

UNIVERSITÉ DE LIÈGE
COURS DE CONSTRUCTION DU GÉNIE CIVIL

N° 57

GÉNIE CIVIL

ET

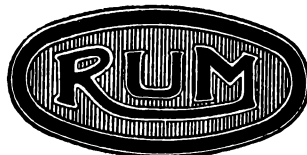
HYDRAULIQUE APPLIQUÉE

PAR

F. CAMPUS

Professeur à l'Université de Liège
Directeur des Laboratoires d'essais des constructions
du Génie Civil et d'Hydraulique Fluviale

Extrait de la *Revue Universelle des Mines*
(9^e Série, tome IV, n° 1 — 1948)



LIÈGE
H. VAILLANT-CARMANNE, S. A., IMP. DE L'ACADÉMIE, 4, PLACE ST-MICHEL, 4
1948

18009

GÉNIE CIVIL ET HYDRAULIQUE APPLIQUÉE

par F. CAMPUS,

Professeur à l'Université de Liège,
Directeur des Laboratoires d'essais des constructions
du Génie Civil et d'Hydraulique Fluviale.

Cette section du Salon international de la Recherche scientifique et du Contrôle industriel était présentée dans une partie des laboratoires d'essais des constructions du génie civil et d'hydraulique fluviale. Elle permettait ainsi aux visiteurs de se rendre compte de certains aspects de l'activité quotidienne de laboratoires modernes d'essais de matériaux et d'éléments de constructions du génie civil, ainsi que d'un laboratoire de mesures et d'essais sur modèles d'hydraulique fluviale et appliquée aux constructions.

Il mérite d'être signalé que ces laboratoires importants avaient été ravagés par les bombardements en mai 1944 et qu'ils avaient dû être abandonnés jusqu'en mai 1945. Depuis cette époque, M. le chef de travaux Dr René Jacquemin, avec une petite équipe de personnel, y avait été détaché pour assurer la conservation, la remise en état et même la remise en service des grosses machines qui avaient dû être laissées sur place, exposées aux intempéries. On avait pris dès les premiers bombardements la précaution, parfois périlleuse, de protéger ces machines par d'épaisses couches de graisse consistante et des bâches. C'est seulement en mai 1947 que les laboratoires ont été de nouveau clôturés effectivement et vitrés et la totalité du service n'avait réintégré les locaux des laboratoires que les dernières semaines avant l'ouverture du Salon, en y ramenant tout le matériel transportable qui avait pu être évacué après les premiers bombardements et remis en service provisoirement dans une partie des locaux de l'ancien Institut de Mécanique du boulevard de la Constitution, à Liège.

Lors de l'ouverture du Salon, le public n'a pu se rendre compte de ce qu'il restait encore beaucoup de travaux, d'aménagements et d'installations à faire pour remettre ces laboratoires dans leur état antérieur aux bombardements. Il n'a probablement pas non plus pu apprécier exactement l'importance des travaux déjà faits, les difficultés énormes qu'en avait éprouvées l'exploitation des laboratoires, enfin quelle action importante a constitué la sauvegarde et la remise en état de fonctionnement des principales machines des laboratoires. Ces machines de grande puissance, fabriquées par la firme réputée Alf. Amsler et C^{ie} selon des programmes de dimensions exceptionnelles pour les besoins de nos laboratoires, sont pour la plupart des prototypes. Elles constituent actuellement une vraie richesse, non seulement de l'Université de Liège, mais aussi nationale, car elles sont à la dispo-

sition du pays entier et même des pays étrangers voisins et amis, où elles sont bien connues. Si elles n'avaient pu être sauvées par les efforts et le dévouement de nos collaborateurs, c'eût été une perte considérable et mortelle pour nos laboratoires. Leur remplacement aurait exigé une somme telle de millions que, dans la détresse financière d'après guerre, nous n'aurions certes pu l'obtenir qu'après de longues années, auxquelles il aurait fallu ajouter de longs délais pour la fourniture, l'installation et la mise au point des nouvelles machines. Et nous n'aurions certes pu recueillir par surcroît les crédits appréciables qui nous ont déjà permis cette année d'acquérir des compléments d'équipement importants et modernes, que nous avons pu déjà mettre en service de démonstration pour l'ouverture du Salon et qui sont décrits plus loin. Ainsi a été sauvé non seulement l'acquit des laboratoires, qui faisait leur fierté, mais aussi leur développement d'avenir selon la même ligne. Grâce en soient rendues à nos collaborateurs de tout rang, anciens et actuels, notamment à notre regretté assistant feu Pierre Grignet et aux vivants, le Dr Roger Dantine, chef de travaux et tout particulièrement au Dr René Jacquemin, qui nous a quitté à la fin du Salon pour occuper la chaire d'élasticité et de résistance des matériaux à la Faculté Polytechnique du Hainaut à Mons, où il continuera à donner la mesure de ses mérites. Nous nous plaignons ici à évoquer sa silhouette emmitouffée de cache-nez dans les laboratoires glacials où soufflait la bise du rude hiver 46-47, où la neige s'accumulait au pied des machines protégées par des bâches, où le dégel ruisselait en pluie des plafonds et au milieu desquels s'érigeait la cabine thermostatique entièrement agencée par ses soins, qui enveloppait la machine de traction de 20 tonnes qu'il avait sauvée de la ruine et sur laquelle il effectuait de longs et minutieux essais de fluage dans une atmosphère dont la température de 20° variait de moins d'un degré.

Nous nous excusons de nous étendre si longuement sur ce sauvetage de nos laboratoires, mais sans cette victoire sur l'adversité, il n'y aurait pas eu de section du Génie Civil notable dans ce Salon. Si nous avons cru pouvoir qualifier de miracle la réussite de cette exposition, la présentation des laboratoires d'essais des constructions du génie civil et d'hydraulique fluviale n'a pu y être faite que grâce à la foi qui produit les miracles. A travers toutes ces machines dont nous sommes fiers, à travers tout cet équipement matériel patiemment

édifié, nous apercevons l'effort des hommes. Nous savons ce qu'il en a coûté d'argent, mais nous le jugeons modeste en regard des sommes de bonne volonté et de dévouement à un idéal bienfaisant. C'était à nos yeux la signification la plus précieuse de cette participation, mais combien l'auront perçue comme nous ?

Le visiteur pénétrait dans le laboratoire d'essais des constructions du génie civil par la porte du rez-de-chaussée et se trouvait d'emblée devant un ensemble de machines et d'appareils assez importants. Trois moutons de Charpy, dont un de 15 kgm (Alpha, de Stockholm), un de 30 kgm (Amsler) et un de 75 kgm (Losenhausen), puis deux duromètres, dont un du type Rockwell (Alpha) et un du type Vickers, à empreinte de diamant, tout

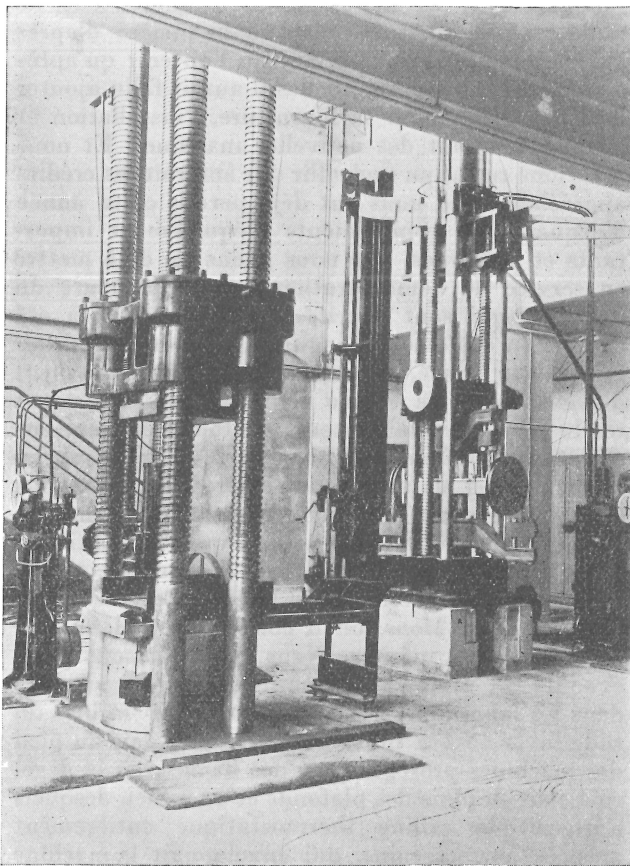


Fig. 1. — L'ensemble des machines de grande puissance.

neuf. L'essai de dureté à la bille normale de Brinell se fait au moyen d'un presse Amsler de 10 t. Un poste de macro-radiographie Baltographe (Usines Balteau, à Liège), d'une tension de 250 kV, constituait un ensemble important en fonctionnement, notamment pour l'examen par rayons X de grosses barres à béton soudées. L'équipement de contrôle non destructif était complété par un appareil Magnetoflux, pour la détection des fissures. Nous n'avons pu disposer d'un appareil de contrôle à ultra-sons ; ces appareils étaient exposés au laboratoire de métallurgie.

Une importante machine de traction et de compression de 50 t Alpha, à romaine avec équilibrage automatique, attirait ensuite les regards. C'est une excellente machine de grande précision, mais qui malheureusement n'a pu être présentée en fonctionnement, parce que le raccordement au réseau électrique et à la distribution d'eau, assez compliqué, n'avait pu être rétabli.

Une petite machine universelle Amsler de 10 t, avec sa pompe et son dynamomètre, avait été placée provisoirement à côté de la précédente pour permettre la démonstration de l'extensomètre électronique Tinius Olsen, offert par l'A. I. Lg. et arrivé d'Amérique pendant les premières semaines de l'exposition. Malheureusement, des avaries survenues au cours du transport n'ont pas permis le fonctionnement de cet appareil intéressant. Il en a été généralement de même d'un appareil sonore à haute fréquence (son inaudible) pour la détermination du module d'élasticité du béton, arrivé au cours des dernières semaines de l'Exposition, également d'Amérique (marque Hogentogler) et dont la mise au point n'a pu être parfaite. Cet appareil était aussi offert par l'A. I. Lg.

Du haut de la salle du rez-de-chaussée, le visiteur pouvait dominer l'ensemble des machines puissantes et de grandes dimensions auxquelles il a été fait allusion plus haut. A cet endroit, le laboratoire constitue une sorte d'encuvement dont la hauteur est égale à celle du sous-sol et du rez-de-chaussée réunis. Les machines suivantes y sont installées :

Un grand mouton vertical de choc Amsler, enregistreur de 400 kgm.

Une grande presse de 100 t, de 2,25 m de hauteur disponible, pour les essais de compression d'éléments de construction puissants en matériaux quelconques, notamment des piliers en maçonnerie, en béton ou en béton armé (Amsler).

Une grande presse de flambage de 550 t, de 6,40 m de hauteur disponible, pour l'essai de colonnes et piliers de grande hauteur, en tous matériaux, et pouvant servir également pour l'essai de flexion de pièces jusqu'à 6 m de portée (Amsler).

Une machine universelle Amsler de 100 t, de 2,25 m de hauteur disponible avec pulsateur de 170 cm³ de capacité, permettant d'exercer des efforts dynamiques répétés variant de 0 à 80 t, à des fréquences de 250, 350, 500 ou 700 par minute. Cette machine a été utilisée pendant l'exposition, notamment pour des essais d'endurance de joints soudés de rails en acier au manganèse et de barres à béton, ce qui constitue depuis 1937 une de ses utilisations courantes. Elle a servi aussi à des essais dynamiques et d'endurance d'éléments très importants, tels que des traverses de voies ferrées, des balanciers de boggies d'automotrices, des modèles de nœuds rigides de charpente de grandes dimensions, même des nœuds de charpente rivée triangulée en vraie grandeur.

Tout cet ensemble, très important et en quelque sorte unique, qui conférait du moins au laboratoire sa physionomie caractéristique d'avant-guerre, est

desservi par un pont roulant de 10 tonnes, qui a limité la hauteur disponible de la presse de flambage.

De la galerie qui surplombe l'encuvement des grandes machines ou mieux encore, de l'escalier qui réunit le rez-de-chaussée au sous-sol, le visiteur pouvait apercevoir le laboratoire du sous-sol s'étendant sous celui du rez-de-chaussée par lequel il était entré. Diverses machines l'occupent, dont la plus caractéristique est la machine de traction Amsler de 20 t, de 1,50 m de hauteur disponible, avec dynamomètre à grand cadran, grand tambour d'enregistrement et dispositif de maintien automatique de charge constante, qui a servi notamment aux essais de fluage des aciers sous tension constante à la température de 20°C. En plus un lot important de machines Amsler d'usage quotidien : presse à béton et mortier de 60 t, presse à béton de 200 t, machine universelle de 10 t à piston co-axial de 1000 kg pour les essais de ciment. Un petit mouton automatique standard de Page (Riehle U. S. A.) était visible à côté d'une fondation préparée pour une machine Amsler d'un type tout nouveau, qui était attendue pour l'exposition mais dont les essais en usine n'ont pu, en dépit des efforts du

lier de préparation des matériaux pierreux. Leur équipement est intact ou remis en état en dépit des ravages des bombardements. Celui de l'atelier des matériaux pierreux a même pu être considérablement perfectionné et modernisé, en vue de l'emploi intensif d'outillages à concrétion de poussière de diamant (Diamant-board). Le visiteur ne pouvait guère, de l'escalier dont question plus haut, que deviner ce qui se passait dans ces salles, sauf les privilégiés qui pouvaient en petit nombre être admis aux occasions spéciales dans les parties des laboratoires que leur exploitation, autant qu'un état de réfection encore insuffisamment avancé, ne permettaient pas d'ouvrir au public en général. Il en était ainsi de toutes les autres salles décrites dans l'article « Constructions du Génie civil » du numéro spécial de février 1938 de la *Revue Universelle des Mines*, consacré au Centenaire des Écoles spéciales de l'Université de Liège. Ce sont les salles de préparation et de conservation des ciments, les petits laboratoires de chimie, d'essais physiques des liants hydrocarbonés, des matériaux d'étanchement et des peintures, des essais spéciaux des métaux, des essais des terres (mécanique du sol) et de

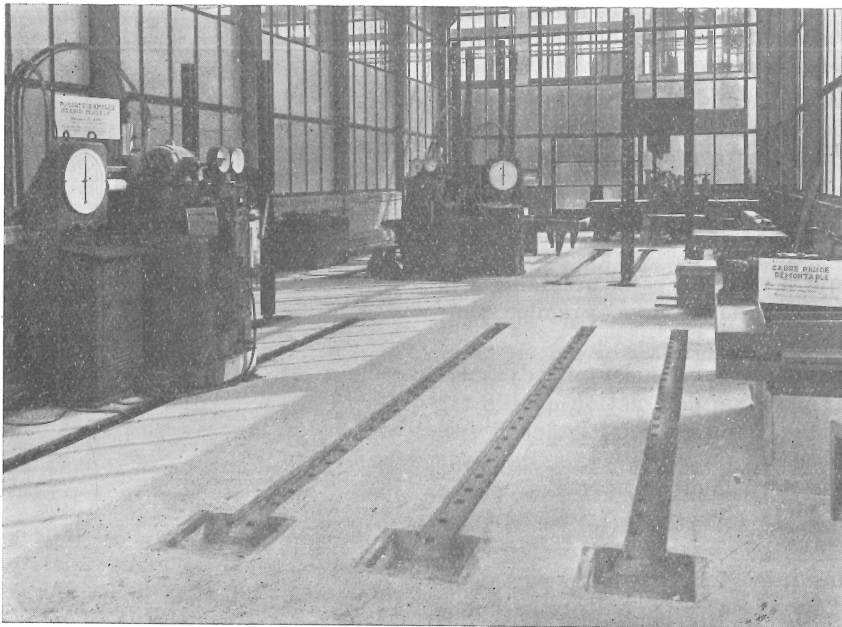


Fig. 2. — La halle expérimentale.

constructeur et à notre grand regret, être terminés à temps. Il s'agit d'une machine à pulsateur pour efforts alternés de -25 à $+25$ t, qui peut aussi produire des efforts répétés de 0 à 50 t et travailler statiquement. Cette machine très particulière est encore un prototype qui doit constituer un enrichissement très précieux du matériel déjà si caractéristique du laboratoire.

Sur ce grand laboratoire du sous-sol, agrandi par l'incorporation d'un large couloir dont la cloison séparatrice, soufflée par les bombes, n'a pas été reconstruite, s'ouvrent l'atelier mécanique et l'ate-

conservation des échantillons, enfin les deux salles conditionnées chaudes (0 à 50°C) et froide (0 à -25 °C). La description de 1938 devrait être augmentée d'équipements complémentaires et de perfectionnements importants, malheureusement encore compensés par une remise en ordre incomplète. Mais cela sort du cadre de cet article.

Sortant du rez-de-chaussée par la porte par laquelle il y était entré, le visiteur pouvait se rendre au même étage, dans notre laboratoire personnel, mis en majeure partie à la disposition du Centre national français de la Recherche scienti-

fique, mais dans lequel nous exposons cependant une vitrine contenant principalement des microscopes et des appareils de mesure. Les plus particuliers étaient les extensomètres, les déformètres, les fleximètres et les clinomètres confectionnés dans nos laboratoires selon les indications du Docteur R. Dantinne (1).

A peu de distance de là s'ouvrait notre laboratoire d'hydraulique fluviale et appliquée aux constructions. Il était occupé en majeure partie par des modèles en fonctionnement, établis par le Laboratoire central d'Hydraulique de Maisons-Alfort, qui sont décrits dans la notice relative à la section des essais sur modèles. Nous exposons nous-même, un perméamètre à sables, deux modèles de digues en terre, un modèle de dispositif pour éviter les affouillements en aval d'un barrage fixe et des documents relatifs à des essais sur modèles de deux dispositifs analogues, effectués au laboratoire.

Ce laboratoire d'hydraulique avait été particulièrement ravagé par les explosions et notre matériel, très abîmé, avait dû être évacué au sous-sol en vue de l'exposition. C'est ce qui nous avait permis de donner l'hospitalité au laboratoire français et il avait été possible de remettre en service une pompe, un réservoir et des canalisations principales pour alimenter ses modèles. Ce laboratoire a exercé beaucoup d'attrait sur les visiteurs.

Dans le couloir qui conduisait au laboratoire d'hydraulique, nous exposons divers modèles de nœuds rigides de charpente métallique, à savoir : un modèle en vraie grandeur de nœud de la charpente métallique soudée de l'institut du Génie Civil (2) ;

le modèle réduit qui a servi à l'essai préalable à la construction du pont de Lanaye, premier pont soudé belge (2) ;

divers modèles de nœuds soudés rompus dynamiquement dans la machine de traction de 100 t à pulsateur mentionnée plus haut, grâce à un dispositif spécial établi pour ces essais, qui sont encore poursuivis actuellement avec l'appui du Fonds national de la Recherche scientifique et de l'A. I. Lg. (3).

L'élément le plus important de notre participation au Salon était formé par notre halle expérimentale et son équipement. Cette halle, que nous avons décrite dans la notice intitulée « Constructions du Génie civil », du numéro spécial de février 1938 de la *R. U. M.*, consacré au Centenaire des Ecoles spéciales de l'Université de Liège et dont l'équipement semblait devoir être entrepris en 1940, a été

détruite par l'impact direct de deux bombes en 1944, alors que nous y procédions à des essais détaillés sur des mâts soudés de signalisation de la S. N. C. B.

Cette halle a été reconstruite pour l'exposition et la majeure partie de son équipement a pu y être montrée en état de fonctionnement, à la faveur de nombreux concours de bonne volonté. Elle contient 10 pieux Franki battus en 1932, susceptibles de résister en traction à environ 25 t chacun. Sur ce groupe de pieux a été bétonnée une dalle épaisse en béton armé, susceptible de résister à une charge

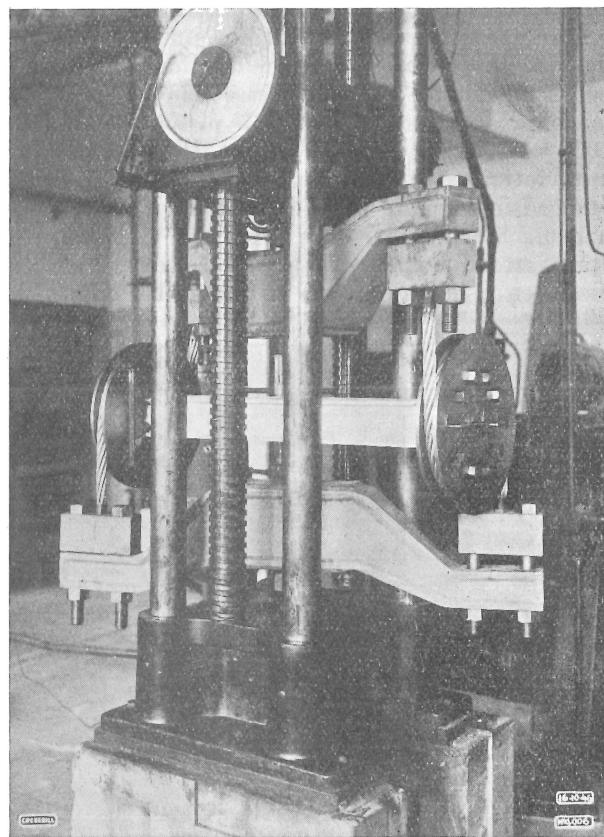


Fig. 3. — Le dispositif de torsion.

totale de 500 t. Elle contient trois groupes de six rainures parallèles en acier coulé dans lesquelles peuvent venir s'attacher, par des pieds en acier coulé, des montants en fers U pouvant supporter en sécurité des efforts statiques de 25 t ou dynamiques de 12,5 t. Au moyen de ces montants, actuellement au nombre de 24, nous pouvons fixer à la dalle divers dispositifs d'essais encombrants, ou un dispositif unique dont les dimensions peuvent s'élever à 20 m de longueur et de portée, 8 m de largeur et 4 à 6 m de hauteur. Leur mise en charge est assurée par des vérins Amsler, dont nous exposons 4 de 20 t, 2 de 30 t et 2 de 50 t, tous statiques et pulsants, en plus de 2 vérins statiques seulement, de 20 t, de 1939. Ces vérins sont actionnés par deux grands pulsateurs Amsler de 170 cm³, prototypes du nouveau modèle, deux dynamomètres

(1) Cf. R. Dantinne. — Extensomètres, fleximètres et clinomètres réalisés au Laboratoire. *Bulletin C. E. R. E. S.*, tome II, 1947.

(2) F. Campus. — Nœuds rigides de charpentes métalliques continues (Publication préliminaire du 2^e Congrès international des Ponts et Charpentes. Berlin, octobre 1936).

(3) Nouveaux essais sur modèles de nœuds rigides. (*L'Ossature métallique*, mars-avril 1940). Rapport préliminaire concernant les essais effectués sur modèles à trois dimensions de nœuds rigides soudés (*R. U. M.*, mai 1943).

à pompes Amsler, prototypes du nouveau modèle, et un dynamomètre à pompe Amsler ancien de 1939, à dispositif de maintien de charge constante. Les deux pulsateurs peuvent être accouplés. Des distributeurs à valves permettent pratiquement toutes les combinaisons possibles de répartition des vérins, qui peuvent opérer divers essais à la fois ou être concentrés sur un seul. La capacité des vérins pulsants sera portée sous peu à 500 t.

Cette halle expérimentale réalise donc la plus grande machine d'essais d'endurance du monde entier; elle peut aussi servir aux essais statiques. Tous les éléments et modèles de constructions, en matériaux quelconques et de grandes dimensions, peuvent y être essayés. La halle doit être desservie par deux ponts roulants de 10 t pour la manutention, mais qui ne sont pas encore établis.

En raison de cette absence de moyens de manutention et du fait que le bétonnage de la dalle rainurée n'a été terminé que peu de jours avant l'ouverture du Salon, de même que l'équipement ne nous est parvenu que l'avant-veille de ce jour, nous n'avons pu réaliser tout le programme de démonstrations que nous avions prévu. Ce qui a pu être fait était d'ailleurs déjà assez particulier et exclusif. Nous avons présenté un châssis de boggie d'automotrice de la S. N. C. B., coulé en acier spécial par les usines E. Henricot de Court-Saint-Etienne, et soumis à un essai d'endurance aux efforts répétés. Ensuite une grande poutre en T en béton armé, exécutée par la Compagnie internationale des Pieux armés Frankignoul et armée de barres Toristeg à haute résistance et à adhérence renforcée, fournies par la S. A. d'Ougrée-Marihaye, était également soumise à un essai d'endurance aux efforts de flexion répétés. Nous avons été puissamment aidés par l'A. I. Lg pour la réalisation de ces équipements et de ces démonstrations.

Le public en général mais surtout les spécialistes de tous pays ont manifesté à l'égard de cette installation unique un intérêt marqué; ses possibilités considérables pour la recherche et son agencement pratique ont été très appréciés. Notons ici encore la ténacité et la patience qui ont seules assuré le succès. La conception date de 1931. Après l'inauguration des instituts en 1937, il a fallu attendre plus de deux ans pour entrevoir les possibilités d'équipement, réduites à néant par la guerre, dont la violence a finalement détruit la halle elle-même. Et puis, après seize années d'attente, l'installation s'est trouvée en majeure partie réalisée avec les machines les plus modernes, dans la halle rebatie (4).

En dehors de nos laboratoires proprement dits, divers stands accointés avec le Génie civil présentaient des appareils ou des objets et documents en rapport avec ces laboratoires.

La Compagnie internationale des Pieux Franki exposait entre autres, dans ses divers stands des œdomètres confectionnés et mis au point par nos laboratoires; deux sciages de pieux Franki armés, de 520 et 407 mm de diamètre, effectués dans notre atelier de préparation des matériaux pierreux, au moyen de nos scies à rubans; enfin, une traverse en béton précontraint Franki-Bagon soumise à un essai de flexion alternée, imaginé et agencé par nos laboratoires et qui a permis la mise au point de cette traverse.

La Société Cristallin, dans son stand de protection des constructions métalliques par les peintures, se référait à de nombreux essais effectués par nos laboratoires sur ces produits.

Enfin, dans le stand de la S. A. John Cockerill à l'Institut de mécanique, on trouvait des références aux essais effectués dans nos laboratoires sur les profils en tôles minces pliées et soudées par points, du type MultiFer Grisard, et surtout le dispositif réalisé par la Division Constructions mécaniques de cette Société pour des essais de torsion d'éléments de charpente métallique et destiné à fonctionner dans notre machine de traction de 100 t et de 2, 25 m de hauteur, mentionnée plus haut.

Ce dispositif remarquable n'est possible que grâce aux dimensions exceptionnelles de notre machine. Il permet le développement d'un couple de torsion de 40.000 kgm, ce qui est un record considérable; il permet aussi la torsion dynamique répétée, puisque notre machine est pulsante, ce qui est également unique.

Ce dispositif a déjà été employé avec un plein succès pour l'étude de la torsion de fortes poutres en caisson soudées; il a provoqué le plus vif intérêt chez les spécialistes les plus éminents de l'étranger qui l'ont vu.

Toutes ces installations étaient présentées de la manière la plus simple et la plus véridique, en fonctionnement quotidien, sous l'aspect le plus sobre, encore très empreint des dévastations de la guerre. Mais elles constituaient cependant réellement une institution d'un agencement très particulier, d'une originalité accusée et d'une puissance déjà notable par rapport aux institutions similaires de l'étranger, qui a déjà rendu beaucoup de services et qui pourra en rendre encore beaucoup plus à l'avenir, au pays et à l'étranger.

Nous avons été heureux de pouvoir réserver une partie de notre laboratoire du rez-de-chaussée dont il a été question en premier lieu, à des participations de grandes institutions et d'éminents collègues étrangers. Nous avons apprécié leur présence dans nos laboratoires comme un précieux témoignage de courtoisie et d'amitié.

Le Laboratoire fédéral d'essais des matériaux et Institut de recherches Génie civil, Industrie, Arts et Manufactures de Zurich (Président : Professeur Dr h. c. M. Ros) exposait un groupe de 24 panneaux très intéressants, dont le texte explicatif figurait dans des brochures à la disposition du public.

(4) Dans le chantier expérimental à ciel ouvert contigu à la halle, douze pieux Franki battus dans le sol permettent d'édifier une construction expérimentale jusqu'au poids de 900 t, pour la soumettre à des essais quelconques.

Le laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics de Paris (Directeur : R. L'Hermitte) avait envoyé un panneau mural et un lot important de publications disposées dans une vitrine, dont une partie contenait les publications de nos laboratoires.

Enfin une grande vitrine exposait au public un choix important de publications réputées de l'A. S. T. M. (Association américaine pour l'essai des matériaux) la plus importante et la plus active des associations de cette espèce.

Tout cet ensemble pouvait donner au public une idée assez caractéristique et complète du vaste domaine de possibilités, d'investigations et d'études que la recherche scientifique et le contrôle industriel ouvrent dans le Génie civil et des moyens puissants dont on dispose à cet effet et qui emploient toutes les ressources de la science la plus moderne. D'autres

stands privés ou relevant d'autres sections complétaient encore ce tableau impressionnant, notamment les modèles et documents relatifs aux études sur la pression du vent sur les édifices, dont il est question dans la notice de la section des essais sur modèles. Citons aussi pour finir les documents et modèles relatifs aux essais de reconnaissance du sol, au stand de la C^{ie} internationale des Pieux armés Frankignoul. Outre l'essai œdométrique déjà cité, l'essai de percussion, l'essai de charge sur pieux et l'essai de pénétration en profondeur étaient définis et illustrés, le dernier notamment par l'exposition d'un appareil de pénétration en vraie grandeur. Nous ne sommes pas certain de n'avoir rien omis de ce qui pouvait toucher au Génie civil dans cette vaste exposition; nous croyons avoir indiqué du moins le principal.