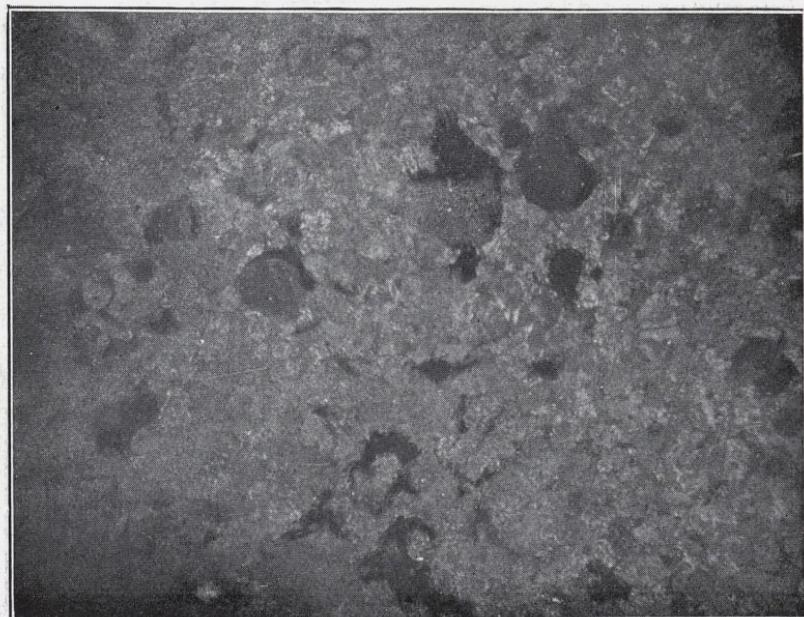
(Lumière polarisée).
BRIQUE USAGÉE N° 2. — (Zone noire C).

BRIQUES USAGÉES

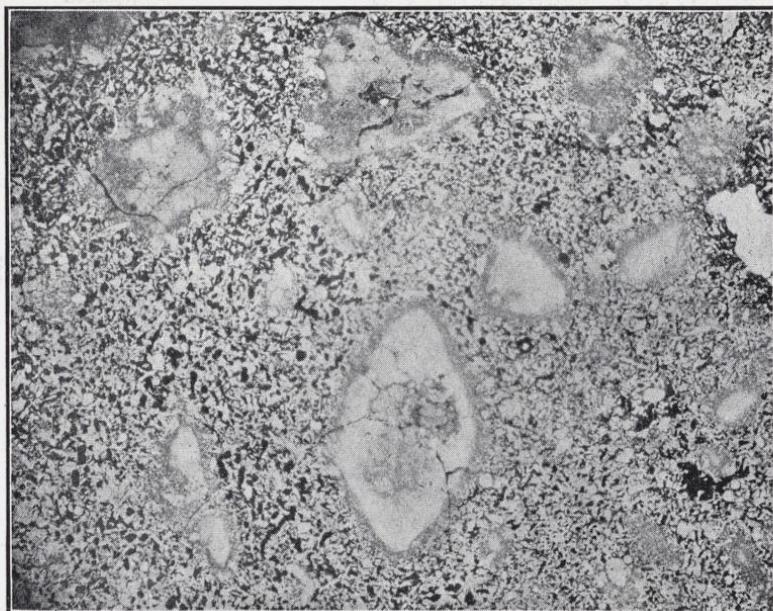
PLANCHE XXI



(Lumière naturelle).



(Lumière polarisée).
BRIQUE USAGÉE N° 2. — (Zone grise D).

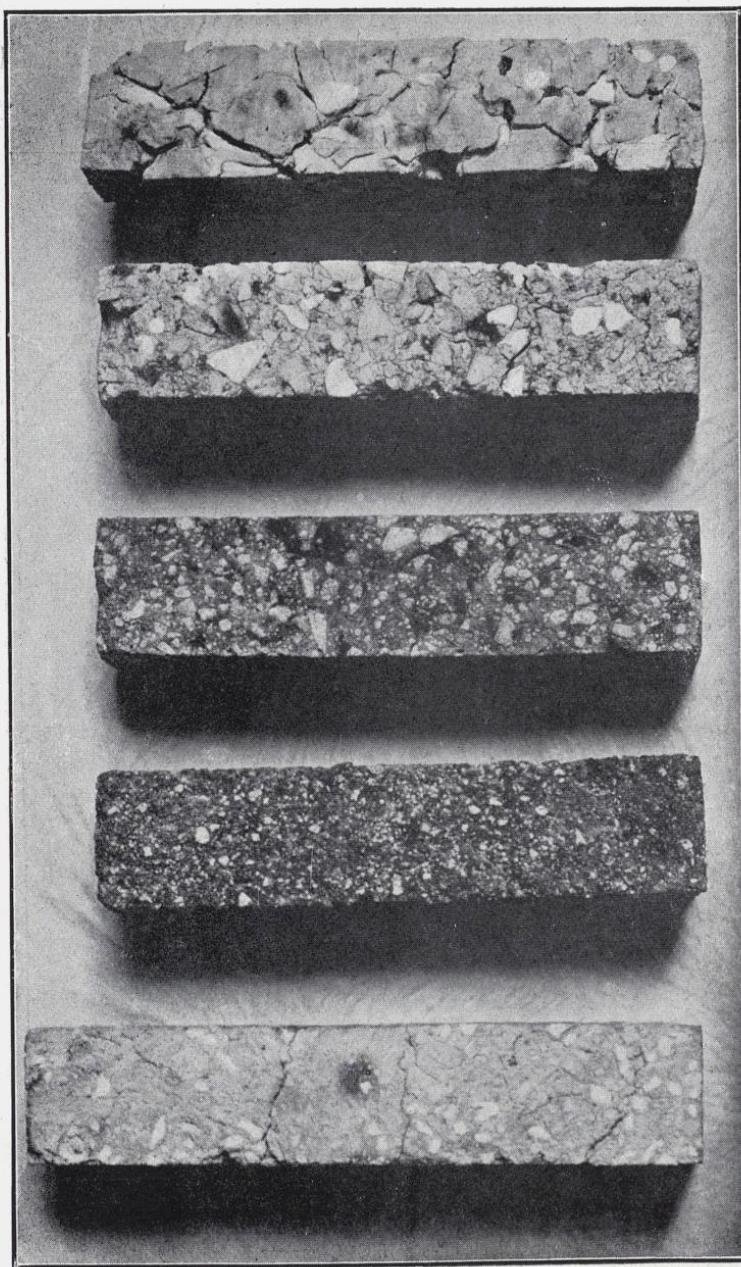


(Lumière naturelle).

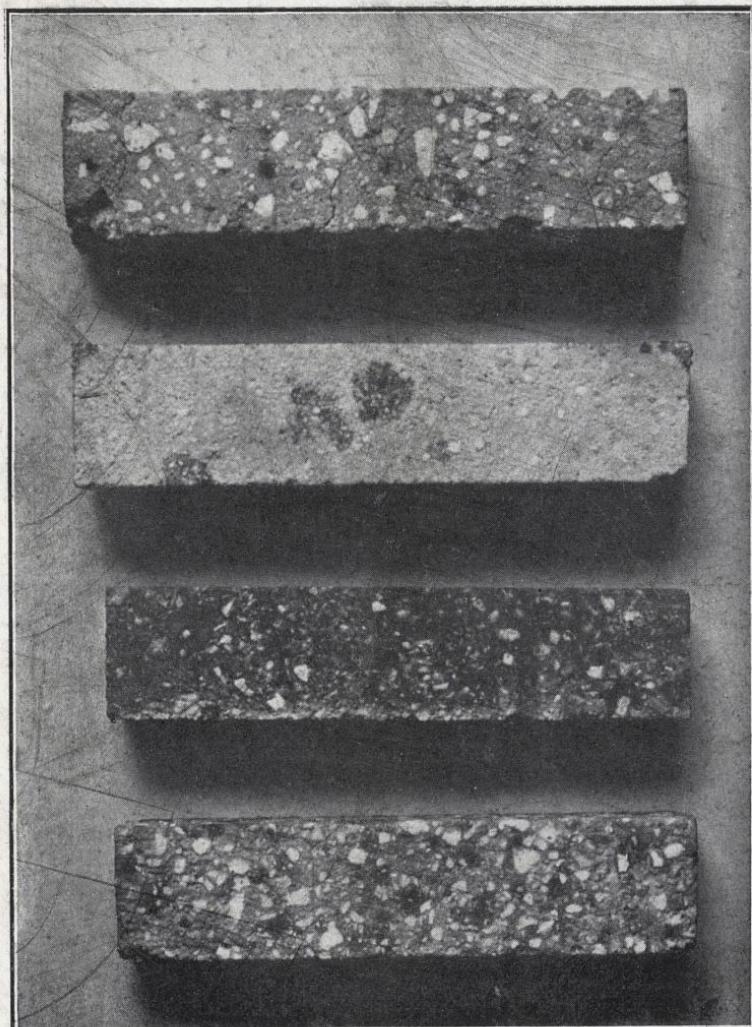


(Lumière polarisée).
BRIQUE USAGÉE N° 3. — (Zone noire C).

PLANCHE XXIII

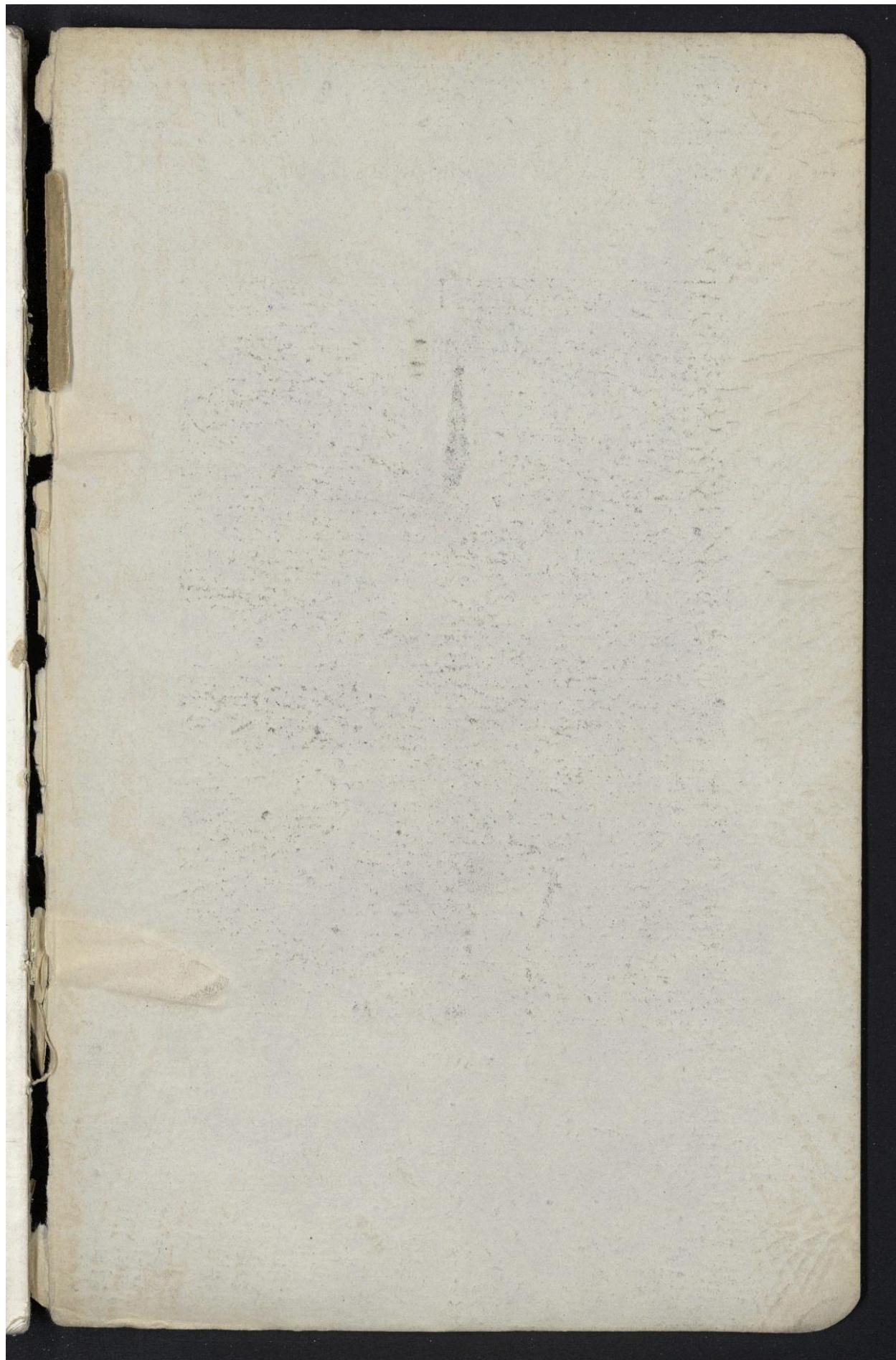


État des baguettes taillées dans des échantillons de brique de silice
après 2 chauffes à 1600° C environ.

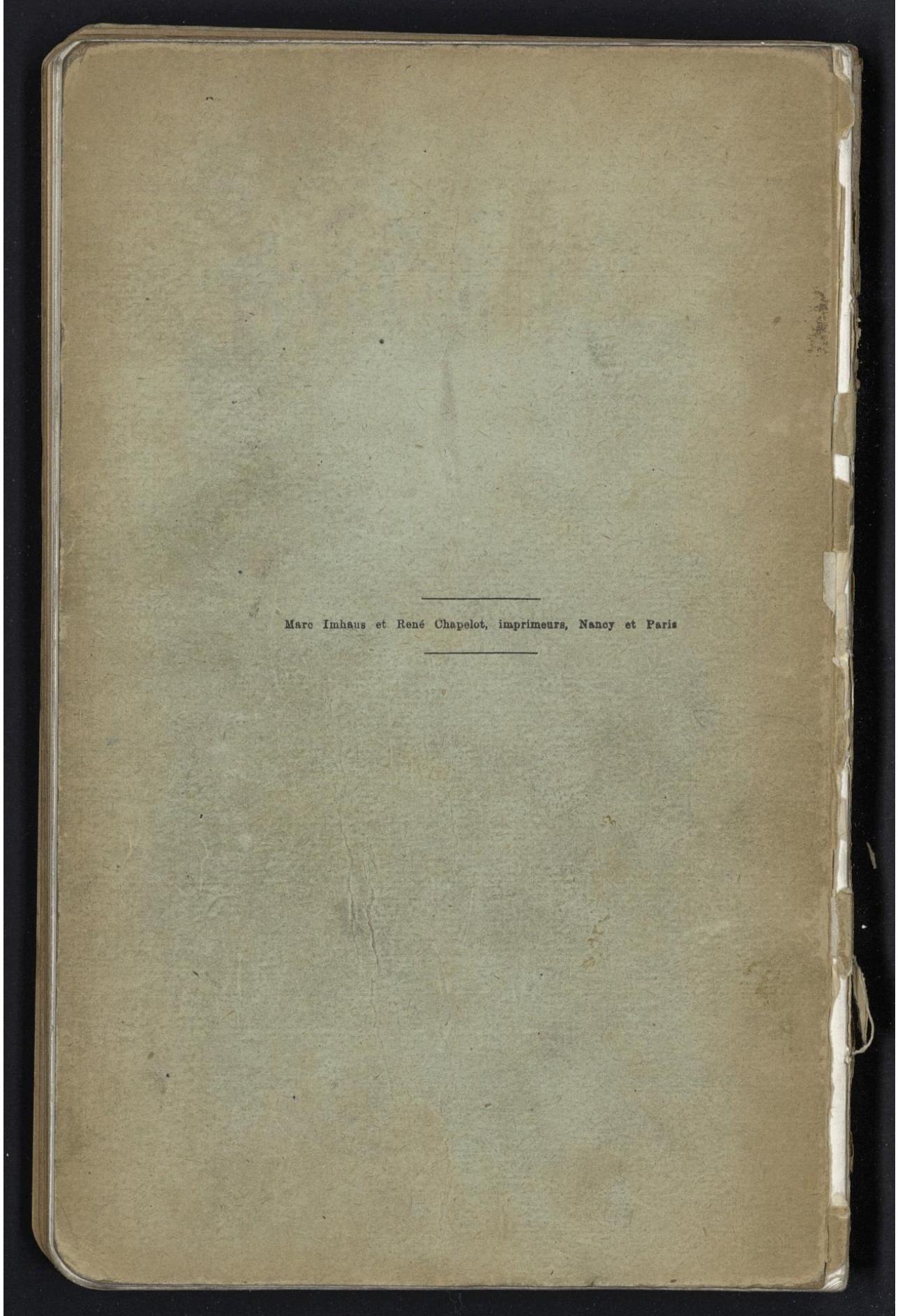


État des baguettes taillées dans des échantillons de brique de silice
après 2 chauffes à 1600° C environ.

Les photographies ont été réalisées dans un état de fatigue et de dégradation très faible
après deux chauffes à 1600° C environ.



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires



Marc Imhaus et René Chapelot, imprimeurs, Nancy et Paris