LA HOUILLE BLANCHE

ÉDITIONS B. ARTHAUD, Succ^r de J. REY, GRENOBLE

Abonnement pour une Année { France..... 40 francs } Le Numéro : 7 francs
 { Etranger..... 50 francs }

Compte Chèques Postaux LYON 5-84

SOMMAIRE

HYDRAULIQUE. — Le contrôle du béton sur les chantiers, par J. BOLOMEY, ingénieur-conseil, professeur à l'Ecole d'Ingénieurs de Lausanne.

ÉLECTRICITÉ. — Mise en service d'une machine d'extraction à bobines attaquée par un moteur asynchrone. — Méthode rapide, semi-expérimentale, pour la détermination du courant de court-circuit permanent dans un réseau quelconque, par G. CRIVALLERI.

DOCUMENTATION.

LÉGISLATION. — Le curage des cours d'eau non navigables. — Usages anciens et Associations nouvelles, par Paul BOUGAULT, avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

INFORMATIONS.

BIBLIOGRAPHIE.

HYDRAULIQUE

Le contrôle du béton sur les chantiers

par J. BOLOMEY, Ingénieur-Conseil,
Professeur à l'Ecole d'Ingénieurs de Lausanne.

La résistance d'un béton dépendant de plusieurs facteurs qui ne sont généralement pas tous connus à l'avance et, d'autre part, le souci d'économie incitant les constructeurs à adopter des taux de travail de plus en plus élevés, tout en réduisant les dosages ou les épaisseurs au strict minimum, il faut que l'ingénieur vérifie, lors de l'exécution des travaux, que les mortiers ou béton qu'il met en œuvre possèdent les qualités de résistance requises.

Bien que ce contrôle soit absolument indispensable, si l'on veut éviter de graves malfaçons, il est rare qu'il soit organisé rationnellement sur les chantiers de moyenne ou de petite importance, parfois même il est complètement supprimé. La cause doit en être recherchée dans la méthode usuelle de contrôle des mortiers et bétons : on se contente de prélever quelques rares éprouvettes en cours des travaux pour les faire écraser par un laboratoire après un durcissement plus ou moins long. Outre que ces essais sont relativement coûteux et encombrants, ils ne décèlent nullement la ou les causes de résistances insuffisantes ; de plus, les résultats ne sont connus que trop tard pour permettre de remédier à des défauts éventuels.

Pour que le contrôle de la qualité du béton rende les services escomptés, il faut qu'il se fasse *avant* le commencement des travaux (contrôle des matériaux) et *pendant* le gâchage et la mise en œuvre du béton (dosage, consistance, quantité d'eau de gâchage, mise en place). Le prélèvement de prismes ou de cubes de béton ne doit être destiné qu'au contrôle de résultats déjà calculés et prévus, de même que l'essai de charge d'un pont ne constitue qu'une dernière vérification des calculs et de l'exécution de l'ouvrage.

Les essais de contrôle se diviseront ainsi en :

A. — *Essais préliminaires*, consistant dans l'examen des matériaux à disposition et dans le choix de ceux-ci et du dosage, en tenant compte des qualités que devra posséder le béton.

B. — *Essais en cours des travaux* se divisent eux-mêmes en :

1^o Contrôle du dosage, de l'eau de gâchage, de la consistance, de la densité, de la mise en place du béton, en vue de pouvoir calculer immédiatement sa résistance probable. C'est le *contrôle de l'exécution* destiné à vérifier que le béton est bien conforme à la qualité choisie lors des essais préliminaires.

2^o Prélèvement d'échantillons, cubes ou prismes, pour s'assurer que la *résistance effective* correspond aux prévisions.

Avant d'examiner comment ces essais doivent être organisés, il est nécessaire de rappeler brièvement les conclusions essentielles des recherches effectuées depuis quelques années sur les mortiers et bétons et qui permettent de calculer la résistance probable de ceux-ci.

La résistance d'un béton dépend du dosage en ciment du lait de ciment constituant la pâte liante du béton. Cette résistance est sensiblement proportionnelle au rapport C/E et peut être représentée par la formule

$$R = \left(\frac{C}{E} - 0,50 \right) \times K \quad (1)$$

qui n'est qu'une simplification pour les besoins du chantier de la formule générale

$$R = \left[\left(\frac{\Delta}{2,35} \right)^2 \times \frac{C}{R} \right]^{3/2} \times \frac{K}{2} \quad (2)$$

dans lesquelles

C = Poids du ciment,

E = Poids eau de gâchage,

Δ = Densité du béton,

K = Coefficient dépendant de la qualité du liant, du mode et de la durée du durcissement.

Il est ainsi facile de calculer la résistance probable d'un mortier ou béton, si l'on connaît le rapport C/E, ainsi que le coefficient K de qualité du liant.

La porosité nuit à la résistance des mortiers et bétons qui, pour un même dosage du même liant, seront d'autant plus résistants qu'ils auront une densité plus élevée. Cette influence de la porosité, dont la formule 2) tient compte, est loin d'être aussi importante que celle du facteur C/E.

La composition granulométrique et la nature du ballast influencent indirectement la résistance d'un béton en modifiant la quantité d'eau de gâchage nécessaire pour obtenir la consistance désirée et par suite le rapport C/E. Cette influence, bien qu'indirecte, est excessivement importante.

La quantité d'eau de gâchage correspondant à une composition granulométrique donnée peut se calculer au moyen de la formule

$$E = \Sigma e = \Sigma \frac{p \cdot N}{\sqrt[3]{d^2}} \quad (3)$$

dans laquelle

e = poids de l'eau en kg. correspondant au poids p en kg. du ballast dont le diamètre moyen des grains est de d mm.

d = diamètre moyen en mm. de grains d'une des composantes du ballast.

$E = \Sigma e$ = poids total de l'eau de gâchage correspondant au poids Σp du ballast considéré.

N = coefficient variable avec le poids spécifique de la roche constitutive du ballast, la rugosité des surfaces, le degré de fluidité du béton. Pour une roche à poids spécifique d'environ 2,65, il a pour valeur :

	Grains arrondis (ballast roulé)	Grains à arêtes vives (ballast concassé)
Béton sec $N = \dots$	0,080	0,100
Béton mou $\dots$	0,090	0,115
Béton coulé $\dots$	0,100	0,125

Ce tableau montre l'influence de la consistance et de la nature des surfaces sur la quantité d'eau de gâchage.

Pour une même composition granulométrique, le béton mou exige de 10 à 25 % plus d'eau de gâchage que le béton à la consistance de terre humide ; le béton coulé exige de 15 à 25 % plus d'eau de gâchage que le béton mou.

A égalité de composition granulométrique et de fluidité, les matériaux concassés exigent de 20 à 30 % plus d'eau de gâchage que les ballasts à grains arrondis.

La formule 3) n'est plus applicable lorsque le diamètre d descend au-dessous de 0,2 millimètres (liants, poudre de pierre) parce que pour ces petits diamètres, les phénomènes capillaires sont prépondérants. Les quantités d'eau de gâchage correspondant à ces matériaux ont été mesurées directement et ont les valeurs suivantes pour la consistance molle :

Ciments $\dots\dots\dots$	$e = 23 \%$ en poids
Hydrate de chaux $\dots\dots\dots$	60 % —
Poudre de pierre $\dots\dots\dots$	38 % —
Fin de rivière 0,1 à 0,5 mm $\dots\dots\dots$	23 % —

La formule 3), qui peut se représenter facilement graphiquement, montre l'influence sur E de chaque grosseur de grains. C'est ainsi que, pour $N = 0,10$, le sable à grains de 1 mm. exige 10 %, le gravillon de 10 mm. 2,1 % et le gravier de 100 mm. 0,5 % de son poids d'eau de gâchage.

Un balast exigera donc d'autant moins d'eau et, par suite, fournira, pour le même dosage, un béton d'autant plus résistant qu'il contiendra une plus forte proportion de gros grains. Ceci toutefois sous la réserve que la teneur en particules fines soit suffisante pour que le béton soit plastique et compact, c'est-à-dire que tous les vides entre les gros grains soient remplis par la pâte liante.

La composition granulométrique la plus favorable du mélange (ballast + ciment), c'est-à-dire celle qui correspond au minimum d'eau de gâchage tout en ayant une teneur en particules fines suffisante pour assurer au béton une bonne plasticité et une grande compacité, est donnée par la formule :

$$P = A + (100 - A) \sqrt{\frac{D}{d}} \quad (4)$$

P = pourcentage en poids du (ballast + ciment) d'un diamètre plus petit que d mm.

D = diamètre maximum des grains du ballast.

d = diamètre quelconque compris entre 0 et D mm.

A = constante dépendant de la nature des matériaux et du degré de plasticité requis.

	Grains arrondis	Grains rugueux
Béton mou $\dots\dots\dots$	$A = 10$	$A = 12$
Béton coulé $\dots\dots\dots$	$A = 12$	$A = 14$

Il conviendra de choisir D aussi grand que le permettent les matériaux à disposition, les installations de chantier, les épaisseurs à bétonner.

D ne devra pas dépasser 1/4 à 1/5 de l'épaisseur à bétonner.

D'autre part, la quantité d'eau de gâchage nécessaire pour obtenir un béton compact sera d'autant plus grande que le volume des vides du ballast à remplir par la pâte liante sera lui-même plus grand. Il faut donc rechercher un ballast ayant le minimum de vides, c'est-à-dire ayant une forte densité apparente. Ce ballast idéal sera précisément celui dont la composition granulométrique est représentée par la formule 4).

Le volume des vides du ballast sera d'autant plus faible que la composition granulométrique sera plus étendue, c'est-à-dire que l'écart entre les dimensions des divers grains de ballast sera plus grand.

Un ballast dont tous les grains sont de même grosseur aura de 40 à 50 % de vides, tandis que les vides d'un ballast bien gradué pourront être réduits à 25 et même à 15 % du volume du ballast, suivant la valeur de D . Pour différents ballasts gradués suivant la même loi, le volume des vides diminue en même temps que D augmente. Pour divers bétons préparés avec des ballasts à grains arrondis dont le mélange (ballast + ciment) est gradué suivant

$$P = 10 + 90 \sqrt{\frac{D}{d}}$$

on aura pour la consistance molle :

(ballast + ciment gradué de 0 —	5 mm.	270 litres d'eau de gâchage/m ³ béton	$\Delta =$
$\dots\dots\dots$	0 — 10	230	2,24
$\dots\dots\dots$	0 — 25	185	2,29
$\dots\dots\dots$	0 — 60	150	2,38
$\dots\dots\dots$	0 — 100	135	2,45
$\dots\dots\dots$			2,48

en d'autres termes on aura le même C/E, c'est-à-dire la même résistance, si le dosage du béton de 0-100 mm. n'est que la moitié de celui du mortier de 0-5 mm.

Un sable à grain uniforme doit être considéré comme un mauvais sable parce qu'il a trop de vides. Il deviendra utilisable s'il est mélangé à un autre sable de grain nettement différent.

Nous avons vu jusqu'ici l'influence du rapport C/E et de la densité du béton sur la résistance. Celle-ci dépend, en outre, du coefficient K de qualité du liant, qui est lui-même variable d'un liant à l'autre et suivant la durée, le mode et la température du durcissement.

Pour un mortier ou béton durcissant dans l'eau ou dans le sable humide à une température d'environ + 15°, les coefficients K sont proportionnels aux résistances à l'essai normal R_n

$$K_{7j} = \frac{R_{n7j}}{3,4} \quad K_{28j} = \frac{R_{n28j}}{2,7}$$

Ces coefficients K peuvent aussi être déterminés directement au moyen de quelques essais préliminaires pour lesquels on connaît C/E, la densité, la résistance. On en déduit immédiatement K en reportant graphiquement les résistances en fonction du rapport

$$\left(\frac{\Delta}{2,35}\right)^2 \times \frac{C}{E}.$$

Pour les liants suisses actuels, les valeurs de K sont comprises dans les limites suivantes :

		7 jours	28 jours	90 jours
Ciment Portland ordinaire	K =	90—120	150—200	00—250
id. id. à haute résistance	K =	150—190	220—270	280—350
Id. alumineux	K =	80—300	310—330	350—380
Chaux hydraulique	K =	—	20—30	40—60

Lorsque le béton est conservé à l'air sec, son durcissement s'arrête après un laps de temps variant de 2 à 6 semaines; il peut même arriver que sa résistance diminue légèrement, par suite des tensions intérieures dues au retrait.

Les conditions de durcissement les plus favorables sont réalisées lorsque le béton est exposé alternativement à l'humidité et à l'air.

Le durcissement est accéléré si la température augmente, il est ralenti si la température baisse. Ces influences sont particulièrement sensibles pendant les premiers jours du durcissement; elles s'atténuent avec l'âge et se remarquent à peine après trois mois. Des variations fréquentes de température sont nuisibles; elles tendent à provoquer la fissuration du béton.

Les conditions générales ci-dessus, valables pour tous les mortiers ou bétons, vont nous guider dans l'organisation pratique des essais de contrôle sur les divers chantiers.

A. — Essais préliminaires

Ce sont les essais les plus importants parce qu'ils permettent de choisir les matériaux, les dosages, la consistance, le mode de mise en œuvre de façon à obtenir un béton ayant exactement les qualités requises. Ils comprennent les opérations suivantes :

- Examen et choix du liant;
- Examen et choix du ou des ballasts;
- Examen de l'eau de gâchage;
- Préparation d'éprouvettes à la consistance du béton de chantier pour contrôler les conclusions tirées de l'examen des matériaux.

a) *Examen du ciment.* — Sur les chantiers de petite et moyenne importance, on se contentera des indications fournies par les fabriques en ce qui concerne le commencement et la durée de la prise, les résistances aux essais normaux. Celles-ci

permettent de déterminer approximativement les coefficients K

$$K_7 = \frac{R_{n7}}{3,4} \quad K_{28} = \frac{R_{n28}}{2,7}$$

Sur les chantiers importants, on déterminera directement les facteurs K en préparant des bétons à divers dosages et consistances et en reportant les résistances en fonctions de

$$\left(\frac{\Delta}{2,35}\right)^2 \times \frac{C}{E}.$$

b) *Examen des ballasts.* — Les ballasts doivent être propres et exempts de parties terreuses, argileuses ou organiques. Ils doivent provenir de roches dures, saines, non gélives. Les ballasts schisteux, micacés ou talceux sont toujours médiocres en raison de leur nature feuilletée et de la mauvaise adhérence du ciment à leur surface; ils sont fréquemment friables.

A condition que leur granulation soit convenable, qu'ils soient propres et proviennent de roches dures, les ballasts roulés à grains arrondis fournissent les bétons les plus compacts et les plus résistants. Les ballasts concassés l'emporteront parfois, parce qu'il proviennent uniquement de roches saines et dures, qu'il est facile de leur donner une composition granulométrique convenable et très régulière. Du fait des arêtes vives des grains de concassé, les bétons préparés avec ces ballasts exigent plus de sable, donc plus d'eau de gâchage et sont généralement plus difficiles à mettre en œuvre en mince épaisseurs que les bétons préparés avec des ballasts roulés.

La qualité d'un ballast dépendant de sa granulation et du diamètre maximum D, il faudra rechercher un ballast à grains aussi gros que le permettent les épaisseurs à bétonner ou les installations de gâchage et de mise en place du béton. La composition granulométrique devra donc être vérifiée et, au besoin, améliorée par le mélange approprié de plusieurs ballasts, de façon à se rapprocher autant que possible de la granulation idéale donnée par la formule 4). Ce triage doit se faire dans tous les cas, même si l'on n'envisage pas une rectification du ballast; c'est le seul moyen efficace d'éviter l'emploi de matériaux nettement défectueux au point de vue granulation. On ne peut plus se contenter de juger qu'un sable est excellent parce qu'il est propre et crisse dans la main, il faut aussi se rendre compte de sa granulation, qui est d'autant plus importante que le dosage est plus faible. Il n'est d'ailleurs nullement nécessaire de trier en un grand nombre de composantes; les grosseurs les plus caractéristiques sont :

Sable fin	< 0,5 mm.	$e = 0,23$	} $N = 0,10$
Sable moyen	0,5 — 2 mm.	$e = 0,10$	
Sable grossier	2 — 6 mm.	$e = 0,04$	
Gravillon	6 — 15 mm.	$e = 0,02$	
Gravier	> 15 mm.	$e = 0,01$	

Le triage de ces 5 composantes ne nécessite qu'un jeu de 4 tamis. Il importe souvent de connaître la teneur du sable fin en limon et en poudre de pierre; on s'en rend compte par la décantation d'une petite quantité de sable fin dans une éprouvette remplie d'eau; les particules plus fines que 0,1 mm. forment une zone de couleur différant nettement de celle du sable de 0,1 à 0,5 mm. Un ballast de rivière propre ne contiendra pas de particules de diamètre plus petit que 0,1 mm., tandis que le fin de concassé pourra contenir 20-40 % de poudre de pierre de grain inférieur à 0,1 mm.

Sur les petits chantiers, il suffira de connaître la teneur du ballast en < 0,5 mm. et en sable de 0 à 6 mm. et chercher une composition granulométrique comprise dans les limites ci-dessous :

Sable fin	< 0,5 mm.	5 — 10 %	du poids total du ballast
Sable	0 — 6 mm.	35 — 50	» » » »
Gravier	> 6 mm.	65 — 50	» » » »

Afin de maintenir la composition granulométrique régulière il est recommandable, chaque fois que cela peut se faire sans frais importants, de séparer le sable du gravier et de ne les mélanger dans les proportions voulues qu'au moment du gâchage. Un ballast à composition granulométrique étendue se démêle facilement lors de sa mise en dépôt, le sable restant au sommet du tas, tandis que le gravier roule au pied du talus.

La qualité d'un ballast peut aussi se déterminer par sa densité apparente sec. Un sable ou un gravier sec, mal gradué, aura une densité apparente de 1,50 environ. Celle-ci s'élève à 1,70 et même 1,80 pour un sable bien gradué et à 2,00-2,15 pour un ballast (sable+gravier) bien gradué sec, non tassé.

Il est nécessaire de connaître l'importance du *foisonnement* du sable non tassé humide. Une teneur en eau de quelques centièmes du poids du sable entraîne un foisonnement de celui-ci qui peut atteindre 20 % de son volume sec. Dès qu'on utilise du sable humide, il faut compter sur un foisonnement moyen de 10 %.

Ces propriétés : densité et foisonnement ont une grande importance au point de vue du dosage. Si un sable ne pèse que 1.500 kg. au m³ et qu'on en prépare un mortier qu'un essai de rendement ou la densité du mortier révèlent contenir 1.800 kg. de sable au m³, on en déduit que dans ce cas il faut 1,20 m³ de sable par m³ de mortier. Le cas inverse peut se présenter dans le cas d'un fort dosage d'un sable sec bien gradué.

Il est rare qu'on cherche à rectifier une composition granulométrique sur les petits chantiers, pourvu qu'elle ne soit pas nettement déficiente. Il sera, en général, plus économique de renforcer le dosage en vue d'obtenir la résistance minimum exigée.

Il en est tout autrement sur les grands chantiers. On attachera une grande importance à pouvoir se rapprocher et se maintenir aussi près que possible de la granulation la plus favorable, ce qui permettra de réaliser de notables économies de ciment, tout en disposant d'un béton très compact. La composition granulométrique désirable sera obtenue par le mélange approprié de plusieurs ballasts élémentaires (composantes), chacun d'eux étant caractérisé par la prédominance d'une certaine grosseur de grain (sable fin, gravillon, gravier). Chacune de ces composantes est médiocrement graduée, donc à faible densité, tandis que le mélange final a un minimum de vides ; c'est pour cela qu'il faut habituellement 1.200 à 1.300 litres de composantes par m³ de ballast complet, dont la densité apparente s'élèvera entre 2.000 et 2.150 kg./m³ sec non tassé, suivant la grandeur de D. Le ballast sera constitué sur le chantier au moment du gâchage par le mélange en proportions convenables de trois à quatre composantes emmagasinées dans des silos séparés.

c) *Examen de l'eau de gâchage.* — L'eau de gâchage sera claire, non limoneuse. Elle ne contiendra pas de matières organiques ou de produits chimiques, sauf ceux qu'on y ajoutera intentionnellement dans des proportions limitées pour conférer au béton certaines propriétés spéciales (étanchéité, facilité de mise en œuvre, résistance au gel).

Les matières organiques, végétales ou animales, ainsi que tous les acides sont particulièrement nuisibles, tandis que les produits minéraux non acides sont généralement inoffensifs.

d) *Préparation d'éprouvettes pour contrôle de l'examen des matériaux.* — Les matériaux ayant été examinés comme indiqué ci-dessus, il convient de préparer quelques éprouvettes à la consistance qui sera utilisée sur le chantier en vue de vérifier la plasticité, la facilité de mise en œuvre, le facteur C/E, la densité et la résistance du béton.

Suivant les résultats de ces essais, il sera facile de rectifier

les proportions de mélange admises. La quantité d'eau de gâchage aura pu être calculée à l'avance au moyen de la formule 3) ; on en aura déduit C/E et la densité du béton, de sorte que, dans ce cas, les essais de gâchage n'auront pour but que de contrôler ces prévisions. Les essais de résistance serviront en même temps à déterminer les coefficients K de qualité du liant utilisé.

Ces essais préliminaires prendront un grand développement sur les chantiers importants, tandis que sur les petits chantiers on pourra se borner à faire quelques essais de gâchage en vue de vérifier le facteur C/E.

B. — Essais en cours des travaux

Leur but essentiel est de contrôler que le béton mis en œuvre est semblable à celui qui a été choisi lors des essais préliminaires. Ils comprennent :

1° *Contrôle de la préparation et de la mise en œuvre du béton,* soit :

- a) Contrôle du dosage.
- b) Contrôle du ballast.
- c) Contrôle de la quantité de gâchage et de la consistance du béton.
- d) Contrôle de la densité du béton.
- e) Contrôle de la mise en place du béton.
- f) Contrôle des conditions du durcissement du béton.

2° *Prélèvement d'éprouvettes de béton* (cubes ou prismes) en vue de déterminer la résistance effective de celui-ci.

A) *Contrôle du dosage.* — Le dosage est prescrit par m³ de ballast ou, ce qui est préférable, par m³ de béton.

Le ballast est mesuré en volume, le ciment en poids. Dans les cas où celui-ci est aussi mesuré en volume, il convient de déterminer sa densité à l'état de tassement effectif où il se trouve au moment où se fait le dosage.

Le volume de la caisse de jaugeage doit être vérifié ; s'il s'agit de la benné de chargement d'une bétonnière, on marquera d'une façon très visible les degrés de remplissage correspondant aux divers dosages, en tenant compte du foisonnement du ballast humide et de son degré de tassement.

Le dosage effectif sera vérifié par un essai de rendement, c'est-à-dire en mesurant au moyen d'une caisse le volume de béton correspondant à une gâchée.

Ces vérifications du dosage doivent se faire fréquemment ; il n'est pas rare de constater des erreurs de dosage de ± 10 % sur les petits chantiers insuffisamment surveillés, principalement par suite d'un étalonnage défectueux des caisses de jaugeage et du foisonnement du ballast.

La qualité du ciment sera contrôlée à intervalles réguliers sur les grands chantiers au moyen des essais normaux. Il n'est pas d'usage de vérifier cette qualité sur les petits chantiers ; il est toutefois recommandable de conserver jusqu'à la réception des travaux un échantillon (10 à 20 kg.) de chaque wagon de ciment, afin de pouvoir effectuer éventuellement, plus tard, des essais de ciment, si la qualité du béton ne répond pas aux prévisions.

b) *Contrôle du ballast.* — La composition granulométrique du ballast peut varier au cours des travaux, c'est pourquoi il importe de la vérifier à intervalles réguliers et de la rectifier s'il y a lieu.

Les grands chantiers modernes sont tous installés de façon à permettre de modifier rapidement les proportions des composantes élémentaires.

Sur les petits chantiers, alimentés au jour le jour de tout venant, la composition granulométrique varie constamment.

ce qui rend difficile une rectification du ballast. Il faut, toutefois, s'assurer que la granulation reste dans les limites assez larges admises lors des essais préliminaires. Cette vérification peut se faire à « l'estime » en comparant le ballast à un ou plusieurs échantillons-types ayant des granulations connues, ou encore par la détermination de la densité apparente ou par un triage rapide. Avec un peu d'habitude, la qualité du ballast se reconnaît au simple coup d'œil.

c) *Contrôle de la quantité d'eau de gâchage et de la consistance.* — La mesure de la quantité d'eau de gâchage est très facile si le ballast est sec : il suffit de noter exactement le volume d'eau ajouté à chaque gâchée qui correspond elle-même à un volume donné de béton et à un poids connu de ciment. L'opération est plus complexe si, comme c'est généralement le cas, le ballast est plus ou moins humide. Il faut, en effet, tenir compte non seulement de l'eau ajoutée, mais encore de celle qui se trouve déjà retenue par le ballast. Pour mesurer celui-ci, il faut peser un volume connu de ballast humide et le repeser après l'avoir séché. C'est une opération très simple, mais assez longue. On peut déterminer très rapidement l'eau de gâchage au moyen de la densité du béton frais, suivant la méthode qui a été exposée dans *La Technique des Travaux* de décembre 1929.

Le béton ne doit pas être plus fluide que l'exige sa mise en œuvre correcte. La fluidité peut être mesurée au moyen de la table à secousses ou au moyen de l'essai au « slump » d'Abrams. Ce dernier procédé est seul applicable sur les chantiers, mais il est peu précis. La consistance se mesure, en général, d'après l'apparence du béton : un béton est mou quand il commence à être brillant, il s'étale alors de lui-même entre les coffrages s'il est exposé à des chocs ou à des trépidations. S'il s'étale de lui-même sous un talus de 30 %, c'est du béton coulé ; il y a excès d'eau si le mortier tend à se séparer du gravier.

d) *Contrôle de la densité du béton.* — La densité du béton est le meilleur critère pour juger de la quantité d'eau de gâchage, de la composition granulométrique, de la consistance. Le béton est d'autant plus dense que la granulation est meilleure, qu'il a été gâché avec moins d'eau, que sa consistance est plus ferme. Il est facile d'établir des graphiques donnant la quantité d'eau de gâchage en fonction de la densité du béton.

Un très bon béton a une densité lors du gâchage $> 2,40$.

Un bon béton a une densité comprise entre 2,34 et 2,40.

Un assez bon béton a une densité comprise entre 2,28 et 2,34.

Un médiocre béton a une densité comprise entre 2,20 et 2,28.

Un mauvais béton a une densité inférieure à 2,20.

Ces quelques indications générales suffisent pour les petits chantiers, tandis que sur les chantiers importants on cherchera à maintenir la densité dans les limites fixées lors des essais préliminaires.

e) *La mise en œuvre du béton* doit être surveillée sur les petits comme sur les grands chantiers, de façon à ce que le béton soit compact et ne présente pas de nids de gravier.

f) *Contrôle des conditions du durcissement.* — Il ne suffit pas de préparer un bon béton, mis soigneusement en œuvre ; il faut encore veiller à ce que son durcissement se fasse dans de bonnes conditions, c'est-à-dire que :

1° Le béton doit être maintenu humide pendant la première période de son durcissement. Celui-ci s'arrête si le béton est sec ; il se poursuit, au contraire, pendant des mois si le béton est maintenu humide.

2° Le béton frais doit être préservé des chocs, de l'eau courante et de la pluie jusqu'à ce que la prise soit terminée, c'est-à-dire pendant 12 à 24 heures après sa fabrication. Si tel n'est

pas le cas, le lait de ciment risque d'être enlevé par délavage, ou bien le mortier absorbera un excès d'eau, ce qui diminuera sa résistance.

3° Le béton sera préservé des grandes chaleurs qui le sèchent trop vite et augmentent les tensions intérieures (retrait, dilatation), ainsi que du gel qui le désagrège. Il faut tenir compte du ralentissement du durcissement (décintrage, décoffrage, etc.) si la température est inférieure à $+ 10^{\circ}$.

Prélèvement de cubes ou prismes de béton. — Les divers essais examinés jusqu'ici sont de beaucoup les plus importants parce que tous les renseignements qu'ils fournissent sont connus avant la mise en œuvre du béton.

Les renseignements fournis par la rupture de cubes ou de prismes prélevés au cours des travaux ne sont connus que longtemps après la mise en œuvre, alors qu'il n'est plus possible de remédier à des défauts éventuels de la qualité du béton. Par contre, la connaissance des résistances effectives est plus convaincante que de simples prévisions, elle permet de prendre des mesures efficaces pour les bétonnages ultérieurs ; aussi le prélèvement d'échantillons de béton au cours de la construction rend-il de grands services sur les chantiers importants, à condition que ce ne soit pas le seul contrôle de la qualité du béton et que la prise d'échantillons se fasse correctement, ce qui n'est pas aussi simple qu'il le paraît à première vue.

Pour fournir des renseignements sûrs, la prise d'échantillons doit remplir les conditions suivantes :

1° Le nombre d'éprouvettes doit être suffisant pour pouvoir reconnaître des défauts éventuels de mise en moule. Pour cette raison, les cubes doivent être écrasés par deux ou trois à la fois et, si possible, à deux ou trois durées de durcissement. Chaque série se composera de quatre à six cubes d'une même gâchée, qui seront écrasés par paires à sept, vingt-huit, quatre-vingt-dix jours.

On connaîtra ainsi exactement l'allure du durcissement. Si les écarts entre les résistances au même âge de deux cubes de la même série dépassent 10 %, cela indique une prise d'échantillon défectueuse.

Une série de quatre à six cubes sera prélevée tous les quinze jours sur un chantier de moyenne importance et à intervalles plus rapprochés (un à six jours) sur les grands chantiers.

Le prélèvement de cubes isolés n'a aucune valeur et doit être déconseillé. On ne peut, en effet, vérifier leur résistance et leur densité par comparaison avec celles de cubes prélevés dans des conditions exactement semblables.

2° Il doit être établi un procès-verbal du prélèvement de chaque série de cubes indiquant :

La provenance du ciment, du ballast.

Le dosage, la consistance, la quantité d'eau de gâchage, la facilité et le mode de mise en moule, le mode de conservation des cubes.

La date, le temps, la température, le lieu d'emploi du béton.

Le nombre des échantillons et leur désignation.

En vue d'éviter toute contestation ultérieure, il est recommandable que ces procès-verbaux soient établis contradictoirement et signés par les représentants de l'entrepreneur et du maître de l'ouvrage.

3° Les bétons prélevés doivent être absolument identiques au béton de l'ouvrage, notamment en ce qui concerne le dosage, l'eau de gâchage, la consistance et l'intensité du damage. Cette dernière condition est difficile à observer : le damage sera toujours plus intense sur les échantillons que dans la construction, d'où des différences de résistance pouvant aller du simple au double.

Pour tous les bétons mous ou coulés, la mise en moule doit se faire *sans aucun damage direct*, mais simplement en secouant et en frappant sur les moules (vibrations). C'est le seul mode de mise en œuvre qui garantisse que le cube a exactement la qualité du béton de l'ouvrage et qui renseigne sur la plasticité et la consistance du béton.

4° Le durcissement des éprouvettes (humidité, température) devrait être exactement semblable à celui de la construction. Cette condition est cependant presque impossible à réaliser exactement, aussi est-il préférable de laisser durcir les cubes dans des conditions exactement connues de température et d'humidité (par exemple dans le sable humide ou dans l'eau) et de se rappeler que la résistance du béton de l'ouvrage pourra différer de celle des cubes de contrôle.

5° Il est d'usage actuellement d'utiliser pour les bétons des cubes de 20 centimètres de côté (quelquefois 15-16 centimètres seulement) et pour les mortiers des cubes de 7 centimètres de côté. Les cubes de 20 centimètres sont lourds, encombrants, les frais de transport et de magasinage sont élevés, ce qui conduit à restreindre fâcheusement le nombre des cubes prélevés.

Il est possible de simplifier notablement ces essais et de réduire les frais qu'ils entraînent en se rappelant que, pour les bétons mous ou coulés tout au moins, la résistance dépend en premier lieu du facteur C/E, c'est-à-dire de la résistance de la pâte liante. Au lieu de prélever des échantillons de béton complet, il suffit de prélever des échantillons de la pâte liante, c'est-à-dire du mortier extrait du béton.

Il est ainsi possible de se rendre compte exactement de la résistance d'un béton en prélevant des cubes de 7 centimètres de côté ou des prismes de 4-4-16 centimètres ou même de 2-2-12 centimètres de mortier extrait de ce béton. L'encombrement est réduit à un minimum, ainsi que les frais de transport; les essais peuvent être multipliés, ce qui permet d'éliminer les erreurs accidentelles, d'étudier l'influence des divers modes de durcissement.

Les résistances des mortiers extraits différeront rarement de plus de 10 % de celles des bétons complets. Les essais de flexion sur prismes de $2 \times 2 \times 12$ centimètres peuvent se faire facilement sur sur le chantier au moyen d'un peson permettant d'exercer une pression P d'une-cinquantaine de kilos au maximum au milieu du prisme appuyé aux deux extrémités. Si la distance entre appuis est de 107 millimètres. $R_f \text{ kg./mm}^2 = 2 P \text{ kg.}$

Connaissant la résistance à la flexion R_f , on en déduira celle à la compression au moyen du tableau :

R_f = Résistance à la flexion.

R_c = Résistance à la compression.

$R_f = 12 \text{ kg./cm}^2$ correspond à $R_c = 40 \text{ kg./m.}$

21	—	—	—	70	—
28	—	—	—	100	—
37	—	—	—	150	—
45	—	—	—	200	—
52	—	—	—	250	—
57	—	—	—	300	—
62	—	—	—	350	—

Les écarts peuvent atteindre, mais dépasseront rarement 20 %. La méthode ci-dessus n'est pas applicable aux bétons secs, damés, poreux, mais uniquement aux bétons mous ou coulés.

En cas de contestation ou bien pour se rendre compte dans quelle mesure les cubes prélevés lors du gâchage correspondent à la qualité du béton de l'ouvrage, on découpe parfois dans celui-ci des blocs de béton qui, après avoir été débités à la scie en cubes de dimensions normales, seront soumis à l'essai d'écras-

sement. Ces essais sont coûteux et pas toujours concluants : on ne connaît pas les conditions exactes du gâchage et on peut tomber sur un bloc de béton dont la qualité ne correspond pas à celle du béton de l'ensemble de l'ouvrage.

Conclusions

L'organisation pratique des essais sur les chantiers comprendra les opérations suivantes :

A. — ESSAIS PRÉLIMINAIRES.

	Petits chantiers	Grands chantiers.
CIMENT	Détermination de K d'après les résistances du ciment aux essais normaux.	Détermination de K au moyen d'essais spéciaux. Essais normaux du ciment.
BALLAST.	Vérification de la teneur du tout-venant en : 0,5 mm. et en sable de 0,6 mm. Les ballasts nettement défectueux seront écartés. Le ballast sera trié en sable et gravier, si cela peut se faire sans frais importants. Détermination de la densité du ballast, du foisonnement.	Analyse granulométrique des ballasts disponibles. Recherche du mélange optimum des divers ballasts. Calcul : eau de gâchage, du dosage, de la résistance probable.
EAU.	Vérification que l'eau ne contient ni matières organiques, ni acides, qu'elle n'est pas limoneuse.	

B. — ESSAIS EN COURS DES TRAVAUX.

CIMENT.	Conservation d'échantillons de ciment, pas d'essais proprement dits.	Essais normaux à intervalles réguliers.
DOSAGE.	Vérification de la contenance des caisses de jaugeage du ballast. Vérifier le foisonnement du ballast. Essai de rendement en volume d'une gâchée.	Essais périodiques du rendement et des balances à ciment, pour la vérification du dosage effectif par m ³ de béton.
BALLAST.	Comparer périodiquement le ballast avec un échantillon de ballast-type. Contrôle de la teneur du ballast en < 0,5 et en sable.	Contrôle périodique de la composition granulométrique des composantes et du ballast composé. Rectification des proportions du mélange.
CONSISTANCE.	Mesure de la quantité d'eau nécessaire pour la consistance désirée, matériaux secs. Densité du béton frais, compact.	Mesure de la quantité d'eau ajoutée, détermination de la quantité d'eau retenue par le ballast. Densité du béton frais compact.
EAU.		
DENSITÉ.		
MISE EN ŒUVRE.	Le béton doit être compact, sans nids de gravier.	Le béton doit être compact.

C. — PRÉLÈVEMENT DE CUBES OU PRISMES DE BÉTON.

Séries de cubes ou prismes de mortier extrait du béton (1 série pour 50-100 m ³ béton ou 1 série par mois).	Séries de 4 à 6 cubes de 20 cm. de côté de béton, prélevés à intervalles plus ou moins rapprochés. (1-15 jours).
--	--