

RECHERCHES RÉCENTES SUR LA COMPOSITION DES BÉTONS POUR REVÊTEMENTS DE ROUTES

par F. CAMPUS,
Recteur et Professeur
à l'Université de Liège.

I. PRÉAMBULE

LES revêtements de chaussées en béton de ciment monolithiques sont en grande faveur en Belgique depuis plus de vingt ans. Cette faveur a été renforcée par l'excellente tenue de ces revêtements dans les régions où se sont déroulées, pendant le rude hiver de 1944 à 1945, les opérations de l'offensive allemande et de la contre-offensive alliée des Ardennes. Leur comportement a été considérablement supérieur à celui des revêtements d'autre nature ; même les pavages disposés sur une solide fondation n'ont subi que des dommages superficiels. La rénovation actuelle du réseau routier belge réserve une grande part à l'emploi des dalles de béton de ciment monolithiques.

Depuis une vingtaine d'années la composition du béton de ces dalles a été quasi invariable. Nous la désignons dans la suite sous le nom de composition de l'Administration des Ponts et Chaussées. Elle s'exprime comme suit :

Pierrailles concassées 20/40 m_m . : 600 litres ; pierrailles 5/20 m_m . : 300 litres ; grenaille 2/5 m_m . : 300 litres ; sable 0/2 m_m . : 300 litres ; ciment à haute résistance : 450 kilos.

On exige de ces bétons, à l'âge de cinquante-six jours, une résistance minimum de 600 kilos au centimètre carré, mesurée sur des cubes de 10 centimètres de côté ou sur des cylindres de 10 centimètres de hauteur et de 100 centimètres carrés de base, extraits à même les dalles de revêtement. Cette résistance est parfois considérablement dépassée ; il advient qu'elle atteigne et même dépasse 1.000 kilos au centimètre carré, du moins à un âge plus avancé.

Les résultats généralement satisfaisants obtenus par cette composition n'ont pas empêché que l'on en ait suggéré la modification. Tout d'abord, on peut généralement critiquer l'expression de la composition en volumes apparents et lui préférer l'expression en poids. Compte tenu de ce que la composition définie en volumes apparents produit environ 1.100 mètres cubes, la composition en poids d'un mètre cube de béton, en cas d'emploi de porphyre (poids spécifique environ 2.740 kilos-mètre cube) s'exprime comme suit :

Porphyre 20/40 : 765 kilos ; porphyre 5/20 :

396 kilos ; porphyre 2/5 : 396 kilos ; sable du Rhin 0/2 : 429 kilos ; ciment PHR : 415 kilos.

Ces poids se rapportent aux matériaux secs. La quantité d'eau n'est pas définie.

Dans le cas d'emploi du grès, de poids spécifique 2.685, les poids des pierrailles seraient diminués dans la proportion des poids spécifiques. De même si les pierrailles étaient d'autre nature encore.

Outre ces critiques formelles, dont la prise en considération ne modifie pas la composition du béton mais la rend seulement plus précise, des observations plus fondées ont été faites concernant la courbe granulométrique et la richesse en ciment.

La granulométrie n'est ni continue ni discontinue ; elle peut être assez variable en raison de la variation possible du 5/20 m_m , selon qu'il est formé en majeure partie de 5/10 ou de 10/20. La courbe des refus partiels montre que les proportions des constituants ne sont pas très systématiques (fig. 1). On constate que ce béton contient pas mal de fin, qu'il est riche en mortier, ce qui provient notamment de la quantité de ciment, plutôt élevée. Cela confère une assez grande facilité de mise en œuvre mais présente des inconvénients quant au retrait et quant à la glissance. En ce qui concerne ce dernier point, je n'ai pas connaissance que des observations définies aient été faites sur les routes belges en béton. Il sera probablement possible d'en faire prochainement. En attendant, l'impression existe que l'adhérence pourrait être augmentée par l'emploi de bétons contenant plus de pierres et moins de mortier, donc moins de ciment, sans détriment pour la résistance. Sous réserve de conserver à ces bétons une facilité suffisante de mise en œuvre, pour éviter d'augmenter son prix, une économie serait réalisée sur le ciment.

Personnellement, j'ai envisagé de telles modifications de composition dès avant 1933, époque à laquelle j'ai présenté, au II^e Congrès belge de la route à Anvers (septembre 1933), les résultats de quelques expériences sur des compositions modifiées. Les granulométries envisagées étaient simplifiées et franchement discontinues. La quantité de ciment était diminuée à 350 kilos par mètre cube ou même à moins. Eventuellement, le calibre maximum des pierrailles était augmenté de 20/40 m_m à 40/60 m_m , les carrières étant à certaines époques susceptibles de fournir moins de 20/40 que de 40/60, qui est

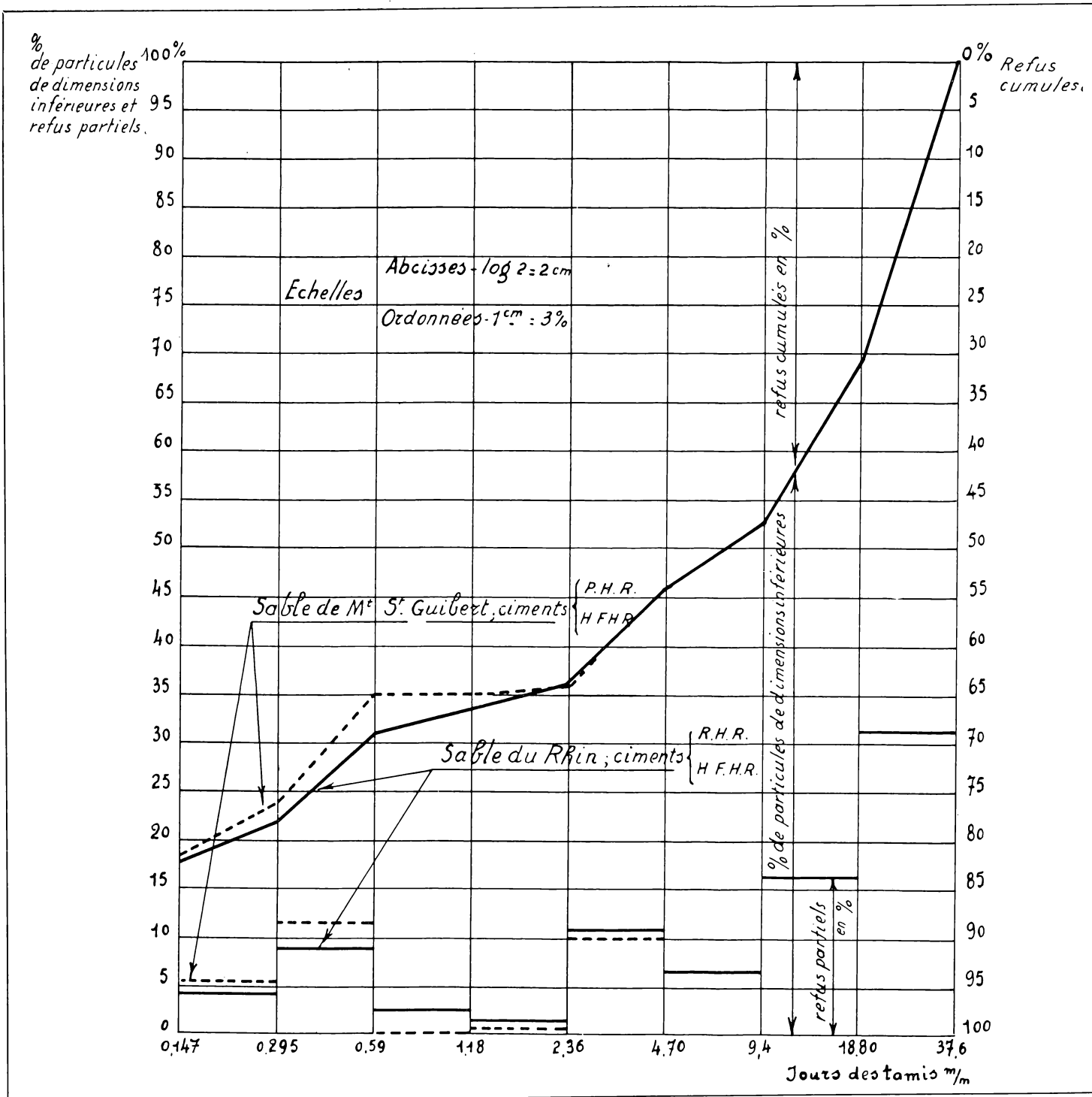


Figure 1.

employé normalement pour le ballastage des voies ferrées.

Les dalles confectionnées pour les essais à cette époque avaient été damées à la main. A la détermination des résistances à la compression à l'âge de cinquante-six jours avaient été ajoutés des essais de flexion et des essais de choc en flexion, afin de contrôler l'influence des modifications de composition sur la ténacité et la fragilité des bétons.

J'ai repris la question aux Congrès belges de la route en 1935 (Bruxelles) et 1938 (Gand), ainsi que dans un rapport au VIII^e Congrès international de la Route (La Haye, 1938). Ces idées ont été retenues sous une forme très générale dans les conclusions de ce dernier Congrès (Première question, A.).

Elles eurent depuis d'autres adeptes en Belgique et

elles ont inspiré quelques applications, qui sont toutefois restées sporadiques. En règle générale, on s'est tenu nominalement à la composition des Ponts et Chaussées.

Plus récemment, sur l'intervention de M. H. Hondermarcq, directeur général des routes, et de M. E. Van Volsom, inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées, la décision a été prise d'approfondir la question de la composition des bétons de routes. L'étude comparative d'un assez grand nombre de compositions diverses est la première recherche qui ait été entreprise et menée à bonne fin par l'Institut belge pour le progrès technique de la route *Via Perfecta*, avec le concours financier de l'I. R. S. I. A. (Institut pour la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture). Cette étude a été confiée à mes laboratoires, après que le programme en eût été arrêté par la Commission technique « Béton » de l'Institut.

Le procès-verbal complet des essais comporte 231 pages, 62 planches et 91 fiches analytiques, dont la lecture peut être intéressante pour les spécialistes des bétons de route, de telle sorte qu'un tirage limité de ce procès-verbal dans son texte intégral est souhaitable. La présente note se borne à présenter un résumé du programme et des conclusions déduites des résultats des essais.

II. — PROGRAMME

Huit types généraux de compositions ont été prévus. Le type I est de la composition de l'Administration des Ponts et Chaussées définie plus haut.

Les types II, III, V et VII sont des bétons à granulométrie continue, dont la composition a été établie d'après la méthode de M. Faury.

Le béton II comporte des pierrailles des calibres 10/20, 5/10 et 2/5, ainsi que du sable 0/2 et 350 kilos de ciment par mètre cube.

Le béton III contient des pierrailles des calibres 20/40, 5/20 et 2/5 et du sable 0/2 (comme la composition de l'Administration des Ponts et Chaussées), également 350 kilos de ciment par mètre cube.

Le béton V contient des pierrailles des calibres 40/60, 20/40, 5/20 et 2/5, du sable 0/2 et 350 kilos de ciment par mètre cube.

Le béton VII diffère du précédent parce qu'il ne contient plus que 300 kilos de ciment par mètre cube.

Les types IV, VI et VIII sont à granulométrie discontinue. Les deux premiers ont été composés d'après les publications de M. Vallette; le dernier, d'après une méthode qui m'est propre.

Le béton IV contient des pierrailles 20/40 ainsi que du 5/10 (en cas d'utilisation de sable du Rhin) ou du 2/5 (en cas d'utilisation de sable belge), du sable 0/2 et 350 kilos de ciment par mètre cube.

Le béton VI se compose de pierrailles 40/60 et 5/10, de sable 0/2 et de 350 kilos de ciment par mètre cube.

Le béton VIII a les mêmes constituants que le précédent et 300 kilos de ciment par mètre cube.

Ces huit bétons donnent lieu chacun à des compositions différentes par l'emploi de pierrailles, de sables et de ciments de diverses natures.

Pour les pierrailles, on a employé le porphyre, le grès et le laitier.

Pour les sables, celui dénommé sable du Rhin (provenant en réalité de la Basse-Meuse aux Pays-Bas) et le sable belge (des sablières de Mont-Saint-Guibert).

Pour les ciments, le portland à haute résistance et le ciment de haut fourneau à haute résistance.

Les pierres de porphyre et de grès ont été employées pour les huit bétons, le laitier seulement pour les bétons III, IV, V et VI. Cela conduit à quatre-vingts compositions différentes. Pour chacune d'elles il a été confectionné, dans un moule métallique parachevé mécaniquement, une dalle de 0 m. 50×0 m. 50×0 m. 20.

Huit dalles des bétons I à VIII, comportant toutes du porphyre, du sable du Rhin et du ciment portland, ont été réservées à des essais de flexion par choc.

Trois dalles de béton VI — porphyre, sable du Rhin et ciment portland — ont été utilisées pour des essais comparatifs sur l'influence de la forme et de la dimension des éprouvettes de compression.

Enfin, trois dalles spéciales ont été confectionnées pour des essais spéciaux relatés plus loin, plus six cubes de 16 centimètres de côté moulés en vue de mettre en évidence l'effet de l'état des surfaces des éprouvettes de compression en contact avec les plateaux de la presse. Au total, quatre-vingt-quatorze dalles et six cubes.

Pour l'appréciation de la facilité de mise en œuvre de ces bétons, on a eu recours à une méthode d'étalement basée sur l'emploi de l'appareil de Powers, mais placé sur une table vibrante réglée à une intensité de vibration bien définie (table du type Vibrogir, fréquence de

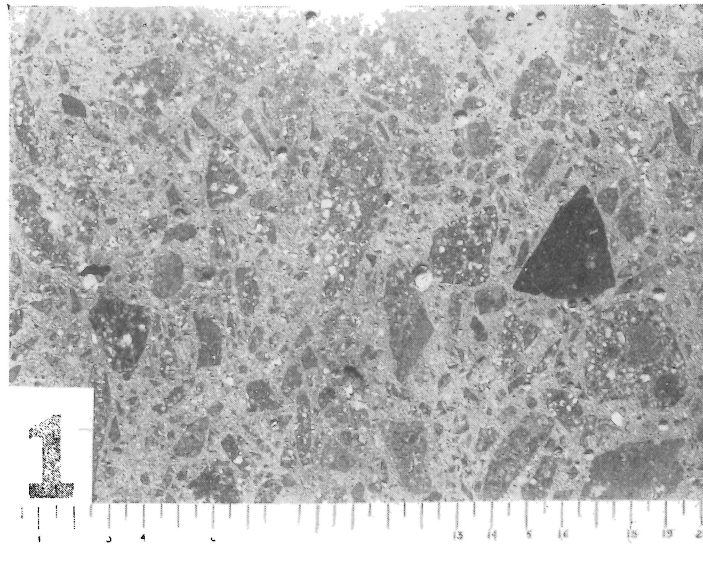


Figure 3.

Coupe plane dans la dalle de béton n° I, de composition suivante: porphyre 20/40, 765 kg; porphyre 5/20, 396 kg; porphyre 2/5, 396 kg; sable du Rhin 0/2, 429 kg; ciment portland à haute résistance, 415 kg. Eau: 137 litres.

Résistance: compression, 512 kg/cm²; flexion, 66,6 kg/cm².

$$\frac{R^1 b}{c} = 1.235. \text{ Retrait à 56 jours: } 0,8 \times 10^{-4}.$$

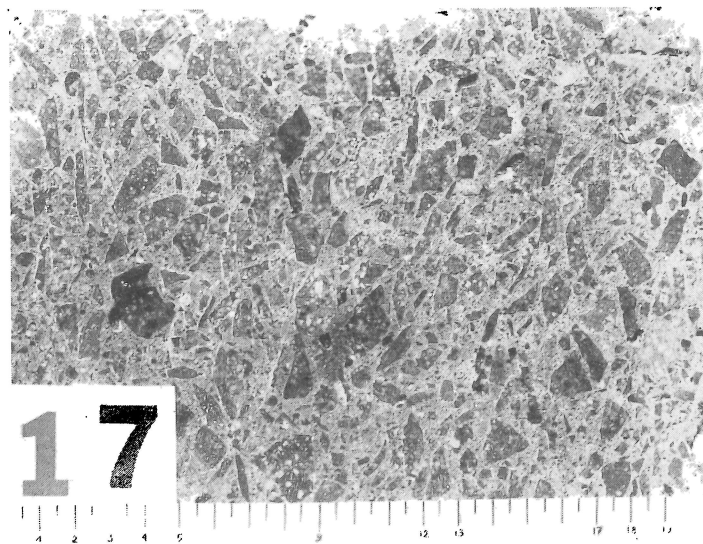


Figure 4.

Coupe plane dans la dalle de béton n° II, de composition suivante: porphyre 10/20, 1.160 kg; porphyre 2/10, 383 kg; sable du Rhin 0/2, 520 kg; ciment portland à haute résistance, 350 kg. Eau: 128 litres.

Résistance: compression, 648 kg/cm²; flexion, 72,1 kg/cm².

$$\frac{R^1 b}{c} = 1.85. \text{ Retrait à 56 jours: } 0,575 \times 10^{-4}.$$

3.000 cycles par minute). L'observation portait sur la durée de vibration entraînant l'étalement complet du béton, le cône étant enlevé. Cette durée était comprise entre trente-cinq et quarante-cinq secondes pour les granulométries continues; entre soixante-cinq et soixante-dix secondes pour les granulométries discontinues.

Les dalles d'essai ont été vibrées sur la même table vibrante, réglée à une intensité bien déterminée et pendant une durée triple de celle définie dans l'essai de facilité de mise en œuvre, soit deux minutes pour les granulométries continues et trois minutes en général pour les granulométries discontinues, sauf pour le béton VIII, qui a requis deux minutes et demie.

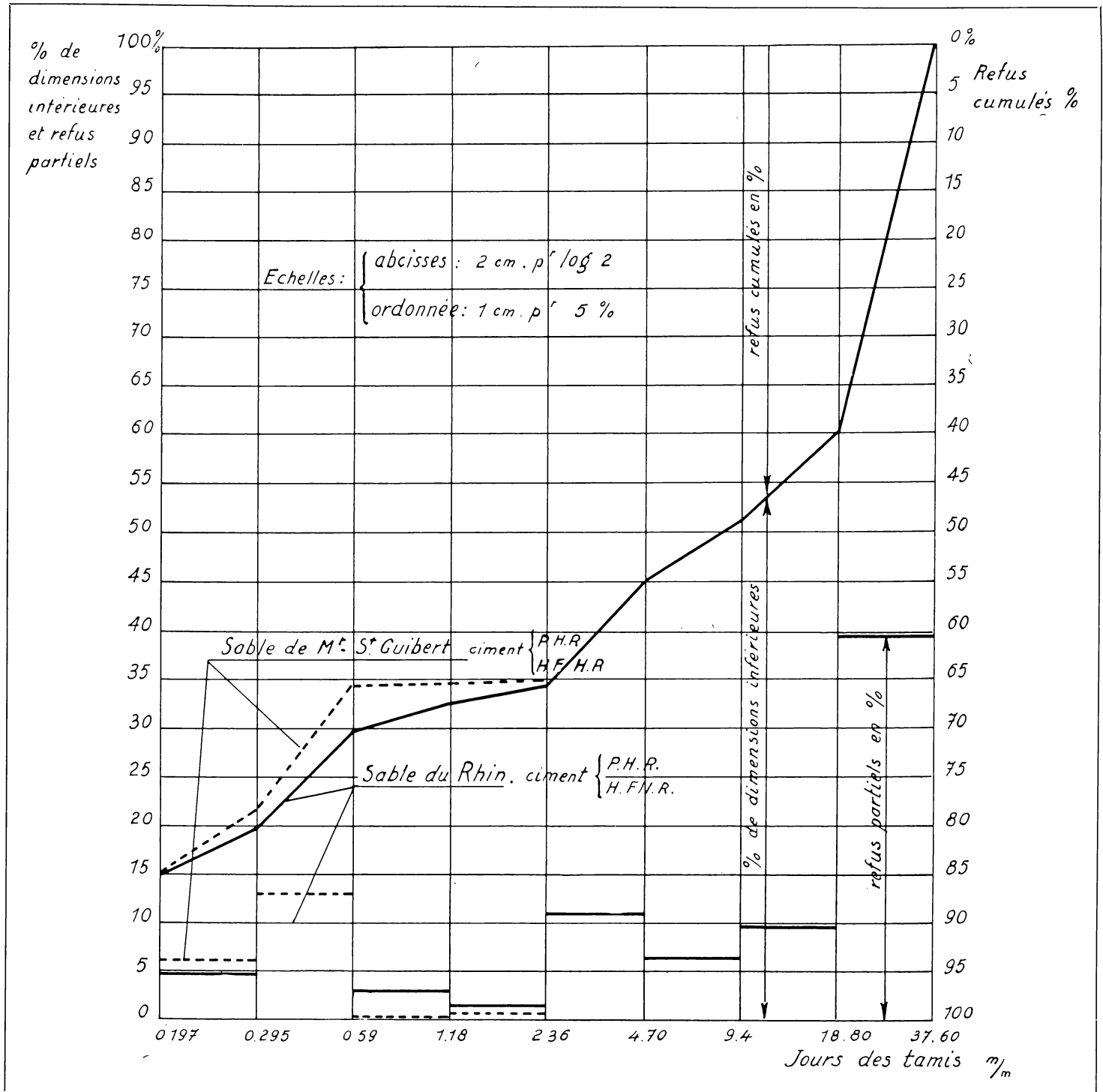


Figure 2.

Les dalles ont été démoulées vingt-quatre heures après bétonnage et conservées jusqu'à l'âge de cinquante-six jours dans une salle conditionnée à température comprise entre 20 et 21° C, l'état hygrométrique étant à 0,85 % d'humidité. Le retrait a été mesuré sur une face jusqu'à l'âge de cinquante-six jours au moyen d'un déformètre muni d'un comparateur au 1/1.000 de millimètre et mesurant sur une base de 400 millimètres.

Pour l'essai de compression, deux cylindres de 10 centimètres de hauteur et de 100 centimètres carrés de section ont été prélevés au centre de chaque dalle, l'un vers la face supérieure, l'autre vers la face inférieure.

L'essai de flexion statique a été effectué sur deux prismes de 16 centimètres de base, 20 centimètres de hauteur et 50 centimètres de longueur. Ils étaient posés sur des appuis distants de 40 centimètres et soumis à l'effet d'une charge concentrée centrale.

L'essai de flexion par choc a été effectué dans les mêmes conditions sur des prismes de dimensions identiques recevant en leur centre le choc d'un mouton de 5 kilos. La hauteur de chute initiale était de 0 m. 10 et croissait de 0 m. 10 après chaque coup. On notait la hauteur de chute du coup ayant produit la rupture. Les prismes étaient au nombre de trois par dalle.

III. RÉSULTATS DES ESSAIS PRÉLIMINAIRES

TROIS dalles ont été confectionnées au moyen du béton VI (Porphyre 40/60 : 1.140 kilos ; porphyre 5/10 : 633 kilos ; sable du Rhin 0/2 : 304 kilos ; ciment portland H. R. : 350 kilos ; eau : 126 kilos. On a prélevé dans chaque dalle, à l'âge de cinquante-six jours : deux cubes de 16 centimètres de côté ; deux cubes de

10 centimètres de côté, deux cylindres de 10 centimètres de hauteur et de 100 centimètres carrés de base.

Les tensions moyennes de rupture ont été respectivement (pour 6 éprouvettes de chaque espèce) : 695, 720 et 733 kilos au centimètre carré. Les différences sont inférieures aux écarts accidentels. Dès lors, il se recommande de généraliser l'emploi des éprouvettes cylindriques, dont la confection est plus rapide, plus précise et plus régulière. Ces éprouvettes sont confectionnées au moyen de sondeuses et de débiteuses perfectionnées à grand débit. Les bases sont dressées à la meule lapidaire et vérifiées au moyen de comparateurs au 1/100 de millimètre.

En raison de la perfection de ces éprouvettes, elles sont toujours essayées sans interposition quelconque entre les bases et les plateaux des presses, ces plateaux étant eux-mêmes vérifiés soigneusement quant à leur planéité et dressés assez fréquemment.

Il nous a cependant été demandé de procéder à un essai sur cubes moulés, de 16 centimètres de côté, en vue d'apprécier l'influence de la préparation des bases des éprouvettes comprimées. Les résultats ont été les suivants, les cubes ayant été confectionnés par vibration dans des moules métalliques bien conditionnés.

1. Aucune préparation, cubes bruts, 299 kilos au centimètre carré ;
2. Bases enduites d'huile de graissage, 274 kilos au centimètre carré ;
3. Bases enduites d'une couche de ciment lissée au moyen d'une plaque de verre (cfr A. S. T. M.). 254 kilos au centimètre carré ;
4. Enduit de soufre, de sable et de noir de fumée, lissé comme en 3, 254 kilos au centimètre carré ;
5. Bases détériorées au moyen d'un burin, 226,5 kilos au centimètre carré ;
6. Comme en 5, avec interposition de feuilles de carton épaisses de 1 centimètre entre les bases et les plateaux de la presse, 234 kilos au centimètre carré.

Cet essai n'était pas destiné à fonder des conclusions générales ; il a simplement servi à arrêter d'un accord général le mode opératoire sans préparation des bases des éprouvettes cylindriques selon l'usage de mes laboratoires.

IV. CONCLUSIONS TIRÉES DES ESSAIS GÉNÉRAUX

LES bétons à granulométrie discontinue ont des résistances à la compression nettement supérieures à celles des bétons à granulométrie continue, quel que soit le calibre maximum. En ce qui concerne ce calibre maximum, il y a pratiquement équivalence entre les bétons à 20/40 et ceux à 40/60. Par contre le 10/20 est nettement désavantageux. Mais les bétons à granulométrie continue sont plus faciles à mettre en œuvre que les bétons discontinus.

Toutefois le béton VIII à 300 kilos de ciment par mètre cube a demandé un temps de vibration de deux minutes et demie au lieu de trois minutes pour les autres discontinus. Ce type de composition pourrait être aménagé, par légère addition de ciment, pour obtenir une facilité de mise en œuvre comparable à celle des bétons continus.

L'influence de la nature des pierrailles n'est pas caractéristique ni régulière ; il y a pratiquement équivalence. On a noté que les pierrailles de grès requièrent un peu plus d'eau que celles de porphyre, tandis que les pierrailles de laitier en exigent sensiblement plus, à cause de leur plus grande rugosité et de leur porosité.

L'influence de la nature du sable est également assez équilibrée statistiquement, mais le sable de Mont-Saint-Guibert, plus fin que le sable du Rhin, exige plus d'eau.

En ce qui concerne l'influence de la nature du ciment, c'est le portland qui a généralement donné les plus hautes résistances, mais il y a eu des cas où c'était le ciment de haut fourneau. Il est apparu clairement au cours des essais que la fourniture de ciment de cette catégorie qui avait été faite pour les essais n'était pas d'une qualité parfaite.

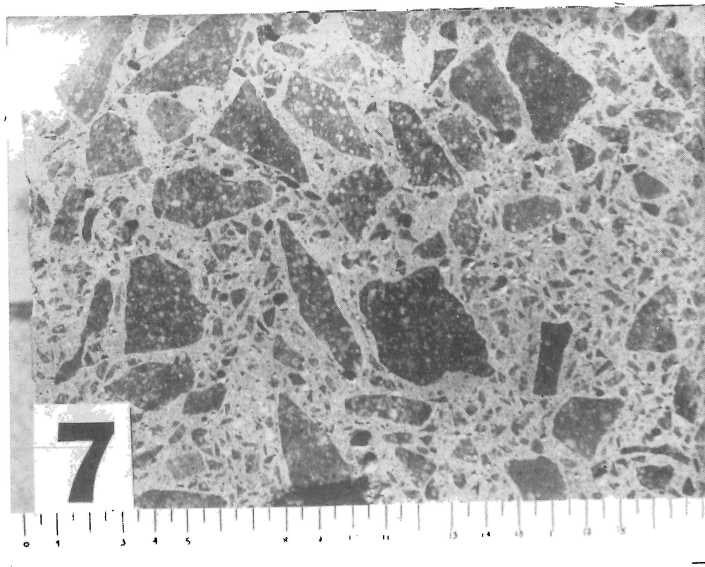


Figure 5.

Coupe plane dans la dalle de béton n° III, de composition suivante : porphyre 20 /40, 932,8 kg ; porphyre 5 /20, 218,4 kg ; porphyre 2 /5, 402,8 kg ; sable du Rhin 0 /2, 495,3 kg ; ciment portland à haute résistance, 350 kg. Eau : 115 litres.

Résistance : compression, 555 kg/cm² ; flexion, 71,5 kg/cm².

$$\frac{R'b}{c} = 1,586. \text{Retrait} : 0,725 \times 10^{-4}$$

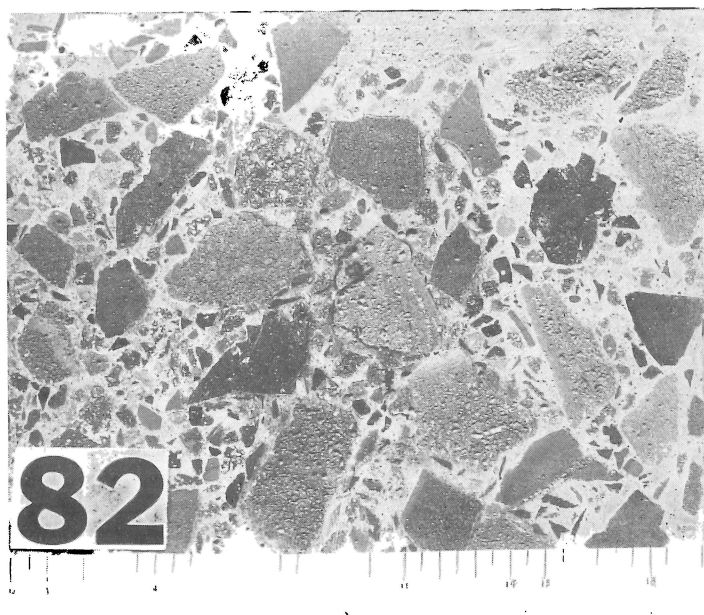


Figure 6.

Coupe plane dans une dalle de béton n° IV, de composition suivante : laitier 20 /40 1.201 kg ; laitier 5 /10, 555 kg ; sable du Rhin 0 /2, 375 kg ; ciment portland, à haute résistance, 350 kg. Eau : 144 litres. (Poids spécifique du laitier, 2.920 kg/m³.)

Résistance : compression, 758,5 kg/cm² ; flexion, 60,3 kg/cm².

$$\frac{R'b}{c} = 2,16. \text{Retrait} : 0,725 \times 10^{-4}$$

Pour mettre en évidence l'influence de la quantité de ciment, on n'a pas seulement considéré les valeurs absolues des résistances à la compression, mais aussi leur rapport au poids de ciment par mètre cube, facteur $\frac{R'b}{c}$ équivalant à une longueur.

Le béton I a les plus petites valeurs absolues autant que relatives ($\frac{R'b}{c} = 1,26$). Les bétons à 350 et même à 300 kilos de ciment par mètre cube donnent les valeurs

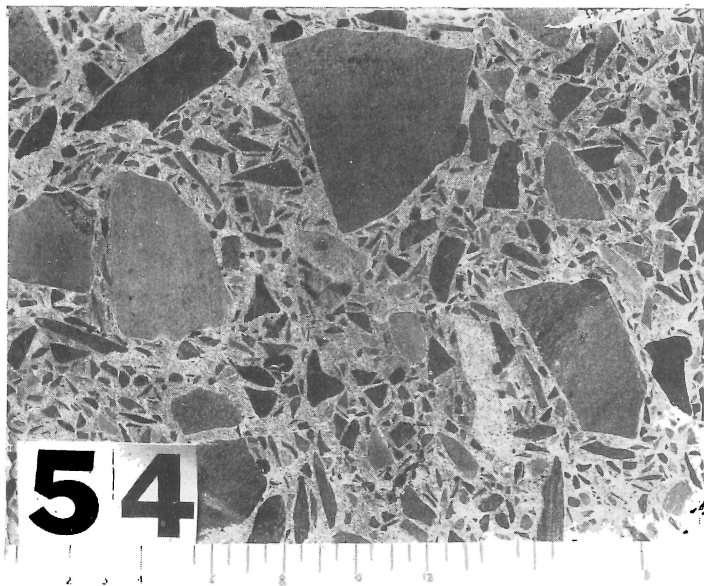


Figure 7.

Coupe plane dans une dalle de béton n° V, de composition suivante: grès 40/60, 661,4 kg; grès 20/40, 301,4 kg; grès 5/20, 290 kg; grès 2/5, 325,2 kg; sable de Mont-Saint-Guibert, 436,3 kg; ciment portland à haute résistance, 347,1 kg. Eau: 136,3 litres.

Résistance: compression, 668 kg/cm²; flexion, 62,4 kg/cm².

$$\frac{R^b}{c} = 1,925. \text{ Retrait: } 0,750 \times 10^{-4}.$$

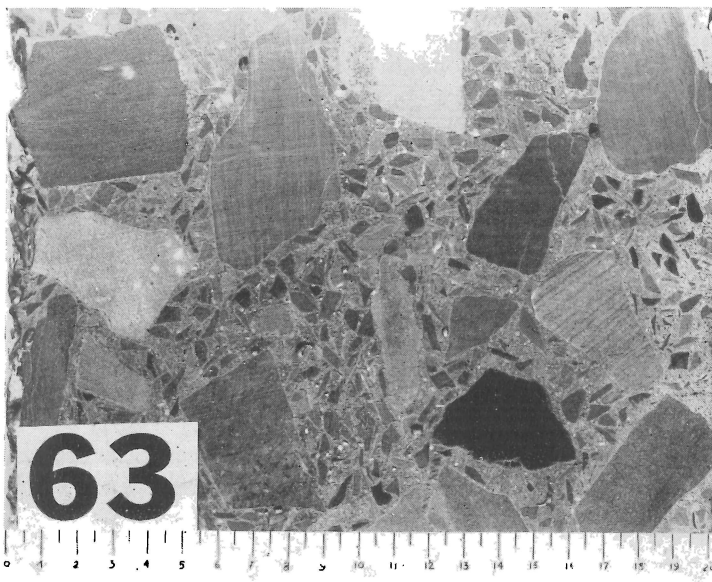


Figure 8.

Coupe plane dans une dalle de béton n° VI, de composition suivante: grès 40/60, 1.089,1 kg; grès 5/10, 605,3 kg; sable du Rhin 0/2, 297,7 kg; ciment de haut fourneau à haute résistance, 342,8 kg. Eau: 139 litres.

Résistance: compression, 621 kg/cm²; flexion, 51,8 kg/cm².

$$\frac{R^b}{c} = 1,81. \text{ Retrait: } 0,7 \times 10^{-4}.$$

absolues les plus élevées, notamment le béton VIII. Ce dernier donne toujours les valeurs relatives les plus élevées ($\frac{R^b}{c} = 2,46$). Ce béton VIII est très voisin d'une composition décrite déjà dans mon rapport au II^e Congrès belge de la Route en 1933 (Anvers).

L'influence de la proportion des divers agrégats est mise en évidence par la comparaison des bétons I et III, formés des mêmes constituants. Bien que le béton I contienne 415 kilos de ciment par mètre cube et que le béton III n'en contienne que 350, ce dernier a une résis-

tance généralement plus élevée. On comparera à cet effet la courbe granulométrique du béton III (fig. 2) à celle du béton I (fig. 1). Les allures des deux courbes sont à première vue très voisines, mais les proportions relatives de 20/40 et de 5/20, d'une part, de sable et de ciment, d'autre part, sont assez différentes, de telle sorte que le béton III diffère toujours du béton I par une plus forte proportion de gros éléments.

Les bétons à très forte proportion de pierres, tels que ceux considérés ici, ont des propriétés qui diffèrent de celles des bétons ordinaires, dans lesquels la proportion de mortier est plus forte et plus déterminante. Notamment l'influence du rapport $\frac{E}{C}$ est apparemment renversée, en ce sens que la résistance du béton VIII, qui a le plus grand rapport $\frac{E}{C}$, est plus élevée que celle du béton I, qui a le plus faible. La loi de Férét semble masquée par l'abondance et l'enchevêtrement serré des pierrailles. En déterminant les valeurs du coefficient K de la formule de Férét à partir des valeurs expérimentales de la résistance, on constate une croissance systématique de ce facteur avec la résistance, conditionnée par la richesse en pierres, à condition que le béton reste compact.

Le retrait spécifique à l'âge de cinquante-six jours a varié entre 0,475 et 0,95 10^{-4} , dans les conditions de conservation indiquées plus haut. On n'a pu relever aucune loi de variation en fonction des éléments de la composition. Le retrait paraît aussi fortement influencé par la prépondérance des éléments à volume invariable. Il n'a pas été fait d'essais de déformations de courte ou de longue durée sur ces bétons, le programme de l'essai ne le prévoyant pas, mais il est certain que la déformabilité instantanée ou retardée de ces bétons est moindre que celle des bétons ordinaires contenant plus de mortier.

En ce qui concerne les essais de flexion statique ou par choc, il est apparu que tous les bétons essayés ont uniformément une résistance assez élevée à ces sollicitations. La dispersion des résultats ne permet pas de classement des divers bétons. Mais il est utile de noter que la diminution de la quantité de ciment, que l'on aurait pu présumer défavorable à la résistance à la flexion, n'a pas cet effet.

Afin d'illustrer ces conclusions, les figures 3 et 10 reproduisent des coupes planes d'un béton de chacun des types I à VIII, avec indication des compositions pondérales et des résistances.

Il a été question plus haut de trois dalles pour essais spéciaux. Les deux premières étaient en béton I (grès, sable du Rhin et ciment portland), l'une étant conservée sous eau, l'autre à l'air comme les dalles normales, mais l'eau de gâchage ayant été additionnée de 2 % en poids moyen de CaCl². Les valeurs de $\frac{R^b}{c}$ moyen pour les trois modes de conservation normale, sous eau et avec addition de CaCl² ont été respectivement 1.40, 1.74 et 1.99 (valeurs absolues des résistances 614.5, 764 et 871.5 kilos au centimètre carré).

La troisième dalle était en béton type VI à granulation discontinue, mais dont la composition du type Vallette était établie en variante d'après la méthode proposée par le Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics à Paris. Les résultats ont été pratiquement identiques à ceux donnés par la dalle correspondante de l'essai normal.

V, ESSAIS SUPPLÉMENTAIRES

À LA suite des résultats des essais, il a été décidé de déterminer sur les fragments conservés des dalles les résistances à la compression à l'âge d'un an. Cette étude n'est pas terminée. Il semble qu'il y ait des augmentations de résistance notables, surtout pour les bétons ayant donné les plus faibles résistances à

cinquante-six jours, notamment pour les bétons du type I. Il y a donc une tendance à uniformisation des résistances. Les augmentations sont aussi plus fortes pour le ciment portland que pour le ciment de haut fourneau, ce qui paraît surprenant mais peut être dû à la qualité assez médiocre du ciment fourni pour les essais et à la conservation à l'abri de toute humidité et dans un air assez sec entre cinquante-six et trois cent soixante-cinq jours.

D'autre part, à la suite de la connaissance de ces essais, divers producteurs de matériaux ont désiré faire des essais complémentaires.

En ce qui concerne les pierrailles de laitier, une dalle de béton du type VIII a été essayée, une du type I et deux du type V en prenant comme sable soit du poussier de laitier 0/3 ou un mélange par parties égales de ce poussier et de sable de Mont-Saint-Guibert.

Ces essais ont confirmé les conclusions précédentes.

Ensuite six dalles ont été essayées dans les conditions suivantes :

Deux de béton I à pierrailles calcaires ; deux de béton I à pierrailles dolomitiques ; deux de béton VIII à pierrailles dolomitiques.

Les conclusions générales ont été également confirmées.

Enfin une cimenterie qui a mis sur le marché récemment un ciment portland ultra-fin, à durcissement rapide et à haute résistance, a fait confectionner des dalles des bétons I à VI, avec 350 kilos, 300 et 250 kilos de ciment par mètre cube. Les résultats connus actuellement sont seulement ceux des essais à l'âge de sept jours. Ils confirment l'impropriété du calibre 10/20 comme maximum, mais, d'autre part, à l'âge envisagé, les granulations continues paraissent légèrement supérieures aux granulations discontinues. Les effets de la variation de la quantité de ciment sont variables, mais souvent assez faibles. Les résultats des essais à cinquante-six jours permettront une appréciation plus assurée.

VI. CONCLUSIONS GÉNÉRALES

DE ces essais comparatifs assez importants et divers on peut, semble-t-il, tirer avec certitude la conclusion qu'il est possible de recourir pour les dalles de revêtement monolithiques de routes en béton de ciment à des compositions moins riches en ciment (pas plus de 300 à 350 kilos de ciment par mètre cube) et plus riches en pierres que la composition en usage actuellement.

Le rapport de la valeur de la résistance à la compression au poids de ciment peut être ainsi augmenté au delà de 2 jusqu'à 2,40.

Les granulométries discontinues sont nettement supérieures à ce point de vue aux granulométries continues, mais il faut cependant se préoccuper d'une facilité suffisante de mise en œuvre. Il semble que ce résultat puisse être atteint.

Dans cet ordre d'idées il est possible que l'addition de plastifiants ou d'agents entraîneurs d'air puisse être intéressante. Cette hypothèse doit faire l'objet d'essais complémentaires assez importants.

L'incidence de ces études sur une modification éventuelle de la composition officielle de l'Administration des Ponts et Chaussées n'est pas encore fixée, semble-t-il. Il serait possible de retenir l'un ou l'autre des dosages essayés, par exemple le béton V, mais, en fait, le programme était plutôt orienté vers une comparaison que vers la détermination d'un nouveau dosage. Il semble qu'un deuxième stade d'essai permettrait, au moyen d'un programme peu important, la mise au point d'une composition discontinue comportant 350 ou 300 kilos de ciment par mètre cube, qui pourrait être mise à l'épreuve dans les routes. Toutefois les essais de laboratoire effectués jusqu'à présent ne permettraient pas de conclure défini-

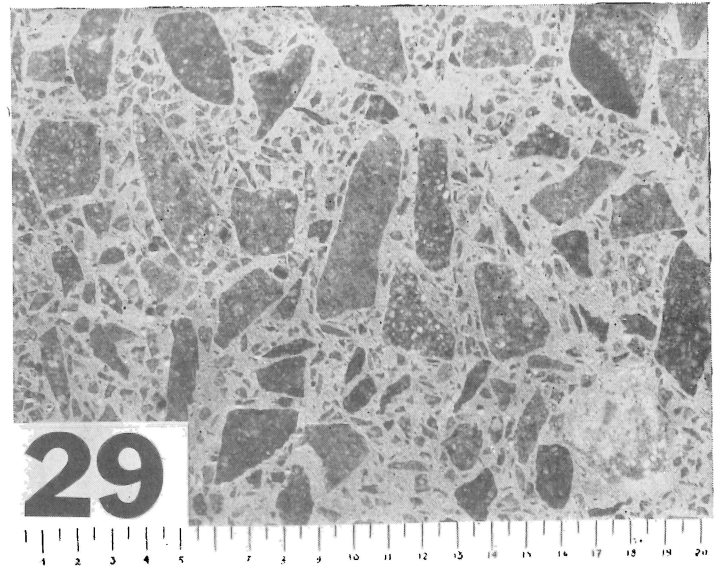


Figure 9.

Coupe plane dans une dalle de béton n° VII, de composition suivante: porphyre 40/60, 623 kg; porphyre 20/40, 311,5 kg; porphyre 5/20, 240 kg; sable de Mont-Saint-Guibert, 453 kg; ciment portland à haute résistance, 297 kg. Eau: 126 litres.

Résistance: compression, 537,5 kg/cm²; flexion, 54,7 kg/cm².

$$\frac{R^1b}{c} = 1,81. \text{ Retrait: } 0,9 \times 10^{-4}.$$

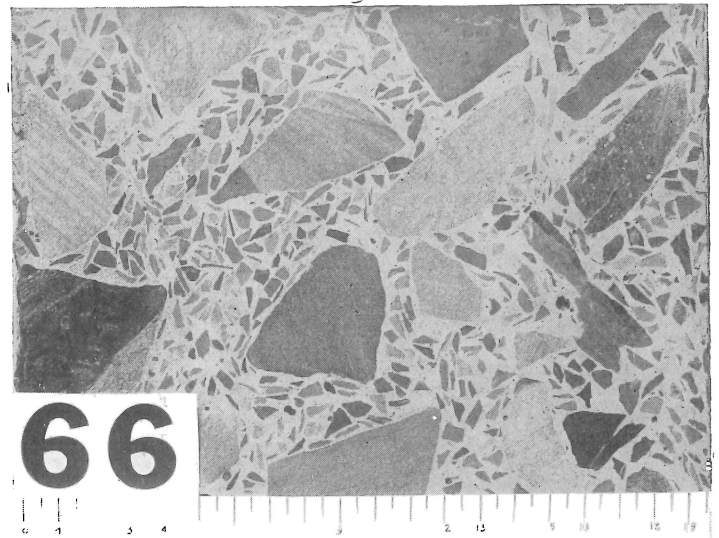


Figure 10.

Coupe plane dans une dalle de béton n° VIII, de composition suivante: grès 40/60, 941,5 kg; grès 5/10, 770,9 kg; sable de Mont-Saint-Guibert, 360,4 kg; ciment portland à haute résistance, 297,5 kg. Eau: 130,9 litres.

Résistance: compression, 716 kg/cm²; flexion, 57,8 kg/cm².

$$\frac{R^1b}{c} = 2,41. \text{ Retrait: } 0,75 \times 10^{-4}.$$

tivement en faveur d'une telle composition. Il faudrait, en effet, avoir auparavant des indications concernant la glissance et l'usure et leurs variations en fonction du temps. Le retrait et la déformabilité devraient être aussi étudiés pour de plus longues durées. Il est cependant à présumer que les bétons des types à teneur minimum en ciment donneraient satisfaction à tous ces points de vue, la nature des pierres pouvant être de grande importance en ce qui concerne l'usure et la glissance.

F. CAMPUS.