

# Conférence sur les propriétés mécaniques de matériaux cassants non métalliques

organisée par le Mining Research Establishment du National Coal Board,  
en collaboration avec la Building Research Station,  
les 1<sup>er</sup> et 2 avril 1958, à Londres.

Compte rendu par INICHAR

## INLEIDING

Zevenentwintig mededelingen werden op deze conferentie ingediend, waarvan de teksten, evenals de besprekingen, integraal verschenen zijn in een boekdeel van 500 blz., voorbereid en samengebundeld door W.H. WALTON, Assistent-Director bij de « Mining Research Establishment » van de National Coal Board (\*).

Een bondige samenvatting van ieder dezer mededelingen wordt hierna gegeven. Deze werden ingedeeld in vijf hoofdstukken :

### I. Proeven over de weerstand van materialen.

- A. Eenassige proeven op kolen  
gesteenten  
beton  
grafiet  
baksteen  
gips  
keramiek  
glas

- B. Drieassige proeven op kolen  
gesteenten

### C. Thermische schok-proeven.

### II. Proeven over de schaaftbaarheid van kolen.

### III. Proeven in uitvoering in het proefstation Isleworth om een machine voor de delving van galerijen te verwezenlijken.

- a) proeven op het boorgereedschap ;  
b) proeven op het snijgereedschap voor het afvlakken van de wanden.

### IV. Studie van de granulometrie van het stof verwekt door het schaven en het schieten.

### V. Studie van de energie voortgebracht door het schieten.

Huidige aflevering van de *Annalen der Mijnen van België* bevat het eerste hoofdstuk. De overige worden behandeld in een volgende aflevering.

(\*) Uitgegeven door « Butterworths Scientific Publications », te Londen.

## INTRODUCTION

Vingt-sept rapports ont été présentés à cette Conférence et les textes des communications, ainsi que les discussions, ont été intégralement publiés dans un volume de 500 pages préparées et rassemblées par W.H. WALTON, Assistant-Directeur au Mining Research Establishment du National Coal Board (\*).

Nous donnons ici un bref résumé de chacun des rapports présentés et nous avons divisé le travail en cinq chapitres :

## I. Essais de résistance des matériaux.

- A. Essais uniaxiaux sur charbon  
sur roches  
sur béton  
sur graphite  
sur briques  
sur gypse  
sur céramique  
sur verre

- B. Essais triaxiaux sur charbon  
sur roches

## C. Essais de chocs thermiques.

## II. Essais de rabotabilité du charbon.

## III. Essais en cours à la station de recherches d'Isleworth dans le but de réaliser une machine de creusement de galeries.

- a) Essais des outils de forage ;

- b) Essais des outils de coupe permettant l'égalisation des parois.

## IV. Etude de la granulométrie des poussières lors du rabotage et au moment du minage.

## V. Etude de l'énergie due au minage.

Ce numéro des Annales des Mines de Belgique contient le premier chapitre. Les autres seront traités dans un prochain numéro.

(\*) Edité par « Butterworths Scientific Publications », Londres.

## I. ESSAIS DE RESISTANCE DES MATERIAUX

## A. ESSAIS UNIAXIAUX

## 1) Sur charbon.

I. Evans et G. Pomeroy - Résistance du charbon (aux pressions uniaxiales).

Les premiers essais de compression du charbon ont été effectués en Allemagne en 1875. La charge de rupture d'un bloc de charbon est proportionnelle au côté du cube à la puissance 1,5 ; la tension de rupture est proportionnelle à l'inverse de la racine carrée du côté du cube.

Afin de vérifier ces rapports, des essais systématiques sur un grand nombre d'échantillons ont été effectués en Grande-Bretagne. Pour le charbon de la couche « Barnsley Hards », la tension de rupture est inversement proportionnelle à la racine quatrième du côté du cube, avec une dispersion des résultats de 20 % par rapport à la moyenne.

Pour les cubes de charbon de la couche « Deep Duffryn », la tension de rupture est inversement proportionnelle à la racine troisième du côté du cube, avec une dispersion des résultats (par dimen-

sion de cubes) de 50 % par rapport à la résistance moyenne.

Le tableau I donne les résultats des essais de compression effectués sur des cubes de charbon provenant de la couche Deep Duffryn.

TABLEAU I.

Longueur du côté d'un cube mm	Nombre de cubes essayés	Résistance moyenne kg/cm <sup>2</sup>	Ecart moyen kg/cm <sup>2</sup>
6,3	262	258	107
12,7	164	200	59
25,4	62	166	50
50,8	23	127	53

La figure 1 donne, pour quelques dimensions de cubes, le nombre d'éprouvettes ayant cédé à la compression sous les différentes charges de rupture. La courbe enveloppe donne la résistance moyenne à la compression et la dispersion des résultats.

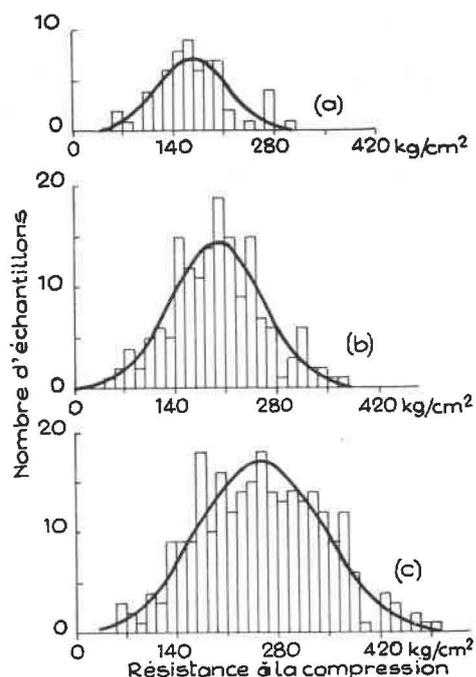


Fig. 1. — Histogramme de la résistance à la compression de cubes de charbon provenant de la couche « Deep Duffryn ».

- a) cubes de 25,4 mm de côté ; essais sur 62 cubes ;  
 b) cubes de 12,7 mm de côté ; essais sur 164 cubes ;  
 c) cubes de 6,3 mm de côté ; essais sur 262 cubes.

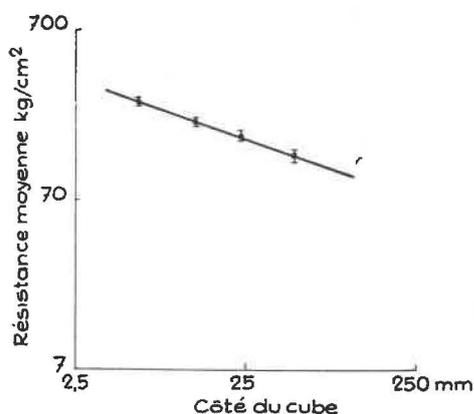


Fig. 2. — Relation entre la résistance moyenne à la compression et la longueur du côté du cube.

La figure 2 montre la relation entre la résistance moyenne à la rupture et le côté du cube de charbon.

Comme la tension de rupture d'un cube croît quand la longueur du côté diminue, on peut appliquer la théorie du maillon le plus faible.

Appelons  $P_a$  la probabilité que possède un cube de côté  $a$  de résister à une pression déterminée. Le tableau II donne ainsi les probabilités pour des cubes de charbon de Deep Duffryn de dimensions données de ne pas céder à une tension de  $182 \text{ kg/cm}^2$ .

TABLEAU II.

Côté moyen du cube en mm	Probabilité P
5,8	0,73
12,7	0,59
23,6	0,28
48,7	0,15

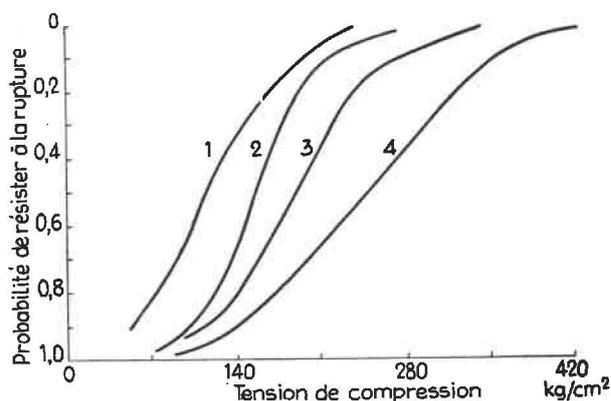


Fig. 3. — Courbes cumulatives donnant les probabilités de rupture de cubes de charbon provenant de la couche « Deep Duffryn ».

- Côté du cube : courbe 1 : 48,7 mm  
 » 2 : 23,6 mm  
 » 3 : 12,7 mm  
 » 4 : 5,8 mm

La figure 3 donne les courbes de probabilité de résistance de cubes de « Deep Duffryn » en fonction de la tension de compression.

Mais, pour chaque tension, il existe une relation entre les diverses probabilités offertes par des cubes de dimensions différentes.

Il suffit de connaître une courbe de probabilité pour des cubes de dimension choisie, par exemple 12,7 mm, ainsi que le coefficient de correspondance d'une dimension à l'autre.

On obtient  $P_b = P_a \frac{(b)^{\alpha}}{(a)^{\alpha}}$  où  $P_b$  et  $P_a$  sont les probabilités qu'ont des cubes de dimension  $b$  et  $a$  de résister à une tension déterminée ;  $\alpha$  est le facteur de correspondance qu'on peut trouver par essai, connaissant  $P_b$  et  $P_a$  pour une tension déterminée.

$$\alpha = \frac{\log \left( \frac{\log P_b}{\log P_a} \right)}{\log \frac{b}{a}}$$

Le tableau III donne quelques valeurs de  $\frac{\log P_b}{\log P_a}$  où  $a$  a été choisi égal à 12,7 mm.

TABLEAU III.

Côté moyen d'un cube en mm	P	$\frac{b}{a}$	$\frac{\log P_b}{\log P_a}$
5,8	0,73	0,46	0,60
12,7	0,59	1	1
23,6	0,28	1,86	2,4
48,7	0,15	3,84	3,6

La figure 4 montre la linéarité du rapport  $\frac{b}{a}$  par rapport à  $\frac{\log P_b}{\log P_a}$  pour des cubes de charbon provenant de « Deep Duffryn ».

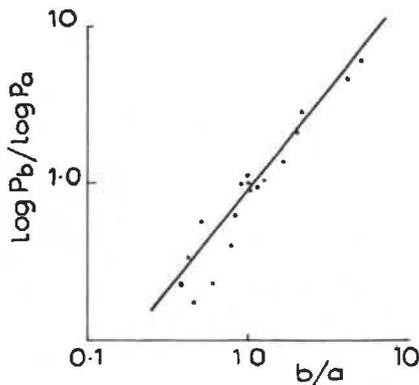


Fig. 4. — Relation entre la probabilité de résistance offerte par un cube de charbon de « Deep Duffryn » en fonction du côté du cube.

Par extrapolation, on peut estimer que, si l'on comprimait un cube de charbon dont le côté n'aurait que quelques Å°, on obtiendrait  $\sigma = 7.000 \text{ kg/cm}^2$ . Cette valeur est obtenue en estimant la contraction maximum égale à 0,2 ; on a ainsi  $\sigma \text{ limite} = 0,2 \times E$ .

Les valeurs des pores mesurées par rayons X varient de quelques Å° à 5.000 Å°. Certains auteurs ont trouvé 4 à 5 Å° comme limite inférieure.

Le tableau IV donne la probabilité que possède un cube de charbon de « Deep Duffryn » de résister à une tension de compression de  $7.000 \text{ kg/cm}^2$ .

TABLEAU IV.

Côté du cube en Å°	P
206	0,1
59	0,5
10	0,9

Pour des cubes provenant de la couche de « Barnsley Hards », on aura :

Côté du cube en Å°	P
30	0,1
9	0,5
1	0,9

**N. Terry et W. Morgans** - Etude sur le comportement rhéologique du charbon.

Une étude complète sur les propriétés mécaniques du charbon n'est guère facile, car on a affaire à un matériau très hétérogène par suite de sa formation organique. Les mouvements orogéniques ont de plus créé dans la plupart des charbons un double réseau de fissures perpendiculaires à la stratification et faisant souvent entre elles un angle de 90°. Le charbon est poreux et certains pores peuvent atteindre quelques Å°.

Il semble que la valeur du module de Young varie au maximum de 1 % suivant que l'échantillon est sec ou humide. L'influence de la température semble de même négligeable.

La mesure dynamique de E est donnée par la mesure de vibration du charbon sous un courant d'une fréquence connue.

$$E = C^2 \delta \text{ où } \delta \text{ est la densité du charbon}$$

C est la vitesse de l'onde élastique dans le charbon.

Bien que la fréquence ait varié de 5 kc/s à 90 kc/s, la valeur du module E est restée constante. Le E dynamique mesuré sur un échantillon perpendiculairement à la stratification est plus petit que le E dynamique mesuré parallèlement à la stratification, le E dynamique est plus grand que le E statique (de 15 à 25 %) par suite de la vitesse beaucoup plus grande de l'essai et de la macrostructure du charbon. Les pores du charbon contiennent de l'air et du méthane. La présence des nombreuses micro- et macrofissures occasionne des diminutions des valeurs de E mesurées. Les différences entre les E statique et dynamique proviennent de la nature élastique visqueuse du charbon.

Le tableau V contient quelques données sur du charbon provenant de la veine « Barnsley Hards ».

Burgers a établi une étude analogique du comportement du charbon en assimilant celui-ci à un ressort et à un dash-pot.

TABLEAU V.

	Orientation par rapport à la stratification	Nombre d'échantillons essayés	Module de Young en $10^4$ kg/cm <sup>2</sup>
Compression de cubes de 38 mm de côté	Parallèle	20	3,35
	Perpendiculaire	10	2,70
Vibration de prismes rectangulaires Section : 3,2 × 3,2 mm Longueur : 20 à 50 mm	Parallèle	9	4,03
	Perpendiculaire	6	3,27
Prismes rectangulaires 1) Dynamiques 2) Statiques par flexion Section : 3,2 × 3,2 mm Longueur : 100 mm	Parallèle	10	4,01
	Parallèle	10	3,20
Flexion de lames de 2,5 à 30 mm de largeur de 2,5 mm d'épaisseur	Parallèle	52	3,36

## 2) Sur roches.

**T. R. Seldenrath, J. Cramberg** - Courbes, déformations, tensions et rupture de roches.

Dans les mines, la fracturation augmente avec la profondeur et les dimensions des galeries ; il importe d'étudier le comportement des roches en laboratoire. Les résistances varient avec chaque roche et suivant l'orientation des sollicitations par rapport aux clivages et à la stratification.

On peut diviser les roches en roches à grains fins et roches à gros grains.

a) *Roches à grains fins* : Calcaire lithographique - pyrite dense - verres. Ces matières soumises à compression se rompent suivant des plans parallèles à la direction de l'effort de compression indépendamment de la stratification et des clivages. La figure 5 montre la rupture par traction de ces éprouvettes.

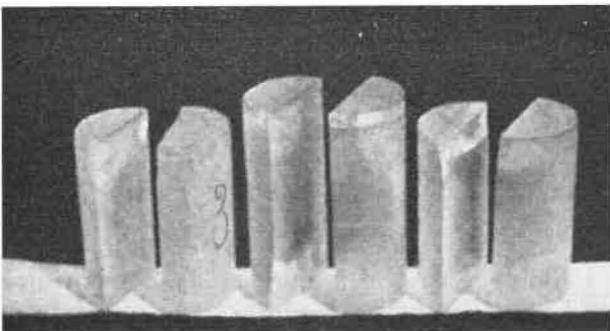


Fig. 5. — Essais de compression d'éprouvettes cylindriques de verre : rupture des éprouvettes par traction à 4.220 kg/cm<sup>2</sup> (éprouvettes de gauche), 2.620 kg/cm<sup>2</sup> (éprouvettes du milieu) et 3.985 kg/cm<sup>2</sup> (éprouvettes de droite).

Un essai de compression varie suivant :

- α) les formes et les dimensions des éprouvettes ;
- β) la façon dont la force lui est transmise ;
- γ) l'emprisonnement ou non des extrémités.

Pour un essai de compression sans emprisonnement de la tête, on peut atteindre :

4.510 kg/cm<sup>2</sup> pour le verre ;

2.600 kg/cm<sup>2</sup> pour le calcaire lithographique (grains de 5 à 10 μ).

Si la tête est serrée par un anneau métallique, la résistance à la compression augmente de 50 %. La figure 6 montre l'échantillon avec ses deux anneaux de serrage.

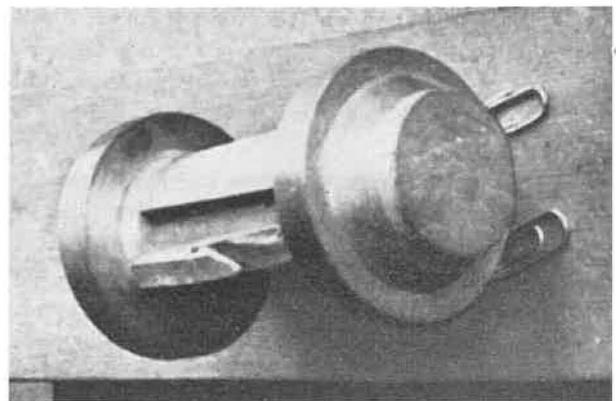


Fig. 6. — Epreuve cylindrique freinée à ses deux extrémités. La figure montre un cylindre en calcaire lithographique, dont la charge de rupture a atteint 3.310 kg/cm<sup>2</sup> ; une écaïlle limitée par deux plans de fracturation radiaux et un plan concentrique s'est détachée de l'éprouvette.

— Le module de Young du calcaire est de 700.000 kg/cm<sup>2</sup>

— Le nombre de Poisson du calcaire est de 3,1.

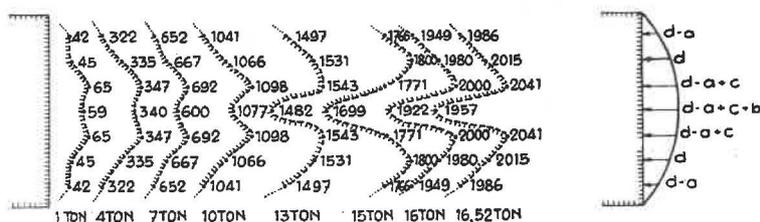


Fig. 7. — Déformations latérales sous diverses charges d'un cylindre de calcaire lithographique avec ses extrémités non frettées circulairement.

On a observé des déformations plus grandes au 1/4 de la hauteur de l'éprouvette qu'au milieu de celle-ci. La figure 7 montre les déformations de l'éprouvette à différentes hauteurs.

b) *Roches à gros grains* : Ces échantillons soumis à compression rompent suivant des surfaces coniques à partir des extrémités de l'échantillon. On constate des fractures parallèles à ces surfaces et les grains sont pulvérisés le long de ces plans, ce qui montre que la rupture a eu lieu par cisaillement. Il n'y a pas d'augmentation de la résistance si la tête est emprisonnée ou non. La figure 8 montre la rupture par cisaillement de ces éprouvettes.

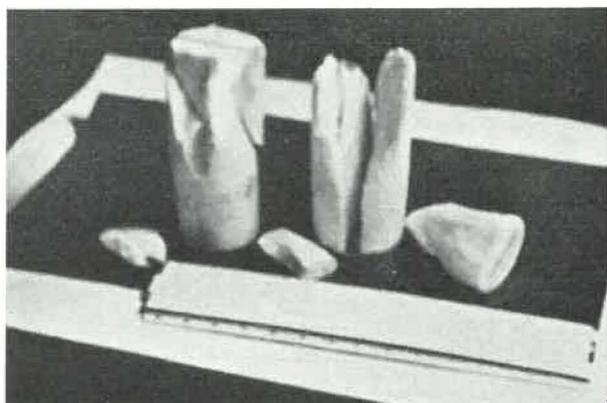


Fig. 8. — Essais de compression d'éprouvettes cylindriques de marbre à grains fins : rupture des cylindres par cisaillement à 843 et à 872 kg/cm<sup>2</sup>. On remarque nettement les cônes limitant les plans de fracturation.

Les figures 5 et 8 indiquent clairement la différence très caractéristique existant entre la rupture d'éprouvettes par traction et la rupture par cisaillement.

### 3) Sur béton.

**A. D. ROSS** - Elasticité, fluage et retrait du béton.

Par suite du resuage de l'eau, les déformations relatives d'un bloc de béton comprimé seront plus importantes immédiatement après le bétonnage que quelques années plus tard.

Pour un bloc de béton soumis à l'essai de compression, on peut établir trois courbes différentes

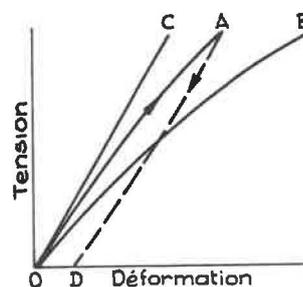


Fig. 9. — Courbes donnant la déformation en fonction de la tension appliquée par diverses vitesses de mises en charge.

des déformations en fonction des pressions. La figure 9 donne différentes courbes de la déformation en fonction de la tension appliquée suivant diverses vitesses de mises en charge :

- a) droite OC obtenue pour une mise en charge instantanée ;
- b) courbe OA obtenue pour une vitesse de mise en charge normale (durée de compression de quelques minutes) ;
- c) courbe OB obtenue en faisant augmenter la charge très lentement (durée de compression de plusieurs heures).

La droite OC peut être obtenue avec l'essai habituel, en s'arrêtant à plusieurs paliers, et en établissant à chacun de ceux-ci la courbe de fluage en fonction du temps, par mesure des déformations toutes les 10 ou 15 secondes, puis en extrapolant la courbe vers le temps zéro. Cette droite peut aussi être obtenue par une méthode électronique.

Les valeurs du module de Young données par cette droite OC seront toujours supérieures à celles fournies par les autres courbes.

En soumettant un béton neuf à la compression sous charge constante durant quelque temps, on obtient une déformation qui est la somme de la déformation élastique, du retrait et du fluage.

Le retrait est indépendant de la charge appliquée, mais dépend du temps, du moins pendant les premières années. Il peut être estimé en plaçant un bloc de béton de même fabrication dans les mêmes conditions de milieu que le bloc étudié, mais sans le comprimer.

Le fluage dépend du temps et de la tension appliquée sur le béton.

Après un an et pour des charges inférieures à la moitié ou au tiers de la charge de rupture, on peut avoir une déformation totale qui vaut six fois la déformation élastique initiale. La moitié de la déformation totale doit être attribuée au fluage et le reste, soit un tiers, au retrait.

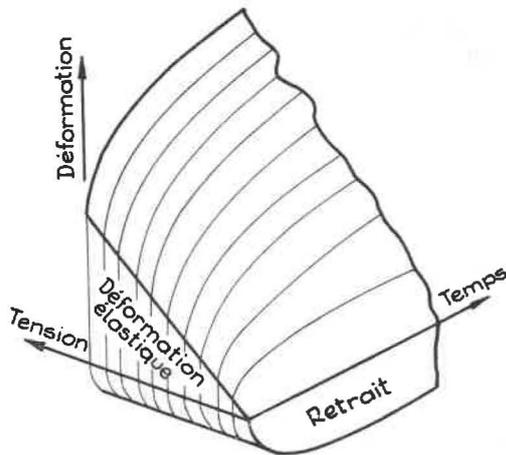


Fig. 10. — Représentation dans les trois dimensions donnant les relations entre tension, déformation élastique, retrait, fluage et le temps.

La figure 10 est une représentation dans les trois dimensions, montrant les relations entre tension, déformation élastique, retrait, fluage et le temps.

**E. N. Fox** - Essais sur la résistance des poutres en béton aux charges dynamiques.

On a réalisé, à l'Université de Cambridge, une machine permettant l'application très rapide (en 2 à 4 ms) de la charge. On maintient ensuite celle-ci constante durant 4 à 100 ms, puis on retire la charge en 2 à 4 ms. La figure 11 donne la valeur de la charge appliquée en fonction du temps.

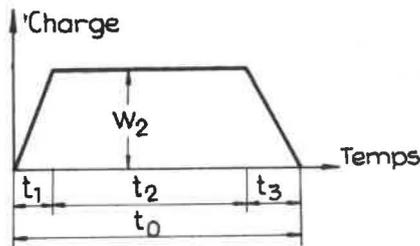


Fig. 11. — Variation de la charge appliquée en fonction du temps.

Cette rapidité de mise en charge et de retrait de celle-ci est basée sur l'allongement d'un fil d'acier avant rupture.

Pour l'ensemble de tous les essais effectués jusqu'à présent, la charge dynamique de rupture obtenue au moyen de cet appareil est 35 % supérieure à la charge de rupture statique. Cette augmentation est due en partie à l'inertie dont l'in-

fluence se fait surtout sentir lorsque les variations de tensions ont lieu dans des temps très courts par rapport à la fréquence propre de l'éprouvette essayée et en partie au fait que la résistance intrinsèque du béton dépend de la vitesse de la déformation et augmente lorsque cette vitesse croît.

**R. Evans** - Effets de la vitesse de mise en charge sur les propriétés mécaniques du béton.

Pour le béton et certains matériaux de construction, il est difficile de déterminer exactement la valeur du module de Young par suite de la striction subie par ces matériaux. On peut déterminer trois déformations :

- la déformation instantanée ;
- la déformation élastique dépendant du temps d'application de la charge ;
- la déformation plastique permanente.

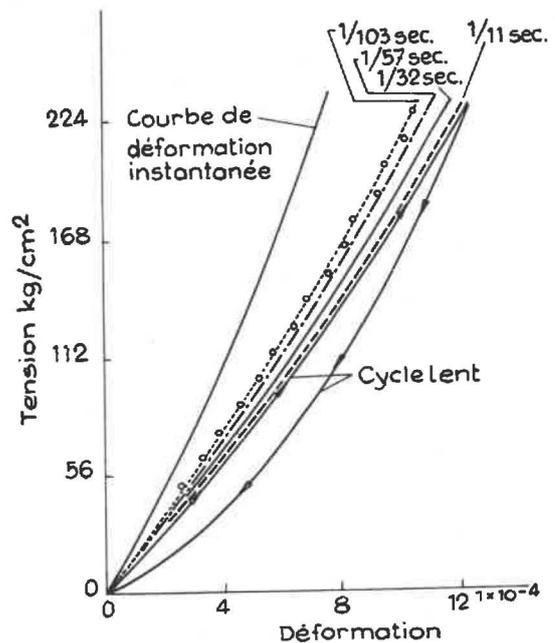


Fig. 12. — Courbes de déformation d'un cylindre de grès en fonction de vitesses de mises en charge de plus en plus rapides.

La figure 12 donne les courbes de déformation d'un cylindre de grès en fonction de vitesses de mises en charge de plus en plus rapides.

Pour une même durée de chargement et pour une même charge finale de deux éprouvettes, la déformation sera plus grande pour l'éprouvette mise en charge lentement que pour l'éprouvette mise en charge rapidement et sur laquelle on maintient quelque temps cette charge finale.

La vitesse instantanée est celle qui permet à l'onde de pression d'atteindre l'autre extrémité de l'échantillon. On applique une charge de 200 à 300 kg/cm<sup>2</sup> en des temps de plus en plus réduits (1/11 s — 1/103 s). D'après les calculs, il semble qu'il faille exercer une pression de 200 à 300 kg/cm<sup>2</sup>

en 1/500 de seconde pour obtenir la courbe tension-déformation instantanée.

Pour une même charge, le fluage diminue rapidement avec la durée de mise en charge ; il est déjà en grande partie produit durant les premières secondes d'application de la charge.

En grandeur, le fluage varie proportionnellement avec la charge jusqu'au tiers de la charge de rupture, puis augmente rapidement.

Pour déterminer la charge de rupture d'échantillons de béton, il convient d'adopter toujours la même vitesse de mise en charge. On recommande 140 kg par cm<sup>2</sup> et par minute. La résistance du cube de béton peut augmenter de 20 % en appliquant la charge en quelques centièmes de seconde.

Il y a une grande différence entre les modules de Young statique et dynamique. Avant d'adopter un module dans le calcul du comportement d'un corps, il convient de connaître la façon dont la charge sera appliquée. Aux faibles charges, on constate de grandes variations dans la valeur des modules de Young par suite de l'existence de tensions internes.

La figure 13 montre les variations du module d'élasticité en fonction de la charge de compression appliquée.

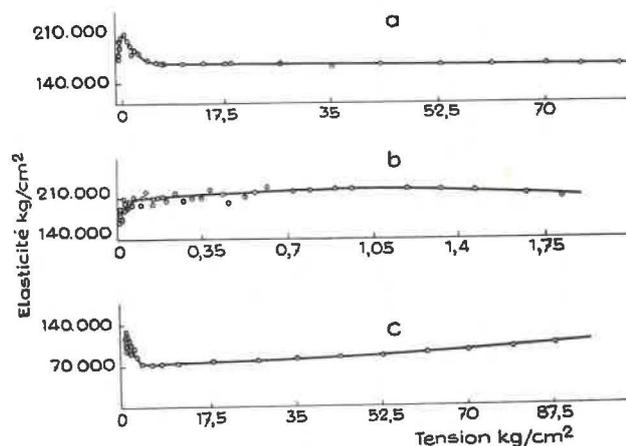


Fig. 13. — Variations du module d'élasticité en fonction de la charge de compression appliquée.

- courbe a dans le cas de béton  
b dans le cas de béton, mais pour les très faibles charges.  
c dans le cas de grès.

La courbe a donne la valeur du module d'élasticité pour du béton

b donne la valeur du module d'élasticité du béton pour de très faibles charges

c donne la valeur du module d'élasticité du grès.

**R. Jones** - Etude de la fissuration du béton lors des essais de compression et de flexion.

En observant les échantillons essayés au moyen de méthodes à ultrasons, on a pu remarquer que les premières fissures apparaissent dans le béton pour

des charges de 50 à 70 % de la charge de rupture à la compression suivant la nature et la forme des agrégats.

Ces microfissures apparaissent entre la pâte de ciment et les agrégats et proviennent de la différence de comportement mécanique de ces composés lors de la compression. Ces premières fissures sont parallèles à la direction d'application des efforts, car c'est suivant cette direction que les tensions de cisaillement sont maximums entre le mortier et les cailloux.

Il y a un rapport constant entre la charge où apparaît la première fissure en compression et la charge de rupture par flexion pour tout béton.

La déformation sur la face tendue d'une dalle soumise à un essai de flexion est la même que la déformation latérale d'un cylindre comprimé lors de l'apparition des premières fissures.

**H. Green** - Les essais de choc sur du béton.

Pour pouvoir comparer utilement les résultats des essais d'un auteur à l'autre, il faut baser ces essais ou sur l'énergie absorbée par le choc ou sur le nombre de coups ayant provoqué la première fissure puis l'éclatement de l'éprouvette.

Le Building Research Station a mis au point un pendule balistique pour les essais de choc.

D'après certains auteurs, la résistance au choc augmenterait avec la résistance à la compression des éprouvettes en béton ; d'autres, elle diminuerait au contraire ; d'autres encore, ces deux résistances sont indépendantes l'une de l'autre.

La résistance au choc augmente avec la vitesse de frappe : si le marteau est appliqué en 1/500 de seconde, la résistance au choc sera de 17 à 35 % supérieure à celle obtenue si le marteau est appliqué en plus de 1/20 de seconde.

La résistance à la compression dynamique (en 1/5000 de seconde) est 84 % plus grande que la résistance statique avec la vitesse de mise en charge habituelle.

La déformation à la rupture de l'éprouvette est supérieure dans le cas de charge dynamique que dans le cas de charge statique.

Si l'on mesure l'énergie absorbée par le choc, on remarque que cette énergie diminue à chaque coup jusqu'au moment de la première fissure pour augmenter ensuite à nouveau jusqu'au moment de la rupture.

La résistance au choc est notablement plus élevée pour des bétons constitués de graviers concassés que de galets roulés.

Si le cube est conservé dans l'eau, la résistance au choc mesurée à l'apparition de la première fissure est plus grande que si l'échantillon est conservé à l'air. Par contre, la fracturation complète se produira plus vite pour l'échantillon conservé dans l'eau.

#### 4) Sur graphite.

**H. W. Davidson - H. H. W. Losty** - Propriétés élastiques et plastiques du carbone et du graphite.

Le graphite employé comme modérateur dans l'industrie nucléaire doit être soigneusement étudié au point de vue de ses propriétés mécaniques. Bien qu'il soit plus homogène que le charbon, car il peut être obtenu synthétiquement, il possède des propriétés très variables d'un essai à l'autre.

Il n'obéit pas complètement à la loi de Hooke car il subit une importante déformation plastique. Le graphite est composé de deux structures de cristaux possibles : des cristaux hexagonaux et des cristaux rhomboédriques.

Ces cristaux sont répartis par nappes et les propriétés mécaniques diffèrent notablement suivant l'orientation de l'essai par rapport à ces nappes. La résistance à la traction varie de 70 à 210 kg/cm<sup>2</sup> à la température ordinaire et est doublée à 2.000° C. La résistance à la compression peut atteindre 350 kg/cm<sup>2</sup>. Le module de Young croît avec la température et atteint son maximum à 1.750° ; ce maximum est 30 % plus grand que la valeur de E à la température ordinaire. Le graphite est poreux ; sa résistance à la compression croît avec l'augmentation de sa densité.

#### 5) Sur briques.

**A. Newman** - La résistance des briques.

Il a été indispensable d'uniformiser les méthodes d'essais pour arriver à des résultats concluants. Les essais peuvent avoir deux buts :

- mesurer la tension structurelle de la matière formant les briques ;
- mesurer la tension réelle de rupture d'une brique entière ou d'un assemblage de briques.

Une première série d'essais a montré que les essais les plus réguliers sont obtenus sur une brique posée à plat, ses deux faces étant rendues exactement planes et parallèles au moyen de mortier dont la résistance à la compression est comprise entre 140 et 280 kg/cm<sup>2</sup>. Les vides sont ainsi remplis par du mortier.

Des essais ont alors été faits avec différentes compositions de mortier dont la résistance variait de 140 à 770 kg/cm<sup>2</sup> et même sans mortier. Pour chaque mortier, on faisait un essai avec vides remplis et non remplis par le mortier.

D'après cette deuxième série d'essais, les résistances à la compression les plus fortes sont obtenues en effectuant les essais sans mortier, sauf si celui-ci offre une résistance supérieure à 500 kg/cm<sup>2</sup>.

Les nouvelles normes anglaises stipulent d'effectuer les essais sur briques en remplissant les vides existant à la surface des briques au moyen d'un

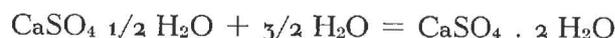
mortier d'une résistance de 280 à 420 kg/cm<sup>2</sup> et, dans le cas de briques à faces lisses, d'interposer entre les briques et les plateaux de la presse, un panneau en bois contreplaqué.

#### 6) Sur gypse.

**K. Schiller** - Porosité et résistance du gypse.

La résistance du gypse dépend beaucoup de la teneur en eau de la pâte au moment de la mise en place. Cette teneur est choisie en général suivant l'utilisation qu'on doit en faire.

La teneur théorique est donnée par la formule :



145,15 g semi-anhydrite

+ 27,03 g eau → 172,18 g gypse.

La teneur en eau pratique dépasse cette teneur en eau théorique de plusieurs multiples. C'est l'évaporation ou cet excès d'eau qui produit la porosité du plâtre.

Le gypse a une structure polycristalline.

La résistance du gypse dépend de :

- sa porosité
- sa teneur en impuretés
- ses microfissures
- des bulles d'air qui peuvent remplir les microfissures.

L'auteur a fait les calculs en supposant d'abord les grains sphériques, puis en supposant les grains cylindriques. En imaginant ces deux structures, on aperçoit tout de suite que la résistance du faisceau à grains cylindriques est plus sensible à la porosité que le faisceau à grains sphériques. La porosité peut atteindre 50 %.

La résistance diminue avec la porosité. La figure 14 donne la valeur des tensions de rupture à la compression et à la traction, ainsi que le module de rupture en fonction de la teneur en eau et de la porosité du gypse.

La résistance diminue proportionnellement à la racine troisième de la porosité dans le cas de grains sphériques et à la racine carrée dans le cas de grains cylindriques.

En appliquant la formule donnant la résistance du plâtre en fonction de la résistance intrinsèque du plâtre et de la teneur en eau, on peut trouver la porosité limite pour laquelle la résistance offerte par le plâtre serait nulle.

Pour un plâtre commercial, cette porosité critique est de 56 %, ce qui donne une teneur en eau de 80 cc par gramme de plâtre.

On peut remarquer sur la figure 14 que, à cette porosité critique, la résistance à la traction, ainsi que la résistance à la compression, sont nulles.

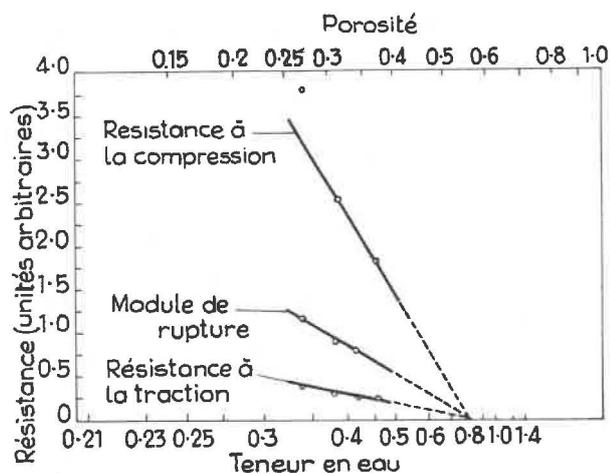


Fig. 14. — Droites donnant la relation entre la résistance et la porosité d'un plâtre commercial.

## 7) Sur céramique.

**A. Dinsdale et W. T. Wilkinson** - Mesure des résistances des matériaux céramiques, 1<sup>re</sup> partie : Essais de chocs.

L'étude complète d'un matériau quelconque peut se faire de la façon suivante :

- Essais fondamentaux sur éprouvettes circulaires avec étude des propriétés telles que frottement interne, fatigue, microstructure.
- Essais pratiques sur éléments tels qu'ils sont utilisés.
- Essais de recherche où l'on étudie la meilleure forme à donner aux objets en fonction des résultats des essais fondamentaux.

Les essais fondamentaux pour les matériaux céramiques sont :

- Essais de Charpy avec mesure de l'énergie nécessaire pour briser l'échantillon.
- Essais par chute d'une bille d'un poids connu, d'une hauteur déterminée.
- Essais avec un marteau en acier suspendu à un pendule avec détermination de la première cassure, puis de la rupture de l'éprouvette.

Pour l'essai à la bille, on observe que, si une bille pèse la moitié de l'autre, la hauteur de chute doit être plus que doublée pour obtenir la rupture d'un même échantillon ; ceci est dû au fait que l'énergie absorbée dans la bille augmente quand son poids diminue.

Pour ces essais, on remarque qu'une éprouvette soumise à un essai déterminé résiste à un effort plus grand si elle est soumise à un seul essai que si elle est soumise à des essais avec des sollicitations croissantes.

**W. R. Davies et J. F. Clements** - Mesures des vitesses d'ondes sonores.

Cet article comporte :

- Une étude du rapport des modules élastiques, statiques et dynamiques des échantillons de matériaux céramiques.

Le module de Young est donné par la formule :

$$E = 4 n^2 l^2 d \text{ en dynes/cm}^2 \text{ où}$$

—  $n$  est la fréquence de résonance en cycles/s.

—  $l$  longueur en cm de l'éprouvette.

—  $d$  densité en g/cc.

Le rapport  $E$  dynamique et  $E$  statique varie de 1,05 à 1,30 pour des matériaux à base de silice et jusqu'à 5,2 pour des matériaux de nature aluminosiliceuse.

- La détermination au moyen d'ondes sonores de l'apparition des premières fissures dans un matériau céramique sous l'effet d'un choc thermique.
- La mesure des valeurs de  $E$  à la température ordinaire et à des températures croissantes jusqu'à 1.000° C.

**K. Pate et W. Noble** - Détermination des courbes Tension-Déformation dans le cas des produits argileux.

Ces courbes sont mesurées dans diverses conditions d'humidité et de température (chaleur et gel), on mesure aussi les variations de ces courbes en soumettant les échantillons à plusieurs cycles de tension.

La résistance d'une brique varie de 140 à 1.400 kg/cm<sup>2</sup>.

La résistance à la rupture varie du simple au double, suivant que la température de cuisson varie de 900 à 1.100°, mais la résistance à l'action du gel diminue si la température de cuisson augmente de 900 à 950° C.

## 8) Sur verre.

**P. Walton** - Aperçu de la résistance des verres en fonction de la grandeur des éléments essayés.

Le verre se comporte comme un matériau fragile et il obéit à la loi de Hooke au point de vue élasticité, mais ne possède pas de plasticité. La tension pratique de rupture à la traction du verre est d'environ 350 kg/cm<sup>2</sup>. Cette tension varie suivant le diamètre des fibres. Elle décroît avec l'augmentation de diamètre. La figure 15 donne la tension de traction en fonction du diamètre des fibres.

La tension de rupture à la traction atteint 35.000 kg/cm<sup>2</sup> pour des fibres d'un diamètre de 0,0025 mm.

La résistance à la traction décroît rapidement avec le temps à partir de sa fabrication. Cette ré-

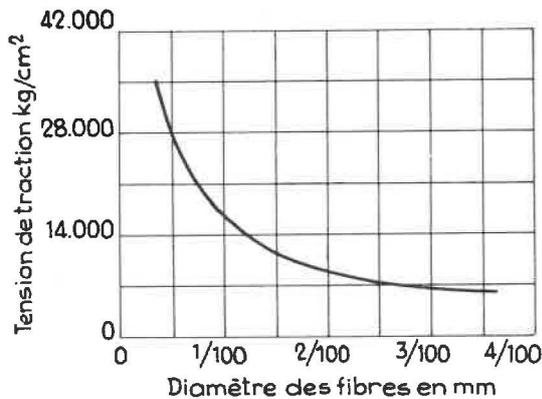


Fig. 15. — Variation de la résistance à la traction de fibres de verre en fonction du diamètre.

sistance diminue aussi avec la longueur de l'éprouvette. Les verres subissent le phénomène de fluage à charges constantes. Après un temps indéfini, soumis à une charge assez faible, le verre finit par se rompre. On peut remarquer que l'essai de traction effectué sous vide donne des tensions plus fortes qu'à l'air libre et n'occasionne pas de fluage. Par contre, sous eau, la tension de traction diminue. La tension de rupture passe par un minimum si l'essai a lieu à une température comprise entre 150 et 300° C.

Les différences obtenues pour les tractions sur des éléments très petits et sur les éprouvettes habituelles proviennent de la micro-hétérogénéité des verres. Les verres peuvent être considérés comme un liquide très visqueux, au point de vue thermodynamique.

## B. ESSAIS TRIAXIAUX

### 1) Sur charbon.

**S. Murrel** - Essais triaxiaux sur du charbon.

Dans une taille, le charbon est soumis à des charges bi- ou triaxiales. La pression verticale est due à la pesanteur et à une pression supplémentaire provenant de l'exploitation. Cette dernière pression peut atteindre plus de 5 fois la première. Pour la plupart des charbons, la résistance uniaxiale est fort inférieure aux pressions verticales auxquelles le charbon est soumis dans les travaux du fond. Ce sont les contraintes latérales auxquelles il est soumis qui permettent au charbon de résister aux pressions importantes qui existent près des fronts de taille.

La résistance uniaxiale du charbon provenant de la couche « Schuckman » en Haute-Silésie est de 200 kg/cm<sup>2</sup>. Si l'on soumet ce charbon à une pression latérale de 750 kg/cm<sup>2</sup>, la résistance verticale offerte par ce charbon est dix fois plus forte.

Pour le charbon provenant de la couche « Barnsley Hards », la résistance du charbon à la compression, qui est de 247 kg/cm<sup>2</sup> à l'essai uniaxial, s'élève à 1280 kg/cm<sup>2</sup> s'il est soumis à une compression latérale de 280 kg/cm<sup>2</sup>.

Pour du charbon provenant de « Cwmtillery », la résistance à la compression qui est de 58 kg/cm<sup>2</sup> à l'essai uniaxial, s'élève à 1150 kg/cm<sup>2</sup> s'il est soumis à une compression latérale de 280 kg/cm<sup>2</sup>.

On peut remarquer que le rapport des pressions de ruptures uniaxiales est d'environ 5 à 1 pour les 2 charbons « Barnsley » et « Cwmtillery » ; mais si on applique à ces deux charbons une pression latérale de 280 kg/cm<sup>2</sup>, on obtient des tensions de rupture à la compression équivalentes pour les deux charbons, soit respectivement 5 et 20 fois les pressions de rupture uniaxiales.

L'angle de rupture varie peu avec les pressions latérales. On remarque que les angles de rupture réels sont en général inférieurs à ceux mesurés sur le cercle de Mohr obtenu par les essais, par suite de l'anisotropie du charbon. Les ruptures se produisent par cisaillement le long des surfaces de glissement.

Pour les divers charbons essayés, la tension de rupture à la compression uniaxiale varie de 60 à 300 kg/cm<sup>2</sup>. Pour un effort latéral de 280 kg/cm<sup>2</sup>, la tension de rupture à la compression atteint 1200 kg/cm<sup>2</sup> ; pour ce même effort latéral, les tensions de rupture à la traction passent respectivement de 5 à 60 kg/cm<sup>2</sup> et celles au cisaillement de 15 à 70 kg/cm<sup>2</sup>.

Les ruptures du charbon se produisent par ouverture des fissures qui naissent sous les efforts de traction.

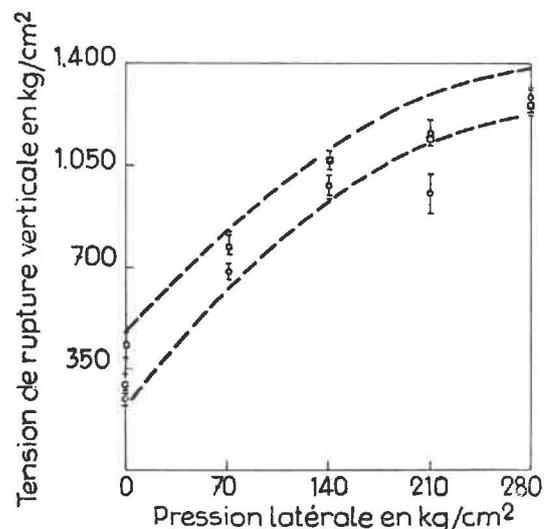


Fig. 16. — Variation de la charge de rupture verticale d'une éprouvette de charbon de la couche « Barnsley Hards » en fonction de la pression latérale.

- stratification parallèle à l'axe de compression.
- stratification perpendiculaire à l'axe de compression.

Le tableau VI et la figure 16 donnent les valeurs des tensions de rupture et les cycles de rupture lors d'essais triaxiaux effectués sur des cylindres de charbon provenant de la couche « Barnsley Hards ». Ces cylindres ont 25 mm de diamètre et 50 mm de longueur.

TABLEAU VI.

Orientation des faces du cylindre	Pression latérale kg/cm <sup>2</sup>	Pression verticale de rupture kg/cm <sup>2</sup>	Angle de rupture	
			mesuré en degrés	calculé d'après le cercle de Mohr en degrés
Stratification parallèle à l'axe	0	247	—	—
	70	680	13,4	24
	140	980	14,6	30
	210	900	17,3	31
	280	1.280	15,9	38
Stratification perpendiculaire à l'axe	0	436	—	—
	70	780	16,1	26
	140	1.072	18,4	32
	210	1.143	19,6	36
	280	1.258	20,7	44

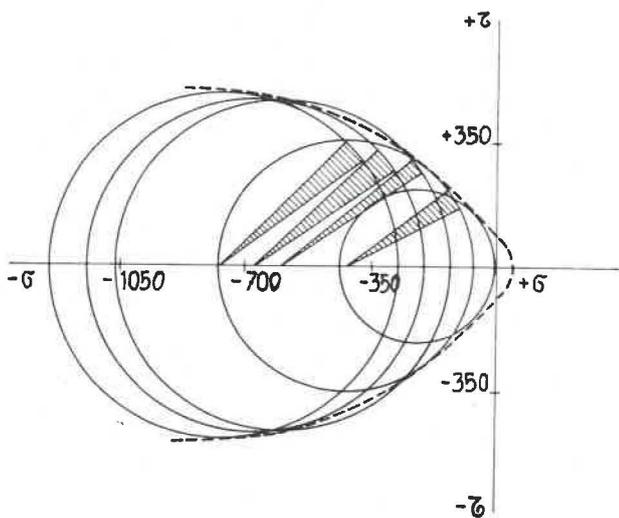


Fig. 17. — Courbes enveloppes de Mohr pour des éprouvettes de charbon provenant de la couche «Barnsley Hards» dans le cas de la stratification perpendiculaire à l'axe de compression.

La figure 17 donne les divers cercles de Mohr pour des éprouvettes de charbon de la couche «Barnsley Hards» dans le cas où la stratification est perpendiculaire à l'axe de compression.

2) Sur roches.

N. J. Price - Etudes des essais triaxiaux effectués sur roches.

Comme, dans les mines, les roches sont soumises à des pressions latérales, il importe d'étudier le comportement de ces roches en les soumettant à des essais triaxiaux. Ces essais peuvent être influencés par divers facteurs tels que pression latérale, teneur en eau, température, vitesse de mise en charge, durée de l'essai.

Les essais triaxiaux permettent de tracer les cercles de Mohr et ensuite de tracer la courbe enveloppe de ces cercles. La figure 18 montre le schéma

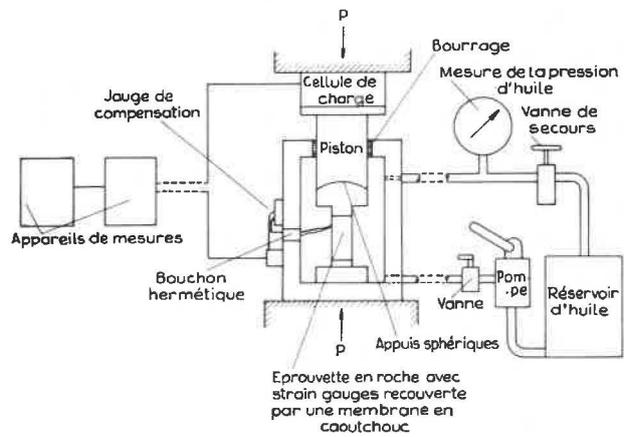


Fig. 18. — Schéma de l'appareillage utilisé pour les essais triaxiaux.

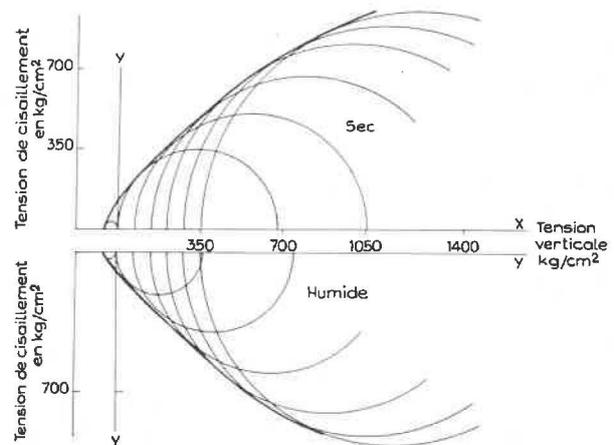


Fig. 19. — Courbes enveloppes des cercles de Mohr pour des éprouvettes de grès provenant du banc «Darley Dale». La courbe supérieure se rapporte à des cylindres secs, tandis que la courbe inférieure donne la courbe enveloppe pour le cas d'éprouvettes humides.

de l'appareillage utilisé et la figure 19 les courbes enveloppes obtenues avec du grès provenant de «Darley Dale».

Si la teneur en eau augmente, on observe une diminution des résistances à la traction et au cisail-

ment. L'angle de rupture mesuré sur l'échantillon diffère peu de celui calculé par le cercle de Mohr pour les matériaux homogènes, mais est inférieur si le matériau est hétérogène. Le cisaillement peut être calculé sur le cercle de Mohr ou être trouvé par la formule :

$$c = \sqrt{\frac{r}{R}} \text{ où } \begin{cases} r \text{ est la résistance à la traction} \\ R \text{ est la résistance} \\ \text{à la compression uniaxiale} \end{cases}$$

La résistance augmente avec la teneur en cristaux de quartz.

La résistance à la compression du grès Pennant est de 1.500 kg/cm<sup>2</sup> et le module de Young est de 700.000 kg/cm<sup>2</sup>.

La résistance à la compression vaut environ 4 à 5 fois la résistance au cisaillement et 10 à 16 fois la résistance à la traction.

Le module de Young est plus grand si la stratification est parallèle à l'axe de compression que si elle est perpendiculaire à cet axe. Ce module augmente avec les contraintes latérales (de 3 à 10 % par augmentation de la pression latérale de 70 kg/cm<sup>2</sup>).

Comme il n'y a pas de déformation latérale possible pour les roches dans le fond, le rapport tension-déformation n'est plus E mais vaut

$$A = \frac{m(m-1)}{(m+1)(m-2)} E$$

où m est le module de Poisson.

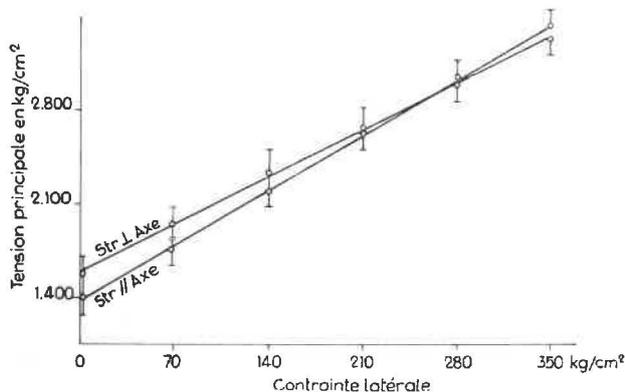


Fig. 20. — Variation de la tension principale de rupture par compression en fonction de la contrainte latérale, sur du grès provenant du banc « Pennant », suivant que l'axe de compression est perpendiculaire ou parallèle à la stratification.

La figure 20 donne les courbes de résistance à la compression des cylindres de grès provenant du banc « Pennant » en fonction des contraintes latérales.

La figure 21 montre la diminution de résistance d'un échantillon de grès du banc « Darley Dale » avec l'augmentation de sa teneur en eau.

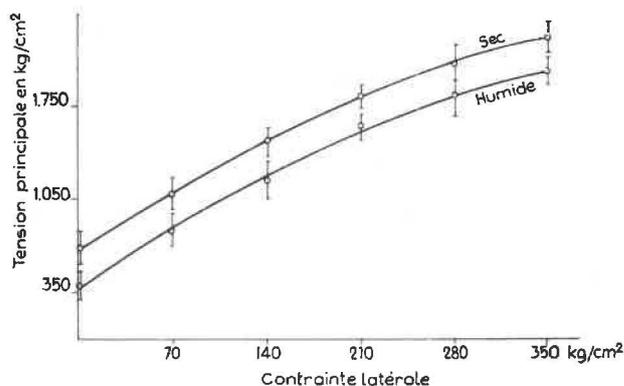


Fig. 21. — Variation de la tension principale de rupture par compression en fonction de la contrainte latérale pour des échantillons de grès du banc « Darley Dale » dans le cas de cylindres secs et humides.

### C. ESSAIS DE CHOCS THERMIQUES

#### 1) Effets de l'élévation de température sur les propriétés mécaniques du charbon.

#### F. Hiorns - Mesures des propriétés mécaniques dynamiques du charbon.

L'auteur étudie l'influence de la température et de l'eau sur le comportement du charbon. Il étudie surtout les variations du module de Young et du frottement interne.

Les mesures sont faites en observant la vibration propre de l'éprouvette.

Le module de Young est proportionnel au carré de la fréquence propre du matériau.

La fréquence propre d'un matériau varie avec l'amplitude des impulsions.

La fréquence propre d'un échantillon croît et décroît avec les variations de température. Pour un charbon, E présente un minimum à 60°, croît jusqu'à 120°, puis décroît à nouveau jusqu'au-delà de 180°.

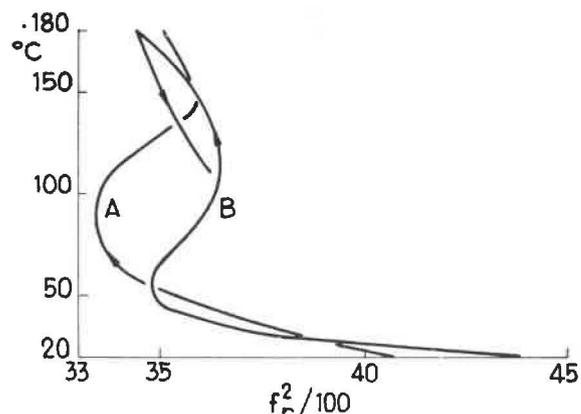


Fig. 22. — Variation du carré de la fréquence en fonction de la température à laquelle l'éprouvette de charbon est soumise. La courbe A représente la variation de fr<sup>2</sup> lors du premier essai; tandis que la courbe B donne la variation de fr<sup>2</sup> lors du second essai effectué après refroidissement de l'éprouvette.

La figure 22 donne la variation du carré de la fréquence en fonction d'une élévation de température du charbon.

La fréquence diminue avec l'humidité par suite probablement des gonflements des pores produisant une diminution de l'énergie superficielle.

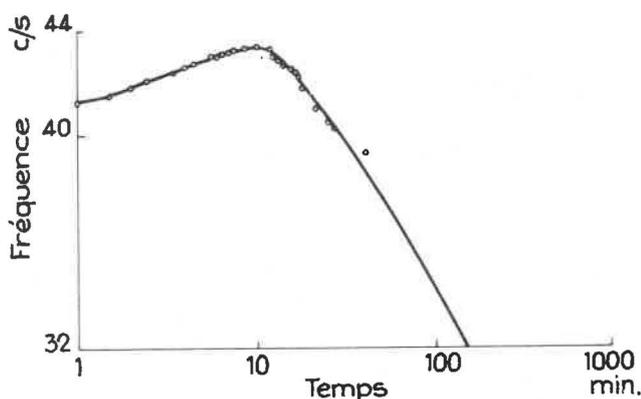


Fig. 23. — Variation de la fréquence en fonction de la durée pendant laquelle l'éprouvette de charbon est soumise à un gaz saturé d'eau.

La figure 23 donne la variation de la fréquence en fonction de la durée d'exposition de l'échantillon à un gaz saturé d'eau.

La valeur du frottement interne est proportionnelle à la largeur de l'onde d'amplitude maximum et inversement proportionnelle à la fréquence propre du matériau.

Le frottement interne diminue avec l'élévation de température jusque vers 100 à 150° C, puis augmente à nouveau.

## 2) Effets de chocs thermiques sur des matériaux réfractaires.

**P. Murray, J. Williams et D.T. Levey** - Facteurs influençant la résistance au choc thermique de matériaux réfractaires.

L'auteur a effectué une étude théorique, puis a estimé les résistances à partir des données théoriques. Des essais pratiques ont ensuite été faits pour vérifier l'étude théorique.

La résistance au choc thermique est proportionnelle à la conductivité thermique, à la résistance de l'éprouvette à la traction, au facteur  $1 - \nu$  (où  $\nu$  est le rapport de Poisson)

et inversement proportionnelle au module de Young et au coefficient de dilatation thermique.

Le facteur principal est le coefficient de dilatation thermique.

La résistance au choc thermique croît avec la diminution de porosité (celle-ci varie en moyenne de 20 à 1 %).

La conductivité thermique varie aussi avec la porosité.

La résistance des matériaux réfractaires varie inversement proportionnellement à la racine carrée du diamètre des grains.

(à suivre)