

# LA HOUILLE BLANCHE

Revue Mensuelle des Forces Hydro-Electriques  
et de leurs Applications

13<sup>e</sup> Année. — Juin 1914. — N<sup>o</sup> 6.

La houille noire a fait l'industrie moderne ;  
la houille blanche la transformera.

## ESSAI DES MATÉRIAUX

par M. Paul CRISTOPHE

VI<sup>e</sup> Congrès de l'Association Internationale pour l'essai  
des Matériaux.

(Suite)

*Unification des notations.* — Dès la première réunion de la commission, il a été proposé de se mettre d'accord sur les notations algébriques à employer dans les formules de calcul du béton armé. On sait combien est malaisée la lecture des calculs de stabilité lorsque les notations employées par l'auteur diffèrent de celles dont on a l'habitude. Cette difficulté, déjà sensible dans le calcul des ouvrages métalliques, devient une véritable sujétion dans la théorie du béton armé, à raison du nombre plus grand d'éléments qui interviennent dans les formules. Comme les lettres employées sont souvent l'initiale du mot qu'elles représentent, elles diffèrent dans les ouvrages écrits en diverses langues. Un accord international est donc désirable. Il peut paraître étrange de voir l'initiative de cette réforme échoir à un congrès d'expérimentateurs, mais si cette unification est utile à la théorie elle l'est tout autant à l'expérience pour l'indication de tous les éléments qui définissent les essais. Une théorie rationnelle doit avoir pour base l'étude expérimentale. Tout ce qui est utile à l'une intéresse donc l'autre.

Une sous-commission, présidée par M. Melan, professeur à l'École polytechnique de Prague, a été chargée de préparer une entente. Celle-ci a été assez rapidement établie sur la méthode préconisée par Culmann il y a plus de quarante ans, savoir :

1<sup>o</sup> Petits caractères latins pour les longueurs et charges par unités de longueur ou de surface ;

2<sup>o</sup> Grands caractères latins pour les surfaces, les forces, les moments d'inertie, les coefficients d'élasticité, les charges, moments et efforts tranchants ;

3<sup>o</sup> Petits caractères grecs pour les coefficients de travail ou efforts intérieurs par unité de surface.

Le même accord n'a pu être obtenu dans le choix des diverses notations. Cependant, à la réserve du délégué anglais, la sous-commission a admis une liste très complète qui a été ratifiée par la commission, sauf pour les publications en langue anglaise, en vue desquelles les membres anglais et américains ont été invités à revoir leurs propositions de manière à se rapprocher le plus possible de celles de la sous-commission. La reproduction intégrale de la liste adoptée par la commission nous entraînerait trop loin. Elle figure dans le rapport présenté par M. Schüle au Congrès de New-York.

Il est à souhaiter que les spécialistes du béton armé n'emploient plus d'autres notations.

*Etude expérimentale.* — Les rapports groupés par la commission et présentés aux Congrès de Copenhague et de New-

York offrent un résumé succinct des recherches entreprises sur le béton armé dans divers pays (Allemagne, Autriche, Danemark, Etats-Unis, Italie, Pays-Bas et Suisse). Elles concernent, d'une part, l'étude des phénomènes produits par les forces extérieures sur des solides fléchis, comprimés ou cisailés, d'autre part, celle des propriétés physiques du béton armé sous l'influence de la température, de l'humidité, etc., et celle de l'influence des agents extérieurs tels que les acides, les huiles, les courants électriques, etc. Le fait le plus saillant consiste dans l'œuvre magistrale de la commission allemande du béton armé (Deutscher Beton-Ausschuss).

Rappelons que cette institution, issue de la collaboration des divers Etats et des grandes associations de l'Allemagne et pourvue de crédits très importants, a établi en 1906 un vaste programme de recherches expérimentales dont elle poursuit dans les laboratoires officiels la réalisation systématique. Ce programme comporte : 1<sup>o</sup> l'étude expérimentale du béton ; 2<sup>o</sup> l'observation de l'oxydation du fer dans le mortier et la maçonnerie ; 3<sup>o</sup> l'étude expérimentale du béton armé comprenant, d'une part, I — des essais généraux sur : a) l'adhérence du béton au métal ; b) la faculté d'allongement du béton armé ; c) la résistance aux efforts tranchants ; d) l'influence des joints d'armature ; II — des essais spéciaux sur a) des poutres et dalles ; b) des dalles nervurées ; c) des colonnes ; d) la résistance au feu et aux courants électriques.

La Commission publie les résultats complets de ses expériences. Ces rapports constituent une source précieuse de renseignements. Mentionnons, notamment, les travaux remarquables de M. Gary sur la résistance du béton et l'oxydation du fer, de M. Rudeloff sur les colonnes en béton armé et les variations de volume du béton, de MM. Bach et Graf sur le taux de travail du béton et les efforts de glissement dans les poutres, l'influence des crochets, des étriers, etc., qui ont fait avancer l'étude du béton armé.

A côté de cette œuvre monumentale, les recherches entreprises par l'Union autrichienne des ingénieurs et architectes occupent également un rang très honorable (1). Exécutées en vue des besoins de la pratique, ces expériences se font dans des conditions se rapprochant autant que possible de celles des applications usuelles du béton armé.

Une œuvre aussi touffue que celle des expérimentateurs modernes demande à être résumée. La commission allemande a entrepris elle-même la coordination de ses études dans des rapports spéciaux. Mais des publications récentes ont déjà réalisé un groupement plus général encore. L'encyclopédie du béton armé (*Handbuch für Eisenbetonbau*), publiée par F. von Emperger, contient dans le premier volume de la deuxième édition (2) deux exposés très complets dus à MM. R. von Thullie et O. Graf des essais exécutés sur les colonnes et sur les poudres en béton armé.

*Méthodes de contrôle.* — Les propriétés du béton de ci-

(1) Voy. *Annales des Travaux publics* tomes XVII, p. 1083, et XVIII, p. 434.

(2) Voy. *Annales des Travaux publics*, tome XVII, p. 1082.

ment sont essentiellement variables et influent sur celles du béton armé. Aussi est-il indispensable, dans les travaux de ce genre, de contrôler la qualité des matériaux employés.

Les méthodes d'essai du *ciment* n'ont rien de spécial pour ce cas particulier, si ce n'est qu'il y a lieu d'accorder une importance très grande à l'essai d'invariabilité de volume (voir § II du présent rapport). Il convient également, si c'est possible, d'essayer le mortier de ciment avec la consistance qui lui est donnée en pratique.

La vérification de la qualité du *sable* ou du *gravier* est essentielle. Ces matériaux, dont les caractères varient beaucoup, sont trop souvent choisis au gré des circonstances locales et peuvent, par leur impureté ou leur trop grande finesse, compromettre la résistance de la construction. Les essais doivent définir l'origine et les caractères pétrographiques, le poids spécifique, la composition granulométrique établie par tamisage à travers des tamis à trous ronds, et le volume des vides à l'état sec pour les matériaux séparés et les matériaux mélangés dans la proportion requise. Ces essais sont malheureusement trop peu usités et demanderaient à être précisés. Il faudrait aussi se mettre d'accord sur une définition de la limite qui sépare le sable (ou poussier) du gravier (ou pierraille). On pourrait, par exemple, fixer le diamètre (de 5 à 8 mm.) des trous du tamis limite.

L'essai du *béton* lui-même a l'avantage de contrôler simultanément la qualité des divers matériaux employés à sa confection et leur mode de mise en œuvre, ce qui est essentiel, car le damage, la quantité d'eau, etc., ont une influence sur la résistance. Cet essai a généralement pour but le contrôle de la résistance à la compression. L'éprouvette la plus souvent employée est un cube de béton réalisé et conservé dans des conditions aussi semblables que possible à celles de la construction. Les dimensions de ces cubes varient, selon les pays, de 12 à 30 centimètres de côté. Il est désirable que cette dimension soit égale à l'épaisseur de la construction à édifier.

On contrôle aussi la résistance du béton à l'aide de prismes essayés à la rupture par flexion et dont les morceaux sont ensuite écrasés par compression. Leur dimension peut être, en largeur et en hauteur, la même que pour les cubes. Leur longueur doit être triple.

Il va de soi que ces essais ne peuvent jamais porter sur une seule éprouvette mais qu'il faut opérer par séries de trois ou quatre.

Un élément important du contrôle est la détermination de la densité apparente du béton, car tous les facteurs qui diminuent la résistance du béton, sauf la qualité du ciment, réduisent sa densité apparente. Il suffit, pour mesurer celle-ci, d'opérer sur un morceau de forme quelconque avec une balance hydrostatique après avoir appliqué sur l'échantillon un mince enduit imperméable. Ce contrôle peut se faire, d'une part, sur éprouvettes, d'autre part, sur des morceaux prélevés dans la construction même, ce qui fournit une vérification très utile.

M. von Emperger a proposé de déterminer la résistance du béton en opérant sur des poutres en béton armé. Ce procédé est mis depuis quelque temps en pratique en Allemagne, en Autriche et au Danemark (1). Il consiste à préparer, avec le béton employé dans la construction, des poutres armées présentant des dimensions uniformes et un pourcentage déterminé et à les rompre par flexion, l'armature étant d'ailleurs telle que la rupture résulte uniquement

de l'écrasement du béton. Cette méthode présente comme avantages de pouvoir, grâce à la simplicité des opérations, être pratiquée sur le chantier même et de donner une image aussi fidèle que possible de la façon dont le béton se comportera dans la construction projetée.

On peut même aller plus loin encore dans cette voie en confectionnant, en même temps que l'on construit l'édifice, une pièce témoin semblable à celles du bâtiment (poutre, colonne, etc.), puis en l'éprouvant isolément avant de procéder au décoffrage ou au chargement de la construction.

Les méthodes de contrôle de la qualité du béton et du béton armé sont de la plus haute importance pour le développement de ce genre de constructions. Elles relèvent directement de la compétence de l'Association. Aussi ont-elles attiré l'attention toute spéciale du Congrès de New-York qui, par un vote unanime, a chargé la commission de présenter un rapport au prochain Congrès sur cette question d'intérêt capital.

*Expériences sur les constructions terminées.* — Au Congrès de Copenhague, M. Rabut, inspecteur général des Ponts et Chaussées à Paris, avait présenté un rapport sur la mesure des déformations sur les constructions en service. Cet éminent technicien, dont on connaît l'importante contribution à l'étude expérimentale des ponts métalliques, avait fait ressortir l'utilité de la vérification directe. Dans les expériences de laboratoire les éprouvettes ont des formes simples et leur sollicitation est parfaitement définie. Au contraire, dans les constructions existantes, les formes des diverses parties sont complexes et leur solidarité crée de grandes incertitudes dans la répartition des charges. Indépendamment des essais de laboratoire qui renseignent sur l'intensité des forces intérieures, il est donc utile d'étudier les constructions terminées, afin de voir en quoi leur sollicitation diffère de celle que l'on admet en théorie. Leur examen est d'ailleurs utile pour reconnaître l'action du temps sur le béton armé.

Dans de telles études, il ne peut plus être question d'essais à outrance, mais d'expériences de chargement poussées jusqu'à la limite admise dans les calculs, ou dépassant celle-ci de 50 pour 100 au maximum. Dans les épreuves de réception on ne réalise malheureusement pas toujours, faute de temps ou d'argent, des conditions bien sérieuses. Pour être complètes, elles doivent porter sur l'étendue entière des parties solidaires, de façon que celle qui est chargée ne se trouve pas soutenue par celles qui ne le sont pas, à moins qu'il y ait utilité à provoquer des torsions ou autres actions secondaires en vue d'augmenter la flèche maximale. Il faut observer les inflexions en un grand nombre de points de la construction. Il convient également de se rendre compte de l'influence de la vitesse des charges ou des chocs. La mesure des flèches serait utilement complétée par celle des allongements et raccourcissements du béton et du fer.

L'observation des constructions existant depuis quelques années est également très utile pour vérifier l'augmentation de dureté du béton avec l'âge, la résistance du béton armé aux températures élevées, à l'action de vapeurs acides ou de courants électriques, l'influence des encastresments ou de la fixité des appuis, celle des dilatations ou du retrait, etc. Elle comprend non seulement l'étude des fissures, mais également la répétition des épreuves à certains intervalles.

Il va de soi que l'Association ne peut intervenir ici que pour signaler l'intérêt de ces expériences et observations. C'est principalement aux administrations publiques qu'incombe le devoir de les mettre en pratique.

*Accidents.* — A côté de cette étude de détail et qui néces-

(1) Voy. *Annales des Travaux publics*, t. XVI, p. 547 et t. XVII, p. 858.

site de la part des ingénieurs un effort permanent, il existe un autre genre de phénomènes qui s'imposent d'eux-mêmes à l'attention par leur brutalité. Il s'agit des accidents.

Chaque accident de construction comporte un enseignement. Pourquoi ne pas en tirer parti ? L'idée est belle et a été développée avec talent et énergie par M. von Emperger, auquel on doit tant d'initiatives intéressantes.

Présentée à la Commission du béton armé, dès le début de ses travaux, elle a fait l'objet de rapports au Congrès de Copenhague et de New-York.

L'intervention d'un organisme international est, en effet, indispensable pour réunir des observations en quantité suffisante pour en tirer des conclusions générales. Il n'est rien de plus difficile, en effet, que d'obtenir des renseignements exacts sur un accident. Les coupables font tout pour cacher la vérité et les victimes sont souvent incompétentes. Quant aux experts, le secret professionnel ne leur permet pas de tout divulguer. A côté des accidents importants, dont la presse se fait l'écho plus ou moins fidèle, il y a des accidents courants dont on ne parle pas et à tort car ce sont eux qui forment les vrais constructeurs. De quel intérêt serait cependant une statistique sincère et détaillée de tous les accidents du béton armé, qu'il s'agisse de causes inévitables (tremblements de terre, inondations, foudre, incendie, explosions, etc.) ou de causes évitables (défaut du coffrage, faiblesse des supports, erreurs de calcul, défectuosité du béton, destruction du fer, etc.).

Mais il ne faut pas s'attendre à des résultats sérieux sans l'intervention des pouvoirs publics. Ce sont les administrations qui doivent organiser un *contrôle* suffisant pour permettre de dresser une statistique *officielle* et, par là même, impartiale de toutes les circonstances des accidents. A ce propos, il est surprenant de constater que dans certains pays, la police des constructions est réellement inexistante alors qu'elle est parfaitement organisée pour d'autres objets techniques, tels que les chaudières à vapeur, les mines, etc. Pourvu qu'ils observent l'alignement, le propriétaire et l'architecte sont libres, si la cupidité ou l'ignorance les y poussent, d'édifier un château de cartes. La répression ne les attend que s'il y a dommage à des personnes ou à des propriétés.

Les efforts faits dans cet ordre d'idées ont été couronnés d'un plein succès dans deux pays qui, d'ailleurs, depuis longtemps, disposent d'une police des constructions. Une circulaire du Ministre des Travaux publics de Prusse en date du 18 septembre 1911 a fixé la procédure à suivre pour tous les accidents aux constructions, même ceux n'ayant entraîné aucun accident de personnes et a adressé une liste d'experts chargés de l'appréciation compétente des faits. Une ordonnance analogue, mais plus générale, avait été promulguée le 8 mai 1911 par le Ministère des Travaux publics d'Autriche.

La question est donc résolue dans ces deux pays. Pour les autres il n'est pas à conseiller de produire des rapports privés dont les sources d'information ne sont pas sûres et peuvent donner lieu à réclamations. On ne peut donc qu'émettre le vœu de voir les nations latines suivre l'exemple des nations germaniques. Ce n'est certes pas que leur esprit d'indépendance puisse s'y opposer, puisque, comme nous le disons plus haut, une telle organisation existe déjà partout dans des industries anciennes et que probablement le développement rapide de celle du bâtiment est seul cause de l'inexistence d'une organisation semblable pour elle.

Le Congrès de New-York (VI<sup>e</sup> Congrès) a donc voté la conclusion suivante :

« Dans l'intérêt de la prévention d'accidents et en vue de développer la connaissance des propriétés des matériaux convenables dans ce but, il paraît indiqué que, dans chaque pays, la statistique des accidents de constructions soit organisée comme c'est déjà le cas pour les chaudières à vapeur.

« Le Congrès exprime le vœu que la Commission du béton armé travaille à l'organisation d'une telle statistique internationale et présente au prochain Congrès les rapports, groupés par pays, sur les accidents, avec les conclusions à en tirer pour la prévention d'accidents. »

Ensuite de ce vote, le Comité directeur de l'Association internationale a institué une sous-commission présidée par M. von Emperger pour l'étude de la question des accidents de béton armé.

## LA CORRECTION DES TORRENTS (1)

— ( SUITE ) —

Dès qu'ils seront stabilisés au moyen de travaux appropriés, les terrains crévassés, ébranlés, qui glissaient, seront plantés. Au fur et à mesure que se développera la végétation ligneuse, le régime du cours d'eau se régularisera et les berges des régions inférieures étant moins menacées, la construction de barrages y sera plus facile et moins onéreuse.

L'érosion régressive est assez lente, c'est une usure du lit ; l'érosion torrentielle est soudaine, brutale, puissante : celle-ci agit comme une gouge sur le bois, l'autre, comme du papier de verre. Contre laquelle faut-il lutter d'abord ? La réponse ne saurait être douteuse ; il faut aller au plus pressé, mais de là à conclure qu'il faille négliger l'érosion régressive, il y a un abîme.

Est-ce à dire encore qu'on ne doit jamais commencer une correction par le bas ? Ce serait aussi exagéré que de vouloir l'imposer dans tous les cas. Chaque torrent a ses caractères spécifiques de climat, de sol, de pente, d'exposition, d'altitude, de dénudation. Les travaux à exécuter doivent être décidés en tenant compte de tous ces éléments. Ici encore, il faut redouter les conceptions purement théoriques dans la recherche de la solution : c'est l'observation directe des faits qui doit servir de guide et voici les conclusions auxquelles était arrivé Demontzey (2).

« Quant à la marche à suivre dans les travaux, l'expérience a démontré :

« 1° Qu'il importe, avant tout, de corriger tous les ravins supérieurs tributaires d'un torrent donné ;

« 2° Que, dans le lit principal, on doit procéder de l'amont vers l'aval, en ce qui concerne les différentes sections.

« 3° Qu'au contraire, dans les combes, les travaux de l'amont devant s'appuyer sur ceux d'aval, il y a lieu de procéder généralement du bas vers le haut, à l'exception des combes sèches où l'on doit exclusivement reprendre les travaux par le haut ;

« 4° Que dans le cas de glissement sur les versants du torrent, chaque section doit être traitée comme une combe ;

« 5° Que dans chaque section, les travaux secondaires seront toujours menés de l'aval vers l'amont entre deux barrages consécutifs. »

(1) Par M. P. MOUGEN : Rapport au Congrès international forestier.

(2) L'extinction des torrents en France par le reboisement (Paris, Imprimerie Nationale 1894, p. 87.