

## *Les grands travaux exécutés à la Division des Hauts Fourneaux de la Société Anonyme d'Ougrée-Marihaye, à Ougrée.*

*17 juillet 1923 - 26 janvier 1926 (30 mois).*

PAR MAURICE DERCLAYE, INGÉNIEUR A. I. LG.

*(Suite et fin)*<sup>1</sup>

### D. — Bâtiment de la préparation et accus à charbon.

Ce bâtiment mesure en plan 40 mètres de longueur sur 30 de profondeur; il a 32 mètres de hauteur depuis le fond de la cave jusqu'au sommet de la toiture; il descend à 4 mètres sous le niveau du quai; il a 18 mètres de hauteur entre le niveau du quai et l'assiette supérieure des voies; enfin, la hauteur de la toiture est de 10 mètres.

L'atelier est divisé en deux parties principales; celle des silos 0/15 adossée au terril, comprenant 18 cellules de 4×6 mètres de section et 15 mètres de hauteur utile et celle des machines et appareils divers, composée d'une série d'étages ou planchers: celui des convoyeurs et des soles doseuses sous silos 0/15, le plancher des bennes automatiques, celui des machines: tables trieuses, concasseurs et broyeurs, le plancher des moteurs et des appareils électriques; enfin, le plancher supérieur des voies. Sous la toiture se trouve une passerelle pour les convoyeurs, les appareils de renversement et les appareils d'entraînement.

(1) Voir les numéros d'août et de septembre.

Le plancher des voies comprend les six voies prolongées qui desservent les accus à charbon; ces voies se terminent en cul-de-sac, sauf la troisième voie comptée à partir du côté nord, qui se prolonge sur la crête des accus à minerais.

Les voies 4, 5 et 6 sont placées au-dessus des silos 0/15 et permettent au besoin d'y verser directement les fines à coke. La quatrième voie se trouve à l'aplomb de trémies suspendues à la passerelle des convoyeurs placés sous les combles au cas où l'on désirerait évacuer des charbons éventés remontés de la préparation.

La toiture de l'Atelier de préparation est dans le prolongement de celle qui recouvre les accus à charbon et, au surplus, est pourvue d'un lanterneau d'aérage.

Le bâtiment est adossé au terril, sa paroi côté terres est construite comme mur de soutènement indépendant, ayant par lui-même toute stabilité voulue sans avoir recours à celle du bâtiment proprement dit. La poussée horizontale est neutralisée par des pilots inclinés, sans semelle.

Le corps du bâtiment ne donnant lieu qu'à des charges verticales est entièrement porté par des pieux Franki.



Contre le mur de soutènement sont adossées des béquilles, prenant pied à la semelle et montant jusqu'au niveau de l'usine, c'est-à-dire à la cote 18 m. au-dessus de la berge. La présence de ces béquilles est nécessaire pour servir de soutien à la charpente métallique de la tour de départ des charbons vers les tours des fours à coke. Le poids total de la tour est de 350 tonnes; elle n'aurait pu prendre assise sur le remblai fraîchement remis derrière le mur de soutènement.

Nous avons fait remarquer que le radier se trouvait à 4 mètres en contrebas du quai, soit au niveau normal de flottaison de la Meuse. En cas de crue, dont la plus forte depuis 1880 vient de se produire fin 1925 (5<sup>m</sup>25 au-dessus de l'étiage normal), les caves sont entièrement sous l'eau et le radier est soumis à une poussée correspondant à plus de 5 tonnes par m<sup>2</sup>. On a dû tenir compte de cette poussée dans l'étude du bâtiment et, de plus, prendre de sérieuses mesures pour rendre

la cave étanche sur une section de 40 × 30 mètres et une hauteur de 7 mètres environ.

Nous avons dû abaisser le radier aussi profondément pour loger les pieds des chaînes élévatrices, les tronçons horizontaux de retour des convoyeurs et leurs volumineuses trémies d'alimentation, ainsi que les soles doseuses et les convoyeurs à courroie. Une hauteur utile de 5<sup>m</sup>70 était nécessaire pour loger ces divers appareils, de telle sorte que le plancher de travail principal, c'est-à-dire le plancher des bennes automatiques circulant dans l'atelier et sous les silos à charbon se trouve en réalité à 2 mètres au-dessus du quai, soit à 0<sup>m</sup>50 au-dessus du niveau des plus fortes inondations constatées depuis 1880.

Toute l'installation est donc à l'abri des plus fortes inondations, pour autant que la cave de l'Atelier central soit étanche.

Pour résister à la poussée des fortes eaux en cas de crue, les pieux Franki servant de fondation

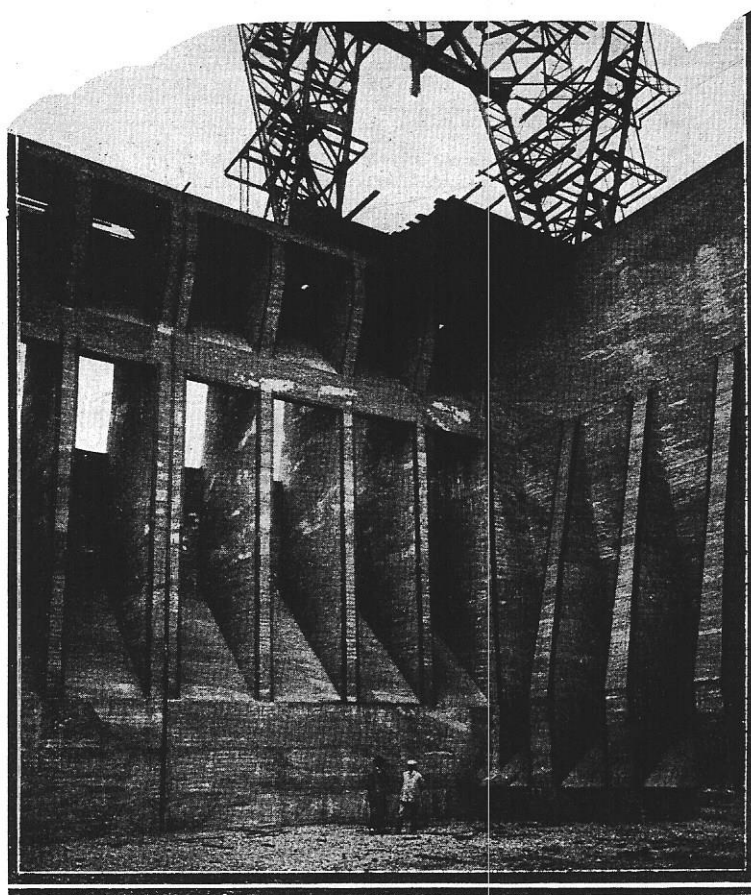


Fig. 1. — *Vue intérieure d'une des six cases des accumulateurs à minerais.*





sont surmontés d'un radier d'une épaisseur de  $1^m50$ , composé d'une série de poutres armées, entre lesquelles se trouve comme remplissage, à fleur de terre, un radier en béton riche et armé, de 20 centimètres d'épaisseur, surmonté d'un remplissage en béton maigre de  $1^m10$  d'épaisseur, surmonté lui-même d'un second radier en béton armé.

Pour s'opposer aux infiltrations de la Meuse, le fond de la cave aussi bien que les parois ont dû être parfaitement rendus étanches par des enduits extérieur et intérieur sur une surface de  $3500\text{ m}^2$ . Aussi, toutes ces parois sont recouvertes d'un enduit au superciment Vanden Heuvel avec incorporation d'hydrofuge « Pudlo ». La composition de cet enduit est la suivante : mélange de sable du Rhin, soigneusement tamisé, avec du superciment dans la proportion de 1 à 2 ; à ce mélange, on ajoute 3 kgs de « Pudlo » par 100 kgs

de ciment. On procède au mélange comme suit : mélanger à sec le ciment et le Pudlo ; tamiser ce mélange à travers un tamis à mailles de 2 à 3 mm. de côté et, en même temps, l'étendre sur le sable sec, préalablement tamisé lui-même. Mélanger le tout à la pelle ; ne jamais mettre en œuvre un mélange fait depuis plus de 1 heure et demie. Avant l'application de l'enduit, toutes les parois ont été soigneusement bouchardées au marteau pneumatique et puis imbibées abondamment d'eau à l'aide d'une lance sous pression, de façon à enlever les poussières et à imbiber le béton d'eau. La surface ainsi préparée a été badigeonnée avec un lait épais d'eau et de ciment (barbotine).

L'enduit, d'une épaisseur de deux centimètres, s'applique en plusieurs couches suivant l'habileté de l'ouvrier, mais une nouvelle couche doit être appliquée dès que la précédente a tout juste la consistance voulue pour permettre ce travail. La

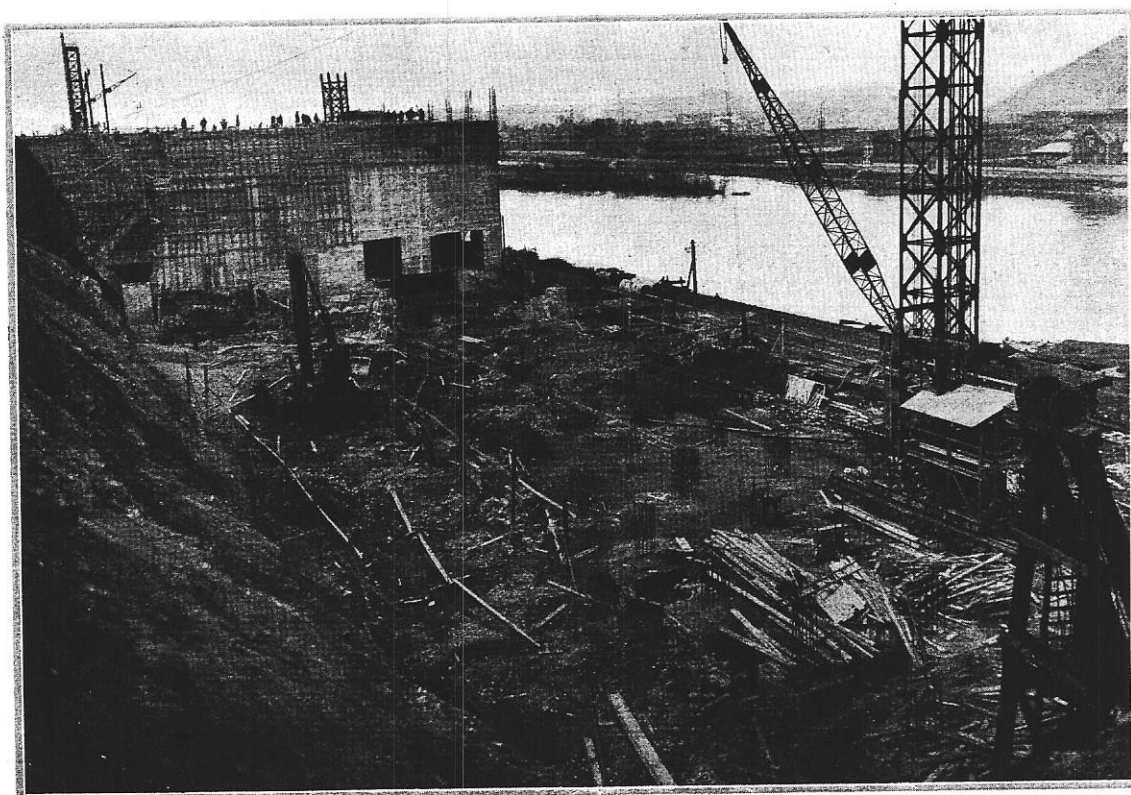
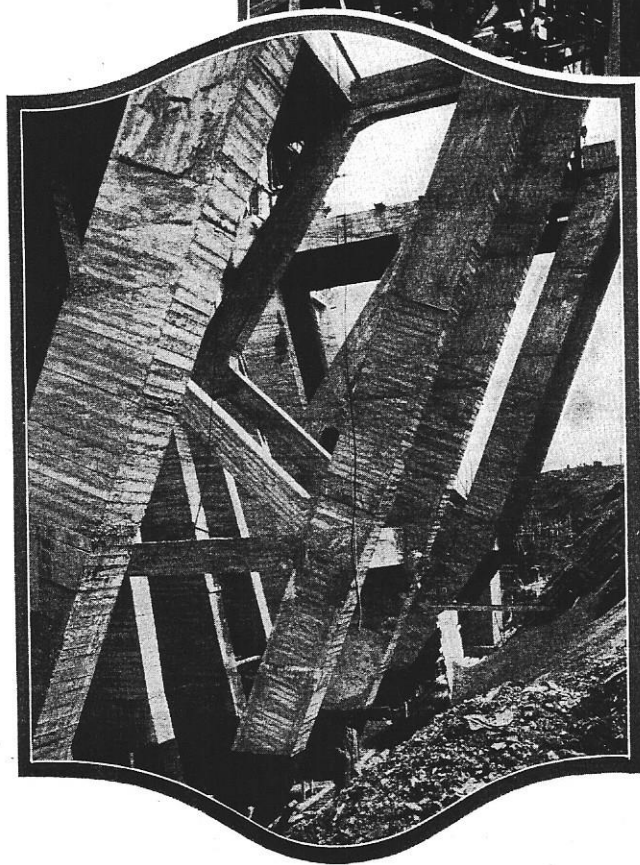
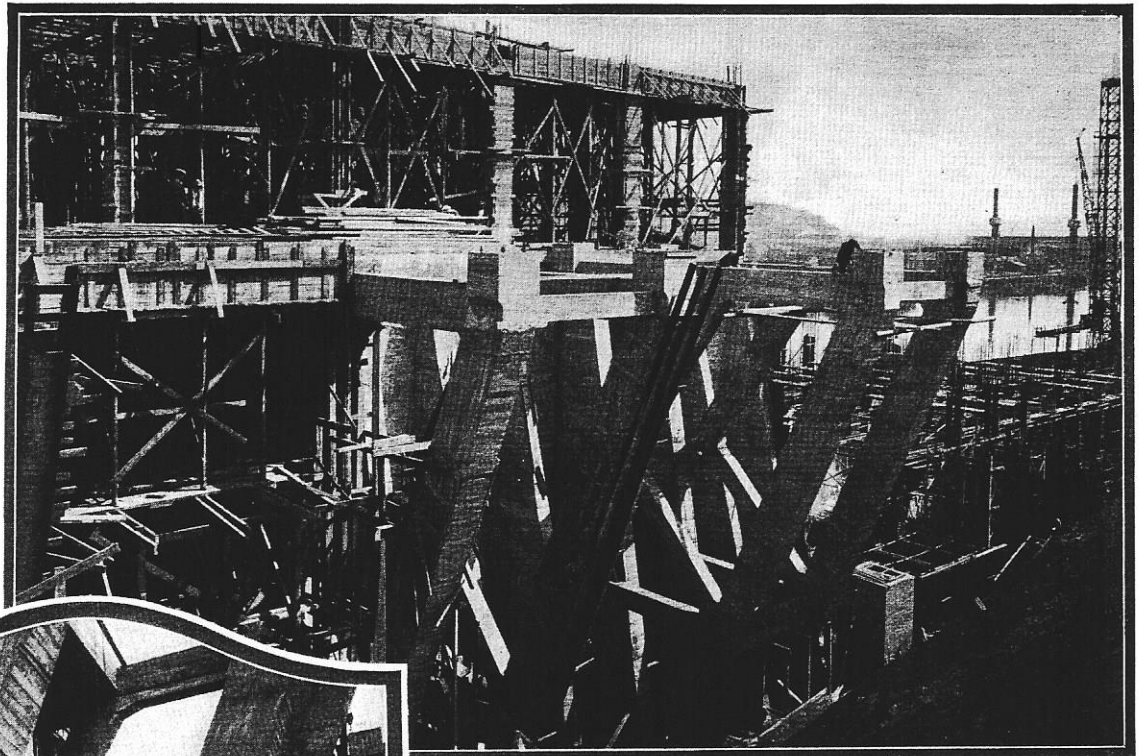


Fig. 2. — Accus à charbon. Exécution des fondations.  
Dans le fond : Atelier de préparation en construction.



|||||

Fig. 3.

*Voici deux autres vues des jambes de forces; celle du dessous vous permet de comparer les dimensions de ces éléments à celles d'un homme.*

|||||



dernière couche a été travaillée très énergiquement de façon à bien serrer le grain et à obtenir une surface polie. On a tenu l'enduit humide pendant 8 jours, après sa confection, par de fréquents arrosages. On a évité les reprises en travaillant jour et nuit. Là où l'on a dû le faire, on a terminé la zone à reprendre plus tard, en forme de biseau. Dans les angles, des arrondis et de larges congés de 10 centimètres de rayon ont été prévus.

Sous le radier de la cave existent six fosses de  $4 \times 4$  mètres de section et de 2<sup>m</sup>10 de hauteur, destinées à recevoir les pieds des chaînes élévatoires à godets. Ces fosses ont été construites avec parois en béton riche, armé, puis recouvertes de métal déployé, noyé dans du béton au superciment et finalement recouvertes de l'enduit au Pudlo.

A l'extérieur du bâtiment, l'enduit a été recouvert de deux couches d'asphalte, puis la tranchée pratiquée tout autour du bâtiment pour l'application de l'enduit a été comblée avec de l'argile pure, sur une épaisseur de 2 m. à la base et de

0<sup>m</sup>50 au sommet. La hauteur totale de ce batardeau est de 7<sup>m</sup>70. L'argile a été placée par couches de 0<sup>m</sup>20 soigneusement damées.

Grâce à ces précautions, nous avons une cave absolument étanche, à tel point que, lors de la formidable crue de décembre 1925, nous n'avons pas eu à enregistrer la moindre infiltration d'eau. Nous pouvons affirmer, sous ce rapport, que l'épreuve d'essai a été concluante et que nous pouvons avoir tous apaisements pour l'avenir.

Comme les charbons emmagasinés sont humides et que l'eau d'égouttage recouvre le sol de la cave et descend dans les fosses à chaînes, nous avons réuni ces fosses entre elles par un tuyau de drainage de 120 mm. de diamètre, raccordé à un puisard étanche placé en dehors du bâtiment. Une pompe d'assèchement est installée sur le puisard.

La construction du bâtiment n'offre aucune particularité, sauf le plancher des machines. Ces machines, tables à secousses, concasseurs et broyeurs, peuvent donner lieu à des vibrations dangereuses en cas de synchronisme; le plancher doit absorber

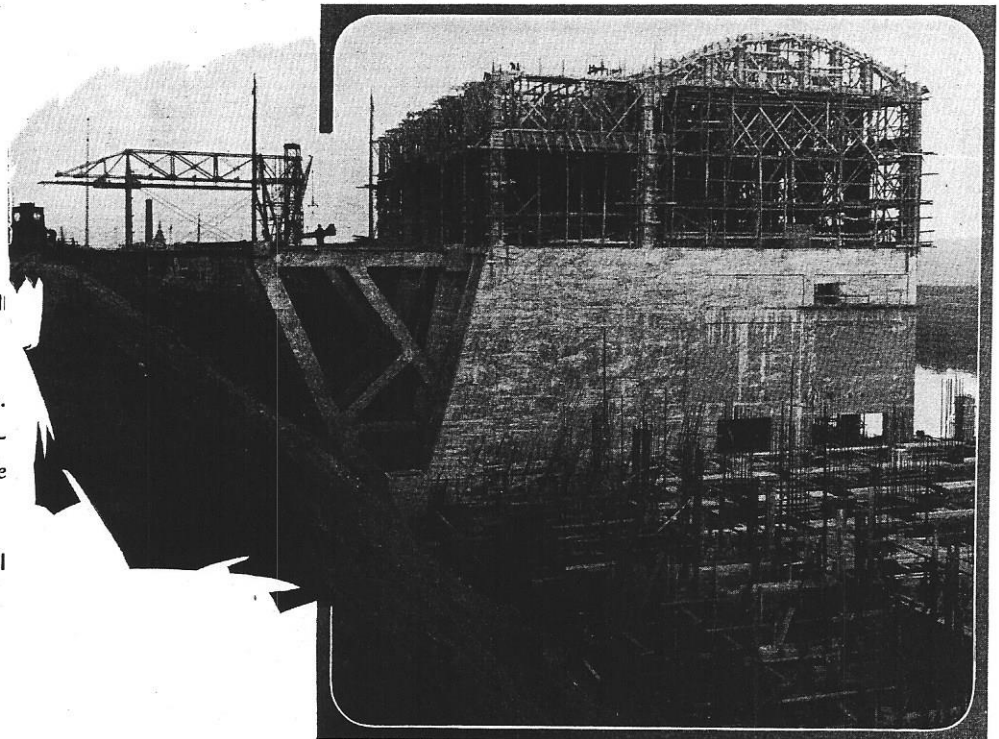


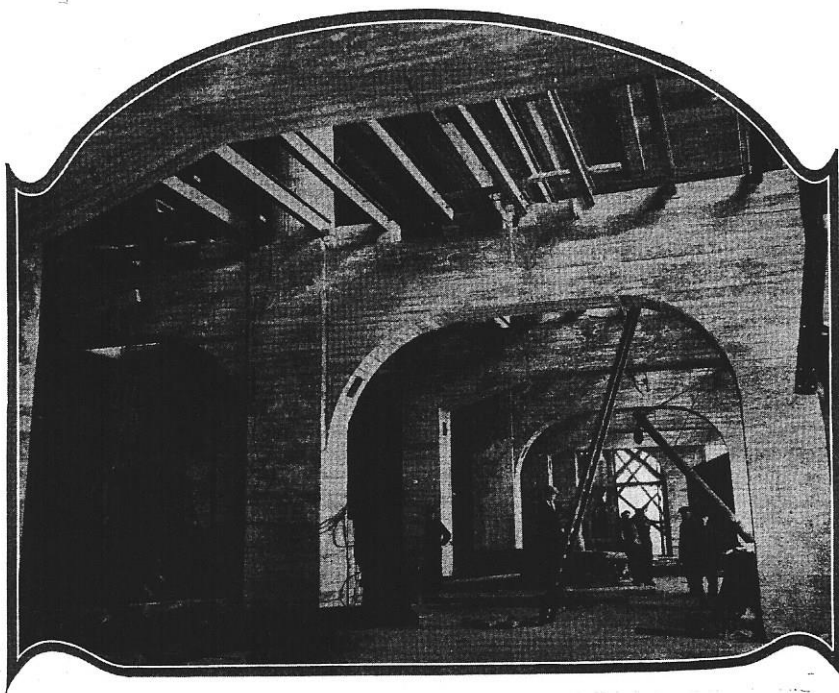
Fig. 4.

*Atelier de préparation des charbons.  
A gauche, les jambes de force destinées à supporter la station de déchargement de l'aérien.*



Fig. 5.

Atelier de préparation des charbons. Vue intérieure montrant le plancher du monorail.



ces vibrations éventuelles sans les reporter aux parois; de plus, il doit se prêter à une fixation rationnelle des bâtis de ces machines.

Pour ces raisons, le plancher est métallique et constitué sous chaque bâti de machines, de deux fortes poutrelles espacées suffisamment pour laisser passer les boulons de fixation. D'autre part, pour éviter que les vibrations ne nuisent à la stabilité des parties principales du bâtiment, ce plancher est constitué de trois parties identiques correspondant aux trois groupes de la préparation.

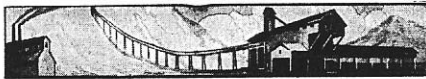
Chaque partie s'appuie sur un mur de 1 m. d'épaisseur qui coupe le bâtiment perpendiculairement à la façade. Ces murs, à l'étage inférieur, sont voûtés en plein cintre pour livrer passage aux bennes automatiques. Les culées sont fortement arc-boutées, d'une part à la poutre formidable qui supporte les trémies à 0/15 et, d'autre part, à de forts pilastres servant de trumeaux côté façade. Ces murs de refend servant d'appui au plancher métallique des machines, présentent ainsi de grandes masses solidement ancrées, susceptibles d'amortir et d'absorber toutes les vibrations possibles.

Entre les poutrelles on a bétonné des voûtes

armées de 25 centimètres d'épaisseur; la construction a entièrement répondu au but poursuivi et nous n'avons constaté aucune vibration ou dislocation après un an de marche. Il faut ajouter que les tables à secousses et les broyeurs ont été tellement bien équilibrés que les possibilités de vibration ont été réduites au strict minimum.

La toiture de l'Atelier mérite une mention; elle est à deux travées, l'une de 20<sup>m</sup>40 et l'autre de 10<sup>m</sup>20, composées de nervures paraboliques, à tirants en béton armé système Moysse, exécutés sans coffrages. Le dallage est recouvert de carton bitumé à joints soudés à l'asphalte, le tout recouvert d'une couche d'asphalte. La toiture est supportée par des arcs paraboliques distants de 6<sup>m</sup>50 d'axe en axe ayant respectivement comme sections transversales 60 × 30 et 40 × 20 cm. Les tirants en béton armé mesurent respectivement 40 × 30 et 30 × 20 cm.

Ces arcs prennent appui sur des colonnes; les colonnes intérieures sont encastrées tandis que les colonnes extérieures sont pourvues, chacune, de deux semi-articulations. Le grand arc a une flèche de 3<sup>m</sup>50, et le petit une flèche de 1<sup>m</sup>75.



Pour la construction de la couverture prenant appui sur les arcs, on a voulu éviter l'emploi de coffrages et, dans ce but, on s'est servi des hourdis creux, système Moysse. On commence par poser sur les arcs de petites nervures en béton de forme triangulaire de  $7 \times 7$  cm. environ de section, armées d'un fer T renversé de  $40 \times 30 \times 4$  millimètres; on en place trois par mètre; leur longueur est de 6<sup>m</sup>50 environ.

Sur ces petites poutres légères, soutenues d'ailleurs par des étaçons en leur milieu, on place des corps creux en béton de cendrée, de 20 cm. de hauteur; ces corps laissent entre eux un vide de 10 cm. environ dessinant des espèces de canaux continus allant d'arc en arc. Au-dessus des arcs et vers la partie supérieure de ces petits canaux, on place trois ronds de 14 mm. et on coule ensuite du béton dans les canaux et au-dessus des corps creux, de façon à couvrir ceux-ci d'une couche de 2,5 cm.

Les fers T des petites poutres placées initialement sont les armatures tendues des hourdis ainsi constitués; les trois ronds de 14 mm., placés au-dessus des arcs paraboliques, en sont les armatures de continuité.

L'étanchéité a été obtenue par une couverture en roofing, un ply en deux couches, à joints interposés, collées au béton et entre elles; les chéneaux ont reçu trois couches.

La toiture a été calculée pour une surcharge de 150 kg./m<sup>2</sup>; son poids mort total est de 280 kgs par m<sup>2</sup> (non compris les arcs).

Comme moment au milieu, on a admis  $\frac{1}{10}$ , aux appuis  $\frac{1}{14}$  de  $pl^2$ , expression dans laquelle  $p$  est la charge totale.

Dans le calcul de ce système, on doit surtout ne pas oublier l'action des efforts tranchants dans les nervures très minces composées de deux parties non parfaitement soudées. Grâce à l'adoption de proportions bien calculées, cette toiture donne de bons résultats.

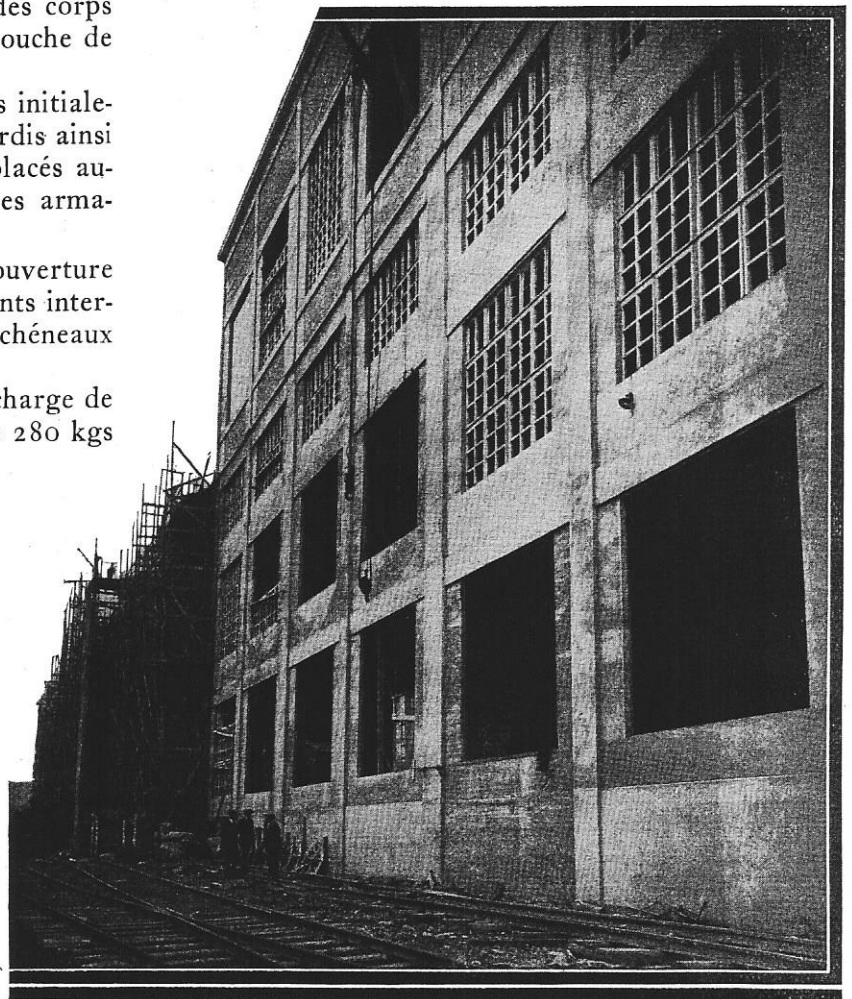
La toiture est économique et de pose très rapide.

Le bâtiment comporte un ascenseur électrique, placé dans le coin ouest en face de la première voie; il fait communiquer tous les étages et sert à la remonte des pièces avariées et à leur évacuation vers les ateliers de réparation.



Fig. 6.

Façade de l'Atelier de préparation des charbons, côté Meuse.





Ce bâtiment est enfin pourvu d'un escalier spacieux en béton, faisant communiquer tous les étages et placé intérieurement près de l'ascenseur. Il est dédoublé par un escalier extérieur accolé à la face ouest dans l'angle formé par le pignon de l'Atelier et le mur d'about des accumulateurs à minerais. Un troisième escalier métallique en spirale est placé au centre contre la face nord. Cet escalier est principalement affecté au service électrique pour accéder rapidement aux appareils des divers étages; il part du plancher des caves, aboutit à celui des bennes et passe à l'étage des moteurs, au centre des tableaux de manœuvre.

L'Atelier ne possède qu'une façade pour recevoir la lumière, du côté nord. Cette façade est percée à tous les étages de larges baies ne laissant que de faibles trumeaux; les châssis des fenêtres sont en béton armé du système « Cimarmé », garnis de verre martelé. La façade est entièrement recouverte d'un enduit en ciment et son aspect sévère et harmonieux rappelle l'aspect des constructions américaines.

Les béquilles derrière le bâtiment de la préparation, qui prennent pied sur le bon terrain, supportent la plate-forme d'une étendue de  $18 \times 14,30$ , destinée à porter les charges de la tour de départ. La charge totale est de 1308 tonnes réparties en 12 points, recevant chacun une charge de 110 tonnes.

Les béquilles, au lieu de se trouver au droit des contreforts du mur de soutènement, sont placées entre ces derniers; on a dû les y ancrer par l'intermédiaire de poutres horizontales à forte section.

### E. — Silos à charbon.

Ils s'étendent sur une longueur de 100 m. le long de la Meuse et occupent la même largeur de 30 mètres que le bâtiment de la préparation des charbons dont ils forment le prolongement.

Les voies d'accès sont situées à 18 m. au-dessus du niveau du quai. Les silos comprennent 30 cellules de  $10 \times 10$  m. de section et de 13 m. de hauteur *h* utile, disposées en trois rangées de 10 et capables d'emmagasiner 30.000 tonnes de charbon de provenances diverses.

Sur chaque rangée courent deux voies parallèles à écartement normal; il y a donc six voies

de déchargement en tout, dont cinq se terminent en cul-de-sac au pignon ouest du bâtiment de la préparation. La sixième voie, c'est-à-dire la troisième comptée à partir de la façade nord des accus, traverse le bâtiment de la préparation et se prolonge sur la crête côté Meuse des accus à minerais. Le pavement inférieur des silos est situé à 2<sup>m</sup>40 au-dessus de la berge et est ainsi à l'abri des plus fortes crues de la Meuse.

Une toiture recouvre la surface entière des silos pour protéger les approvisionnements de charbon contre les intempéries; elle se compose,

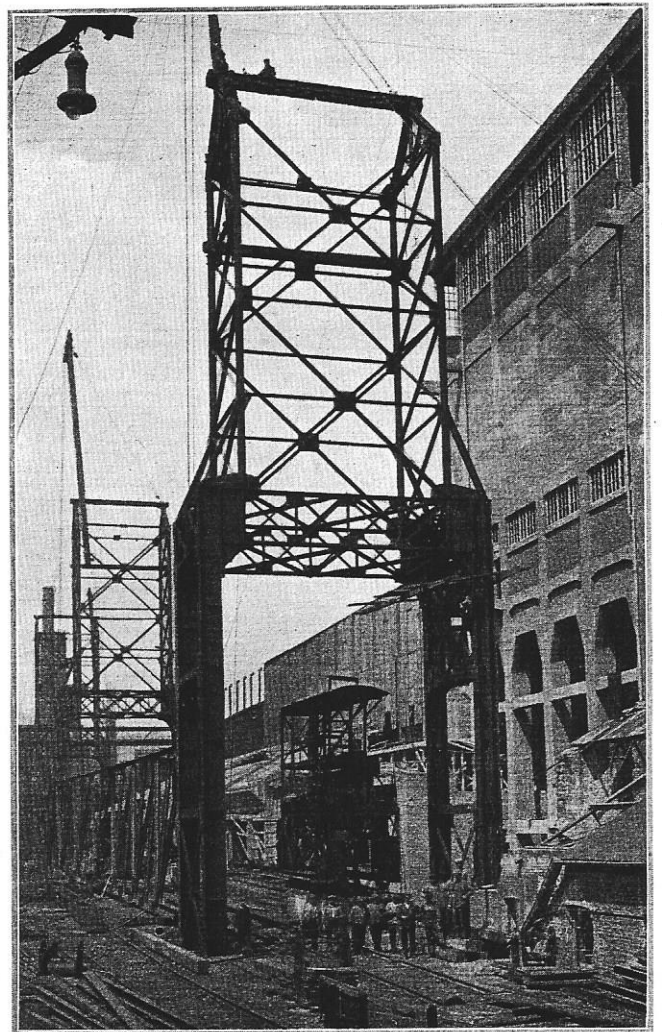


Fig. 7. — Montage des pylônes du pont du monorail devant les fours.





Fig. 8.

*Cases de préparation des charbons.  
Vue prise en janvier 1925.*

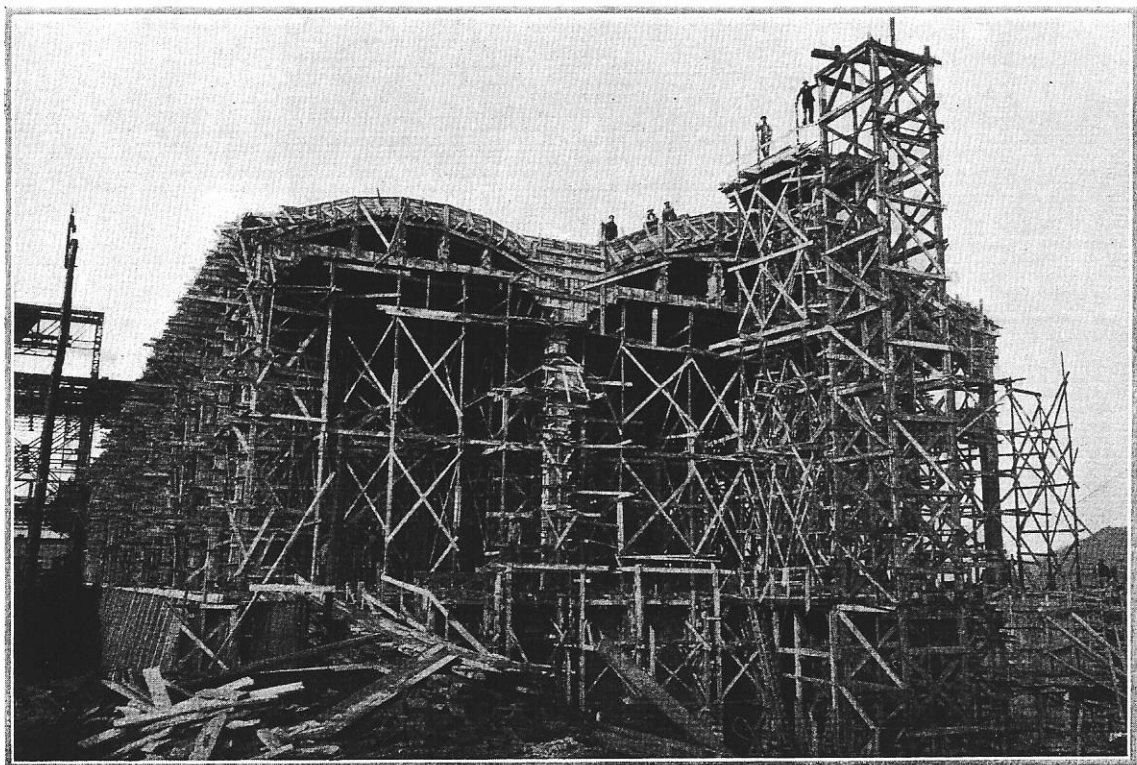
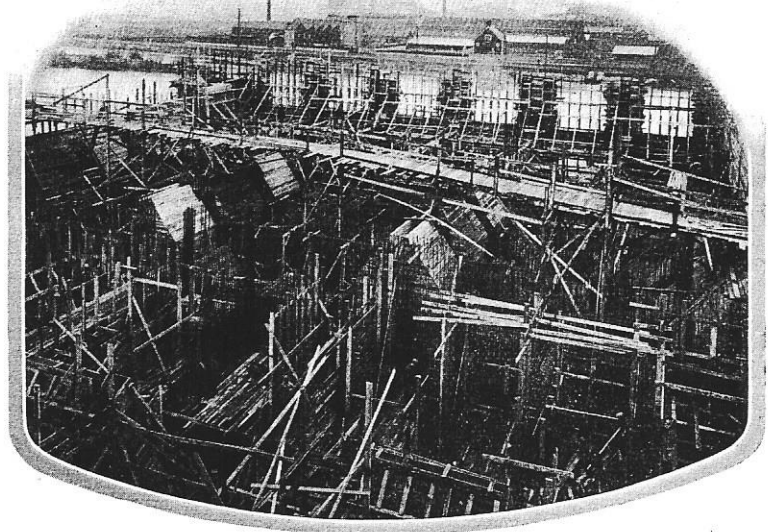


Fig. 9. — *Accus à charbon. Coffrage des trémies, des fermes et de la toiture.*





comme la toiture de la préparation qui en forme le prolongement, de deux travées, l'une de 20<sup>m</sup>40 et la seconde de 10<sup>m</sup>20. Sous la travée de 20<sup>m</sup>40 circule un pont roulant à grappin de 5 tonnes, capable de décharger les wagons à raison de 100 tonnes à l'heure.

La paroi des silos, située contre le remblai, forme un mur de soutènement indépendant, ayant toute stabilité propre sans l'aide des silos qui,

toutefois, lui donnent une stabilité supplémentaire. Pour résister à la poussée horizontale des terres, on a prévu une série de pieux inclinés sous la semelle. Par contre, sous les colonnes des silos proprement dits, il n'y a que des pieux Franki destinés à supporter les seules charges verticales.

Chaque case de 10 × 10 m. comporte à la partie inférieure 4 goulottes, sauf cependant 6 d'entre elles, 3 à l'extrémité est et 3 à l'extrémité

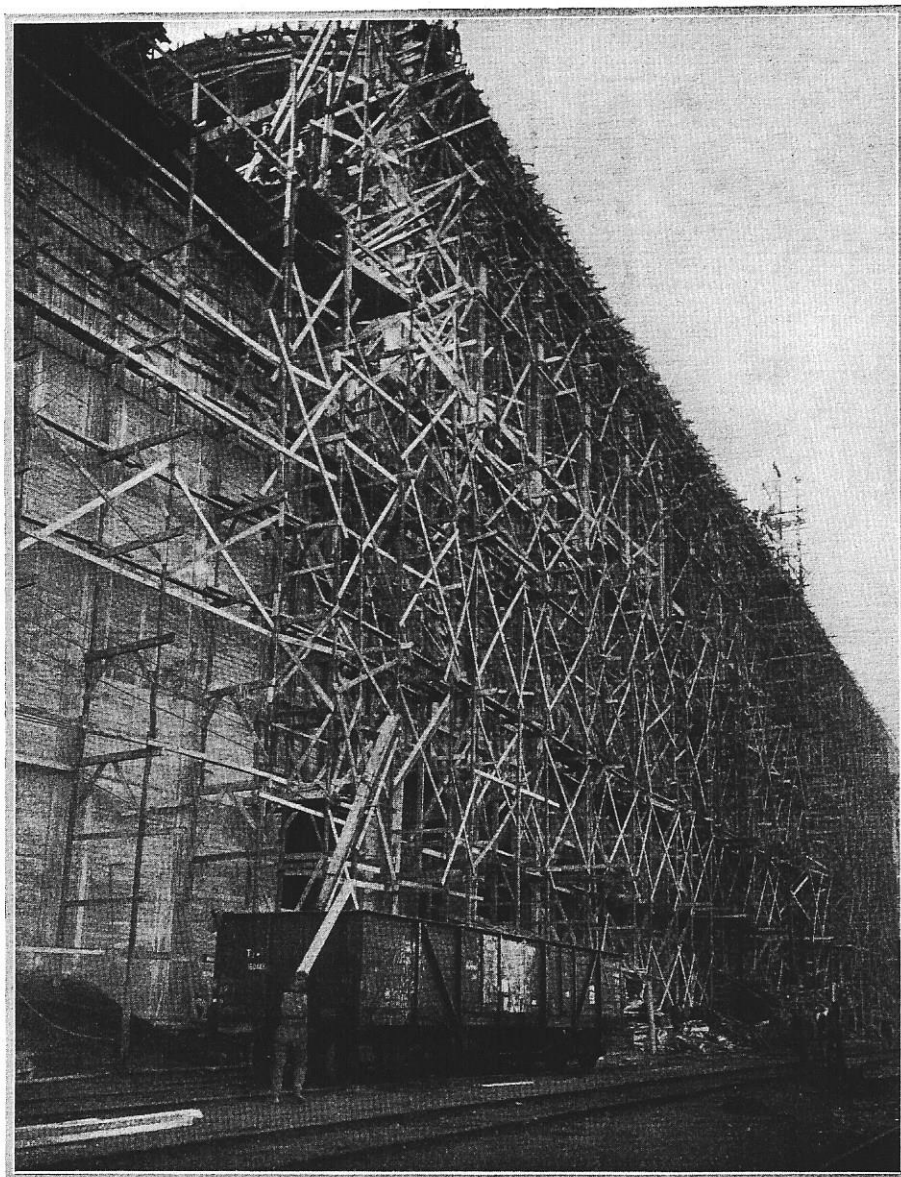


Fig. 10. — *Accus à charbon. Coffrage côté Meuse.*

ouest, qui n'en comportent que deux, à cause des tracés de retour de la voie suspendue des bennes automatiques de reprise des charbons. Il y a donc en tout  $(24 \times 4) + (6 \times 2) = 108$  goulottes de reprise.

Le radier des silos comporte des quais surélevés entre les rangées de goulottes pour permettre au seul ouvrier chargeur la libre commande des leviers. Sous le radier, nous avons prévu toute une série de caniveaux pour l'écoulement des eaux d'égouttage des charbons.

Au-dessus des silos, on a prévu un jeu de grilles permettant le concassage des houilles de calibre supérieur à 100 mm., avant emmagasinement. Le but de ces grilles est aussi de permettre la circulation du personnel qui assure le déchargement des wagons et d'éviter la chute dans les silos.

La construction, en elle-même, n'offre rien de particulier; elle est divisée en trois tronçons rendus indépendants par des joints de dilatation.

La façade cimentée est percée de larges baies entre le niveau du radier et la naissance des mamelles des goulottes. Ces baies donnent un éclairage parfait sur toute l'étendue du plancher de travail. Des baies ajourées surmontent les premières, armées de châssis de fenêtres en béton

armé, et assurent une bonne ventilation. Des cordons de briques rouges encadrent les fenêtres; le soubassement et les baies ajourées sont aussi en briques rouges, ce qui donne à la façade un cachet agréable et de grand style.

Une tuyauterie générale à eau, à trois embranchements logés dans la partie supérieure des joints de dilatation, avec prises jumelles à chaque joint, assure une distribution efficace d'eau en cas d'incendie ou d'échauffement des charbons dans les silos.

Les six voies courant sur les accus à charbon abordent ces derniers par un remblai retenu par un mur de soutènement de 100 mètres de long, de hauteur variant de 5 à 18 mètres. Ce mur, appelé mur de soutènement est, est en béton armé bâti sur pieux inclinés.

Toutes ces constructions en béton armé ont été étudiées et montées par la Compagnie Internationale des Pieux Armés Frankignoul, à notre entière satisfaction, en 25 mois de travail, avec une compétence et une conscience dignes de tous les éloges. Nous sommes heureux de pouvoir remercier MM. Dewandre, Directeur, et E. Frankignoul, Administrateur de la firme, d'avoir su mener à bonne fin un ensemble de constructions aussi



Fig. 11. — Silos à charbons. Vue des trémies.



vastes et aussi variées dans un si court laps de temps, grâce à leur large conception des moyens ultra-modernes mis en action.

Nous tenons aussi à exprimer toute notre gratitude à M. Magnel, chargé de cours à l'Université de Gand et Directeur du laboratoire de béton de l'E. B., que nous avons choisi comme expert pour la vérification des calculs. M. Magnel s'est dépensé au cours du travail et ne nous a pas ménagé ses précieux conseils. Il nous est particulièrement agréable de rendre publiquement hommage à sa science profonde, à la sincérité et à la loyauté de son caractère dans la recherche rationnelle des solutions adéquates aux multiples et graves problèmes qui ont surgi au cours des études de cette entreprise considérable.

F. — Matériaux mis en œuvre et organisation des chantiers.

A) Matériaux mis en œuvre.

Le chantier de la division des HF d'Ougrée est le premier chantier important comprenant des constructions aériennes où l'on se soit exclusivement servi de ciment de laitier pour la confection des bétons armés, et même plus, où le béton est exclusivement composé de sous-produits de HF : plaquettes 5/30 de laitier, laitier granulé tout venant ou broyé, ciment de laitier.

1. — Caractéristiques du ciment de laitier employé :

- Refus sur le tamis de 4.900 mailles . . . 10,3 %. Densité: 2,82
Commencement de la prise . . . . . 0 h. 40 minutes.
Fin de la prise . . . . . 5 heures.
Résistances du mortier :

Table with 3 columns: Désignation, A la traction, A la compression. Rows show strength at 1 day, 6 days, and 27 days.

L'essai sur béton a été réalisé sur des cubes de 20 cm. de côté, conservés à l'air dans un local non chauffé, tenu humide dans les premiers jours. On a opéré sur deux dosages (béton alpha et béton beta) avec le ciment ci-dessus. Les essais ont porté sur les résistances à la compression, à deux, quatre semaines et trois mois.

Les matières inertes mises en œuvre étant toutes des sous-produits des HF, voici la composition des bétons :

Table with 3 columns: Désignation, Béton alpha riche, Béton beta maigre. Rows list ingredients like Plaquettes de laitier, Laitier granulé broyé, Ciment de laitier, and Eau.

Ces bétons ont été très énergiquement damés dans des moules métalliques. Voici les résistances obtenues :

Table with 4 columns: (empty), 2 semaines, 4 semaines, 3 mois. Rows show strength for Béton alpha and Béton beta.

On voit que le ciment de laitier fabriqué dans notre Division est équivalent à un portland de bonne qualité. En effet, et pour montrer la qualité exceptionnelle du béton composé de sous-produits de HF, comme matières inertes, nous avons fait exécuter des expériences comparatives sur trois bétons A, B et C. Tous trois étaient fabriqués au ciment de laitier; le béton A renfermait comme matières inertes du laitier concassé et du laitier granulé broyé; le béton B du gravier et du sable du Rhin, le béton C des plaquettes et du poussier de porphyre.

Nous donnons ci-dessous les dosages exacts; notons que l'on a réalisé dans tous les cas un mélange qui, exprimé en volume, correspond à 1,00 : 1,28 : 2,50, la quantité d'eau étant déterminée chaque fois, de façon à avoir la même plasticité; cela nous a amenés à adopter comme ration d'eau x les valeurs suivantes : (Le poids de ciment a été supposé égal à 1 tonne par m³.)



Pour le béton A,.....x = 0,61  
 » » B,.....x = 0,61  
 » » C,.....x = 0,73

Le m<sup>3</sup> de béton fini renfermait les quantités suivantes de matières : (Voir le tableau au bas de la page.)

Si le béton B renferme moins de volume de matières, mesurées séparément, au m<sup>3</sup>, c'est que le gravier du Rhin renferme moins de vides que les autres matières inertes (0,42 contre 0,52 environ). Il y a donc des éléments fins surabondants dans le béton B, il y en a trop peu dans le béton C et probablement aussi dans le béton A.

Voici les résistances obtenues en kgs/cm<sup>2</sup> :

|                      | Béton A | Béton B | Béton C |
|----------------------|---------|---------|---------|
| A 3 jours . . . . .  | 144,5   | 136,8   | 64,8    |
| A 7 jours . . . . .  | 228,0   | 194,5   | 111,9   |
| A 28 jours . . . . . | 288,0   | 209,6   | 190,2   |
| A 90 jours . . . . . | 409,1   | 280,5   | 267,0   |

Ces bétons ont été essayés sur des cubes de 20 cm. de côté, fabriqués dans des moules métalliques et conservés dans un local non chauffé.

On voit combien plus grande est la résistance du béton A composé de ballast de laitier et de gravulé broyé.

Nous savons bien que le béton C avait un « Water ratio » plus élevé que les autres et qu'il aurait été amélioré en augmentant le dosage en poussier afin de faire un béton plus compact; néanmoins, l'expérience est significative et permet de conclure à la supériorité des laitiers comme matières inertes chaque fois que l'on travaille avec du ciment de laitier. Ne serait-ce pas parce que le laitier broyé fait quelque peu office de ciment ? Observons, d'autre part, que le laitier concassé se

présente sous forme de morceaux poreux, à surface rugueuse, ce qui facilite l'adhérence parfaite du mortier.

M. Magnel a étudié l'influence du broyage du laitier granulé; il a fait des essais comparatifs de mortier à la compression en utilisant du laitier granulé sous trois états différents. (Voir fig. 12.)

| 1) Laitier granulé tout venant | 2) Lait. granulé grossièrement broyé | 3) Lait. granulé finement broyé | Observations              |
|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| 100 0/0                        | — 0/0                                | —                               | passent le tamis de 8 m/m |
| 92 »                           | —                                    | —                               | » » 6 »                   |
| 86 »                           | 100 0/0                              | 100 0/0                         | » » 4 »                   |
| 73 »                           | 75 »                                 | 95 »                            | » » 2 »                   |
| 39 »                           | 54 »                                 | 86 »                            | » » 1 »                   |
| 19 »                           | 33 »                                 | 63 »                            | » » 0,55 m/m              |
| 6 »                            | 22 »                                 | 41 »                            | » » 0,33 »                |
| 2 »                            | 13 »                                 | 36 »                            | » » 0,13 »                |
| — »                            | 7 »                                  | 19 »                            | » » 0,093 »               |

**Composition des matières fabriquées à l'aide de ces 3 sortes de laitier granulé.**

| Désignation                               | Mortier 1               | Mortier 2               | Mortier 3               |
|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Sable de Bilsen. . .                      | 560 litres              | 539 litres              | 545 litres              |
| » de Moll . . .                           | 186 »                   | 180 »                   | 182 »                   |
| Laitier granulé . . .                     | 512 »                   | 495 »                   | 500 »                   |
| Ciment de laitier . . .                   | 495 kilogs              | 477 kilogs              | 482 kilogs              |
| Eau . . . . .                             | 265 litres              | 256 litres              | 259 litres              |
| Fluidité à la table à secousses . . . . . | 1,86                    | 1,73                    | 1,6                     |
| Résistance à 14 jours                     | 114 kgs/cm <sup>2</sup> | 138 kgs/cm <sup>2</sup> | 159 kgs/cm <sup>2</sup> |

Ces résultats mettent admirablement en lumière la nécessité qu'il y a de broyer le laitier granulé si l'on veut mettre en œuvre ses qualités pouzzolaniques.

| Béton A                           | Béton B                      | Béton C                              |
|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| Laitier concassé (5/30) . . . . . | Gravier du Rhin . . . . .    | Plaquettes porphyre (5-20) . . . . . |
| 1000 l.                           | 860 l.                       | 950 l.                               |
| Laitier granulé broyé . . . . .   | Sable du Rhin . . . . .      | Poussier de porphyre (0-2) . . . . . |
| 500 l.                            | 430 l.                       | 475 l.                               |
| Ciment de laitier . . . . .       | Ciment de laitier . . . . .  | Ciment de laitier . . . . .          |
| 388 kgs                           | 335 kgs                      | 370 kgs                              |
| Eau . . . . .                     | Eau . . . . .                | Eau . . . . .                        |
| 169 l.                            | 146 lit.                     | 192 l.                               |
| Rapport ciment/eau . . . . .      | Rapport ciment/eau . . . . . | Rapport ciment/eau . . . . .         |
| 2,28                              | 2,28                         | 1,95                                 |



Essais sur le retrait du béton au ciment de laitier. — Les deux courbes moyennes de retrait sont représentées sur la figure ci-jointe pour les bétons A et B, à côté de la courbe moyenne de retrait pour du béton au ciment Portland. (Voir diagramme II, fig. 13.)

Le béton B avec gravier et sable du Rhin et ciment de laitier prend un retrait double de celui

du béton fabriqué avec les mêmes matières inertes, mais avec du ciment Portland. Le béton A, confectionné uniquement avec des sous-produits des HF, prend au contraire un retrait beaucoup plus petit.

Ainsi il n'y a rien d'absolu en matière de retrait: tout dépend du mélange des matières inertes mises en œuvre.

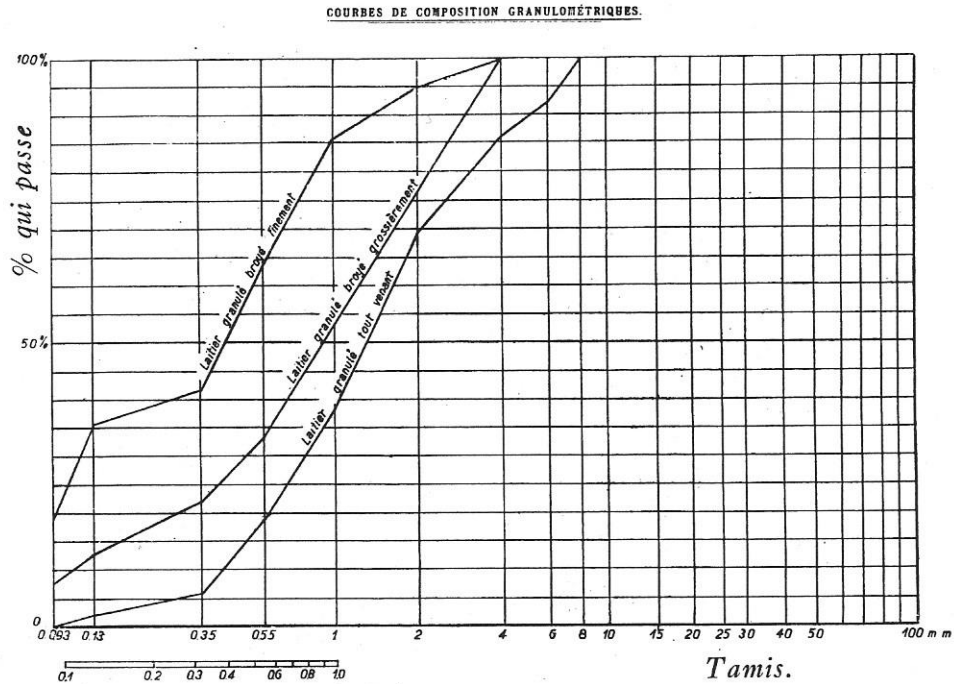


Fig. 12.

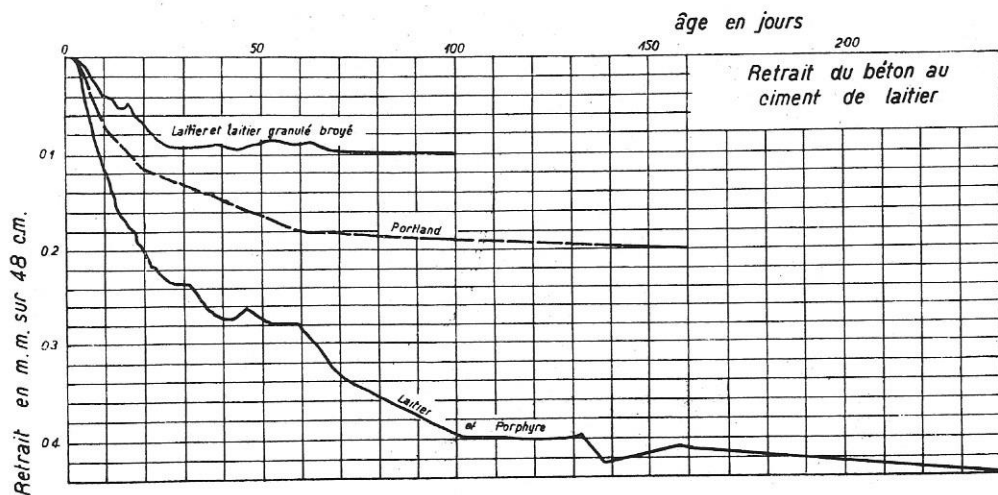


Fig. 13.



Le béton A, façonné exclusivement avec des sous-produits du HF, est à tous points de vue excellent comme résistance et retrait; mais cet essai montre qu'il ne faut pas employer le ciment de laitier pour faire des enduits.

*Attaque des armatures par le soufre.* — Les détracteurs du ciment de laitier ont beaucoup épi-logué sur cette question. Les usines métallurgiques emploient le ciment depuis plus de 25 ans en Belgique et les nombreuses démolitions auxquelles elles procèdent journellement pour moderniser les installations montrent qu'après plus de 15 ans d'âge les fers d'armature n'ont subi aucune attaque. Le laitier ne contient pas plus de 2 % de  $SO^3$ , ce qui correspond à 0,3 % dans le béton, quantité

absolue tellement faible en contact avec les fers qu'on ne s'imagine pas bien le mal que cela pourrait occasionner, d'autant plus que le béton étant compact, l'eau ne pourrait arriver jusqu'aux armatures; or, l'attaque ne pourrait se faire à sec, semble-t-il, d'autant plus que, sous ce rapport, le béton au ciment de laitier est favorable, car il est moins perméable que le béton au ciment Portland.

Conclusions :

1° Ainsi donc ces essais prouvent que les résistances des bétons confectionnés avec les sous-produits exclusifs des HF ne sont que de 10 à 20 % inférieures à celles obtenues avec les bétons au ciment Portland et que dans ces conditions, il convient de réduire de 20 à 10 % les tensions de sécu-

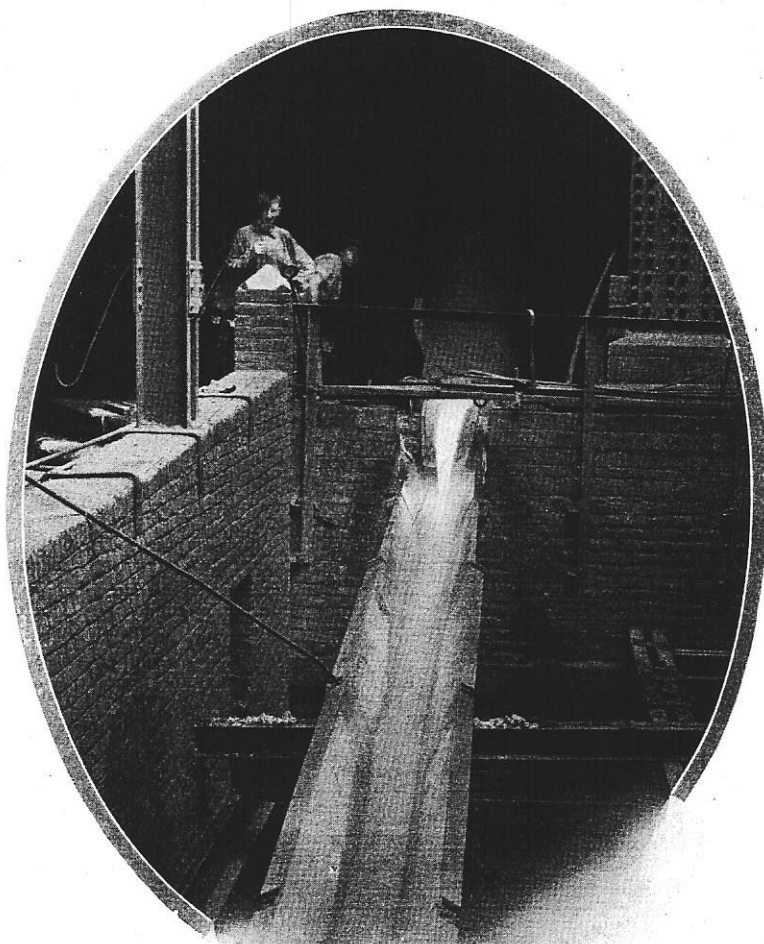


Fig. 14. — *Vue d'une coulée de haut fourneau. Le laitier, refroidi subitement dans l'eau, se granule.*





rité dans les calculs de résistances aux efforts tranchants à 28 jours ou à 90 jours, sauf lorsqu'on se sert de laitier concassé avec laitier finement broyé comme matière inerte.

2° Ces essais prouvent combien les laitiers concassés et granulés broyés sont d'excellents produits comme matières inertes des bétons confectionnés au ciment de laitier.

3° L'influence favorable du broyage du laitier granulé est fortement mise en évidence.

4° Le retrait du béton au ciment de laitier dépend du mélange mis en œuvre, en mortier; il est plus grand que celui du ciment Portland et doit être rejeté dans la confection des enduits. Au contraire, en béton, ce retrait est inférieur et tout à l'avantage du ciment de laitier.

5° La question du soufre doit être définitivement enterrée et une construction en ciment de laitier est aussi durable qu'une autre.

Dans ces conditions, nous n'avons pas hésité à employer le ciment de laitier de qualité semblable à celui étudié ci-dessus et fabriqué dans nos usines aussi bien pour les bétons ordinaires et armés que pour les pieux verticaux Franki et les pieux inclinés armés et fabriqués à l'avance.

Des pieux inclinés, confectionnés avec les mélanges indiqués, âgés de cinq semaines ont été battus avec un mouton de 3500 kgs tombant de 2<sup>m</sup>50 de hauteur sans occasionner le moindre effritement des têtes, alors que des pieux-témoins con-

fectionnés au Portland ont eu la tête désagrégée.

2. — La seconde matière employée dans la confection des bétons est le laitier granulé de nos fourneaux; il ne présente aucune particularité.

3. — *Plaquettes de laitier.* — Pour la construction complète des accus à minerais et à charbon, et l'atelier de préparation des charbons, nos besoins ont été les suivants :

48.792 m<sup>3</sup> de plaquettes pour les constructions proprement dites;

69.760 m<sup>3</sup> de ballast d'échange des déblais avec l'Etat-Belge;

20.000 m<sup>3</sup> de ballast pour la construction de notre réseau ferré;

138.552 m<sup>3</sup> au total de plaquettes et ballast.

Ces quantités durent être livrées en 20 mois pour les deux premiers postes, soit à raison de 7000 m<sup>3</sup> par mois, ou environ 300 m<sup>3</sup> par jour ouvrable; pour ce faire, nous avons pris la décision d'exploiter un vieux terril datant de 1910-20, constitué exclusivement de laitiers coulés de HF. Nous avons ouvert dans ce terril une véritable carrière et monté un atelier de concassage et de calibrage, un concasseur et deux trommels fournissant :

|              |                |       |          |
|--------------|----------------|-------|----------|
| Le premier : | des poussières | 0/5   | } triés; |
|              | des plaquettes | 5/30  |          |
|              | des ballasts   | 40/80 |          |

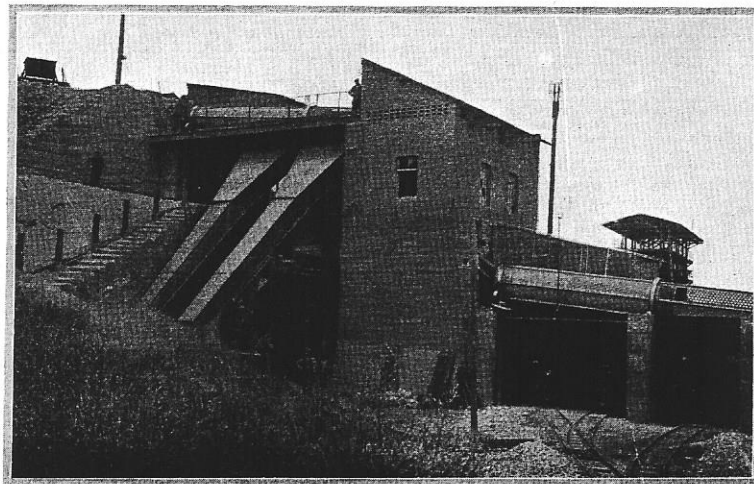


Fig. 15. — Aspect général de la ballastière au pied du terril d'Ougrée.



Le second, les mêmes pierres calibrées, mais concassées.

Au cours des travaux, lorsque la fourniture en ballast à l'Etat-Belge fut achevée et lorsque l'avancement des travaux en béton exigea de plus en plus des plaquettes, c'est-à-dire lorsque les gros murs des accus à minerais s'achevèrent et que les parois minces armées des accus à charbon exigèrent l'emploi presque exclusif de plaquettes 5/30, nous dûmes compléter l'atelier de concassage en installant un second concasseur latéral suivi d'un trommel pour reprendre le ballast trié et le transférer en plaquettes et poussières.

L'installation est illustrée par les deux photos 15-16. Elle a été conçue et exécutée par la firme Limère Frères, de Bassenge, spécialistes avertis en matière d'exploitation de carrières; elle est considérée comme un des plus beaux spécimens.

4. — *Cimenterie.* — La cimenterie de laitier d'Ougrée date de bien avant guerre; cependant elle a été complètement renouvelée sur un nouvel emplacement et pourvue d'appareils modernes de séchage du granulé, d'extinction automatique de la chaux, système Baecheler, de tubes préparateur et finisseur compound en vue de pousser la mouture à 6% de refus sur le tamis de 4.900 mailles,

et d'un atelier d'ensachage automatique avec magasin.

Cette cimenterie était capable de fournir 2.500 tonnes de ciment spécial et avait été prévue en vue de son dédoublement. Ce dédoublement fut immédiatement décidé en vue de nos grands travaux, pour parer à la demande supplémentaire de ciment qui s'éleva, pendant les mois de grande activité des chantiers, au chiffre respectable de 1500 à 1700 tonnes, et aussi dans le but de ne pas perdre la clientèle régulière qui absorbait toute notre production.

A l'heure actuelle, malgré l'achèvement de nos travaux, nous écoupons facilement une production mensuelle de 4500 tonnes de ciment spécial à 6-10% de mouture, c'est-à-dire de refus au tamis de 4900 mailles.

**B) Organisation du chantier.**

Pour installer les accus à la Meuse sur un développement de plus de 400 mètres, nous avons dû enlever 209.281 m<sup>3</sup> de terres soit 313.921 tonnes consistant en bancs d'anciennes scories coulées de HF et de schistes de charbonnage. Deux pelles à vapeur ont travaillé sans relâche à ce déblaiement. Le travail, commencé le 17 juillet 1923, a été

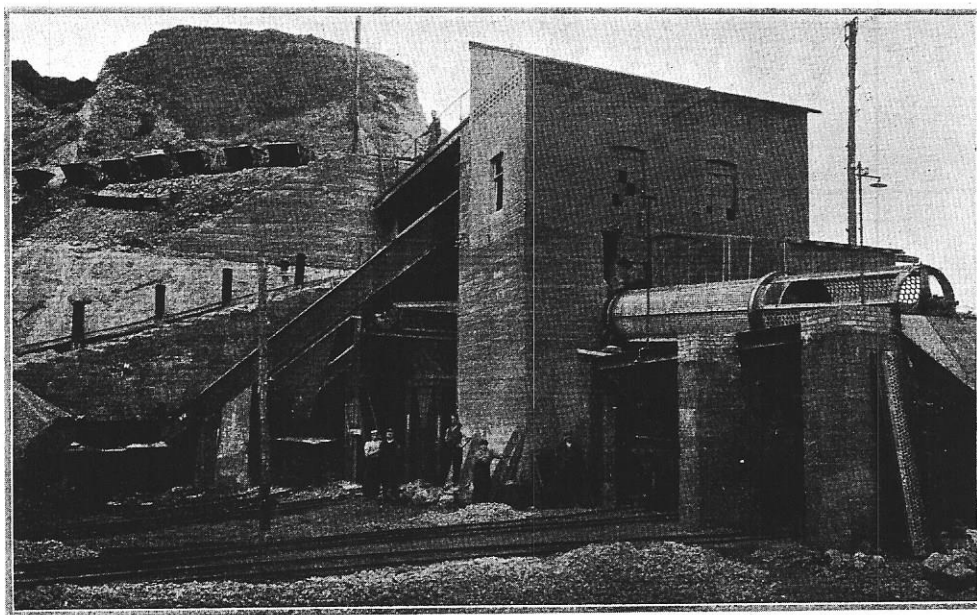


Fig. 16.

*Autre aspect de la ballastière.*





entièrement terminé le 15 janvier 1925, soit en 18 mois ou 438 jours ouvrables, correspondant à une évacuation journalière de 717 tonnes de déblais; le tonnage record a été de 1500 tonnes en 14 heures de travail.

Le chantier comprenait deux voies parallèles de 650 mètres de longueur, établies le long de la berge et raccordées au chemin de fer du Nord-Belge desservant le port de Renory; l'une des voies servait pour les wagons pleins, la seconde pour les wagons vides; elles étaient en plus raccordées par une demi-lune de manœuvre.

L'Etat Belge enlevait toutes les terres et la convention stipulait, comme compensation, la fourniture gratuite de 1 m<sup>3</sup> de ballast 40/80 pour 3 m<sup>3</sup> de terres évacuées. En compensation, l'Etat-Belge fournissait son matériel roulant, assurait le transport des déblais à ses chantiers de Bressoux, Visé, Angleur et Aywaille. Par ce contrat, nous avons dû livrer à l'Etat-Belge 69.760 m<sup>3</sup> de ballast provenant, comme nous l'avons dit, de la carrière ouverte dans notre terril.

Le travail d'enlèvement des terres a été exécuté avec la rapidité et tous les soins désirables par la firme Limère frères, de Bassenge, dont le puissant outillage a su établir des records dans une matière aussi ingrate que le laitier coulé de haut fourneau, qui a exigé l'emploi de plus de 25.251 kgs de macarite et 7.039 détonateurs. Notre service « Transports extérieurs » en liaison avec les agents du Nord-Belge et de l'Etat-Belge a admirablement organisé le service régulier des rames de déblais et contribué à l'allègement de la tâche des entrepreneurs.

*Chantiers de battage des pieux.* — Le battage des pieux verticaux Franki a été exécuté par 1 à 4 machines et celui des pilots inclinés par 2 machines; on put voir, à certaines époques, les 6 machines en pleine activité.

*Station de préparation des bétons.* — La station de préparation des bétons comportant quatre grandes bétonnières Roll d'une capacité de 50 m<sup>3</sup>/heure chacune, alimentées par les ma-

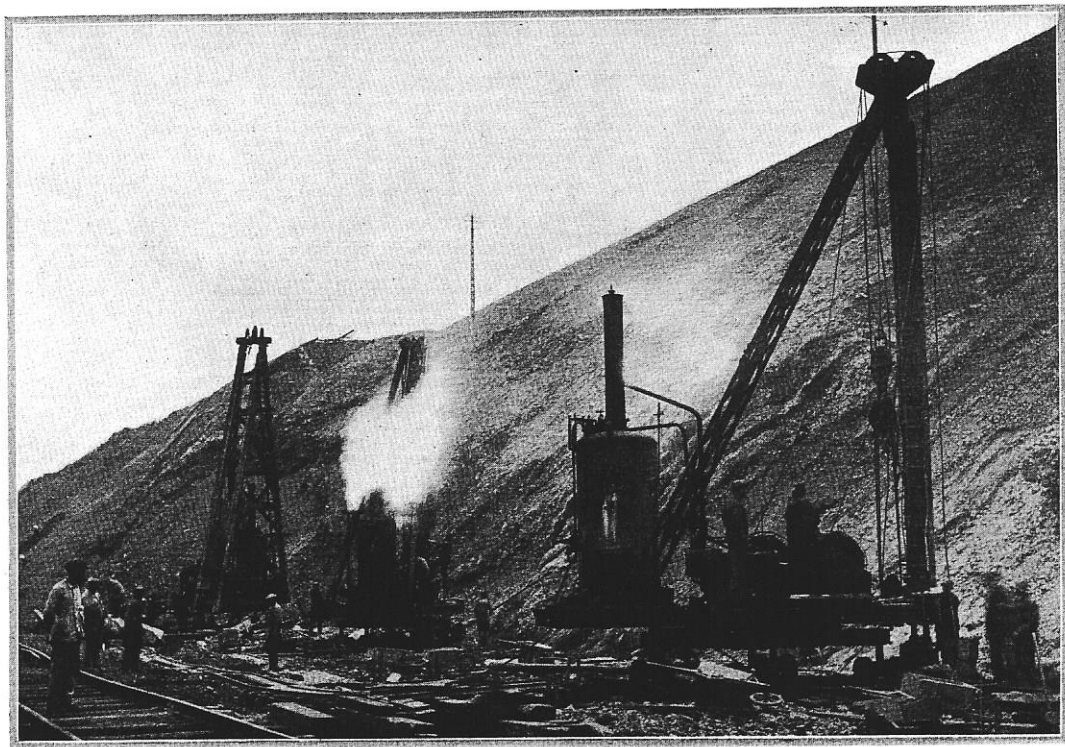


Fig. 17. — Fondations des accus. Vue montrant le battage de Pieux Franki.



Fig. 18. — *Fondations des accus à minerais. Battage de pilots inclinés.*

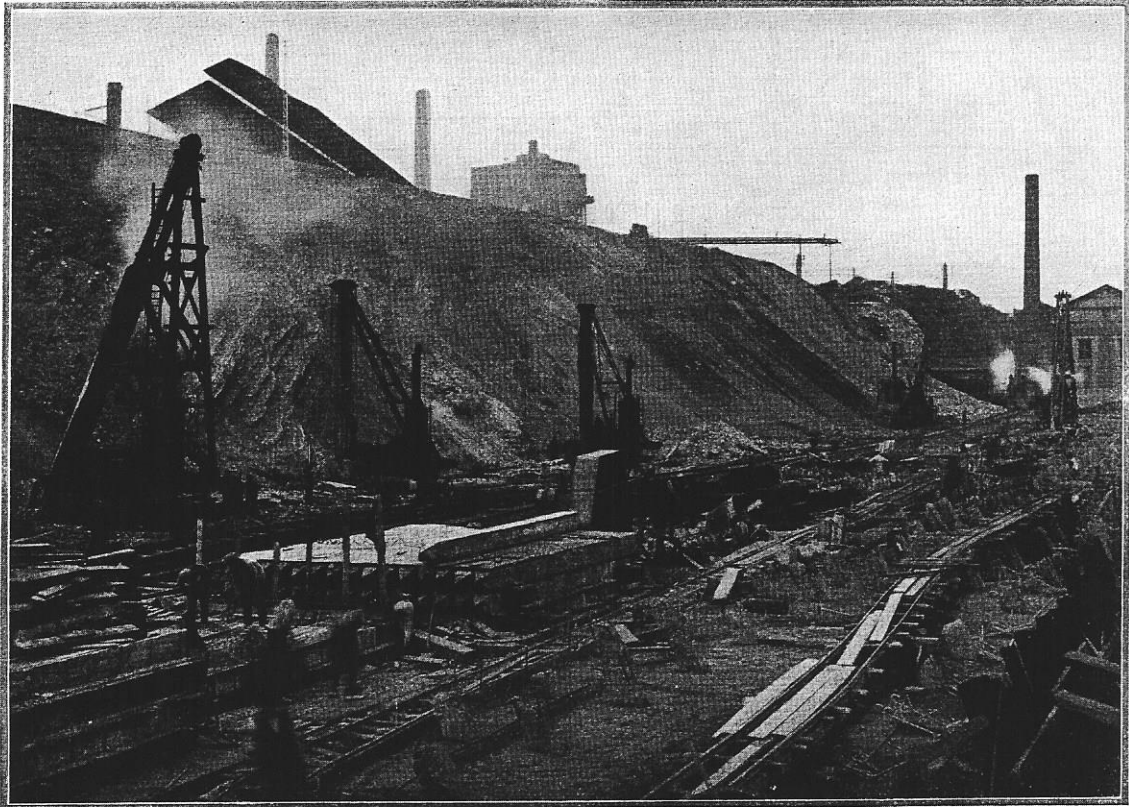


Fig. 19. — *Fondations des accus à minerais. Battage des Pieux Franki.*





tières ensilotées sur le talus du remblai de 18 m. de hauteur et un premier tronçon de mur de soutènement de l'accumulateur à minerai, construit rapidement dans ce but et pourvu temporairement de goulottes de soutirage.

A la crête du tronçon de mur de soutènement, on avait installé le magasin à ciment. Silos et magasin étaient alimentés par le dessus par le service de la traction de l'usine.

*Tours de distribution du béton.* — Le béton est transporté par wagonnets spéciaux vers les élévateurs de deux grandes tours dont l'une de 36 m. de hauteur, construites par la Société Générale de Matériel d'Entrepreneurs, à Anvers.

Au bas de la tour, la caisse du wagonnet spécial est accrochée, soulevée de son truck, levée et basculée à la tête de la tour automatiquement dans une trémie à tiroir, distribuant le béton sur une courroie sans fin horizontale, pour être transporté au-dessus de l'endroit de la mise en œuvre.

Le pont mobile ou *gerber*, suspendu à la tour et portant la trémie distributrice et la courroie convoyeuse, possède une portée de 34 m. et est capable d'un mouvement vertical de translation le long de la tour, et de rotation à 120° autour de celle-ci. (Voir fig. 21.) La tour, retenue par haubans, est placée sur rails et peut avancer ou reculer dans l'axe général des constructions. On peut

ainsi déverser le béton dans une aire correspondant à un demi-cercle de 34 m. de rayon.

La mise au point de cette installation a demandé quelque temps; ainsi, au début, on avait cru pouvoir faire le déversement du béton se trouvant sur la courroie en plaçant à un endroit convenable et obliquement une râclée en caoutchouc. Ce dispositif entraînait une usure tellement rapide et même des ruptures de courroies tellement fréquentes qu'on a dû y renoncer. On a dû monter sur le *gerber* un chariot déverseur, mobile, muni de trois tambours, sur lesquels la courroie décrit un S, le béton se déversant de lui-même lorsqu'il atteignait l'endroit où la courroie plonge pour former l'une des courbes de l'S; il tombait dans une trémie qui le déversait latéralement.

Il a été reconnu impossible de permettre la chute non guidée du béton sur une hauteur supérieure à 2<sup>m</sup>50 environ; pour des hauteurs plus grandes, le béton se décompose à pied d'œuvre en ses éléments constitutifs et rend vain le travail de la bétonnière. On est parvenu cependant à éviter cet inconvénient en guidant le béton pendant sa chute, à l'aide d'un tuyau en toile.

A l'aide d'une tour travaillant aux accus à minerais, c'est-à-dire dans des grosses épaisseurs de mur, on est parvenu à mettre en œuvre, avec cet

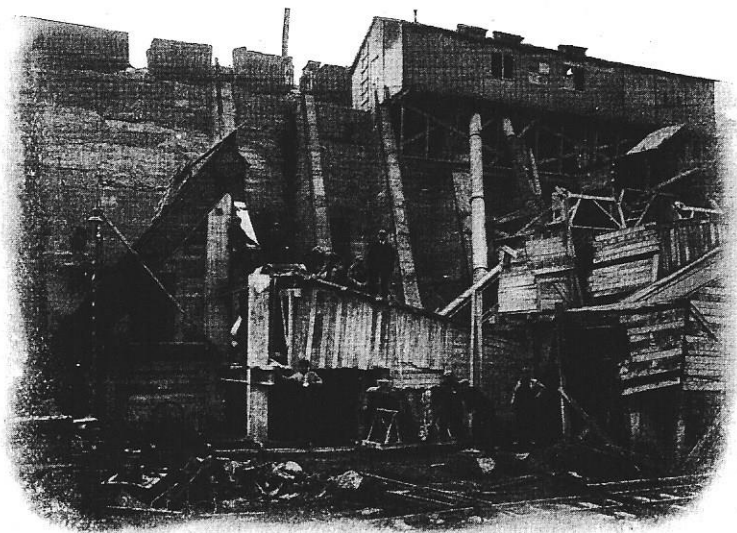
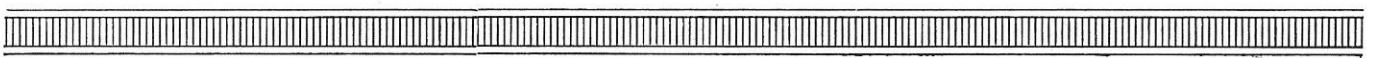


Fig. 20.

Centrale de préparation des bétons.





outillage, 150 m<sup>3</sup> de béton par journée de 10 h.; exceptionnellement, on a atteint un rendement de 225 m<sup>3</sup>.

Le transport et le déversement par courroie n'ont pas été appliqués au bétonnage des silos à charbon ni au bâtiment de la préparation parce que le béton s'y présentait en volumes plus restreints, et fortement armé; un béton assez mou était à conseiller dans ce cas et forcément le tonnage horaire qu'il était possible de mettre en œuvre était fort limité.

Ce mode spécial de transport du béton par courroie sans fin a été inauguré en Belgique sur nos chantiers par la maison Franki. On l'appliquait bien antérieurement à des travaux de construction de murs de quai, à laquelle il se prête admirablement, mais jamais sur des chantiers privés, pour des constructions plus compliquées. A Ougrée, à cause des proportions exceptionnelles des accus à minerais, le béton armé se présentait sous forme de masses importantes et analogues à des murs de barrage justifiant son application.

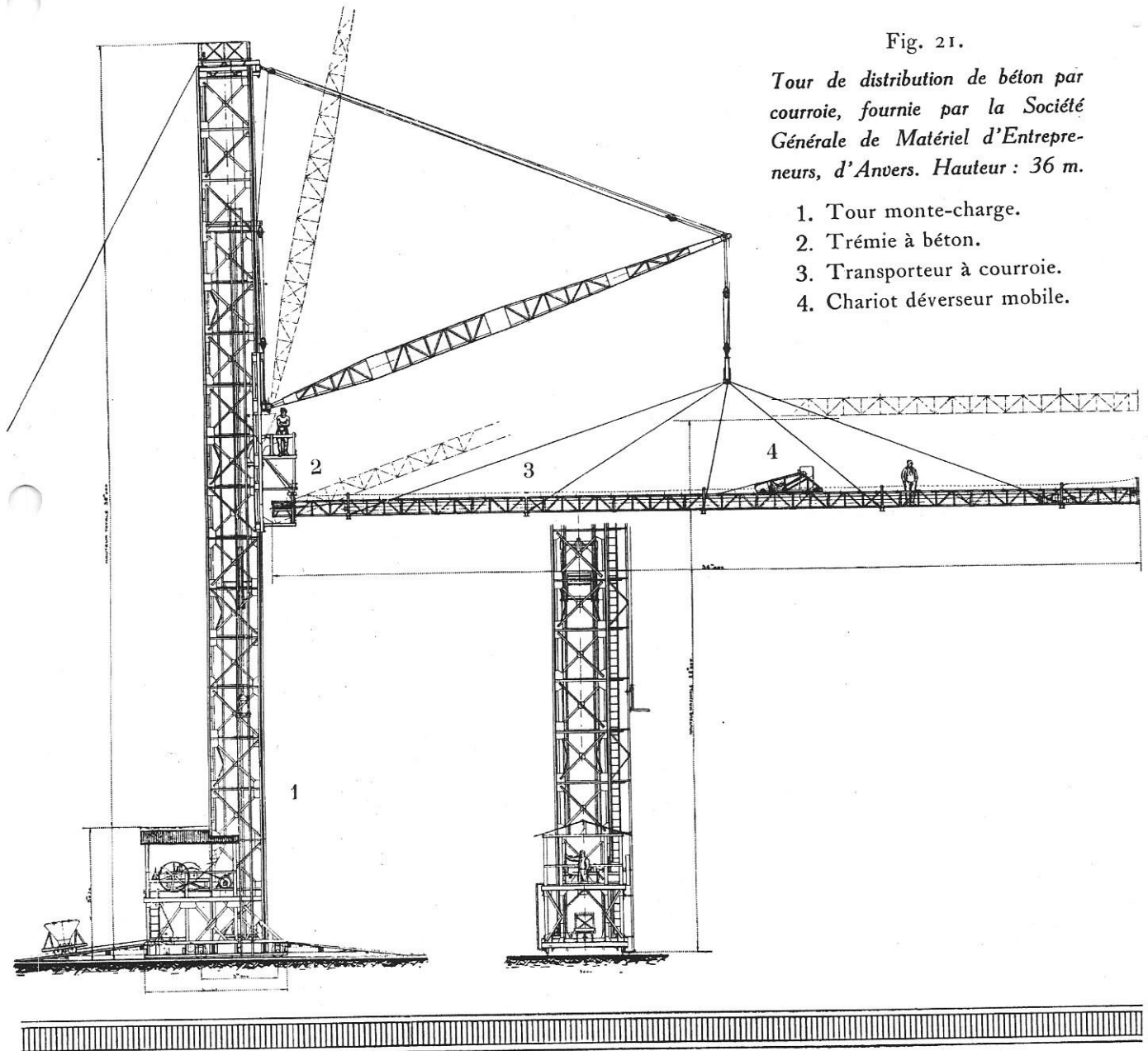
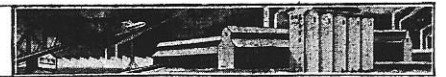


Fig. 21.

*Tour de distribution de béton par courroie, fournie par la Société Générale de Matériel d'Entrepreneurs, d'Anvers. Hauteur : 36 m.*

1. Tour monte-charge.
2. Trémie à béton.
3. Transporteur à courroie.
4. Chariot déverseur mobile.



Il peut présenter de grands inconvénients, notamment celui qui consiste dans la séparation des éléments constitutifs du béton pendant le transport; on peut être amené à devoir reconstituer le béton à la pelle avant de le mettre en œuvre, ce qui exige une surveillance vigilante et crée une lourde sujétion. Le travail des bétonnières risque d'être complètement perdu et d'être remplacé par un malaxage manuel en des endroits peu propres à de telles manipulations, toujours difficiles à surveiller et forcément coûteuses pour l'entrepreneur.

Aux murs à minerais, le béton étant faiblement armé et se présentant en masses importantes, on a eu recours de préférence au béton sec, car on

sait que la résistance diminue fortement lorsque la quantité d'eau augmente; bien entendu, on recourut à un damage énergétique au fouloir pneumatique; dans ce but, on installa deux compresseurs qui servirent également au recépage des têtes des pieux inclinés.

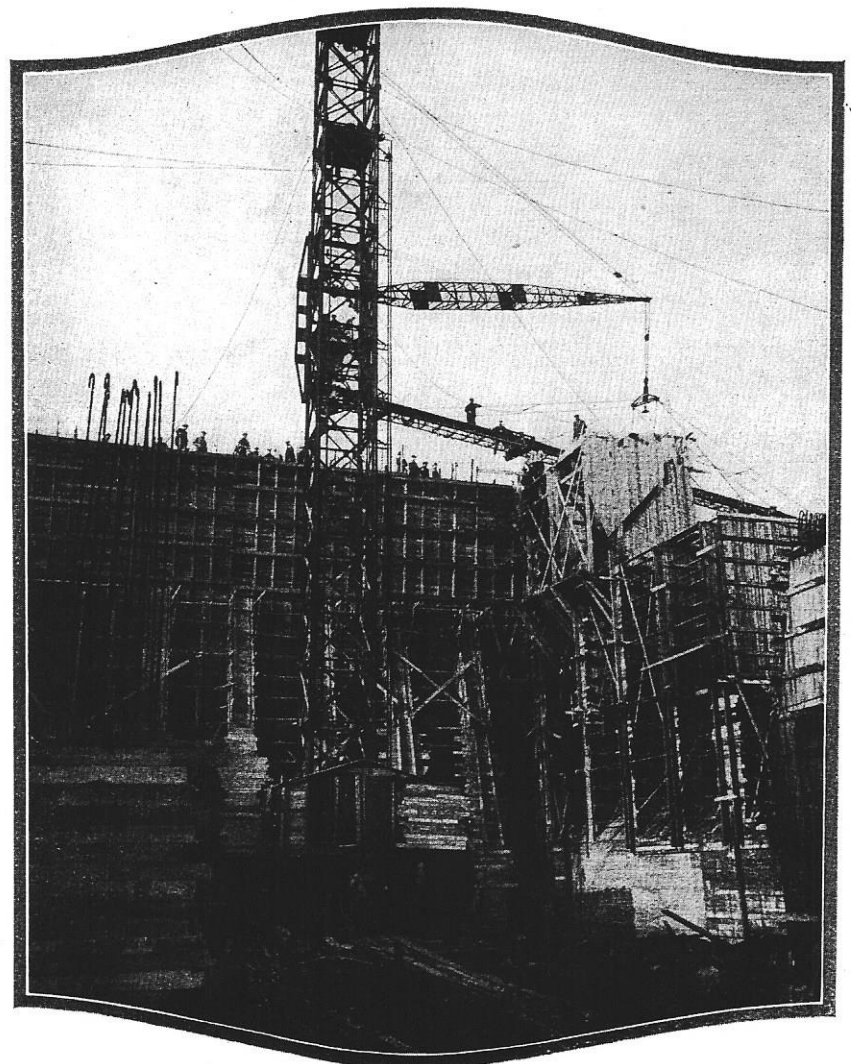
La conséquence de l'emploi du béton sec a été de rendre possible l'emploi de la tour et de sa courroie transporteuse.

Pour le bâtiment de la préparation et les silos à charbon, le béton étant fortement armé et en épaisseurs relativement minces, on a eu recours à un béton assez mou, sinon il eût été impossible de l'introduire entre les armatures et les coffrages. Forcément on dut recourir ainsi à un béton un



Fig. 22.

*Vue générale de la tour de distribution de béton.*



Entreprise générale :  
*Cie Int. des Pieux Franki.*

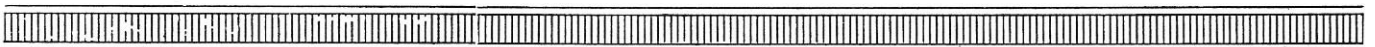
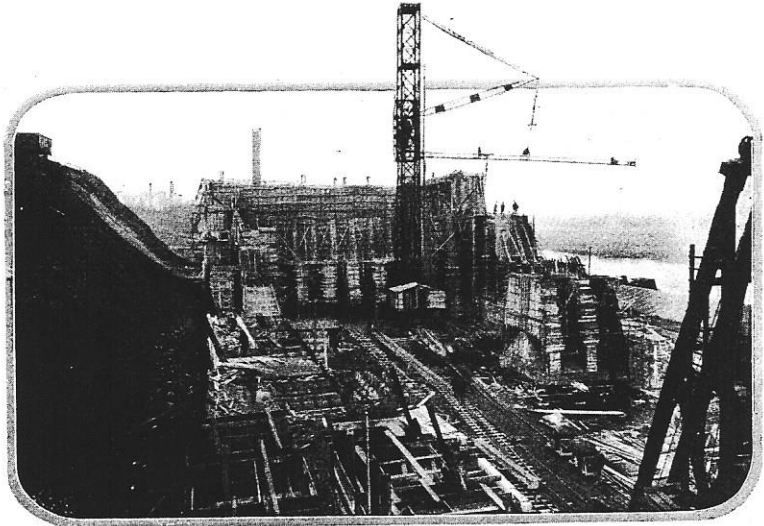




Fig. 23.

*Construction des accumulateurs à minerais. Vue d'une des tours de distribution de béton avec courroie transporteuse.*



peu moins résistant, mais, au moins, on eut la certitude d'en avoir partout, d'éviter les poches d'air et de bien enrober les armatures; on peut toutefois toujours obtenir la résistance voulue par un dosage plus riche en ciment. On conçoit que pour un tel béton, la courroie transporteuse est nuisible parce qu'elle désintègre le béton. Il faut rendre ici justice à la maison Franki qui a prouvé qu'elle était réellement experte dans son art en utilisant l'outillage approprié à chaque espèce de béton à mettre en œuvre.

C'est ainsi que la centrale des bétons avait été

complétée par des désintégrateurs pour le broyage du laitier granulé dont l'usage fut courant dans la confection des bétons mous pour fortes armatures des silos à charbon et de l'Atelier de préparation des charbons.

Le coffrage et le damage furent tellement soignés que la façade de ces bâtiments fut simplement ragrée à l'aide de barbotine épaisse.

Voici les cubes et les tonnages mis en œuvre dans ces grandes constructions. L'ouvrage complet comporte 60.241 m<sup>3</sup> de béton et 3.255 tonnes de barres d'acier.

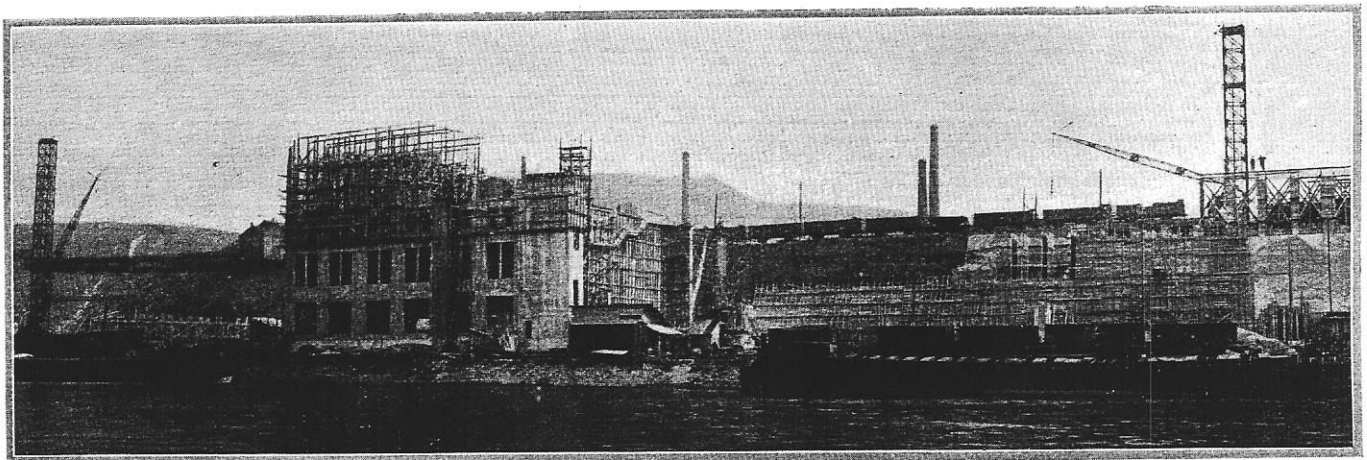


Fig. 24. — *Aspect général des constructions en béton en cours d'exécution le long de la Meuse et vue des deux tours de bétonnage.*





On a battu :

a) 2371 pieux Franki de 0<sup>m</sup>60 de diamètre, comportant une longueur totale de 17.533 m. La composition du béton, au m<sup>3</sup>, était la suivante :

- 900 litres de concassé 40/80
- 300 litres de granulé
- 250 kgs de ciment de laitier.

b) 2588 pieux inclinés de 0,35 × 0,35 m., comportant une longueur totale de 21.986 m. La composition du béton, au m<sup>3</sup>, était :

- 800 litres de plaquettes 5/30
- 400 litres de granulé
- 400 kgs de ciment de laitier.

Cela représente en tout 4.959 pieux comportant une longueur totale de 39.519 m., soit 39,5 kilomètres, pour un cube total de 8548 m<sup>3</sup> de béton. La longueur moyenne d'un pieu est donc égale à 7<sup>m</sup>97.

c) Le béton d'élévation avait la composition suivante :

- 800 litres de plaquettes 5/30
- 500 litres de granulé
- 100 à 350 kgs de ciment de laitier suivant la nature de l'ouvrage pour un cube total de 51.703 m<sup>3</sup>.

d) Les 51.703 m<sup>3</sup> en élévation et 8.548 m<sup>3</sup> en profondeur soit les 60.241 m<sup>3</sup> totaux, ont nécessité :

- 48.792 m<sup>3</sup> de plaquettes de laitier 5/30,
- 28.489 m<sup>3</sup> de laitier granulé,
- 17.580 tonnes de ciment de laitier spécial,
- 3.256 tonnes d'acier.

(Voir planche II le tableau des matériaux mis en œuvre, page 516.)

L'exécution d'une œuvre d'une telle ampleur, tant par la grande quantité de matériaux mis en œuvre et par la modernisation de l'outillage que par l'esprit scientifique qui a présidé à l'étude des bétons, fait grand honneur à la Société Internationale des Pieux Frankignoul et à M. Magnel, expert, chargé du Cours de béton armé à l'Université de Gand, Ingénieur-Conseil à l'Administration des Chemins de fer de l'Etat-Belge.

FIN.



## Dans nos prochains numéros nous publierons, entre autres :

- L'élégissement des structures ; son évolution, par Léon Petit, Ingénieur des Ponts-et-Chaussées, à Rouen.
- Les constructions de l'Exposition du Théâtre allemand, à Magdebourg, en 1927, par le Professeur Albinmuller, Architecte, à Darmstadt.
- L'Ossuaire de Douaumont, par M. Robert Godon, Ingénieur des Ponts-et-Chaussées, à Paris.
- La construction des maisons ouvrières en série, aux Usines Michelin.
- Quelques remarques sur l'architecture des ponts, par E. Balis, Ingénieur-Conseil.
- L'usine hydro-électrique de Queenstown-Chippawa.
- La construction d'un viaduc en béton armé franchissant une baie de 10 km. de largeur en Floride.
- La défense des côtes contre la mer, par F. Sapin, Ingénieur.
- Construction d'une rue à deux étages, à Chicago.