

# LES INSTITUTS DE LA FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES DE L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE AU VAL-BENOIT

## LA DIRECTION TECHNIQUE

par F. CAMPUS

Ingénieur des constructions civiles et électricien

(A. I. Br., A. I. M., A. I. Lg.)

Professeur à l'Université de Liège

Au cours de l'été 1929, pour passer à l'exécution, M. l'Administrateur-Inspecteur de l'Université de Liège adjoignit à M. l'architecte professeur Alb. Puters un bureau d'études techniques. Il était formé de deux ingénieurs des constructions civiles diplômés dans le cours de la même année et recevant leur inspiration technique de l'auteur. Cette institution fut transformée en direction technique au début de 1930, lorsqu'apparut l'imminence des premières entreprises de fondations et de charpente métallique, premiers résultats de l'activité du bureau d'études. Cet organisme improvisé fut renforcé au fur et à mesure du développement des travaux dont il fut chargé, mais toujours avec un certain décalage, de telle sorte qu'il est à peu près constitué de la manière convenable pour pouvoir réaliser son travail lorsque la majeure partie en est terminée.

La création et le développement de la direction technique sont dus uniquement à des causes extérieures à sa propre action. L'explication en réside dans la nature de l'œuvre, consistant en instituts dont le caractère dominant est la spécialité dans l'ensemble et dans le détail. Ils correspondent à des besoins très particuliers et divers, d'une grande complexité. La réalisation doit répondre strictement au but, en harmonisant les nécessités variables,

en sauvegardant l'avenir et en réservant la possibilité de répondre à l'évolution des sciences et des méthodes scientifiques. Enfin, eu égard à l'importance des dépenses à engager, qui ne permet pas le renouvellement fréquent de semblables efforts financiers, la construction doit rechercher une très grande durabilité.

La ruine prématurée de plusieurs bâtiments de l'Université, à peine anciens de trois quarts de siècle, a apporté récemment à cette dernière considération une justification éclatante.

Un semblable travail a, par nature, un caractère analogue à celui des ouvrages d'art des ingénieurs, toujours marqué par l'importance des études préalables, complètes et coordonnées, afin de réaliser une œuvre adéquate aux besoins, conforme aux règles de la science et de l'art de construire et capable de résister aux atteintes du temps. C'est la seule méthode permettant une création raisonnable et raisonnée. Elle ne tient à la tradition que par la pérennité des concepts scientifiques qui sont à la base des réalisations des ingénieurs. Elle implique la subordination de toutes considérations personnelles au déterminisme technique du problème et des moyens de le résoudre. Il n'y a pas plus de raisons de construire une faculté scientifique moderne, constituée de laboratoires, par les mêmes

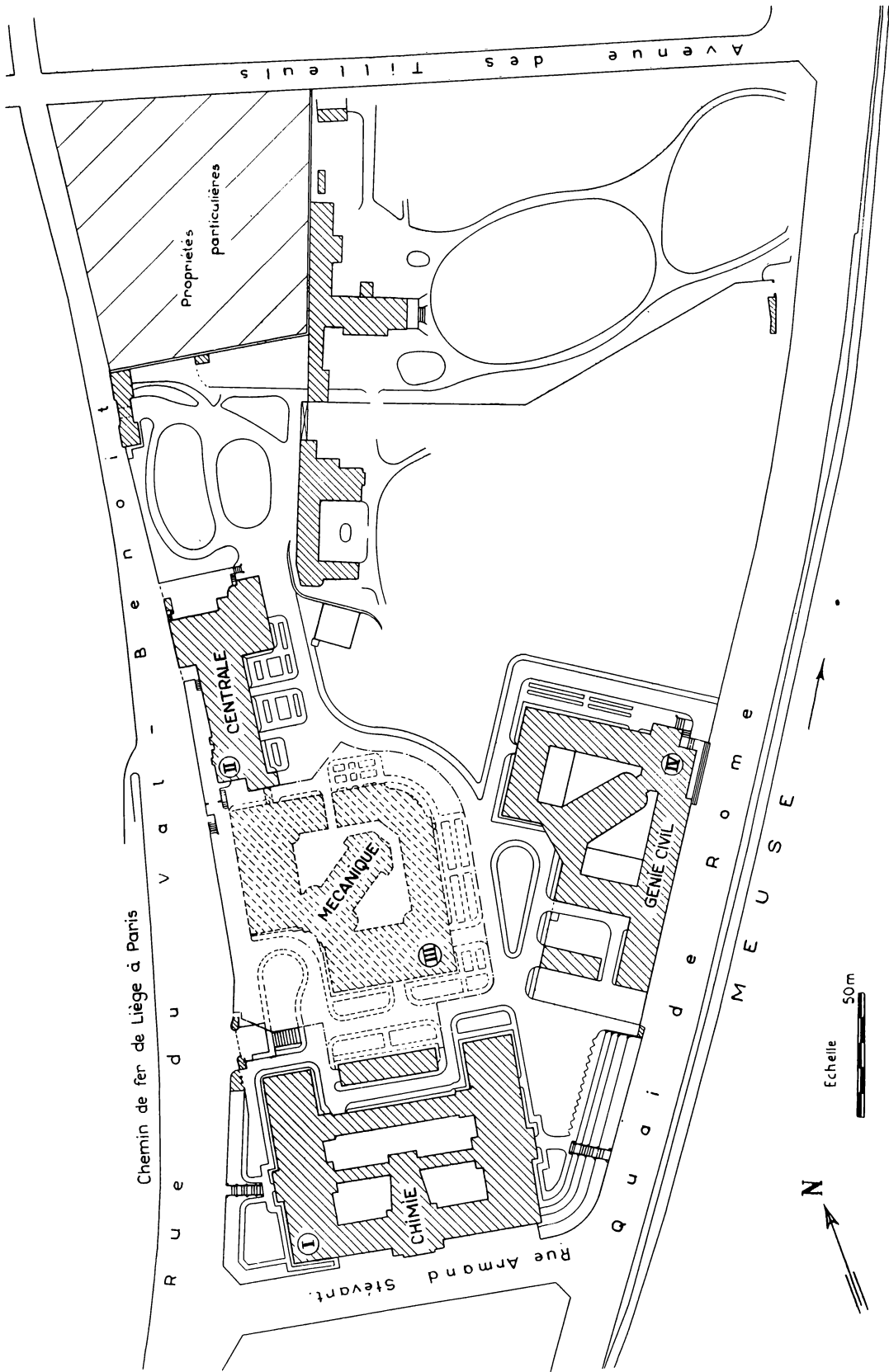


Fig. 1. — Plan de la propriété du Val-Benoît. Disposition d'ensemble des nouveaux instituts, de leurs abords et de leurs accès.  
 (Situation en novembre 1937).

moyens et les mêmes méthodes que les temples antiques, les cathédrales moyenâgeuses ou les hôtels baroques, que de s'inspirer des trirèmes ou des galères pour la construction des paquebots modernes.

Ainsi fortement marqués par la technique, les Instituts du Val-Benoît et leurs abords recueillent les suffrages de ceux auxquels ils sont destinés et de leurs collègues belges et étrangers.

### Plans général et particuliers

Antérieurement à l'institution de la direction technique, un plan schématique d'ensemble avait été établi. Il est reproduit à la figure 5 de la note de M. l'Administrateur-Inspecteur M. Dehalu, intitulée : « Les nouveaux Instituts de la Faculté technique », publiée en 1930 dans le Bulletin de la Société des Amis de l'Université de Liège. On s'est écarté de ce plan dans l'exécution et les dispositions effectivement réalisées sont représentées à la figure 1 de la présente note.

L'Institut de Chimie et de Métallurgie n'a pas subi de modification d'emplacement ni de plan ; ces éléments étaient déjà arrêtés en 1929 par M. l'architecte professeur Alb. Puters.

Le bâtiment destiné aux services généraux, au chauffage, à la production d'énergie électrique et au laboratoire de thermodynamique devait, dans le projet primitif, se trouver à peu près au centre de gravité de l'ensemble des instituts à desservir.

Cette situation répondait à la préoccupation théorique et classique de l'économie de distribution. Mais elle présentait un grave défaut pratique : le trafic important et peu désirable du charbon et des autres matières d'exploitation de la centrale et tous les impédiments de la manutention et du service en plein centre du groupe, avec tous leurs inconvénients au point de vue de la propreté et de l'esthétique. Pour les éviter, la direction technique proposa d'établir la Centrale thermo-électrique et le Laboratoire de Thermodynamique en bordure de la rue du Val-Benoît, grande artère de trafic lourd et industriel, permettant l'accès direct à la centrale sans aucun passage par le parc. Ce bâtiment est ainsi devenu contigu à l'Institut de Mécanique. Le plan de la centrale ne diffère que par quelques annexes des dispositions rectangulaires résultant du projet de l'entrepreneur général de la partie thermo-électro-mécanique, choisi à la suite d'une adjudication-concours. Le Laboratoire de Thermodynamique constitue un rectangle allongé, en bordure de la rue du Val-Benoît, selon les dispositions demandées par son directeur, M. le professeur A. du Chesne. Il est relié par une passerelle couverte à l'Institut de Mécanique, encore en construction, dont le plan diffère totalement de celui schématisé en 1930. Il est identique à celui de l'Institut du Génie Civil, qui lui aussi diffère totalement de celui du schéma de 1930. L'emplacement de cet Institut a été modifié et transporté au Sud du chemin au Nord duquel il était d'abord projeté. Quant au plan en carré avec amphithéâtres suivant la diago-

nale, adopté d'abord pour l'Institut du Génie Civil et ensuite pour celui de Mécanique, il a pour buts de faciliter la circulation aux divers étages, entre les étages et par rapport aux accès, d'assurer la plus grande économie et la plus grande simplicité, ainsi que la séparation des fonctions. Ces buts sont réalisés dans les deux Instituts de la manière suivante. L'entrée principale se trouve à l'extrémité Est de la diagonale ; elle commande une grande cage d'escalier, des ascenseurs et monte-charges et conduit par le plus court chemin à tous les auditoires. A l'extrémité Ouest opposée de la diagonale, autre entrée, autre cage d'escalier, autres ascenseurs et monte-charges, desservant tous les laboratoires et services. Le plan est extrêmement simple et répond à toutes les conditions. Les culs-de-sac et les labyrinthes sont évités. La possibilité d'être coupé de l'une ou l'autre issue par un sinistre est pratiquement exclue.

Naturellement, cette simplicité a demandé un grand effort pour l'aménagement de détail des plans, c'est-à-dire la répartition des services et des locaux. En ce qui concerne l'Institut du Génie Civil, M. l'architecte Jos. Moutschen, professeur à l'Académie royale des Beaux-Arts de Liège, a apporté une collaboration appréciée à la direction technique, qui a établi entièrement, par ses propres moyens, toutes les dispositions relatives à la Centrale, au Laboratoire de Thermodynamique et à l'Institut de Mécanique.

L'Institut de Minéralogie figurait déjà au plan d'ensemble de 1929. Il est question de l'édifier, combiné avec un Institut de Physique, à l'angle du quai de Rome et de l'avenue des Tilleuls, dans une propriété récemment acquise par l'Université. De la sorte, le parc et les pelouses situés entre la Meuse et l'abbaye subsisteraient.

### Fondations

Le terrain est situé au voisinage immédiat de la Meuse et sous le niveau de ses crues. Le sol alluvial est formé de limon surmontant une couche de gravier assez épaisse et solide, reposant à son tour sur le schiste. Par endroits le terrain a été remblayé à une époque récente. Ailleurs (angle de la rue du Val-Benoît et de la rue Armand Stévert), il est bordé par d'anciennes exploitations de terre à briques et forme une sorte de marécage (« champ de glace »). Au Sud de cet endroit se trouve l'ancien terrier d'un charbonnage situé immédiatement de l'autre côté de la rue du Val-Benoît. De tout cela résultent diverses particularités.

La voirie du quai de Rome a été relevée en remblai, de même que celle de la rue Armand Stévert, de manière à former des digues mettant le terrain du Val-Benoît à l'abri des submersions par les crues de la Meuse. Ces travaux ont été exécutés par l'Administration des Ponts et Chaussées et par la Ville de Liège. La voirie de la rue du Val-Benoît doit encore être relevée et quelque peu déplacée pour permettre le raccordement de la rue Armand Stévert.

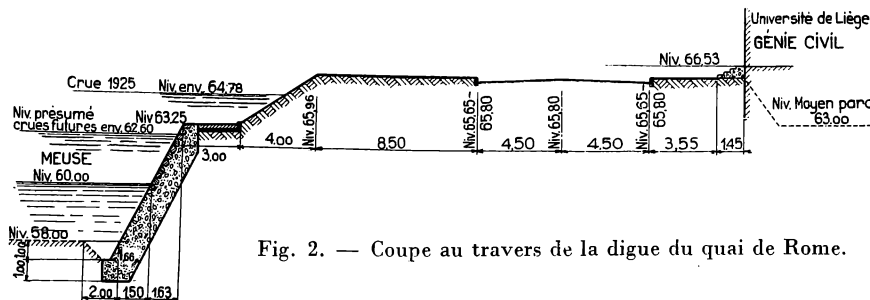


Fig. 2. — Coupe au travers de la digue du quai de Rome.

Dans la partie du terrain contiguë à la Meuse, l'eau souterraine est à un niveau en rapport avec la flottaison du fleuve canalisé. En bordure de la rue du Val-Benoît, il a été constaté un niveau sensiblement plus élevé de l'eau ; la nappe phréatique semble alimentée par la colline toute voisine et n'être pas en relation directe avec la Meuse. La proximité des terrils et l'existence de vestiges de canalisations d'évacuation des eaux d'exhaure du charbonnage font que les eaux de cette partie du terrain sont appréciablement sulfatées (jusqu'à 587 milligrammes de  $\text{SO}_3$  par litre).

Enfin, l'exploitation du charbonnage rend possible encore certains affaissements, modérés toutefois d'après les prévisions du Corps des Mines (quelques décimètres à peine). Ces affaissements modérés, probablement en raison de la proximité de la Meuse, peuvent être les plus nocifs pour les constructions, parce qu'ils correspondent souvent aux limites des cuvettes d'affaissement, où les descentes sont les plus inégales. Il en résulte que les fondations devaient tenir compte de plusieurs sujétions spéciales.

La présence d'eaux sulfatées, dont les actions destructives sur le béton ont été reconnues à diverses reprises au cours des dernières années dans la région liégeoise, imposait de se prémunir contre elles (1). Des précautions étaient à prendre pour parer aux effets des affaissements possibles (2). Il fallait tenir compte de ce que le niveau de la Meuse pouvait être plus élevé que celui du terrain naturel. Enfin, il fallait, selon toute apparence, descendre les fondations jusque dans la couche de gravier solide pour assurer aux bâtiments une assise inébranlable. Cette assise de gravier se trouvait à des niveaux assez variables selon les endroits. Elle s'approfondissait notamment au voisinage de la rue du Val-Benoît, comme si un ancien bras de la Meuse avait coulé au pied de la colline.

La figure 3 indique quelques sondages types, dont les emplacements sont repérés à la figure 1.

Toutes les fondations ont été projetées et mises en adjudication de la manière suivante. Les bâtiments ont comme squelette résistant une ossature métallique ou en béton armé, reportant toutes les charges sur le terrain à la base d'un nombre assez restreint de colonnes fortement chargées. Chaque

colonne est fondée sur une pile en béton descendant jusque sur le terrain solide de fondation. Le projet indiquait pour chaque pile tous les efforts sollicitants et la cote probable de fondation, généralement située sous le niveau de la nappe phréatique. La pression maximum admise dans la base de fondation

était de  $4 \text{ kg/cm}^2$ . La réalisation de ce projet en fouille ouverte blindée et épousée paraissait a priori improbable ; aussi son élaboration avait-elle surtout

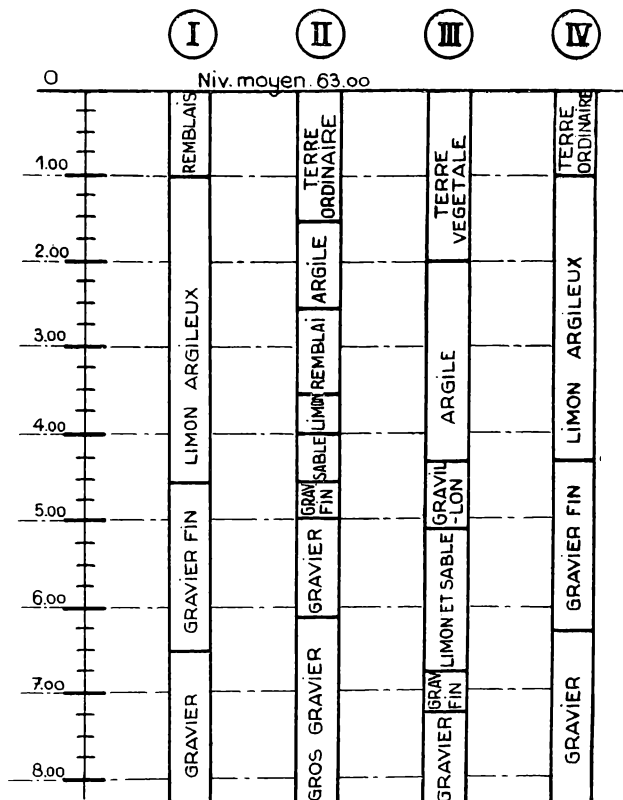


Fig. 3. — Types de diagrammes de sondages.

pour but d'établir un programme tout à fait précis et dépourvu d'ambiguïté, en vue de permettre aux soumissionnaires de présenter des contre-projets de fondations spéciales plus économiques, satisfaisant entièrement aux conditions de stabilité. Effectivement, toutes les fondations ont été établies sur des pieux Franki moulés dans le sol et surmontés de blocs en béton armé de deux mètres de hauteur, recevant l'appui des colonnes ou piliers. Le contrôle du battage a été très attentif ; les refus exigés étaient de 18 mm pour le mouton de 2,3 tonnes et de 28 mm pour le mouton de 3,2 tonnes.

Certaines épreuves de charge ont été effectuées avec d'excellents résultats. C'est sur les chantiers

(1) G. Batta, F. Campus. — *Bulletin de la Société Belge des Ingénieurs et des Industriels*, juin 1931.

(2) F. Campus. — *R. U. M.*, 1<sup>er</sup> et 15 décembre 1929.



de fondation de la charpente métallique de l'Institut de Chimie et Métallurgie qu'ont été battus les premiers pieux Franki obliques.

Pour la résistance des bétons aux eaux sulfatées, il a été fait usage de bétons spéciaux. Pour les premières fondations, on a employé du ciment de laitier (mélange intime de chaux et de laitier granulé basique) additionné de trass. Ensuite, on a substitué au trass du laitier granulé moulu<sup>(3)</sup>. Plus tard,

à la compression 434, 465 et 472 kg/cm<sup>2</sup>. Deux cubes essayés en novembre 1937, après 9 mois de séchage à l'air ont donné 468 et 473 kg/cm<sup>2</sup>. Ceci prouve que, après plus de quatre années d'enfouissement, le béton n'a subi aucune attaque, mais a fortement durci. Les résistances initiales étaient 155 kg/cm<sup>2</sup> à 7 jours et 290 kg/cm<sup>2</sup> à 28 jours.

On peut donc considérer que les fondations des Instituts sont aussi résistantes et durables qu'il est possible.

Pour tenir compte des possibilités d'affaissement, les bâtiments sont divisés en blocs indépendants, dont la plus grande dimension en plan ne dépasse pas 40 m et est généralement inférieure. Ces blocs sont séparés par une travée entière, permettant les affaissements indépendants. Il n'y a pas eu, jusqu'à présent, d'apparences d'affaissements, mais les joints ont aussi fait office de joints de retrait et de dilatation et, à ces points de vue, leurs mouvements ont été perceptibles.



Fig. 4. — Battage de pieux Franki obliques (1930).

pour l'Institut du Génie Civil, on a utilisé du ciment de haut fourneau, avant que ce produit ait été officiellement reconnu. Pour le groupe Centrale-Thermodynamique-Mécanique, il a été fait usage de ciment permétallurgique, riche en laitier et récemment introduit sur le marché. Dix-huit cubes de béton du dosage des fondations de l'Institut du Génie Civil (800 litres de gravier 10/30, 350 litres de sable, 450 kg de ciment portland artificiel additionné de laitier), confectionnés le 9 novembre 1932, ont été enfouis à l'âge de 7 jours dans la nappe phréatique, à l'endroit dénommé « champ de glace », où l'eau paraissait le plus suspecte. Ils ont été retirés en février 1937 et essayés. Trois cubes ont donné comme résistance

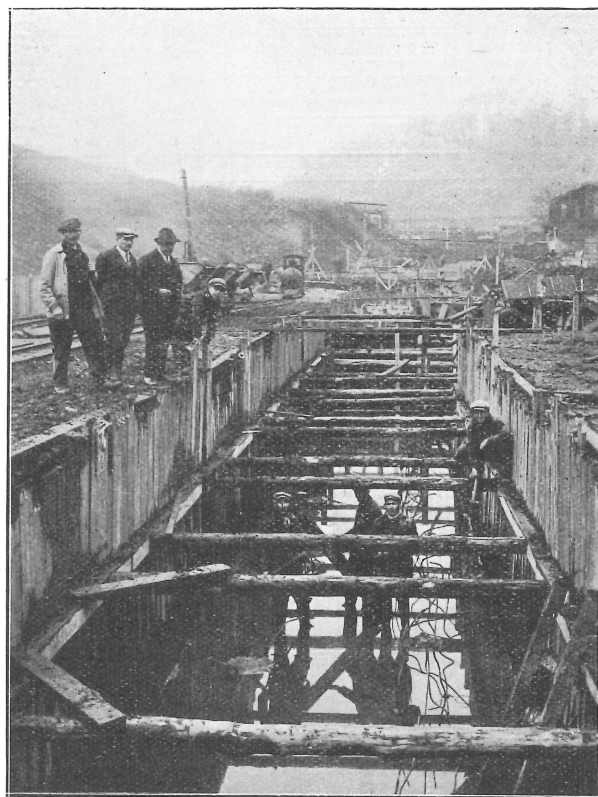


Fig. 5. — Fouille de fondations de l'Institut de Chimie-Métallurgie (1930). On aperçoit, à gauche, les vestiges du teruil.

Eu égard à la situation du niveau du parc par rapport aux plus hautes eaux de la Meuse, un drain général en gravier a été établi sous tous les bâtiments, pour éviter les infiltrations. Ce drainage est relié aux canalisations très ramifiées et complexes établies sous chaque Institut et qui déversent leurs eaux dans les égouts de la ville de Liège. Il n'y a

(<sup>3</sup>) F. Campus. — Livre du Congrès international d'essais des matériaux, Zurich, 1931.

que les galeries souterraines établies entre les divers Instituts et la Centrale et sous la plupart des Instituts (sauf celui de Chimie-Métallurgie), pour le placement des canalisations d'eau, de chauffage, de gaz et d'électricité, qui fassent exception au point de vue du drainage. Leur assèchement par les égouts est impossible. En outre, elles pénètrent en divers endroits dans la nappe aquifère. C'est particulièrement le cas de la galerie exécutée sous une partie de l'Institut de Chimie-Métallurgie après sa construction, dont l'exécution dans une fouille très aquifère a été pénible. Ces parties des galeries ont été rendues aussi étanches que possible. En outre, cinq pompes automatiques,

époques. Aussi, pour les autres instituts, les cloisons et murs au niveau du parc ont-ils été assis sur des poutres de fondations établies entre fondations des colonnes, d'ailleurs en général moins écartées que dans l'Institut de Chimie-Métallurgie.

Naturellement, les pignons extérieurs ont tous été fondés sur des poutres rigides et n'ont jamais montré la moindre fissure.

### Ossatures Métalliques

L'ossature métallique de l'Institut de Chimie-Métallurgie a été entièrement décrite dans cette revue (1<sup>er</sup> et 15 mars, 1<sup>er</sup> avrii 1933). Celle de l'Institut du Génie Civil a été mentionnée dans une étude publiée dans ces colonnes par M. G. Moressée (août 1935). D'autres publications ont été faites au sujet de ces charpentes (4). L'espace fait défaut pour revenir longuement sur ces ossatures, sur la justification de leur emploi, leur conception et leur réalisation. On peut se borner à constater que l'établissement du projet de la charpente de l'Institut de Chimie-Métallurgie en 1930 a été le point de départ d'une rénovation de la charpente métallique en Belgique, et que la naissance des ponts Vierendeel soudés, qui ont eu un développement si retentissant, en est une conséquence. Cinq années après l'exécution de la

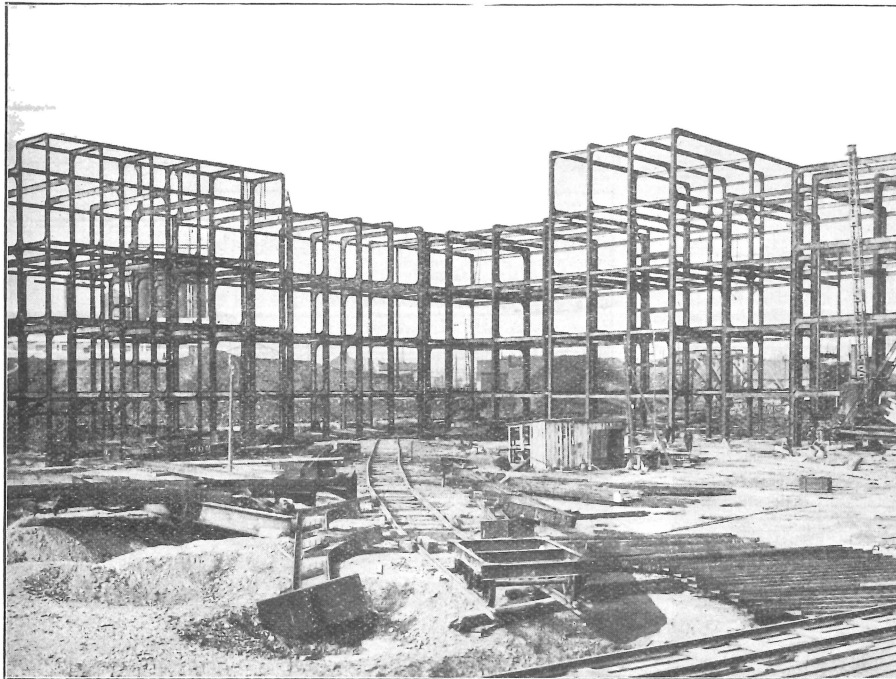


Fig. 6. — Ossature métallique de l'Institut de Chimie-Métallurgie (1931).

situées aux points bas du réseau important et complexe des galeries, assurent leur assèchement permanent en dépit des circonstances précitées.

En ce qui concerne les cloisons et murs des locaux situés au niveau du parc, on a, dans l'Institut de Chimie-Métallurgie, renoncé par raison d'économie à les établir sur des poutres de fondations en béton armé prenant appui sur les bases des colonnes, à cause du grand écartement transversal de celles-ci (environ 16 m). La fondation directe sur le terrain, en partie formé de remblai récent déversé sur le marécage du « champ de glace », a provoqué pendant de nombreuses années des tassements de ces cloisons, plus considérables qu'il n'avait été prévu. Ces mouvements paraissent actuellement stabilisés. Quoique tout à fait inoffensifs, ils ont été cependant jugés fâcheux à cause de l'impression défavorable créée par les larges crevasses qui se sont manifestées à certaines

charpente continue entièrement soudée, en acier spécial, de l'Institut du Génie Civil, il n'existe encore aucune charpente dans le monde qui, n'en étant pas inspirée, lui soit supérieure. Mon ancien assistant et collaborateur pour l'étude de la charpente de l'Institut de Chimie-Métallurgie, A. Spoliansky, a fait une glorieuse carrière en concevant les premiers ponts Vierendeel soudés de Lanaye et d'Hérenthals. Il est également l'auteur de nombreuses charpentes, notamment celles des nouveaux bâtiments de l'Université de Gand. Il suffit de consulter l'article « Le Nouveau Technicum de Gand » par M. J. N.

(4) Rappelons entre autres les suivantes :  
F. Campus. — Les charpentes métalliques continues (Congrès national des Sciences, Bruxelles, 1935).  
F. Campus et A. Spoliansky. — Progrès réalisés en Belgique de 1932 à 1936 dans les applications de l'acier à la construction des ponts et charpentes (2<sup>e</sup> Congrès international des Ponts et Charpentes, Berlin, 1936).

Cloquet, professeur à l'Université de Gand, paru dans « l'Ossature métallique » de novembre 1937, pour reconnaître aussitôt l'allure caractéristique créée par les charpentes des Instituts de Liège, auxquels M. Spoliansky a ajouté les derniers raffinements de la recherche de la légèreté et de l'économie.

Toutes les ossatures de Gand ont été exécutées à la suite d'adjudications-concours, où elles ont triomphé avec une nette différence de poids et de prix. Ce résultat répété fait justice de certains reproches adressés aux charpentes des Instituts du Val-Benoît et qui étaient basés sur une pure idéologie. Le fait que la justification d'une technique innovée à l'Université de Liège puisse être trouvée dans les réalisations ultérieures de l'Université de Gand, pour ses écoles spéciales d'ingénieurs, fait également honneur à ces deux hautes écoles et se passe d'autres commentaires.

Il est cependant opportun de signaler qu'en plus de ces progrès pratiques de la construction métallique, qu'ont déclenchés les charpentes du Val-Benoît, elles ont engendré de nombreuses études. Outre celles de l'auteur et de son ancien collaborateur A. Spoliansky, il faut citer une étude importante de J. Perelman (*R. U. M.*, 15 avril et 1<sup>er</sup> mai 1933) sur la flexion composée des colonnes, qui a beaucoup contribué à l'économie des dernières constructions de ce type, les travaux et publications de G. Moressée jun. et enfin les travaux et publications de nombreux autres anciens élèves de l'auteur, qui se sont distingués déjà dans la construction métallique. De nouvelles recherches vont être encore entreprises.

Les ossatures de l'Institut du Génie Civil et du Laboratoire de Thermodynamique n'ont pas encore fait l'objet de descriptions détaillées. Elles possèdent cependant de multiples particularités. Signalons notamment qu'à l'Institut du Génie Civil, les colonnes du côté des façades des cours ont été disposées en recul vers l'intérieur, de telle sorte que ces façades sont supportées par des consoles des fermes métalliques et ne possèdent pas de fondation. Ce dispositif n'avait pas été appliqué en Belgique avant 1932, à la connaissance de l'auteur. Il a été également appliqué aux bâtiments construits depuis par l'Université de Gand, dont il a été question ci-dessus.

Toutes les charpentes métalliques des Instituts de Liège sont enrobées de béton ou de maçonnerie, par raison d'architecture, de conservation et de protection contre l'action du feu. Il en a été tenu compte dans les calculs par une majoration des tensions admissibles, élevées jusqu'à 20 kg/mm<sup>2</sup>. Le calcul des charpentes enrobées d'après les méthodes du béton armé, préconisé par divers auteurs et règlements, est un contresens.

### Béton armé

Les parties suivantes ont été contruites en béton armé :

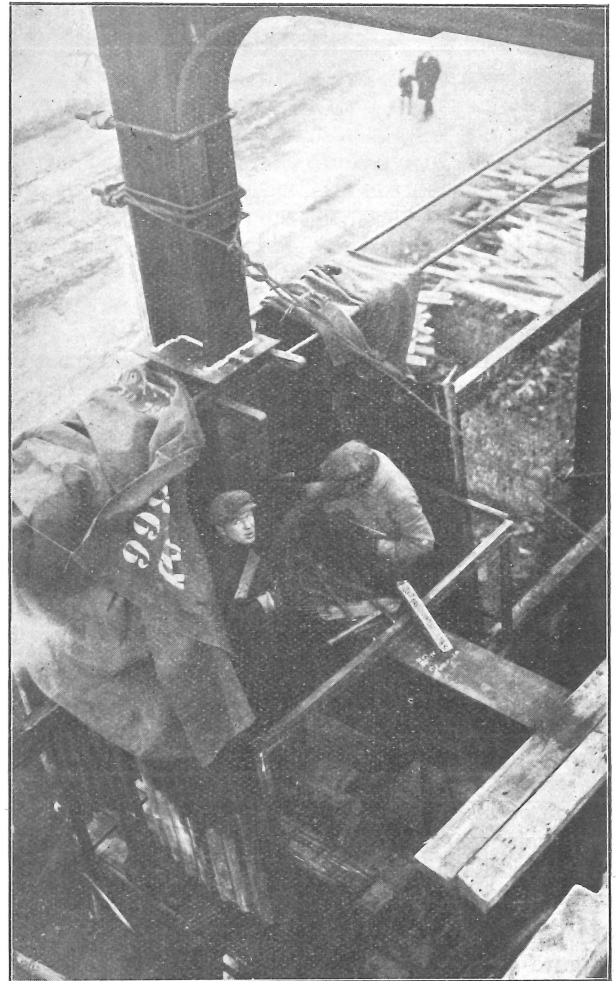


Fig. 7. — Soudure au chantier d'un assemblage de poutre du laboratoire d'hydraulique (1932).

I) A l'Institut de Chimie et Métallurgie : les poutres de fondation des façades, les ossatures des grands amphithéâtres, des ailes intérieures et de la halle de fonderie, tous les hourdis, y compris ceux des toitures terrasses, les escaliers, les auvents, les citernes, la galerie d'arrivée des canalisations.

II) A l'Institut du Génie Civil : les poutres de fondation des façades et cloisons intérieures au niveau du parc, les fermes des ailes Est et Nord, des entrées principale et postérieure, des grands auditoires et de la halle expérimentale, tous les hourdis y compris ceux de la toiture terrasse, les deux grands escaliers et les escaliers de service, les auvents, une citerne, les couvertures et une partie des galeries enterrées.

III) Toute la Centrale électrique, y compris l'ossature, les silos à charbon avec leurs portiques, les hourdis, les escaliers, les fondations des chaudières et machines, les fondations des façades et cloisons au niveau du parc, etc... Le façade est presque entièrement en béton apparent. Toutefois, la tour de l'élévateur à charbon n'a que le sous-

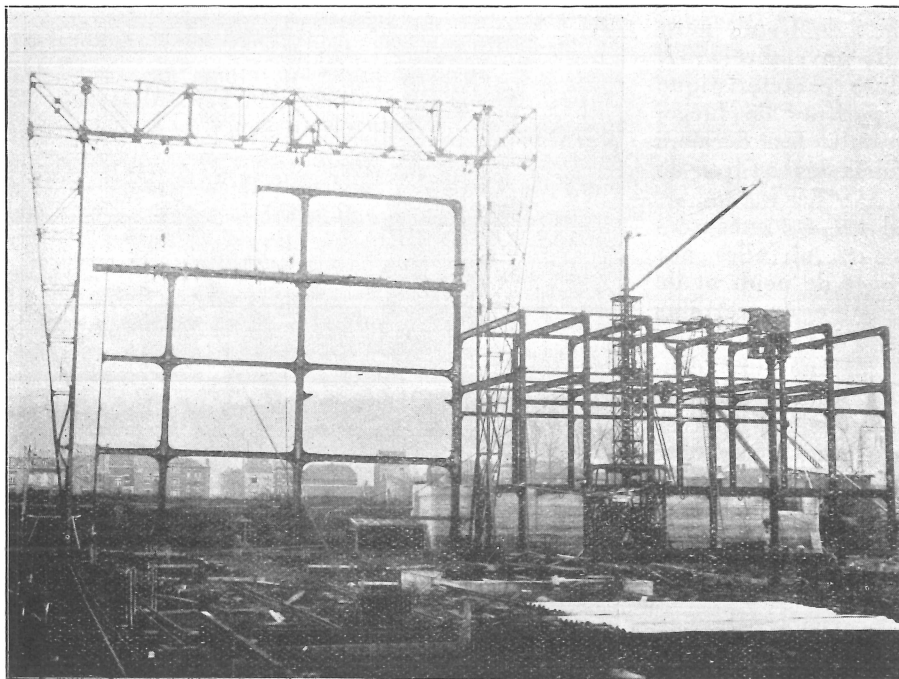


Fig. 8. — Montage de l'ossature métallique entièrement soudée de l'Institut du Génie Civil (1933).

sement et les planchers de refend en béton armé ; ses parois extérieures sont en maçonnerie armée de 36 cm d'épaisseur (hauteur totale de la tour : 49 mètres).

IV) Au Laboratoire de Thermodynamique : la majeure partie des façades, les hourdis, escaliers,

etc.), faibles portées (ailes peu larges) ou faibles charges (à l'Institut de Mécanique, il y a peu d'étages et il n'y a de fortes charges qu'au niveau du parc, directement reportées sur le sol). Il a été employé aussi systématiquement pour tous les hourdis, escaliers, voiles de soutènement, etc...

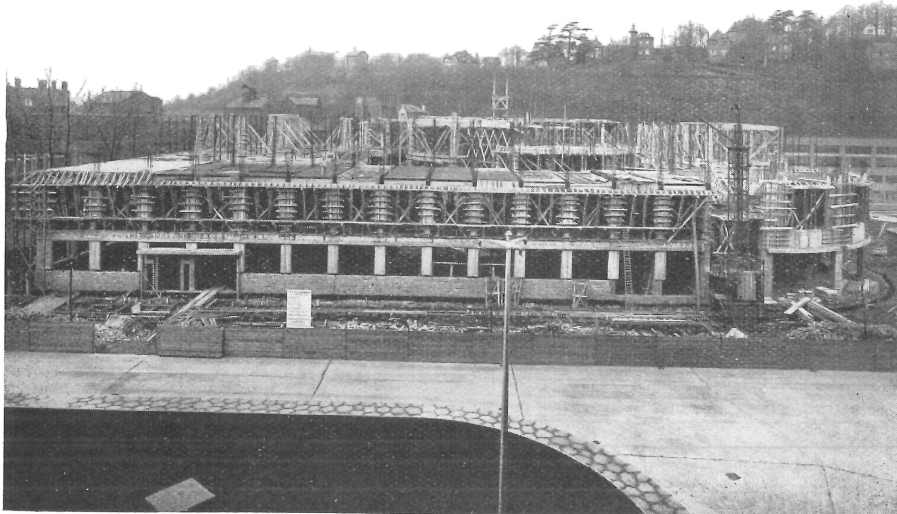


Fig. 9. — L'Institut de Mécanique en construction (novembre 1937).

auvents, fondations des machines, des cloisons au niveau du parc et des façades, galeries enterrées, etc.

V) A l'Institut de Mécanique : tous les éléments de résistance et de support ; il n'y a pas d'éléments en charpente métallique.

VI) Dans l'aménagement des abords, les murs de soutènement, poutres de fondations des murs de clôture, les escaliers, les galeries enterrées, le réservoir régulateur des pompes à la Meuse, les mâts d'éclairage extérieur, certains tronçons de revêtement de routes, etc...

Le béton armé a été employé pour l'ossature où les dimensions le permettaient : grandes hauteurs disponibles (grands amphithéâtres, centrale,

Tous ces ouvrages ont été étudiés, calculés et dessinés par la direction technique, conformément aux règles de la bonne pratique, en envisageant toutes les circonstances possibles de sollicitation. Les tensions admissibles ont été en général de 1200 kg/cm<sup>2</sup> pour l'acier (limite élastique minimum 2400 kg/cm<sup>2</sup>) et, pour le béton, en général 80 ou 90 kg/cm<sup>2</sup>. Pour les portiques des silos à charbon de la centrale, de l'acier à 30 kg/mm<sup>2</sup> de limite élastique avait été prescrit, pour une tension admissible de 1500 kg/cm<sup>2</sup>. Il n'a pas été possible d'obtenir la fourniture de cet acier. On a procédé à la mesure de la limite élastique des lots de barres ; on a admis la moitié



comme tension admissible et on a majoré la section d'armature en proportion.

Il a été fait usage des ciments suivants :

Portland artificiel à durcissement rapide pour l'Institut de Chimie-Métallurgie.

Portland artificiel normal et haut fourneau normal pour l'Institut du Génie Civil.

Haut fourneau normal pour la Centrale et le Laboratoire de Thermodynamique ainsi que pour les abords, permétallurgique pour les massifs de fondation.

Haut fourneau normal et portland normal pour l'Institut de Mécanique.

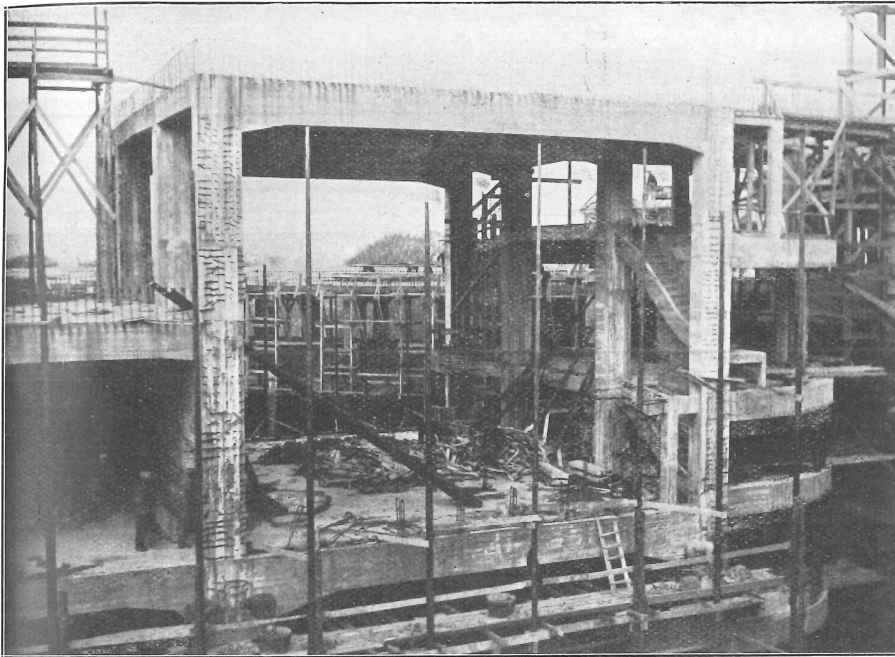


Fig. 10. — Grand amphithéâtre supérieur de l'Institut du Génie Civil (1934).

Pour les premiers travaux, le dosage était environ 800 l de gravier 5/20, 420 l de sable de rivière 0/5 et 400 kg de ciment par mètre cube de béton.

A partir d'octobre 1933, les dosages ont été exprimés entièrement en poids, avec un excellent résultat. Les ciments font l'objet de réceptions d'après les clauses des cahiers des charges de l'Etat. Le contrôle des bétons se fait d'après le règlement de l'Association Belge de Standardisation. Les graviers et sables sont réceptionnés en vue de garantir leur propreté et le dosage est réglé pour chaque arrivage d'après la granulométrie des produits. Les résistances obtenues sur cubes de 16 cm de côté atteignent en moyenne 250 kg/cm<sup>2</sup> à 14 jours et 350 kg/cm<sup>2</sup> à 28 jours, en cas d'emploi de ciment de haut fourneau ou portland normaux. Ce résultat prouve l'excellence des ciments, de la granulométrie et de la mise en œuvre.

Le ciment à durcissement rapide du premier

Institut a donné lieu à quelques inconvénients, qui se sont manifestés par une tendance marquée à la fissuration.

Le ciment permétallurgique de certaines fondations et même le ciment de haut fourneau ont donné quelques ennuis en hiver, en ce sens que les résistances des cubes d'essais diminuaient sensiblement. Dans ces cas, des cubes ont été découpés dans le béton d'œuvre ; ils ont généralement donné des résistances très élevées, dépassant les conditions requises. Ceci montre que le contrôle du béton sur cubes est susceptible d'être en défaut et que la seule certitude peut être donnée par l'examen du béton d'œuvre. On y a eu recours dans tous les

cas douteux et on peut dire qu'aucun élément de béton n'a été accepté, notamment dans les fondations, qu'après des essais finalement satisfaisants, parfois après un durcissement prolongé.

Comme il convient, toutes les ossatures et les hourdis en béton armé ont été calculés, dessinés et exécutés en tenant compte le plus largement possible de la continuité des éléments. Les armatures ont été constituées en conséquence et disposées d'une manière très soignée, en vue d'assurer la résistance à toutes les actions, non seulement de flexion, mais aussi d'effort tranchant et en vue d'assurer une adhérence et une liaison parfaites. L'enrobage suffisant des armatures a été garanti

le mieux possible. Compte tenu de tous les accessoires d'armatures (crochets, agrafes, étriers, barres de liaison, etc.) le pourcentage moyen effectif d'armature est modéré.

Pour l'Institut de Chimie et Métallurgie, il est de 1,33% en volume.

Pour l'Institut du Génie Civil, de 2%.

Pour la Centrale, de 2%

et pour l'Institut de Mécanique, de 1,95%

En vue de permettre aux soumissionnaires d'apprécier facilement le travail de béton armé, les métrés des diverses adjudications indiquaient à part le cube de béton et le tonnage d'acier, établis d'après les études complètes préétablies. De la sorte, le pourcentage moyen global d'armatures est bien connu. Naturellement, il varie d'après la nature des éléments ; il est le plus grand dans les fermes continues, où il a atteint jusqu'à 3%. Il s'agit,

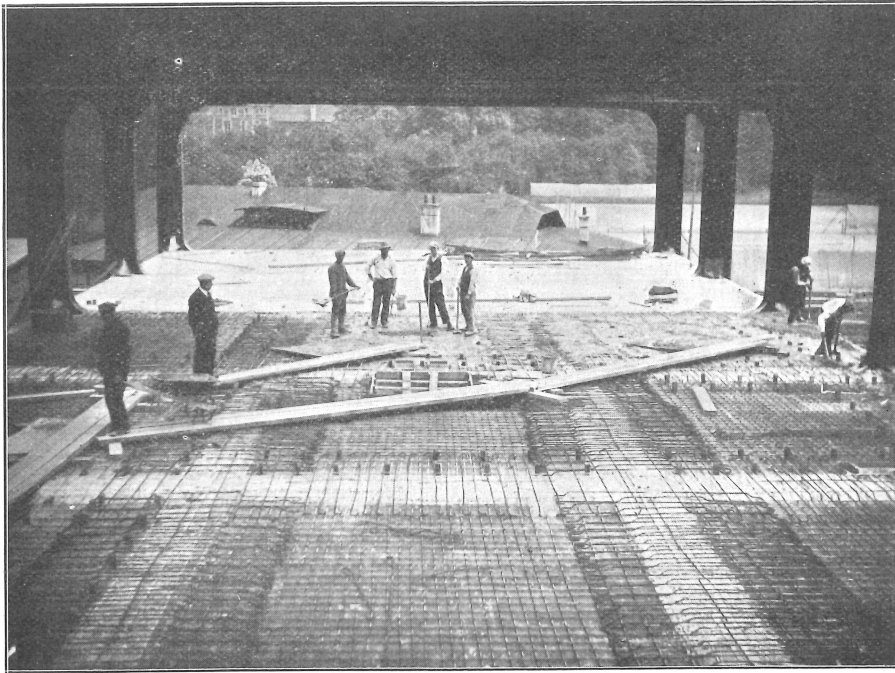


Fig. 11. — Bétonnage du hourdis d'une aile de grande largeur de l'Institut de Chimie-Métallurgie (1931).

il faut le répéter, du pourcentage d'armatures effectives totales, non du pourcentage théorique.

Comme particularités du béton armé, signalons les suivantes :

Les dalles de grande portée ( $6,00 \times 5,50$ ) de l'Institut de Chimie et Métallurgie, sont pleines, d'épaisseur constante (14 cm), légèrement renforcées aux bords et armées comme dalles continues. Certaines dalles de moindre portée (grands auditoires, laboratoire d'hydraulique, planchers très chargés) ont été traitées de même (pourcentage moyen d'acier : 1,11%).

Il a été fait un usage très étendu de dalles à petites nervures écartées en moyenne de 50 cm. Entre les nervures, le hourdis n'a que 5 cm d'épaisseur. Les premières, pour l'Institut de Chimie-Métallurgie, avaient été conçues comme planchers moulés d'avance, à éléments en U renversés, placés côte à côte et liés ensemble par du béton fin. L'entrepreneur a demandé à pouvoir les bétonner sur place (pourcentage moyen d'acier : 1,18%). Cette pratique a été généralisée pour les autres Instituts, pour lesquels les hourdis nervurés ont pu être conçus comme continus, ce qui a permis de les alléger d'une manière appréciable, en réduisant la hauteur et la largeur des nervures. L'épaisseur moyenne a été ramenée de 14 cm à 11,6 cm, le pourcentage total d'accès étant devenu 1,27%

Ces hourdis sont isolants, légers et permettent une fixation aisée des faux-plafonds. Leur coffrage est facile grâce à des formes métalliques de remploi fréquent, d'ailleurs usuels.

Le dessin des planchers prévoyait, pour tous les

Instituts, de nombreux trous pour le passage des canalisations. Mais c'est là un chapitre décevant ; les entrepreneurs de parachèvement paraissent animés d'une méfiance insurmontable à l'égard des trous qu'ils n'ont pas confectionnés eux-mêmes.

Comme ossatures, les plus impressionnantes étaient celles des grands auditoires (fig. 10), ainsi que les deux portiques des silos de la Centrale, de 20 m. d'ouverture libre horizontalement et verticalement. Ces portiques ont été traités comme articulés aux pieds ; les poutres horizontales forment en même temps parois des silos. L'épaisseur des colonnes des portiques n'est que de 50 cm. Pour cette raison,

il a été veillé à un entretoisement suffisant. Les fondations sont constituées d'une pile située sous

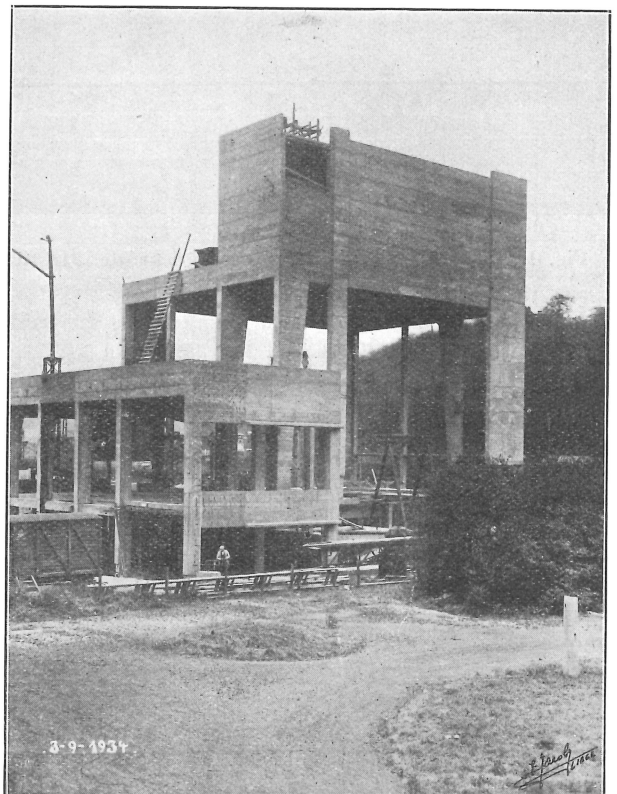


Fig. 12. — Les portiques en béton armé de la centrale (1934).

chaque pied, surmontant un groupe de pieux Franki capables de supporter 300 tonnes.

A l'Institut du Génie Civil, les fermes de l'ossature en béton armé des ailes étroites (Est et Nord) ont deux colonnes et des consoles supportant les façades côté cour (comme dans la partie à ossature métallique). On y remarque aussi le grand escalier de l'entrée principale, très aérien, dont les volées et paliers sont en porte-à-faux, les volées de l'escalier de l'entrée postérieure, aussi peu appuyées et un élégant escalier à vis, très commode, dans le laboratoire d'hydraulique.

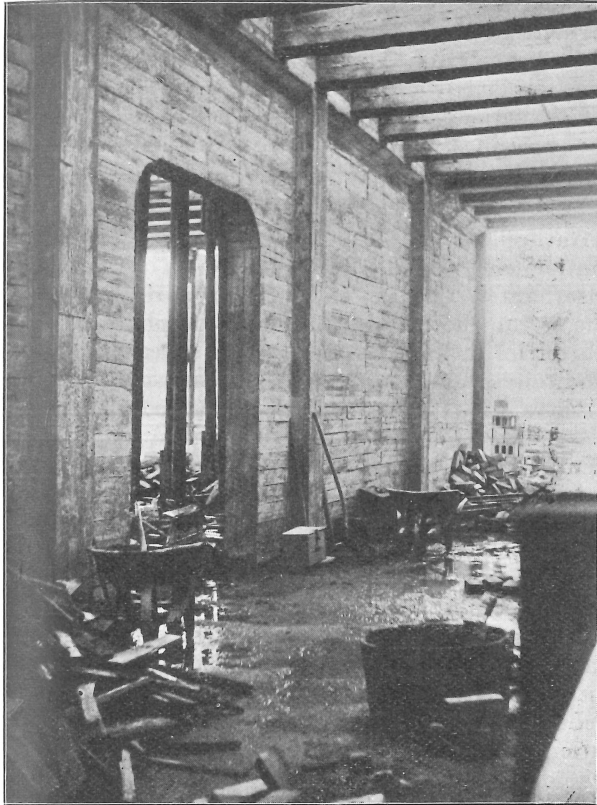


Fig. 13. — Poutre-cloison en béton armé de 20 m de portée (Institut du Génie Civil, 1934).

C'est aussi à l'Institut du Génie Civil, que se trouve une poutre de 20 m de portée et 5 m de hauteur, formant cloison et percée d'une baie en son centre, qui supporte le hourdis d'une grande salle sous-jacente, de 20 × 20 m sans appuis intermédiaires et sans surépaisseur par rapport aux hourdis ordinaires.

L'emploi de ciment portland normal et de ciment de haut fourneau normal a donné lieu à une absence presque totale de fissures dans les Instituts du Génie Civil et suivants. C'est ainsi qu'au Laboratoire d'hydraulique, un grand canal réservoir de 24 m de longueur et 4 m de profondeur, en béton armé simplement enduit à l'intérieur, s'est révélé parfaitement étanche, même au passage des tuyauteries multiples.

A l'Institut de Mécanique, quoiqu'il soit entièrement en béton armé, il n'y a guère de particularités à signaler, sauf un massif assez complexe de réservoirs et canaux pour le laboratoire hydro-mécanique en béton armé. On y trouve aussi quelques colonnes cylindriques très chargées et fléchies dans des plans différents.

La tour de la Centrale est, en dépit de son aspect architectural, essentiellement utilitaire. Elle abrite l'élévateur à charbon vers les silos, un manomètre absolu à mercure de grande hauteur, un réservoir élevé d'eau de Meuse (35,50 m au dessus du niveau du parc) et ses canalisations de refoulement et de départ vers le réseau d'incendie, d'arrosage et de nettoyage du parc. Enfin elle est couronnée de plateformes accessibles destinées à des observations sur le vent. Elle est desservie par un ascenseur. Sa base, en béton armé, est fortement évidée. Des précautions spéciales ont été prises pour assurer sa stabilité. Les parois de la tour sont en maçonnerie de briques spéciales, d'épaisseur uniforme de 36 cm, d'ailleurs percée de nombreuses baies ou verrières. Le calcul de cette tour d'une particulière légèreté a été fait cependant avec la plus grande prudence. Toutes les sollicitations possibles ont été envisagées y compris un hors plomb. La maçonnerie a été armée verticalement et horizontalement. Cette technique mérite d'être signalée, car elle est exceptionnelle. Des planchers en béton armé entretoient les parois tous les 3,54 m. Le réservoir repose sur des ceintures en béton armé. La fondation sur pieux est inébranlable. La hauteur totale depuis la pointe des fondations au sommet est de 56 m.

Certaines fondations de la Centrale Thermo-Electrique, notamment celles de la fosse à cendrées, de la fosse de l'élévateur à charbon et des citernes du condenseur, en terrain très aquifère, ont donné lieu à des difficultés. Pour les citernes, il a fallu recourir à des caissons en béton armé. La construction du grand réservoir compensateur extérieur a été très aisée. La réalisation de certaines parties enterrées allant de la Centrale vers les Instituts du Génie Civil et de Mécanique, a aussi présenté des difficultés.

Les silos pour charbons fins, fréquemment chargés d'eau agressive pour le béton, ainsi qu'il ressort de l'expérience de beaucoup d'usines de la région, ont reçu des doubles parois en béton, dont les intérieures sont confectionnées au moyen d'un ciment inattaquable. En outre, un drainage a été établi à la partie inférieure des trémies. Il ne se manifeste aucune tache d'humidité, ni altération.

En ce qui concerne les charges envisagées pour la construction, signalons que pour tous les Instituts, on a prévu la possibilité de déplacer les cloisons initiales et de les disposer d'une manière quelconque sur les planchers, indépendamment de la position des fermes, supports et poutres (fig. 11 et 13). Cela revient à prévoir une surcharge amovible très élevée, qui a été généralement de 750 kg/m<sup>2</sup> pour le calcul

des hourdis, mais seulement de 500 kg/m<sup>2</sup> pour le calcul des fermes. Pour certains hourdis susceptibles d'être fortement chargés, la surcharge envisagée a été portée à 1000 kg/m<sup>2</sup>, voire 1500 kg/m<sup>2</sup> pour les laboratoires du Génie Civil et d'Hydraulique. Eu égard à l'importance du poids mort dans la construction en béton armé, une majoration même accentuée de surcharge a peu d'effet sur les dimensions et la dépense et conduit à l'inappréciable avantage de ne pas limiter l'usage des bâtiments. Indépendamment de la durabilité réelle que leur confère une construction tout à fait soignée, ces bâtiments répondent tellement aux changements et besoins qui peuvent se manifester dans l'avenir qu'ils « dureront » aussi quant à leur destination.

Une telle conception est finalement économique, par la durée qui supprime pour ainsi dire l'amortissement, par la réduction des frais d'entretien et par la suppression des transformations essentielles. Pour modifier les instituts, il suffira, à toute époque, d'abattre et de reconstruire des cloisons légères et économiques. En cours de construction, un étage a pu être ajouté à une aile de l'Institut de Chimie-Métallurgie, destiné à un nouvel enseignement, sans aucun renforcement et sans délai.

J'ai d'ailleurs été préoccupé d'une grande rigidité, aussi bien pour les constructions métalliques qu'en béton armé, et tout en réduisant les dimensions au minimum. Elle a été surtout assurée par l'usage général du principe de continuité et le résultat a été atteint pleinement. Dans les plus sensibles : galvanomètres et balances, doivent être disposés sur des supports spéciaux. Il est impossible de les mettre complètement à l'abri des trépidations. Le professeur de physique M. Morand avait déjà, il y a quelques années, procédé à des expériences sur les hourdis de l'Institut de Chimie-Métallurgie, en y plaçant un galvanomètre ultra sensible. Pour réussir à l'ébranler, il a fallu laisser choir sur le hourdis une lourde pièce de bois, à proximité immédiate de l'appareil. Ce qui confirme entièrement ces expériences critiques et prouve l'excellence pratique du résultat, c'est la satisfaction du professeur Victor Henri (physico-chimie), qui a pu disposer ses appareils les plus sensibles sans aucune précaution et d'une manière entièrement stable. Or, ce professeur occupe l'étage imprévu ajouté à une aile du bâtiment, qui est plutôt une des moins rigides.

Des doutes ont été élevés sur ce mode de construction en ce qui concerne la sonorité. Cette question est très complexe et demande une explication claire. Les constructions continues, formant un tout rigide, ont une très grande masse et sont inébranlables. L'énergie sonore du bruit étant généralement faible, elle ne peut avoir beaucoup de répercussion dans la grande masse de la construction. Cependant, la parfaite élasticité et l'absence de joints, si elles suppriment des causes de bruits

(battements, chocs, etc.) suppriment aussi des causes d'amortissement d'énergie vibratoire. Bref, la propagation massive n'est pas entravée, mais l'énergie sonore est dispersée dans une grande masse. Il en résulte que les bruits à craindre pour la transmission ne sont guère que ceux des machines percutantes ou à mouvement alternatif, qu'il faut isoler du plancher par un matelas amortisseur. Cela est vrai même des machines posées sur le sol, au niveau du parc.

Un autre genre de sonorité correspond aux bruits aériens. Dans les bâtiments modernes, les grands couloirs rectilignes, les vastes halls de dégagement, les spacieuses cages d'escaliers, les grandes salles permettent une propagation idéale des bruits aériens. C'est donc surtout une question de volume, non de construction. On sait que l'énergie des bruits aériens est faible et facilement absorbée par certaines matières peu consistantes et peu rigides, amortisseuses, tandis que les corps rigides les réfléchissent en les affaiblissant peu.

Naturellement, les Instituts du Val-Benoît contiennent peu de tentures et peu de matières absorbantes. Le problème de l'insonorisation générale se ramène alors à une étude de plans. Il faut écarter les locaux qui réclament l'absence de bruit (auditoires, laboratoires, etc.) des endroits bruyants (ateliers, lieux de réunion, etc.). La subdivision des couloirs par des portes, même du type va-et-vient, suffit généralement à supprimer toute possibilité de gêne par les bruits aériens. J'ai fréquemment remarqué dans les divers Instituts, en rencontrant inopinément des personnes parlant à haute voix, que de faibles discontinuités de plan : couloir coudé, épanouissement ou étranglement, suffisaient pour empêcher toute propagation appréciable de bruits aériens normaux. Globalement, l'usage des bâtiments les révèle insonores. La plus réelle difficulté réside probablement dans la propagation des bruits par les canalisations, en dépit des dispositions d'isolation. Ces considérations sont indépendantes du problème d'aménagement acoustique de certains locaux, qui est une question autonome. Il existe certes quelques locaux résonnants, mais cela ne provient pas du mode général de construction.

En résumé, les ossatures employées confèrent aux bâtiments des caractères de solidité, de rigidité, de durabilité, de commodité et d'adaptabilité aussi grands que possible. En outre, leurs dimensions ont été réduites le plus possible en vue de réserver le maximum d'espace et de lumière. De l'avis général, c'est ce qui produit la plus forte impression dans ces bâtiments, c'est ce qui leur confère leur caractère propre et éveille l'impression d'un luxe et d'un confort tout particuliers, malgré la simplicité générale de facture.

### Maçonneries

Les maçonneries les plus diverses ont été mises en œuvre. A l'extérieur, il a été fait un usage im-



portant de pierres de taille du pays (petit granit). Cette maçonnerie a constitué un poste de dépense important. Son emploi le plus apparent se remarque à l'Institut du Génie Civil. L'architecte Joseph Moutschen a proposé le revêtement de la majeure partie des façades extérieures en dalles sciées de pierre bleue, de 10 cm d'épaisseur. Cette disposition a posé un problème technique important d'agrafage solide et durable des dalles. On a eu recours à des agrafes plates en un métal inoxydable, appelé P. M. G., ayant les caractéristiques d'une sorte de bronze, métal laminé et satisfaisant à des conditions mécaniques élevées. Les agrafes sont ancrées par des queues de carpes dans la maçonnerie intérieure des doubles murs (tous les murs extérieurs sont à double paroi). A l'autre extrémité, deux crochets opposés disposés à mi-épaisseur dans le joint de deux dalles superposées, pénètrent dans des trous taillés ad-hoc.

Un autre problème est celui du tassement et des déformations de telles maçonneries, exposées aux intempéries, par rapport à l'ossature rigide qu'elles protègent de ces actions. De distance en distance, des joints plus larges bourrés de mortier de chaux ont été prévus pour permettre le mieux possible ces mouvements. Eu égard à l'action permanente et bien connue des intempéries sur ces pierres, une telle maçonnerie est entachée du risque sérieux à la longue, imprévisible et incontrôlable, de chute de dalles. La direction technique s'est efforcée sur ce point d'apporter à l'architecte le concours le plus effectif en prenant toutes les précautions pratiquement possibles.

Les soubassements en moellons de grès bigarrés ont été employés par la direction technique pour la Centrale, le Laboratoire de Thermodynamique, les clôtures extérieures et l'Institut de Mécanique. Il s'agit de grès silicieux, de qualité contrôlée et de teintes choisies et assorties.

Les briques forment le matériau principal des façades de l'Institut de Chimie-Métallurgie. Je renvoie pour ce point à la note de M. le professeur Alb. Puters. Ces briques, de qualité spéciale, ont été soumises à des essais de réception technique concernant la résistance à la compression et la porosité.

Des craintes ayant été exprimées au sujet de l'éclairage des cours intérieures de l'Institut du Génie Civil, en raison de leur forme triangulaire, il s'imposait de revêtir leurs façades de matériaux clairs. Pour cette raison, il a été fait usage pour cet Institut de briques de teinte jaune paille, fabriquées en Belgique, soumises aux mêmes essais techniques que ci-dessus et qui ont donné toute satisfaction. L'éclairage naturel des cours est parfait.

Les mêmes briques ont été adoptées, en association avec le grès et le béton bouchardé, pour les bâtiments du groupe Centrale-Thermodynamique-Mécanique.

Selon l'opinion que j'ai exprimée dans la revue

*Bâtir* (Le béton armé et sa révolution, 15 mars 1935), le béton est un matériau parfaitement susceptible de convenir à l'expression de l'architecture de notre temps, à condition de savoir s'en servir. C'est là la seule difficulté, mais elle est assez grande. J'ai voulu tenter plusieurs applications du béton en façade. A l'Institut du Génie Civil, les piliers en façade ont été enrobés, sur les faces apparentes, de béton de parement spécial, de 8 cm d'épaisseur, damé dans des coffrages métalliques. Le dosage, arrêté après une étude complète de laboratoire et les premiers tâtonnements du chantier, a été le suivant :

1000 litres de gravier blanc quartzeux concassé 2/5, 300 litres de sable quartzeux blanc 0/1 et 450 kg de ciment extra-blanc à haute résistance C. B. R.

Après démoulage, ce béton blanc a été surfacé au jet de sable. C'est un matériau de haute qualité, tout à fait silicieux, très résistant, d'aspect granitoïde, décapable aisément et réparable. Cette application a été relativement coûteuse (quoique sensiblement moins que la pierre naturelle) ; seulement, il importe de ne pas oublier qu'elle était la première en Belgique. Depuis, l'usage de ce genre de revêtement s'est répandu en général sous la forme, d'ailleurs moins durable mais plus économique, d'enduit mince, appliqué à la truelle, qui ne pouvait convenir pour la façade de l'Institut du Génie Civil. Il a par contre été fait un usage considérable de tels enduits à l'intérieur des Instituts, avec un succès parfait, sans fissures.

Seulement, il s'agit là d'un béton de revêtement, non d'œuvre. Le groupe Centrale-Thermodynamique-Mécanique devait me permettre d'aller plus loin et de rechercher l'expression du béton d'œuvre, brut, sans ennoblement artificiel. Cette expérience avait déjà été tentée à l'Institut de Mécanique de l'École Polytechnique Fédérale de Zurich, pour la tour. Le restant de la façade de ce bâtiment est revêtu de plaques de béton de parement moulées d'avance.

A la Centrale et au Laboratoire de Thermodynamique, le béton d'œuvre domine ; il a été bouchardé en très grandes surfaces ; entreprise hasardeuse et qui a assez bien réussi. La seule imperfection réside dans les déformations des tôles de doublage des coffrages, qui ont laissé certaines empreintes apparentes. Cet écueil a été le plus grand, alors qu'on l'avait sous estimé. On a mieux réussi qu'on ne pouvait l'espérer à organiser les joints de coffrage et les reprises, mais la réalisation de coffrages indéformables est peu commode. Le doublage en tôle de zinc assez mince a donc été insatisfaisant. La tôle mince d'acier n'est pas plus favorable. Le contreplaqué spécial, en dépit de ses bonnes qualités, se gondole aussi. Le coffrage métallique ne convient que pour les formes standardisées et très répétées. Finalement, pour l'Institut de Mécanique, où le béton bouchardé en façade est employé d'une manière importante, quoique discrète

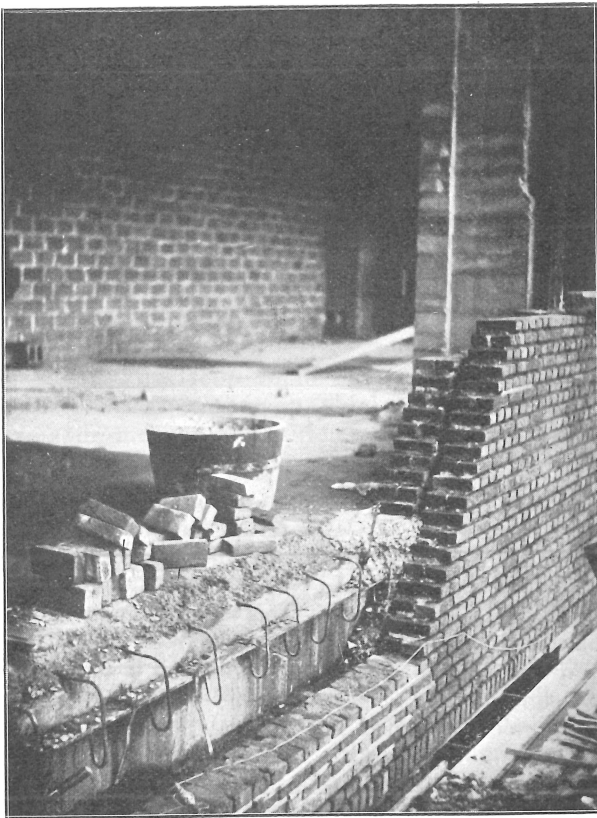


Fig. 14. — Maçonnerie de briques des murs extérieurs (Institut de Chimie-Métallurgie, 1931).

(en association avec les moellons bigarrés de sous-bassement et les briques jaunes), on obtient de bons résultats par des coffrages très rigides et exécutés avec beaucoup de soins, à joints rabotés.

Le dosage de ce béton est celui défini pour le béton armé ; il est mis en œuvre avec soin. Etant composé de ciment de haut fourneau, le béton bouchardé a pris une teinte de pain-bis assez chaude et de bon aloi. Les grandes surfaces uniformes ne donnent aucune impression de monotonie et s'harmonisent bien avec les briques jaunes de la tour et de certains panneaux, les sous-bassements en grès bigarrés, la pierre de taille bleue des seuils, escaliers, corniches et certains enca-

drements des fenêtres et une nervure en béton gris foncé.

Tous les murs extérieurs sont à double paroi ; ils sont isolés des fondations par une chape de jute asphalté, en outre ils sont ventilés par de nombreuses grilles, servant d'ailleurs à la ventilation naturelle des laboratoires (Chimie-Métallurgie) ou des locaux (Génie Civil). Les parois intérieures sont en briques d'argile cuite, en provenance de Boom ou de la Campine. Toutes les maçonneries extérieures sont au mortier de ciment portland normal (600 kg par m<sup>3</sup> de sable du Rhin) ; elles sont donc d'une grande résistance et durabilité .

Tous les revêtements minces, en pierres ou briques, des éléments bétonnés sont ancrés au béton par des feuillards.

Les maçonneries intérieures sont en partie en briques (niveau du parc à l'Institut de Chimie-Métallurgie et en général aussi pour les autres Instituts), mais pour la majeure partie en matériaux légers. On a employé des briques creuses de cendrée de 28 cm d'épaisseur pour tous les instituts, sauf celui de Mécanique. En dépit des conditions imposées, c'est un matériau vraiment médiocre. Il est certes clouable, mais les vides rendent difficiles les scellements si souvent nécessaires dans des instituts techniques. Le poids des cloisons par m<sup>2</sup> achevé (enduit) est d'environ 250 kg.

Pour l'Institut de Mécanique, on a décidé d'avoir recours aux briques de bims, moyennant garantie de résistance. L'épaisseur est de 24 cm ; le poids par m<sup>2</sup> : 230 kg. Le matériau n'est guère plus coûteux et certes supérieur.

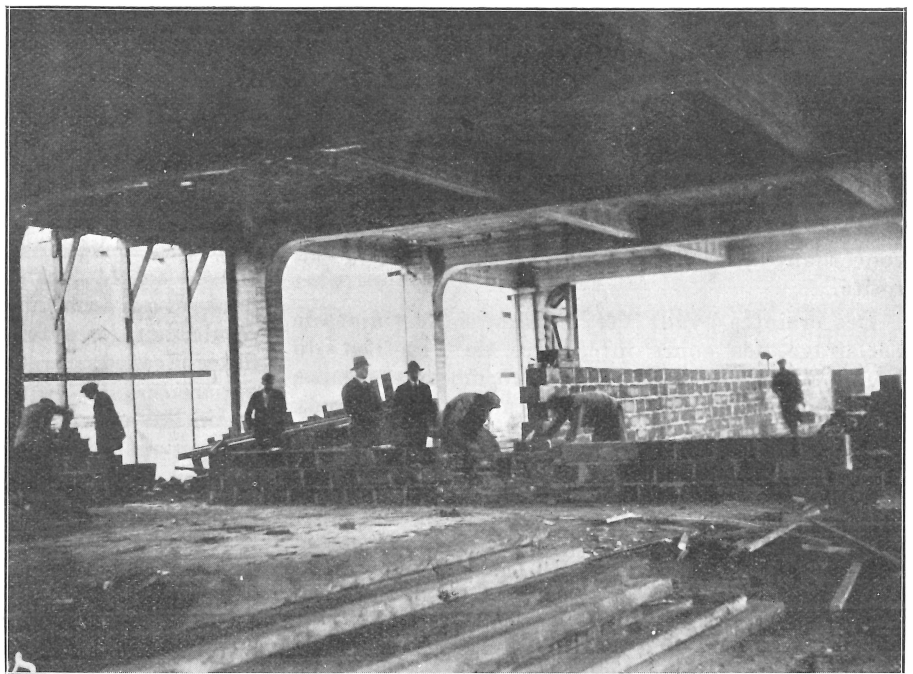


Fig. 15. — Cloisons intérieures en blocs de cendrées (Institut de Chimie-Métallurgie, 1931).

Comme briques, on avait prévu des briques dites de campagne. Mais la médiocrité et la variabilité de leur qualité a conduit à y substituer généralement des briques de laitier, abondantes dans la région. Elles ont été mises en œuvre après essai de résistance et moyennant garantie contre le foisonnement ultérieur. Le mortier des maçonneries intérieures est à la chaux moyennement hydraulique additionnée de laitier granulé, qui durcit convenablement.

Le principal problème qui se pose pour ces maçonneries légères, dans les constructions à ossatures, est celui de leur tassement et de leur retrait, provoquant des décollements par rapport aux fermes. Les briques de cendrée sont affectées de ce défaut. Cependant, seul l'Institut de Chimie-Métallurgie présente quelques traces, modérées d'ailleurs, du phénomène. Les autres Instituts en sont pratiquement exempts. A l'Institut de Mécanique, on a prévu un ancrage des maçonneries au béton par des feuillards.

Avant d'en terminer pour les maçonneries, il reste à rappeler les joints d'affaissement déjà définis au sujet des fondations. Ces joints existent sur toute la hauteur des bâtiments et traversent tous les murs extérieurs et intérieurs, les hourdis, les toitures et, généralement, tous les dispositifs quelconques. Cela pose de sérieux problèmes de détail et d'exécution et il est malaisé de faire respecter le principe du joint complet dans toute son intégrité. Néanmoins, en dépit de ces petites difficultés, affectant le gros œuvre et le parachèvement, les joints d'affaissement et de dilatation se sont parfaitement comportés et ont manifesté une activité favorable à diverses reprises.

### Toitures

Avant l'intervention de la direction technique dans les études et travaux, l'architecte de l'Institut de Chimie-Métallurgie avait déjà décidé d'employer comme couverture une terrasse. D'après l'expérience personnelle que j'ai pu avoir dans le territoire de la Sarre au sujet de toitures en ardoises ou tuiles de très grands bâtiments, la solution de la toiture-terrasse est justifiée en principe, la seule difficulté réside dans la réalisation et elle est grande. Elle était majorée dans cet Institut du fait de nombreux joints de dilatation, de très nombreuses cheminées et de la traversée des parapets par les dégorgeoirs vers les tuyaux de descente. La solution étudiée par des spécialistes présentait les faiblesses de ne pas protéger efficacement les parapets et de ne pas drainer la contre-chape en carreaux céramiques sur couche assez épaisse de sable, posée sur la chape étanche au bitume. La direction technique est intervenue dans l'exécution pour mettre au point la composition étanche, après échec de celle prescrite par le cahier des charges, et pour améliorer, sans dépense supplémentaire, la protection des parapets par un bétonnage.

Ces interventions n'ont pas suffi et ne pouvaient suffire pour éviter certaines défauts, qui sont tolérées dans beaucoup de bâtiments, mais que la direction technique, soucieuse de qualité, proposa de réparer en janvier 1934. Les réparations furent exécutées selon ses propositions, en vue de rendre l'étanchement de la toiture aussi semblable que possible à celui de l'Institut du Génie Civil, qui a donné satisfaction d'emblée. En même temps, la contre-chape en carreaux céramiques, fortement dégradée par les intempéries, fut remplacée, sur proposition de la direction technique, par du béton qui a donné satisfaction.

La chape de l'Institut du Génie Civil, étudiée par la direction technique, comporte une membrane souple étanche complète sur les parties horizontales de la toiture, se relevant sans solution de continuité contre les parapets du pignon et s'engageant profondément sous les pierres de couverture. La terrasse devient ainsi une cuvette étanche. Pour écouler sûrement l'eau, il faut des pentes et contre-pentes suffisantes conduisant aux dégorgeoirs. La toiture de l'Institut de Chimie-Métallurgie péchait aussi par défaut de pentes; lors de la réfection on les a majorées le plus possible.

La chape étanche de l'Institut de Chimie-Métallurgie, en asphalte artificiel, où l'on a relevé quelques fissures lors des réfections, a été renforcée par une membrane de jute asphalté. Celle de l'Institut du Génie Civil a été faite d'emblée en jute asphalté à plusieurs couches. On peut cependant douter de la durabilité du jute asphalté, dont les fibres végétales sont susceptibles de se consommer.

Aussi a-t-on admis pour la couverture de la Centrale et du Laboratoire de Thermodynamique une chape de tôle de cuivre de 3/10 de mm collée au bitume. La toiture de l'Institut de Mécanique sera en tôle de zinc à tasseaux sur voliges, avec des dispositions perfectionnées pour les dilatations.

Les chapes des Instituts déjà achevés, à l'exception donc de l'Institut de Mécanique, sont posées sur une couche isolante, en liège aggloméré pour l'Institut de Chimie-Métallurgie, en liège expansé pour les deux autres. Ce matériau a été adopté pour son bas prix. Le liège aggloméré ne convient pas du tout et le liège expansé ne paraît pas non plus recommandable pour cet usage. La question des sous-toitures isolantes, pour les grandes surfaces, est économiquement et pratiquement complexe. Quelle que soit la sous-toiture, il faut recommander d'y éviter toute adhérence de la chape étanche, en interposant au besoin du papier spécial. De même, la contre-chape ne doit pas adhérer à la chape et, si elle doit être assez épaisse pour protéger efficacement la chape des actions thermiques, il faut cependant éviter de la constituer de matières pouvant retenir l'eau ou du moins, dans ce cas, faut-il les drainer soigneusement.

La question des toitures a donné à la direction technique beaucoup de soucis et lui a demandé beaucoup d'études. Si l'on veut bien considérer que les exemples d'échecs importants de toitures-

terrasses abondent, dans notre pays et dans les autres, on peut admettre que, eu égard à l'étendue des surfaces à couvrir, les couvertures des nouveaux Instituts du Val-Benoît peuvent être jugées satisfaisantes.

### Canalisations

Il a déjà été indiqué qu'un drainage général en gravier ou pierres cassées existe sous les sous-pavements en béton et sous les poutres de fondation au niveau du parc, pour recueillir les infiltrations éventuelles par le terrain en contrebas du plan d'eau de la Meuse en crue. Ce drainage général est associé à d'importants réseaux de canalisations disposées sous les bâtiments pour l'évacuation aux égouts des eaux d'usage et pluviales.

Le réseau des canalisations de l'Institut de Chimie-Métallurgie a été étudié par MM. Anciaux, collaborateurs de l'architecte professeur Albert Puters. Le rôle de la direction technique s'est borné à la réception des matériaux, notamment des tuyaux de poterie vernissée, qui devaient être aptes à résister aux agents chimiques venant des évacuations des laboratoires. La direction technique s'est livrée à ce sujet, avec l'aide du laboratoire d'essais des Constructions du Génie Civil de l'Université de Liège, à une coordination des essais de réception divers des matériaux céramiques.

des eaux abondantes et éventuellement chaudes de la centrale et ensuite parce que l'égout évacuateur s'y trouve plus haut. Il a fallu relever légèrement le niveau de l'étage inférieur par rapport aux autres bâtiments.

Les cours intérieures et la voirie dans le parc, entre les Instituts, sont également drainées par des canalisations. La réalisation est faite dans l'ensemble et dans les détails selon la meilleure technique.

### Aménagement des abords

Inspiratrice du plan de disposition générale réalisé, la direction technique a été chargée aussi de l'aménagement des abords, c'est-à-dire de l'urbanisation d'ensemble. Ce travail important et délicat a demandé des nivellements importants, en vue des terrassements superficiels considérables nécessaires. Les clôtures ont été réalisées par des murs ajourés à soubassements de moellons, piliers de briques jaunes et traverses de béton bouchardé. Ils sont fondés sur semelles profondes, piliers et poutres et divisés par des joints. Certains sont combinés avec des murs de soutènement en béton armé, à section en équerre, là où les niveaux respectifs de la voirie et du terrain l'exigent.

Les accès à la voirie ressortent à suffisance du plan d'ensemble (fig. 1) et sont en général pourvus de portes ou grilles métalliques, de facture très simple.

Il convient de citer la grande porte baissante, de 10 m d'ouverture, qui commande la grande entrée charretière à la rue du Val-Benoît. Elle est équilibrée et mue électriquement; la manœuvre de secours est à main. Les détails en ont été très soigneusement étudiés; cette porte est très perfectionnée et d'un aspect très satisfaisant.

La partie architecturale de l'aménagement des abords n'est d'ailleurs pas dépourvue d'importance. Elle comporte, s'harmonisant avec les clôtures et les bâtiments voisins, des cabines flanquant la grande porte d'entrée charretière, de nombreuses cabines pour les compteurs d'eau, etc...; en outre, de

multiples escaliers combinés avec les accès et la voirie.

Celle-ci est formée de routes en béton de facture moderne. D'une largeur de 6 m, elles sont pourvues de joints transversaux et d'un joint longitudinal. Elles sont limitées par des bordures de trottoir



Fig. 16. — La porte baissante de 10 m à la rue du Val-Benoît (1937).

Le réseau du Génie Civil a été étudié avec la collaboration de l'architecte J. Moutschen. Celui du groupe Centrale-Thermodynamique-Mécanique a été étudié par la direction technique et a donné lieu à certaines difficultés, à cause de l'évacuation

en béton du type « Ponts et Chaussées ». Les dalles ont 15 cm d'épaisseur uniforme et sont posées, avec interposition d'une feuille de papier spécial, sur une couche de 15 cm de briquillons ou d'empierrement consolidé par cylindrage. Le fond du coffre est lui-même cylindré au préalable. Aux deux bords de la route, la fondation est approfondie pour recevoir deux drains longitudinaux en poterie

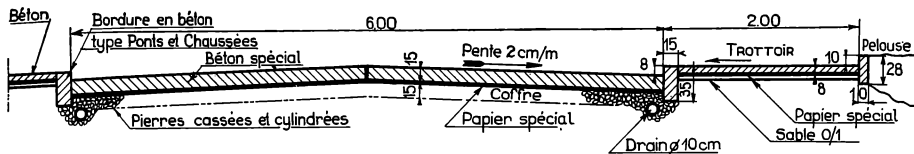


Fig. 17. — Coupe transversale de la route et des trottoirs en béton (1937).

porreuse. La voirie est pourvue de grilles d'évacuation des eaux de ruissellement aux égouts. La béton a été damé partiellement à la machine Van Steenkiste, partiellement à la main dans les nombreuses courbes. Le ciment employé est du ciment de haut fourneau à haute résistance. Le dosage du béton est le suivant, choisi à la suite des études de l'auteur au laboratoire d'essais des Constructions du Génie Civil : environ 970 kg de pierrailles 20/40, environ 650 kg de grenaille 2/10, environ 400 kg de sable de rivière 0/3 et 375 kg de ciment H.F.H.R.

Ce dosage économique et simple a donné toute satisfaction dans l'emploi.

Les joints comportent une bande de liège expansé bitumé, recouverte d'une coiffe métallique engagée dans le béton de part et d'autre du joint. La partie supérieure est obturée au moyen d'un mastic de bitume et de poudre d'aluminium (40% en poids), de teinte grise. Jusqu'à présent, ce système donne satisfaction. Des mouvements de joints ont pu être mesurés. Les conditions d'exécution ont été conformes aux derniers cahiers des charges des Ponts et Chaussées et aux conclusions du dernier Congrès belge de la route, à Bruxelles en 1935.

Les dalles de route ont été armées en certains endroits, où elles franchissaient d'anciens déblais ou les galeries enterrées.

Les trottoirs et les cours extérieures et intérieures ont été dallés en béton ordinaire, sous des épaisseurs respectives de 8 et de 12 cm. Ils sont bétonnés sur une aire consolidée par damage, avec interposition d'une couche de sable ou de gravier et d'une feuille de papier spécial. On leur a donné un aspect très agréable d'opus incertum, par subdivision en dalles polygonales, au moyen de bandes perdues de fibre de bois formant coffrages et joints. Cette subdivision évite les fissures.

L'aménagement des abords est complété par leur éclairage, qui comporte certains caissons lumineux aux escaliers, quelques foyers lumineux girandoles aux murs extérieurs et de nombreux foyers fixés à des poteaux en béton armé centrifugé très légers et élégants, à mosaïque apparente de marbre rose.

### Parachèvements et aménagements spéciaux

Les parachèvements seront décrits par M. l'ingénieur I. Sternbach, adjoint à la direction technique.

L'action de cette dernière dans ce domaine a été déterminante pour la haute qualité des matériaux, assurant la durabilité et pour la simplicité de la conception alliée au soin de l'exécution, assurant

en même temps l'économie et l'aspect satisfaisant, approprié au caractère des bâtiments, sérieux sans être austère, mais embelli, ainsi qu'il a été dit, par l'impression d'espace et de lumière.

A signaler aussi le souci constant de précaution contre la corrosion, qui a donné lieu à de nombreuses études préalables et à certaines solutions inusitées. Le problème revêtait une importance particulière pour la ventilation de l'Institut de Chimie-Métallurgie. Les tuyaux de ventilation ont été établis en poterie de grès vernissé et jointoyés au ciment fondu, la suspension étant souple. Les pales des ventilateurs ont été protégées par une laque blanche spéciale, qui semble donner satisfaction.

Les aménagements spéciaux électro-mécaniques et acoustiques des auditoriums de l'Institut du Génie Civil, ainsi que d'autres dispositions de détail, concernant aussi les éclairages, ont été inspirés à l'auteur par les observations notées au cours de nombreuses visites d'Instituts modernes qu'il a pu faire au cours de voyages des dernières années, le plus souvent à l'occasion de congrès scientifiques, à Stockholm, Zurich, Cambridge, Munich, Berlin, Amsterdam, etc... De la sorte, ses collègues étrangers ont contribué, par leur hospitalité cordiale, à la réussite de l'œuvre liégeoise, souvent pour d'infimes détails. Mais ne sait-on pas que la construction est effectivement faite d'une foule de détails et que seul le soin du détail assure la qualité et le fini. Ces inspirations sont allées jusqu'au delà de ce qui est simplement utile, car c'est le spectacle de l'École polytechnique fédérale de Zurich éclairée par les projecteurs, à l'occasion des fêtes de son centenaire, qui m'a inspiré de prévoir le même éclairage de l'entrée principale de l'Institut du Génie Civil et de la tour de la Centrale.

### Remarques finales

On aurait sans doute perdu son temps si, à l'issue d'un travail de plus de huit années, on n'avait pas quelques conclusions à formuler. L'exposé précédent, quoique trop long, est cependant insuffisant pour rendre compte de la somme d'études et de recherches faites en vue de la réalisation des Instituts du Val-Benoît. Etant bâtiments universitaires, on a voulu non seulement qu'ils répondent le mieux possible à leur destination, mais aussi qu'ils consti-

tuent en quelque sorte, par eux-mêmes, des enseignements et des expériences. Il a fallu pour cela non seulement beaucoup d'études préalables et d'observations postérieures à la construction, mais aussi une collaboration incessante et bénévole du laboratoire d'essais des Constructions du Génie Civil, en vue de l'étude préalable des matériaux et des procédés de construction ou de l'observation des résultats obtenus, par exemple pour les essais sur les charpentes métalliques.

Il importait de mentionner cette collaboration, dont les conséquences ont été essentielles, et qui a été aussi utilisée et appréciée par les autres collaborateurs à l'exécution des Instituts. Dans cette collaboration, l'auteur s'est inspiré des hautes paroles du Chef qu'il avait appris déjà à vénérer comme un guide sûr, lorsqu'il contribuait pour sa modeste part à défendre le dernier lambeau du territoire national inviolé :

« La science moderne ouvre des perspectives » nouvelles et presque infinies à la technique. » C'est dans les laboratoires de recherches que » s'élaborent les rudiments de l'industrie future... »

Le travail de la direction technique a été fait dans cet esprit, qui est aussi celui de l'enseignement que j'ai l'honneur de faire à l'Université de Liège et que j'ai exposé dans *La Cité* de 1934 (Les ressources de la méthode expérimentale appliquée aux constructions). Les leçons que j'en ai tirées viennent à l'appoint de cette unité et invariabilité de ligne de conduite.

Si la direction technique est une institution improvisée, elle s'est efforcée du moins d'éviter que ce caractère marque aucun élément de son œuvre. Elle a aussi sciemment voulu éviter toute extravagance. La science a été le guide, non le maître. Elle n'a pas été considérée comme une fin, mais uniquement comme un moyen puissant et bien-faisant. De même que la science ne peut se concilier avec l'idée préconçue, la bonne construction basée sur ses principes exclut également le parti-pris. L'œuvre de la direction technique est objective et impersonnelle. Elle est réalisée et justiciable du jugement public.

### Remerciements

Des remerciements sont dus par l'auteur :

à M. le professeur M. Dehalu, administrateur-inspecteur de l'Université de Liège, promoteur incontesté des nouvelles installations du Val-Benoît et instaurateur de la direction technique, pour la confiance qu'il lui a témoignée ;

à tous ses collaborateurs, les ingénieurs des constructions civiles, A. Spoliansky (1929-1931), son ancien assistant (ossature métallique et en béton armé de l'Institut de Chimie-Métallurgie) ;

J. Perelman (1929-1934) (idem, parachèvements de l'Institut de Chimie-Métallurgie, ossatures métalliques de l'Institut du Génie Civil et du Laboratoire de Thermodynamique, gros œuvre et parachèvement de l'Institut du Génie Civil, ponts roullants, etc.) ;

I. Sternbach (1931) (béton armé de l'Institut du Génie Civil et de la Centrale, parachèvement des divers Instituts, gros œuvre de l'Institut de Mécanique, ascenseurs, etc.) ;

Alb. Defrecheux (1935-1937) (béton armé de l'Institut de Mécanique, aménagement des abords, etc.) ;

H. Lemoine, chef du service de surveillance des travaux depuis mars 1936 ;

l'ingénieur électricien G. David (1932) qui a étudié toutes les installations électriques (sauf l'alternateur) et l'éclairage de tous les instituts et qui résume ses études dans un article spécial ;

les architectes diplômés :

J. Willemaers (1933-1936), un des premiers collaborateurs du professeur A. Puters pour l'Institut de Chimie-Métallurgie, qui a ensuite travaillé à la direction technique pour le projet de la Centrale du Laboratoire de Thermodynamique et pour le plan de l'Institut de Mécanique, ainsi que pour les abords.

M. Gysbrecht (1935), ancien collaborateur de M. Puters également, qui a continué le travail de M. Willemaers pour l'Institut de Mécanique, et a étudié le mobilier de l'Institut du Génie Civil ;

MM. Joris et Thibeau, qui ont assisté les précédents ;

les dessinateurs techniciens Delahaut (1932) et Bolsée ;

les surveillants Rouha (1929) et Rorive ;

les employés Lassaux, Closset et Toussaint, qui tous ont été des collaborateurs probes, consciencieux et dévoués, trouvant dans leur travail peu rémunéré plus de satisfactions morales que matérielles.

Le petit nombre de collaborateurs permanents témoigne des moyens modestes dont la direction technique a disposé, hors de proportion avec l'importance du travail.

Des remerciements doivent aller aussi à tous les entrepreneurs, sous-traitants, fournisseurs, artisans et ouvriers qui ont travaillé à ces Instituts, qu'il est impossible de citer, mais qui ont acquis tous le droit de se réclamer de leurs prestations.

Qu'il soit permis de signaler qu'à de peu importantes exceptions près, tous les matériaux mis en œuvre sont d'origine belge et que toutes les entreprises ont été belges. Puisque la dureté des temps contraint le pays à une attitude économique si peu conforme à ses traditions, il est permis, pour atténuer les scrupules qui peuvent en résulter, de se réjouir que cette politique ne conduit pas à une régression car, du point de vue de la qualité, les Instituts du Val-Benoît font certes figure honorable.

Les travaux ont apporté des millions de salaires à des milliers de travailleurs belges. Il y a heureusement eu peu d'accidents, dont un seul cas mortel, très regrettable mais banal ; à part un certain nombre de chutes sans conséquences graves et quelques blessures et contusions bénignes, signalons la chute de plus de 20 m de hauteur d'un monteur de la charpente de l'Institut de Chimie-



Métallurgie, sans autre conséquence qu'une interruption de travail de quelques jours (en 1931), une main broyée par imprudence dans un malaxeur de mastic, enfin la chute grave d'un charpentier du gros œuvre de l'Institut de Chimie-Métallurgie également, suivie d'invalidité grave. Par une coïncidence surprenante, la victime était un ancien militaire de la compagnie du génie à laquelle l'auteur appartient pendant la guerre. Cet infortuné artisan est actuellement à l'abri du besoin par un modeste emploi aux nouveaux Instituts.

Tous les accidents les plus graves se sont produits à l'Institut de Chimie-Métallurgie, où le hourdis d'un auditoire s'est aussi effondré en cours de bétonnage, par flambage de l'étaçonnage, sans causer d'accident de personnes.

La direction technique a toujours veillé, dans la mesure de ses moyens, à assurer la plus grande sécurité possible du travail.

#### Résultats numériques

Il a été procédé à 55 adjudications, se répartissant comme suit :

Institut de :	Nombre d'adjudications	Montants totaux
Chimie-Métallurgie....	18	28.025.600,00 <sup>(1)</sup>
Génie Civil .....	13	19.288.700,00
Centrale-Thermodyna- mique .....	12	10.398.200,00 <sup>(2)</sup>
Mécanique .....	2	8.309.300,00
Abords et services communs .....	10	4.809.300,00 <sup>(3)</sup>

Le prix par m<sup>3</sup> bâti des Instituts achevés et meublés est :

Fr. 298,00 pour la Chimie et Métallurgie (94.000 m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>	
Fr. 230,00 pour le Génie Civil (84.000 m <sup>3</sup> )	
Fr. 205,00 pour la Centrale-Thermo- dynamique (sans la partie thermo- mécano-électrique)	(26.820 m <sup>3</sup> )

Le prix par m<sup>3</sup> pour le gros œuvre, sans parachevement, s'élève à :

Fr. 148,00 pour la Chimie Métallurgie ;
Fr. 105,00 pour le Génie Civil ;
Fr. 94,00 pour la Centrale-Thermodynamique <sup>(4)</sup> ;
Fr. 112,00 pour la Mécanique (74.219,61m <sup>3</sup> ).

Pour le nouveau bâtiment B2 de l'Université de Gand, ne contenant que des laboratoires techniques, le prix du gros œuvre par m<sup>3</sup> construit est de 98,50 fr. (cf. J. N. Cloquet, art. cité).

Le 21 novembre 1937.

<sup>(1)</sup> Y compris les aménagements des laboratoires.

<sup>(2)</sup> Y compris les chaudières, le turbo-alternateur, toutes les installations électriques, les échangeurs, la station de pompage à la Meuse, les galeries et conduites de raccordements, etc.

<sup>(3)</sup> Y compris tous les transformateurs, les batteries d'accumulateurs, les ponts roulants et les ascenseurs, etc.

<sup>(4)</sup> Y compris les fondations spéciales de toutes les chaudières et machines, toutes les citernes et fosses, etc.