

**Zeitschrift:** IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH  
Kongressbericht

**Band:** 5 (1956)

**Artikel:** Essais de fatigue sur mortier

**Autor:** Davin, M.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-5975>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 19.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## **Ib3**

**Essais de fatigue sur mortier**

**Fatigue tests on mortar**

**Ermüdungsversuche mit Mörtel**

**Ensaaios de fadiga em argamassa**

M. DAVIN

*Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées  
au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées  
Paris*

Au moyen de machines inventées par M. Marcel PROT, le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées a entrepris des essais systématiques de fatigue d'éprouvettes de mortier, soit à charge constante, soit à «charge progressive». Ces dernières seules font l'objet de la présente communication.

### ***Possibilités générales des machines.***

Les machines sont disposées pour exercer, à volonté, des poussées vers le haut ou des tractions vers le bas, et même alternativement l'une et l'autre, ces efforts (comptés par exemple positivement quand il s'agit de poussées vers le haut) étant de la forme

$$A + B \sin (\omega t + \varphi)$$

ce qui donne: pour  $|A| > |B|$  poussée modulée pour  $A > 0$   
traction modulée pour  $A < 0$   
et pour  $|A| < |B|$  poussées et tractions alternées.

Suivant le dispositif de fixation de l'éprouvette et la forme de celle-ci on pourrait utiliser ces efforts à produire dans l'éprouvette tous les modes de sollicitation désirés: compression ou traction simple, flexion, torsion, etc. ... Toutefois seule la «flexion simple répétée» a donné lieu à des campagnes d'essais au Laboratoire Central.

*«Flexion simple répétée».*

Cette «flexion simple répétée» consiste en une flexion simple, (c'est à dire sans sollicitation normale, par opposition à «flexion composée») à moment constant sur la région médiane de l'éprouvette, appliquée par cycles s'étendant de 0 à un maximum qui peut être réglé à une valeur constante (essai non progressif) ou à une valeur (voir fig. 3) croissant linéairement en fonction du temps à une vitesse extrêmement variable mais toujours très faible lorsque la durée d'un cycle est prise pour unité (essai progressif). Par construction les machines réalisent 500 cycles par minute; d'où

$$\omega = \frac{2 \times 500}{60} = 52,36.$$

Les cycles sont obtenus par la combinaison d'une charge dite «fixe» (constante ou progressive) avec une charge à variation sinusoïdale dont l'amplitude, constante ou progressive est précisément égale en principe à la valeur de la charge fixe.

L'effort produisant la flexion est ainsi de la forme  $A [1 + \sin (\omega t + \varphi)]$  variant de 0 au maximum  $2A$  à chaque cycle.

*Réalisation.*

(voir schéma fig. 2)

Un poids  $P$ , par l'intermédiaire de leviers qui multiplient par 20 la force exercée, applique de bas en haut la mâchoire inférieure sur l'éprouvette. Dans la tige qui porte cette mâchoire est intercalé un anneau sur lequel agit un poussoir tournant actionné par un levier coudé qui reçoit, par une rotule située dans l'axe de rotation de l'équipage tournant portant le poussoir et le levier coudé, l'effort dû à un poids  $Q$ , amplifié également 20 fois par un système de leviers. La résultante verticale des efforts sur la mâchoire inférieure est donc en principe:  $20 (P + Q)$  lorsque le poussoir est à sa position supérieure,  $20 (P - Q)$  lorsqu'il est à sa position inférieure et d'une façon générale  $20 [P + Q \sin (\omega t + \varphi)]$ .

Les réactions horizontales sur l'anneau, soit:

$$20 Q \cos (\omega t + \varphi)$$

sont absorbées par des glissières verticales à faible frottement.

Si on fait  $P = Q$ , le cycle est compris entre 0 et un maximum, et il n'y a pas d'inversion d'effort. En fait, comme l'éprouvette n'est pas disposée pour recevoir effectivement les efforts inversés, il faut prendre une certaine marge de sécurité contre le «décollement» des mâchoires qui se traduirait par des chocs répétés préjudiciables à la correction de l'expérience. Nous avons pris

$$P = Q + 100 \text{ gr} \quad (P \text{ et } Q \text{ étant de l'ordre de } 3 \text{ à } 10 \text{ Kg}).$$

Dans l'essai à charge progressive, P et Q augmentent à la même vitesse par l'émission régulière de billes qui tombent dans 2 seaux dont l'un fait partie du poids P et l'autre du poids Q.

La mâchoire inférieure appuie sur l'éprouvette par deux rouleaux espacés de 7 cm; la mâchoire supérieure qui est fixée au bâti par l'intermédiaire d'une vis de réglage en hauteur, appuie par deux rouleaux espacés de 3 cm; l'ensemble est symétrique par rapport à un plan vertical. La disposition des génératrices d'appui assure (fig. 3) (au moins d'après la théorie élémentaire <sup>(1)</sup>) la constance du moment fléchissant sur les 3 cm médians de l'éprouvette. La liberté de rotation des rouleaux assure la verticalité des 4 réactions, malgré l'allongement de la fibre inférieure et le raccourcissement de la fibre supérieure de l'éprouvette, qui, entre pièces d'appui fixes et douées de frottement, provoqueraient une inclinaison des réactions supérieures et inférieures à la rencontre l'une de l'autre et une diminution notable du moment.

#### Eprouvette.

L'éprouvette, dans nos essais, est un prisme à base carrée de mortier. La longueur est 10 cm, le côté du carré de base est en centimètres égal à  $\sqrt{10} = 3,16$ .

La composition du mortier est la suivante:

Sable 2mm/3mm ... ..	1500 gr
Sable 0mm4/0mm6 ... ..	750 gr
Ciment Portland (CPB Lafarge) ...	750 gr
Eau ... ..	319 gr

(<sup>1</sup>) Cette constance ne doit pas être trop mal assurée en fait, car nous avons constaté une répartition à peu près uniforme des ruptures dans la longueur des 3cm médians, sur l'ensemble des éprouvettes essayées.

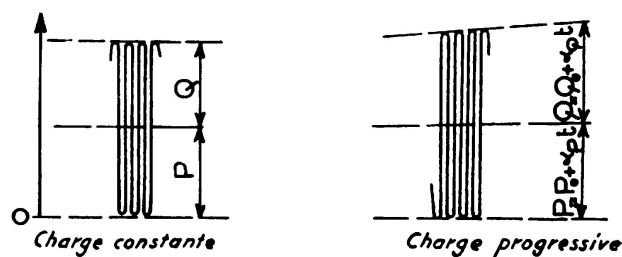


FIG. 1

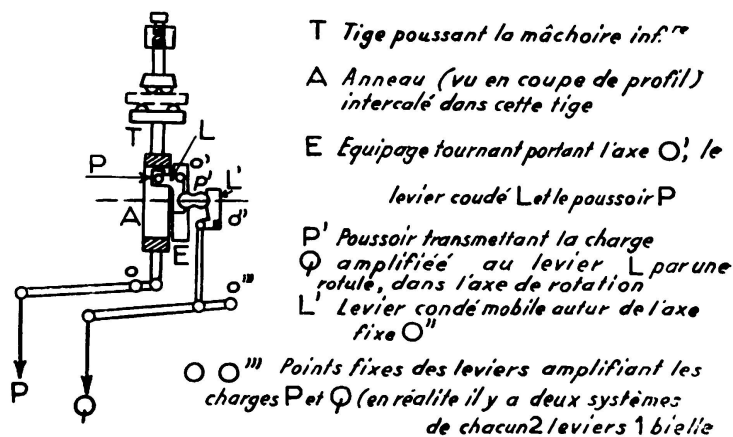


FIG. 2. Schéma du mécanisme

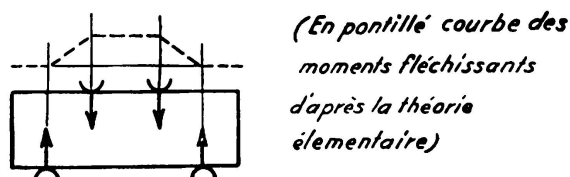


FIG. 3. Eprouvette et rouleaux appliquant la charge

Le malaxage est fait dans une machine spéciale due également à M. PROT, où le mélange, placé dans un récipient en forme d'ellipsoïde aplati, est soumis à une translation circulaire dont la vitesse réglable est contrôlée par un compte-tours. La mise en place dans un moule à 24 cases est assurée par vibration sur une table à réaction à 4.300 périodes par seconde. Des essais d'étalement <sup>(2)</sup> nous ont montré que l'on peut compter sur la fidélité de ce matériel, si la vitesse de malaxage est maintenue constante. Toutefois le moulage ne donne pas directement une face supérieure suffisamment précise. Les éprouvettes devant être essayées dans le sens même où elles ont été coulées (le plan de symétrie longitudinal est ainsi le même dans la fabrication et dans l'essai) les faces d'appui (supérieure et inférieure) sont terminées au lapidaire, en général à l'âge de 21 jours. Les éprouvettes, conservées dans l'eau, n'en sont extraites que pour l'opération de rodage, puis pour l'essai.

#### *Précautions opératoires.*

Des précautions opératoires sont nécessaires pour éviter les oscillations des poids: en particulier un réglage précis de la hauteur de l'éprouvette est indispensable pour que l'axe de rotation de l'équipage portant poussoir et levier coudé coïncide exactement avec l'axe de l'anneau. Une erreur de 1/10 de millimètre dans ce réglage se traduit par une oscillation de 2 mm de 1/2 amplitude des poids, qu'à la fréquence de 500 périodes par minute, fausse de 56 % l'action du poids Q, à cause de son inertie (sous réserve de l'effet des amortisseurs, mais vu leur réglage délicat cet effet n'est pas toujours nettement favorable). En effet l'accélération est  $a\omega^2$ ,  $a$  étant la 1/2 amplitude, soit pour 2 mm:

$$0,2 \times 52,36^2 = 550 \text{ C G S} = 0,56 \text{ g environ.}$$

Heureusement le réglage en hauteur est très facile, il se fait par l'action de la mâchoire supérieure. Il faut seulement veiller à le refaire après quelques heures de fonctionnement, dans les essais lents, parce que les rouleaux tendent à se creuser dans l'éprouvette un logement qui d'après sa largeur apparente, peut avoir quelques centièmes de millimètres de profondeur. Par contre il se peut que l'équipage et l'anneau soient légèrement dérégles, l'un par rapport à l'autre dans le sens horizontal. Il est alors très difficile de corriger ce dérèglement et s'il devient excessif une révision des pièces s'impose. On remarquera toutefois qu'en lui-même il a peu d'influence sur les résultats. Si le réglage en hauteur est correct, l'oscillation des poids produit des efforts d'inertie qui sont *en quadrature* avec la facteur d'influence du poids Q soit

$$\sin (\omega t + \varphi).$$

Ces efforts n'interviennent qu'au 2° degré dans la détermination de l'amplitude du cycle et s'ils restent modérés ils n'ont guère d'autre effet

---

<sup>(2)</sup> Voir «La technique Moderne Construction» N° de Juin 1953.

qu'une déformation du cycle, sans modification de ses extrêmes. Malheureusement, ces oscillations en quadrature rendent le réglage en hauteur beaucoup plus aléatoire. On ne peut en effet jamais assurer le repos complet du poids  $Q$ , on est obligé de déterminer le réglage en hauteur qui rend ses oscillations minima, et comme leur amplitude varie peu au voisinage du minimum, il faut déterminer de part et d'autre de ce minimum deux positions qui rendent les oscillations à peu près égales, et prendre la position moyenne. Si par exemple l'erreur de réglage transversal est  $1/30$  de mm la mise en quadrature par réglage de la hauteur de l'éprouvette peut être sans trop de difficulté réalisée à  $20^\circ$  près, ce qui laisse subsister en phase une oscillation d'amplitude :

$$\frac{20\text{mm}}{30} \times \sin 20^\circ = 0\text{mm},23 \text{ environ}$$

correspondant à une erreur de 6 % sur  $Q$  soit 3 % sur  $P + Q$ .

Heureusement la nature de cette expérimentation permet d'accepter de telles erreurs. On remarque d'ailleurs que les 2 extrêmes du cycle sont affectés dans le même sens, en sorte que son amplitude reste inchangée en première approximation. Or cette amplitude est probablement l'élément le plus important à considérer pour la fatigue. On voit toutefois que la marge de sécurité de 100 gr contre une tendance au renversement de l'effort n'était pas inutile et que nous l'avons même choisie bien faible. Nous n'avons toutefois constaté qu'assez rarement un martèlement de l'éprouvette et nous avons alors rectifié le réglage.

#### *Progressivité de la charge.*

Nous rappelons que M. Marcel PROT, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées à Paris, est le promoteur de la méthode d'essai de fatigue par progressivité de la charge et qu'il a conçu également des machines pour l'application de cette méthode aux métaux. Sur le plan de la recherche <sup>(3)</sup>, l'avantage de cette méthode est qu'elle aboutit toujours à la rupture de l'éprouvette essayée, et que par conséquent tout essai fournit un résultat chiffré. L'essai à charge constante, s'il n'aboutit pas à la rupture avant le délai maximum qui a paru, à l'expérimentateur, admissible pour l'immobilisation de ses machines, se traduit par la mention «Eprouvette non rompue après ..... cycles», qui ne permet pas de savoir si l'éprouvette n'aurait pas fini par se rompre, moyennant une prolongation de l'essai. La discussion des résultats au point de vue «probabiliste» devient ainsi extrêmement délicate.

Dans la plupart des machines PROT et en particulier dans celle que nous avons utilisée pour les essais progressifs sur mortier, l'augmentation de la charge est obtenue par des émissions de billes d'acier à des inter-

---

<sup>(3)</sup> Sur le plan pratique des essais de contrôle, elle permet certainement un gain de temps notable pour la détermination de la limite de fatigue d'un échantillon, moyennant certaines précautions dans l'opération d'extrapolation qu'elle comporte.

valles réguliers, commandées par une boîte de vitesses qui présente toujours les 2 caractéristiques suivants :

- 1°) les vitesses sont très nombreuses
- 2°) elles croissent en progression pratiquement <sup>(4)</sup> géométrique dont

la raison est un «nombre normal» ou «nombre Renard» c'est à dire un nombre dont le *logarithme décimal* est une fraction dont le dénominateur est 10.

Dans notre machine il y a 15 vitesses et la raison de leur progression est  $10^{0.2}$  que l'on a représenté par  $a^2$ . Le rapport des vitesses extrêmes est ainsi  $100 a^8 = 630$  environ.

Ces vitesses correspondant à des rythmes d'émission de billes du poids individuel de 10 grammes. *Pour un type d'essai déterminé* chacune correspond à une valeur du *coefficient de PROT*  $\alpha$  qui est une augmentation de contrainte unitaire par cycle et a les dimensions d'une contrainte unitaire  $FL^{-2}$  (F force, L longueur). Mais comme le type d'essai ainsi que nous l'avons exposé au 1er paragraphe, peut varier moyennant l'emploi d'éprouvettes convenables et de mâchoires ou pièces d'appui appropriées, on a préféré représenter conventionnellement ces vitesses par des nombres purs. Le constructeur s'est toutefois arrangé pour que dans l'essai le plus courant et le plus facile qui est précisément celui que nous avons systématiquement exécuté, les vitesses exprimées en Kg/cm<sup>2</sup> par *cycle* soient égales à ces nombres.

Voici le tableau donnant en fonction de la désignation des vitesses, l'intervalle de deux émissions de billes (1 émission = 1 bille de 10 gr dans *chacun* des 2 seaux, celui du poids P et celui du poids Q) et l'augmentation de P ou Q et de la contrainte, par Kilocycle, dans notre essai.

Les chiffres de la dernière colonne sont en effet, compte tenu de la valeur de  $a$  (soit  $10^{1/10} = 1,25$  environ) égaux à 1000 fois ceux de la première, étant exprimés par Kilocycle et non par cycle. (les indications du compteur de la machine, sont elles-mêmes en Kilocycles).

Pour passer de l'avant-dernière à la dernière colonne, on note que pour 1 gr d'augmentation de P et Q l'effort total  $20 (P + Q)$  augmente de 40 gr, soit 20 gr pour la poussée de chaque rouleau et le moment fléchissant de  $20 \text{ gr} \times 2 \text{ cm} = 40 \text{ gr} \times \text{cm}$ , Le moment résistant de l'éprouvette est

$$\frac{b h^2}{6} = 5,3 \text{ cm}^3.$$

La contrainte pour 1 gr d'augmentation sur P et sur Q est donc :

$$\frac{40}{5,3} = 7,55 \text{ gr/cm}^2 \quad \text{ou} \quad 0,00755 \text{ Kg/cm}^2$$

---

<sup>(4)</sup> La raison de la progression théorique n'étant pas elle même un nombre rationnel la réalisation, qui exige des rapports rationnels (rapports nombres de dents d'engrenages) ne peut être qu'approximative. Mais les erreurs ne sont que de quelques millièmes.

Désignation	Intervalle entre 2 émissions	Nombres de Kilocycles correspondant	Augmentation de P ou Q par Kcy.	Augmentation de la contrainte par Kcy.
$a^{-8} 10^{-5}$ ou $a^2 10^{-6}$	1 h 36 '	48	0gr, 21	0,0016
$a^{-6} 10^{-5}$ ou $a^4 10^{-6}$	1 h	30	0gr, 33	0,0025
$a^{-4} 10^{-5}$ ou $a^6 10^{-6}$	38 '	19	0gr, 52	0,0039
$a^{-2} 10^{-5}$ ou $a^8 10^{-6}$	24 '	12	0gr, 83	0,0063
$a^0 10^{-5}$	15 '	7,5	1gr, 33	0,01
$a^{-8} 10^{-4}$ $a^2 10^{-5}$	9 ' 30 "	4,8	2gr, 1	0,0016
$a^{-6} 10^{-4}$ $a^4 10^{-5}$	6 '	3	3gr, 3	0,025
$a^{-4} 10^{-4}$ $a^6 10^{-5}$	3 ' 50 "	1,9	5gr, 2	0,039
$a^{-2} 10^{-4}$ $a^8 10^{-5}$	2 ' 24 "	1,2	8gr, 3	0,063
$a^0 10^{-4}$	1 ' 30 "	0,75	13gr, 3	0,1
$a^{-8} 10^{-3}$ $a^2 10^{-4}$	57 "	0,48	21 gr	0,16
$a^{-6} 10^{-3}$ $a^4 10^{-4}$	36 "	0,3	33 gr	0,25
$a^{-4} 10^{-3}$ $a^6 10^{-4}$	23 "	0,19	52 gr	0,39
$a^{-2} 10^{-3}$ $a^8 10^{-4}$	15 "	0,12	83 gr	0,63
$a^0 10^{-3}$	9 "	0,075	133 gr	1 Kg/cm <sup>2</sup>

### Résultats expérimentaux.

78 essais ont été retenus, après élimination d'une douzaine ayant donné lieu à des incidents de fonctionnement (le plus souvent arrêt de l'émission de billes) sans compter les 2 premières séries d'éprouvettes entièrement sacrifiées pour la mise au point des routines de l'opération. Parmi les essais éliminés, certains ont donné lieu à des observations qui, en corrélation avec les circonstances particulières qui ont motivé leur élimination, présentent un certain intérêt et peuvent corroborer nos conclusions générales. Nous n'avons par contre pas estimé avoir le droit d'éliminer les essais qui, malgré une expérimentation correcte à notre connaissance, ont donné des résultats exceptionnellement aberrants. Ces cas sont heureusement rares, et nous ne pouvons être surpris de rencontrer des dispersions importantes dans l'étude de la fatigue d'un matériau dont la résistance statique est déjà notablement dispersée.

Dans chaque série de 24 éprouvettes (la série n° 7 n'en comptait toutefois que 12) 8 éprouvettes ont été sacrifiées pour la détermination d'une moyenne et d'une dispersion de la résistance «statique» (essai de flexion classique à la presse *Losenhausenwerk*). Cette mesure a surtout pour but de contrôler la fidélité de notre fabrication et notamment des fournitures de ciment que nous utilisons. Accessoirement, ces essais ayant été faits à des âges variés, elle fait ressortir l'allure de l'évolution de la résistance avec le temps. Voici le résumé de ces essais préliminaires.

N° de la série	3	4	5	6	8	9	10	demi-série n° 7
Résistance statique moyenne à la flexion	69K, 5	76 K	76K, 5	82 K	76 K	78 K	77K, 5	87K, 5
Ecart arithmétique moyen par rapport à la résistance moyenne (pour les 8 éprouvettes de la série)	4 K, 0 soit 5,8 ‰	2K, 3 soit 3,1 ‰	3k, 2 soit 4,2 ‰	6k, 8 soit 8,3 ‰	5k, 8 soit 7,7 ‰	2k, 8 soit 3,6 ‰	5k, 4 soit 7 ‰	1k, 7 soit 1,9 ‰
Age lors de l'essai	18 j	28 j	45 j	62 j	48 j	28 j	58 J	21 j

La demi-série n° 7 doit être mise à part. Le malaxage, exécuté sur une masse moindre, a été sans doute plus efficace et c'est pourquoi la résistance a égalé <sup>(5)</sup> celle des éprouvettes cylindriques que nous exécutons couramment par gâchées de 1.500 cm<sup>3</sup>. Les 7 autres séries se placent bien au voisinage de la courbe :

$$R = 100 \left[ 1 - \frac{\log 2}{\log \left( \frac{A + 4}{2} \right)} \right]$$

l'écart arithmétique moyen par rapport à cette courbe est 2 Kg.

Dans l'essai de fatigue proprement dit, nous avons obtenu les résultats consignés au tableau 1. Nous groupons ces résultats d'après la valeur de  $\alpha$ , exprimée conventionnellement comme il est dit ci-dessus. Au départ la charge est uniformément  $P = 3K,1$ ;  $Q = 3K$ ; la charge des équipages et des seaux à billes est compensée par des contrepoids.

Le lecteur peut toujours calculer le nombre de cycles par la formule

$$n = \frac{R - 23}{\alpha}.$$

Par exemple pour 37,2 Kg/cm<sup>2</sup> obtenu avec  $\alpha = a^8 10^{-6}$  on trouve :

$$\frac{14,2}{6,3 \cdot 10^{-6}} = 2,25 \cdot 10^6 \text{ (ou 2250 Kcy.)}$$

<sup>(5)</sup> Par contre cette demi-série ne s'est pas distinguée par une résistance plus grande dans les essais de fatigue eux-mêmes.

I — Tableau des résultats expérimentaux

Désignation de la vitesse d'accroissement de la charge	$a^{-8} 10^5$ ou $a^2 10^6$	$a^{-6} 10^{-5}$ ou $a^4 10^{-6}$	$a^{-4} 10^{-5}$ ou $a^6 10^{-6}$	$a^{-2} 10^{-5}$ ou $a^8 10^{-6}$	$a^0 10^{-5}$	$a^{-8} 10^{-4}$ ou $a^2 10^{-5}$	$a^{-6} 10^{-4}$ ou $a^4 10^{-5}$	$a^{-4} 10^{-4}$ ou $a^6 10^{-5}$	$a^{-2} 10^{-4}$ ou $a^8 10^{-5}$	$a^0 10^{-4}$	$a^{-8} 10^{-3}$ ou $a^2 10^{-4}$	$a^{-6} 10^{-3}$ ou $a^4 10^{-4}$	$a^{-4} 10^{-3}$ ou $a^6 10^{-4}$	$a^{-2} 10^{-3}$ ou $a^8 10^{-4}$	$a^0 10^{-3}$
Contraintes de rupture en Kg/cm <sup>2</sup> R	78,2	65.0 57.4 59.5 57.9	36.3 34.5 74.3	47.3 46.2 31.2 28.1 37.2	65.2 47.1 37.4 37.8 40.0 33.3 37.0 36.0 35.8 32.3 41.6 37.6 37.9 30.2 30.5	41.7 58.6	45.5 45.0 37.0 40.0 40.0 47.5 43.6 47.0 43.3	53.3 54.6 60.4 50.3 47.2 43.6 47.0	52.2 49.1	45.0 37.7 38.9 45.6 44.2 46.5 43.9 43.5 52.4	54.3 67.4 71.0	48.2 47.5 56.9	50.9 46.5	55.4 58.7 49.3 54.3 60.9 62.3 57.5 63.5 64.5	64.7 67.8 57.0 67.5 61.5
Moyenne	78.2	60.0	48.4	38.1	38.6	50.2	42.2	50.0	50.7	44.2	64.2	50.9	48.7	58.3	63.7
Point corres- pondant sur la courbe	78	62	46.5	38.5	38.5	40.5	43	45.5	48	50.5	53	55.5	58	60.5	62.5
Ecart arithmé- tique moyen par rapport à la moyenne	»	2K. 6 soit 4 %	17K. 3 soit 36 %	6K. 95 soit 18 %	5K. 2 soit 13, $\frac{1}{2}$ %	8K. 4 soit 17 %	3K. 3 soit 8 %	4K. 7 soit 9 $\frac{1}{2}$ %	1K. 5 soit 3 %	2K. 95 soit 6 $\frac{1}{2}$ %	6K. 6 soit 10 $\frac{1}{2}$ %	4K soit 8 %	2K. 2 soit 4 $\frac{1}{2}$ %	3K. 9 soit 6 $\frac{1}{2}$ %	3K. 55 soit 5 $\frac{1}{2}$ %
par rapport au point de la courbe	0K. 2 soit 0 %	3K. 6 soit 6 %	16K. 7 soit 36 %	7K soit 18 %	5K. 2 soit 13 $\frac{1}{2}$ %	9K. 65 soit 24 %	3K. 4 soit 8 %	5K. 5 soit 12 %	2K. 6 soit 5 $\frac{1}{2}$ %	6K. 7 soit 13 $\frac{1}{2}$ %	11K. 2 soit 21 %	5K. 6 soit 10 %	9K. 3 soit 16 %	4K. 1 soit 7 %	3K. 8 soit 6 %

*Observations sur les résultats.*

Les résultats présentent une dispersion notable, mais on peut tracer dans le «nuage» de points expérimentaux, avec une vraisemblance suffisante, une courbe moyenne qui présente des caractéristiques intéressantes (fig. 4).

Du côté des  $\alpha$  croissants (essais rapides) la courbe s'élève régulièrement. Elle doit admettre une asymptote, car, si on augmente indéfini-

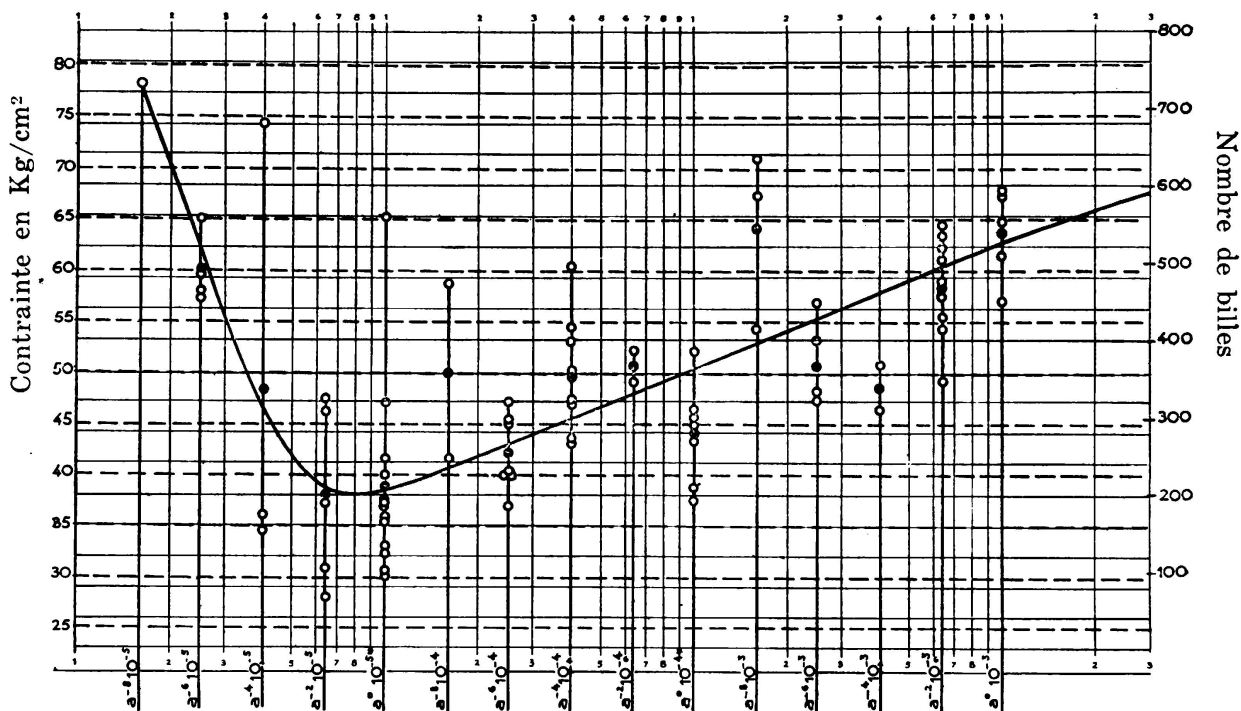


FIG. 4. Résistance en fonction de la vitesse d'accroissement de la charge

ment  $\alpha$ , il n'y a plus à la limite qu'un demicycle ascendant, mais la résistance reste nécessairement limitée. Nous évaluons cette résistance limite, sous une charge appliquée instantanément, à environ 20 à 30 % au dessus de la résistance «statique» obtenue dans l'essai «normal» à la presse, (où la charge parvient à son maximum en 3 secondes environ) soit

$$(1,2 \text{ à } 1,3) \times 77 \text{ Kg/cm}^2 = 92 \text{ à } 100 \text{ KG/cm}^2.$$

L'asymptote est donc assez éloignée de l'extrémité expérimentale de notre courbe (correspondant à  $R = 62 \text{ Kg/cm}^2$ ) pour qu'on ne constate pas d'infléchissement notable, tout au moins quand les abscisses sont portées en échelle logarithmique.

Vers  $\alpha = 10^{-3}$ ,  $R$  passe par un minimum, et du côté des  $\alpha$  décroissants (essais lents) sa valeur se relève considérablement jusqu'à dépasser, si notre courbe représente bien la réalité, non seulement celle correspondant aux essais les plus rapides, mais même la résistance «statique». Malheureusement cette partie de la courbe n'est étayée que par un petit

nombre de résultats car les «essais lents», qui durent des semaines, ne peuvent être multipliés. Le fait même du relèvement nous paraît toutefois bien établi pour plusieurs raisons.

1°) La dispersion en  $a^{-6} 10^{-5}$  a été faible, et les moyennes en  $a^{-8} 10^{-5}$ ,  $a^{-6} 10^{-5}$ ,  $a^{-4} 10^{-5}$ , et  $a^{-2} 10^{-5}$  s'alignent très bien sur la courbe.

2°) Le même phénomène, beaucoup moins accusé mais étayé sur des observations plus nombreuses et moins dispersées, a été observé pour l'acier <sup>(6)</sup>. Nous l'avons attribué à l'«understressing» (relèvement de la limite d'endurance par l'effet de nombreux cycles parcourus *au dessous* mais *au voisinage* de cette limite) qui peut s'expliquer, au moins en partie, par l'amortissement des contraintes internes. Or le mortier présente certainement des contraintes internes considérables dues au retrait différentiel entre l'agrégat et le liant, et même entre les différentes parties

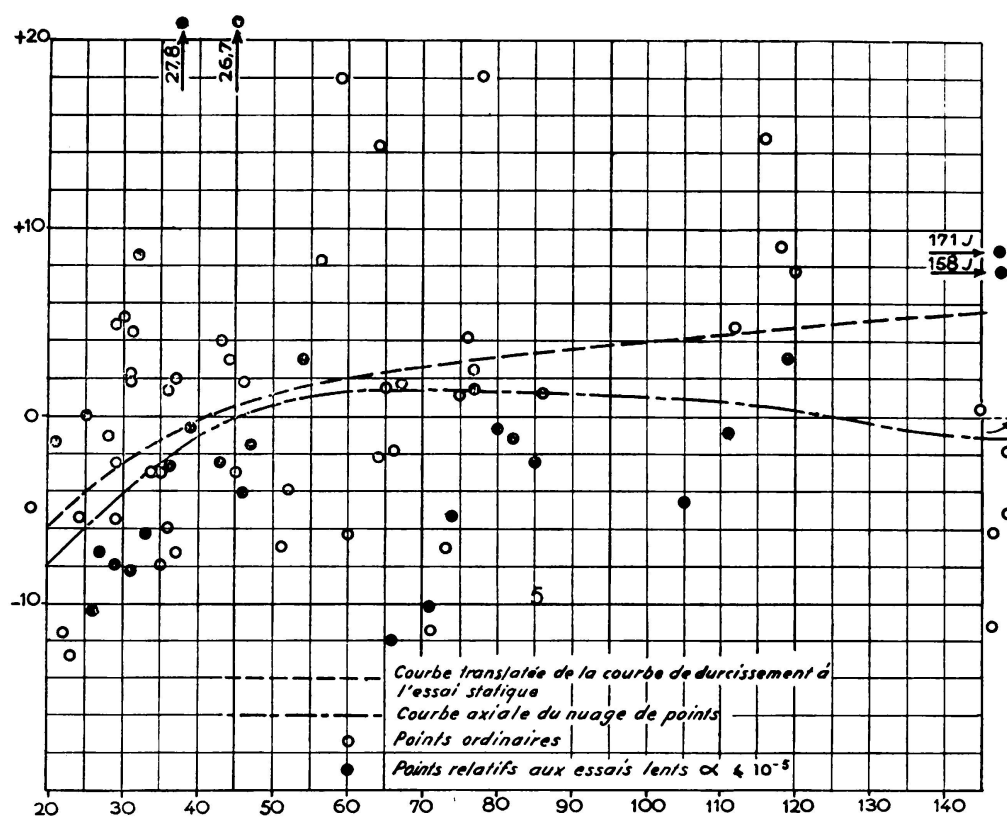


FIG. 5. Ecart de résistance en fonction de l'âge

de l'éprouvette. Mais en outre il est chimiquement vivant, surtout quand il est jeune ; la microfissuration qui se révèle par la «fatigue» est susceptible d'auto-réparation lorsque la charge croît très lentement. Les deux phénomènes peuvent même se combiner : la microfissuration d'un élément surtendu, limitée par le report de la charge sur les éléments voisins

<sup>(6)</sup> Voir revue Générale de Mécanique, juin 1954. «Etude de l'understressing par la méthode de charge progressive.

II — *Tableau des âges*

	$a^{-8} 10^{-5}$ ou $a^2 10^{-6}$	$a^{-6} 10^{-5}$ ou $a^4 10^{-6}$	$a^{-4} 10^{-5}$ ou $a^6 10^{-6}$	$a^{-2} 10^{-5}$ ou $a^8 10^{-5}$	$a^0 10^{-5}$	$a^{-8} 10^{-4}$ ou $a^2 10^{-5}$	$a^{-6} 10^{-4}$ ou $a^4 10^{-5}$	$a^{-4} 10^{-4}$ ou $a^6 10^{-5}$	$a^{-2} 10^{-4}$ ou $a^8 10^{-5}$	$a^0 10^{-4}$	$a^{-8} 10^{-3}$ ou $a^2 10^{-4}$	$a^{-6} 10^{-3}$ ou $a^4 10^{-4}$	$a^{-4} 10^{-3}$ ou $a^6 10^{-4}$	$a^{-2} 10^{-3}$ ou $a^8 10^{-4}$	$a^0 10^{-3}$
Ages (dans le même ordre que les contraintes de rupture du tableau I)	25 j	54 j 105 85 46	71 J 66 38	171 j 158 27 26 21	45 j 32 82 80 77 74 47 43 36 33 119 111 39 31 29	86 j 78	77 j 37 36 35 34 31 29	120 j 118 116 112 67 66 65 64	76 J 75	24 J 23 22 18 60 53 52 51 31	65 J 64 59	37 J 31 36	73 J 71	148 J 148 146 146 145 46 45 44 43	31 J 30 29 29 28

soustendus et suivie du dépôt de nouveaux cristaux «couturant» la microfissure, réalise un processus d'amortissement des contraintes internes.

3°) Les observations sur les essais annulés pour panne d'émission de billes ont montré un relèvement de la charge de rupture lorsque la panne avait eu pour effet de maintenir constante la charge pendant plusieurs heures, à un taux inférieur à celui qui produit la rupture en  $a^{\circ} 10^{-5}$  (minimum de la courbe). Les points se sont placés dans ces essais à 18K,5, 18K,5 et 9K,5 au dessus de la courbe de la fig.

*L'influence de l'âge* de l'éprouvette n'est pas très net. L'âge pris en considération est celui du début de l'essai. Le tableau II indique les âges dans l'ordre même où le tableau I indique les résistances; le lecteur peut facilement établir la correspondance. La fig. 5 montre le nuage de points obtenus en portant l'âge en abscisse et en ordonnée l'écart de résistance par rapport à la courbe de la fig. 4. La corrélation n'est significative qu'entre 20 et 40 Kgs. De toute façon aucune correction prenant l'âge en considération ne permettrait une réduction considérable de la dispersion des résultats.

#### R É S U M É

Cette contribution a pour objet l'étude de la fatigue d'une éprouvette parallélépipédique de mortier, par flexion répétée, et progressive, au moyen d'une machine PROT.

Le principe de la machine et les précautions à prendre sont exposés dans le texte. La machine, par construction, exerce 500 cycles par minute. La progressivité de la charge, réalisée au moyen d'une émission de billes commandée par un distributeur à 15 vitesses, varie pour le type d'éprouvette utilisé, de 1Kg/cm<sup>2</sup> par 1000 cycles à 1Kg/cm<sup>2</sup> par 630.000 cycles environ. (notations  $10^{-3}$  pour le plus rapide,  $a^{-8} 10^{-5}$  pour le plus lent).

Bien que très dispersés, les résultats font apparaître un minimum de résistance de rupture par fatigue pour des vitesses d'accroissement de la charge voisines de 1Kg/cm<sup>2</sup> par 100.000 cycles (notation  $10^{-5}$ ). Pour des vitesses plus fortes, elle se rapproche de la résistance de rupture simple; pour les vitesses plus faibles, elle se relève notablement, ce qui pourrait sans doute s'expliquer par l'amortissement des contraintes internes et l'autoréparation des décohésions microscopiques.

#### S U M M A R Y

This paper examines the fatigue of a parallelopiped made of mortar submitted to repeated bending, by means of a PROT machine.

The working principle of this apparatus as well as the operating precautions are dealt with. This device, by reason of its construction, exerts 500 cycles per minute. The progressivity of the load, attained by an emission of balls and controlled by a 15 speed distributor, varies according to the type of test, from 1 kg/cm<sup>2</sup> per 1000 cycles to 1 kg/cm<sup>2</sup> per 630.000 cycles approximately. (notations  $10^{-3}$  for the fastest and  $a^{-8} 10^{-5}$  for the slowest).

Though very dispersed, the results show a minimum of resistance to collapse due to fatigue, for load increment speeds of approximately 1 kg/cm<sup>2</sup> per 100.000 cycles (notation 10<sup>-5</sup>). For higher speeds, it approaches the resistance to simple collapse; for lower speeds, it shows a definite increase that could possibly be explained by the damping of the internal stresses and the self repair of microscopic lack of cohesion.

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Arbeit behandelt die Ermüdungsversuche an einem prismatischen Mörtelprüfkörper auf wiederholte und zunehmende Biegung mit Hilfe einer von M. Prot erbauten Maschine.

Die Grundzüge dieser Maschine und die notwendigen Vorsichtsmassnahmen sind nachfolgend beschrieben. Die Maschine führt in der Minute 500 Schwingungen aus und die zunehmende Belastung wird durch die Ausgabe von Kugeln verwirklicht, die durch einen Verteiler mit 15 Geschwindigkeiten gesteuert wird. Die Laststeigerung erstreckte sich am verwendeten Prüfkörper im Bereich von 1 kg/cm<sup>2</sup> pro 1000 Schwingungen bis 1 kg/cm<sup>2</sup> pro 630'000 Schwingungen (Bezeichnung 10<sup>-3</sup> für die rascheste, a<sup>-8</sup> 10<sup>-5</sup> für die langsamste).

Trotz der grossen Streuung zeigen die Ergebnisse die kleinste Ermüdungsbruchfestigkeit für Laststeigerungsgeschwindigkeiten von 1 kg/cm<sup>2</sup> pro 100'000 Schwingungen (10<sup>-5</sup>). Bei grösseren Geschwindigkeiten nähert sie sich der gewöhnlichen Bruchfestigkeit, bei langsameren Geschwindigkeiten steigt sie merklich, was offensichtlich auf den Abbau der innern Spannungen und die Selbstwiederherstellung der mikroskopischen Kohäsionsstörungen zurückzuführen ist.

### RESUMO

Estuda-se nesta contribuição a fadiga de um paralelepípedo de argamassa submetido a flexões repetidas e progressivas por meio de um aparelho PROT.

Expõem-se o princípio de funcionamento do aparelho e os cuidados a ter durante os ensaios. O aparelho, por construção, executa 500 ciclos por minuto. A progressividade da carga, obtida por meio de uma emissão de esferas comandada por um distribuidor de 15 velocidades, varia segundo o tipo da proveta utilizada, de 1 Kg/cm<sup>2</sup> por 1.000 ciclos até 1 Kg/cm<sup>2</sup> por 630.000 ciclos aproximadamente. (notações 10<sup>-3</sup> para o mais rápido, a<sup>-8</sup> 10<sup>-5</sup> para o mais lento).

Se bem que muito dispersos, os resultados mostram um mínimo de resistência à rotura por fadiga para velocidades de aumento de carga vizinhas de 1 Kg/cm<sup>2</sup> por 100.000 ciclos (notação 10<sup>-5</sup>). Para velocidades mais elevadas a resistência aproxima-se da resistência à rotura simples; para velocidades mais baixas a resistência aumenta notavelmente, o que poderia provavelmente explicar-se pelo amortecimento das fadigas internas e a auto-reparação das faltas de coesão microscópicas.