

Photos Jacoby,

Fig. 1.

L'ensemble des monuments civil et religieux vu à travers les pylônes de la grande salle ouverte.

Le Mémorial Interallié de Cointe à Liège

Architecte :

JOS. SMOLDEREN

Historique.

L'initiative de la création d'un Mémorial Interallié date de 1922 et, dans le courant de 1923 déjà, il fut ouvert un concours public pour l'élaboration des plans de l'ensemble des Monuments sur un terrain triangulaire situé à Fétinne au droit du confluent de la Meuse et de l'Ourthe. Ce terrain s'était trouvé dans l'enclos de l'Exposition de Liège 1905 et avait abrité, à cette occasion, le Vieux-Liège (face Monument Gramme).

L'élégant pont de Fragnée, ainsi que le pont de Fétinne prêtaient à cet emplacement un accès monumental, tandis que la visibilité des monuments projetés s'annonçait sur tout le tronçon de la Meuse en aval du pont de Fragnée et jusqu'au pont du Commerce dans des conditions

parfaites. De superbes perspectives s'ouvriraient sur tout le parcours du quai de Rome et sur les promenades des berges de la Meuse à l'intérieur du parc de la Boverie.

Le concours, dont le programme était insuffisamment étudié, ayant fait produire des projets dont la réalisation n'était point en harmonie avec les moyens financiers escomptés, il fut procédé à un deuxième concours restreint entre les auteurs des projets les plus méritants. Ce deuxième concours eut lieu dans le courant de 1924. La palme fut décernée à l'auteur des monuments actuellement en construction.

Cependant le Comité « Le Mémorial », ayant siège à Bruxelles, qui était et est encore présidé par M^{me} la Princesse Jean de Mérode, apprenant qu'un comité liégeois se proposait d'ériger une

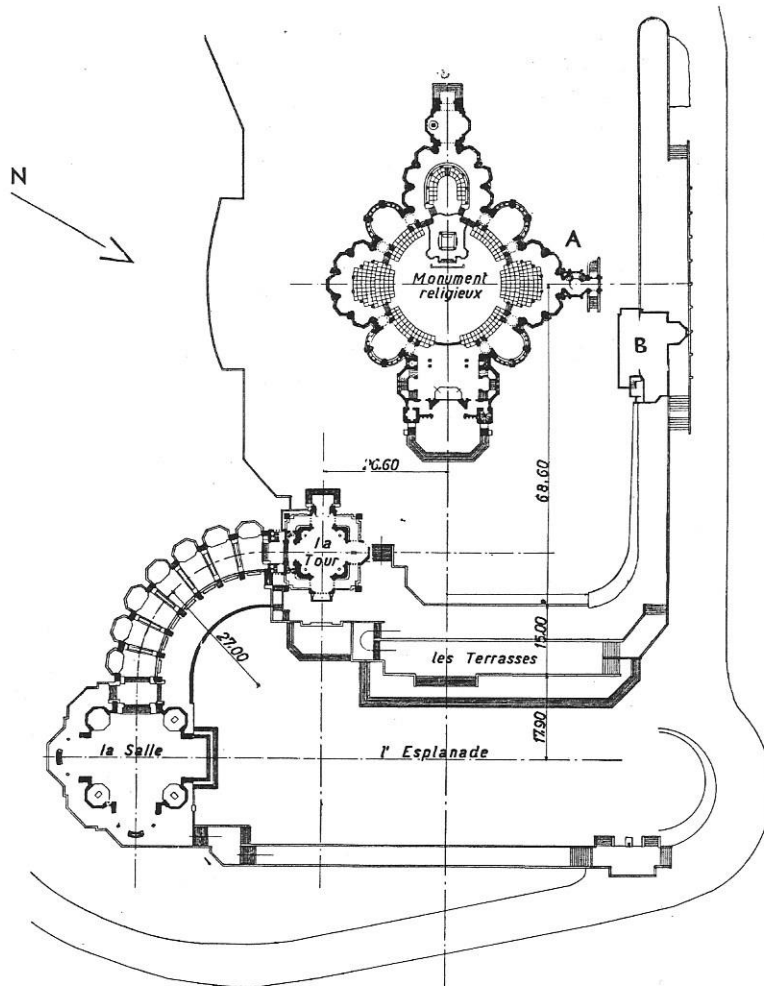


Fig. 2. — Plan général de situation des monuments.

A. Zone dans laquelle fut constatée la tête de couche et où des prospections, entreprises immédiatement, firent découvrir de nombreux puits remblayés.

B. Château existant, mais dont la démolition ultérieure est envisagée.

grande église régionale et un centre de pèlerinage à quelques centaines de mètres seulement de l'emplacement choisi et notamment sur la Butte Saint-Maur à Cointe, craignait que le Monument Religieux faisant partie de son Mémorial ne constitue avec cette église régionale un double emploi évident et un tribut trop lourd pour les souscripteurs éventuels, entama des pourparlers avec ce Comité de Cointe aux fins de concilier les deux buts et d'en venir à une entente profitable à l'œuvre proposée par chacun des Comités.

Il fut arrêté que le terrain de Cointe serait définitivement choisi pour élever les monuments dont l'ensemble constituerait le « Mémorial Interallié » ; que l'A. S. B. L. « Le Mémorial » s'occuperait de l'édification du Monument Civil et que le Comité de Cointe se chargerait de l'érection du Monument Religieux avec l'appellation d'Eglise Régionale.

Des modifications de programme, l'adaptation à ce nouveau terrain, entièrement différent de

l'emplacement proposé primitivement, ainsi que des négociations antérieurement déjà entamées par le Comité de Cointe, nécessitaient un troisième concours pour le Monument Religieux.

Le résultat de ce dernier concours attribua définitivement la réalisation de l'ensemble des Monuments à l'architecte Jos. Smolderen d'Anvers.

Aménagement du terrain : Murs de soutènement.

L'ensemble des deux Monuments, Civil et Religieux, forme un décor conçu en style contemporain, dont le développement, en hémicycle, aligne avantageusement sa succession d'éléments importants : coupole, tour, galerie et pylônes en face de la ville de Liège, qui lui procure un grandiose avant-plan (voir fig. 2).

La composition tout entière est conditionnée au surplus par la topographie de la butte : des

différences de niveau de plus de 8 m. sont franchies par les bâtiments eux-mêmes. En effet une galerie circulaire relie les deux esplanades : celle qui forme l'avant-plan du Monument Civil et la seconde qui constitue le parvis du Monument Religieux, réalisées toutes deux artificiellement au moyen de travaux de terrassements importants comportant le déplacement d'environ 13.000 m³ de terres et de remblais retenus par une succession de murs de soutènement qui, formant les gradins de base des Monuments, recevront une décoration ultérieure (voir fig. 3).

Le plateau de Cointe s'élève à ± 60 m. au-dessus du niveau de la Meuse.

Le terrain forme une crête, limitée au Nord par un versant presque abrupt, au Sud par un versant en pente douce et à l'Est par deux petits promontoires qui semblent étayer le plateau comme deux contreforts solides.

Les murs de soutènement se divisent en deux groupes : celui d'amont (groupe de trois murs)

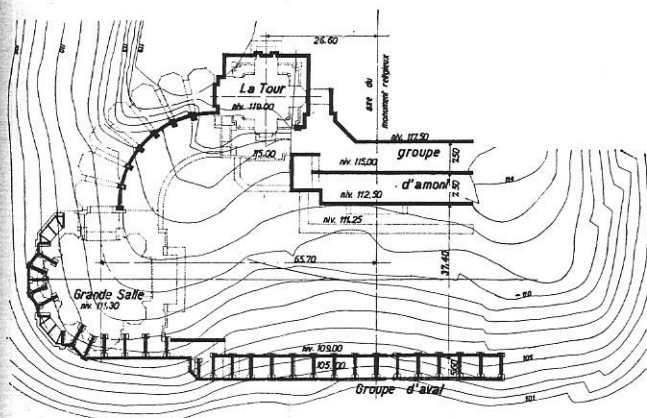


Fig. 3. — Aménagement de la butte Saint-Maur. Plan d'implantation des différents groupes de murs de soutènement.

retenant les terres qui réalisent le plateau sensiblement horizontal formant parvis de l'église régionale.

Celui d'aval retenant les terres qui constituent l'esplanade du Monument Civil, situé à ± 8 m. au-dessous du parvis de l'église (voir fig. 4).

Le côté nord-est de la Butte de Cointe présentait primitivement un versant presque régulier à $\mp 25^\circ$ d'inclinaison sur l'horizontale ; afin de pouvoir réaliser sur le sommet de la Butte cote $+ 120$ un plateau d'une superficie d'environ 15.000 m² pour servir d'emplacement et accès aisés à l'église et d'aménager à la cote $+ 113$ une

esplanade d'environ 7.500 m² utilisable pour des manifestations importantes, les deux groupes de murs de soutènement furent établis, le premier ayant sa crête à $+ 119$, le second ayant son sommet à $+ 113$.

MURS DE SOUTÈNEMENT.

Groupe d'amont (parvis de la Basilique) :

Se compose de trois murs de soutènement parallèles situés à 7 m. l'un de l'autre.

La direction de ces murs est perpendiculaire à l'axe longitudinal de la Basilique.

Ces murs sont constitués d'un béton cyclopéen,

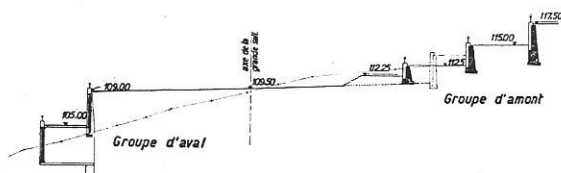


Fig. 4. — Profil du terrain suivant une ligne parallèle à l'axe Sud-Ouest-Nord-Est de l'église. Les deux groupes de murs de soutènement y sont représentés en coupe.

ils reposent sur le terrain par une assise inclinée de 15° environ sur l'horizontale. La résultante du poids du mur et de la poussée des terres est perpendiculaire à cette assise.

La construction de ces murs, par laquelle débuta la phase des opérations, fut entreprise en 1928 pour permettre le nivellement de l'aire de la Basilique et réalisée par la firme Hallet et Poismans et C^o, de Liège.

Groupe d'aval (Esplanade du Monument Civil) :

Ce groupe se compose de deux rideaux en béton armé, dont l'un d'environ 70 m. de longueur, retient les terres à la cote $+ 109$, le second retenant les terres à la cote $+ 105$ (terrasse) et à la cote $+ 110$ (promenade), (voir fig. 5).

Le terrain naturel ayant une déclivité de plus de 45° passait approximativement aux points A et B (A pied mur amont, B tête mur aval).

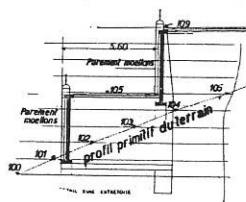


Fig. 5. — Détail d'une entretoise.

Le problème à résoudre était :

- 1° La stabilité au renversement.
- 2° La stabilité au glissement.

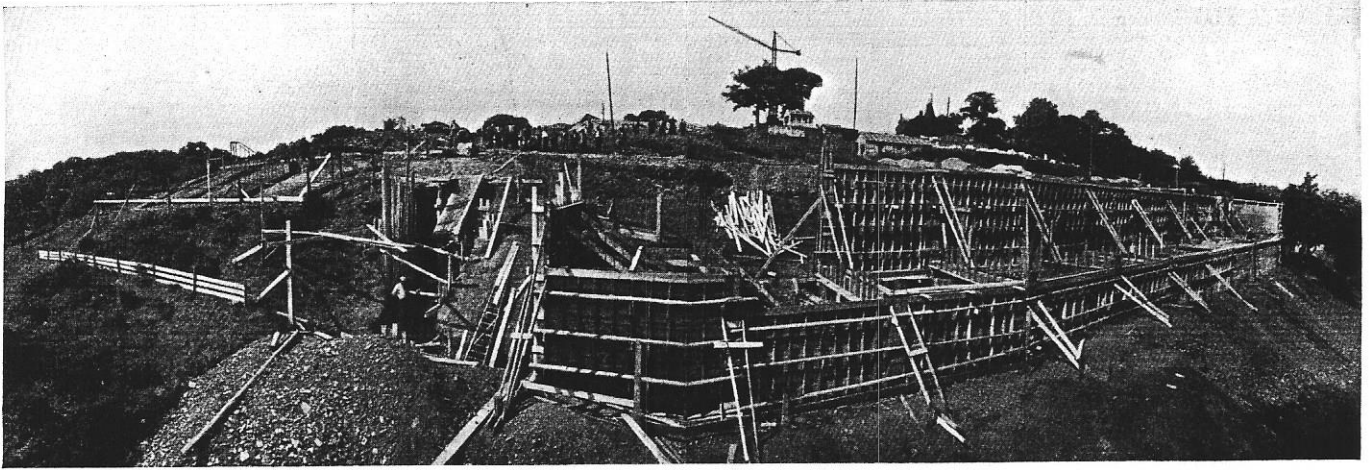


Fig. 6. — Opérations d'exécution des murs de soutènement (Groupe aval). Les coffrages ont été établis sur la presque totalité du front des murs. On remarque nettement les deux rideaux parallèles avec leurs entretoises et éperons ainsi que, à l'avant-plan, les rideaux polygonaux qui contournent la Grande Salle. A l'extrême droite de la planche on distingue une partie des murs achevés et débarrassés de leurs coffrages.

La première condition a été remplie par la construction suivante :

Des piliers (colonnes) ont été établis dans deux plans différents et à des niveaux différents. Les pieds des colonnes du mur amont et les têtes du mur aval ont été reliés par des poutres horizontales.

La seconde condition a été résolue en poussant les piliers du mur amont à grande profondeur. De cette façon il a été obtenu une grosse masse de terrain s'opposant au glissement.

Sur toute la longueur du mur supérieur le premier tronçon de 70 m. est par conséquent constitué par deux rideaux parallèles établis à $\pm 5^m60$ l'un de l'autre perpendiculairement à l'axe de la Basilique et du groupe de murs d'amont décrits en premier lieu.

Il est relié par 15 entretoises formant 14 intervalles ou compartiments de 5 m. de largeur moyenne et retenant les terres remblayées.

Chaque entretoise se compose d'un voile de 0^m35 d'épaisseur, dont le sommet est à la cote $+ 104,80$ et la partie inférieure de la dalle d'assise à la cote $+ 100,80$; elles retiennent à leur extrémité antérieure (côté aval) le rideau inférieur et sont surmontées, côté amont, par des contreforts qui relient le rideau supérieur. La dalle d'assise d'une hauteur de 0^m30 à une largeur de 0^m60 pour la partie postérieure et terminée en assise carrée de 1^m50 de côté à la partie antérieure (voir fig. 5).

Les rideaux, aménagés de 0^m15 en retrait des entretoises (tant pour le mur inférieur engagé

dans l'entretoise même que pour le mur supérieur retenu par les contreforts qui les prolongent) ont une épaisseur de 0^m18 et ont à leur base une assise de 0^m65 de large qui reprend le poids du revêtement (moellons) ultérieur et à leur sommet une poutre de 0^m52 de large qui servira d'assise aux pierres de recouvrement des murs.

Le second tronçon (mur inférieur seulement, mais dont le niveau se relève autour de la salle des pylônes) est constitué par une série de voiles terminés, à leur partie postérieure, par un éperon d'ancrage constitué sur le même principe que ceux des entretoises.

Le schéma (fig. 3) fournit une représentation graphique de l'ensemble des murs de soutènement tant du groupe d'amont que du groupe aval.

Le terrain constituant l'éperon sur lequel s'élèveront les deux monuments, dont se compose le Mémorial Interallié, appartient au houiller et est composé, en majeure partie, de schistes plus ou moins miacés.

Le terrain en place est recouvert par un mince manteau d'alluvions composés d'un peu de limon et de schistes désagrégés. Les schistes ont la direction N. 60° E. et une pente d'environ 30° vers le Sud-Est.

Injections, consolidations.

PREMIÈRES CONSTATATIONS.

Au moment où fut constaté un amas de terres de remblai dans les fouilles en terrain vierge, exécutées, avec la circonspection requise, à l'extré-

mité ouest de la petite chapelle nord-ouest, cette partie des travaux fut examinée minutieusement et les fouilles poursuivies avec les précautions nécessaires.

La cavité cylindrique, que laissent les terres éboulées, indiquait clairement un phénomène artificiel qui suggérait immédiatement la présence d'anciennes prospections du sous-sol.

Les fouilles des murs circulaires de la chapelle, ainsi que les fouilles de l'Atrium octogonal (voir fig. 2) mettaient bientôt à jour une tête de couche houillère, en partie exploitée, qui, tant dans la veine même que dans son toit, montrait de sérieux dérangements, ainsi que de nombreuses cavités. Tout le terrain, dans la proximité immédiate, semblait d'ailleurs entièrement fracturé et d'une formation géologique indéchiffrable ; les spécialistes, invités à examiner les lieux, pronostiquaient la présence d'une couche de charbon puissante, ainsi que l'existence certaine de travaux miniers anciens.

Après un premier examen effectué dans des puits de prospection (voir fig. 7 et 10) par d'éminents spécialistes et notamment par M. Nicolas Urban, Ingénieur en chef, Directeur des Mines, il apparut évident que l'on se trouvait en présence d'un terrain où avaient été effectuées des exploitations peu profondes, plus ou moins remblayées, à l'époque par main d'homme, et plus ou moins comblées par la suite, par affaissement naturel des bancs du toit se propageant de proche en proche jusqu'à la surface avec accompagnement de dislocations.

L'emplacement des deux édifices, situé dans la partie haute, c'est-à-dire vers l'ouest du terrain délimité par les rues Mandeville, Saint-Maur, des Moineaux, des Cailloux et des Marets, se trouve sur la concession de mine de houille de Sclessin-Val-Benoit, appartenant et exploitée par la Société du Bois-d'Avroy. Il fait partie du plateau de Cointe.

Si, sous partie de ce plateau, il existe des travaux miniers modernes, c'est-à-dire, des travaux connus et exécutés par la Société concessionnaire, tous sont trop éloignés pour qu'ils aient pu ou qu'ils puissent influencer la stabilité du sol à l'emplacement considéré. Le rapport préalable réclamé à l'Administration des Mines ne permet d'ailleurs pas le moindre doute à ce sujet.

Il a été établi par ces fouilles et cet examen des terrains notamment dans les puits de reconnaissance, que la couche rencontrée est la Stenaye.

Sous Stenaye, la première couche encore exploitable est Désirée, distante en stampe normale de

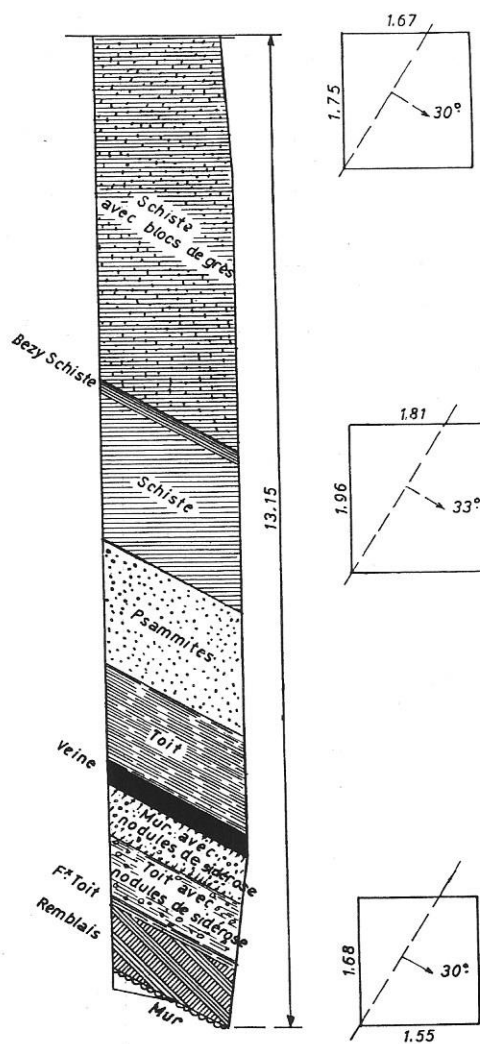


Fig. 7. — Le puits de prospection N.-E. a été poussé jusqu'à une profondeur de 13^m15 sous l'arasement du niveau de l'église inférieure (chapelle en sous-sol).

180 à 200 m. Au-dessus de Stenaye se trouve Castagnette, éloignée de 45 à 50 m. également en stampe normale. L'inclinaison de la couche, qui a été trouvée de 45 degrés contre la cassure diminue certainement en profondeur. On peut la fixer à 25 degrés en moyenne, d'après ce que l'on connaît dans la région à l'ouest du terrain (voir fig. 8).

En admettant même une pente de 30 degrés à l'endroit de ce dernier, il apparut que Castagnette a son affleurement à 45 m/sin. 30° ou 90 m. en dehors de ce terrain.

La conséquence à déduire de ces premières indications fut que seuls les anciens travaux miniers dans Stenaye étaient à prendre en considération.

Il n'en doit pas exister dans Désirée et même

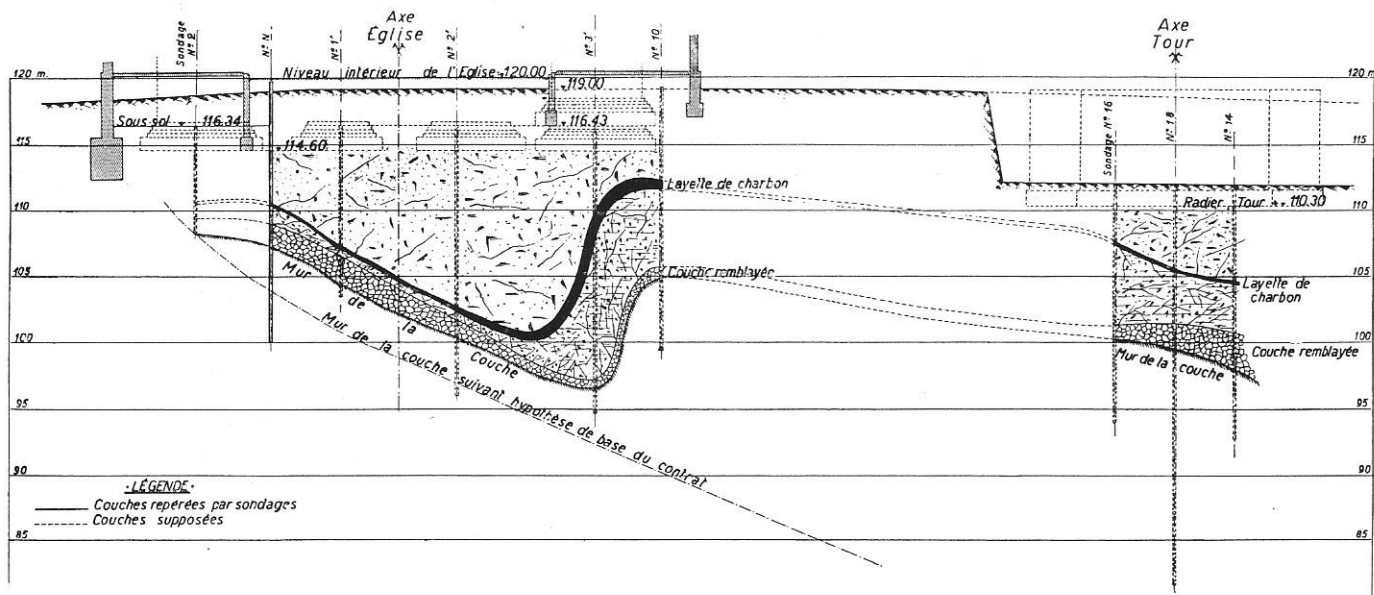


Fig. 8. — Coupe stratigraphique des couches repérées par sondages. A remarquer la ligne mixte qui figure le mur de la couche Stenaye suivant l'hypothèse admise comme base du contrat.

en existerait-il qu'ils sont trop profonds pour les redouter ; ceux, très probables, de Castagnette sont en dehors de la zone à considérer.

Stenaye, bien que non mise ici à fruit par des travaux modernes, c'est-à-dire par des travaux connus, devait, d'après des considérations générales, basées sur des constatations faites dans le voisinage, se présenter en allure générale de plateaux pied sud-est ou sud-sud-est, et que l'inclinaison diminuant probablement avec la profondeur pouvait être fixée à une moyenne de 25 degrés ; enfin que la couche était généralement en deux laies, dont seule la laie inférieure de 0^m80 à 1 m. de puissance devait avoir été déhouillée par les anciens.

PROJETS DE CONSOLIDATION.

Les firmes spécialistes consultées fournissaient des projets de consolidation les plus divers et les plus contradictoires. Certaines d'entre elles formulaient la suggestion d'asseoir sous tout l'édifice un radier sous forme de dalle bétonnée constituée de larges poutres longitudinales et transversales établies dans le plan de la couche préalablement vidée de ses remblais.

Ces projets, d'un coût prohibitif, ne remédiaient que partiellement aux défauts du terrain étant entendu qu'ils laissaient sans remède les vices du terrain supérieur disloqué par éboulement, tout en augmentant, par ces opérations même, le danger de déplacement du terrain.

Après étude approfondie et après avoir recueilli

le conseil de plusieurs spécialistes ayant une connaissance parfaite du sous-sol de Liège, il fut établi, en accord général, que la cimentation du terrain par forages et injections constituait le remède le plus adéquat.

Il convient de rendre hommage aux connaissances averties, à l'observation prompte et sans hésitation dont fit preuve M. Nicolas Orban, au cours de ses nombreuses visites et inspections, ainsi que des entrevues multiples avec les délégués des firmes consultées. Il convient également de souligner le dévouement empressé et le zèle désintéressé témoigné par les entrepreneurs, et en particulier par M. Hallet, qui eut l'occasion de mettre en valeur son expérience d'ingénieur des mines pendant cette période de prospection et de recherches.

ETABLISSEMENT D'UN PROGRAMME-TYPE.

Après de multiples conférences avec les délégués des différentes firmes consultées, il fut décidé d'établir un programme-type de cimentation qui servirait de base pour la présentation des offres.

Ce programme-type, à modifier ou non pour une exécution éventuelle, aurait l'avantage d'établir une comparaison effective entre les diverses propositions de façon à provoquer un choix judicieux d'un adjudicataire.

Elaboré conformément à l'avis des principales autorités et spécialistes consultés, ce programme-type tenait compte des différentes constatations faites, envisageait les implantations les plus avan-

tageuses des forages et fixait un rayon d'action d'injection jugé réalisable par la plupart des firmes consultées.

Il s'inspirait des considérations, desiderata et principes suivants : de l'avis général un massif de terre saine ou cimentée présentant une épaisseur de 15 m. est considéré comme formant une dalle ou dôme suffisant pour répartir les charges, par fractions négligeables, sur un terrain disloqué situé par conséquent à 15 m. au-dessous du niveau inférieur des fondations.

Il est à remarquer qu'en général la roche supérieure a été reconnue saine, par exemple dans les puits de protection nord-est, mais elle ne l'est plus dans la région située immédiatement au-dessus de la couche où l'on a constaté un sol entièrement disloqué, présentant à certains endroits des cavités inquiétantes qui boivent l'eau à perte totale. Or, la couche affleure au nord-ouest du terrain (par rapport au Monument Régional) suivant une ligne presque tangente à la chapelle nord-ouest et sensiblement parallèle à la diagonale est-ouest (voir fig. 10).

La firme Sondages-Etanchements-Consolidations (Procédés Rodio) fut déclarée adjudicataire pour une somme globale forfaitaire, se basant sur un prix unitaire par mètre linéaire de forage injecté : le programme présumé des opérations prévoyant un métrage total d'environ 420 m. de forage à injecter.

Les rapports de cette firme mentionnaient les particularités suivantes :



Fig. 9. — Phénomènes tectoniques : diaclases secondaires. La planche représente une partie de la paroi Sud-Ouest de la grande fosse réalisée pour l'établissement des substructions de la tour du monument civil (avant-plan de la fig. 17).

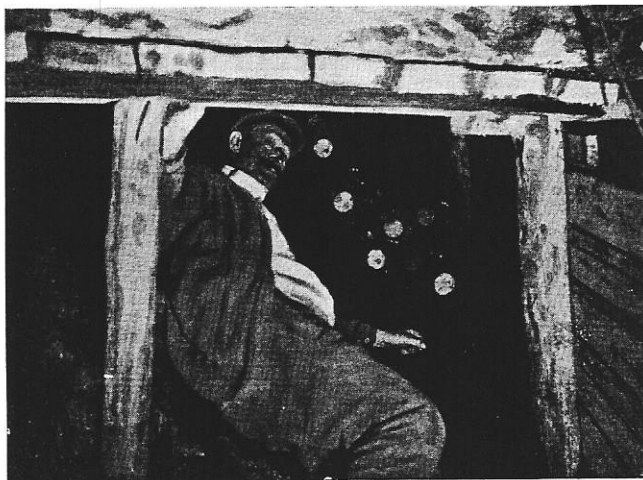


Fig. 10. — Puits de prospection Nord-Ouest. Ce puits a été poussé jusqu'à une profondeur de $\pm 8,50$ au-dessous du niveau du sous-sol. Les éboulements des remblais de la couche ont créé des cavités qui, aménagées en chambre de visite après les étayages indispensables, ont permis au mineur P... de procéder à 8 coups de sonde dans la couche aux fins de reconnaissance de celle-ci.

Les travaux prévus consistaient à consolider le sol de fondation de la Basilique et de la Tour au moyen de forages et d'injections de ciment et mortier sous pression, de la façon suivante :

Les huit forages en correspondance des huit piliers principaux devaient atteindre le gisement de charbon anciennement exploité et remblayé, le traverser et pénétrer de 50 cm. à 1 m. dans le mur de couche. Jusqu'à la semelle de base de chaque pilier, chacun de ces sondages devait s'exécuter à percussion, être tubé jusqu'au-dessus de la dalle et se poursuivre au diamant. On devait ensuite procéder à des essais de perméabilité, puis au bourrage de la Stenaye. Le sondage devait être injecté de bas en haut, de façon à obtenir un rayonnement théorique moyen de 5 m. environ et de manière à ne pas porter atteinte aux fondations déjà exécutées.

Après ces huit forages principaux, portant les nos 1, 1', 2, 2', 3, 3', 4, 4', on devait passer à la consolidation des autres parties de la Basilique, par les forages 5, 6, 7, 8 devant aller jusqu'au mur de la couche, puis par les forages secondaires 9, 10, 11, 12 et 13 devant atteindre une profondeur de 15 m. seulement. Comme contrôle on avait prévu deux forages M et N, situés chacun entre deux groupes de piliers.

La tour du Mémorial Interallié devait se consolider au moyen d'un forage central descendu jusqu'au mur de la Stenaye et quatre forages

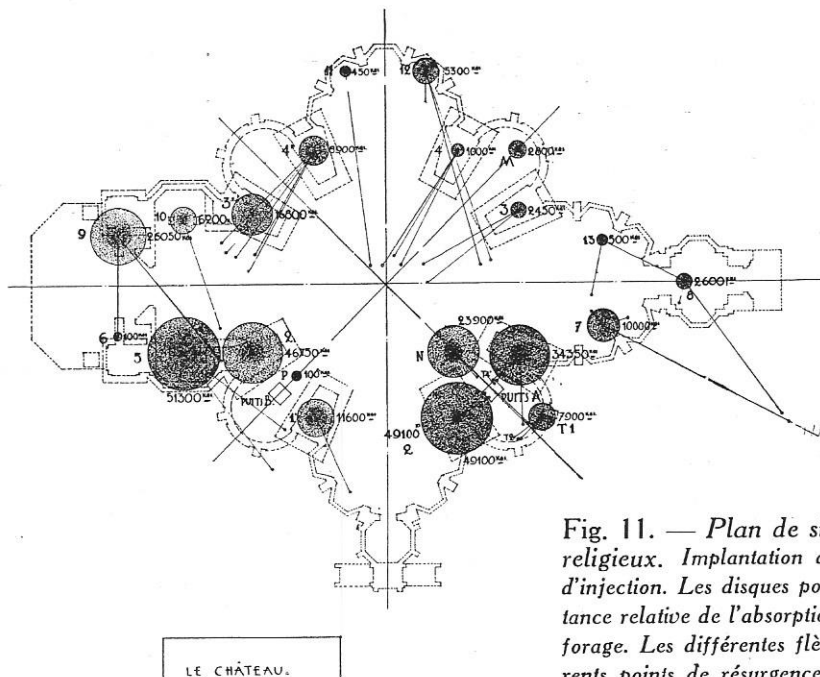


Fig. 11. — Plan de situation du monument religieux. Implantation des points de sondage et d'injection. Les disques pointillés indiquent l'importance relative de l'absorption de ciment pour chaque forage. Les différentes flèches établissent les différents points de résurgence de ciment ainsi que les foyers d'injection qui les ont provoqués.

d'angle de 12 m. environ de profondeur, injectés d'après les mêmes principes (forages n^{os} 18, 14, 15, 16, 17).

BASILIQUE.

Le matériel nécessité par les opérations se composait de :

- 1 sonde à percussion ;
 - 2 sondeuses rotatives à diamant à carottage continu ;
 - 1 injecteur hydraulique à haute pression ;
 - 1 injecteur à basse pression à l'air comprimé.
- Le petit outillage nécessaire pour la bonne utilisation de ces différentes machines.

Après avoir terminé les forages n^{os} 1-2, 1'-2', les sondages 3' et 4 étant en cours, on commençait l'injection au trou n^o 2. Les essais de perméabilité avaient donné une très grande absorption d'eau (14,6 litres/mètre/min. au n^o 1' et plus de 22 litres/mètre/min. au n^o 2). En outre les pertes d'eau survenues au cours de la perforation même à quelques mètres au-dessus de la couche, ainsi que les différents éboulements des trous, indiquaient une très grande fissuration et dislocation des terrains.

Le mur de la couche se trouvant à :

- 98 m. 07 au n^o 1
- 104 m. au n^o 2
- 104 m. 43 au n^o 1'
- 100 m. 47 au n^o 2'

on pouvait donc déjà en déduire que son allure ne correspondait guère à la coupe géologique sup-

posée, d'après laquelle on aurait dû avoir les altitudes :

- 108 m. au n^o 1
- 108 m. au n^o 2
- 100 m. au n^o 1'
- 97 m. au n^o 2'

Constatant que la couche n'avait pas une allure régulière et que, en outre, les grandes fissurations et dislocations permettaient de supposer des vides importants en communication avec la couche (probablement des galeries ou d'anciens puits) qu'il eût été dangereux de laisser sous la construction, on préféra d'emblée renoncer à

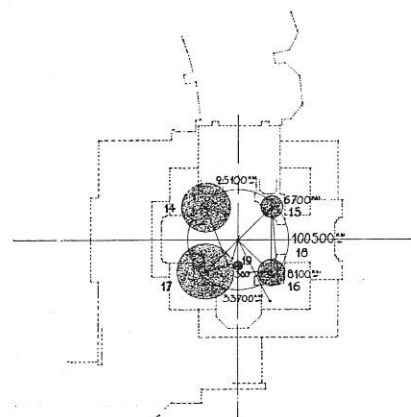


Fig. 12. — Plan de situation du monument civil. Implantation des points de sondage et d'injection. Importance de l'absorption en ciment. Résurgences.

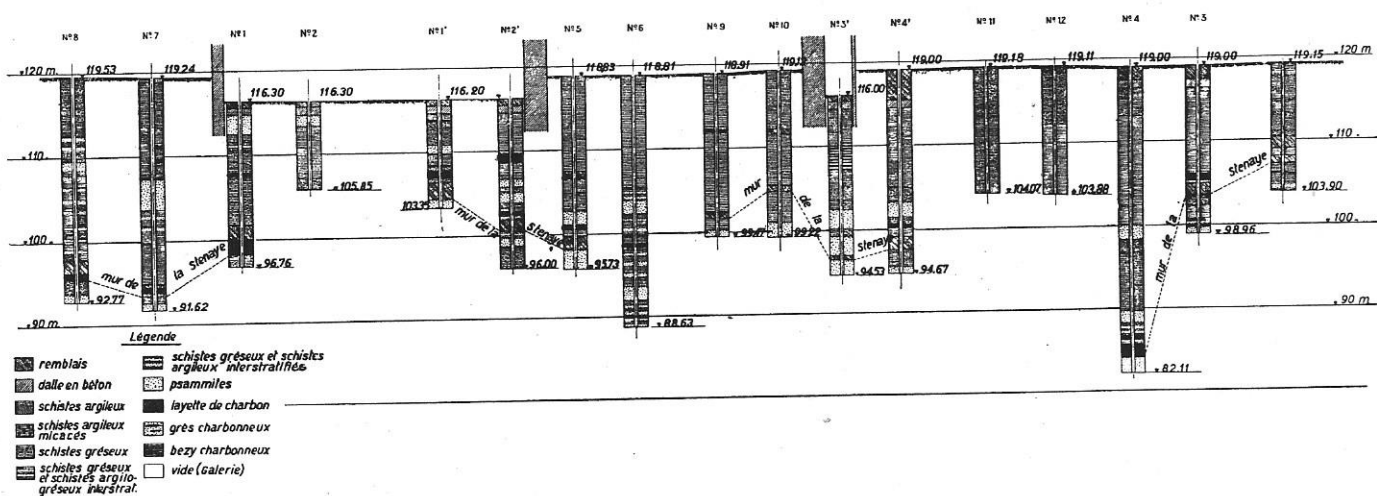


Fig. 13. — Sondages et injections de la Basilique. Profil géologique développé des terrains de fondation.

boucher la couche avec du mortier et réaliser une injection complète de tous les terrains au moyen d'un coulis de ciment, que l'on ferait parvenir le plus loin possible, pour combler le maximum de vides et de la façon la plus complète.

PERFORATIONS.

Les huit forages principaux des piliers ont été poussés au trépan et tubés jusqu'en dessous de la dalle d'union en béton ; leur position, quelquefois un peu excentrique, s'explique par la nécessité de passer avec le forage à côté des armatures de la dite dalle (voir fig. 11). La perforation au trépan a été poussée, en général, jusqu'à ce que l'on atteigne une roche suffisamment dure pour que les parois du trou au diamant ne s'éboulent pas. La profondeur maximum faite à percussion sous la dalle a atteint au n° 3 la profondeur de 2^m53.

Les terrains traversés sont des schistes et des grès. Dans tous les forages, le mur de la couche a été atteint et dépassé, sauf au n° 2, qui a été poussé jusqu'au toit de la couche seulement ; les indications données par le puits A et le forage 1 étant amplement suffisantes. Il est à remarquer, en passant, que si le mur a été souvent dépassé de quelques mètres (au 3' de 4^m70) cela a été fait afin de s'assurer s'il n'y avait pas une subdivision inférieure de la Grande Dure et aussi pour connaître le terrain du mur.

Quant aux forages secondaires, seuls les 5, 6, 7 et 8 devaient aller jusqu'à la couche. En réalité et pour des raisons faciles à comprendre (occasion de recueillir une précieuse indication géologique et augmenter la sécurité) on prolongea également les forages 9, 10 et 13 jusqu'au mur et même au delà.

La perforation au diamant s'est poursuivie, en général, normalement, sauf en deux forages qu'il fallut tuber ou cimenter sur une certaine profondeur à cause de l'éboulement des parois du trou. En outre, l'alternance des bancs de schistes et de grès, c'est-à-dire roches tendres et dures, nécessita une attention constante et de grandes précautions et provoqua une assez forte usure en diamants.

PERMÉABILITÉ DES TERRAINS :

Les essais d'eau réalisés indiquent une très grande perméabilité de la région N. et N.-O.

Au-dessus de la couche anciennement exploitée jusqu'à 8,25 lit./m./min. à 10 kgs/cm², au n° 1'.

Dans la couche plus de 22 lit./m./min. au n° 2

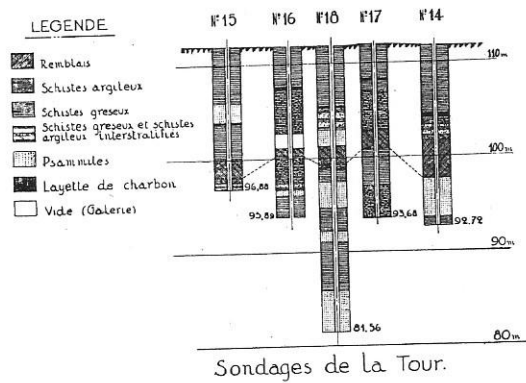


Fig. 14. — Sondages et injections de la tour du monument civil. Profil géologique développé des terrains de fondation.

à 5 kgs/cm² et une roche beaucoup plus compacte dans la zone sud (au n° 4, par exemple, 0,85 lit./m./min. à 10 kgs/cm², couche non exploitée).

Dans de tels terrains, si fissurés et diaclasés, il a été très difficile de réaliser les essais de perméabilité par couches, vu que souvent l'eau chassée sous pression remontait au-dessus de l'obturateur; il fallait donc, avant chaque essai, repérer une strate assez compacte pour que l'obturateur puisse y être fixé convenablement. Ces essais se firent, en général, à 5, à 10, 15 et à 20 kgs/cm² de pression, cette dernière pression ne s'appliquant qu'aux couches tout à fait profondes.

INJECTIONS.

Les divers essais de dosage, réalisés au forage 1 et 2, permirent de déterminer le dosage le plus favorable pour cette sorte de terrain fissuré, à savoir le dosage dit 1 à 1, c'est-à-dire à raison de 100 kgs pour 100 litres d'eau.

Le ciment employé était le ciment de laitier de qualité normale et aussi le ciment de laitier spécial, dont le temps de prise était un peu plus rapide, tous les deux de fort bonne qualité et qui donnèrent toute satisfaction.

Si l'on considère les quantités totales injectées dans chaque forage et portées au plan général (fig. 11 et 12) avec leurs résurgences correspondantes, on voit que les quantités maximales in-

jectées se trouvent au nord de la Basilique. En effet, ce sont les forages 1, 2, 5, 2' qui présentent les absorptions maximales. D'autre part, si ces régions ont présenté de si grands vides, c'est aussi à cause des galeries et puits effectués par les anciens pour les besoins de l'exploitation.

Vu la grande fissuration du terrain, qui donna lieu à de nombreuses résurgences, le processus d'injection suivi fut, en général, le suivant : après avoir constaté une résurgence, on interrompait l'injection quelque temps pour laisser au ciment le temps de commencer sa prise en colmatant les fissures. L'injection était reprise jusqu'à ce qu'une nouvelle résurgence se fit jour, etc. jusqu'à refus. Ainsi, par exemple, l'injection au forage n° 5 fut commencée le 4 novembre, interrompue le 6, reprise le 7, interrompue le 9 et reprise le 10 jusqu'au 12 novembre 1933.

FORAGES DE CONTRÔLE.

Il avait été prévu d'exécuter, une fois les injections finies, deux forages de contrôle M et N, entre les forages principaux 3 et 4 d'une part et 3' et 4' d'autre part, à l'intersection des zones d'influence. Or, ces deux sondages étant situés dans les régions S. et E. qui étaient de moindre absorption que les régions N et O, il fut décidé, de commun accord avec M. l'Architecte-Directeur Smolderen, de placer le forage N dans la partie W de la Basilique, c'est-à-dire entre le 1 et le 2, à environ 6,90 de chacun de ces forages. Quoique cette distance fut plus grande que le rayon d'action prévu, il y fut carotté du ciment et les carottes extraites témoignent que l'injection eut en général un rayonnement important pouvant donner toute sécurité. Si la quantité de ciment injectée à ce forage a été assez considé-

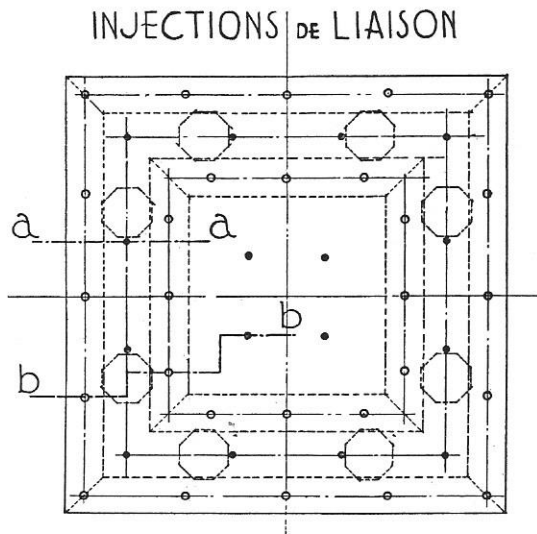
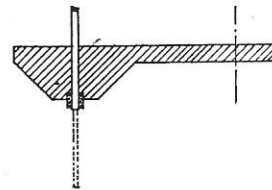


Fig. 15. — Plan de la dalle de fondation de la tour. Le béton de la partie centrale de l'anneau (voir coupes en a-a et b-b fig. 16) n'est pas un élément constructif. Ce plateau a été réalisé, indépendamment de la fondation proprement dite, pour servir de surface de répartition aux charges amenées pour neutraliser les pressions pendant les injections. Il sert, ensuite, de sous-pavement.



Coupe sur la dalle de fondation en a-a (fig. 15). A remarquer le mode de scellement du tube pour l'injection du terrain dans la partie centrale de l'anneau.

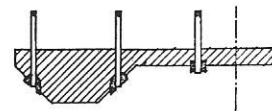
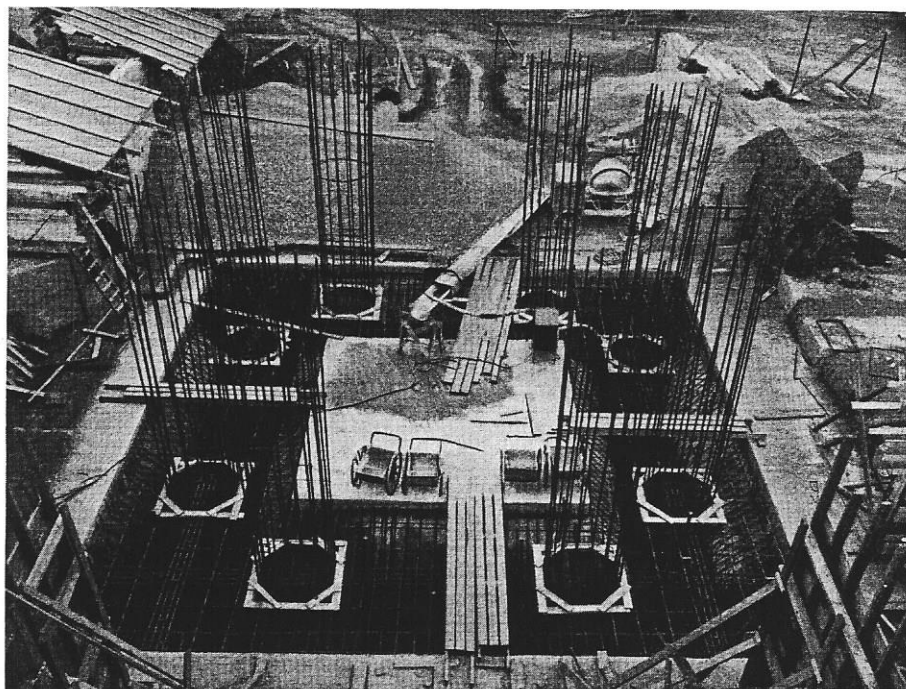


Fig. 16. — Coupe sur la dalle de fondation en b-b montrant le scellement des tubes pour le colmatage du joint béton-terrain sous l'anneau et le tube pour l'injection du terrain dans la partie centrale de l'anneau.

Fig. 17.

Exécution des fondations de la tour du monument civil. Les armatures de la dalle ont été établies dans la tranchée cimentée au préalable afin de réaliser une aire de travail rigoureusement propre et facilement praticable et d'éviter les éboulements locaux des parois dont les déchets inertes auraient influencé la qualité du béton. On procède à l'établissement des armatures des huit piliers.



.....

nable (23,9 T.) il n'y a pas lieu de s'en étonner. L'essai de perméabilité exécuté au 1, au 2 et au N donne les résultats suivants :

N°	Q. d'eau max. par lit./min.	Pression
1	6.62 lit.	10 kgs
2	22 lit.	5 kgs
N	3,3 lit.	10 kgs

Quant au forage M, s'il n'a pas donné de véritables carottes de ciment, comme le N, sa perméabilité maximum a été de 1,59 lit./m./min. à 5 kgs/cm² et son absorption moyenne en ciment de 97 kgs/m. établissaient la preuve manifeste de résultats satisfaisants.

* * *

MÉMORIAL INTERALLIÉ.

La situation que présentaient les terrains à la Tour était bien différente à celle de la Basilique. La fouille exécutée par l'entreprise générale fut arrêtée à la cote 111^m50 environ, et dans l'excavation des fondations du mur de soutènement N. W. on pouvait déjà constater l'état de décomposition des schistes superficiels et la présence de la layette de charbon. En outre, un ancien puits repéré près du n° 17 indiquait bien que la Stenaye avait été aussi exploitée dans cette région.

PERFORATION.

Il avait été prévu un forage central allant jusqu'à la couche et quatre forages de 12 m. environ. La Tour reposant sur quatre groupes de deux piliers, l'on convint, de commun accord, de situer les quatre forages correspondant exactement au centre de chaque groupe de deux piliers n°s 14, 15, 16, 17) et le n° 18 au centre de la construction.

Etant donné la mauvaise qualité des schistes superficiels, tous ces forages furent exécutés au diamant, afin d'avoir ainsi un trou à paroi bien lisse pour injecter le mieux possible la partie supérieure.

Le sondage n° 14 indiquait déjà par sa perte totale d'eau que l'on était, à 10 m. de profondeur, au toit de la couche, et le grès rencontré à 97^m84 donnait la cote du mur.

Au n° 15 le mur se trouva à la cote 98,17 ; au 16 à 100^m26 après avoir traversé 1^m50 de vide (probablement galerie) et 1 m. de remblai, au 17 à 101^m01 et au 18 à 99^m43. Par mesure de précaution, le sondage 14 fut poussé à 5^m12 au-dessous du mur ; le 15 1^m25, le 16 6^m37, le 17 7^m33 et le 18, forage central, 17^m87.

Ces forages ont permis de déterminer l'allure régulière de la couche, de direction S. 250° W.

PERMÉABILITÉ.

La grande fissuration, la présence de nombreux vides et la Stenaye remblayée donnèrent une très grande absorption d'eau. En effet au n° 18 l'essai de perméabilité de la section inférieure (de 27 m. à 30^m37) donna une absorption variant de :

$$\frac{0}{5 \text{ kgs/cm}^2} \text{ à } \frac{14,8 \text{ lit./m./min.}}{25 \text{ kgs/cm}^2}$$

La section suivante de 23^m30 à 30^m37 donna pour une pression de 5 kgs 7,4 lit./m./min. et l'on n'arriva pas à faire monter la pression d'eau, le forage faisant siphon. La dernière section

Profondeurs	Cotes du forage	Dessin	Terrains traversés	Carottes					Essai d'eau										Injection									
				Longueur carotte en %	Observ.	1 ^{er} essai		2 ^{ème} essai		3 ^{ème} essai		Observ.		D _{inj} ciment et dosage		Q ciment par m		Q coulis par section		Diagrammes de pression								
m	m			10 20 30 40 50 60 70 80 90		l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min	l/min		
0,00	142,93																											
1,52	140,34																											
2,74	139,19		Schistes argileux																									
3,83	138,09																											
4,00	136,87		Schistes argileux - Marnes																									
6,47	133,37		Schistes et grès psammittiques																									
8,02	132,30																											
9,55	131,38		Grès psammittiques																									
12,01	128,86		Craie remblayée anciennement exploitée																									
13,93	127,20		Schistes argileux et grès micacés																									
14,37	127,58		Schistes argileux																									
17,16	124,77		Grès micacés																									
18,52	123,41		Schistes argileux																									
19,08	122,25																											
20,92	121,01		Grès micacés																									
22,11	120,83																											
23,25	120,54		Schistes argileux																									
24,85	119,30																											
26,02	118,51																											
27,02	118,93																											
28,05	118,44		Grès micacés																									
28,38	118,32																											
28,33	118,50																											
30,37	115,55																											

Fig. 18. — Coupe stratigraphique et diagrammes de perméabilité et d'injection de ciment. A remarquer l'absorption extraordinaire de ciment.

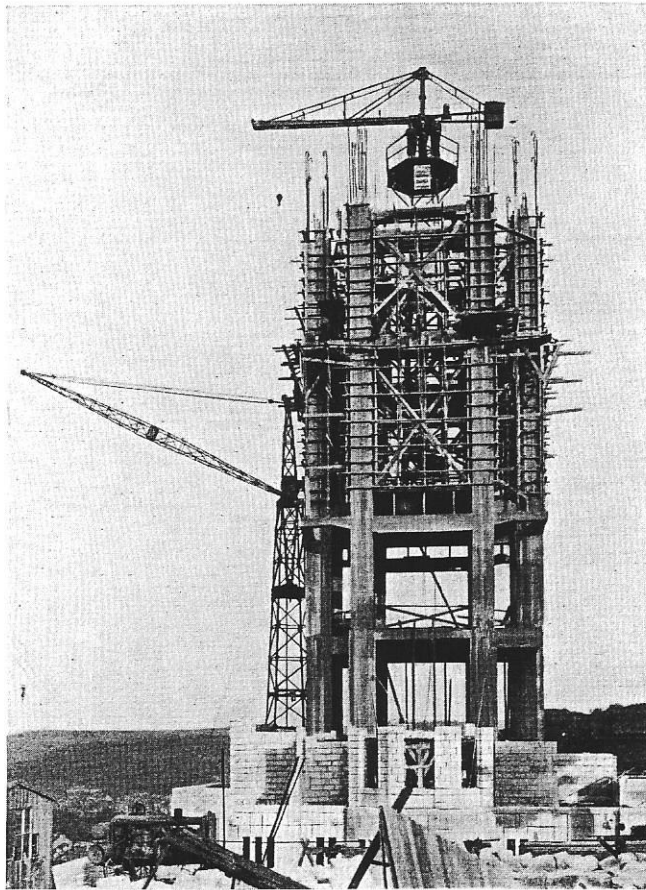


Fig. 19. — L'ossature en béton armé de la tour atteint la cote 142,00. Les travaux de revêtement se poursuivent à hauteur de la cote 123,00. (Juillet 1934).

essayée de 19^m44 à 30^m37 donna avec la simple hauteur statique de 27 m. (soit 2,7 atm.) une absorption de 2,1 lit./m./min. Les autres sections des autres forages donnant également des résultats analogues, on put donc en déduire une très grande fissuration de toute la zone, ainsi que la présence de vides importants.

INJECTION.

L'injection commencée au forage n° 18 (voir fig. 18) se poursuit pendant six jours et absorba une très forte quantité de ciment. Le grand rayonnement de l'injection eut pour résultat l'injection partielle des forages voisins : la section de 12,00 à 19,18 du forage n° 14 et la section de 10,30 à 19,20 du n° 17.

Le sondage n° 19, décidé de commun accord, lors de l'entretien du 10 décembre 1932, démontra par son absorption minimale, que tout le forage supplémentaire dans cette zone injectée serait entièrement superflu, car il y a une limite que l'on ne peut dépasser.

D'une façon générale, dans tout terrain injecté, la partie superficielle n'ayant pas une charge suffisante pour permettre d'atteindre la pression nécessaire, ne s'injecte pas. On préfère pousser l'excavation, après avoir traité le terrain, jusqu'à une certaine profondeur, afin de placer le fond de fouille à l'arasement convenable, c'est-à-dire, à la cote où les couches ont été bien injectées. Ou bien considérant que la zone superficielle, souvent ébranlée par les explosifs, très fissurée et manquant de surcharge, est difficilement injectable, on

la laisse sans la traiter pour la reprendre si c'est nécessaire avec des injections dites de liaison.

Il fut opéré ainsi : après établissement du radier de fondation de la tour, des colonnes et du hourdis de la salle basse, dès que la surcharge ainsi réalisée établissait une neutralisation suffisante pour les pressions à mettre en œuvre, on entreprit l'injection des couches de surface.

On avait pris soin d'incorporer dans le béton armé de la dalle de fondation un total de 44 tubes d'injection judicieusement répartis, dont 12 pour l'injection du terrain sous la partie la plus profonde de l'anneau de fondation ; 28 pour le colmatage du joint béton-terrain sous l'anneau et 4 tubes pour l'injection du terrain dans la partie centrale de l'anneau (fig. 15).

Les tubes d'injection étaient scellés, directement sous la dalle, au mortier de ciment ; le tube descendant un peu plus bas que le fond de scellement afin d'éviter que l'orifice ne s'obstrue pendant le bétonnage. Après le bétonnage les tubes étaient prolongés au marteau pneumatique.

Les tubes de colmatage s'arrêtèrent à peu près à la cote du terrain d'assise du radier et étaient maintenus par du gravier formant scellement (fig. 16).

Le colmatage du joint béton-terrain fut exécuté préalablement à l'injection. Le colmatage fut opéré avec une pression de 5 à 7 kgs/cm² ; l'injection avec une pression de 7 à 8 kgs/cm². Les absorptions ont été excessivement faibles, ce qui démontrait que la liaison des fondations au terrain était déjà pratiquement parfaite.

Cependant, en guise de contrôle, on a exécuté un forage unique central, de 12,60 de profondeur sous la dalle, injecté à haute pression. L'absorption excessivement minime, même sous la pression maxima de 30 kgs/cm², prouve l'excellente tenue du terrain.

Les différentes opérations d'injections sous les deux édifices ont nécessité environ 50 T. de ciment de laitier avec une quantité presque équivalente de matières inertes.

Des diagrammes des constatations (nature du terrain, essais d'eau, injection, etc.) ont été établis pour les différents trous de sonde ayant servi aux injections (fig. 18).

Les manomètres ont accusé des pressions atteignant près de 40 atmosphères.

Des effets de résurgences ont été constatés à 30 m. de distance et certaines fouilles exécutées ultérieurement, à proximité des bâtiments (canalisations d'égouts et autres) ont relevé la présence de ciment de laitier dans les joints de stratification du schiste excavé.

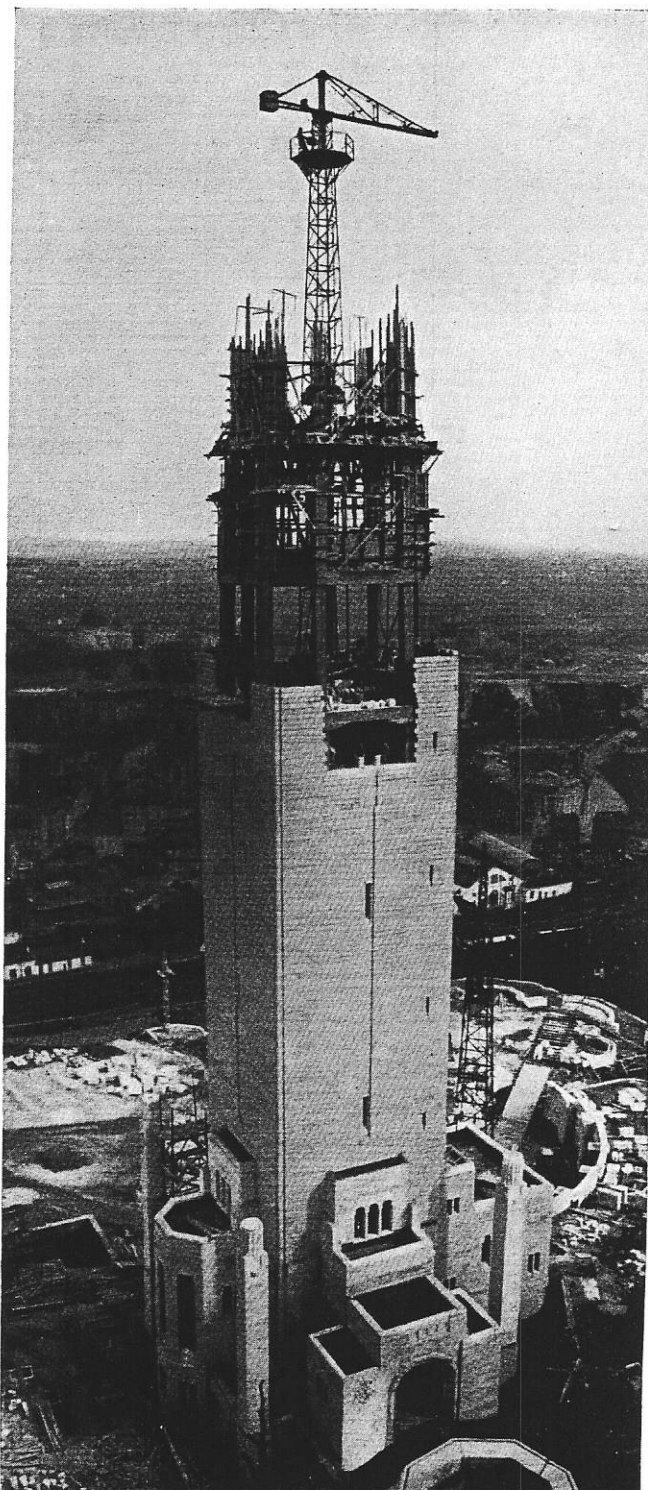


Fig. 20. — Vue d'ensemble du chantier du monument civil y compris la galerie-escalier et la grande salle. Le revêtement de la tour atteint la cote 153,00. On monte les piliers-console entre 165,25 et 172,35. (Septembre 1934).

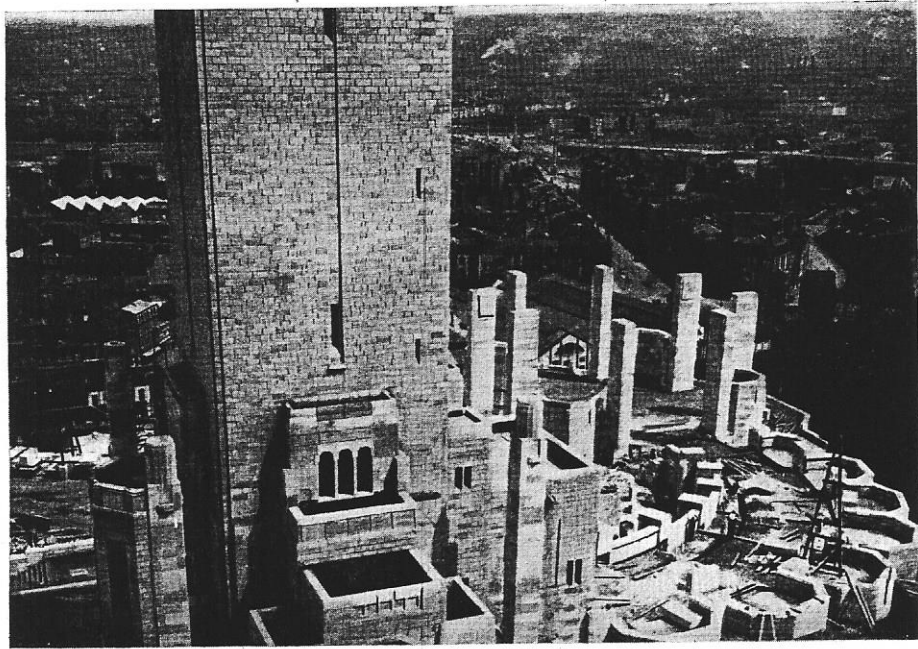


Fig. 21. — *Vue à vol d'oiseau du chantier du Monument Civil.*

Construction : principes généraux de calcul et détails constructifs.

LE MONUMENT CIVIL.

Le Monument Civil se compose d'une grande salle découverte, encadrée de pylônes puissants, aménagée sensiblement au niveau de la première esplanade qui lui sert de cour d'honneur. C'est dans cette salle que, par beau temps, se célébreront les manifestations importantes tant nationales qu'internationales, tandis que la foule nombreuse et recueillie, massée sur l'esplanade, suivra aisément le rite harmonieux des cérémonies. Cette grande salle abritera des œuvres d'art offertes par les nations alliées, associées et amies.

Le grand escalier monumental en hémicycle, qui continue la grande salle, conduit en cortège la foule des invités vers l'élément dominant du Monument : la Tour, et principalement vers sa Salle haute dédiée à la Belgique.

Cette Tour, qui s'élève à environ 75 m. au-dessus de la première esplanade constitue le signal de l'ensemble et portera, à son sommet, un phare repérant le soir de très loin la butte commémorative.

Elle comporte, outre la Salle haute, située au niveau de la seconde esplanade, une Salle basse avec galerie formant crypte et abritant les monu-

ments commémoratifs des Nations alliées. C'est dans cette salle, dont les proportions sont aussi vastes que le permettraient les substructions de la Tour que pourront, par temps inclément, se développer les cérémonies prévues dans le cadre plus large et plus impressionnant de l'esplanade et de sa tribune surhaussée : la Salle des pylônes. Des ascenseurs permettront aux visiteurs de faire l'ascension de la Tour et de jouir du spectacle unique qu'offre le cirque grandiose qui abrite Liège et ses faubourgs industriels.

La Tour a été élevée sur un radier carré de 11^m55 de côté extérieur avec un évidement central de 5^m15 de côté, affectant par conséquent la forme d'un anneau carré. En coupe le corps de cet anneau affecte la forme composée d'un trapèze régulier renversé (petite base à la partie inférieure) prolongé à la partie supérieure (grande base) par un rectangle allongé. Ce dispositif réduisait au minimum les terrassements dans le schiste dur, qui s'opposait à une fouille régulière, et permettait la réalisation minutieuse du gabarit (voir fig. 15 et 16).

Les huit colonnes, formant les éléments constructifs principaux de la Tour se trouvent encastées dans le radier, deux sur chacune des quatre branches de l'anneau carré et dans l'axe de ces branches.

La cote inférieure du radier est + 110,05, sa cote supérieure est + 111,45. Les quatre

branches de l'anneau forment en réalité quatre poutres de 1^m40 de haut, supportant chacune deux piliers de la Tour.

A la partie inférieure d'ailleurs les extrémités de ces quatre poutres enchevêtrées dépassent le profil normal des branches de l'anneau formant vers l'extérieur huit excroissances augmentant le contact utile avec le sol et facilitant l'armature au croisement des branches.

L'armature du radier est considérable et atteint un poids total de 35 T. d'acier (voir fig. 17).

Une première couche à la base de chaque branche, composée de quatorze barres de 400 mm. de diamètre est renforcée par une seconde composée de sept barres de 40 mm. de diamètre. La face supérieure est armée de dix barres de 30 mm. de diamètre.

Au point de croisement des branches, ainsi qu'au point d'encastrement de huit piliers de section octogonale (armés d'une ceinture extérieure composée de quinze barres de 30 mm. de diamètre) cette armature présentait un enchevêtre-

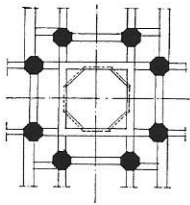


Fig. 22.

Hourdis au niveau 119,00. Plancher haut de la galerie salle basse. L'évidement octogonal central procure une vue dans le corps de la tour (jusqu'à 152,85).

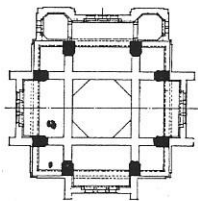


Fig. 23.

Hourdis au niveau 131,00. Plancher haut de la galerie salle haute. Evidement octogonal central formant balcon.

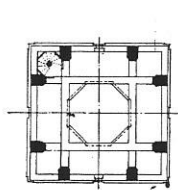


Fig. 24.

Hourdis au niveau 142,00. 4^e étage des portiques.

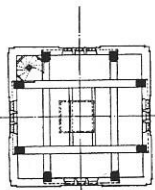


Fig. 25.

Hourdis au niveau 159,05. Au centre cuvette de l'ascenseur supérieur.

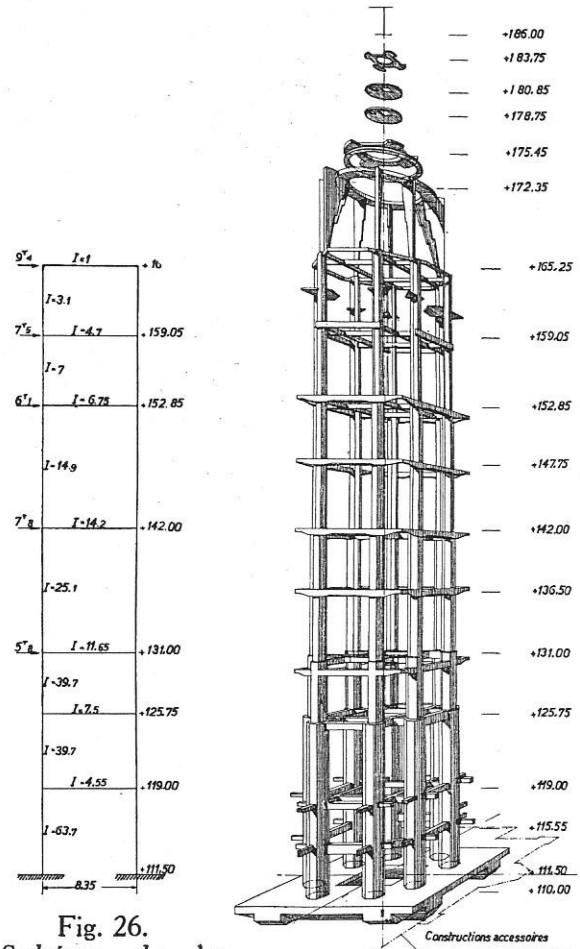


Fig. 26. Schéma de la poutre Vierendeel avec efforts horizontaux appliqués aux nœuds et moments d'inertie des montants et membrures.

Fig. 27. — Dispositif général de l'ossature en béton armé de la tour.

ment d'acier impressionnant, ainsi que le montre la figure 17.

Le radier est établi sur du schiste apparemment sain dont le travail envisagé était de ± 5 kgs/cm².

En réalité les pressions transmises sur le sol, sous l'action du vent, sont de 4,3 kgs/cm², à l'arête la plus fatiguée, 2 kgs/cm² à l'arête la moins sollicitée, 3,15 kgs/cm² sous l'action du poids mort seul.

Des précautions infinies ont été observées pendant l'exécution de tous les travaux et particulièrement au cours de la réalisation du radier.

La fouille du radier fut, préalablement à la mise en place des armatures, exactement calibrée

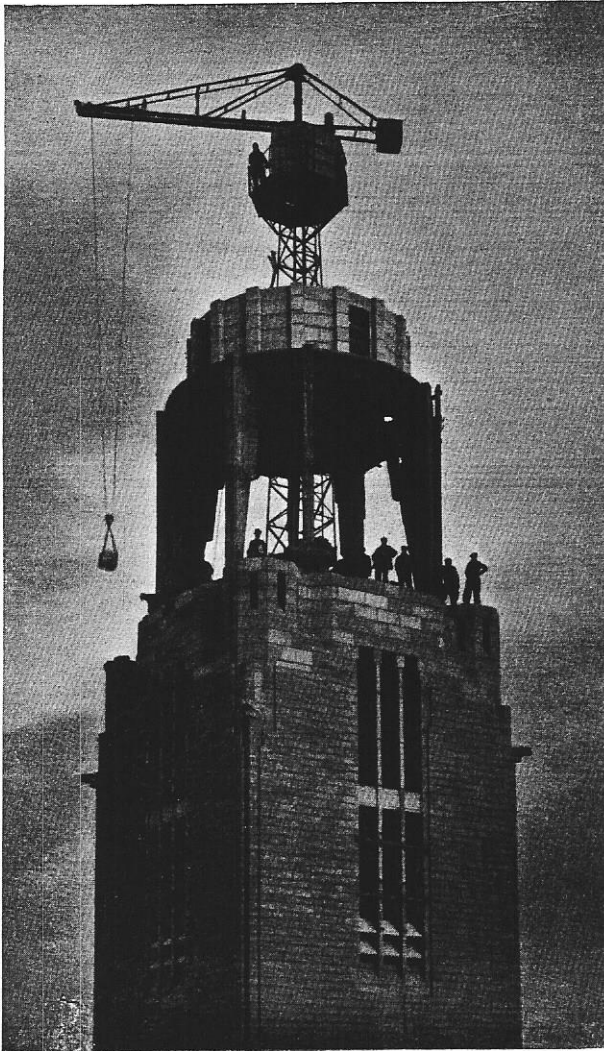


Fig. 28. — Les deux plateaux en béton armé (poutres circulaires) à 175,45 et à 172,35, ainsi que les colonnes en encorbellement qui soutiennent le dernier, sont réalisés. Le revêtement se poursuit, simultanément, aux niveaux 165,25 et 175,45 (Novembre 1934).

et toutes les faces enduites d'une couche de ciment.

Le dosage du béton est opéré avec circonspection en observant une granulométrie adéquate très rigoureuse.

Principes généraux de calcul de la tour.

L'ossature en béton armé de la tour comprend quatre portiques (deux dans chaque sens) à étages multiples, encastés dans les fondations (niveau + 110,50) et libres à l'extrémité supérieure (niveau + 165,25). L'ossature de la partie supérieure de la tour (du niveau + 165,25 au + 186,00) a été calculée indépendamment des

portiques inférieurs, attendu que cette ossature supérieure a été supposée articulée au niveau + 165,25.

Comme sollicitations il a été envisagé :

1° Vent : 10 kgs/m² à partir du niveau + 125,75 agissant horizontalement.

2° Effet dynamique du carillon au niveau + 160,00.

3° Surcharge mobile aux différents étages.

4° Poids de la maçonnerie à partir du niveau + 119,00.

5° Poids propre.

Les quatre portiques inférieurs sont à sept étages, les moments d'inertie des montants et des membrures sont variables d'un étage à l'autre.

Le calcul de ces portiques a été aisé grâce à la méthode exposée dans le cours de stabilité des constructions du Professeur Magnel, pour le calcul des poutres Vierendeel.

Le calcul a dû se faire par approximations successives.

Un premier calcul a été fait avec des moments d'inertie fixés, *a priori*, pour les différents éléments des portiques ; les M, N et T en résultant ont permis de déterminer de nouvelles dimensions pour ces éléments. Par interpolation des dimensions résultant du premier calcul et celles imposées on a trouvé des nouveaux moments d'inertie, vérifiés par le second calcul. Cette deuxième approximation n'a relevé que des erreurs inférieures à 2 %, de sorte que le second calcul a été admis comme définitif.

Etant donné qu'il fallait au pourtour de la tour des fortes poutres pour supporter la maçonnerie, il a été décidé de former des portiques secondaires dans l'alignement des murs pour soulager les portiques principaux (voir fig. 19, 20, 26).

Ces portiques secondaires sont à dix étages.

Dans les calculs on a complètement fait abstraction de la maçonnerie comme élément portant.

La fabrication du béton, pour les différents éléments constructifs de la tour, fut réalisée d'une façon méthodique et scientifique.

Le dosage est fait minutieusement au poids et la granulométrie, s'adaptant à chaque cas ou circonstance, vérifiée avec soin.

Le mélange de sable du Rhin et de gravier 5/20 avec du ciment P. N. à 350 kgs a donné des résultats surprenants : 400 à 450 kgs de résistance par cm².

Afin de réaliser les plus forts taux de résistance avec le dosage prévu, il fut fait usage de vibra-

teurs électriques qui augmentaient de 20 % la résistance du béton.

Soucieux d'établir d'avance les résultats qui pourraient réellement être atteints, on exécuta, à titre d'essai, des parties de colonnes en béton armé vibré en mettant en œuvre des méthodes similaires à celles envisagées pour la construction du Monument.

Des blocs détachés à la dynamite ont été soumis aux laboratoires d'essais officiels : ils ont résisté à 565 kgs/cm².

La compacité était telle que la densité du béton (sans armatures) atteignit 2,430 kgs.

L'étude du béton armé du Monument Civil a été faite par le Bureau technique « Constructor », à Anvers.

* * *

Appareils de manutention.

Une grue S. G. M. E. de 33 m. de hauteur et d'une portée de 16 m. était située à l'angle N.-E. de la tour.

Cette grue était capable de soulever 1.000 kgs. Lorsque la flèche était relevée, la charge pouvait être de 2.500 kgs. Puissance 15 HP.

La grue circulait sur une voie se dirigeant dans la grande salle. Elle prenait les pierres au chantier du tailleur et les amenait à l'étage de 131 m., où l'on avait établi un palier.

Une seconde grue, construite par le Titan Anversois, reprenait les produits à l'étage de 131 m. et les amenait au chantier du travail.

Les caractéristiques de cette grue étaient :

Hauteur : 18 m.

Flèche : 6^m5, sur laquelle roulait un chariot, de telle sorte que les charges étaient amenées à l'endroit où elles devaient être utilisées.

Charge : 1.000 kgs à la vitesse de 35 m. à la minute. La hauteur de cette grue permettait de faire précéder, d'au moins un étage, le bétonnage sur la maçonnerie. La grue se posait sur l'ossature en béton.

Le débit des pierres blanches était exécuté par un fil hélicoïdal de 255 m. de longueur. Cette installation comportait trois câbles. Les pierres étaient amenées du magasin au fil, au moyen d'un monorail.

La construction du Monument Civil, ainsi que la mise sous profil de la butte ont fait l'objet de deux entreprises.

La première, comprenant les travaux de terrassement, de soutènement des terres et de fondations (tour et murs), fut confiée, après adjudication publique, à la firme S. A. Hallet et Poismans, de Liège.

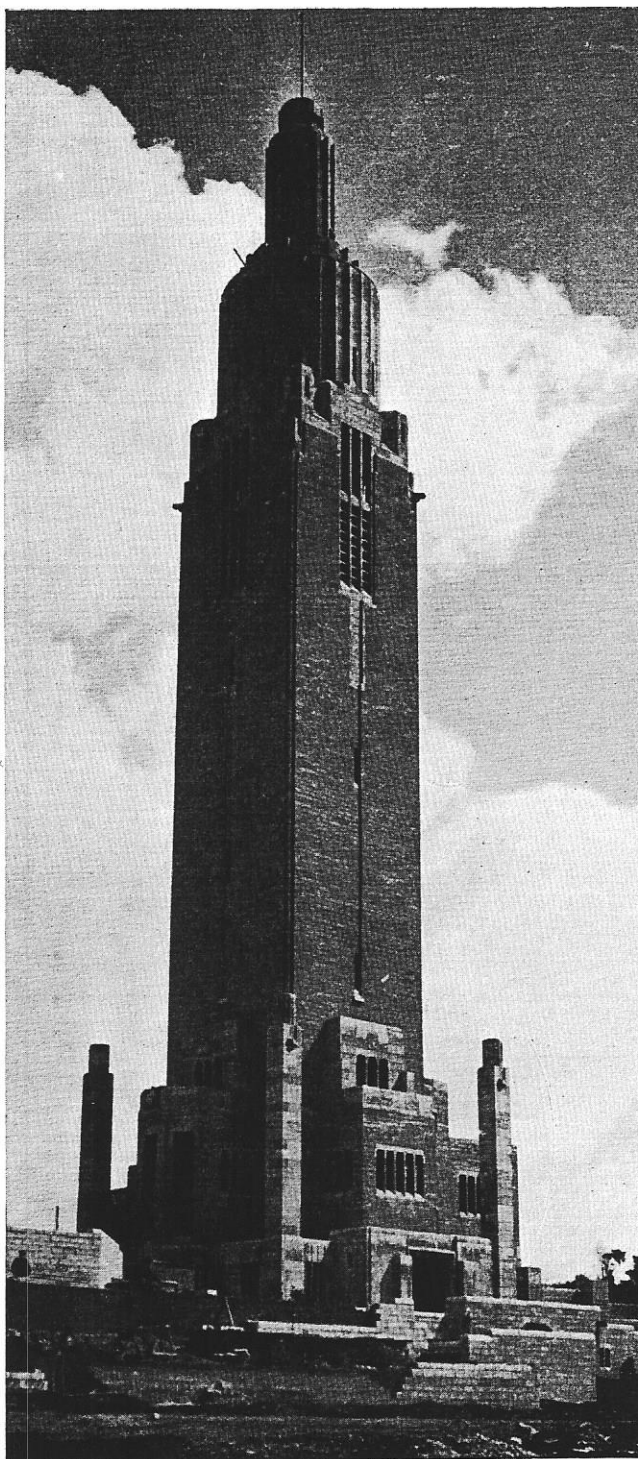


Fig. 29. — *La Tour du Monument Civil. Face Est dirigée vers la ville : vue prise de la grande esplanade*

La seconde, comprenant la mise sous toit et le gros-œuvre de toutes les constructions du Monument Civil actuellement réalisées, fut confiée, après adjudication publique, à la firme Jos. Hallet et ses fils, à Liège.

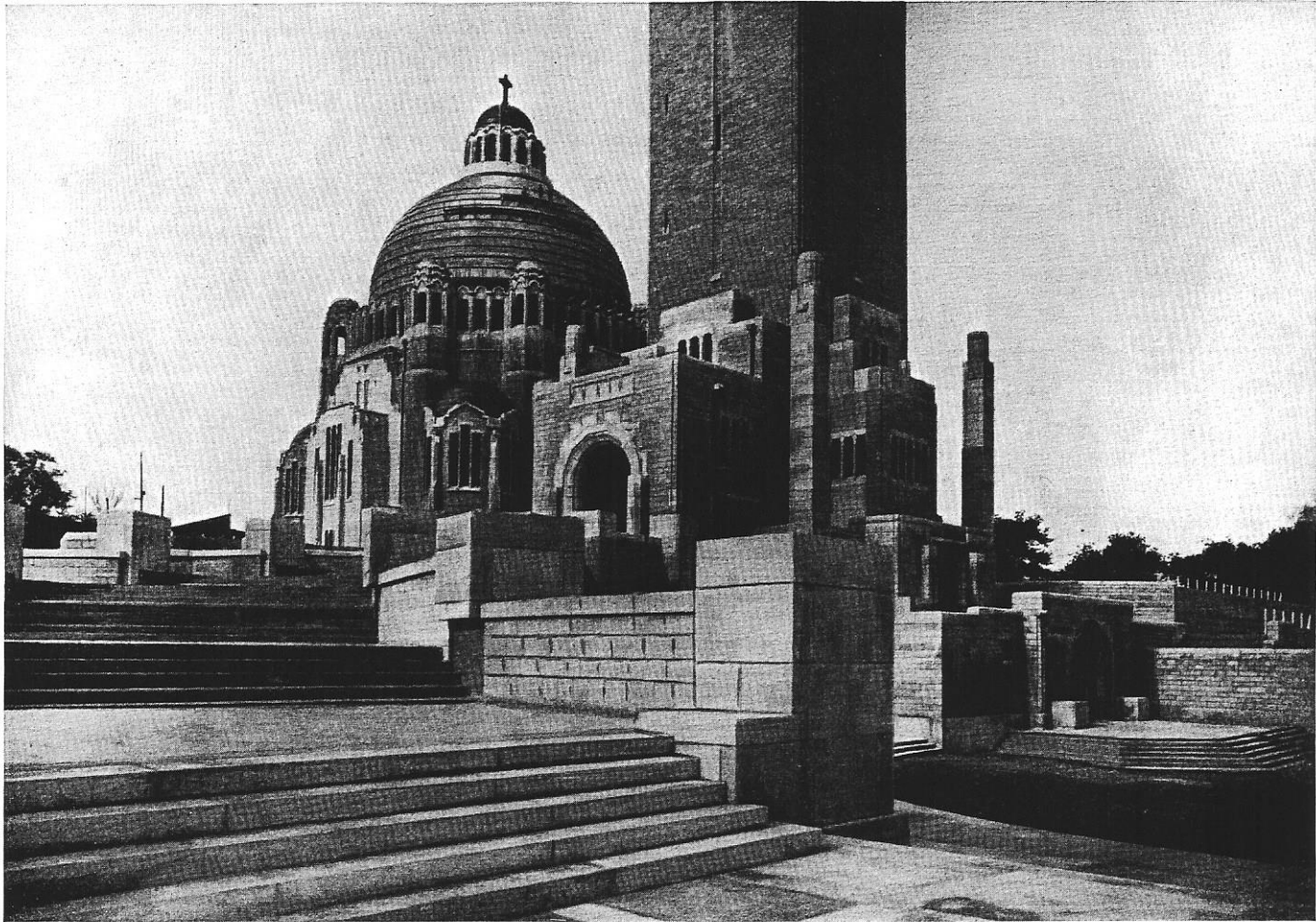


Fig. 30. — *Vue d'ensemble des deux monuments. A gauche l'escalier en hémicycle qui relie l'esplanade du Monument Civil à sa Salle haute et, de là, au parvis de l'église.*

LE MONUMENT RELIGIEUX.

Le plan du Monument Religieux est du type radioconcentrique : disposition imposée par les nécessités spéciales du programme de cette église commémorative.

Il groupe autour d'un espace central trois grandes chapelles (dont une formera le chœur) et le portail suivant les axes principaux orientés sensiblement vers les quatre points cardinaux. Sur les axes diagonaux, alternant chaque fois avec chacun des éléments ci-dessus, sont aménagées des petites chapelles (voir fig. 2).

Provisoirement une seule des grandes chapelles, celle dirigée vers le Nord-Ouest (côté Liège) a été exécutée. La chapelle sud-est, le chœur et le portail seront parachevés ultérieurement ; des murs en maçonnerie, revêtus d'un enduit provisoire, clôturent le massif central au droit de ces éléments

futurs. Des porches provisoires, construits également en maçonnerie, servent d'accès à l'église tant du côté nord-est (parvis vers Monument Civil) que du côté sud-ouest (paroisse de Cointe).

L'ensemble repose sur des fondations à larges assises en béton. Celles-ci sont constituées, pour le corps principal, par huit massifs pleins d'environ 8×5 m. à la base, qui se continuent par deux piliers pour les massifs traversant l'étage en sous-sol.

Ils sont établis, à des cotes différentes variant de $+114^{61}$ à $+116^{60}$ sur le schiste sain et préalablement décapé.

La dénivellation du terrain (versant nord-ouest de la butte) a permis de réaliser des locaux situés au-dessous du niveau de l'église. En effet, sous la chapelle nord-ouest a été aménagée une chapelle basse qui servira aux offices ordinaires de la paroisse de Cointe. Sous les deux petites chapelles,

à gauche et à droite de la grande chapelle basse, se trouvent de spacieuses pièces servant l'une de salle de catéchisme, l'autre de sacristie. Ces différentes salles sont accessibles directement de l'extérieur et reliées avec l'église haute par un escalier intérieur (voir fig. 39).

Les travaux en élévation, jusqu'à la naissance des coupes, sont conçus en maçonnerie (briques de Boom) comme élément constructif avec un revêtement extérieur de moellons et pierres de taille de même espèce.

À part les gîtages de construction courante (poutres en béton armé avec hourdis en béton armé à nervures) et quelques petits éléments de décharge qui complètent les ouvrages en maçonnerie, la construction en béton armé ne commence réellement qu'au niveau des pénétrations des coupes latérales, par conséquent à hauteur variable suivant qu'il s'agit des chapelles axiales (grandes chapelles, chœur, le porche et des chapelles diagonales (petites chapelles).

La coupole forme un système constructif composé présentant trois éléments très distincts :

1° Coupole intérieure constructive de forme ovoïdale percée à la partie supérieure d'un oculus central.

Sa base est constituée par une succession de piliers dont les intervalles forment les baies intérieures du triforium. Aux deux tiers environ, à partir de la base, un renforcement sert d'assise circulaire.

2° Cône intermédiaire terminé en segment avec oculus central.

Fig. 31.

La mise en place du coffrage de la coupole intérieure. Ce coffrage se compose d'environ cent fermes en bois en forme de segment de cercle reposant, avec leur extrémité inférieure sur des appuis scellés dans la ceinture A (voir fig. 32) et s'appuyant, de leur extrémité supérieure contre un anneau en bois fixe, pour le début de l'opération seulement, à une tour en bois centrale construite pour le levage des matériaux avec monte-charge. Ce gabarit était recouvert d'un volige très mince placé en éventail. Un plancher de travail, établi au niveau de la poutre ceinture A a permis de réaliser tous les éléments à pied-d'œuvre et de procéder, sans danger, à un montage facile. (Juin 1934).

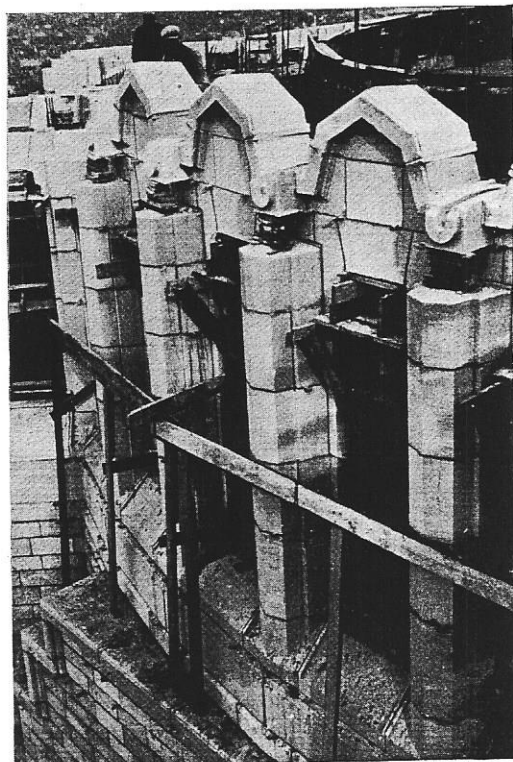
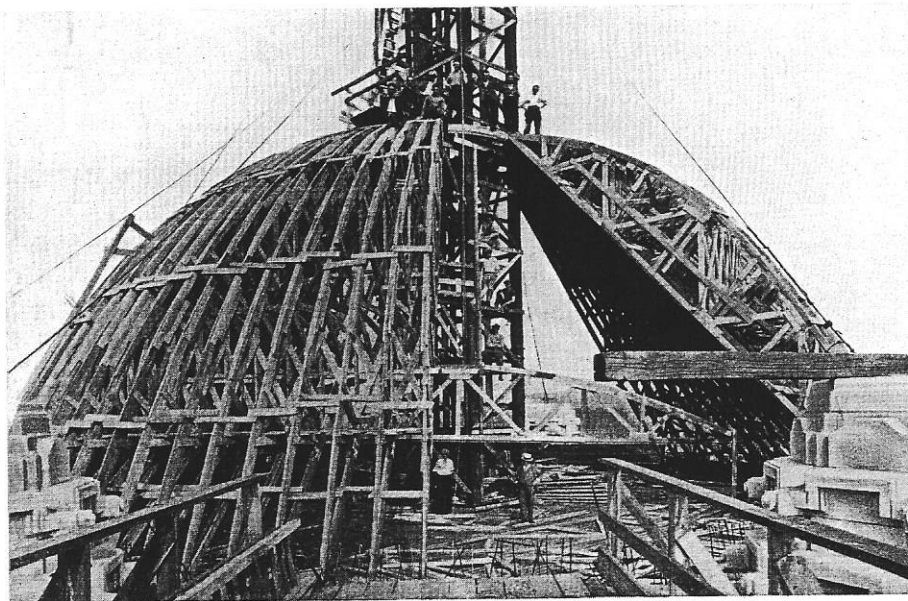


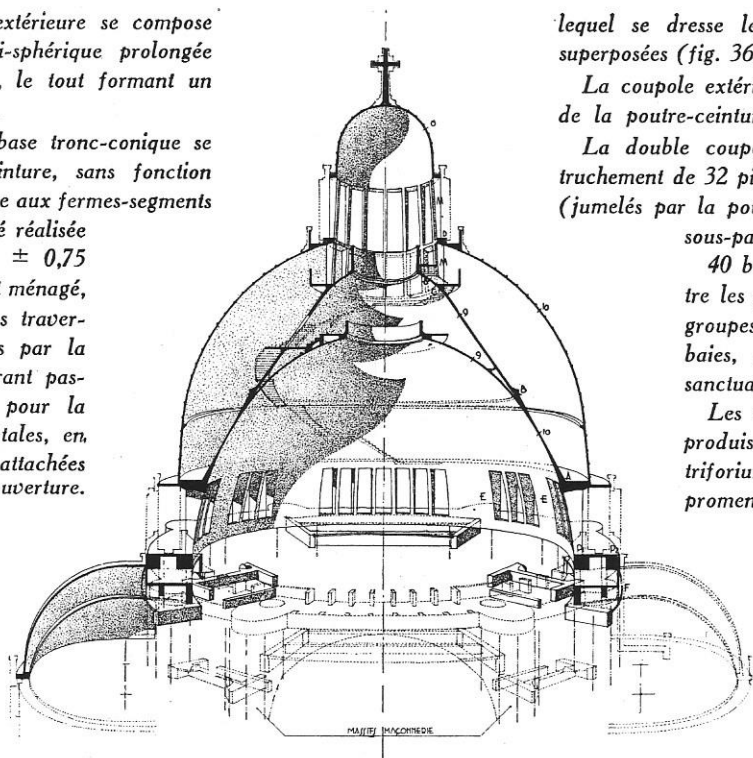
Fig. 32. — Mur extérieur du triforium. Achèvement du revêtement en pierre de taille.

Cette coupole conique repose librement sur le renforcement de la coupole intérieure à laquelle elle transmet le poids de la lanterne de couronnement, le poids qui lui est communiqué par les seize

Fig. 33. — La coupole extérieure se compose d'une partie supérieure semi-sphérique prolongée par un tambour tronconique, le tout formant un monolithe de faible épaisseur.

Le bord supérieur de la base tronc-conique se termine par une poutre ceinture, sans fonction constructive, qui a servi d'assise aux fermes-segments du coffrage. La coupole a été réalisée par tronçons horizontaux de $\pm 0,75$ de hauteur chacun. On y avait ménagé, à l'aide de barres métalliques traversant les coffrages et enlevés par la suite, les nombreux trous livrant passage aux tire-fonds utilisés pour la fixation des nervures horizontales, en bois profilé, auxquelles sont attachées les feuilles de cuivre de la couverture.

Un triforium, ouvert vers l'extérieur, couronne l'édifice et constitue un tambour sur



lequel se dresse le dispositif des trois coupoles superposées (fig. 36).

La coupole extérieure prend naissance au-dessus de la poutre-ceinture A qui couvre le triforium.

La double coupole intérieure s'appuie, par le truchement de 32 piliers simples et 8 piliers doubles (jumelés par la poutre ceinture P¹-P² servant de sous-pavement du triforium).

40 baies occupent les intervalles entre les piliers et sont disposées en huit groupes, alternativement de 7 et de 3 baies, qui forment, à l'intérieur du sanctuaire, une couronne de lumière.

Les mêmes groupes de baies se reproduisent dans la paroi extérieure du triforium réalisant de la sorte une promenade circulaire d'où l'on découvre le plus beau panorama ininterrompu de Liège et de sa banlieue.

colonnes (traversant les montants de la lanterne) supportant la petite coupole de couronnement, ainsi que sa croix massive.

3° La coupole de couverture ou extérieure, de

forme sphérique, reposant sur une base conique, absolument indépendante des autres et dont l'oculus supérieur rejoint librement la poutre ceinture reliant, à hauteur du balcon supérieur, les seize colonnes de la lanterne (voir fig. 33).

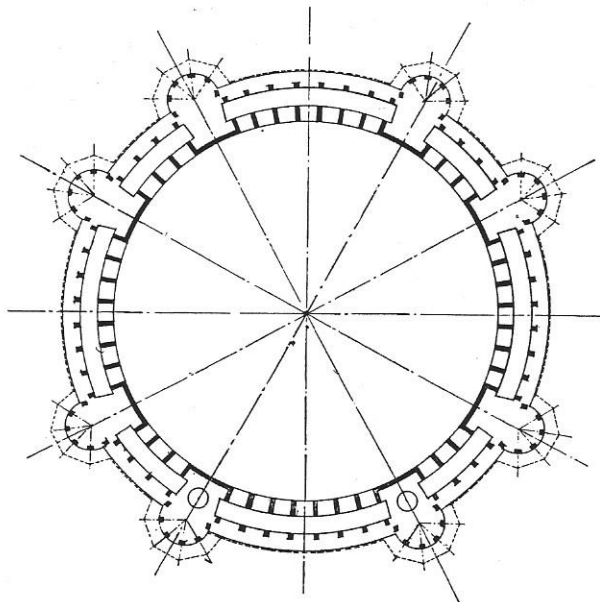


Fig. 34. — Plan au niveau du triforium. Les escaliers d'accès au triforium sont aménagés dans les deux clochetons Nord-Est.

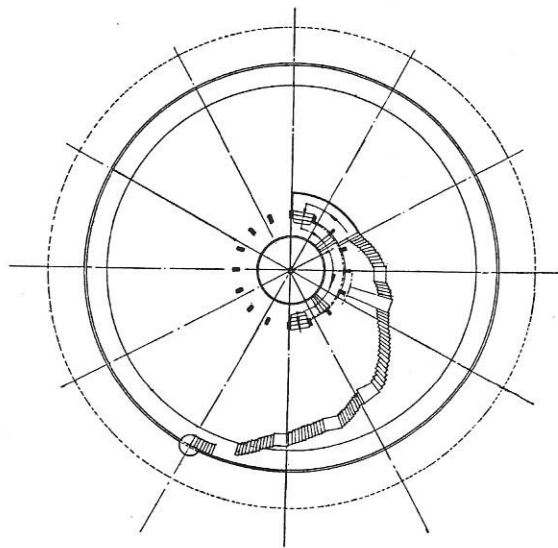
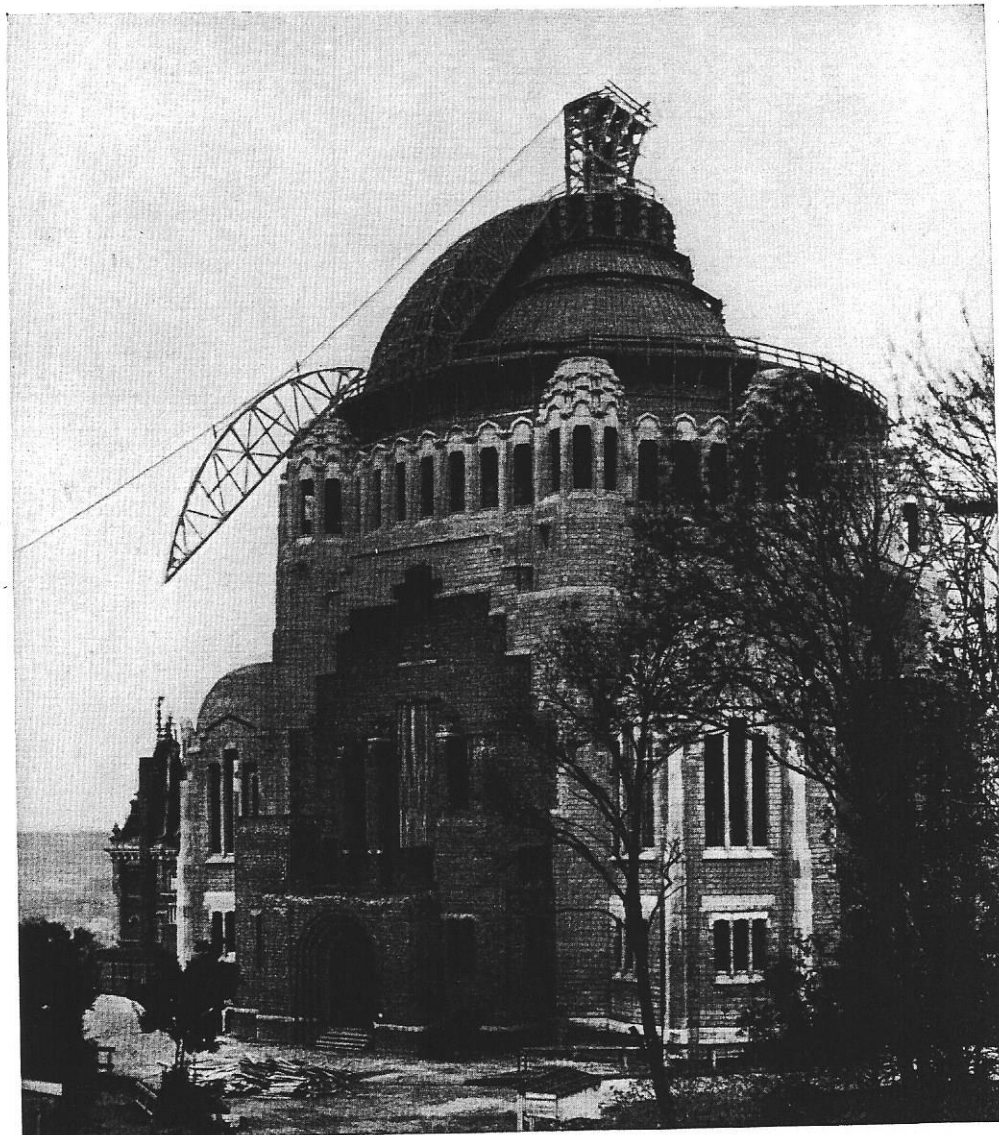


Fig. 35. — Plan au niveau de la lanterne. Un escalier, partant du triforium et serpentant au-dessus des coupoles intérieures, conduit vers un balcon extérieur au niveau de la lanterne de couronnement.

Fig. 36.

Les fermes-segments de cercle du coffrage de la coupole extérieure (de couverture) étaient préparées sur le chantier, suspendues à un câble fixé au sommet de la tour (monte-charge) et amenées à pied-d'œuvre par un second câble mû par un treuil mécanique. (Octobre 1934).



Parti constructif des coupoles en béton armé.

Cette construction a fourni l'occasion d'un emploi des plus intéressants d'enveloppes de révolution sous les formes les plus variées : coupole avec ou sans lunette, semi-coupole, tronc de cône.

Toutes ces enveloppes sont réalisées en simple paroi de faible épaisseur (10 cm. est l'épaisseur maximum) sans aucune nervure raidisseuse.

Les rayons des coupoles sont :

Coupole extérieure : 13^m70 .

Coupole intérieure : 11^m20 .

Semi-coupoles : 3^m35 et 6^m75 .

Un escalier en béton armé encastré sur les parois des coupoles intérieure et moyenne per-

met l'accès facile au balcon qui couronne la coupole extérieure.

La coupole extérieure est totalement indépendante, étant isolée par un joint de dilatation D ; elle se solidarise avec la coupole intérieure par la ceinture A (fig. 33).

Tout le poids de la lunette est repris par seize montants M, qui rapportent une charge de 200 T. sur la ceinture C. Cette charge est transmise sur la ceinture B par le tronc de cône B C.

En B, la charge est de 320 T.; en ce point la coupole intérieure est séparée de la voûte moyenne par un joint.

Tout le poids des coupoles, soit 1.100 T., repose sur la ceinture A et est transmis par les montants du triforium et les parois E (qui prolongent la coupole intérieure) à la poutre circu-

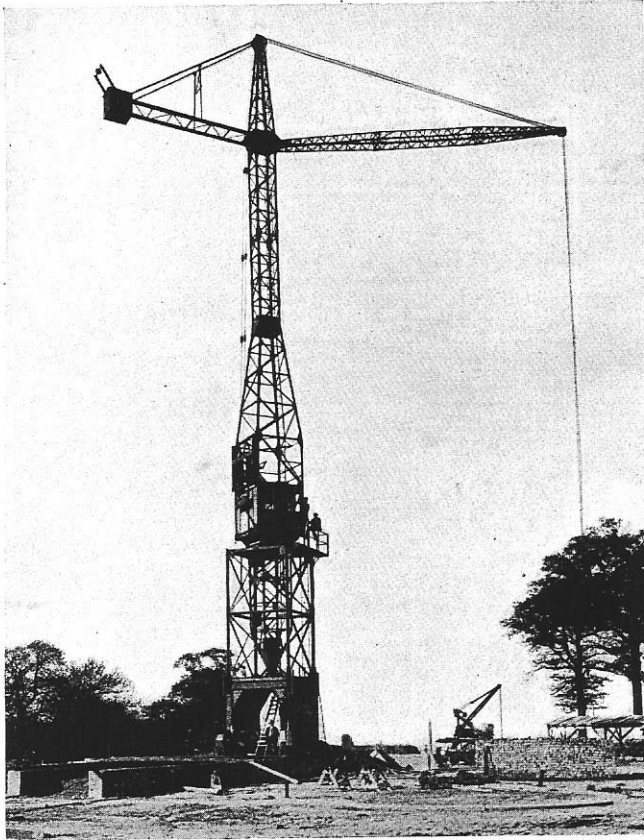


Fig. 37. — *Appareils de maintenance. La grue « Titan Anversois ».*

laire P, cette poutre a un développement de 85 m., avec une charge totale de 1.500 T.

La poutre circulaire P 2 a un développement de 97 m. et porte 570 T.

Ces deux poutres circulaires P 1 et P 2 prennent appui sur les huit piliers en maçonnerie.

Ceux-ci reposent sur le terrain par une dalle armée de 40 m² chacun.

Les parties définitives de la construction se trouvant au-dessus des parties provisoires sont supportées par un système de poutres et plancher F.

L'étude du béton armé du Monument Religieux a été faite par l'Office Technique du Béton Armé des Travaux publics et du Bâtiment, à Bruxelles.

Toutes les coupoles sont recouvertes de feuilles de cuivre laminé et recuit de 5/10 mm. posées sur une couche isolante de feutre asphaltique et fixées, à libre dilatation, par des nervures horizontales qui prêtent à ce mode de couverture un aspect imprévu.

L'entreprise de construction de l'église a été

confiée, après adjudication publique, à la firme Société Anonyme Hallet et Poismans, de Liège, et continuée par l'actuelle firme S. A. Poismans et C^o.

Matériaux. Outillage.

Ce monument international est élevé et sera parachevé en grande partie avec des matériaux belges : matériaux de fondation, de construction et de décoration, marbres, etc. Cependant, afin de réaliser un ensemble dont l'aspect clair et rayonnant tranche sur les collines environnantes et le ciel brumeux du pays de Liège, les parements des façades ont été exécutés principalement avec des moellons blancs qui, de cette nature et de ces dimensions, ne sont point disponibles en Belgique, ainsi qu'avec des pierres de taille dont la matière première, travaillée sur place par une main-d'œuvre de l'endroit, nous était fournie par la France.

Les pierres de revêtement extérieur (principalement de couverture et de saillie) sont celles dites

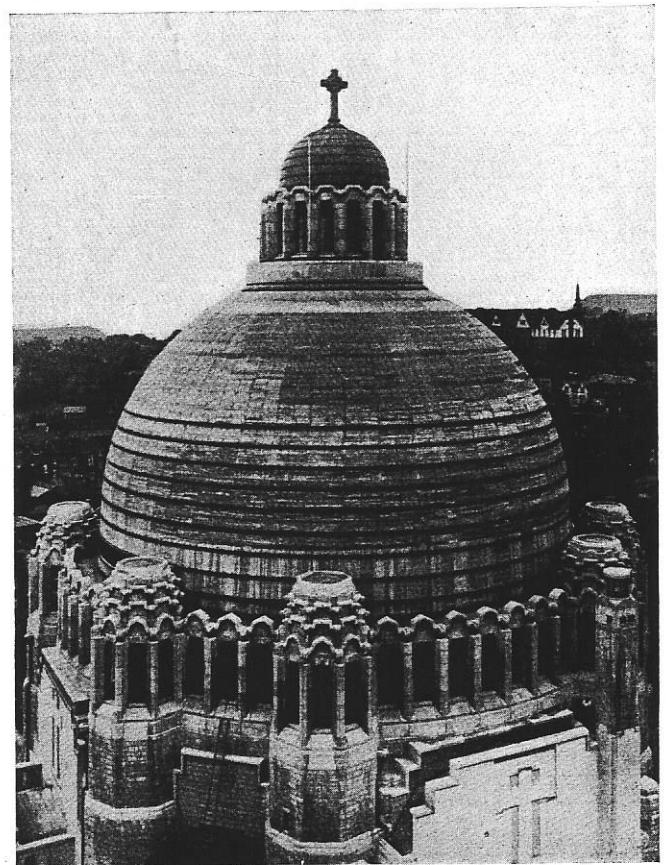


Fig. 38. — *Vue de la lanterne.*

« Mézangère » et proviennent des environs de Commercy dans le département de la Meuse en France.

Les moellons de même nature et de même provenance (carrières Civet-Pommier et C^o, Paris) sont des pierres Mézangère dont la masse est inférieure aux dimensions commerciales des pierres dites « de taille ». Ils ont été mis en œuvre principalement pour les parements pleins, sans saillie, ainsi que pour le revêtement des murs de soutènement.

Ils ont été dégrossis, équarris et travaillés sur leur surface apparente par la taille dite « smillage ».

L'appareillage et la taille des pierres « Mézangère » employées pour l'ensemble des Monuments furent confiés, pour le Monument Religieux, à la firme Lanssens et C^o de Bruges, et pour le Monument Civil à la firme J. Schumacker de Bruxelles.

Toute la manutention des matériaux entrant dans la construction de l'église a été opérée au moyen d'une grue provenant des Ateliers « Le Titan Anversois ».

Cette grue a les caractéristiques suivantes :

Portée : 20 m.

Charge de levage : 1.250 kgs.

Hauteur de levage : 28 m.

Voie de roulement : 3.800 m.

Vitesse de levage : 34^m60 par minute.

Giration : 1,34 tour par minute.

Translation de grue : 25 m. par minute.

Poids de la grue : 31.500 kgs.

Contrepoids : 15.000 kgs.

L'achèvement des Monuments.

L'ensemble des monuments actuellement en construction absorbera déjà $\pm 9.000.000$ de frs et aura nécessité la mise en œuvre d'environ 11.000 m³ de maçonneries, pierres de taille et moellons, 3.500 m³ de béton, 450.000 kgs acier d'armatures pour béton.

L'achèvement des monuments exigera encore la réalisation de $\pm 2.500\text{m}^2$ de pavements en marbres et autres, ainsi que d'une décoration riche de centaines de mètres carrés de revêtements divers. En outre, l'aménagement des abords immédiats comportera le revêtement de plus d'un hectare de superficie en esplanades, terrasses, trottoirs et accès.

Le parement des murs de soutènement, qui comporte environ 850 m², et des plantations d'arbres et de fleurs, assureront finalement la toilette définitive de la butte commémorative.

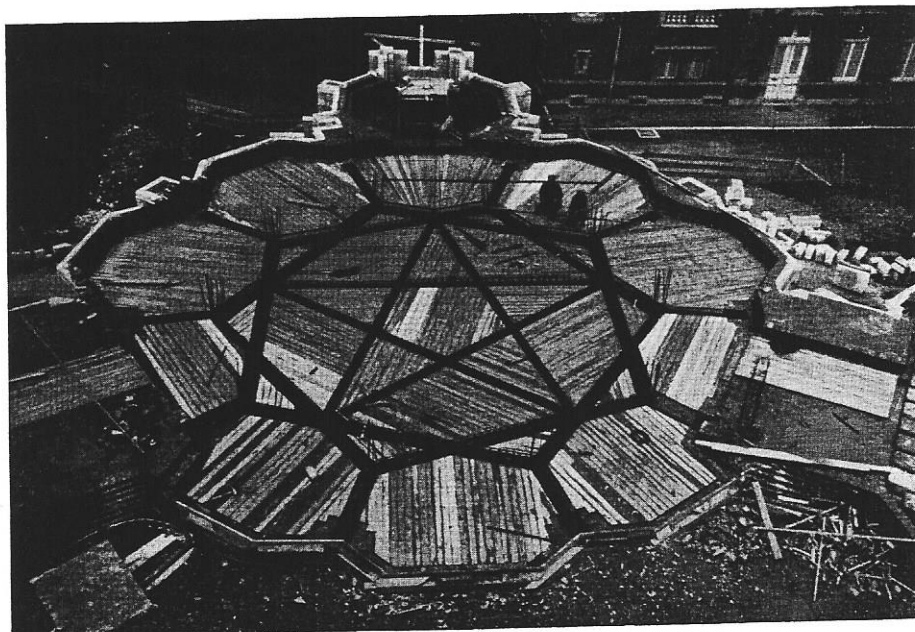
De meilleures voies d'accès à créer ultérieurement sont indispensables pour amener dignement les foules innombrables qui aimeront à venir se recueillir près de ces monuments du souvenir et y contempler un panorama unique.

De son site, d'une beauté rare et presque unique en Belgique, les monuments domineront la vallée qui abrite la « Ville Ardente » et seront visibles



Fig. 39.

La réalisation du hourdis avec poutres enchevêtrées (qui forme, au centre, une étoile à six pointes) couvrant la chapelle basse et ses annexes. La chapelle basse est directement accessible de l'extérieur par un atrium octogonal (côté Nord-Ouest de l'église).

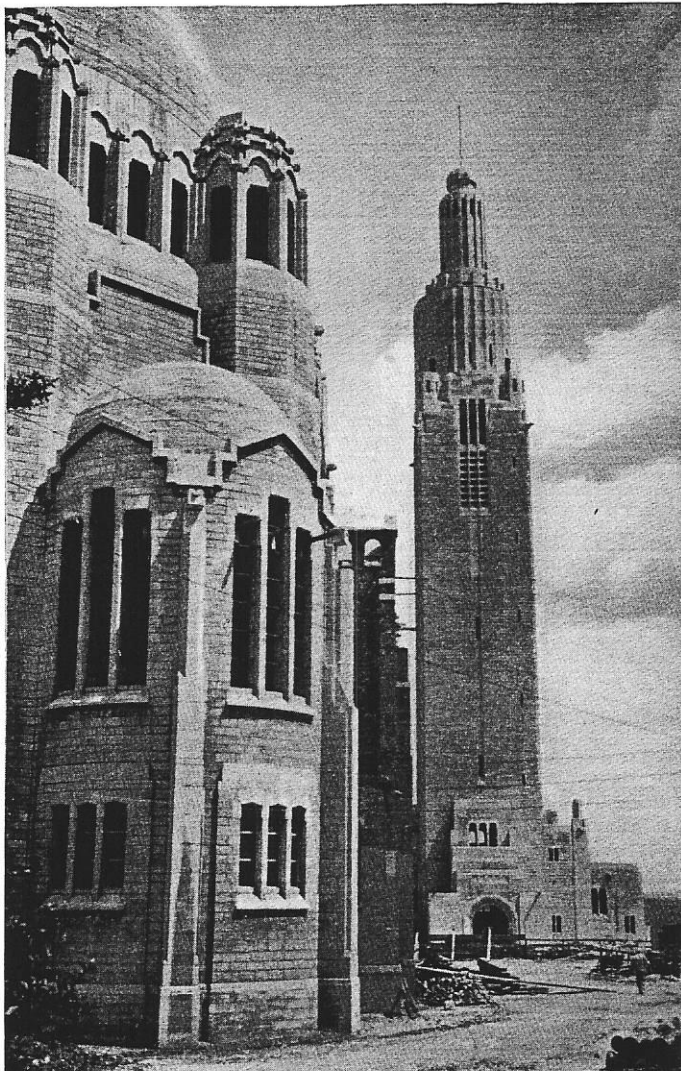


de toutes les promenades qui sillonnent ses collines verdoyantes.

Déjà, à son panorama majestueux, dominé par les pyramides sombres des charbonnages du bassin liégeois, s'ajoutent les silhouettes blanches des monuments de Cointe, réveillant des souvenirs glorieux et suggérant la consolante espérance et le symbole encourageant d'une paix durable et ennoblissante.

La Tour du Monument Civil a permis de découvrir un panorama ininterrompu s'étendant sur toute la périphérie liégeoise, dans un rayon de plus de 15 km. De ce panorama le côté sud-ouest (bassin industriel de Liège, Seraing, etc.) ne fut point visible jusqu'à présent.

Afin de rendre plus aisé au public l'accès aux étages supérieurs de la Tour, on décida l'installation d'une série d'ascenseurs qui, amenant les



visiteurs au balcon situé à $\pm 175^{\text{m}}$, c'est-à-dire à environ 116 m. au-dessus du niveau normal des eaux de la Meuse, permettent, sans la moindre fatigue, de faire la conquête « visuelle » d'immensités insoupçonnées pleines d'une activité débordante.

La construction de l'ensemble des ascenseurs, d'un confort tout moderne et d'un achèvement impeccable, fut confiée aux Ateliers Jaspar à Liège.

Décoration sculpturale.

Les bâtiments actuels forment une réalisation incomplète tant pour le Monument Religieux, provisoirement amputé de plusieurs chapelles et éléments importants que pour le Monument Civil dont les abords immédiats (murs de soutènement, etc.) appellent un complément ultérieur.

Ils ne constituent qu'un gros-œuvre partiel de l'ensemble des édifices projetés.

En outre l'aménagement des voies d'accès et la création de terrasses-belvédères entraîneront plus tard la démolition du château Saint-Maur, qui cache partiellement les constructions à la vue des Liégeois.

La décoration tant intérieure qu'extérieure des Monuments sera complétée au fur et à mesure des contributions des Nations interalliées ou amies.

Toutefois, une partie de cette décoration définitive est déjà en voie de réalisation.

En effet, la France, l'Italie, l'Espagne et la Roumanie s'occupent activement de doter le Monument Civil d'œuvres sculpturales remarquables, tandis que la Pologne prépare l'aménagement décoratif et l'ameublement monumental de la petite chapelle ouest dans le Monument Religieux.

Des aménagements provisoires cependant permettent dès à présent l'accès et la visite par le public.

.....
Fig. 40. — *Les monuments vus du Sud-Ouest (côté Cointe). On aperçoit, à l'arrière-plan, l'entrée de la Salle haute du Monument Civil : l'entrée principale (salle inférieure) se trouvant du côté opposé, vers l'esplanade à $\pm 7,50$ en contre-bas de cette première. A l'avant-plan l'une des quatre chapelles diagonales de l'église.*