

ESSAIS D'ENDURANCE SUR TRAVERSES DE VOIES FERRÉES, EN BÉTON ARMÉ OU PRÉCONTRAIN

par

F. CAMPUS et R. JACQUEMIN

En 1942, la Direction de la Voie de la Société nationale des Chemins de fer belges a posé au Laboratoire d'essais des constructions du Génie Civil le problème de l'étude expérimentale de l'endurance d'une traverse en béton armé, du type représenté à la figure 1. Deux tasseaux en béton armé, portant les dispositifs de fixation des rails, sont réunis par une pièce centrale en béton armé au moyen de deux semi-articulations Mesnager. La S. N. C. B. désirait, parallèlement à des observations faites sur des traverses posées dans son réseau, obtenir par voie expérimentale des indications susceptibles de permettre des prévisions de durabilité mécanique probable de ces traverses.

Le problème posé était très général, ainsi qu'on s'en rend compte, mais il était cependant particularisé par le type très spécial de traverse. Du fait de ses deux articulations elle est à ce point déformable qu'elle doit être fixée sur un madrier pour son transport. Cette disposition est inspirée d'idées déjà relativement anciennes concernant les traverses en béton armé. (Voir notamment Premier Congrès international du béton armé, Liège 1930, Volume II Question VII. Les pièces en béton moulées en série.

- a) Rapport général, par R. DUTRON.
- b) Die Eisenbetonschwelle, par F. EMPERGER.
- c) Discussion.)

Elle cherche systématiquement à concentrer la réaction du ballast sous les tasseaux d'appui des rails et à exonérer le plus

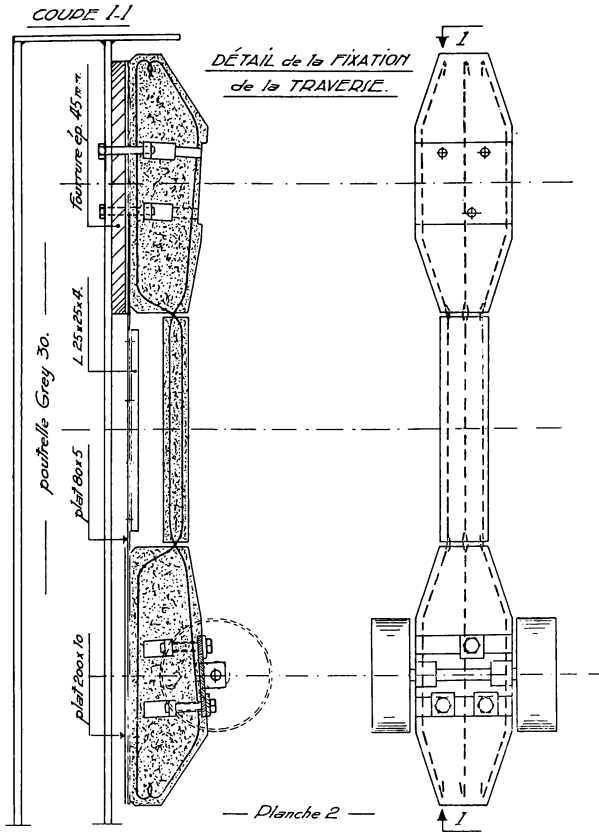


FIG. 1.

possible la partie centrale de la traverse de ces réactions et de toute flexion. De plus, eu égard à l'impossibilité d'assurer en toutes circonstances de service une déformabilité uniforme au ballast, elle confère à la traverse une souplesse telle que les tasseaux puissent subir des dénivellations relatives sans flexion appréciable de la partie centrale. On s'écarte ainsi systématiquement de la notion de rigidité continue des traverses, telle qu'elle est réalisée ordinairement dans les traverses en bois et métalliques. La raison en est que le béton armé ne peut à la fois avoir la souplesse et la résistance des traverses en bois, par exemple, et que la réalisation de traverses rigides durables

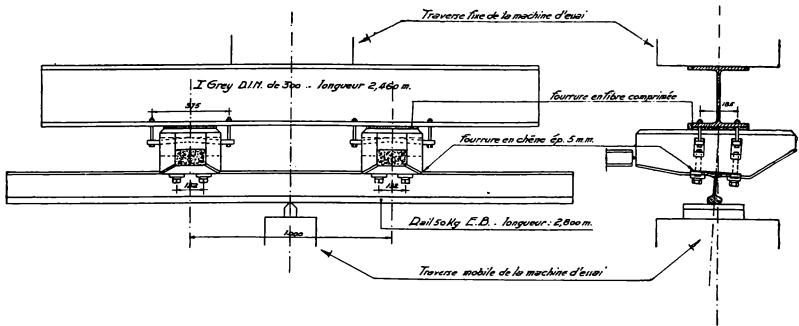
en béton armé conduit à des dimensions considérables et pondéreuses et à des armatures très importantes. D'ailleurs, même pour les traverses continues en bois ou métalliques, on réalise l'appui sur le ballast aux extrémités des traverses en effectuant le bourrage seulement sous deux zones limitées de part et d'autre des axes des rails.

Rationnellement, on aurait dû faire précéder des essais d'endurance au laboratoire d'observations effectuées en service, aussi bien en ce qui concerne les réactions entre les traverses et le ballast que les déformations et les sollicitations des traverses. Les délégués de la S. N. C. B. ne pouvaient nous donner d'indications précises sur ces points et il ne pouvait être question à cette époque, sous l'occupation ennemie, d'entreprendre une recherche compliquée et de longue haleine pour déterminer ces éléments. Le problème était d'ailleurs déclaré urgent en raison de la pénurie de bois et d'acier.

Une étude fondamentale de ces questions a été faite en Grande-Bretagne pendant la guerre, par la collaboration de trois puissants organismes de recherche : la Building Research Station, le Road Research Laboratory et le Research Department of the Railway. Les résultats en ont été publiés en 1944 par le Dr F. THOMAS (Experiments on concrete sleepers — Proceedings of the Institution of Civil Engineers), dont nous avons eu connaissance en 1946. Ils sont très intéressants et montrent la grande complication du problème, en raison de la variété des facteurs en jeu. Ils ont conduit apparemment en Grande-Bretagne à la conception d'essais d'endurance par sollicitation sous des efforts répétés.

Sans avoir eu la possibilité d'envisager une prospection aussi systématique de la question, nous n'avons pas écarté la répétition des efforts mais, d'après nos échanges de vue avec les délégués de la S. N. C. B., cette méthode a paru recommandable pour l'essai d'endurance du dispositif de fixation du rail à la traverse.

A cet effet (fig. 2), un tronçon de rail de 50 kg/m a été monté sur deux tasseaux d'appui distants de 1,00 m d'axe en axe (au lieu de 0,75 m en voie courante). Le montage est celui



DISPOSITIF d'ESSAI des DÉs d'ADDUI.

FIG. 2.

employé normalement en voie courante, avec interposition entre le rail et le dé en béton d'une planchette en chêne de 4 mm d'épaisseur. Les boulons de fixation ont été serrés fortement au moyen d'une clé de 0,80 m de longueur. Les dés s'appuyaient sur une poutrelle D. I. N. 30, avec interposition entre le dé et la poutrelle d'une feuille de fibres comprimées de 1 cm d'épaisseur, destinée à répartir les pressions du béton sur l'acier et à réaliser un joint élastique entre le dé et la poutrelle, suivant une surface de 900 cm². La pression moyenne maximum atteinte au cours de l'essai a été de 13,9 kg/cm². Le dispositif s'est parfaitement comporté. On peut lui objecter qu'il supprime la flexion du tasseau qui se produit dans la voie courante par suite de la répartition des réactions sur toute la base. Seulement, il s'agit ici d'un essai d'endurance du dispositif de fixation et non du tasseau. Celui-ci est calculé et armé en vue de la flexion envisagée et est assez rigide pour que l'on puisse présumer que cette flexion n'affecte pas le dispositif de fixation. En d'autres termes, on peut dire que la S. N. C. B. semblait avoir a priori des apaisements quant à l'endurance mécanique des tasseaux.

Le dispositif était placé, rail en dessous (fig. 2), dans une machine Amsler de 100 tonnes à pulsateur. Une charge, variant sinusoidalement entre une valeur minimum de 1 tonne et une valeur maximum réglable, était appliquée au milieu de la portée du rail. Sa fréquence était de 500 pulsations par mi-

nute. La charge maximum a été fixée initialement à 12,5 tonnes. Après 1 million de répétitions, elle a été portée à 15 tonnes et ainsi de suite, jusqu'à la valeur finale de 25 tonnes, par paliers de 2,5 tonnes après chaque million de répétitions.

La tenue des dispositifs de fixation a été observée pendant tout l'essai. Après les 650.000 premières répétitions, on a pu resserrer les boulons de fixation des rails de 1/6 à 1/2 tour. Par la suite, il n'a plus été possible ni nécessaire de procéder à un nouveau resserrage. Après la fin de l'essai (6×10^6 pulsations), on a pu constater que les boulons étaient restés parfaitement serrés. Les planchettes de chêne étaient restées en bon état, à peine légèrement écrasées. On pouvait donc conclure à une bonne endurance mécanique du dispositif de fixation.

En ce qui concerne l'endurance d'ensemble de la traverse, c'est la tenue des semi-articulations qui faisait l'objet des spéculations des délégués de la S. N. C. B. Eu égard à leur souplesse, les efforts n'y pouvaient pas jouer un grand rôle et, d'après nos échanges de vue avec ces délégués, nous avons été amenés à envisager le problème sous l'angle des déformations répétées.

Nous sommes tombés d'accord avec les ingénieurs de la voie pour considérer comme dangereuses les sollicitations résultant de dénivellations inégales des dés sous le passage des essieux, possibles en raison des imperfections de pose ou d'entretien des voies. Ces ingénieurs ne disposaient pas d'indications précises sur ces dénivellations relatives. (Il ne s'agit pas des dénivellations absolues des deux dés, qui n'influencent pas les articulations si elles sont égales, mais seulement de leurs différences.) Après discussion, on envisagea un ordre de grandeur de 5 à 10 mm et on admit la dénivellation relative alternée comme possible en raison des variations éventuelles de déformabilité de l'assiette de la voie par suite de l'entretien pendant toute la durée de vie d'une traverse. Les ingénieurs de la voie envisageaient en effet de conclure à un ordre de grandeur de la durée de vie en divisant le nombre d'alternances subies par le nombre d'essieux par an

pour les différents types de voie (principales, secondaires, de manœuvre, etc.).

Sur cette base, le Laboratoire d'essais des constructions du Génie Civil a établi une machine de déformation alternée des traverses de chemins de fer ainsi constituée. Une des extrémités de la traverse y est maintenue fixe tandis qu'un dispositif mécanique imprime à l'autre un déplacement périodique réglable autour de la position d'équilibre, dans une direction perpendiculaire au plan d'assise de la traverse.

Le premier dispositif a été réalisé pour la traverse en béton armé du type de la figure 1, très déformable. Pour l'essai, chaque dé est fixé sur une tôle d'acier. Les deux tôles sont réunies par un feuillard d'acier de 80×5 mm, raidi par une cornière de 25 mm, qui est interrompue à 5 cm des tôles, de manière à y réaliser une partie flexible formant articulation. On réalise ainsi un vrai parallélogramme articulé permettant une translation relative des deux tasseaux, normale à leurs bases, entraînant des rotations relatives, égales et de même sens, des dés et du tirant en béton armé qui les réunit. Un des dés, que nous appellerons supérieur, est fixé inébranlablement à une forte poutrelle verticale en acier. L'autre, que nous appellerons inférieur, est librement suspendu (fig. 1 et 3).

Dans ce premier montage, le déplacement relatif des deux dés était produit en fixant sur le dé inférieur un axe horizontal portant deux poulies symétriques à balourds. Ces poulies étaient mises en rotation par un moteur électrique fixé au sommet de la poutrelle verticale et une transmission à courroie. Le principe consistait à faire tourner les poulies fixées au dé inférieur à la fréquence propre du système. On obtenait alors par résonance, avec de faibles balourds, des déplacements contrôlés par un fleximètre enregistreur. Le réglage de l'amplitude se faisait en opérant sur les balourds. La vitesse de rotation des poulies inférieures était réglée par le diamètre de la poulie du moteur, calculé d'après une détermination préalable de la fréquence propre, qui se mesurait très facilement, grâce à la déformabilité de la traverse, en imprimant à la main de légères oscillations au dé inférieur.

Ce système a donné d'excellents résultats en dessous de la limite d'endurance des traverses, c'est-à-dire pour des déformations assez faibles ne donnant pas lieu à rupture progressive des barres d'articulation. Dans ces conditions, la fréquence propre du système ne variait pratiquement pas et la résonance subsistait sans perturbations. C'est ce qui a été réalisé pour deux traverses, aux fréquences de 162 et 167 tours par minute, pour des amplitudes totales de 10, 12,5, 13 et 14 mm.

Pour des déformations plus grandes, dépassant la limite d'endurance, après un certain nombre de répétitions, la fréquence propre diminuait brusquement et l'oscillation devenait pratiquement nulle. Il fallait alors ajuster la vitesse de rotation à la nouvelle fréquence, ce qui conduisait après un certain temps à une nouvelle chute de fréquence et ainsi de suite. Finalement, les barres d'articulation se rompaient toutes ou bien l'on arrêta l'essai lorsqu'elles étaient presque toutes rompues.

Le système avait donc le grand avantage d'avertir, par la variation de la fréquence propre, de la progression du processus de destruction des articulations. La constance de la fréquence propre était au contraire un indice du maintien de leur intégrité. L'inconvénient du dispositif primitif était de devoir régler la vitesse correspondant à la fréquence propre par le refaçonnage de la poulie d'entraînement.

L'essai d'une première traverse, à la fréquence initiale de 187 par minute, sous une amplitude totale de 20 mm, a conduit à la rupture des six barres d'articulation après 23.450 oscillations, réparties comme suit :

4680	oscillations à la fréquence de 187 par minute				
2370	»	»	»	158	»
8460	»	»	»	141	»
3900	»	»	»	130	»
4040	»	»	»	94	»

La figure 4 montre la traverse sur le montage d'essai après rupture. La figure 5 montre les sections de rupture des barres

d'articulation du côté du dé d'appui. Ces ruptures sont des ruptures de fatigue, produites par la progression de fissures

MONTAGE POUR ESSAI DES ARTICULATIONS.

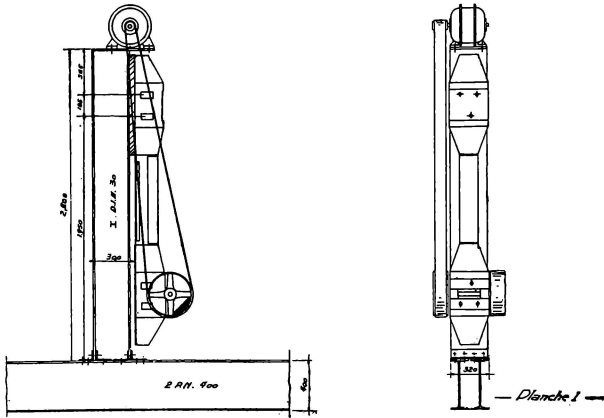


FIG. 3.

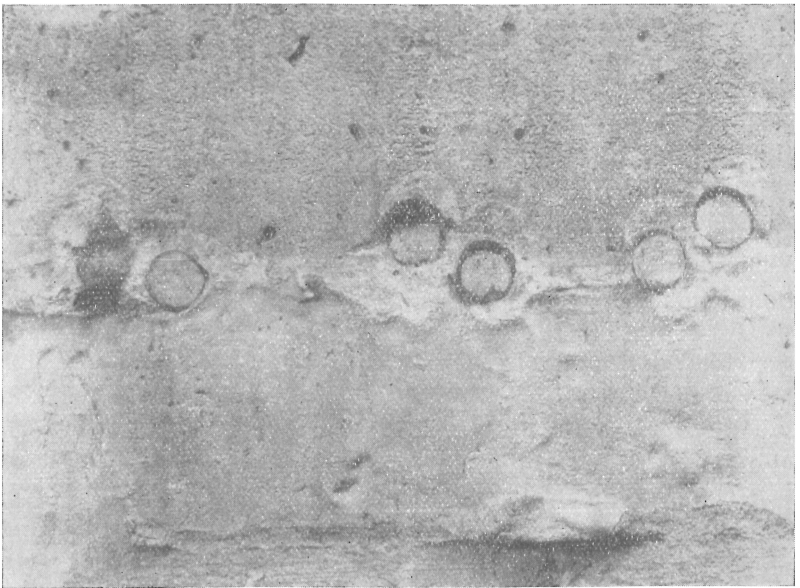


FIG. 5.

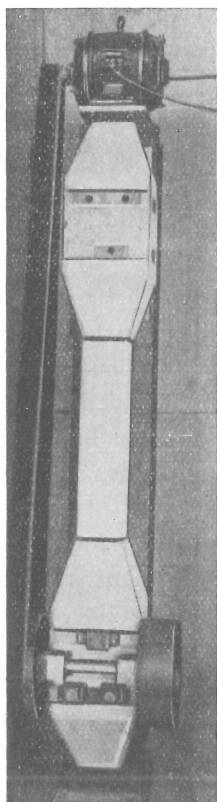


FIG. 4.

dans les barres, décelées par la variation de fréquence. Toutes les barres ne se rompaient pas simultanément. Pour la deuxième traverse, sous une amplitude totale de 15 mm, deux barres étaient rompues lorsque la fréquence initiale de 162 était tombée à 81,5. En raison de la dissymétrie qui en résultait, la traverse n'oscillait plus dans un plan perpendiculaire à l'axe de la voie et lors de l'arrêt qui suivit de peu cette dernière chute de fréquence, 5 barres sur 6 étaient rompues à chaque articulation.

Dans chaque cas, la rupture des barres s'est produite en dehors du béton, qui ne portait aucune trace de dégradation, même pas tout près des barres. Une des traverses, dont le béton portait des dégradations accidentelles et des fissures superficielles avant l'essai, a confirmé que le béton n'était pas affecté par cet essai.

En vue de supprimer dans le dispositif décrit l'incommodité du réglage de la vitesse, on a accouplé au moteur un variateur de vitesse (fig. 6).

A la suite de ces essais, on a considéré une amplitude totale de 15 mm comme limite satisfaisante d'endurance.

Le dispositif perfectionné avec variateur de vitesse (fig. 5) a été appliqué ensuite à l'étude et à la mise au point d'un type de traverse en béton précontraint, comportant deux tasseaux d'extrémité sous les rails, un tirant intermédiaire séparé des tasseaux par deux blocs répartiteurs élastiques, le tout étant serré par les barres de précontrainte.

La fréquence propre de ces traverses était environ triple de celle des précédentes. Il est apparu dès les premiers essais qu'il était très difficile de maintenir des oscillations régulières par résonance. Ce fait est probablement à attribuer aux

petites variations de fréquence du réseau électrique, en rapport avec la fréquence propre plus élevée, peut-être aussi à la constitution plus complexe de la traverse.

On a alors abandonné le principe de la résonance et on a eu recours à des oscillations entretenues à une fréquence égale à environ la moitié de la fréquence propre, ce qui a exigé pour une même amplitude des balourds beaucoup plus importants (fig. 6). On a pu faire de la sorte deux essais à l'amplitude totale de 15 mm sans incidents de fonctionnement.

Cependant, lors d'un troisième essai, il y a eu de nouveau des perturbations et l'on a résolu toutes les difficultés en ayant recours à un troisième montage, à bielle et excentrique, (fig. 7) imposant, à une vitesse déterminée et sensiblement constante, une déformation alternative d'amplitude strictement imposée.

Ce dernier dispositif n'a plus donné lieu à aucun incident. Il a comme avantage de permettre un déplacement relatif répété du tasseau mobile par rapport au tasseau fixe, non seulement entre deux extrêmes égaux et de sens contraire, mais aussi inégalement répartis par rapport à la position naturelle, notamment entre zéro et un extremum de l'un ou l'autre sens.

Ce dernier dispositif a été appliqué avec un tel succès à une traverse en béton précontraint du type précité qu'elle a pu subir, sans perturbation aucune, 25×10^6 oscillations de 15 mm d'amplitude totale, à la vitesse de 270 cycles par minute. En raison de sa grande rigidité, cette traverse n'était pas pourvue, pour l'essai, du dispositif de parallélogramme articulé adapté à la traverse en béton armé des figures 1 et 2, beaucoup plus déformable. D'où une liberté beaucoup plus grande de déformation, qui peut avoir donné lieu aux perturbations dans le cas des vibrations forcées par balourds, à la fréquence propre ou non, et qui consistaient surtout en accroissements brusques et brefs d'amplitudes, éventuellement en diminutions par interruption de résonance.

Le dernier dispositif à bielle et excentrique a remédié à ces perturbations. Il a servi notamment à l'essai de traverses très

DISPOSITIF D'ESSAIS DYNAMIQUES.

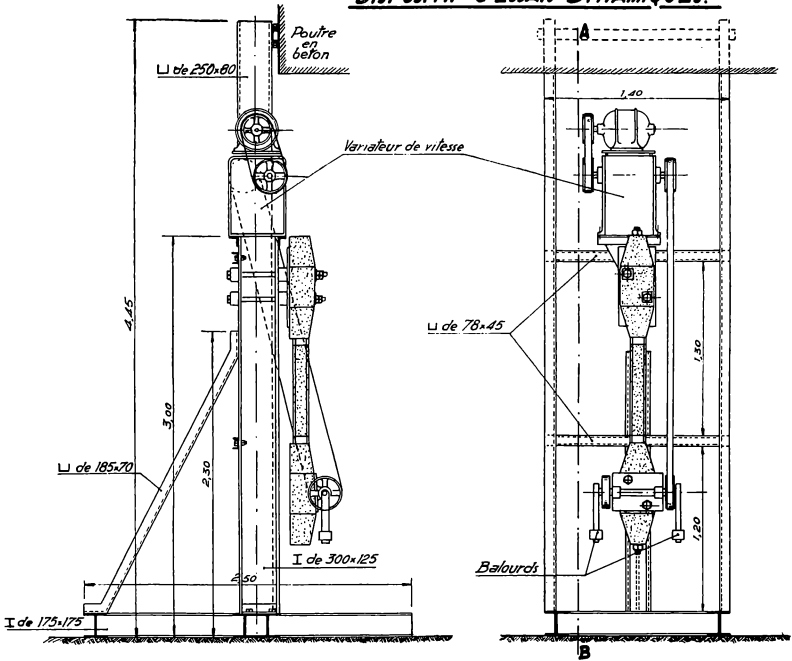


FIG. 6.

rigides, formées de deux tasseaux en béton reliés par deux fers U rigides (fig. 7). Il est à remarquer que dans cet essai, on a réalisé de fréquentes ruptures des fers U au ras du béton, sans dégradation de ce dernier, ce qui est un indice de la sévérité de l'essai.

Nous croyons que le dispositif combiné et mis au point par le Laboratoire d'essais des constructions du Génie Civil permet un essai d'endurance dynamique sérieux et caractéristique des traverses de voies ferrées et notamment une comparaison efficace des qualités d'endurance des divers types. Dans les essais qui nous ont été demandés, la méthode a permis, pour divers types de traverses :

- a) de déterminer la limite d'endurance permanente ;
- b) de déceler les points faibles des traverses et
- c) de conduire éventuellement à leur mise au point.

Nous pensons que le Laboratoire d'essais des constructions du Génie Civil peut revendiquer l'invention et la mise au point de la méthode et du dispositif, sans nous inquiéter pour cela de les couvrir par des brevets, conception qui ne nous paraît pas convenable pour une institution scientifique désintéressée. Nous sommes au contraire satisfaits que notre appareil ait été adopté généralement en Belgique par les firmes qui s'occupent de traverses en béton armé ou précontraint. Cela prouve que notre travail n'a pas été vain et que notre laboratoire a rendu service à l'économie nationale, ce qui est bien un de ses buts.

Des divers montages précédemment décrits, le troisième convient bien pour tous les cas. Le premier dispositif, à parallélogramme articulé et résonance, peut convenir pour les traverses à basse fréquence propre, c'est-à-dire très déformables.

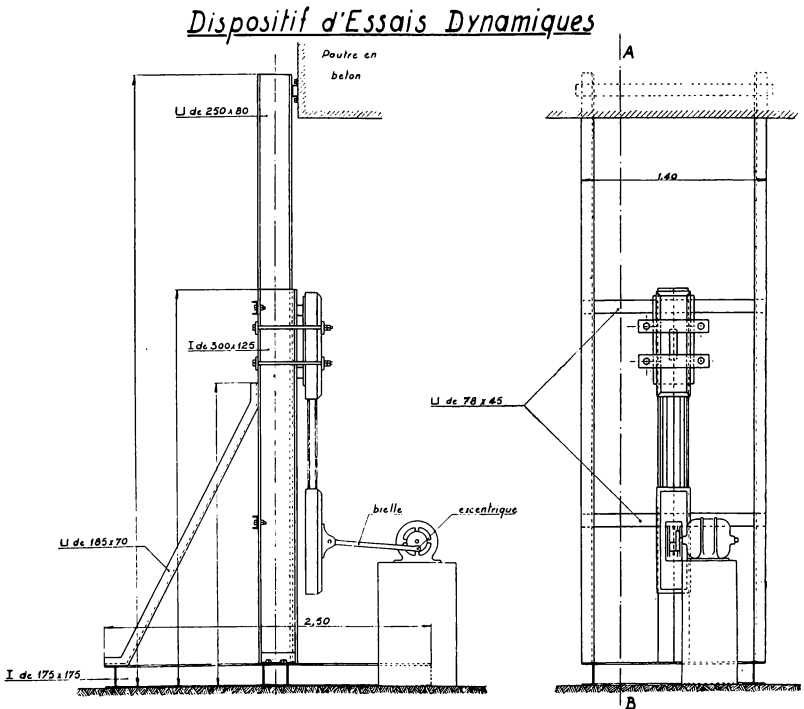


FIG. 7.

Nous n'avons pas rendu compte, dans cette note, d'essais autres que ceux d'endurance qui ont été effectués sur ces diverses traverses. Remarquons toutefois que, pour les traverses en béton précontraint dont il est question plus haut, nous avons mesuré la variation des efforts à appliquer au tasseau inférieur en fonction du déplacement relatif par rapport au tasseau supérieur encastré, à l'état statique.

