

Postface

au mémoire de M^{lle} M. Dzulynski

sur la relation

entre la résistance et l'hydratation

des liants hydrauliques

par

F. CAMPUS.

Ce mémoire apporte plus que l'espérance, presque la certitude de l'aboutissement d'un dessein ancien de plus d'un quart de siècle; l'établissement de la loi quantitative du durcissement des conglomérats hydrauliques. J'ai exposé ailleurs comment, dès le début de l'enseignement que j'ai été appelé en 1926 à l'honneur de fonder à l'Université de Liège, j'ai défendu la nécessité des laboratoires (1). Comment, en 1928, j'ai été autorisé à entreprendre un court voyage d'information et d'études, qui m'a conduit notamment au laboratoire de M. R. FERET, à Boulogne-sur-Mer. Cette visite n'était pas sans signification pour moi; elle était la première démarche dans la voie du dessein mentionné ci-dessus, dessein à vrai dire encore incertain et qui cherchait à se formuler. J'étais à cette époque suffisamment informé des travaux de R. FERET pour en apprécier toute la valeur et comprendre qu'il avait ouvert la voie qu'il convenait de poursuivre. Je ne m'en suis jamais écarté, quelles qu'aient été les modes et les tendances changeantes. J'ai indiqué également (1) comment dans mon enseignement et mes recherches, je me suis comporté délibérément et sans exception comme un « disciple » de la méthode de FERET, ce qui était, je puis maintenant en avoir plus que l'espoir, la voie de la réussite ardue. R. FERET a été

le promoteur de l'étude scientifique des conglomerats hydrauliques. Il a dès ses premiers travaux, en 1892 (2), mis en évidence leur maîtresse propriété, la compacité. Il en a indiqué d'emblée les deux facteurs essentiels, la granulométrie et la quantité d'eau.

Sa fameuse formule $R' = K \left(\frac{c}{1-s-p} \right)^2$ n'a même pas le

défaut de n'être pas assez explicite au sujet de ces facteurs. Car dans un ouvrage de 1897 (4), on la trouve sous la forme

$R' = K \left(\frac{c : [e + v]}{1 + c : [e + v]} \right)^2$, qui est plus complète que celle des

formules d'après 1920. On trouve même dans cet ouvrage, « par

approximation » la formule simplifiée $R' = J \left(\frac{c}{e + v} - 0,1 \right)$, de

la même forme que celle de M. J. BOLOMEY, de 1925. L'engouement qui s'est manifesté quelques années après la première guerre mondiale pour le « facteur ciment-eau » et pour d'autres formules n'en est que plus surprenant. Il semble que l'on n'ait pas compris qu'elles constituaient de nouvelles variations sur un vieux thème et qu'elles n'ajoutaient guère au thème de R. FERET. En fait, elles l'ont laissé au même point. Mais elles ne lui ont pas fait de tort; elles ont même contribué à sa diffusion. De telle sorte que la connaissance y trouvait tout de même son compte, même si le nom du promoteur n'y figurait pas toujours. R. FERET a d'ailleurs connu des consécérations éclatantes de ses travaux, comme celles de Zurich en 1925 et 1926 (4). Le Professeur M. ROS, Directeur du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux de Zurich, proclamait l'excellence de la formule de R. FERET en se fondant sur les résultats de 10.000 essais. Cette opinion m'était connue en 1928 et j'avais d'ailleurs visité cette année-là les laboratoires de M. ROS avant ceux de M. FERET (1).

Dans le domaine de la granulométrie, les idées si saines et si simples de FERET devaient être moins suivies encore. Elles ne conduisaient certes pas aux notions de compositions idéales sous la forme où elles furent présentées plus tard. Sans doute, ces

courbes granulométriques et ces modules idéaux durent-ils leur succès à la faveur imméritée dont bénéficia le béton fluide coulé aussitôt après la première guerre mondiale et dont on est tant revenu. J'ai déjà écrit ailleurs (5) avoir depuis longtemps reconnu la vanité de certaines courbes dites idéales, en les appliquant scrupuleusement à la composition de bétons expérimentaux, avec le résultat que les résistances obtenues étaient désavantageuses en comparaison avec celles des mélanges non idéaux. La notion des courbes granulométriques limites (Imberechts) (1) (5) est un correctif nécessaire des compositions idéales, elle en atténue singulièrement la signification.

R. FERET avait été conduit naturellement au caractère discontinu de la granulométrie, sans éprouver la nécessité d'y adapter une étiquette. La controverse née plus tard entre les tenants des granulométries continues et discontinues n'a pas entamé les principes rationnels de FERET et a été, au total, de médiocre utilité. On peut en juger par l'appréciation suivante, de M. J. BOLOMEY, qui n'est pas suspect de défaveur pour la granulométrie continue; elle constitue une véritable conclusion. « Le choix entre granulation continue et discontinue dépendra des conditions locales. Les ballasts naturels sont habituellement constitués par des grains de toutes les grosseurs, dans ce cas la granulation continue correspond à la solution économique. Si par contre on exploite séparément le sable et le gravier, il pourra y avoir avantage à adopter une granulométrie discontinue. Dans ce domaine comme dans d'autres, il faut se garder du schéma et des idées préconçues, mais baser sa décision sur les matériaux à sa disposition, en évitant un excès de grains moyens » (5) (6). Somme toute, la voie ouverte par R. FERET a donné lieu à un foisonnement de caractère technologique plutôt qu'à un développement scientifique.

La continuation des travaux de R. FERET ne se trouvait pas dans l'exploitation de ce qu'ils avaient établi, mais se situait dans la poursuite de ce qu'ils n'avaient pas pu résoudre.

M. A. CAQUOT (7) a énoncé une synthèse exacte des résultats de R. FERET en écrivant :

- 1) Les résistances à la traction et à la compression des bétons résultent essentiellement de la valeur du rapport λ du volume absolu du liant au volume qui lui est offert pour développer ses cristaux, rapport auquel il a donné le nom de

degré de concentration de la pâte liante
$$\left(\lambda = \frac{c}{c + e + v} \right)$$

- 2) Les matériaux inertes qui donneront les meilleurs résultats pour une grosseur maximum donnée, ceux pour lesquels le coefficient λ est maximum, sont uniquement composés de gros et de fin. Ils ne doivent pas comprendre de moyen.

Le problème que R. FERET laissait à résoudre était celui du facteur K, c'est-à-dire celui du durcissement. Apparemment, il était très complexe. Si, selon R. FERET, toutes choses étant égales, K dépendait de la nature du ciment, de l'âge et des conditions de conservation, cela revenait à écrire qu'il représentait tout ce qui agit sur l'hydratation du ciment, notamment aussi la granulométrie et la nature des agrégats. En ce qui concerne la granulométrie, il y avait quelque contradiction entre les vues de FERET, admettant que la résistance d'un béton était égale à celle de son mortier (3) et celles du Professeur M. ROS (4), écrivant que le coefficient de la formule de R. FERET pour les bétons est égal, dans des conditions identiques, à 0,87 fois le coefficient applicable aux mortiers. J'ai pu moi-même constater l'influence de la granulométrie sur les valeurs de K à l'autre extrémité de l'échelle granulométrique, par des essais sur des bétons de routes à gros éléments (8). J'écrivais : « La loi de FERET semble masquée par l'abondance et l'enchevêtrement serré des pierrailles. En déterminant les valeurs du coefficient K de la formule de FERET 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 ». Aux correspondants qui m'ont adressé des observations à ce sujet, j'ai fait remarquer que la formule de FERET est exacte à $\pm 25\%$ près (4). Les résultats peuvent donc varier dans le rapport de 3 à 5. Une telle

dispersion doit non seulement masquer les effets d'influences secondaires, mais elle suggère que des causes d'erreurs systématiques se superposent aux erreurs accidentelles, expérimentales. Il y a, en effet, un point insatisfaisant dans le principe général même. Un des grands mérites de FERET a été de montrer que l'eau *en excès* est assimilable aux vides. Mais le succès du « facteur ciment-eau » a poussé le principe jusqu'à des conséquences absurdes, en faisant écrire que l'eau est un poison pour le ciment. Or, il en faut tout de même et assez pour que le ciment s'hydrate.

Il est apparent que la connaissance du phénomène de durcissement des conglomerats hydrauliques exige que l'on puisse faire le départ entre l'eau nécessaire à l'hydratation et celle qui est superflue ou nuisible.

Tel est le problème que laissent subsister les travaux de R. FERET. Tenter de le résoudre est le dessein formé dès avant l'origine de mes laboratoires. Mais il était à peine nécessaire de visiter le laboratoire de Boulogne-sur-Mer pour se rendre compte de la préparation indispensable. Aussi n'est-ce pas avant 1936 que deux étudiants de dernière année, MM. JODIN et XHROUET, reçurent comme objet de leur travail de fin d'études les énoncés : « Introduction à l'étude systématique du béton — Essais sur pâtes pures » et « Introduction à l'étude systématique du béton — Essais sur mortiers ». Ces essais préliminaires furent très décevants et parurent prématurés. Ils furent repris en 1942, sous la rubrique « Etude des ciments », par les étudiants de dernière année également et comme travail de fin d'études. A Monsieur JEHAES échet le ciment Portland artificiel normal, à Monsieur SERVAIS le ciment de haut fourneau normal et à Monsieur LANTREMANGE le ciment sursulfaté.

Cette fois, la préparation était meilleure, grâce à la collaboration de M. R. JACQUEMIN, alors assistant. Ces travaux d'étudiants servaient d'ailleurs de prélude à ses propres travaux en vue de sa thèse de doctorat en sciences appliquées (9), qui fut couronnée par la Faculté en 1944 sous le titre de « Recherches sur l'hydratation des liants hydrauliques ».

Les circonstances ne permirent pas à M. R. JACQUEMIN de sortir du domaine des pâtes de ciment, cependant qu'elles lui donnaient tant d'occasions d'observations et de conclusions ingénieuses que son travail se résolut en une étude très fouillée de l'hydratation, sans aborder directement le problème de la relation entre celle-ci et le durcissement. Cependant il y préparait remarquablement le terrain. C'est pourquoi je n'hésitai pas à proposer en 1950 à mon assistante Mademoiselle M. DZULYNSKI d'aborder résolument ce côté final de la question, avec un équipement et des moyens plus perfectionnés, dus à la libéralité du Fonds National de la Recherche Scientifique. Le programme proposé comportait l'étude de pâtes pures, de mortiers et de bétons. Les difficultés et les délais expérimentaux n'ont pas encore rendu possible cette fois l'étude des bétons, mais celle des pâtes et mortiers a permis d'obtenir déjà un résultat à tel point satisfaisant qu'il paraît très probable qu'il sera confirmé pour les bétons. Cependant, il est bien certain qu'une telle conclusion doit être établie expérimentalement; cette vérification est dès à présent entreprise.

Le résultat du travail de Mademoiselle DZULYNSKI est, pour les pâtes et mortiers, condensé dans la formule

$$R' = R'_0 e^{a\gamma}$$

dans laquelle R' représente une résistance quelconque à la compression.

R'_0 et a sont des caractéristiques d'un ciment quelconque (R'_0 a les dimensions d'une tension et s'exprime dans les mêmes unités que R' , tandis que a est un coefficient sans dimension).

γ est la concentration des produits hydratés du ciment dans les vides du squelette, γ compris le ciment non hydraté.

$$\text{C'est-à-dire } \gamma = \frac{c_h}{c_h + e_1 + v} = \frac{c_h}{1 - (s + c_a)}$$

s , c_a , c_h , e_1 et v représentant les proportions en volume absolu dans l'unité de volume du conglomerat de l'agrégat inerte, du ciment anhydre, du ciment hydraté, de l'eau libre non fixée et des vides (air).

Cette formule signifie qu'à tout instant, la résistance à la compression d'un conglomérat hydraulique contenant un certain ciment est uniquement fonction de la concentration du ciment hydraté dans les vides du squelette, y compris le ciment non hydraté. C'est là une vraie loi de durcissement et Mademoiselle M. DZULYNSKI en a bien montré les conséquences, notamment en ce qui concerne la résistance initiale fictive et la résistance maximum limite. La forme exponentielle de la fonction échappe en effet dans ce cas à la critique mathématique courante de l'impossibilité d'une valeur tendant vers l'infini. Car la valeur de γ ne peut dépasser 1 et a généralement une limite pratique inférieure à 1.

La concentration des produits hydratés dans les vides du squelette total (y compris le ciment non hydraté identique à l'inerte) est le facteur déterminant du durcissement dans tous ses effets, non seulement mécaniques mais aussi physiques. Elle régit la résistance à la compression et par conséquent aussi la déformabilité en compression, tant pour les charges instantanées que répétées ou permanentes. Les anomalies concernant les effets mécaniques de la flexion (ou de la traction et du glissement) sont dus naturellement aux tensions intrinsèques de retrait et ouvrent le champ encore à de nombreuses investigations. Non seulement la compacité (ou la porosité) réelle du béton durci est conditionnée par γ , mais aussi le pouvoir absorbant, la capillarité, la perméabilité et les déformations thermo-hygrométriques.

Les variations du facteur K de FERET avec la granulométrie s'expliquent par les différences de concentration γ en rapport avec cette granulométrie et, en fonction du temps, par l'influence de la granulométrie sur les résistances passives au développement des réactions d'hydratation.

Le facteur γ explique également les phénomènes de la gélivité des bétons durcis et de l'effet du gel précoce sur le durcissement. Le gel précoce doit notamment produire une désorganisation des premières liaisons créées par les premières phases d'hydratation, assimilable à une éventation; ensuite empêcher leur développement, et ceci peut conduire à une suspension presque totale du

durcissement. Les corrosions du béton par tous les agents de dégradation doivent aussi être sous la dépendance du facteur γ et déterminées par l'attaque des produits hydratés, qu'une forte valeur de γ retarde ou rend même pratiquement impossible. C'est ce que suggère aussi à juste titre M. R. JACQUEMIN, dans une lettre reproduite en annexe à cette postface, pour expliquer la résistance des conglomerats hydrauliques aux eaux marines. Je crois d'ailleurs avoir montré que cette action marine est une combinaison d'actions chimiques, mécaniques et atmosphériques (10), toutes actions auxquelles le béton résiste d'une manière qui est sous la dépendance du facteur γ .

Je pense que le facteur γ est donc la véritable *caractéristique structurelle* des conglomerats hydrauliques.

Cette conclusion n'est pas incompatible avec ce que suggèrent les images obtenues au microscope électronique, bien que les conditions expérimentales dans lesquelles sont établies ces images soient très différentes de celles des conglomerats hydrauliques. Cela correspond d'ailleurs à sa signification physique, qui est réelle et objective. Ce caractère aussi le rend très supérieur au coefficient K de R. FERET, qui est conventionnel. Il est intéressant de signaler que R. FERET a d'ailleurs évoqué le facteur γ dans sa publication de 1897 (3), sous la forme

ac

$\frac{ac}{1 - [s + (1 - a) c]}$, en appelant a « la fraction de matière réellement attaquée », c'est-à-dire la proportion de ciment hydratée ($ac = c_h$). Mais il ne considère ce rapport que pour se

proposer de déterminer a à partir de $\frac{c}{e + v}$ et de $\frac{c}{\sqrt{R'}}$, para-

mètres entre lesquels il esquisse une relation linéaire. R. FERET considérait en somme la voie inverse de celle qui a été suivie à Liège, déduire l'importance de l'hydratation de la résistance. Mais il énonce seulement quelques considérations spéculatives sur cette voie, dont il constate l'imprécision et qui ne pouvait guère aboutir. Néanmoins, même si c'est par voie inverse,

R. FERET a vraisemblablement eu la conception du problème et en ce sens encore, les résultats obtenus à Liège peuvent être considérés comme la continuation de ses travaux. Cette continuation paraît devoir être féconde. Le facteur γ ouvre certes des possibilités de recherches plus grandes et plus assurées que le facteur « ciment-eau » et cependant, à quelle littérature celui-ci n'a-t-il pas donné l'essor depuis trente ans.

Peut-être les praticiens seront-ils tentés de reprocher à la formule

$$R' = R'_0 e^{a\gamma}$$

de s'appliquer au béton durci, non au béton frais, et de ne pas permettre la prédétermination des résistances.

Ce reproche ne serait pas fondé. La prédétermination des résistances des conglomerats hydrauliques est conjecturale; elle ne peut être fondée que sur la statistique. Celle-ci a permis d'établir des valeurs moyennes de K pour des ciments, des conditions de durcissement et des âges définis, avec une approximation assez lâche. L'application de tels résultats statistiques à la formule nouvelle permettra de donner, probablement avec une meilleure approximation, des valeurs moyennes de γ pour les mêmes circonstances. On a d'ailleurs déjà des notions assez satisfaisantes sur la quantité d'eau fixée. Quant aux paramètres R'_0 et a , ils ont sur le facteur K de FERET l'avantage d'être absolus et de se prêter à une détermination expérimentale précise pour tous les ciments étudiés. Ils sont de véritables indices d'activité d'un ciment, principalement a . C'est pour cette raison que je propose l'utilisation de ce symbole, qui suggère « activité » et aussi « absolu », au lieu du symbole k utilisé par Mademoiselle DZULYNSKI. A la rigueur, en attendant des statistiques suffisantes des valeurs de γ , on pourrait se servir des valeurs moyennes de K pour en déduire des valeurs moyennes de γ , pour autant que des valeurs moyennes de R'_0 et de a aient été établies également. Mon opinion est qu'il serait préférable d'opérer par la voie statistique directe.

Ceci m'amène à dissenter quelque peu sur les conséquences possibles de la formule de Mademoiselle DZULYNSKI sur les

essais mécaniques de qualité des ciments. Les spécialistes seuls connaissent complètement le caractère insatisfaisant et préoccupant de cette question. Aucune des méthodes actuellement employées ne donne satisfaction, en dépit des précautions de normalisation et des efforts incessants et toujours vains d'amélioration. La cause en réside dans l'incorrection de principe des méthodes, entachées des mêmes erreurs systématiques que la formule de R. FERET.

A l'origine, les laboratoires ont, par une intuition exacte, effectué des essais mécaniques en pâte pure, mais sans être à même d'en déduire des facteurs caractéristiques d'activité. On a reproché à la méthode d'être peu en rapport avec les résistances des mortiers et bétons. On a alors effectué les essais sur des mortiers normalisés, mais le résultat n'a pas été plus satisfaisant. La normalisation des éprouvettes, des sables, des dosages, du gâchage, du moulage et du compactage, de la conservation et des essais mécaniques a été poussée à un point extraordinaire, qui a permis de réduire au minimum les écarts dans les limites de la dispersion normale de la formule de R. FERET. Cependant, ces écarts sont encore trop considérables, parce que en partie systématiques. Le désir toujours plus accentué d'obtenir lors des essais des résistances voisines de celles des bétons usuels a conduit à l'emploi des mortiers normaux plastiques. On a même proposé des bétons normaux. On a cru améliorer les résultats en les exprimant par le facteur K de R. FERET, mais c'est illusoire. La dispersion n'est pas diminuée et l'utilisation du facteur K pour la prédétermination des résistances des bétons est entachée des défauts connus. On voit resurgir périodiquement la tendance à caractériser l'activité des ciments par K, [comme en Suisse en 1925 - (4)], mais elle semble ne jamais aboutir.

Les diagrammes du mémoire de Mademoiselle M. DZULYNSKI montrent que les écarts des points expérimentaux par rapport à sa formule sont sensiblement moindres que par rapport à la formule de R. FERET. Sans doute est-ce dû à ce qu'ils proviennent seulement d'erreurs accidentelles et non systématiques. Les paramètres R'_0 et a permettent d'établir des facteurs d'activité

absolus, qui ne peuvent être entachés d'aucune cause d'erreur systématique par les manipulations. Dès lors, celles-ci peuvent être les plus simples et permettent le retour en faveur des essais sur pâtes pures, les plus caractéristiques. La simplification extrême des essais mécaniques serait compensée par la nécessité de la détermination de γ sur les pâtes, ce qui est susceptible d'une organisation très simple et d'une bonne précision. La connaissance de R'_0 et de a permet ensuite la prédétermination des résistances de mortiers ou de bétons définis quelconques, moyennant une étude statistique préalable. J'ignore ce qu'il en adviendra, mais c'est là sans conteste le principe d'une méthode absolue d'essai des ciments qui échappe à tous les reproches des prescriptions actuelles. Sa normalisation me paraît devoir être facilement possible.

Je tiens à répéter que l'application de la formule $R' = R'_0 e^{a\gamma}$ aux bétons comme aux pâtes et mortiers est en cours de vérification. On serait surpris qu'elle soit en défaut. En toute hypothèse, la contribution de Mademoiselle DZULYNSKI au problème est remarquable et considérable. Elle est scientifique à souhait, car ses conclusions importantes sont uniquement le résultat de mesures effectuées à l'aide d'un instrument bien connu, simple et très précis : la balance.

Pour finir, qu'il me soit permis, dans ce Bulletin d'un Centre d'études universitaire, d'accompagner ce résultat de quelques commentaires plus généraux, propres à promouvoir les études universitaires et le progrès scientifique en général.

Tous les efforts faits depuis près d'un quart de siècle pour obtenir le résultat presque atteint aujourd'hui n'ont jamais été entièrement interrompus, même s'ils ont parfois été en veilleuse. Le dessein n'a jamais été abandonné. En dehors des périodes d'activité, on y réfléchissait et on préparait. Mais on ne s'est jamais fixé un délai; il importait seulement d'espérer aboutir un jour. Je ne sais si on peut appeler cela de la recherche dirigée. Cependant, elle n'a jamais été livrée au hasard et le dessein peut être jugé d'autant plus ferme qu'il a exigé une plus longue patience. La direction de la recherche exige-t-elle de travailler

contre la montre ou est-elle dans une volonté jamais rebutée ? A propos des essais sur le retrait des soudures, interminables eux aussi, j'ai déjà cité ce vers médiocre « Le temps n'épargne pas ce qu'on a fait sans lui » (Fayolle). Il me semble que la vérité est qu'il faut se hâter lentement, mais que la poursuite de la productivité scientifique à tout prix est stérile et, en fait, non pas dirigée mais aveugle.

Il n'y a eu aucune intention arrêtée d'être lent dans la recherche; il y a eu beaucoup de difficultés à surmonter. Mais si les travaux ont souvent été longs, c'est apparemment que leurs sujets étaient difficiles et fondamentaux et qu'il importait d'y réfléchir assez. Le travail a d'ailleurs été, comme l'écrit M. R. JACQUEMIN, un travail d'équipe. Ou plus exactement un travail d'école, car, dans le cours du temps, mes collaborateurs et mes étudiants ont changé, mais plusieurs y ont apporté leur contribution.

Dans son mémoire, Mademoiselle M. DZULYNSKI rappelle brièvement, mais à juste titre, l'importance de l'industrie cimentière en Belgique. Elle n'est pas moindre dans le monde entier. Elle est puissante et elle doit dépenser annuellement des sommes importantes pour la recherche scientifique. Or, toutes les dépenses effectuées depuis vingt-six ans pour les études décrites plus haut et qui ont conduit au résultat de Mademoiselle M. DZULYNSKI n'ont probablement pas dépassé 150.000 francs. La partie la plus importante a été la subvention de 100.000 francs du Fonds National de la Recherche Scientifique. Il est intéressant de remarquer que ces travaux, comme ceux de R. FERET, ont été effectués dans un laboratoire entièrement indépendant et sans subside industriel.

Cette remarque me paraît très importante et utile à une époque où il semble que l'on veuille improviser en Belgique à grands frais une quantité de laboratoires et de centres d'études industriels. Sans doutes doit-on s'en réjouir pour le principe, mais on doit s'en inquiéter pour l'application, notamment à cause de la dispersion et de la spécialisation des contributions à la recherche. S'il devait en résulter un dommage réel aux labo-

ratoires indépendants, ce serait certes un grand préjudice pour le pays et pour la science. Si les laboratoires indépendants n'existaient pas, il faudrait se hâter de les créer. Souhaitons qu'ils soient respectés et même encouragés, soutenus.

Les faibles moyens mis en œuvre pour obtenir un résultat que l'on peut croire considérable en soi me donnent aussi l'occasion de revenir sur une de mes remarques préférées. S'il est certain que l'argent peut favoriser la recherche scientifique, il ne peut s'en croire le maître, il doit en rester le serviteur. Il n'y a qu'un seul maître, c'est l'esprit. Sur ce plan là aussi, je pense que les travaux de Liège sont restés dans la ligne de ceux de R. FERET, qui n'a jamais disposé que de moyens modestes, aussi modestes que sa personne. Puissent les développements en être grands et durables.

Déjà on peut en indiquer le suivant.

Les essais de flexion sur prismes de pâtes pures et de mortier effectués par Mademoiselle M. DZULYNSKI, d'après la méthode conventionnelle, n'ont pas donné de résultats utilisables. Cela est dû à l'imperfection des essais de flexion. Le laboratoire de l'Institut brésilien de Technologie a depuis 1937 proposé et pratiqué une mesure de la résistance à la traction des conglomérats hydrauliques par compression diamétrale d'un cylindre. La rupture se fait suivant le plan diamétral de compression par traction perpendiculaire à ce plan. Si P est la charge de rupture, D le diamètre du cylindre, L sa longueur, la résistance à la traction résulte de la formule

$$R = \frac{2}{\pi} \frac{P}{DL}.$$

Cette méthode semble donner des résultats plus réguliers que celle qui a recours à la flexion. C'est du moins ce qui ressort d'une publication de MM. F. L. LOBO B. CARNEIRO et A. BARCELLOS (11) publiée dans le Bulletin n° 13 de mars 1953 de la Réunion des Laboratoires d'essais et de recherches (RILEM), après le dépôt de la thèse de Mademoiselle DZULYN-

SKI. Ces auteurs établissent notamment, d'après leurs expériences, la formule

$$R = 0,339 R'^{0,735}$$

ou $\log R = c + k \log R'$.

Comme $\log R' = b + a\gamma$

on voit que $\log R = (c + kb) + k a\gamma = b' + a'\gamma$
d'où $R' = R'_0 e^{a\gamma}$ et $R = R_0 e^{a'\gamma}$.

Les deux lois de la résistance à la compression et de la résistance à la traction des conglomérats hydrauliques seraient donc analogues. Cette remarquable combinaison de résultats, établis dans deux pays éloignés, d'une manière entièrement indépendante, demande certes à être confirmée, mais elle semble d'ores et déjà étayée par des expériences soignées, variées et assez nombreuses et, à tout prendre, très plausible.

Annexes.

- 1) Extraits d'une lettre du 22 février 1953 de M. R. JACQUEMIN, professeur ordinaire à la Faculté polytechnique de Mons.
- 2) Rapport de M. R. JACQUEMIN sur le mémoire de Mademoiselle DZULYNSKI.

BIBLIOGRAPHIE.

- (1) F. CAMPUS : Hommage à M. FERET et considérations sur la granulométrie — (Mémoires de la Société des Ingénieurs civils de France. Fasc. n^{os} 1 à 4, janvier-avril 1946).
 - (2) R. FERET : Sur la compacité des mortiers hydrauliques (Annales des Ponts et Chaussées, juillet 1892).
 - (3) R. FERET : Etude spéciale des matériaux d'agrégation des maçonneries. (Durand-Claye et Derôme — Chimie appliquée à l'art de l'ingénieur, Paris, 1897).
 - (4) M. ROS : La résistance des mortiers et bétons. (Rapport n^o 7 du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux annexé à l'Ecole polytechnique de Zurich, décembre 1925).
R. FERET : L'essai des liants hydrauliques en prismes de mortier plastique. (Rapport n^o 16 du Laboratoire fédéral d'essais des matériaux, Zurich, décembre 1926).
 - (5) F. CAMPUS : La composition des bétons de route (2^e Congrès belge la route, Anvers 1933).
F. CAMPUS : Réalisation de bétons compacts par vibration (3^e Congrès de l'Association internationale des Ponts et Charpentes, Liège, 1948 — Publication finale, 1950).
F. CAMPUS : La composition des bétons (Revue Universelle des Mines, février 1951).
 - (6) J. BOLOMEY : Granulation continue ou discontinue des bétons (Bulletin technique de la Suisse romande, n^o 11, 22 mai 1948).
 - (7) A. CAQUOT : Un savant expérimentateur, René FERET (Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France — Fasc. n^{os} 11, 12 et 13, 1946).
 - (8) F. CAMPUS : Recherches récentes sur la composition des bétons pour revêtements de routes (Via, n^o 12, Paris, mars 1951).
 - (9) R. JACQUEMIN : Recherches sur l'hydratation des liants hydrauliques — Thèse de doctorat en sciences appliquées présentée à l'Université de Liège en 1944 (Bulletin du C.E.R.E.S. Tome II, Liège, 1947).
 - (10) F. CAMPUS : Essais sur la résistance des mortiers et bétons à l'eau de mer — Synthèse des résultats de 1934 à 1945 (Annales des Travaux Publics de Belgique, août 1947).
 - (11) F. L. LOBO B. CARNEIRO et A. BARCELLOS : La résistance à la traction du béton. (Bulletin de la Réunion des Laboratoires d'essais et de recherches sur les matériaux et les constructions — RILEM, n^o 13, mars 1953).
-