

# Tendances actuelles dans les grands ouvrages en béton armé

Autor(en): **Parvopassu, C.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH  
Kongressbericht**

Band (Jahr): **2 (1936)**

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-2962>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## IVb 6

# Tendances actuelles dans les grands ouvrages en béton armé.

Neuere Gesichtspunkte für den Bau großer Eisenbeton-Bauwerke.

Present-day Tendencies in Large-sized Reinforced  
Concrete Constructions.

Dr. Ing. C. Parvopassu,

Professeur à l'Ecole Royale d'Ingénieurs de Padoue.

### *Introduction.*

Le sujet sur lequel j'ai eu l'honneur d'être chargé de rapporter devant les éminents spécialistes qui participent à cette réunion est quelque peu ardu; son exposition exige en effet la synthèse de l'un des domaines les plus riches et les plus osés de la technique moderne de la construction.

Pour mener cette tâche à bien, il est nécessaire de connaître d'une manière profonde et complète les particularités d'une des branches les plus délicates et les plus évoluées de la technique de la construction. Je m'efforcerai donc, en faisant appel à toute l'expérience que j'ai acquise, au cours de plus de trente années de travail consacrées avec une ferveur passionnée à l'enseignement théorique et pratique et passées aussi sur les chantiers, d'exposer tous les progrès théoriques et pratiques réalisés dans le domaine de la construction des grands ouvrages en béton non armé et en béton armé.

### *Evolution, valeur et possibilités du béton armé.*

L'emploi du béton armé dans la construction des ouvrages de quelque importance remonte à moins d'une cinquantaine d'années; en fait, il date du moment où ce matériau a pu triompher des critiques et des craintes qu'inspire toute nouveauté, même dans les milieux les plus réellement compétents. Il a fallu pour cela les progrès réalisés dans la production des ciments naturels et artificiels à prise lente, dans la connaissance de la manière dont se comportent ces éléments dans les mélanges, dans les caractéristiques physiques qui permettent une heureuse collaboration entre le béton et le métal, assurant ainsi la résistance aux efforts complexes qui se trouvent mis en jeu dans les ouvrages soumis à la flexion, au cisaillement et à la torsion, sans compter les efforts normaux centrés de compression et de traction simples.

Une hardiesse extrême conduisit, dans les débuts, à la construction d'ouvrages qui ne répondaient pas aux exigences de sécurité que les réglementations opposent actuellement si judicieusement aux considérations de rapidité d'exécution et d'économie financière; malgré cette apparence, de remarquables progrès furent

rapidement réalisés dans le monde entier, ainsi qu'en témoigne l'importance des ouvrages édifiés et principalement des ponts et des viaducs routiers.

En Italie, dès les premières années de ce siècle, on put remarquer de remarquables manifestations des nouvelles méthodes de construction, ouvrages de moyenne et de grande importance, que l'on peut à vrai dire considérer comme constituant des réalisations d'avant-garde étant donné les caractéristiques qu'ils présentent; aujourd'hui, la remarquable phalange des techniciens italiens est capable de réaliser, au prix d'un labeur tenace, des oeuvres encore plus admirables par leur hardiesse, mettant en cela à profit la supériorité qu'offrent les qualités des matières premières nationales, ciments à moyenne et à haute résistance, qui sont utilisés concurremment avec les meilleurs agrégats et avec les fers qui constituent les armatures du béton.

La structure du ciment armé, ou mieux du béton de ciment armé, en fait actuellement le matériau le mieux indiqué pour la réalisation d'ouvrages présentant des caractéristiques excellentes de robustesse, d'élégance, d'esthétique, dans les meilleures conditions de rapidité et de facilité de manutention.

On sait que la résistance et la durée effective des ouvrages en mortier de ciment sont fonctions des conditions dans lesquelles on prépare les mélanges; en matière de béton armé, la disposition adoptée pour les armatures métalliques et la bonne conservation de leur position pendant le bétonnage viennent également exercer une influence capitale sur la résistance et la durée des ouvrages; or les considérations qui précèdent n'ont précisément pas moins d'importance que les remarques particulières qui concernent, dans le même ordre d'idées, les constructions métalliques et qui portent sur la qualité des aciers spéciaux utilisés pour la fabrication des laminés, des profilés, rivets, boulons, câbles de suspension, organes de support, et sur l'exécution des rivures et des soudures.

L'expérience, la conscience professionnelle et honnêteté des constructeurs constituent des conditions fondamentales; elles doivent inciter au choix d'éléments adjoints ayant les capacités scientifiques, techniques et pratiques voulues pour assurer la conception et la direction des travaux, quelle que soit l'importance effective des ouvrages à réaliser; de même, on s'entourera pour l'exécution, de spécialistes qualifiés, chez lesquels domineront l'amour du travail bien fait et un esprit de corps élevé; on veillera bien entendu à assurer le contrôle minutieux et vigilant des matériaux à mettre en oeuvre et des ouvrages en cours de construction.

Avec les précautions ci-dessus indiquées, aucune crainte ne doit subsister au sujet du choix du béton armé pour la construction des ouvrages de plus en plus importants que la civilisation moderne exige de la technique de la construction; on peut d'ores et déjà considérer qu'il y a dans ce choix un avantage économique tout à fait certain; il reste à souhaiter que des architectes de génie créent, pour les ouvrages en béton, un style qui s'harmonise avec les exigences du beau.

Lorsque l'on parle des grands ouvrages en béton armé, on entend qu'il s'agit en premier lieu des ouvrages d'art proprement dits, c'est-à-dire les ponts et viaducs, murs d'appui et ouvrages du même ordre; il faut cependant faire encore rentrer dans cette désignation les ouvrages divers et tout particulièrement ceux qui sont susceptibles de résister aux secousses sismiques et qui atteignent de grandes dimensions, tels que les charpentes, les encorbellements, les grandes toitures et coupes, les gratte-ciel, les silos, les tours, les campaniles, les fonda-

tions sur pieux, les pylônes, ainsi que les ouvrages hydrauliques et maritimes, comme les barrages de retenue de grande hauteur, à voûtes multiples, les châteaux d'eau, les prises d'eau, les conduites de grand diamètre, les bassins de navigation, de carénage, les môles et jetées, et de nombreux ouvrages accessoires des grandes installations industrielles.

Dans ce vaste domaine, il est légitime de prévoir dès maintenant que les méthodes de calcul, la qualité des matériaux, les moyens dont on dispose sur le chantier et les procédés de construction actuels, qui pourront encore être perfectionnés par la suite, nous permettront, dans un avenir prochain, de réaliser des ouvrages d'une puissance et d'une esthétique remarquables.

#### *L'évolution des grands ouvrages en béton armé.*

Pour mieux comprendre les tendances modernes en ce qui concerne le calcul et la construction des grands ouvrages en béton armé, il est intéressant de jeter un rapide coup d'œil sur leur évolution au cours de ces trente dernières années, évolution à laquelle nous devons, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, des ouvrages hardis, qui peuvent encore aujourd'hui faire l'admiration des techniciens et justifier, dans ce domaine, les plus audacieux espoirs.

C'est d'abord, en 1906, la construction du Pont de Pinzano, sur le Tagliamento, ouvrage qui comprend trois grandes travées en arcs d'une ouverture de 48 mètres, avec une flèche de 24 mètres et qui représente un volume total de 1800 m<sup>3</sup> de béton; l'armature auto-portante est constituée par des pièces en acier coulé disposées en forme de caissons triangulaires; ces arcs sont encastrés à leurs extrémités et sont articulés à la clef; en réalité, étant donné la forme de la fibre médiane, qui a été étudiée de telle sorte qu'elle coïncide sensiblement avec la courbe possible des pressions, le calcul a pu être effectué isostatiquement; le tablier lui-même est établi sur un viaduc à arches surbaissées, et a une largeur de 6 mètres.

La construction du pont de Calvene sur l'Astico remonte à 1907; il s'agit ici d'un pont en arc encastré solidaire des culées et du tablier, d'une portée de 35 mètres, avec flèche de 2 mètres, réalisé en construction monolithique; cette construction a suivi de peu celle du pont sur l'Ourthe à Liège, qui est lui-même constitué par un arc de 55 mètres avec flèche de 3,25; les deux ouvrages sont d'ailleurs semblables. La construction de l'ouvrage très audacieux que constitue le pont du Risorgimento à Rome, sur le Tibre, s'est échelonnée entre les années 1909 et 1911. C'est un pont en arc unique surbaisse de 100 mètres de portée, avec une flèche de 10 mètres; ici aussi, l'arc lui-même et les culées sont solidaires du tablier; les culées s'étendent d'ailleurs sur les rives de chaque côté sur une longueur de 24 mètres, sous forme de section à éléments multiples semblable à celle de l'arc; cet ouvrage est absolument remarquable par sa puissance et sa finesse; il supporte une voie d'une largeur de 20 mètres. Sa construction a été étudiée avec le plus grand soin; on s'est efforcé de réaliser la solidarité la plus complète entre toutes les parties de l'ouvrage; les fers d'armature ont une section spécialement étudiée, avec profil en ménisque et nervures transversales externes et internes; des joints de déformation, ménagés dans les nervures longitudinales de l'arc en vue d'atténuer les effets du retrait du béton au cours du durcissement, permettent également d'éliminer les contraintes internes excessives qui se mani-



festeraient sous l'influence des variations de température auxquelles l'ouvrage se trouve périodiquement soumis.

En Avril 1910, fut inauguré le pont d'Auckland, en Nouvelle-Zélande; ce pont comporte un grand arc unique d'une portée de 98 mètres, avec une flèche de 56 mètres; c'est un arc encastré à ses deux extrémités; la largeur de la voie qu'il supporte est de 12 m. On signale comme autre ouvrage semblable le pont sur les avenues Lavimer et Atherton, à Pittsburgh, aux Etats-Unis, ouvrage qui a été terminé à peu près à la même date que le précédent.

On note, au cours de ces mêmes années, la construction d'édifices importants et de grande hauteur, à New-York et dans d'autres villes des Etats-Unis et d'Europe; ces édifices étaient destinés à l'habitation, ou à des bureaux et magasins; à signaler également la construction de cheminées industrielles de très grande hauteur et de châteaux d'eau d'une capacité importante; ont été également réalisés de grands siphons tels que celui d'Albeida sur le canal d'Aragon et de Catalogne, en Espagne et dont le diamètre intérieur est de 4 m, pour une longueur de 75 m sous une pression maximum effective de 3 atmosphères; d'importants encorbellements, des voûtes et coupoles pour théâtres, stades et expositions, ont été également édifiés pendant cette période.

L'un des ouvrages les plus dignes de retenir l'attention est le Palais du Centenaire de Breslau, ouvrage qui peut figurer parmi ceux qui pour la première fois, mirent nettement en évidence les exceptionnelles possibilités, techniques et architecturales en même temps, du béton armé; ce palais a été construit pour célébrer le centenaire de la victoire remportée sur Napoléon; c'est un édifice grandiose, établi sur plan circulaire, sur un diamètre de 100 m. Cette ossature en béton armé comporte une coupole centrale d'une hauteur de 42 m avec un diamètre de 65 m à la naissance, qui s'appuie sur une ceinture soutenue elle-même par les arcs frontaux de quatre absides colossales; sur cette ceinture, viennent s'encastrer les trente-deux grandes arêtes méridiennes de la coupole, qui se prolongent extérieurement jusque vers le sol, en recouvrant les absides; la surface totale couverte de cette énorme salle est de 5500 mètres carrés; sa capacité est de 6000 spectateurs assis et de 1000 spectateurs debout.

Entre 1915 et 1925, ont été édifiés de très importants châteaux d'eau et réservoirs; parmi les plus importants, mérite tout particulièrement d'être signalé celui de l'aqueduc municipal de Padoue, construit 1924 et qui comporte une cuve couverte d'un diamètre de 20 mètres, d'une capacité de 2000 mètres cubes, construite à une hauteur de plus de 40 mètres au-dessus du niveau de la route; l'ensemble de l'ouvrage avec son revêtement en maçonnerie et son couronnement présente l'aspect monumental d'une tour; cette tour comporte à sa base une chapelle votive, qui est dédiée à la mémoire des victimes du raid aérien sur Padoue, au cours de la grande guerre de 1915—1918.

Au cours de la dernière décade, ont été édifiés principalement en Allemagne de très grands ouvrages pour lesquels les architectes ont tenté de créer un nouveau style approprié, sans toutefois, de l'avis de l'auteur, y réussir.

Depuis quelques années, se sont multipliés les ouvrages d'art destinés à supporter des routes et des voies ferrées, c'est-à-dire les ponts et les viaducs; on en trouve en Italie de nombreux et remarquables exemples. Parmi ces ouvrages, nous citerons les suivants:

- a) — des ouvrages à poutres continues rectilignes, avec tablier inférieur ou supérieur (la passerelle d'Ivry, près de Paris, atteint une portée nette maximum de 140 m);
- b) — des ouvrages avec travées en arc, avec articulation ou encastrement (la portée maximum est réalisée par le pont de Plougastel sur l'Elorn, près de Brest; ce pont a été construit en 1928—1929, sur le hardi projet établi par *Freyssinet*; il comporte trois arcs surbaissés d'une portée de 186 m; il est établi en ciment à haute résistance et vibré; à signaler également le pont actuellement en cours de construction sur le canal du Tranebergsund près de Stockholm, qui comporte deux arcs jumelés sur portée de 181 m avec une flèche de 26,20 m; ces arcs sont placés à un écartement de 6,20 m; ils supportent ainsi un tablier dont la largeur totale est de 27,50 m et qui comporte une route d'une largeur de 19 m et deux voies ferrées; pour ce dernier ouvrage, on a prévu un effort maximum de compression à la clef de 120 kg/cm<sup>2</sup> de béton, obtenu avec un dosage variant entre 300 et 400 kg de ciment par mètre cube de béton). (Des portées inférieures, mais atteignant néanmoins 90 m, ont été réalisées dans une splendide série d'ouvrages construits en Italie; ce sont les ponts sur l'Adda, destinés à l'autostrade Milan-Bergame, sur la Brenta et le Primolano, sur le Savio à Monte Castello, sur la Piave à Belluno, sur l'Isonzo à Plava, ainsi que le pont-canal sur le Brembo et autres);
- c) — des ouvrages avec travées en arc, dans lesquelles la poussée est éliminée à l'aide de tirants supportant eux-mêmes le tablier (la portée maximum est atteinte dans cette catégorie par le pont sur l'Oise à Conflans Fin d'Oise, en France; c'est un pont en arc allégé, à tablier intermédiaire suspendu jouant le rôle de tirant; la portée de cet ouvrage est de 126 m); (des portées plus faibles, mais dépassant néanmoins 90 m, ont été réalisées sur le pont à suspension à treillis, construit sur le Lot, à Port d'Agrès et sur le pont à poutres triangulaires établi sur l'Oued Mellègue, en Tunisie; la portée déjà considérable de 74 m a été atteinte avec le pont-rail sur le San Bernardino à la frontière italienne; il s'agit d'un pont avec tablier inférieur);
- d) — des ouvrages à structure cellulaire, dans lesquels un arc très délié et portant en intrados est solidaire des portiques de tympan et du tablier supérieur, ainsi que des appuis, piles et culées; nous citerons comme exemple le pont de Langwies dans les Grisons, en Suisse; ce pont, d'une portée déjà importante, présente un remarquable surbaissement.

#### *Tendances modernes.*

Ainsi qu'il a été déjà indiqué, on tend dans les ouvrages modernes à augmenter d'une manière notable la portée des poutres rectilignes à deux appuis et plus et des poutres en arc avec ou sans tirants.

Dans le cas des poutres en arc, alors qu'il y a quelques années, on estimait parfois que la portée effective des ouvrages devrait être limitée à quelques centaines de mètres, on peut actuellement envisager, suivant l'avis des spécialistes les plus qualifiés, des portées dépassant les mille mètres. *Freyssinet* a d'ailleurs présenté au Congrès de Liège, en 1930, un projet de pont en arc de 1000 mètres

de portée; la portée de 1400 mètres, qui correspond à plus de sept fois la portée maximum actuellement atteinte de 186 m, a été indiquée comme possible par *H. Lossier*, à l'aide d'un arc en béton fortement armé; il reconnaît cependant préférable, pour les portées supérieures à 800 mètres, d'adopter les ponts métalliques suspendus. Pour les ponts à poutres droites sur deux appuis ou plus, *Lossier* indique comme possibles des portées nettes de 500 mètres, qui correspondent à environ quatre fois la portée maximum actuellement atteinte de 126 m.

*H. Lossier* se montre également favorable à l'adoption des dispositions mixtes, avec intervention de l'acier inoxydable, comportant la construction de membrures soumises exclusivement à des efforts de traction, le béton armé étant utilisé pour la constitution de membrures soumises à des efforts de compression et de flexion; ces membrures devraient être construites naturellement hors du chantier, puis montées et assemblées par soudure autogène, en laissant saillants les arrondis des cordons de soudure, puis en appliquant des revêtements successifs de mortier de ciment à haute résistance et à durcissement rapide; on admet que ce genre de construction mixte conviendrait tout particulièrement à l'érection des ponts suspendus auxquels on estime pouvoir ainsi donner des portées de l'ordre de 5000 mètres, ce qui correspond à environ 5 fois la portée maximum de 1077 mètres actuellement réalisée pour le pont suspendu George Washington, sur l'Hudson, à New York; un pont d'un type analogue et d'une portée de 1270 mètres, est d'ailleurs en cours de construction actuellement, à la Golden Gate, sur la Baie de San Francisco, en Californie.

Il est à prévoir que l'on réalisera rapidement d'amples progrès dans cette voie.

En ce qui concerne les travées rectilignes et les travées en arc, l'auteur tend lui-même à accorder la préférence respectivement aux types à *poutres continues* et aux *arcs encastrés avec élimination partielle de la poussée*.

Ces dispositions permettront d'atteindre les limites de portée ci-dessus indiquées, malgré les inévitables imperfections des procédés de construction et les incertitudes qui subsistent dans les méthodes de calcul par suite des défauts et des conditions imprévisibles en ce qui concerne l'état effectif du béton armé. De telles limites peuvent sembler exagérées, en présence des nécessités effectives qui seules pourraient justifier les sacrifices économiques considérables auxquels conduiraient les difficultés exceptionnelles de construction d'ouvrages d'une telle importance; toutefois, elles n'ont rien qui doive effrayer du point de vue technique.

Les graves insuccès ne peuvent désormais dépendre presque exclusivement que de fautes d'exécution, imputables pour une proportion de 90 % à un décoffrage prématuré et irrationnel et pour une proportion de 10 % à des imperfections accidentelles du mélange de béton ou des armatures métalliques, dont la résistance spécifique peut atteindre des valeurs extrêmement élevées; les incertitudes du calcul peuvent être toutes pratiquement éliminées, si l'on prend soin de faire cadrer les hypothèses de base avec la réalité effective, c'est-à-dire en interprétant le point de vue théorique avec bon sens et en développant sur des bases intégralement rationnelles l'étude des efforts secondaires, sous l'influence desquels se produisent en général les ruptures dans les zones comprimées non frettées et dans les zones tendues comportant une exubérance d'armatures métalliques dans une section de béton trop faible.

*Règles de construction et méthodes de calcul.*

Un choix rigoureux et un contrôle minutieux des caractéristiques des matériaux, tant agrégats que ciment et fers d'armature et d'autre part une organisation judicieuse des chantiers pour la préparation et la mise en oeuvre du béton, pour sa protection pendant la prise et le durcissement, pour le décoffrage des différentes parties portantes des ouvrages, assureront d'une manière presque absolue le bon comportement des ouvrages, suivant les prévisions du projet et leur aptitude à supporter en pleine sécurité les efforts maxima statiques et dynamiques qui peuvent leur être imposés en service et qui, suivant l'auteur, peuvent atteindre de 250 à 300 kg/cm<sup>2</sup> pour la compression dans le béton et dix fois les valeurs ci-dessus pour la traction unitaire dans les fers d'armature.

On produit actuellement, dans tous les pays industriels, des ciments à très haute résistance qui, moyennant un choix judicieux de la qualité et de la composition granulométrique du gravier, des cailloux et du sable, moyennant un dosage soigné des éléments et de l'eau de gâchage, permettent d'obtenir couramment, et surtout avec le béton vibré et les mélanges préparés à l'avance, des résistances de 400, 500, 600 kg/cm<sup>2</sup> et même plus, à la rupture par compression sur cube, avec des valeurs intéressantes de la résistance à la traction au bout de quelques semaines; de tels bétons présentent des caractéristiques élastiques optima, même sous les charges de compression les plus élevées, avec cycles de déformations présentant une grande rapidité d'adaptation et grandes possibilités de dilatation sans lésion lorsque la répartition des armatures métalliques est bien assurée; on dispose actuellement, à cet effet, dans tous les pays, d'aciers inoxydables sous forme de barres de grande longueur accusant une charge de rupture à la traction de 52 à 56 kg/mm<sup>2</sup>, avec une limite supérieure d'élasticité de 30 kg/mm<sup>2</sup>, une limite d'écoulement supérieure à 40 kg/mm<sup>2</sup>, un allongement à la rupture de l'ordre de 30 à 35 % et une striction de l'ordre de 60 à 70 %.

Des matériaux de cette qualité, employés dans les conditions judicieuses qui ont été indiquées plus haut, permettent de réaliser encore de remarquables progrès dans le sens d'une réduction du pourcentage de la section des armatures et de l'augmentation de la légèreté spécifique (rapport de la résistance par unité de section au poids) et par suite dans le sens d'une augmentation des dimensions principales des parties portantes; grâce aux valeurs élevées des modules d'élasticité du béton et de l'acier, il en résultera une rigidité remarquable et par suite une réduction des déformations dues au poids propre et aux charges accidentelles.

Le calcul des grands ouvrages en béton armé, dans lesquels l'élégance des membrures contraste avec la capacité de résistance effective de l'ensemble, tend aujourd'hui, par nécessité, à s'appuyer directement et exclusivement sur les principes théoriques et sur les résultats expérimentaux qui sont le fruit des recherches modernes sur l'équilibre des corps et systèmes rigides et sur le comportement élastique des corps et systèmes déformables comportant des liaisons suffisantes ou surabondantes, dont le régime propre de contrainte et de déformation varie suivant des lois plus ou moins nettement définies lorsqu'ils sont soumis à des sollicitations statiques ou dynamiques ou à des variations de température progressives ou périodiques.

Parmi les systèmes ci-dessus, on peut citer tout particulièrement les poutres

de grande longueur réticulaires ou cellulaires, avec ou sans articulations, rectilignes, en arc sans tirants, ou en arc avec élimination de la poussée à l'aide de tirants à suspension funiculaire, ainsi que les cadres à éléments multiples, les arcs continus solidaires de leurs appuis, les parois minces planes, cylindriques, coniques, sphériques, elliptiques, paraboliques, etc. qui sont utilisées pour la construction des planchers, des parois portantes, des voûtes, ainsi que les massifs et dispositifs d'appui divers, articulés ou encastrés.

A la base des recherches expérimentales, se trouvent les études sur les propriétés physiques et les caractéristiques mécaniques des liants hydrauliques, des agrégats (cailloux et sables), du ciment, des armatures métalliques, enfin du béton armé lui-même, études qui sont d'ailleurs encore susceptibles d'un grand développement ultérieur. De ces études, dérivent les investigations sur la composition granulométrique, sur le dosage du ciment et de l'eau, sur les pourcentages à adopter pour les armatures métalliques, sur les modalités de la préparation des mélanges, qui doit être réalisée de manière à obtenir des mélanges de grande compacité accusant un poids spécifique relativement élevé, avec des déformations dues au retrait aussi réduites que possible au cours de la prise et du durcissement, de hauts modules d'élasticité, de hautes valeurs de la résistance à la compression, une remarquable adhérence sur les fers et une possibilité de collaborer avec les fers, sans manifester de lésions sous les grands efforts de traction. On tend d'ailleurs de plus en plus à englober dans ces travaux l'étude des ouvrages qui datent déjà de quelques dizaines d'années et qui ont été construits avec des matériaux hydrauliques et métalliques dont on disposait jadis, car l'étude du comportement de ces ouvrages du point de vue élastique, et tout particulièrement sous l'action des charges mobiles importantes, présente à ce sujet un intérêt capital. Les études portent naturellement aussi sur les ouvrages plus récents, plus hardis par leurs formes et par leurs dimensions et dans la construction desquels rentrent les matériaux de plus grande valeur dont on dispose aujourd'hui.

Les perfectionnements des méthodes d'évaluation théorique préalable de l'état effectif de contrainte et de déformation et les calculs que nécessitent l'établissement et la vérification des projets d'ouvrages en béton armé suivent l'évolution de la théorie de l'élasticité et de la théorie de la résistance des matériaux dans leurs parties les plus complexes et les plus délicates.

En ce qui concerne les structures non homogènes et par suite non isotropes, l'étude basée sur les propriétés physiques et mécaniques des éléments constitutifs n'est pas sans présenter de sérieuses difficultés lorsque l'on veut établir sur des bases effectives un système théorique susceptible de donner toute satisfaction, surtout pour le comportement de ces structures dans le cas des liaisons hyperstatiques; la question est assez ardue et sa mise au point difficile ralentit nécessairement l'évolution générale. Toutefois, les efforts opiniâtres accomplis pour surmonter ces difficultés porteront leurs fruits.

Les notables difficultés qui résultent du manque d'homogénéité et d'isotropie du béton et qui conduisent à une certaine incertitude dans l'application de la théorie de l'élasticité aux calculs de résistance, peuvent être en partie corrigées par un choix opportun des liants, et des agrégats, ainsi que par une étude judicieuse de la composition granulométrique des mélanges d'agrégats, du dosage

des liants et de l'eau de gâchage et de la compacité des mélanges; il faut tout particulièrement adopter des agrégats, cailloux et gravier dont la granulation judicieuse permette de réduire au minimum les vides et par suite le volume de mortier de ciment et de sable nécessaire pour lier les agrégats et remplir ces vides, sans qu'il subsiste de porosités. Dans ces conditions, on réalise encore une nouvelle diminution entre le volume du mortier liant et le volume des noyaux d'agrégats et de la masse du béton elle-même; il en résulte par suite une élévation de la résistance à la rupture et du module d'élasticité moyen sous la compression et sous la traction, ainsi que des caractéristiques plus voisines de celles des matériaux durs (agrégats) que de celle des liants (mortier de ciment) qui les agglomèrent et qui sont plus ou moins plastiques.

Le béton ainsi obtenu pourra pratiquement être assimilé, vis-à-vis des sollicitations à la compression, à une masse élastique homogène et isotrope, qui pourra englober des armatures métalliques, dans le but principal de supporter des sollicitations à la traction; on pourra obtenir une augmentation de la résistance à la compression, en prévoyant des armatures hélicoïdales de frettage; on pourra réaliser une résistance intéressante à la traction et aux efforts de flexion et autres, en adoptant des armatures orientées suivant les directions privilégiées, à raison d'une direction privilégiée pour les poutres de faible section, et de deux directions orthogonales pour les parois minces planes ou incurvées, enfin de trois directions orthogonales entre elles et coïncidant dans toute la mesure du possible avec les directions des tangentes aux isostatiques probables, pour les structures équidimensionnées et spatialement sollicitées.

Les dilatations et les contractions thermiques non uniformes dues à de fortes élévations de la température interne du béton au cours de la prise et au refroidissement ultérieur et qui se produisent naturellement dans des conditions qu'il est impossible d'évaluer sur des bases précises, conduisent à une stabilisation des états de contrainte interne initiale dans des conditions qui ne sont pas nettement définies, mais qui peut se traduire par des contraintes assez élevées de compression et de traction dans la masse du béton et dans les armatures métalliques.

Toutes ces influences peuvent être en partie corrigées en adoptant des liants mettant en jeu de faibles quantités de chaleur, comme il est déjà prescrit dans les règlements officiels d'un certain nombre de pays. On réduira également, dans la mesure de la résistance spécifique à obtenir, les épaisseurs des masses de béton et on les fractionnera éventuellement à l'aide de joints, que l'on obturera une fois que le béton aura atteint l'âge voulu.

Le retrait qui se produit dans le béton au cours de la prise et du durcissement est un phénomène qu'il faut attribuer tout particulièrement à l'élimination de l'eau de gâchage en excès, non combinée; ce retrait conduit également à une stabilisation mal définie des contraintes internes dans la masse du béton et dans les armatures; dans le béton non armé, ces contraintes peuvent atteindre et même dépasser 20 à 30 kg/cm<sup>2</sup> sous forme d'efforts de traction alternant d'ailleurs avec des efforts de compression encore plus importants; dans le béton armé, ce retrait se fait moins sentir par suite de la présence des armatures; il peut donner lieu à des efforts de traction dans le béton lui-même de l'ordre de grandeur de 5 à 15 kg/cm<sup>2</sup> et même plus, et d'ailleurs d'autant plus grands que le pour-

centage de la section des armatures métalliques est lui-même plus grand; ces efforts viennent contre-balancer les efforts de compression dans les fers des armatures, dont la grandeur est elle-même de 100 à 20 fois plus élevée (ces derniers efforts étant eux-mêmes d'autant plus grands que le pourcentage de la section des armatures métalliques est lui-même plus faible).

Ces effets peuvent d'ailleurs être partiellement corrigés eux aussi en réduisant au minimum le pourcentage des armatures, en disposant judicieusement les joints de contraction, en adoptant des mélanges dosés sans excès en ce qui concerne le ciment, que l'on gâchera avec la quantité minimum d'eau, c'est-à-dire avec la quantité d'eau strictement indispensable pour que le mélange, qu'il soit per-vibré ou non, puisse sous l'influence de sa fluidité propre suffisante, bloquer complètement l'espace qui lui est réservé entre le coffrage et les armatures métalliques; enfin, on aura soin de maintenir le béton une fois mis en oeuvre en état d'humidification, à saturation, en le mouillant opportunément pendant toute la période de maturation et jusqu'au décoffrage.

### Résumé.

L'auteur expose dans ses grandes lignes l'évolution de la technique des grands ouvrages en béton armé et indique quelles sont les tendances actuelles en matière de calcul et de construction de ces ouvrages, mettant en relief les difficultés et les incertitudes inhérentes à ce domaine, ainsi d'ailleurs que les dispositions propres à les atténuer ou à les supprimer.