

Note sur la fabrication des pièces en béton armé à la Société Nationale des Chemins de fer belges,

par M. E. DESORGHÉ et J. SCHOTTE,
Ingénieurs à la Société Nationale des Chemins de fer belges.

Dans le *Bulletin de l'Association Internationale du Congrès des Chemins de fer*, numéro d'octobre 1931, a paru une note sur la fabrication des pièces en béton armé à la Société Nationale des Chemins de fer belges, sous la signature de MM. C. LEMAIRE, Ingénieur principal ⁽¹⁾ et J. SCHOTTE, Ingénieur.

Cette note expose, dans sa préface, les raisons de la création d'un chantier exploité en régie ainsi que les buts qui s'y poursuivent.

Des efforts persévérants ont permis d'y mettre au point de nouvelles fabrications, d'y perfectionner les moyens de production et d'y diminuer les prix de revient des objets fabriqués.

Il a paru utile d'exposer dans une note complémentaire, les résultats acquis à ce jour, ceci à l'intention des techniciens chargés d'organiser la fabrication de pièces en béton ou d'établir des cahiers des charges de fournitures et de surveiller la confection d'objets de l'espèce sur des chantiers d'adjudicataires.

Importance de la production.

L'activité du chantier de la Société Nationale des Chemins de fer belges s'est considérablement accrue en ces dernières années, ainsi que l'atteste le tableau ci-après :

	Matières consommées.				Béton fabriqué.
	Acier.	Ciment.	Sable.	Pierrailles.	En m ³ .
	← Tonnes →				
1930	230	1 120	3 750	5 250	4 550
1931	328	2 686	4 958	6 812	6 203
1932	397	3 962	7 850	11 320	9 808
1933	448	4 524	9 377	11 608	11 665
1934	554	5 935	9 873	18 045	15 178

La raison de cette activité est qu'antérieurement le bois et l'acier, d'entretien onéreux, étaient encore d'utilisation quasi générale, comme matières pre-

mières, pour la confection d'attributs de la voie.

La mise en fabrication économique d'objets très divers en béton donna une impulsion vigoureuse au nouvel emploi de ce matériau de construction.

Elle alla de pair avec l'étude systématique de plans types rationnels des divers

(1) M. Lemaire a été appelé, depuis lors, aux fonctions de Directeur de la Voie de la S. N. C. F. B. C'est à lui que revient l'initiative de l'établissement du chantier de bétonnage exploité en régie.

objets, spécialement destinés à un réseau ferré, étude basée sur des calculs et sur l'expérience de techniciens au courant du béton, des besoins ferroviaires et des conditions réelles de sollicitations des objets, tant en service régulier qu'au cours de leurs diverses manutentions.

Les plans définitifs des objets en béton, qui sont le résultat de ces études, sont consignés dans un album illustré. Les objets y sont reproduits avec leur numéro d'inventaire et leur prix approximatif. L'album est mis à la disposition des services d'exécution; ceux-ci ont donc toute facilité pour établir leur devis de travaux et, en cas d'approbation de leurs propositions, un simple bon de commande suffit pour l'obtention des pièces en béton.

Cette mise au point permet d'intéresser l'industrie privée à des fournitures de produits similaires, car la rédaction des cahiers des charges et des plans dans ce but, ne comporte plus, grâce à elle, aucune difficulté.

L'utilisation systématique des objets désignés ci-dessous est à présent généralisée sur le réseau des Chemins de fer belges :

Clôtures pleines, ajourées ou en poteaux et fils de fer ou treillis.

Poteaux divers pour passages à niveau, avec ou sans croix de St-André, de courbe, de pente, de rampe, kilométriques, hectométriques, etc.

Bordures de quai ordinaires et surélevées.

Couvre-câbles et caniveaux pour câblages, transmissions de signalisation, tuyauteries de chauffage, etc.

Fondations diverses pour appareils de signalisation.

Rampes de chargement, quais de transbordement, parcs à charbon.

Barrières optiques pour signaux avertisseurs.

Les figures 1 à 4 reproduisent quelques-uns des objets prénommés.

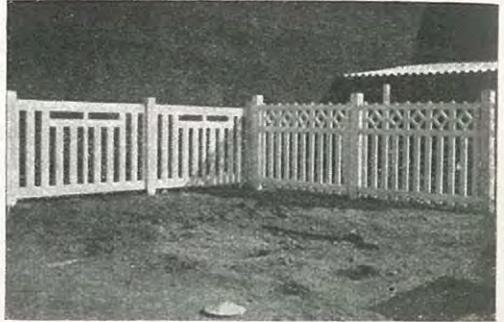


Fig. 1. — Clôtures ajourées.

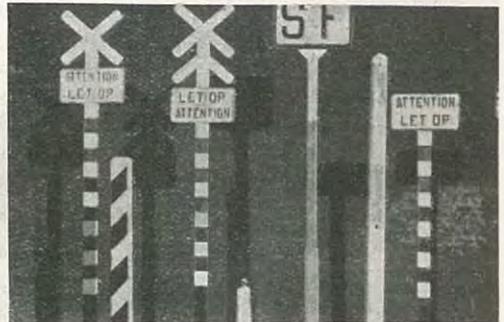


Fig. 2. — Poteaux divers.

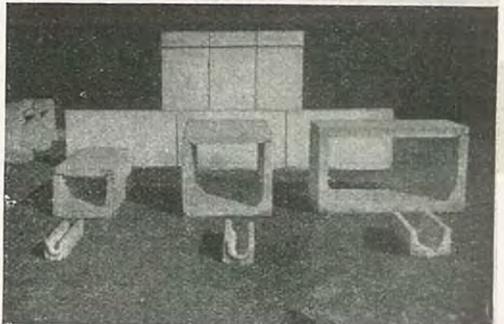


Fig. 3. — Caniveaux et bordures de quai.

De nouvelles fabrications sont à l'étude, notamment : guérites, dallages pour traversées de voies, poteaux candé-

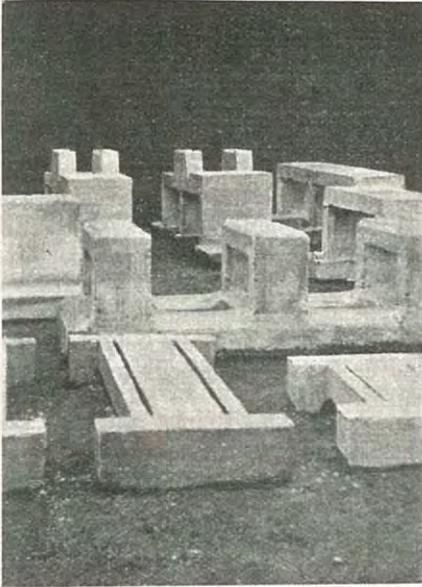


Fig. 4. — Fondations pour appareillages de signalisation.

labres pour l'éclairage des quais, fondations standardisées pour sémaphores, etc. (fig. 5 à 7).

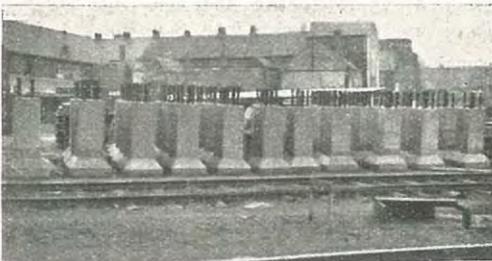


Fig. 5. — Fondations de sémaphores.

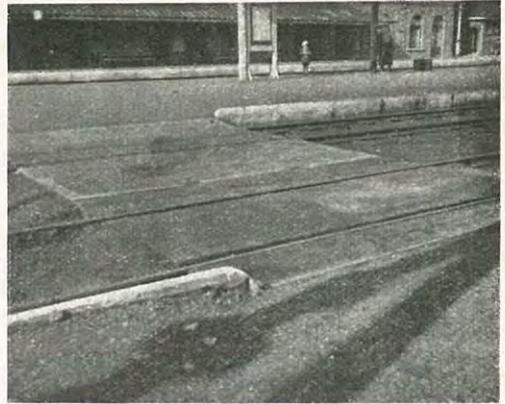


Fig. 6. — Traversée de voies.



Fig. 7. — Candélabres.

Mode d'approvisionnement.

Qualité et spécification des matières premières.

L'approvisionnement des matières premières se fait régulièrement, pour couvrir les besoins d'environ six mois, par voie d'adjudications publiques, annoncées en temps opportun. Les cahiers des charges relatifs à ces marchés prévoient des fournitures échelonnées, dont l'importance, variable suivant l'allure des consommations, est signifiée périodiquement au fournisseur.

La valeur totale des matières premières utilisées s'élève à 60 % de la valeur du béton. Les frais de transport de ces ma-

tières, compris dans leur prix, s'élèvent à 14 % de celui-ci.

Sable. — Le sable utilisé en ce moment est du sable de carrière d'origine brabançonne, d'un module de finesse, mesuré suivant la méthode d'Abrams, d'environ 1.75. Les cahiers des charges prescrivent que le mortier fait avec le sable offert lors des adjudications, dans les mêmes conditions et ayant la même composition que le mortier normal, doit posséder, aussi bien à la compression qu'à l'extension, 105 % de la résistance du mortier normal. (Le mortier normal est le mortier fait avec du sable normal, sable passant au tamis de 64 mailles par cm² et retenu par le tamis de 144 mailles par cm², dans la proportion en poids de trois parties de sable et d'une partie de ciment.)

Le sable brabançon dont question ci-dessus donne environ 115 % de la résistance à l'extension et 105 % de la résistance à la compression du mortier normal.

Le sable du Rhin ou de Meuse, au module de finesse variant entre 2.2 et 2.8, qui était utilisé antérieurement et dont les excellentes qualités sont connues, offrait régulièrement, aux essais de mortier, une résistance à l'extension supérieure de 20 % et une résistance à la

compression supérieure de 10 % à celle du mortier normal.

Or, fait très curieux, fabriqué par vibration (voir description du procédé plus loin), le béton au sable brabançon donne plutôt une meilleure résistance que le béton fait au sable du Rhin, toutes autres compositions des deux bétons étant les mêmes.

Le dosage au m³ du béton est d'environ 500 l. (ou 650 kgr.) de sable.

Pierrailles. — Les pierrailles utilisées sont des plaquettes concassées de 5 à 10 mm. ou de 5 à 15 mm. de porphyre, de grès ou de laitier. Les pierrailles du calibrage de 5 à 10 mm. sont employées pour les pièces minces, celles du calibrage de 5 à 15 mm. pour les pièces ordinaires.

La valeur du sable et des pierrailles réunis s'élève à 36 % de la valeur des matériaux.

Le dosage au m³ de béton est d'environ 900 litres (ou 1 180 kgr.) de pierrailles.

Ciments. — Lors des marchés de ciment normaux, les offres relatives au ciment de haut fourneau sont généralement approuvées étant donné le prix avantageux de ce matériau. Les résistances imposées pour celui-ci sont d'ailleurs les mêmes que celles des ciments Portland artificiels normaux, soit :

Résistance à la <i>compression</i> du mortier	normal	après	3 jours :	200 kgr./cm ² .
»	»	»	après 7 jours :	300 kgr./cm ² .
»	»	»	après 28 jours :	400 kgr./cm ² .
Résistance à l' <i>extension</i> du mortier	normal	après	3 jours :	18½ kgr./cm ² .
»	»	»	après 7 jours :	23 kgr./cm ² .
»	»	»	après 28 jours :	27 kgr./cm ² .

Ce ciment est cependant influencé par les basses températures qui ralentissent son durcissement. Pour obvier à cet inconvénient, pendant les mois d'hiver, nous y mélangeons du ciment Portland à durcissement rapide (Superciment

P. A. D. R.) en proportions variables, allant de 1/3 à 1/2 du poids, suivant la température, et nous y ajoutons du chlorure de calcium dans la proportion de 4 % du poids de l'eau, soit environ 1 kgr. par sac de ciment employé.

Le ciment P. A. D. R. doit répondre aux conditions de résistance suivantes :

Résistance à la <i>compression</i> du mortier	normal	après	1 jour	: 225 kgr./cm ² .
»	»	»	après 3 jours	: 400 kgr./cm ² .
»	»	»	après 7 jours	: 500 kgr./cm ² .
»	»	»	après 28 jours	: 575 kgr./cm ² .
Résistance à l' <i>extension</i> du mortier	normal	après	1 jour	: 20 kgr./cm ² .
»	»	»	après 3 jours	: 27 kgr./cm ² .
»	»	»	après 7 jours	: 30 kgr./cm ² .
»	»	»	après 28 jours	: 32 kgr./cm ² .

Tous les ciments sont fournis en sacs-papier dont l'usage se généralise de plus en plus.

La valeur du ciment s'élève à 29 % de la valeur des matériaux. Le béton (du chantier) est dosé à raison de 380 kgr. de ciment en moyenne au m³.

Aciers. — Pour des raisons de standardisation, les pièces normales de fabrication courante sont pourvues de deux types d'armature : de 5 mm. de diamètre (armature de répartition) et de 8 mm. de diamètre (armature de résistance). Les pièces spéciales qui sont parfois commandées et dont les armatures résultent de calculs, sont armées conformément aux indications de plans.

Les aciers utilisés sont des aciers doux ordinaires. Ils arrivent en wagons bâchés, car ils doivent être protégés contre l'attaque de la rouille, aux fins de l'exécution aisée des travaux d'assemblage par soudure électrique.

La valeur de l'acier s'élève à 18,5 % de la valeur totale des matériaux. Le m³ de béton armé contient en moyenne 40 kgr. d'armature, ce qui est très peu.

Les qualités comparatives des matériaux entrant dans la composition des bétons sont commentées dans l'exposé des résultats des essais, donné plus loin.

Fabrication et mise en œuvre du béton.

Le béton est fabriqué mécaniquement au moyen de bétonnières à tambour

tournant et basculant, actionné par moteur à essence.

Le travail à la bétonnière et l'aménée du béton à pied d'œuvre, par wagonnets Decauville, nécessitent deux heures de main-d'œuvre par m³ de béton.

Les matières sont triturées d'abord à sec, puis mélangées avec de l'eau dosée avec précision.

Jusqu'en ces dernières années, le béton confectionné était de la qualité dite « plastique » présentant au « slump test » un affaissement de 2 cm.

La mise en œuvre de ce béton est aisée; elle procure des objets d'aspect agréable, mais elle exige, pour de grosses fabrications, des moules nombreux, le démoulage ne pouvant se faire sans danger, avant vingt-quatre heures. D'autre part, les objets ainsi confectionnés ne peuvent pas être chargés sur wagon avant une période de trois semaines. Il en résulte des immobilisations importantes de capital et l'encombrement nuisible des chantiers.

La recherche d'un béton qui ne se déforme pas lors d'un démoulage immédiat, a conduit, depuis 1933, à l'application étendue des procédés de vibration, qui commençaient à entrer en faveur dans la technique du béton et qui donnèrent un regain d'actualité à l'utilisation de béton sec, de consistance dite « terre humide ».

La vibration consiste notamment à obtenir, grâce à l'action de nombreuses se-

cousses mécaniques de faible amplitude communiquées au béton, gâché très sec, un serrage et une homogénéité très complets de sa masse, avec, comme conséquence, une indéformabilité de début importante permettant même des dé-moulages immédiats et des augmentations ultérieures rapides de résistance.

L'industrie fournit actuellement un outillage de vibration de commande pneumatique et électrique approprié aux divers cas d'application qui se présentent en pratique ⁽¹⁾.

Ce sont les tables vibrantes pourvues de moyens de manutention appropriés, qui se prêtent le mieux à la plupart des fabrications du chantier de la Société Nationale des Chemins de fer belges, étant donnés la forme, les dimensions et le poids des objets qui y sont confectionnés.

(1) Pour l'historique et l'étude du béton vibré ainsi que pour la description des appareils et des procédés de vibration, voir entre autres :

— *Revue Universelle des Mines, de Métallurgie et des Travaux publics* (5 juillet 1934). — Rédaction : 12, rue P. Van Hougaerde, Liège.

Paul PRAX, Ing. A. I. G. : « Application de la vibration à la mise en place du béton entre coffrages ».

— *La Technique des Travaux* (septembre 1934). — Rédaction : 196, rue Grétry, Liège.

J. BOLLOMEY : « Le béton vibré ou per-vibré, ses propriétés et conditions d'emploi ».

— *Bulletin technique de l'Association des Ing. sortis de Bruxelles*, n° 7, 1934. — Rédaction : Université, Bruxelles : 50 avenue des Nations.

L. ARDOUILLE : « Le béton vibré ».

— *Bulletin mensuel de la Société des Ing. civils de France* (mai-juin 1930). — Rédaction : rue Blanche, 19, Paris.

M. TRÈVES : « Le béton vibré et per-vibré ».

Les premiers engins qui furent fournis par l'industrie au chantier, sont des tables capables de vibrer une charge de 400 kgr. La vibration y est provoquée par un arbre horizontal tournant à une vitesse d'environ 2 000 tours à la minute, muni d'une came à faible excentricité. Sur celle-ci s'appuie, par l'intermédiaire d'une couronne à roulements à billes, un butoir vertical supportant lui-même la table vibrante. Toutes les parties mécaniques sont enfermées dans un carter bien huilé. Le mouvement de la came provoque la vibration de la table.

Des broches de manœuvre permettent le réglage des amplitudes des oscillations.

La force motrice nécessaire est de 1,5 cheval par table. Un seul moteur de puissance suffisante peut actionner une batterie d'appareils, au moyen de transmissions par poulies.

À l'usage, ces engins se sont révélés coûteux d'entretien; les bris fréquents, entre autres des couronnes de roulements à billes, en provoquent l'immobilisation prolongée.

Après de persévérantes recherches personnelles, M. le chef de section Van Hee a mis au point une table vibrante très simple, qui paraît donner des résultats excellents et dont les caractéristiques sont les suivantes (fig. 8) :

Table en forte tôle d'acier, rivée à un poutrellage en fers U, bien entretoisés. Ces fers U reposent sur quatre ressorts E guidés par des chandelles d'acier, qui sont elles-mêmes fixées soit dans une fondation en béton soit sur un truck mobile sur quatre roues, suivant qu'on désire un vibreur déplaçable ou non. Un arbre de transmission B, tournant sur deux paliers à roulement à billes est fixé aux fers U supportant la table. Cet arbre est muni d'une ou de deux joues excentrées. Il est relié par un lien flexible à un arbre intermédiaire situé dans son

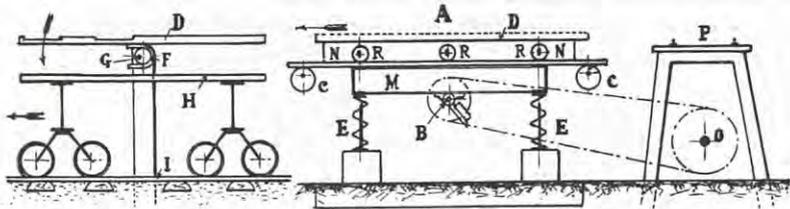


Fig. 8. — Schéma d'une table vibrante sur ressorts avec dispositif de décoffrage pour pièces planes et lourdes.

Légende :

- | | |
|---|---|
| A. Vibrateur sur ressorts. | C. Cames de soulèvement des rouleaux. |
| B. Axe vibrant avec poids excentriques. | F. Crochet de retournement attaché au coffrage. |
| E. Ressorts transmettant la vibration à la table. | G. Axe de retournement. |
| M. Poutrellage en fers U constituant la table. | H. Diplorys avec table de décoffrement. |
| N. Poutrelle soutenant le coffrage. | I. Voie de roulement. |
| D. Coffrage. | O. Arbre moteur et transmission par poulies. |
| R. Système de rouleaux. | P. Voie Decauville de déchargement de béton. |

alignement et fixé dans deux paliers indépendants de la table. L'arbre moteur Θ commande l'arbre intermédiaire par poulies et courroie. Dès qu'il se meut, il communique sa rotation à l'arbre du vibrateur. Les masses excentriques de celui-ci provoquent des forces centrifuges qui, par l'intermédiaire des quatre ressorts transmettent la vibration de tout le système. Le seul point délicat était la liaison flexible entre l'arbre fixe et l'arbre attaché au vibrateur; un simple ressort a donné toute satisfaction. Cet appareil est donc souple et robuste, tout le poids des secousses étant supporté par des ressorts; il permet de vibrer de gros poids de béton. Un rhéostat modifiant la vitesse du moteur sert à régler à volonté l'amplitude des vibrations.

D'autres systèmes de vibrateurs sans ressorts existent; le plus souvent un moteur y est attaché qui comporte lui-même un poids excentré. Ce moteur spécial, qui est secoué en permanence, ne travaille évidemment pas dans les meilleures conditions.

Le travail aux vibrateurs doit être étudié de façon à réduire au minimum les dépenses en main-d'œuvre.

Le schéma (fig. 9) montre la disposition d'un chantier de vibrateurs.

Les vibrateurs V sont établis en un alignement que longe une voie Decauville P. Cette voie Decauville est à environ un mètre au-dessus du niveau du chantier de vibration. Les wagonnets Decauville y sont déplacés mécaniquement. A côté de chaque vibrateur sont installées deux auges S dans lesquelles le béton frais est déversé. Devant chaque vibrateur est établi un bout de voie I qui sert de roulement à des diplorys.

Ceux-ci, dont la figure 8 montre la disposition, sont munis de poutrelles. Les pièces fraîchement fabriquées et décoffrées sur une planche de fond, sont glissées sur ces poutrelles bien huilées à cet effet. Au cas où les pièces sont trop lourdes ou trop fragiles pour subir une manipulation immédiate, elles y sont laissées deux jours; les diplorys ont, dans ce cas, une capacité suffisante à cette production. Certaines pièces cependant, telles que toutes celles de faible hauteur ou les blocs, sont enlevées immédiatement et stockées à plat aux aires de premier durcissement T (fig. 10). Après quelques jours, elles sont reprises et

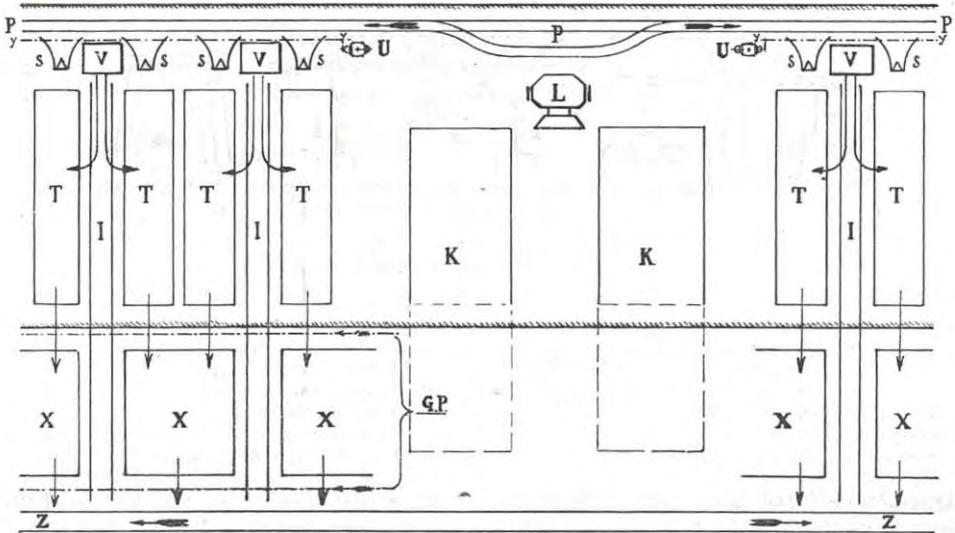


Fig. 9. — Schéma de la disposition du chantier de bétonnage.

Limite des parties couvertes.

P. P. Voie Decauville de distribution du béton.

S. Angles de déversement du béton.

V. Vibrateurs.

I. I. Voie de roulement pour diptères.

T. Aires de premier durcissement.

X. Aires de stockage.

Légende :

Z. Z. Voie de chargement et de déchargement à double sortie.

G. P. Voie de roulement de la grue portique.

K. Stock de matières premières.

L. Bétonnière.

U. Moteurs électriques actionnant les vibrateurs.

y. y. Transmission motrice des vibrateurs.

N. B. — Le chantier pour le travail à la main a la même disposition. Les aires T sont les aires de fabrication. La forge, les ateliers de ferrailage et de menuiserie sont établis à une des extrémités du chantier.



Fig. 10. — Panneaux de clôture sur aire de premier durcissement.

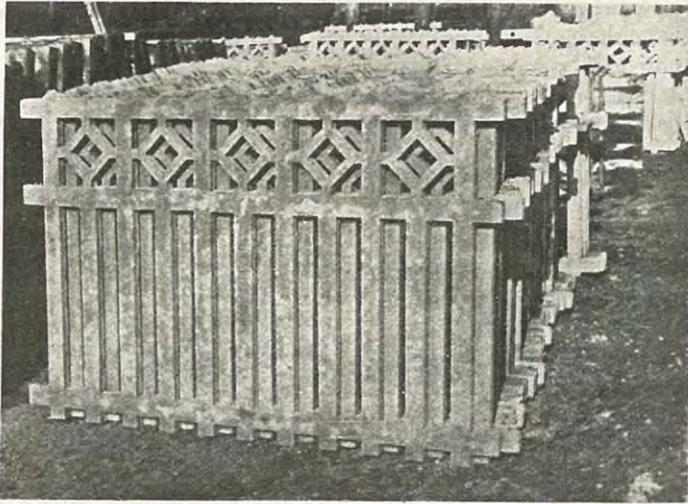


Fig. 11. — Panneaux de clôture sur aire de stockage.

mises debout ou en tas, pour gagner de la place, dans les endroits de stockage X, longeant la voie de chargement (fig. 11).

La fabrication des pièces sur le vibreur se fait très simplement; l'armature est posée dans le coffrage et les hommes y jettent le béton à la pelle (fig. 12); ils attendent le temps de vibration nécessaire à l'uniformisation de la masse de béton, ce qui se constate quand le mortier commence à surnager et ils dressent la face supérieure à la plâtresse.

Le décoffrage des pièces doit être étudié spécialement.

Si les pièces, coffrage compris, peuvent être soulevées à deux hommes, le décoffrage se fait très facilement par basculement sur une planche de fond. Si, au contraire, ce qui est souvent le cas, les pièces sont trop lourdes pour être maniées à bras d'hommes, des dispositifs doivent être imaginés pour permettre le basculement, sans devoir les soulever.

Nous avons réalisé pour des poteaux

très lourds, des plans inclinés disposés en avant du vibreur, les hommes y



Fig. 12. — Table vibrante en action.

glissent la pièce fabriquée et la basculent aisément; le démoulage des panneaux de clôture est rendu aisé grâce à un dispositif (fig. 8) comprenant des rouleaux R, disposés sur le vibrateur et qu'on peut remonter grâce à deux cames C, pour y faire reposer le coffrage D, contenant la pièce fabriquée, qu'ils soulèvent du vibrateur. Par une poussée on fait glisser le coffrage sur ces rouleaux. Le coffrage lui-même est muni de deux crochets F fixés sur son axe d'équilibre; ces crochets, après déplacement du coffrage, s'agrippent sur un axe G autour duquel on fait basculer et retourner les pièces. L'axe G lui-même peut être soulevé légèrement par deux leviers, pour permettre le décoffrage de la pièce, lorsqu'elle est posée sur le plancher H du diptory qu'on a amené à cet effet.

Il convient de remarquer que tout coffrage contenant une pièce fraîchement faite, peut être complètement retourné sans que la pièce ne tombe; il faut, au contraire, tapoter sur les parois pour qu'elle se détache du coffrage.

Pour d'autres pièces pondéreuses, le soulèvement et le basculement ont été réalisés au moyen de palans différentiels.

Confection et utilisation des coffrages.

Avant que le procédé de vibration ne fût employé au chantier de Roulers, l'emploi des coffrages métalliques était assez restreint. Le nombre de coffrages nécessaires à une production en grande série en rendait souvent le coût prohibitif et hors de proportion avec le but à atteindre.

La vibration permet d'obtenir une grosse production au moyen d'un seul ou d'un petit nombre de coffrages, parce qu'elle rend le démoulage immédiat possible; ce procédé exclut d'ailleurs l'emploi des coffrages en bois, qui manquent d'étanchéité et de rigidité. D'autre part, le coffrage métallique, quoique coûtant plus cher que le coffrage en bois, ne se déforme pas, se conserve indéfiniment et ne demande aucun entretien. Il permet de fabriquer des pièces rigoureusement identiques.

La substitution systématique des coffrages métalliques à tous les anciens coffrages en bois se poursuit progressivement. Les moules en bois seront conservés uniquement pour la fabrication de nouvelles pièces, dont la forme n'est

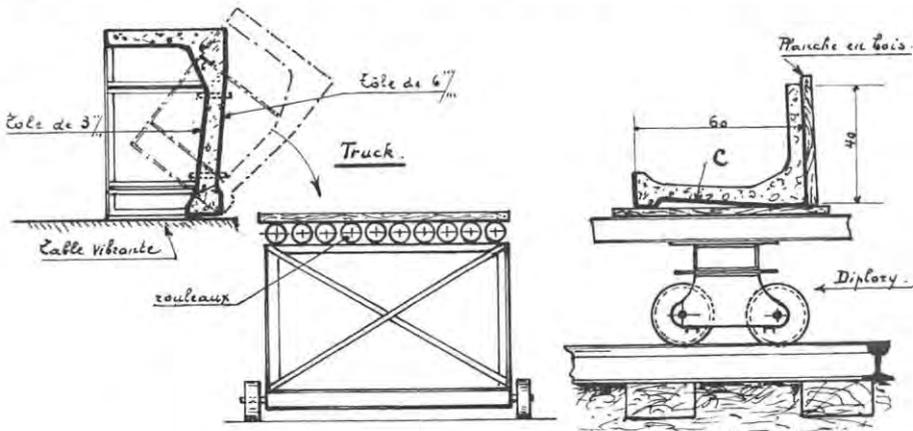
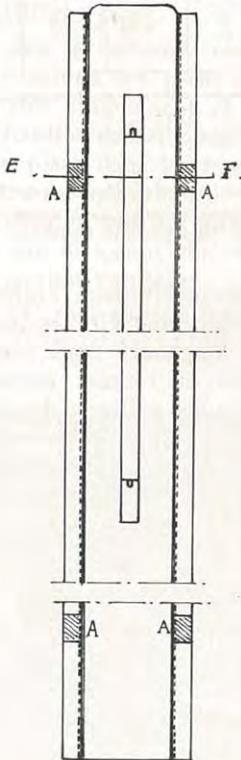
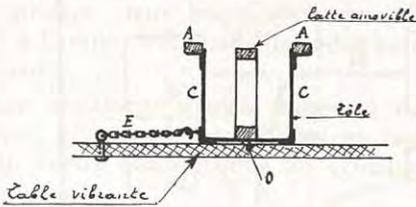


Fig. 13. — Coffrage pour bordure de quai ordinaire.

Coupe E. F.



Plan.

Fig. 14. — Coffrage pour poteau de clôture ajouré.

pas définitivement fixée et pour la fabrication de certaines pièces en nombre restreint ou de forme trop compliquée.

L'étude des coffrages métalliques, permettant la vibration des pièces, doit être faite dans le but de faciliter le démoulage par retournement. Elle conduit sou-

vent à des conceptions différentes de celles des coffrages destinés à la confection d'objets en béton plastique. Parfois même, de légères modifications de forme des pièces fabriquées se révèlent indispensables. Au cours des fabrications, l'expérience enseigne l'opportunité de certaines mises au point qui peuvent être réalisées sur-le-champ dans l'atelier de mécanique annexé au chantier; celui-ci dispose, à cet effet, d'un poste de soudure et de quelques machines-outils.

Les figures 13 et 14 donnent quelques détails de coffrages; à remarquer :

1° (fig. 13) : pour les bordures de quai, la tôle inférieure emboutie C indépendante réalisant le profil extérieur de la pièce; ces tôles sont nécessaires chaque fois que la face inférieure est profilée;

2° (fig. 14) : les taquets A, sur lesquels repose le coffrage après retournement; généralement, la pièce, malgré l'huilage, reste collée dans le moule, ces taquets permettent le démoulage en tapotant simplement sur le coffrage sans devoir le secouer en le soulevant;

3° les tôles C qui dépassent légèrement l'aile horizontale de la cornière raidisseuse, ceci afin de faciliter le lissage pendant la fabrication;

4° les trous O d'aération dans le fond du coffrage : l'air s'introduit dans ces trous pendant le démoulage et concourt, avec un bon huilage des faces intérieures, à empêcher que le béton ne colle aux parois;

5° les deux chaînettes E servant à la fixation du coffrage sur le vibreur pendant la fabrication.

Confection et mise en œuvre des armatures.

Les travaux de ferrailage sont tous exécutés en grande série, à l'exception du

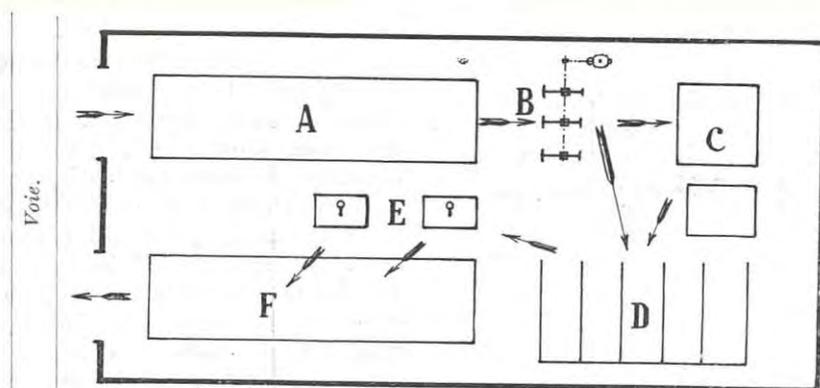


Fig. 15. — Atelier de ferrailage. Schéma.

Légende :

- | | |
|--|---|
| <p>A. Stockage des fers bruts.
 B. Cisailles mues par moteur électrique et gabarits de coupage.
 C. Tables avec gabarits de pliage et condenses.</p> | <p>D. Compartiments de stockage des fers mi-achevés.
 E. Soudeuses au point avec tables de travail.
 F. Stocks des armatures terminées.</p> |
|--|---|

pliage, dans un atelier spécialement aménagé à cet effet (fig. 15).

Les barres, de longueurs commerciales,



Fig. 16. — Soudure d'armatures.

et y sont successivement entreposées, classées suivant diamètre et longueur, coupées en longueurs types, éventuellement crochetées et réunies entre elles pour constituer des grillages de différentes dimensions.

Ces grillages sont mis provisoirement en dépôt en attendant leur acheminement vers les chantiers de consommation.

Le cisailage des barres se fait mécaniquement.

Les machines de l'atelier de ferrailage sont équipées d'une table de travail appropriée.

L'assemblage des barres de l'armature se fait par soudure.

Nous employons des soudeuses électriques au point 220/50 V. soudant par résistance, donc sans apport de métal; elles sont munies d'un interrupteur automatique et répondent aux caractéristiques suivantes (fig. 16) :

Puissance maximum : 15 kw.

Longueur utile des gros bras : 550 mm.

Le travail aux soudeuses est facilité par

l'utilisation de gabarits munis d'encoches de guidage, dans lesquels l'homme établit à l'avance son quadrillage des barres à souder.

Les armatures soudées sont peu coûteuses; elles sont très rigides et beaucoup mieux achevées que les armatures ligaturées.

Les armatures partent généralement de l'atelier en grillages plats.

Le pliage des armatures, conformément aux indications des plans d'exécution, se fait très simplement et rapidement sur le chantier de bétonnage même, avant mise en place dans les moules, au moyen de carcans spécialement étudiés pour chaque objet et mis au point, grâce à l'initiative du dirigeant du chantier, M. le chef de section Van Hee.

La figure (17) reproduit la forme d'un de ces outils.



Fig. 17. — Carcan pour pliage d'armatures.

Le cisailage, le crochetage et le pliage des armatures absorbent environ 6 heures de main-d'œuvre par 1 000 kgr., l'assemblage par soudure, environ 24 heures, donc l'achèvement complet d'armatures, environ 30 heures par 1 000 kgr. Ces taux seraient évidemment moindres dans le cas d'emploi d'aciers de diamètres plus gros. Un homme fait de 1 000 à 2 000 points de soudure par heure.

Essais des bétons.

L'étude du béton vibré est relativement récente et les résultats publiés jusqu'à ce jour sont peu nombreux.

Il est procédé périodiquement au chantier de Roulers à des séries d'essais ayant pour objectifs, entre autres :

La comparaison des résistances des bétons vibrés, damés et plastiques; la comparaison de la valeur des matériaux inertes d'origine belge; la détermination du meilleur dosage en matières inertes, en ciment et en eau, pour obtenir le béton le plus économique et ayant une résistance en rapport avec la nature des fabrications du chantier; la comparaison des résistances des bétons, vibrés pendant des temps différents, etc...

Les conclusions de ces essais sont basées sur la valeur de divers éléments caractéristiques de ces bétons, âgés de 28 jours et exposés à l'air, notamment :

a) *Leur composition* : la quantité en poids de béton approximativement nécessaire au remplissage d'une série de trois moules est fixée à la suite d'essais préliminaires; tous les ingrédients sont dosés en poids; les dosages en volume apparent des matières inertes (sables et pierrailles) sont calculés après détermination de leur poids spécifique apparent, c'est-à-dire du poids de l'unité de volume de matière non damée et arasée dans son récipient; (ces poids spécifiques apparents varient, pour

une même matière, avec son module de finesse et son degré d'humidité) et composé de :

Soit, à titre d'exemple, un poids de béton destiné au remplissage de trois cubes d'un volume total de

$$3 \times 0.20 \times 0.20 \times 0.20 = 0.024 \text{ m}^3$$

Poids du béton en excédent après remplissage des moules	4.35 kgr.	
Poids du béton frais contenu dans les moules	61.60	— 4.35 = 57.25 kgr.
Poids des cubes de béton après démoulage		56.56 kgr.
Eau évacuée après prise		0.69 kgr.
soit 1.2 % du poids du béton.		
Poids total du béton (eau évacuée après prise déduite) :		
56.56 + (4.35 — 1.2 %) = 60.86 kgr.		

9.250 kgr. de ciment.
13.750 kgr. de sable.
34.500 kgr. de pierrailles.
4.100 kgr. d'eau.
Poids total : 61.600 kgr. de béton.

Il en résulte :

$$\text{Poids du ciment au m}^3 : \frac{9.25 \times 56.56}{60.86 \times 0.024} = 357.89 \text{ kgr./m}^3.$$

$$\text{Poids de sable au m}^3 : \frac{13.75 \times 56.56}{60.86 \times 0.024} = 532 \text{ kgr./m}^3.$$

$$\text{Volume apparent du sable} : \frac{532}{1.35} = 394 \text{ litres.}$$

$$\text{Poids de pierrailles au m}^3 : \frac{34.500 \times 56.56}{60.86 \times 0.024} = 1334.83 \text{ kgr./m}^3.$$

$$\text{Volume apparent des pierrailles} : \frac{1334.83}{1.31} = 1023 \text{ litres.}$$

$$\text{Eau de gâchage au m}^3 : \frac{4.100 \times 57.25}{61.60 \times 0.024} = 159.00 \text{ kgr./m}^3.$$

b) *Leur poids spécifique*, qui se calcule par la division du poids des éprouvettes par leur volume apparent;

c) *Leur résistance à la compression*, qui est déterminée par écrasement de séries de 3 cubes de 20 cm. de côté, confectionnés dans des moules en bois, cloisonnés par des tôles d'acier rabotées; ces tôles permettent de réaliser des surfaces très unies et régulières, évitant des écrasements locaux, sous l'action des plateaux de la machine d'essai;

d) *Leur résistance à la traction*, qui est mesurée par flexion de trois prismes non armés de 40 × 10 × 10 cm., placés sur des appuis distants de 10 cm. et chargés au milieu de leur portée; le béton n'étant pas un matériau d'une homogénéité parfaite et pouvant présenter dans sa masse

des défauts locaux, la valeur assez variable de la résistance à la traction, obtenue par application de la formule

$$R = \frac{MV}{I} \text{ n'est que très approximative.}$$

Les résultats de ces essais sont donc moins concluants que ceux de l'essai de compression;

e) *Leur compacité relative*, qui est définie par la partie du volume du vide existant entre les pierrailles, occupée par leur mortier d'enrobage, dans l'hypothèse où l'eau de gâchage ne provoque aucune augmentation de volume des matériaux.

Soit, à titre d'exemple, 1 m³ de béton composé de :

1 353 kgr. de pierrailles d'une densité de .	2.65.
529 kgr. de sable d'une densité de .	2.65.
363 kgr. de ciment d'une densité de .	3.1.

1. Volume absolu de la pierraille	$\frac{1353}{2650}$	= 0.5104 m ³ .
2. Volume absolu du sable	$\frac{529}{2650}$	= 0.2033 m ³ .
3. Volume absolu du ciment	$\frac{363}{3100}$	= 0.1171 m ³ .
Total 2 + 3 =		0.3204 m ³ .

Volume du vide entre les éléments des pierrailles :

$$1 - 0.5104 = 0.4896 \text{ m}^3.$$

Compacité du béton :

$$\frac{0.3204}{0.4896} = 0.654.$$

Diverses précautions sont toujours prises pour garantir la précision des essais :

Les matériaux sont tous séchés, afin de pouvoir déterminer exactement le volume de l'eau de gâchage et le poids des matériaux employés.

L'eau est dosée dans des récipients gradués.

Les pesées sont faites sur une balance automatique à cadran, donnant, pour des poids de 50 kgr., une précision jusque 20 gr.

Le ciment est prélevé dans un tas, fait avec le contenu de plusieurs sacs et bien trituré au préalable, de façon à avoir une qualité uniforme.

Les mélanges sont préparés en les triturant énergiquement, d'abord à sec jusqu'à obtention d'une masse parfaitement homogène, puis après addition de l'eau.

Les modules de finesse de toutes les matières inertes utilisées sont déterminés au moyen de dix tamis de la série d'Abrams. La figure 18 donne les dia-

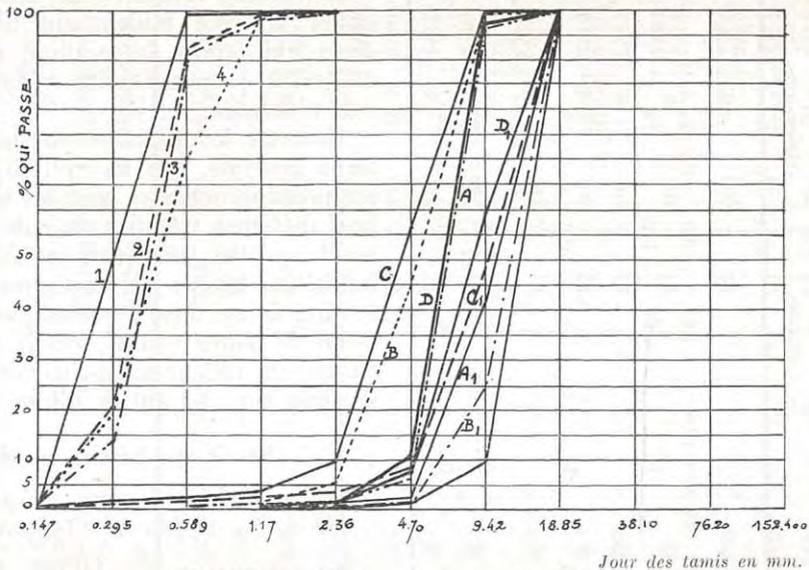


Fig. 18. — Diagrammes granulométriques.

- | | | |
|------------------------------|---------------------------------|---|
| 1. Sable de mer. | A = Porphyre 5/10. | C = Laitier concassé 5/10. |
| 2. Sable de Mont-St-Guibert. | A ₁ = Porphyre 5/15. | C ₁ = Laitier concassé 5/15. |
| 3. Sable de Moll. | B = Grès 5/10. | D = Gravier du Rhin 5/10. |
| 4. Sable du Rhin. | B ₁ = Grès 5/15. | D ₁ = Gravier du Rhin 5/15. |

N° d'ordre.	Dosage des bétons au m ³ .					Après 28 jours.						
	Sable.		Pierailles.		Eau. Volume L.	C E	Résistance à la compression. Kgr./cm ² .	Résistance à l'extension. Kgr./cm ² .	Compacité.			
	Origine.	Module de finesse.	Volume L.	Origine et Dimensions.						Poids spécifique du béton. Kgr./m ³ .		
Ciment P.A.D.R. Kgr.												
1	363	Mt.-St.-Guibert.	1.84	399	Béton vibré. Porph. 5/10	1 037	169	2.15	412	2 373	...	0.646
2	360	Id.	Id.	419	Id.	1 030	168	2.14	417	2 392	53.1	0.645
3	372	Id.	Id.	409	Béton damé. Id.	985	201	1.85	359	2 341	...	0.638
4	358	Id.	Id.	421	Béton plastique. Id.	961	231	1.55	289	2 324	36.9	0.605
5	340	Id.	Id.	401	Id.	914	266	1.28	189	2 264	32.4	0.551

grammes granulométriques des divers produits essayés sur le chantier.

Une série de résultats moyens obtenus jusqu'à présent sont consignés dans les tableaux suivants et commentés.

Comparaison de bétons de compositions similaires en matières sèches (Tableau I).

La résistance à la compression des bétons vibrés dépasse celle des bétons damés d'environ 20 % et celle des bétons plastiques de 60 à 100 %; la différence est moins grande pour l'extension que pour la compression. Le béton n° 3 est encore trop sec pour une mise en œuvre normale; le béton n° 5, qui correspond à un affaissement au cône d'Abrams d'environ 7 cm. est le seul maniable quand on fabrique des pièces minces à la main.

La compacité et le poids spécifique des bétons varient dans le même sens que les résistances.

La moindre compacité des bétons plastiques provient évidemment de l'excès d'eau qui, après évaporation, provoque des vides entraînant une réduction de leur résistance.

Au cours des essais, on constate, d'une façon générale, que les résistances à la compression obtenues pour les bétons vibrés diffèrent très peu de cube à cube, tandis qu'elles sont assez variables pour les bétons damés et plastiques. La vibration donne donc automatiquement un béton de bonne qualité, tandis que l'influence du facteur main-d'œuvre est plus sensible pour les autres bétons.

Essais sur bétons vibrés.

Comparaison de la valeur des pierailles de nature différente (Tableau II).

Des indications de ce tableau, il ressort que le porphyre et le grès ont des qualités quasi égales, que le laitier concassé est de loin le meilleur matériau et que le gravier

TABLEAU II.

N° d'ordre.	Dosage des bétons au m ³ .							C E	Après 28 jours.			
	Ciment P.A.D.R. kgr.	Sable.			Pierrailles.		Eau. Volume L.		Poids spécifique du béton. kgr./m ³ .	Résistance à la compression. kgr./cm ² .	Résistance à l'extension. kgr./cm ² .	Compacité.
		Origine.	Module de finesse.	Volume L.	Origine et Dimensions.	Volume L.						
1	363	Mt.-St-Guibert.	1.84	399	Porph. 5/10	1037	169	2.15	2 373	412	...	0.646
2	368	Id.	Id.	406	Id. 5/15	1033	167	2.20	2 410	405	50.30	0.675
3	365	Id.	Id.	401	Id. { 5/10 5/15 }	{ 347 682 }	165	2.21	2 385	385	...	0.622
4	364	Id.	Id.	401	Id. { 5/10 5/15 }	{ 693 341 }	167	2.18	2 393	415	...	0.675
5	354	Id.	Id.	390	Grès 5/10	1011	165	2.15	2 314	430	63.6	0.635
6	361	Id.	Id.	397	Id. 5/15	1011	164	2.20	2 360	407	56.3	0.661
7	361	Id.	Id.	398	Id. { 5/10 5/15 }	{ 344 675 }	164	2.20	2 365	420	...	0.661
8	357	Id.	Id.	393	Id. { 5/10 5/15 }	{ 680 334 }	165	2.16	2 341	420	...	0.647
9	364	Id.	Id.	401	Laitier 5/10	1041	172	2.10	2 394	492	60.8	0.647
10	367	Id.	Id.	404	Id. 5/15	1030	171	2.15	2 405	487	66.9	0.658
11	367	Id.	Id.	404	Id. { 5/10 5/15 }	{ 349 686 }	172	2.13	2 408	500	...	0.657
12	368	Id.	Id.	405	Id. { 5/10 5/15 }	{ 701 344 }	174	2.12	2 415	485	...	0.661
13	358	Id.	Id.	394	Gravier 5/10	1023	159	2.25	2 338	392	50.00	0.650
14	360	Id.	Id.	396	Id. 5/15	1010	156	2.31	2 354	407	47.7	0.657

roulé est le moins bon, aussi bien pour ce qui concerne la résistance à l'extension que pour celle à la compression. Des expériences antérieures avaient déjà permis cette constatation. Le peu de rugosité des graviers roulés et la grande rugosité des pierrailles, surtout des laitiers concassés, déterminent probablement des qualités d'adhérence différentes qui influencent la résistance. D'autre part, les qualités pouzzolaniques des laitiers font que ce produit a des qualités que n'ont pas les autres matériaux inertes.

Comparaison de la valeur des pierrailles de calibrage différent (Tableau II).

Les pierrailles de petit calibrage donnent en général des bétons légèrement

meilleurs. Les grosses pierrailles donnent des bétons moins homogènes. Les pierrailles de petit calibrage sont d'ailleurs plus faciles à travailler dans les pièces minces.

Des agglomérats, composés de mélanges de pierrailles de calibrages différents, dans le but d'en améliorer la granulométrie, ne se sont guère révélés plus résistants, aux essais.

Les diagrammes granulométriques de ces bétons (fig. 19) indiquent d'une façon générale un trop faible pourcentage d'éléments de dimensions comprises entre 0,5/5 mm. Celui relatif au béton de laitier 5/10 est le plus régulier. De nouveaux essais seront faits avec incorpora-

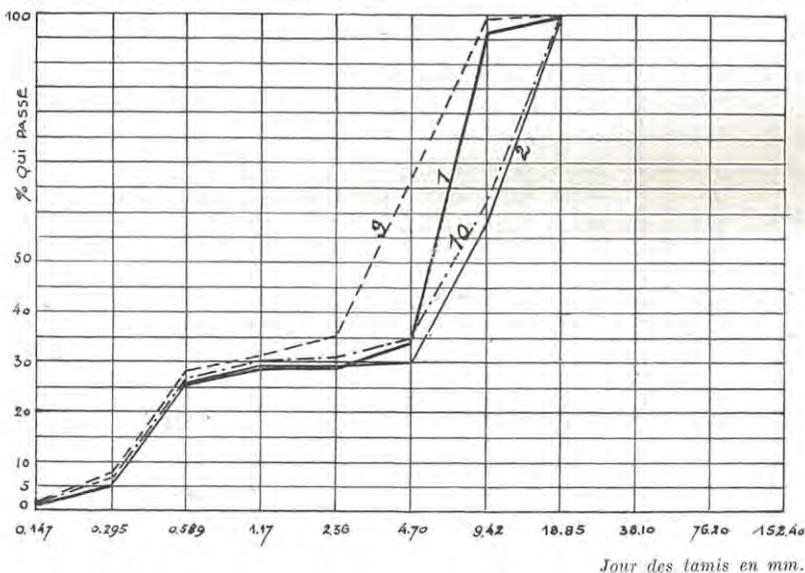


Fig. 19. — Diagrammes granulométriques des bétons du Tableau II.

tion de quantités variables de pierrailles 0/5 mm.

Comparaison de la valeur des sables (Tableau III).

A l'extension comme à la compression,

les sables de carrière donnent des bétons vibrés de qualités aussi bonnes que les sables du Rhin, quoique le module de finesse de ce dernier soit notablement plus élevé. Le sable de mer, qu'on rebute ordinairement, donne un béton vibré de

TABLEAU III.

N° d'ordre.	Dosage des bétons au m³.							C E	Après 28 jours.			
	Ciment P.A.D.R. kgr	Sable.			Pierrailles.		Eau. Volume L.		Poids spécifique du béton. kgr./m³.	Résistance à la compression. kgr./cm².	Résistance à l'extension. kgr./cm².	Compacité.
		Origine.	Module de finesse.	Volume L.	Origine et Dimensions.	Volume L.						
1	360	Sable du Rhin.	2.26	397	Porph. 5/10	1 030	166	2.17	2 360	402	55.4	0.646
2	359	Mt.-St-Guibert	1.84	395	Id.	1 025	167	2.15	2 353	415	55.7	0.639
3	355	Sable de Mer.	1.50	391	Id.	1 015	169	2.10	2 331	377	54.8	0.634
4	360	Sable de Moll.	1.96	396	Id.	1 028	167	2.16	2 360	422	67.2	0.644
5	357	Pouss. Porph.	2.75	394	Id.	1 021	179	2 00	2 308	337	53.9	0.634

TABLEAU IV.

N° d'ordre.	Dosage des bétons au m³.							C E	Après 28 jours.			
	Ciment. P.A.D.R. Kgr.	Sable.			Pierrailles.		Eau. Volume L.		Poids spécifique du béton. Kgr./m³.	Résistance à la compression. Kgr./cm².	Résistance à l'extension. Kgr./cm².	Compacité.
		Origine.	Module de finesse.	Volume L.	Origine et Dimensions.	Volume L.						
1	353	Mt.-St-Guibert.	1.84	3 36	Porph. 5/10	1 083	159	2.22	2 330	437	57.2	0.592
2	357	Id.	Id.	376	Id.	1 057	162	2.20	2 342	415	59.9	0.619
3	361	Id.	Id.	457	Id.	994	172	2.10	2 371	457	54.9	0.660
4	359	Id.	Id.	492	Id.	951	175	2.05	2 371	387	45.9	0.669

qualité relativement bonne. Le poussier de porphyre donne le béton le moins résistant. Les essais faits avec ce matériau ont montré qu'il est difficile de trouver un bon dosage en eau. Le poussier contient en effet une grande quantité de matières poudreuses, impalpables, qui demandent beaucoup d'eau. De nouveaux essais seront faits avec des pourcentages d'eau de gâchage plus importants.

Dosages en matières inertes
(Tableau IV).

La vibration permet de faire des bétons très raides, c'est-à-dire à forts do-

sages en pierrailles. Il est possible d'aller en volume jusqu'à trois parties de pierrailles pour une partie de sable. Contrairement à certaines théories, ces bétons ne se révèlent guère plus résistants que d'autres, moins raides; leurs diagrammes granulométriques sont d'ailleurs irréguliers (fig. 20). D'autre part, l'augmentation de raideur rend la vibration plus difficile et, comme le faible dosage du sable réduit à l'extrême la quantité de mortier d'enrobage, on risque d'obtenir des bétons moins compacts, peu homogènes, donc sujets à malfaçon.

Les meilleurs bétons vibrés paraissent

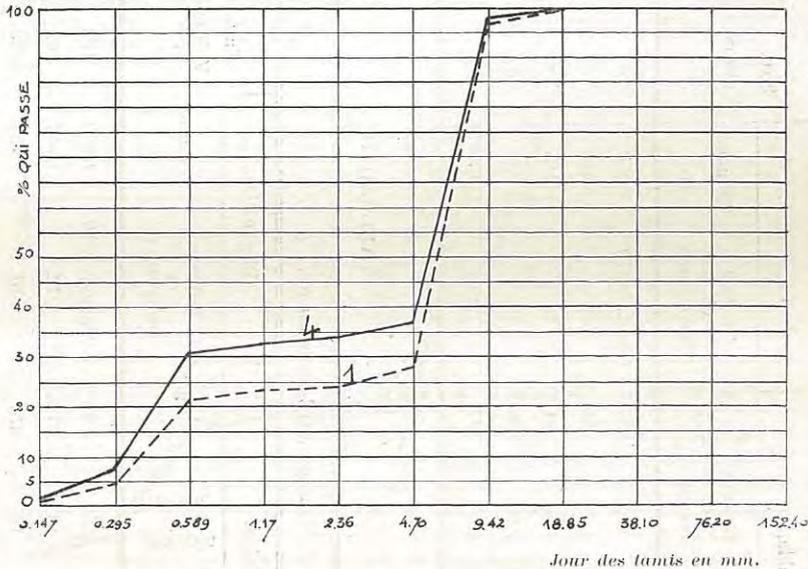


Fig. 20. — Diagrammes granulométriques des bétons du Tableau IV.

correspondre au dosage en volume de 1 sable pour 2 à 2.5 pierrailles.

Dosages en eau (Tableau V).

Pour les bétons vibrés, toute mesure de fluidité par la table à secousses devient impossible : le béton se désagrège

au lieu de s'étendre; au cône d'Abrams, l'affaissement est nul. En attendant qu'une mesure de fluidité soit définie, celle-ci est jugée au chantier en serrant le béton dans la main et en examinant sa plasticité.

Des bétons composés d'une façon identique en matières sèches ont été essayés,

TABLEAU V.

N° d'ordre.	Dosage des bétons au m ³ .						Après 28 jours.				
	Ciment P.A.D.R.	Sable.		Pierailles.		Eau. Volume L.	C	E	Résistance à la compression.	Résistance à l'extension.	Compacité.
		Origine.	Module de finesse.	Volume L.	Origine et Dimensions.						
Kgr.	Kgr.	Kgr.	Kgr.	Kgr.	Kgr.	Kgr./cm ² .	Kgr./cm ² .	Kgr./cm ² .	Kgr./cm ² .	Kgr./cm ² .	
1	363	Mt.-St-Guibert.	1.84	400	Porph. 5/10	1 038	2.25	437	..	0.656	
2	363	Id.	Id.	399	Id.	1 037	2.147	412	..	0.646	
3	364	Id.	Id.	401	Id.	1 041	2.15	410	..	0.659	
4	363	Id.	Id.	400	Id.	1 039	2.05	392	..	0.654	
5	362	Id.	Id.	399	Id.	1 034	2.06	392	..	0.651	
6	435	Id.	Id.	398	Id.	980	2.48	495	59.8	0.642	
7	426	Id.	Id.	390	Id.	960	2.14	435	44.1	0.617	

dosés avec des pourcentages d'eau de gâchage minimum, moyen et maximum, compatibles avec une bonne fabrication (bétons n^{os} 1 à 5).

Les dosages en eau minima, rendant le béton travaillable, donnent les résultats maxima. Un béton est travaillable quand, après une vibration de 3 à 5 minutes, la masse étant devenue homogène, le mortier affleure à la surface supérieure du moule. Si cela ne se produit pas, le béton est trop sec et n'acquiert guère de résistance.

Les meilleurs dosages moyens en eau de gâchage paraissent être d'environ 170 litres au m³ pour le béton vibré, 200 à 230 litres au m³ pour le béton damé et 230 à 265 litres au m³ pour le béton plastique.

Cette proportion d'eau de gâchage dépend de la nature et du calibrage des pierailles, de la nature et de la grosseur des sables et du dosage de ces matériaux inertes.

Pour obtenir une même plasticité, elle doit augmenter :

a) avec la rugosité des pierailles (voir Tableau II : laitiers rugueux et graviers lisses);

b) avec le dosage en sable (voir Tableau IV);

c) avec la proportion d'impalpables des sables (voir conclusions relatives au poussier de porphyre).

Avec une même proportion de matières inertes, il suffit de 15 litres d'eau au m³ pour passer d'un béton trop sec à un béton trop humide.

Pendant la vibration et la prise du béton, environ 25 litres d'eau au m³ sont expulsés; 20 autres litres se perdent au cours du durcissement pendant 28 jours.

Dosages en ciment (Tableau VI).

Les résistances des bétons vibrés augmentent quasi linéairement avec le do-

TABLEAU VI.

N° d'ordre.	Dosage des bétons au m ³ .						Après 28 jours.				
	Ciment P.A.D.R. Kgr.	Sable.		Pierres.		Eau. Volume L.	C	E	Résistance à la compression. Kgr./cm ² .	Résistance à l'extension. Kgr./cm ² .	Compacité.
		Origine.	Module de finesse.	Volume L.	Origine et Dimensions.						
1	247	Mt.-St-Guibert.	1.84	450	Porph. 5/10	1 108	1.52	275	45.9	0.654	
2	294	Id.	Id.	435	Id.	1 074	1.78	352	53.1	0.647	
3	360	Id.	Id.	419	Id.	1 030	2.14	417	53.1	0.645	
4	390	Id.	Id.	412	Id.	1 014	2.20	440	60.8	0.648	
5	435	Id.	Id.	398	Id.	980	2.48	495	59.8	0.642	
6	477	Id.	Id.	382	Id.	941	2.69	545	57.6	0.630	
7	426	Id.	Id.	390	Id.	960	2.14	435	44.1	0.617	

sage en ciment, à condition de ne faire varier le pourcentage d'eau de gâchage que légèrement, de façon à maintenir une plasticité constante et, par conséquent, une facilité normale de mise en œuvre. Au cours de nombreux essais, il a été reconnu qu'au point de vue pratique, il n'est pas possible de maintenir

la constance du facteur $\frac{\text{ciment}}{\text{eau}}$ dans les

bétons vibrés, pour garantir un matériau de haute résistance. En effet, en ce faisant, on obtient des bétons trop secs, ayant tendance à désagrégation, pour de faibles dosages en ciment et des bétons trop fluides pour de forts dosages en ciment.

La comparaison des bétons n^{os} 3, 4, 7, indique l'influence défavorable de la constance du facteur $\frac{C}{E}$ sur la résistance des bétons.

Des essais comparatifs de bétons contenant les mêmes proportions, les uns de ciment P. A. N., les autres de ciment de haut fourneau ont fait constater l'équivalence de qualité de ces deux produits. L'addition, à ces matières actives, d'un léger pourcentage de chaux, a donné des résultats variables ne permettant pas de conclure positivement à une augmentation de résistance.

Temps de vibration. — La vibration doit se poursuivre pendant un temps suffisamment long pour que le béton soit devenu une masse parfaitement homogène. Les essais paraissent démontrer que la durée de 4 minutes est la plus recommandable. Les bétons vibrés moins longtemps ont une résistance réduite; ceux vibrés pendant 1 à 2 minutes de plus n'acquièrent qu'une légère augmentation de résistance. De nouveaux essais seront faits pour examiner si une durée de vibration prolongée ne pro-

voque pas finalement une désagrégation des matériaux.

Immersion. — *Arrosage.* — Les essais ont montré qu'un gain de résistance de 10 % peut être obtenu par l'immersion des pièces dans des cuves remplies d'eau. De même les pièces arrosées ou bien simplement laissées à l'extérieur donnent de meilleures résistances que les cubes conservés à l'intérieur où l'air est trop sec. L'immersion des pièces fabriquées absorbe une main-d'œuvre assez considérable; par contre l'arrosage régulier des pièces est à recommander.

Dureté. — Des essais ont montré que la dureté ou la résistance à l'usure des bétons vibrés n'a guère de rapports avec leur résistance à l'extension ou à la compression. Ainsi, les bétons aux pierailles de laitier, qui donnent à l'extension et à la compression des résistances dépassant celles de tous les autres bétons, ont révélé une résistance à l'usure nettement inférieure.

Organisation générale du travail.

L'activité du chantier de béton est contrôlée dans tous ses détails grâce à une organisation rationnelle du travail, comprenant les éléments suivants :

- a) Chronométrage des temps d'exécution des travaux,
- b) Rédaction des programmes mensuels de travail,
- c) Distribution du travail,
- d) Contrôle de l'avancement des travaux,
- e) Contrôle de la qualité du travail.

Chronométrage. — Ainsi qu'il est décrit précédemment, l'aménagement des chantiers a été étudié de façon à per-

mettre l'exécution des travaux dans un temps minimum.

Des chronométrages répétés, exécutés sous la surveillance d'agents expérimentés, ont permis d'établir, pour la fabrication, un tableau des rendements à imposer pour chaque genre de pièce.

Ci-après quelques rendements imposés :

40 panneaux de clôture ajourée par brigade de 6 hommes en 8 heures (poids d'un panneau : 115 kgr.).

55 poteaux pour clôture ajourée par brigade de 2 hommes en 8 heures (poids d'un poteau : 90 kgr.).

32 bordures de quai ordinaire par brigade de 2 hommes en 8 heures (poids d'une bordure : 130 kgr.).

28 bordures de quai surélevé par brigade de 2 hommes en 8 heures (poids d'une bordure : 133 kgr.).

26 caniveaux de fossés par brigade de 2 hommes en 8 heures (poids d'un caniveau : 221 kgr.).

1 440 couvre-câbles de 0.05 m. d'ouverture par brigade de 5 hommes en 8 heures (poids d'un couvre-câble : 10 kgr.).

960 couvre-câbles de 0.09 m. d'ouverture par brigade de 5 hommes en 8 h. (poids d'un couvre-câble : 17 kgr.).

Pour obtenir ces rendements, qui constituent des maxima, le travail de série est de rigueur, c'est-à-dire que les mêmes équipes d'hommes doivent exécuter le même travail aussi longtemps que le programme le permet. Il a été établi qu'une équipe de bétonneurs expérimentés, quand elle change de travail, ne parvient à obtenir le rendement imposé qu'après plusieurs jours d'initiation; le décalage est plus grand encore s'il s'agit d'hommes inexpérimentés.

Rédaction des programmes mensuels. — Mensuellement, le chantier reçoit du service central le relevé des prévisions

des objets à fournir au cours du troisième mois suivant. Ce relevé est la concentration des prévisions de chaque service, déterminées d'après les indications des plannings d'exécution de leurs travaux.

En possession de ces renseignements, le chantier dresse un programme de fabrication d'objets en béton armé et d'armatures, compte tenu des disponibilités en dépôt et des délais de durcissement. Eventuellement, ce programme comprend la construction de nouveaux coffrages. Ce programme prévoit la constitution d'une réserve de stocks correspondant environ aux besoins moyens de 1 mois, de façon à pouvoir donner suite à des besoins urgents imprévus. Ce programme mensuel sert à établir les bons de travail journaliers.

Distribution du travail. — La réalisation du programme des travaux est répartie entre les différents chantiers suivant leur capacité de production, leur aménagement, la spécialité des équipes et l'importance de chaque fabrication.

Un personnel parfaitement au courant de ces particularités rédige, en connaissance de cause, tous les bons de main-d'œuvre destinés aux diverses équipes. Ces bons mentionnent au recto :

- a) la nature du travail à exécuter,
- b) le temps accordé pour la réalisation de ce travail,
- c) l'équipe chargée de l'exécution, ainsi que l'outillage qui doit y être affecté,
- d) le travail précédant le nouveau travail commandé,
- e) les dates prévues pour le commencement et l'achèvement du travail.

Ces bons sont classés par équipe, suivant l'ordre dans lequel les travaux doivent être terminés; la date d'exécution prévue n'y est indiquée qu'au moment

où des renseignements précis quant à la date d'achèvement des travaux en cours sont connus. Les bons de main-d'œuvre sont distribués chaque jour, au début du travail, aux intéressés. Les prestations prévues n'excèdent jamais une journée de travail.

Ces bons de main-d'œuvre sont établis aussi bien pour les équipes de fabrication que pour les équipes de ferrailage ou de manutention. Les équipes de manutention sont généralement celles qui constituent le noyau de réserve où l'on puise, en cas d'absences dans les autres équipes. Seules, les équipes de menuisiers et d'ajusteurs chargés de la construction et de l'entretien des coffrages et de l'outillage, peuvent difficilement travailler suivant des plannings de prévision et suivant des normes établies à l'avance : leur travail est sujet, en effet, à trop d'imprévus.

Contrôle de l'avancement des travaux. — Lors de la distribution des bons de main-d'œuvre aux chantiers, un agent spécialisé dresse sur un rouleau de papier millimétré, le planning pour chaque travail, c'est-à-dire un graphique indiquant la prévision d'avancement de celui-ci; au fur et à mesure que les travaux s'exécutent, les premiers graphiques sont complétés par l'indication de l'allure réelle de cette exécution. Les bons de main-d'œuvre, réintégrés au bureau du chantier en fin de chaque journée, fournissent tous les renseignements nécessaires à ce sujet et servent aussi à la tenue de la comptabilité.

En possession de l'ensemble de ces renseignements, le dirigeant du chantier constate aisément toutes les irrégularités de son exploitation et il peut intervenir rapidement et efficacement. Il peut également désigner, à bon escient, les brigades auxquelles un travail urgent et im-

prévu peut être confié sans influence fâcheuse sur les délais de fourniture d'autres fabrications.

Contrôle de la qualité du travail. —

Le contrôle serré des rendements conduirait à un échec certain, si la qualité du travail exécuté n'était pas rigoureusement contrôlée. Le travail des bétonneurs est, en effet, ardu et délicat et les hommes, afin d'arriver au rendement imposé, pourraient être tentés de négliger la bonne exécution des ouvrages.

Une irrégularité dans les mélanges, un défaut aux coffrages, la nonchalance dans la manipulation seraient autant de causes de malfaçon ou de détérioration, même dans la fabrication par vibration.

Tous les chefs d'équipe ont pour mission essentielle de contrôler la qualité de la fabrication et de parer aux déficiences constatées.

Toute pièce défectueuse ou avariée est réparée si possible, ou bien rebulée.

Le dirigeant du chantier, assisté d'un agent vérificateur, surveille tout particulièrement la qualité de la fabrication et prescrit les mesures nécessaires pour éviter les malfaçons.

Enfin, le chef ouvrier des équipes de chargement vérifie toutes les pièces avant l'expédition et y place une marque de réception.

Si l'importance des rebuts paraît anormale, des sanctions sont prises à l'égard des ouvriers en défaut.

Etablissement des prix de revient.

L'établissement des prix de revient des objets fabriqués résulte de la tenue d'une comptabilité industrielle basée sur le principe de l'inventaire permanent :

Pour déterminer la valeur de chaque objet, on part de la comptabilisation des matières premières qui sont, en y incorporant les dépenses successives en sa-

laire et en frais généraux, transformées en demi-produits ou en pièces achevées.

Les bons de main-d'œuvre permettent de déterminer le salaire consacré par objet à chaque stade de sa fabrication. Ces stades, qui se succèdent dans un ordre chronologique, sont :

- 1° le façonnage des fers,
- 2° l'achèvement de l'armature par soudage,
- 3° la préparation du béton,
- 4° la mise en œuvre du béton.

Les frais généraux comprennent des matières et des salaires; ils absorbent 25 % des dépenses totales.

La valeur des matières consommées en frais généraux s'élève à 16 % de la valeur totale des matières. Les salaires, imputés aux frais généraux, c'est-à-dire ceux qui ne peuvent être imputés directement sur chaque pièce fabriquée, s'élèvent à 40 % de la dépense totale en salaires; cette dernière dépense représente elle-même 40 % des dépenses totales du chantier.

Les postes principaux des frais généraux sont les suivants :

Les chargements et les déchargements qui absorbent actuellement 5 heures par m³ de béton, c'est-à-dire 22 % du total des salaires ou 9 % de la dépense totale. Ce pourcentage est très élevé; des efforts sont faits pour le réduire. Une certaine mécanisation a été réalisée jusqu'à présent par l'emploi d'une grue portative avec palan électrique et de transporteurs à rouleaux (fig. 21 et 22).

L'étude d'une mécanisation plus poussée et un contrôle de plus en plus serré des équipes spéciales de manutention permettront vraisemblablement de réduire ce poste.

La confection et la réparation des coffrages et de l'outillage : d'une part, ce poste augmente par le développement de



Fig. 21. — Chargement sur transporteurs à rouleaux.



Fig. 22. — Manutention de pièces lourdes au moyen d'un portique muni d'un palan électrique.

la vibration, mais, d'autre part, il se réduira dans l'avenir par l'emploi de moules métalliques. Il absorbe actuellement 7 % des dépenses totales.

L'aménagement du chantier, c'est-à-dire la construction et l'entretien des bâtiments provisoires ainsi que les travaux

de voies; ce poste absorbe 5 % des dépenses totales.

En fin de compte, les objets terminés rentrent au livre de magasin à leur prix de revient exact.

Des fiches de stock mentionnent les quantités d'objets fabriqués par quinzaine et leurs prix unitaires; elles servent à établir les factures lors de l'expédition des pièces.

Stocks.

Une prévision serrée des commandes et une organisation méthodique de la fabrication et des expéditions permettent de maintenir à un strict minimum l'importance des stocks. La valeur de ceux-ci équivaut à la production du chantier pendant deux mois environ. Ceci constitue un avantage, non seulement parce que le capital immobilisé est réduit, mais aussi parce que la surface des aires de stockage peut être limitée.

Conclusion.

Nous croyons avoir montré, d'une part, le vaste champ d'application qui est dévolu à l'emploi du béton dans l'équipement d'un chemin de fer; d'autre part, les progrès qu'on peut réaliser, en quelques années, dans les chantiers de fabrication.

L'étude des dosages et la vibration permettent d'augmenter la résistance du béton, l'emploi des coffrages métalliques en améliore l'aspect, tandis que l'organisation et la mécanisation du travail en diminuent le coût.

Les graphiques ci-dessous indiquent les résultats de ces efforts au chantier de Roulers.

