

UNIVERSITE DE LIEGE

Cours de Constructions du Génie Civil

N° 56

L'Équipement de la halle expérimentale
(deux pulsateurs)
et le pulsateur à efforts alternés
de l'Université de Liège

par

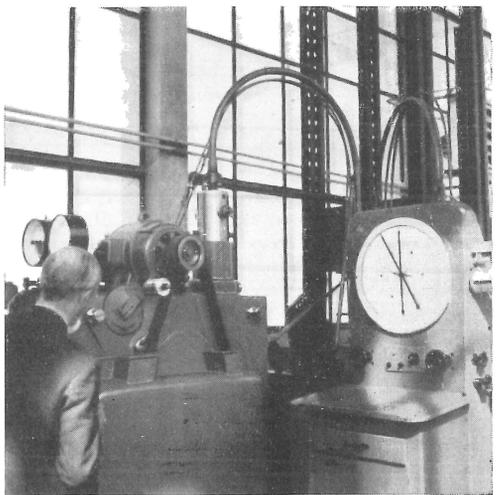
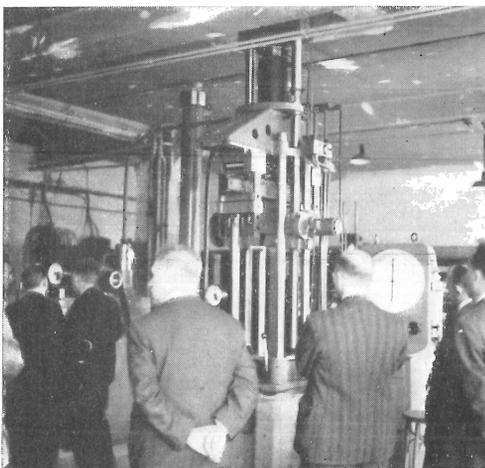
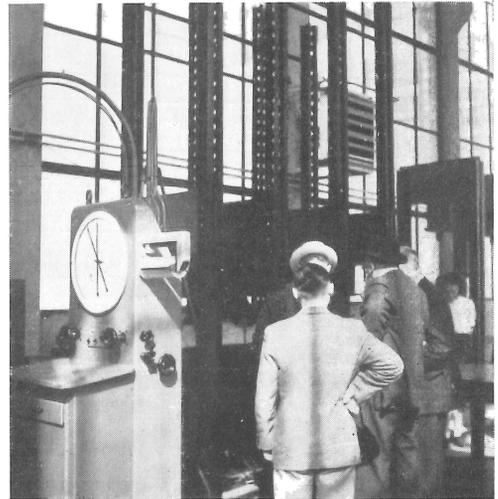
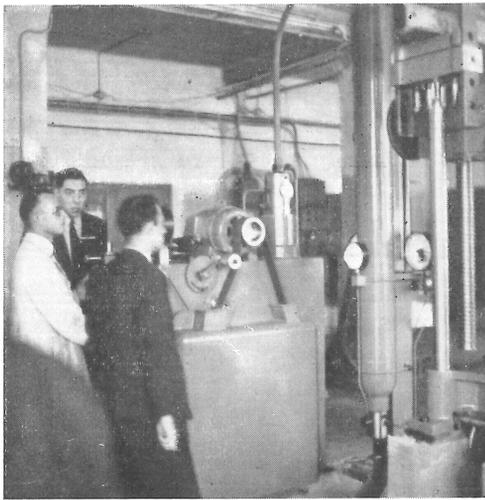
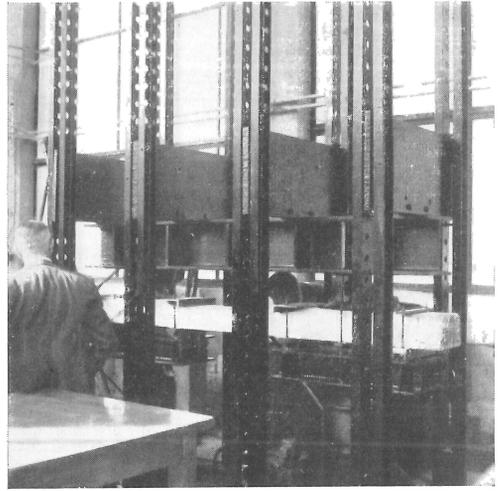
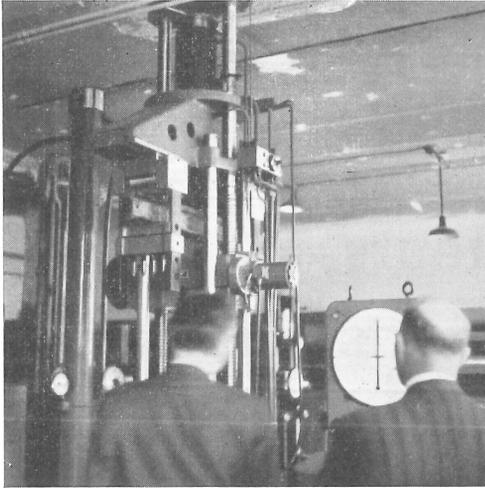
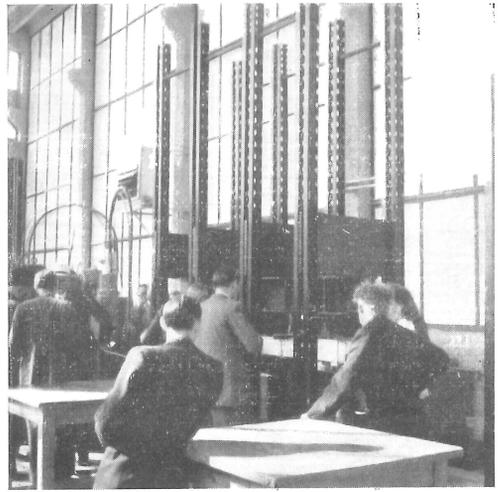
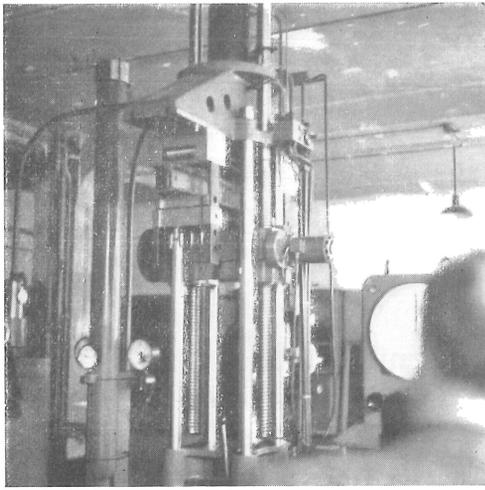
F. CAMPUS

Professeur-Directeur des Laboratoires d'essais
des constructions du génie civil
de l'Université de Liège.

Extrait de la Revue « Science et Technique » n° 9-1948.



Editions « Science et Technique »,
21, rue Newton, Bruxelles.



Reportage photographique de la visite des membres de l'A. B. E. M. au Laboratoire d'Essais de Construction de l'Université

L'Équipement de la halle expérimentale (deux pulsateurs)

et le pulsateur à efforts alternés de l'Université de Liège (1)

PAR

F. CAMPUS

*Professeur-Directeur des Laboratoires d'essais
des constructions du Génie Civil
de l'Université de Liège.*

Le premier équipement fondamental des laboratoires d'essais des constructions du Génie civil de l'Université de Liège date de 1937. J'entends par là les machines d'essai de grande puissance et de grandes dimensions, répondant aux caractères propres de laboratoires destinés aux essais de constructions, sous formes d'éléments ou de modèles dont l'échelle peut atteindre la vraie grandeur, autant qu'aux essais élémentaires et spéciaux de matériaux.

Cet équipement comporte :

1. Une presse de 1000 tonnes, hauteur utile 2 m 25.
2. Une presse de 500 tonnes, hauteur utile 6 m 40.
3. Un mouton vertical de 400 kgm, hauteur de chute maximum 4 m.
4. Une machine universelle statique et dynamique, avec pulsateur, de 100 tonnes, hauteur utile 2 m 25.

Toutes ces machines sont de fabrication AMSLER.

Cet équipement était insuffisant en ce qui concernait les essais de flexion, effectués au moyen de la presse de 500 tonnes, et surtout en ce qui concernait les essais dynamiques, pour lesquels l'unique pulsateur s'avéra vite insuffisant, d'autant plus que la même machine devait servir aux essais statiques sur éléments de grandes dimensions. Dès avant la guerre, le projet avait été élaboré de l'installation d'un deuxième pulsateur de moindre puissance, de même que celui de l'équipement de la halle expérimentale pour les essais statiques et

dynamiques de toutes natures et de grande portée, dont le dessein remonte à 1930.

Ces questions ne furent pas perdues de vue pendant l'occupation, mais au contraire soigneusement préparées. Elles purent être mises à exécution après la libération et le retard subi ne fut pas sans compensation, puisqu'il permit d'obtenir un matériel de conception toute nouvelle et notamment un pulsateur à efforts alternés de ± 25 tonnes, modèle qui n'existait pas avant 1940.

Le Centenaire de l'Association des Ingénieurs sortis de l'Université de Liège, en 1947, et le Salon international de la Recherche scientifique et du Contrôle industriel, organisé à cette occasion dans les Instituts de la Faculté des Sciences appliquées de l'Université de Liège, aidèrent considérablement à faire aboutir le projet, surtout en ce qui concerne les délais de fourniture. Le pulsateur à efforts alternés parvint aux laboratoires au début de 1948.

La halle expérimentale avait été détruite par deux bombes de grande puissance. Sa reconstruction et la construction de la dalle du plancher d'essai bénéficièrent de l'activité déployée par les services des Bâtiments civils du Ministère des Travaux Publics pour la remise en état des instituts sinistrés du Val-Benoît en vue du Salon qui devait s'y tenir en août et septembre 1947. La dalle du plancher d'essai avec ses rainures d'ancrage constitue une construction très spéciale et assez délicate. Son exécution connut quelques avatars, dus aux circonstances, notamment pour la fourniture et le placement des rainures en acier coulé, que l'intervention du Directeur du Salon, M. J. LEONARD, permit de livrer juste à temps avant l'ouverture du Salon.

L'Association des Ingénieurs sortis de l'Université de Liège apporta une contribution importante à l'équipement de la halle expérimentale à l'occa-

(1) Communication faite à l'A. B. E. M., le 22 mai 1948, à l'Institut du Génie Civil à Liège.

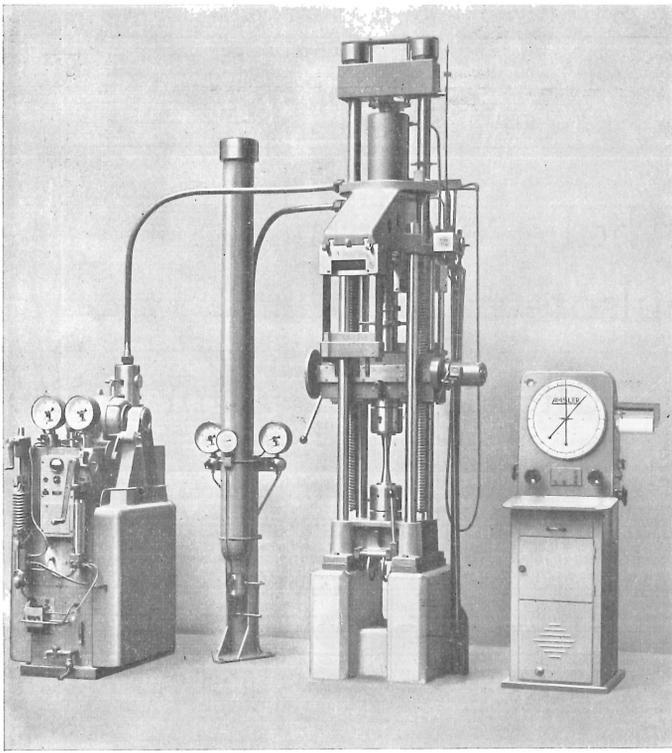


Fig. 1. — Le pulsateur à efforts alternés ± 25 tonnes.

sion de son Centenaire et en vue du Salon, pour l'acquisition des pieds de fixation en acier coulé, des montants amovibles, des dynamomètres et distributeurs et d'une partie des vérins de la halle expérimentale. Qu'elle en soit ici remerciée, ainsi que tous ceux qui, à des titres divers, ont contribué à faire aboutir un projet qui a demandé de très nombreuses années de persévérants efforts mais qui a eu pour résultat la création d'un équipement d'essai et de recherche de nature unique et susceptible de rendre d'importants services.

Le pulsateur à efforts alternés ± 25 tonnes. (Fig. 1.)

Cette machine a été montée dans le grand laboratoire des essais mécaniques, au voisinage immédiat des quatre grandes machines citées en tête de cet article et au même niveau. Il a fallu pour cela ménager une trappe dans le plancher de l'étage supérieur du même laboratoire, ce qui facilite d'ailleurs l'accès à la tête. Le groupement des cinq machines ainsi réalisé est assez remarquable.

Le principe du fonctionnement du pulsateur à efforts alternés ressort du croquis ci-contre (fig. 2) qui est sommairement schématique. Un pulsateur de grande capacité (160 cm³) du nouveau modèle AMSLER engendre par un pot de presse supérieur des efforts dont l'intensité peut varier sinusoïdalement d'une faible valeur voisine de 0

à une valeur de 50 t. Ces efforts sont dirigés de bas en haut, comme dans la machine dynamique à pulsateur ordinaire, telle que celle de 100 t citées plus haut. En dessous de ce pot de presse est situé un deuxième vérin à huile qui exerce vers le bas un effort quasi constant réglable de 0 à 25 tonnes. Cet effort est réalisé par une pression d'huile maintenue quasi constante par un accumulateur contenant de l'azote sous pression moyenne constante. De la sorte, grâce au vérin supérieur, l'effort résultant oscille entre deux valeurs extrêmes dont la différence peut atteindre jusqu'à 50 tonnes, cependant que, grâce à l'action du vérin inférieur, la valeur moyenne peut être réglée théoriquement de 0 à 25 tonnes. On peut donc réaliser toutes les combinaisons d'efforts alternés et répétés compris entre les cas extrêmes ± 25 tonnes et 0-50 tonnes.

Si P_{pm} est l'indication du manomètre *minimum* du pulsateur (choisie arbitrairement à une valeur assez faible mais suffisante pour assurer une marche stable du pulsateur), si P_a est l'indication de la charge moyenne de l'accumulateur, si P_{pM} est l'indication du manomètre *maximum* du pulsateur,

la charge de compression est :

$$P_c = P_a - P_{pm},$$

la charge de traction est : $P_t = P_{pM} - P_a$.

D'après cela, on règle la machine de telle sorte que

$$P_a = P_{pm} + P_c$$

$$P_{pM} = P_a + P_t.$$

En réalité, en marche, par suite des effets d'inertie, P_a varie légèrement, entre une valeur minimum P_{am} et une valeur maximum P_{aM} , relevées sur deux manomètres spéciaux, et l'on a effectivement

$$P_c = P_{aM} - P_{pm}$$

$$P_t = P_{pM} - P_{am}.$$

La charge P_a de l'accumulateur est produite au

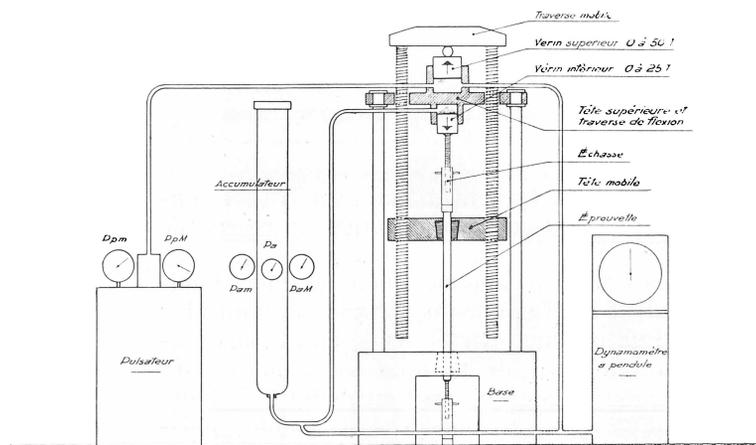


Fig. 2. — Croquis schématique sommaire de la machine à sollicitation alternée ± 25 tonnes, marque Amsler (sans aucune indication concernant les vannes et les soupapes très nombreuses pour permettre les divers usages de la machine).

moyen de la pompe du dynamomètre à pendule. Les manomètres du pulsateur sont aisément tarables à l'aide du dynamomètre à pendule, par un simple jeu de vannes.

Les manomètres de l'accumulateur peuvent être tarés de même par placement sur le pulsateur. Il est connu que les lectures des manomètres du pulsateur sont légèrement modifiées en marche par des effets d'inertie.

Il est aisé de procéder à des contrôles de tarage, qui s'effectuent en sollicitation longitudinale simple par l'appareil à miroirs de Martens avec des mires spéciales fournies par la Société Amsler. Cette méthode a été généralisée dans mes laboratoires pour tous les types de sollicitations, par mesures comparées des déformations statiques et dynamiques. La détermination des efforts dynamiques peut donc être précise.

La machine est très perfectionnée mais très complexe; son réglage demande des opérateurs entraînés et instruits. Elle comporte diverses sécurités, notamment l'arrêt automatique en cas de rupture de l'éprouvette et aussi en cas d'arrêt de la pompe de graissage du pulsateur, enfin un limiteur de course du piston du vérin supérieur et un limiteur de charge maximum.

La machine est universelle, c'est-à-dire qu'elle permet d'effectuer des essais de traction, de compression et de flexion. Pour les essais de traction alternée, l'effort de compression du vérin inférieur est reporté sur la tête mobile par des échasses de longueur réglable; les dispositifs d'amarrage spéciaux doivent être bien serrés.

Les essais de compression s'effectuent entre la tête mobile et la tête supérieure, au besoin en se servant des échasses précitées. Les essais de flexion se font entre la tête mobile et la tête supérieure, avec amarrages spéciaux à double effet pour la flexion alternée. Les vitesses de pulsation sont de 250 à 500 cycles par minute. Le fonctionnement est relativement silencieux (plus que celui de l'ancien pulsateur de 100 tonnes) et communique relativement peu de vibrations à l'entourage.

La machine a été montée et mise au point sans difficultés. Elle a une puissance de rupture considérable. Nous avons étudié antérieurement sur la machine de 100 tonnes l'endurance des rails à flexion répétée (1). Un rail de 50 kg de la S. N. C. B., entre appuis éloignés de 0,900 m, supporte une charge centrale variant de 5 à 45 t sans rupture après trois millions de répétitions. A la flexion alternée entre ± 25 tonnes, une rupture s'est produite après 2500 alternances seulement.

L'intérêt de cette machine pour la recherche est de première importance. L'étude de l'endurance aux efforts alternés n'a été opérée généralement jusqu'à présent que sur de petites éprouvettes et le plus souvent par flexion rotative, plus rarement par flexion directement alternée, enfin plus rarement encore en traction-compression. (Je n'envisage pas ici la torsion alternée.)

(1) F. CAMPUS. Essais de joints soudés de rail. — *R. U. M.*, 15 juin 1938.

Il n'est pas établi que les résultats de ces essais soient applicables sans contrôle aux éléments de construction et aux assemblages. La machine a l'avantage de permettre l'étude directe :

- a) de l'endurance aux efforts alternés de traction-compression sur grandes éprouvettes, brutes ou usinées, homogènes ou hétérogènes (soudures, assemblages, etc.);
- b) de l'endurance à la flexion alternée sur des pièces de dimensions déjà assez considérables et comportant éventuellement des assemblages (soudures, etc.);
- c) de l'effet de discontinuités, trous et autres causes de concentrations de tension, ainsi que de l'effet de précontraintes, etc., sur ces durées;
- d) des formes les plus adéquates par le moyen de modèles, etc.

Il n'est pas exclu qu'un dispositif de torsion alterné permettant de développer des couples considérables puisse être réalisé selon le principe qui a déjà été appliqué à notre pulsateur de 100 tonnes avec le concours de la Société John Cockerill (1). Cependant, la nouvelle machine a une hauteur utile de 1 m 20, moindre que celle du pulsateur de 100 tonnes, ce qui réduit considérablement les possibilités relatives à la torsion. La nécessité, d'autre part, de substituer des barres rigides aux câbles ne permettrait que des déformations angulaires réduites.

J'espère que cette machine pourra servir à de telles études avec la collaboration de tous les organismes qui s'intéressent en Belgique, voire même à l'étranger, à ces questions. Je suis tout disposé à prendre des arrangements avec eux à cet effet, de même qu'avec tous les chercheurs que ces questions intéressent et qui sont susceptibles d'y apporter une contribution personnelle.

L'équipement statique et dynamique de la halle expérimentale.

Le projet de la halle expérimentale est contemporain de celui de l'Institut du Génie Civil, c'est-à-dire qu'il date de 1930. Le premier élément fut réalisé en 1932, lors de l'exécution des fondations de l'Institut du Génie Civil. Dix pieux Franki, destinés à travailler en compression ou traction, furent foncés dans l'intérieur de la halle isolée (*fig. 3*). Selon les indications fournies par la Compagnie Internationale des Pieux armés Frankignoul, ces pieux peuvent résister individuellement à un effort d'arrachement de 25 tonnes sans déformations appréciables. Ils sont destinés à former à la fois la fondation et l'ancrage d'une forte dalle rigide en béton armé, qui constitue un plancher d'essai permettant d'y amarrer des constructions de dimen-

(1) F. CAMPUS. Le Salon international de la Recherche scientifique et Contrôle industriel - Liège 1947. — *L'Ossature Métallique*, n° 12, 1947.

Génie Civil et Hydraulique appliquée. — *R. U. M.*, n° 1, 1948.

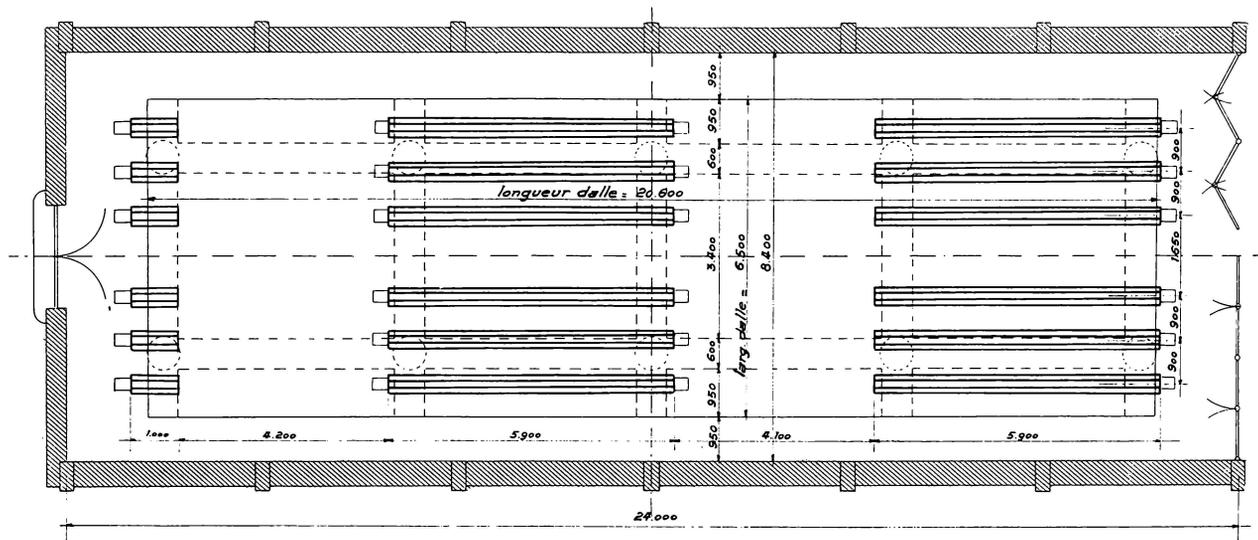


Fig. 3. — Plan de la halle expérimentale.

sions importantes. Des vérins reposant sur ce plancher comme sur le plateau d'une machine d'essai servent à la mise en charge de ces constructions, en soumettant la dalle à des efforts de flexion considérables, éventuellement atténués par son propre poids et par l'ancrage réalisé au moyen des pieux.

En 1939, un commencement d'exécution modeste fut réalisé par l'achat de deux vérins statiques à huile de 20 tonnes, avec un distributeur et un dynamomètre Amsler à pendule et à pompe. En même temps, le projet d'une dalle était mis au point et

son exécution était envisagée. La guerre vint arrêter tout progrès. Néanmoins, ce modeste équipement, joint au service d'un pont-roulant électrique de 10 tonnes qui desservait la halle, permit pendant l'occupation d'exécuter de nombreux essais assez complexes, notamment sur des mâts soudés de signalisation ferroviaire (pour la S. N. C. B.), les charges étant réalisées par des poids levés par le pont-roulant. Ainsi s'affirmait déjà le caractère de ce bâtiment d'être intrinsèquement une véritable machine d'essais. Ces travaux furent interrompus en mai 1944 par les bombardements aériens du Val-Benoît. La légère et gracieuse ossature en béton armé de la halle fut détruite par deux bombes de grande puissance. Elle a été reconstruite en 1946-47, d'après le plan primitif, mais avec un exhaussement d'un mètre et une porte de fermeture pliante, remplaçant une grande porte double roulante suspendue, qui avait donné lieu à quelques déboires (fig. 4). Elle a 8 m 40 de largeur utile et 24 m de longueur. La dalle a été bétonnée en même temps. Elle a deux grandes nervures longitudinales et cinq nervures transversales, selon la disposition des pieux (fig. 3). La dalle a une superficie de 20 m 60 sur 6 m 50. Elle a été calculée par les soins de M. Ch. MASSONNET, chargé du cours de résistance des matériaux à l'Université de Liège; les dessins d'exécution ont été établis par mon ancien collaborateur, M. J. STERNBACH, ingénieur civil. Elle contient six rainures discontinues en



Fig. 4. — Halle expérimentale.

(Cliché *Ossature Métallique.*)

acier coulé, de profil approprié, permettant de multiples et suffisantes combinaisons pour des dispositions d'essais longitudinales et transversales. Des entrées ménagées aux extrémités des rainures permettent d'y introduire des pieds en acier coulé auxquels sont fixés par des boulons des montants formés de deux fers U. Ces montants sont percés de trous forés à des intervalles réguliers, pour des fixations quelconques. Ils sont normalisés; chaque montant double est calculé pour une charge statique de 25 tonnes et pour une charge dynamique moitié moindre. On dispose actuellement de 16 montants doubles de hauteurs diverses, 8 autres sont en préparation. Au moyen de ces montants et de traverses ou entretoises, de formes diverses, de contreventements, de boulons et de cales, les montages les plus divers peuvent être réalisés. Il en a déjà été établi un grand nombre et ils ont tous donné satisfaction, tant aux essais dynamiques que statiques. Ces montages sont toujours établis avec beaucoup de soin et avec toutes les sécurités nécessaires pour éviter des flambages, des chutes en cas de rupture et toute instabilité.

Les sollicitations mécaniques sont produites par des vérins à huile. Aux deux vérins statiques de 20 tonnes sont venus s'ajouter en 1947 quatre vérins de 20 tonnes, deux de 30 tonnes et deux de 50 tonnes, tous statiques et dynamiques. Ils sont à double rotule, ce qui exige des dispositions efficaces contre toute instabilité pour les essais dynamiques.

Ils sont desservis au moyen de conduites articulées et de distributeurs, par deux dynamomètres à pendule avec pompes et deux pulsateurs AMSLER grand modèle. Toutes ces machines sont du type le plus récent, mais fonctionnent d'après les principes connus des machines de cette fabrication.

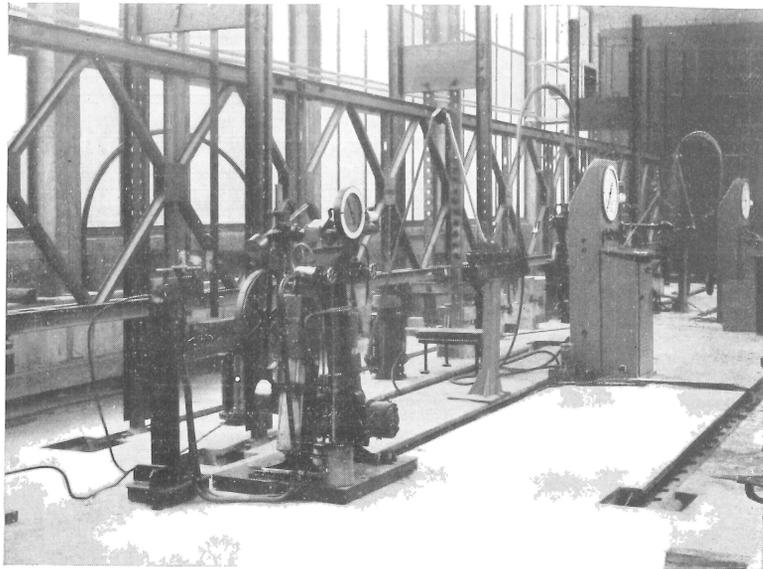


Figure 6.

Les dynamomètres et les pulsateurs sont associés en deux groupes. L'un est taré pour les vérins de 50 et de 20 tonnes (échelles 50, 25, 20, 10, 5, 4 et 2 tonnes), l'autre pour les vérins de 30 tonnes (échelles 100, 50, 30, 20, 15, 10 et 6 tonnes). Ces appareils permettent un nombre de combinaisons de vérins qui peuvent répondre à tous les besoins d'essais. Le cas échéant, les deux pulsateurs peuvent être accouplés mécaniquement d'une manière rigide, afin de pouvoir actionner d'une manière synchrone un groupe important de vérins en sollicitation dynamique. La figure 5 reproduit un montage réalisé en usine. Un récupérateur recueille les fuites d'huile des vérins.

De nombreux essais ont déjà été effectués depuis l'installation de cet équipement, c'est-à-dire depuis neuf mois. Le plus encombrant a été l'essai statique d'une poutre BAILEY de 18 mètres de longueur (*fig. 6.*) Des poutres en béton armé et en béton précontraint de grande longueur ont été essayées, aussi des dalles et des corps creux pour des hourdis. Actuellement, un essai dynamique important de traverses de chemin de fer en béton précontraint est en cours, à l'intervention de la Building Research Station, de Garston (Grande-Bretagne) et pour le compte du Ministry of Works de Londres (*fig. 7.*)

L'équipement sera complété prochainement par des vérins statiques et pulsants de moindre capacité (5 tonnes), pour les essais courants (tuyaux, corps creux, hourdis, etc.). La puissance totale des vérins pourra être portée à environ 500 tonnes, ce qui sera suffisant, eu égard à la puissance des autres machines des laboratoires. La résistance de la dalle ne permet d'ailleurs pas une disposition quelconque ni une puissance sans limite des vérins; les dispositions possibles sont définies par un règlement.

Telle qu'elle est déjà actuellement et compte tenu des possibilités d'accroisse-

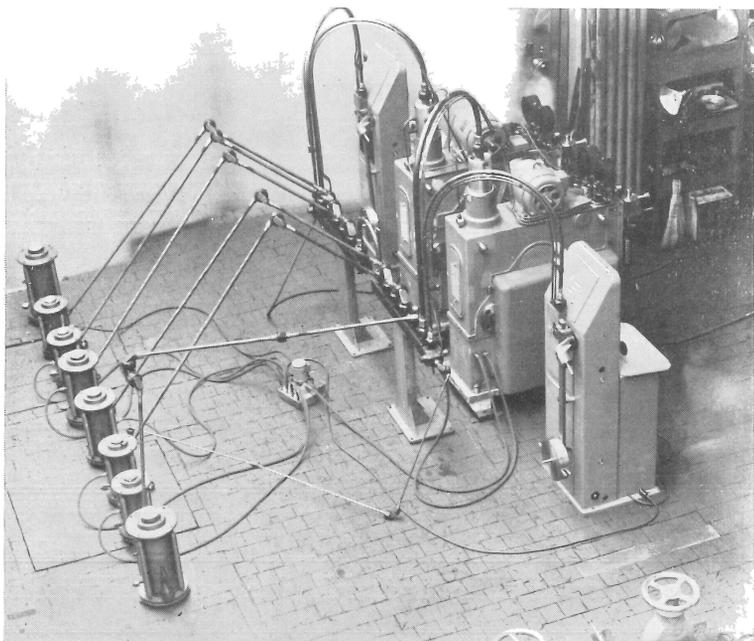


Fig. 5. — Emploi avec pulsateurs accouplés. Vue d'en haut.

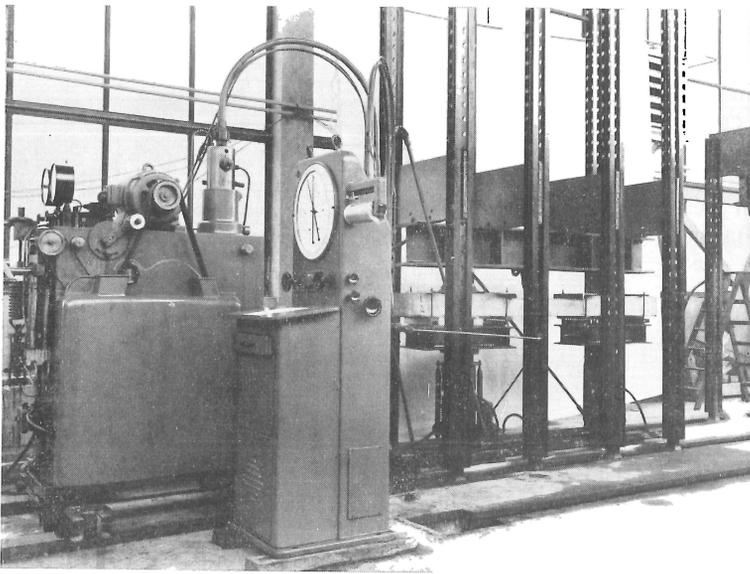


Fig. 7. — Traverse Dow-Mac.

ment de son équipement, la halle expérimentale constitue une machine d'essai de grande capacité originale et unique. Elle s'est révélée pratique d'usage; elle sera en outre assez commode lorsque le pont-roulant détruit par les bombardements sera rétabli. Il est en effet indispensable que cette installation dispose d'engins de manutention et de levage adéquats et suffisants ⁽¹⁾. La dalle permet l'essai simultané de plusieurs dispositifs d'encombrement moyen, ce qui a déjà été plusieurs fois réalisé. Elle permet aussi l'essai de grandes construc-

⁽¹⁾ Récemment, une grue mobile de 5 tonnes, provenant du matériel de l'armée américaine, a été affectée au service de la halle.

tions ayant jusqu'à 20 mètres de longueur, 6 mètres de largeur et 4 mètres de hauteur.

Depuis qu'elle est en exploitation, la halle a servi presque quotidiennement à des essais industriels, mais elle permet naturellement des recherches multiples, dans tous les domaines de la construction : charpente métallique, béton armé ou précontraint, bois pylônes, etc., et ce aussi bien en sollicitation dynamique que statique. Comme le pulsateur à efforts alternés, cette installation pourra, selon mes intentions et dans la mesure des possibilités, être à la disposition des organismes intéressés à de telles recherches. A cet égard, ce fut pour moi une réelle satisfaction de pouvoir la faire servir dès ses débuts pour un travail important demandé par le gouvernement d'un pays allié et ami, à qui nous devons tant de reconnaissance pour son inébranlable fermeté pendant la guerre

et la part qu'il a prise dans la libération du pays.

Ces nouvelles installations, ajoutées aux premières énumérées en introduction, forment un ensemble puissant et coordonné qui confère aux Laboratoires d'essais des constructions du Génie Civil un caractère particulier en accord avec leur destination et qui est complété par un important matériel moins impressionnant mais non moins nécessaire à l'accomplissement des missions qui relèvent de leur domaine et de mes enseignements à l'Université de Liège.

Nous rappelons à nos lecteurs le compte rendu de la visite des Laboratoires du Professeur Campus paru dans le n° 7/8-1948 de *Science & Technique* (p. 185).