

Fig. 1.

Vue générale d'une partie du chantier des murs-digues à Haccourt-Lixhe. A l'arrière-plan, les deux culées extrêmes et la pile intermédiaire du nouveau pont fixe. On se rend aisément compte de la largeur du futur canal.



Construction des murs-digues du canal Albert dans la traversée de Haccourt-Lixhe près de Visé (Belgique)¹.

L'ENTREPRISE des murs-digues du canal Albert dans la traversée de Haccourt-Lixhe comprend notamment l'exécution d'environ 80.000 m³ de béton et de 12.000 m² de membrane étanche protégée par un revêtement en cimentac.

Travaux de bétonnage.

Les pieux Franki étant recépés à la hauteur voulue, les fers ronds qui constituent leur armature émergent d'une longueur variant de 1 m. à 1^m50. Ces armatures sont enrobées dans le béton

du mur et réalisent ainsi la solidarité entre les pieux et le massif du mur.

La composition du béton prévue pour le massif du mur est la suivante :

- 300 kgs de ciment Portland normal;
- 800 l. de gravier de Meuse 15/80.
- 400 l. de sable de Meuse 0/5.
- 100 litres de sable de Moll.

Le béton est mis en place sous forme de béton

(1) Voir l'article paru dans "La Technique des Travaux" de décembre 1931 et janvier 1932.



plastique, la fluidité des mélanges étant évaluée au slump test.

L'affaissement moyen est de 5 à 6 cm.

Le béton est confectionné au moyen de bétonnières de 500 l. et mis en place par gravité.

A cet effet, des tours métalliques ou en bois avec bacs coulissants sont munies de goulottes pivotantes. Ces tours se déplacent aisément et les goulottes sont orientées de façon que le béton soit déversé à l'endroit même où il doit être mis en œuvre.

Les figures 2 et 3 montrent ces installations. La figure 2 donne une vue des travaux de bétonnage en cours sur la rive droite. On remarque à l'avant plan la tour métallique mobile servant à la mise en place du béton. La figure 3 montre les tours mobiles en bois installées sur la rive gauche.

Le damage du béton est assuré de la façon suivante : une grille en fers ronds soudés, d'une surface de 0,75 m² environ, est posée sur le béton. Au moyen d'un fouloir pneumatique, on imprime à la grille des vibrations qui se transmettent au béton. La masse ainsi traitée est véritablement vibrée et le mortier reflue uniformément à la sur-

face. La grille est alors retirée et placée sur la partie adjacente. Le retrait de la grille provoque à la surface damée des aspérités favorables à la reprise ultérieure.

La plasticité et l'onctuosité du béton sont telles qu'aucune dissociation des matériaux constitutifs n'est à craindre. Cette considération est essentielle dans la pratique du béton plastique à mettre en place par gravité — une granulométrie et une teneur en eau appropriées conduisent à des résultats probants.

Nous donnons ci-dessous (fig. 4), la courbe de granulométrie du sable de Moll.

La figure 5 donne la même courbe au sable de Meuse.

La figure 6 indique la courbe du gravier de Meuse 15/80.

Pour le béton ainsi constitué, il a été procédé à de multiples essais. Ces essais sont effectués au laboratoire établi sur le chantier; ils sont poursuivis journellement sous la direction du conducteur des Ponts et Chaussées.

Nous donnons ci-dessous les résultats moyens de ces essais :

Essais effectués sur des cubes de 20 cm. × 20 cm. avec du béton mis en œuvre aux murs-digues de Haccourt-Lixhe.

Date du prélèvement	Emplacement où les cubes ont été prélevés	Nos des cubes	Affaissement au slump-test	Nature du damage	Température de l'air	Nature et caractéristiques des matériaux composant un mélange	Date du décoffrage	Mode de conservation	Température de l'air ou de l'eau	Poids du cube au moment de l'écrasement	Résistance compression	
											7 jours	28 jours
20 octobre 1931	Masse de la culée. Rive gauche	63	0,06	Dame pneumatique	11°	266 litres gravier de Meuse 15/80	Après 24 heures le 21 octobre	Sous eau	Minim. 7°5	Kilogs 19 500	—	317.500
		64	0,07			133 litres sable de Meuse 0/5				19.100	—	345.000
		65	0,06			33 litres sable de Moll				19. —	—	356.250
		66	0,08			100 kilogs ciment Portland Artificiel Normal des Ciments Liégeois. Silo n° 2. Essai n° 10				19. —	—	310 000
16 novembre 1931	Masse du mur. Rive gauche	82	0,07	Dame à main	8°	266 litres gravier de Meuse 15/80	Après 24 heures le 17 novemb.	Sous eau	Minim. 8°	19.700	—	200.000
		83	0,09			186 litres sable de Meuse 0/5				19.550	---	217 500
		84	0,06			47 litres sable de Moll				19.700	—	212.500
		85	0,04			100 kilogs ciment Portland Artificiel Normal des Ciments Liégeois. Silo n° 10. Essai n° 12. 46,4 litres d'eau pour le mélange.				19.750	—	225.000

Ci-dessous, les essais de ciments ayant servi à la compression des cubes :

1° Essai n° 10 du silo n° 2

Provenance : Ciment Liégeois à Haccourt. Marque : C. P. A. N. Date de prélèvement : 7 octobre 1931 Numéro de l'essai : 10 Date de l'essai : 8 octobre 1931. température du local	Densité absolue : 3,14 Refus au tamis de 4 900 mailles : 8% Commencement de prise : après 45' Fin de la prise : 3 heures. H ₂ O } pour pâte normale : 28 % } pour mortier normal : 7 % température de l'eau de gachage } pour la prise : 15° } pour les briquettes : 17° } pour les cubes : 18° température de l'eau de conservation } minimum 10° } maximum 11°5	Nature de l'essai	RÉSISTANCES en kgs par cm ²							
			Avec sable normal		Avec sable du Rhin tamisé normal		Avec sable de Moll tout venant		Avec sable de Meuse 0/5 tout venant	
			7 jours	28 jours	7 jours	28 jours	7 jours	28 jours	7 jours	28 jours
Essai LE CHATELIER. Ecartement des aiguilles } à froid 1 m/m - 1 m/m } Les galettes se sont bien comportées. } à chaud 2 m/m - 2 m/m } } total 3 m/m - 3 m/m }		Traction	37.—	37.8	34.—	36.—	29.4	34.6	37.—	49.—
			36.8	38.8	35.6	35.—	28.8	35.2	38.6	43.—
			37.4	38.6	36.4	34.8	27.8	35.—	39.—	42.8
			37.6	38.8	36.4	35.4	28.6	34.—	38.—	47.—
			36.—	38.4	34.4	35.2	29.4	34.4	37.6	43.—
		Moyenne	36.93	38.48	35.36	35.28	28.8	34.64	38.04	44.96
		Com-pression	Avec sable normal							
			7 jours	28 jours						
			670	760						
			660	740						
			640	740						
		Moyenne	660 kgs	747,500 kgs						

2° Essai n° 12 du silo n° 10

Provenance : Ciment Liégeois à Haccourt. Marque : C. P. A. N. Date de prélèvement : 3 novembre 1931. Numéro de l'essai : 2 Date de l'essai : 4 novembre 1931. température du local	Densité absolue : 3,12 Refus au tamis de 4.900 mailles : 4 % Commencement de prise : après 45' Fin de la prise : 3 heures. H ₂ O } pour pâte : 27,5 % } pour mortier normal 7 % température de l'eau de gachage } pour la prise : 15° } pour les briquettes : 17° } pour les cubes : 18° température de l'eau de conservation } minimum 11° } maximum 12°5	Nature de l'essai	RÉSISTANCE en kgs par cm ²							
			Avec sable normal		Avec sable du Rhin tamisé normal		Avec sable de Moll tout venant		Avec sable de Meuse 0/5 tout venant	
			7 jours	28 jours	7 jours	28 jours	7 jours	28 jours	7 jours	28 jours
Essai LE CHATELIER. Ecartement des aiguilles } à froid 1.5 m/m - 1.5 m/m } Les galettes se sont bien comportées. } à chaud 3 m/m - 3 m/m } } total 4.5 m/m - 4.5 m/m }		Traction	35.8	39.8	31.6	36.—	23.—	27.—	37.—	42.—
			35.—	39.—	32.—	36.6	24.4	28.6	39.4	41,2
			36.—	38.6	27.6	35.8	23.6	27.—	37.—	42.4
			31.—	38.8	32.2	36.2	22.8	29.—	39.4	40.4
			33.—	37.6	32.2	35.6	23.8	28.—	38.8	41.—
		Moyenne	34.16	38.76	31.12	36.04	23.52	27.92	38.32	41.4
		Com-pression	Avec sable normal							
			7 jours	28 jours						
			500	600						
			500	600						
			420	620						
		Moyenne	482.5	607.5						



La figure 7 donne une coupe dans le mur-digue.

Indépendamment du béton qui constitue le massif du mur, il a été prévu en parement, et sur une épaisseur de 50 cm., une couche de béton spécial composé de :

- 400 kgs de ciment Portland artificiel normal;
- 800 l. de gravier du Rhin 5/25;
- 400 l. de sable du Rhin 0/2;
- 100 litres de sable de Moll.

La figure 8 donne une vue en élévation de la face arrière du mur-digue. On y remarque l'escalier d'accès qui a été prévu à des endroits déterminés.

Des joints de dilatation ont été prévus dans les murs-digues à 20 m. de distance.

Étant donnée l'importance capitale de l'étanchéité des murs-digues en raison de la présence immédiate des cimenteries, la conception des joints de dilatation a fait l'objet d'un soin tout à fait spécial.

Nous donnons à la figure 9 une coupe détaillée de ce joint. En raison de l'encombrement de la

figure, nous avons omis intentionnellement la partie simplement chicanée reliant les deux alvéoles caractéristiques du joint.

La figure 10, qui donne une coupe verticale dans l'alvéole carrée, montre la disposition du tuyau réchauffeur.

Les parties rectilignes des joints sont obturées au moyen d'un feutre asphaltique d'un centimètre d'épaisseur placé en même temps que s'exécutent les travaux de bétonnage des massifs. Cependant, pour la partie rectiligne comprise entre le parement du côté de l'eau et l'alvéole carrée, on emploie une membrane au plomb identique à celle qui est décrite plus loin. Cette membrane de 5 mm. d'épaisseur est repliée sur elle-même, le pli venant se loger dans l'alvéole et les extrémités libres étant soudées au parement du mur.

La figure 11 montre le détail de cette disposition.

Le remplissage des alvéoles au moyen de bitume se fait de la façon suivante : Après s'être assuré que l'alvéole se présente de façon bien nette, on l'assèche convenablement et l'on met en

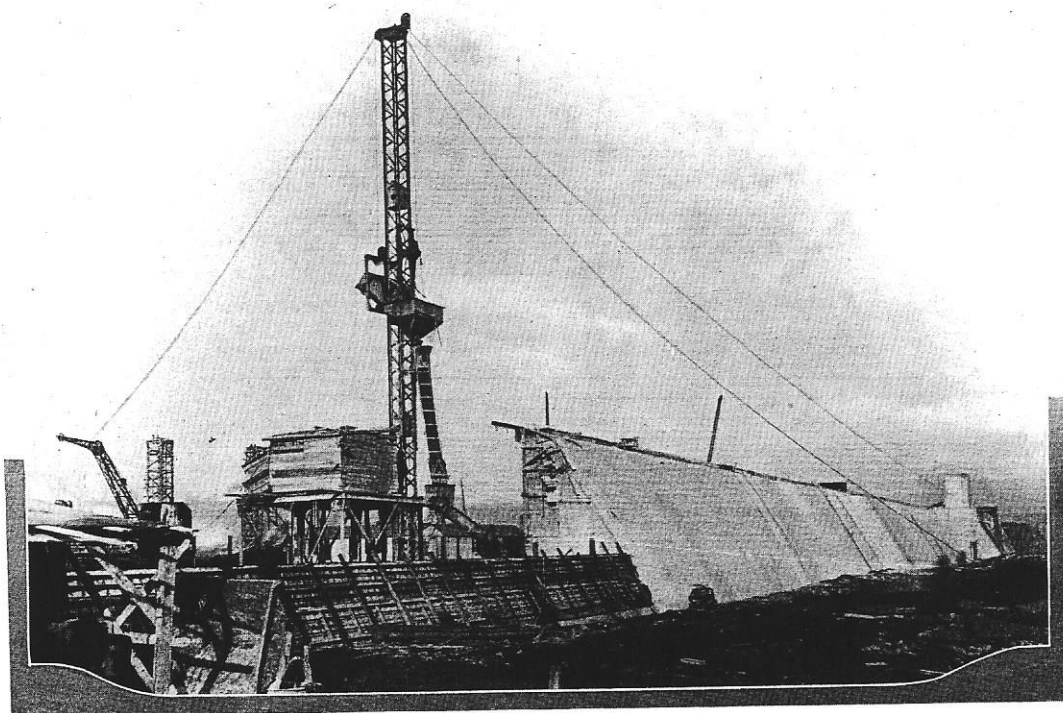


Fig. 2.

Vue des travaux en cours sur la rive droite. A l'avant-plan, la tour métallique servant à mettre en place le béton. A l'arrière-plan, la culée du pont fixe encastrée dans le mur.

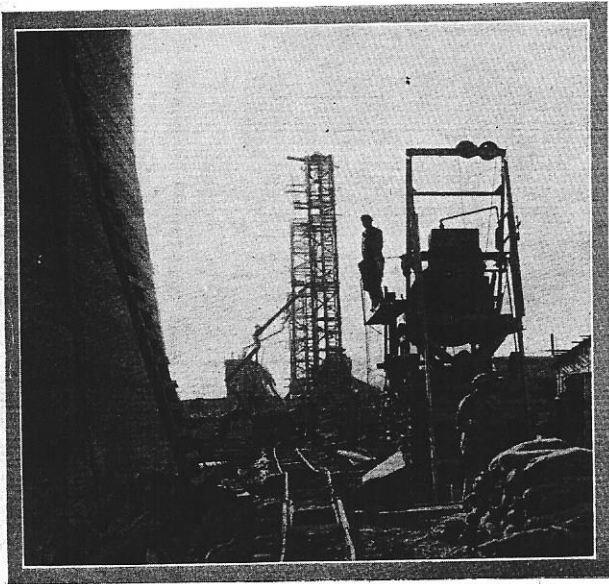
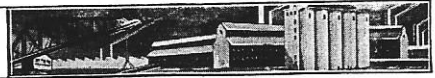


Fig. 3. — Bétonnage en cours sur la rive gauche. On remarque les deux tours en bois mobiles, munies de leurs goulottes.

place le siphon en tubes devant servir de réchauffeur. On le connecte à la chaudière à vapeur et l'on y fait passer un courant de vapeur surchauffé à cinq atmosphères de pression.

Le bitume est alors introduit au moyen de l'appareil décrit ci-dessous et figuré au schéma de la figure 11bis.

L'appareil se compose d'un tuyau de 1 1/2" qui sert d'adduction au bitume liquide chauffé antérieurement.

Pour que ce bitume ne se refroidisse pas, le tube adducteur est entouré concentriquement d'une chemise constituée par un tube de 2 1/2" assujetti au premier tube. Les orifices de cette chemise sont bouchés. La vapeur est introduite dans cette chemise par un raccord de 1". L'évacuation des eaux de condensation est assurée par un petit tube de 1/8".

Le cahier des charges régissant l'entreprise prévoit notamment l'emploi de coffrages métalliques. Il a été fait usage des coffrages métalliques standardisés système Blaw-Knox.

Outre leur grande maniabilité et la facilité de leur mise en place, ces coffrages permettent l'ob-

tention d'un parement uni, d'un aspect des plus satisfaisant.

A priori, leur emploi paraît onéreux. Cependant, dans certaines conditions, ils offrent sur le coffrage en bois de multiples avantages. Le bois est un matériau périssable. L'obligation de le débiter constamment, selon les besoins, entraîne des déchets considérables. D'autre part, lorsqu'on réutilise le même bois trois ou quatre fois, on peut se déclarer satisfait. Un coffrage métallique bien construit peut servir un nombre considérable de fois. Pour un chantier normal, il ne semble indiqué que s'il est possible de le réemployer vingt fois au moins. Il est évidemment des cas d'espèce.

Il n'est pas indispensable que les éléments se présentent en série et toujours les mêmes. En effet, le mode d'assemblage, dont un exemple est donné plus loin, permet de former de véritables planches métalliques qui peuvent en général s'adapter à tous les cas usuels. Les tôles ne collent pas au béton, ce qui permet un décoffrage aisé

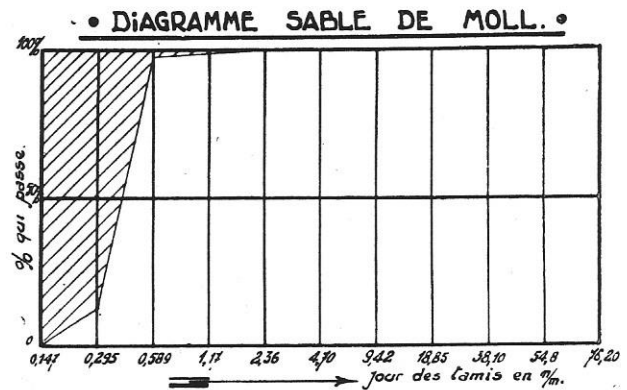


Fig. 4.

NATURE DES MATIERES.

DÉSIGNATION: *Sable fin des nouvelles sablières de Moll.*

CALCUL DU MODULE DE FINESSE:

Refus sur :	0,147 mm. :	99,30
	0,295 mm. :	88,30
	0,589 mm. :	2,15
	1,17 mm. :	0,05
	2,36 mm. :	—
	4,70 mm. :	—
	9,42 mm. :	—
	18,85 mm. :	—
	38,10 mm. :	—
	54,8 mm. :	—

Total. . 189,80

Module de finesse. . 1,90

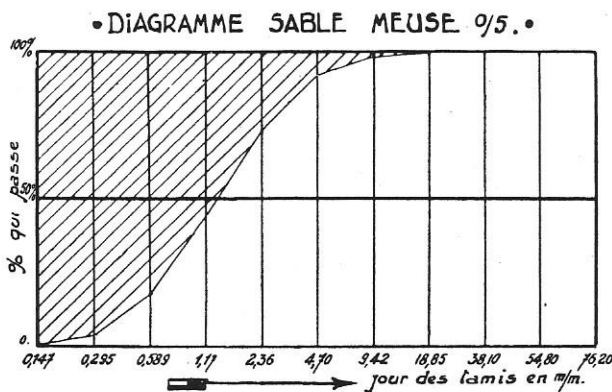


Fig. 5.

NATURE DES MATIERES.

DÉSIGNATION: *Sable de Meuse de l'échantillon 0/5.*

CALCUL DU MODULE DE FINESSE:

Refus sur :	0,147 mm. :	99,50
	0,295 mm. :	97,56
	0,589 mm. :	82,56
	1,17 mm. :	55,16
	2,36 mm. :	26,46
	4,70 mm. :	7,56
	9,42 mm. :	0,8
	18,85 mm. :	—
	38,10 mm. :	—
	54,80 mm. :	—

Total. . 369,60

Module de finesse. . 3,69

sous des efforts purement statiques. Le décoffrage se réduit à des déplacements de grands éléments pour lesquels on peut très souvent avoir recours à des engins mécaniques.

En principe, ces coffrages en acier inoxydable sont composés d'une série de panneaux de 0^m50 × 0^m50. Quelques panneaux élémentaires de largeur réduite permettent éventuellement l'obtention de dimensions spéciales.

Un panneau est constitué par une tôle plane, raidie sur le pourtour par un cadre en cornières portant des mortaises à la demande. Quelques panneaux sont juxtaposés en série et assemblés par des clavettes à mentonnet pour former un panneau unique de 0^m50 de hauteur sur une longueur prévue.

Dans le cas qui nous occupe, la longueur est de 5 m.

Ce panneau ainsi constitué est assujéti sur une cornière de 70 × 70 pour lui donner une raideur propre.

Deux panneaux semblables juxtaposés pour réaliser une hauteur d'un mètre sont assemblés par des crampons à clavettes sur un cadre en fer U.

Pour réaliser le coffrage de la première bande, on pose une série de panneaux assemblés comme il est dit plus haut. Lorsque le béton est mis en place sur la hauteur ainsi coffrée, on assujéti sur les panneaux et sur leur face externe des cornières présentant vers le haut un dépassement minimum d'un mètre. Ce dépassement servira de soutien et de directrice aux panneaux suivants.

La figure 12 montre la cornière en place. Le panneau n° 3 est posé, le n° 1 est décoffré.

Le décoffrage des panneaux et leur déplacement peuvent se faire au moyen du portique roulant que l'on remarque sur la figure 13. Ce portique roulant est muni à ses traverses supérieures de palans différentiels à chaînes qui permettant l'amarrage et la manutention des panneaux assemblés.

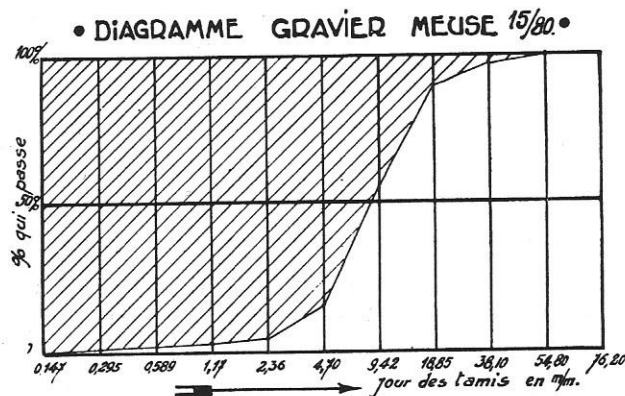


Fig. 6.

NATURE DES MATIERES.

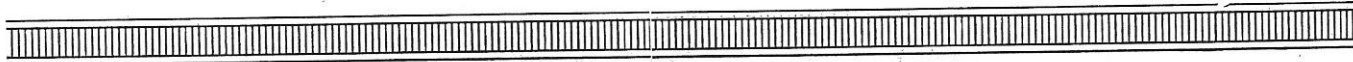
DÉSIGNATION: *Gravier de Meuse de l'échantillon 15/80.*

CALCUL DU MODULE DE FINESSE.

Refus sur :	0,147 mm. :	99,90
	0,295 mm. :	99,80
	0,589 mm. :	99,65
	1,170 mm. :	99,55
	2,36 mm. :	98,75
	4,70 mm. :	97,25
	9,42 mm. :	85,05
	18,85 mm. :	44,25
	38,10 mm. :	10,90
	54,80 mm. :	3,75

Total. . 738,85

Module de finesse. . 7,38



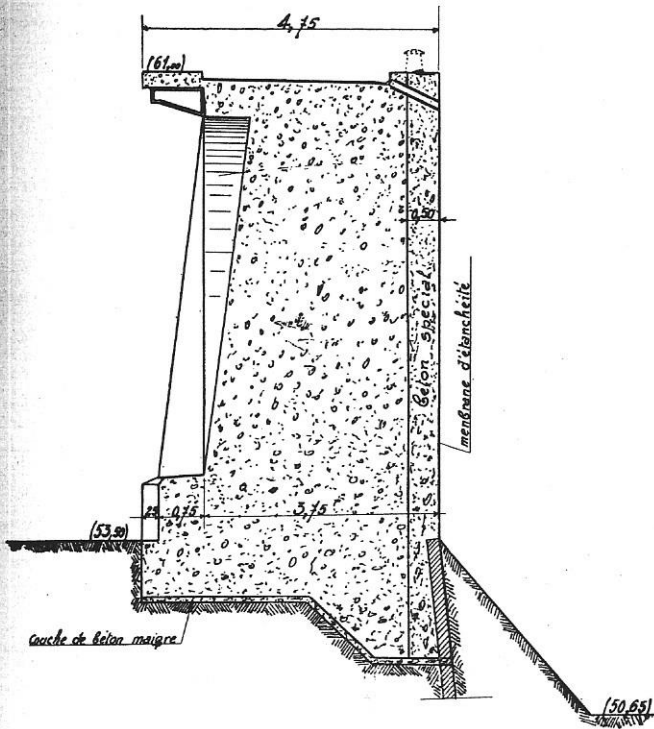


Fig. 7. — Coupe dans le mur-digue.

Membrane d'étanchéité et revêtement en cimentac.

Le parement du côté de l'eau est revêtu d'une membrane d'étanchéité. Cette membrane est composée d'une feuille de plomb de 0,2 mm. d'épais-

seur, enrobée de part et d'autre de bitume armé d'une toile de jute. L'épaisseur totale minimum de la membrane est de 5 mm. Elle est soudée à la surface du mur sur toute son étendue. Indépendamment de ce moyen d'attache, la membrane est assujettie au béton spécial par des crampons à clavettes.

La figure 15 donne les détails de cette disposition.

L'exécution des travaux est organisée comme suit:

On trace sur le mur, et au moyen d'un gabarit rigide, les emplacements des scellements à prévoir dans le parement. Après avoir foré les trous dans le parement au moyen d'un Jack hammer, on y fixe les scellements représentés en *a* (fig. 17). Ces scellements présentent une mortaise destinée à recevoir une calvette; un emboutissage à son extrémité permettra de fixer l'armature maîtresse du revêtement en cimentac.

Au moyen du gabarit ayant servi à déterminer les emplacements des scellements, on repère sur la membrane proprement dite les trous à poinçonner. On applique alors la membrane sur le parement du mur en l'enfilant sur les scellements.

Cette membrane se présente en bandes de un mètre de largeur et est soudée sur le parement du mur au moyen d'une lampe à souder de la longueur requise.

Il est essentiel qu'au droit des scellements l'étanchéité soit assurée. A cet effet, après la pose de la membrane, on fixe au droit du scellement un carré de bitume de 7 cm. de côté. Sur ce carré, on

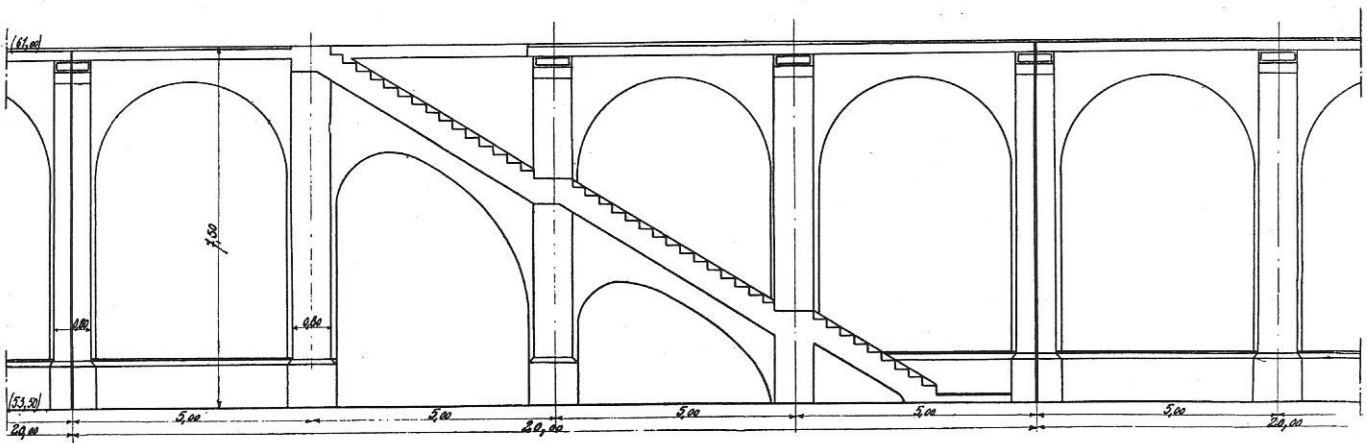


Fig. 8. — Vue en élévation de la face arrière du mur-digue.



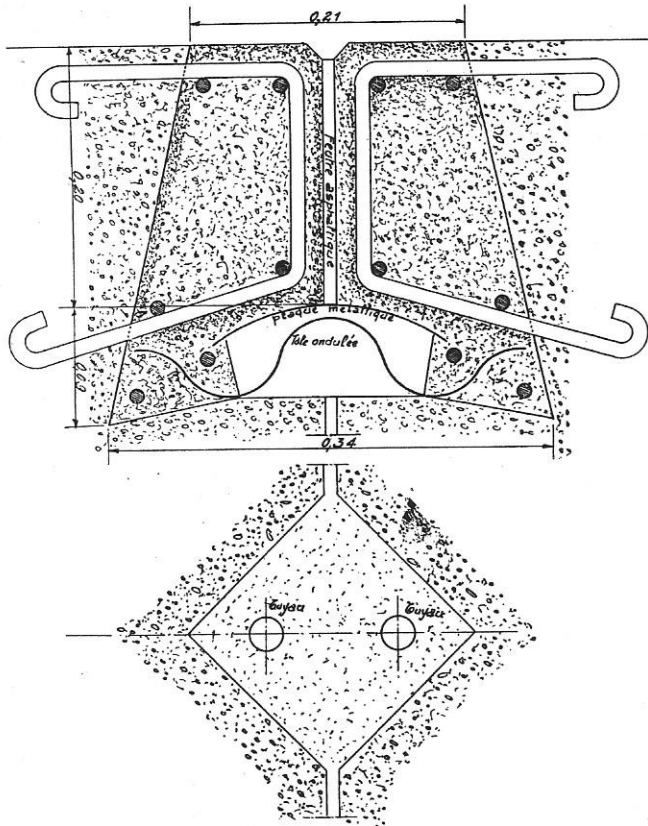


Fig. 9. — Coupe au joint de dilatation.

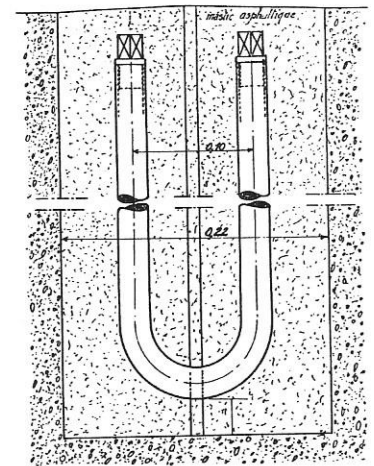


Fig. 10. — Coupe verticale dans l'alvéole carrée.

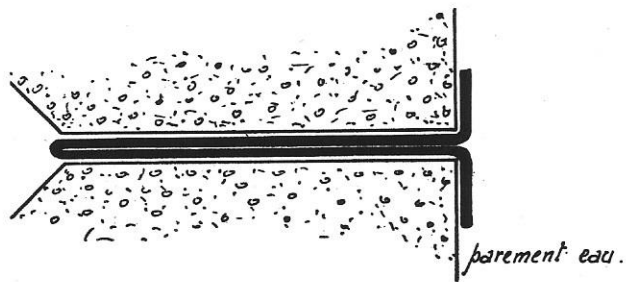


Fig. 11. — Coupe montrant la membrane introduite entre l'alvéole carrée et le parement

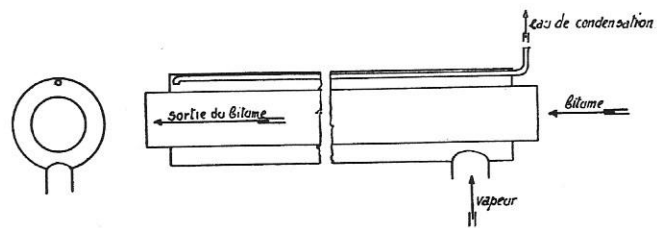
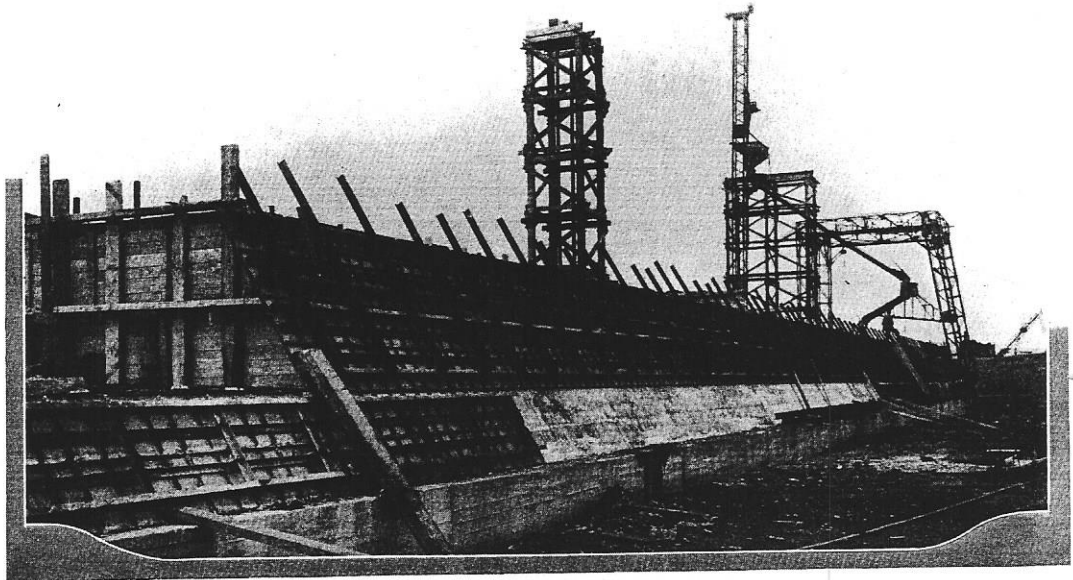


Fig. 11 bis. — Appareil pour l'introduction du bitume.



Fig. 12.

Massif du mur en cours de bétonnage. Le panneau n° 3 est posé, le panneau n° 1 est décoffré.



applique une tôle emboutie figurée en *b* de la figure 15. On introduit alors la clavette dans la mortaise, on chauffe le carré de bitume à la lampe à souder et, en chassant la clavette à fond, on fait refluer le bitume chauffé dans les interstices éventuels du scellement.

Nous rappelons qu'au droit des joints de dilatation, on introduit dans ceux-ci une membrane semblable, repliée sur elle-même et dont les extrémités libres sont soudées sur le parement du mur.

Afin de permettre le libre jeu des joints de dilatation, on arrête la membrane de parement au droit des joints et on la soude sur les extrémités libres soudées elles-mêmes sur le parement.

On procède ensuite à l'application du revêtement en cimentac.

A cet effet, sur les extrémités embouties des scellements *a* (fig. 15), on fixe des fers ronds de 5 mm. de diamètre. Ces ronds sont solidement ligaturés sur les scellements. Ils forment ainsi une série de lisses horizontales. Sur ces lisses, on fixe par ligatures un treillis de métal déployé.

Au droit des joints, on ménage évidemment une solution de continuité. Pour remédier, à cet endroit, à la fragilité de l'arête de l'enduit protecteur, on fixe sur le métal déployé, de même que sur les lisses en fer rond, et ce au droit du joint,

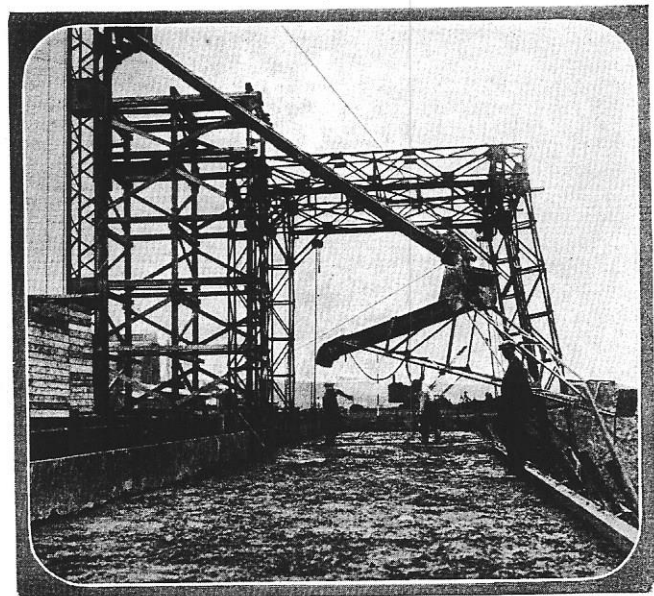


Fig. 13. — *Bétonnage en cours. A l'arrière-plan, le portique avec ses palans différentiels. Le dameur fait vibrer la grille au moyen du fouloir pneumatique.*



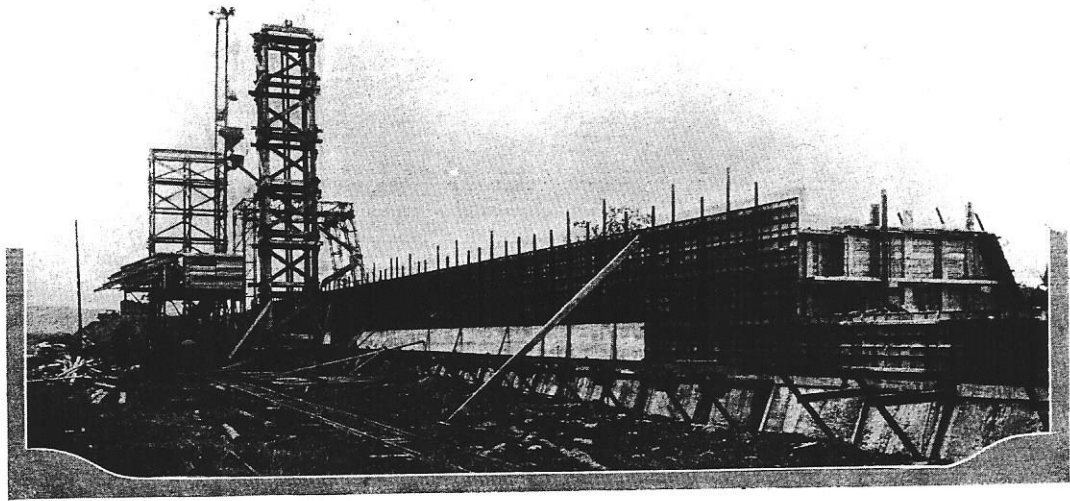


Fig. 14. — Vue des travaux en cours. On distingue le rail de roulement du portique ; la tour en bois va recevoir ses goulottes pivotantes.

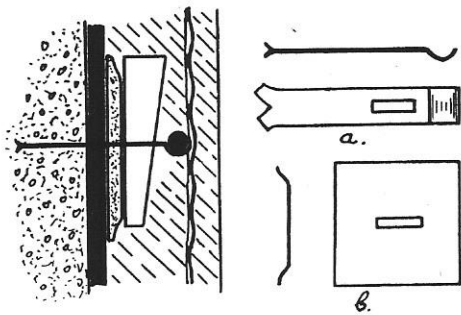


Fig. 15. — Détail du scellement de la membrane.

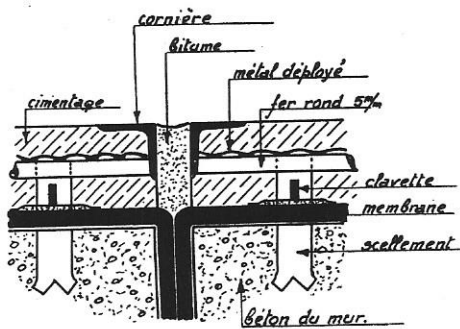


Fig. 16. — Détail du parement au droit d'un joint de dilatation.

une cornière verticale destinée uniquement à préserver l'arête du revêtement.

Le schéma de la figure 16 illustre cette disposition.

L'enduit en cimentac est un revêtement d'usure ayant des caractéristiques d'étanchéité et de résistance au choc remarquables qui rendent son emploi tout indiqué dans le présent cas.

Nous donnons, ci-dessous, les résultats des essais effectués au Laboratoire de l'Université de Liège.

Des cubes d'essai de 20×20 et 10 cm. d'épaisseur, en béton maigre, ont reçu sur une de leurs faces une application de cimentac de un centimètre d'épaisseur. Ces cubes ont été soumis aux essais suivants :

1° *Essai de perméabilité.* — Sur l'épaisseur de 10 cm. avec pression appliquée sur la surface protégée, aucun suintement visible après 24 heures sous la pression de 5 kgs par cm^2 , 48 heures sous la pression de 9 kgs 600 par cm^2 , 24 heures sous la pression de 15 kgs par cm^2 , 6 heures sous la pression de 18 kgs par cm^2 .

2° *Usure.* — A sec, sur meule sablée, pression sur le plan de frottement : 250 gr. par cm^2 .

0,9 mm. après 1000 tours, soit un nombre d'usure de 0,63.

Le nombre d'usure du porphyre est de 0,9.

3° *Essai au choc.* — Sur dalle carrée de 20 cm. de côté et de 10 cm. d'épaisseur, rupture causée par la chute d'un poids de 5 kgs.

Hauteurs de chute avec rupture :

1° Echantillon : 0^m1 0^m2 . . . 1,30 (49 fois).

2° » » 0^m1 0^m2 . . . 1,30 (36 fois).

Les dalles se sont cassées en deux morceaux suivant une médiane, mais les morceaux ne se détachent pas l'un de l'autre et restent liés.

4° *Essai de traction.* — Flexion d'un prisme de section carrée de 4 × 4 cm. et de 20 cm. de longueur.

Distance des appuis : 12 cm.

Charge de rupture (appliquée au milieu) = 387 kgs, soit une tension de 108,8 kgs par cm² sur la fibre tendue.

Programme et avancement des travaux.

Le délai d'exécution imparti par le cahier des charges pour l'achèvement de tous les travaux est fixé à 814 jours ouvrables.

Partant de cette donnée, on a établi les diagrammes indicatifs d'avancement des travaux en portant en abscisse le temps et en ordonnée la

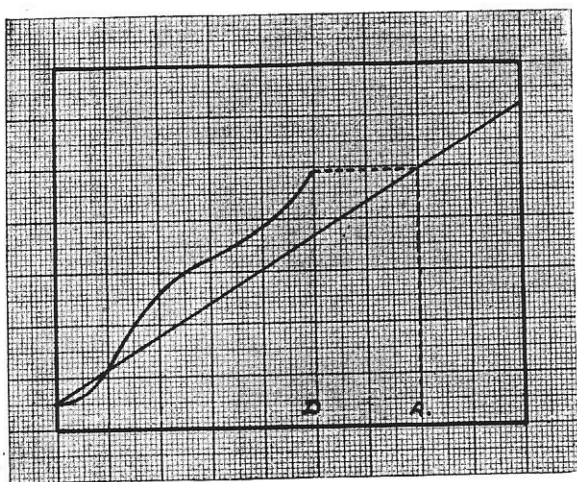


Fig. 17.

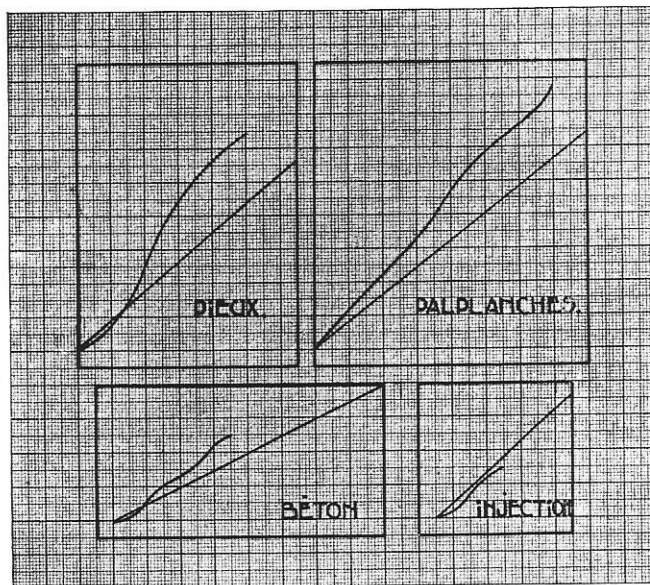


Fig. 18.

quantité de travail à exécuter. Le diagramme indicatif ou repère se réduit à une droite reliant l'origine au point Y = quantité totale de travail, $x = 814$ jours.

La figure 17 donne le diagramme de l'ensemble des travaux.

Ces figures donnent des extraits des diagrammes généraux.

Une ligne de rappel horizontale permet de déduire que, au 31 décembre 1931, les travaux dans l'ensemble étaient arrivés au stade prévu pour le 30 avril 1932.

Les quatre diagrammes de la figure 18 donnent des indications analogues pour les divers postes des travaux principaux : pieux, palplanches, béton, injections.

Ces diagrammes, tenus journallement et complétés par les diagrammes des prix de revient et le diagramme général de rendement économique, permettent à la direction de suivre utilement l'allure du chantier et de remédier éventuellement à toute cause de perturbation ou de retard.

Louis HOEBEKE,
Ingénieur A. I. G.
Directeur de Travaux
à la Société des Pieux Franki.