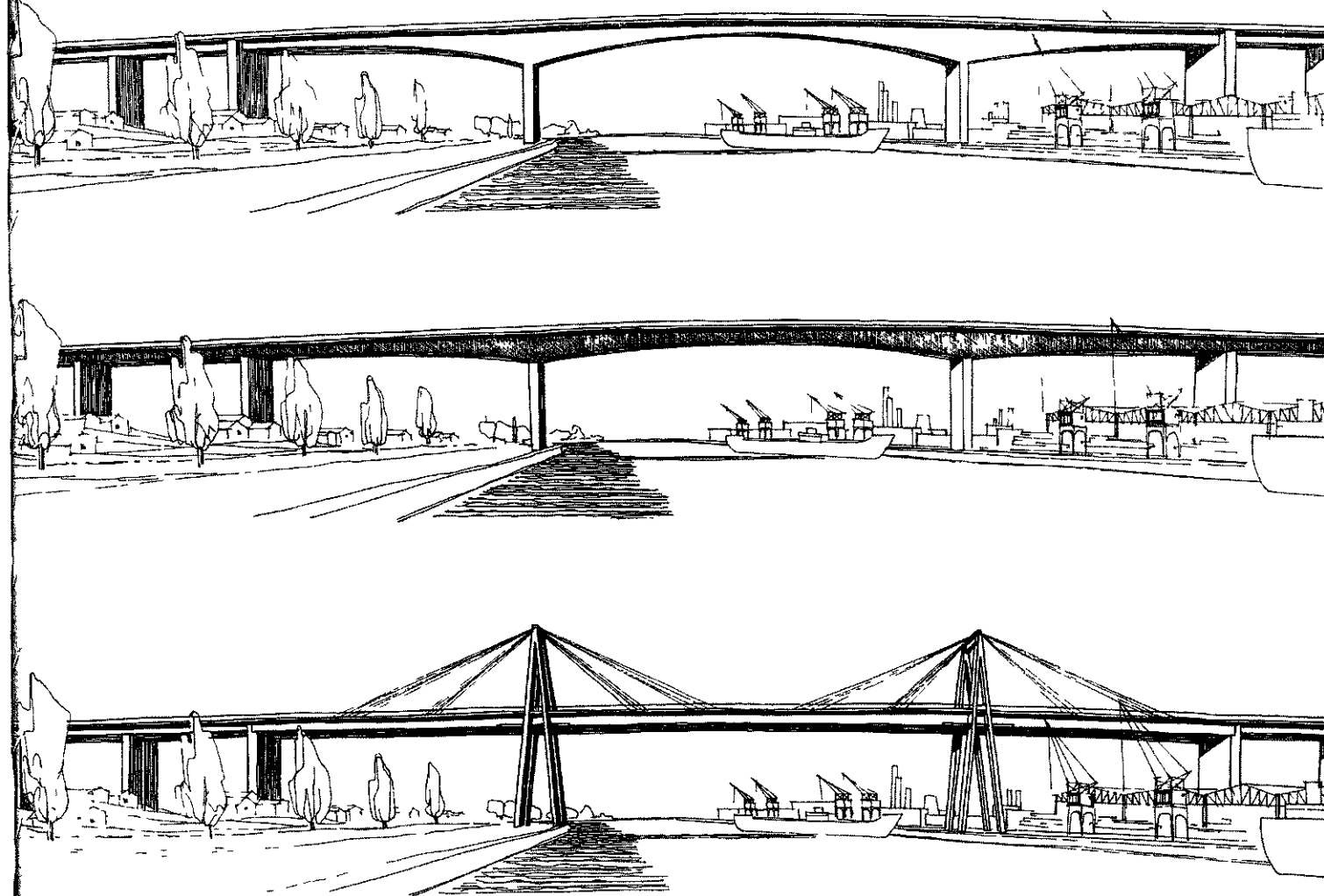


**Les ponts d'aujourd'hui
et de demain**





pour la
signalisation horizontale
faites confiance à

PRISMO FRANCE

S O M M A I R E

<i>Avertissement</i>	23
<i>Ombres et Lumières sur les ouvrages d'art</i>	24
<i>L'importance des ouvrages d'art dans les programmes d'équipement routier</i>	32
<i>Matériaux nouveaux et futurs dans les ouvrages d'art</i>	36
<i>L'évolution des règlements</i>	41
<i>Emploi et perspectives du calcul électronique</i>	45
<i>La standardisation des ponts</i>	54
<i>Le béton armé dans les ponts modernes</i>	59
<i>Les transformations des ponts métalliques</i>	63
<i>Présent et avenir des ponts en béton précontraint</i>	70
<i>Art et technique des fondations</i>	78
<i>La rationalisation des équipements</i>	87
<i>Quelques réflexions sur l'exécution des ponts</i>	94
<i>Problèmes d'aujourd'hui et de demain</i>	101
<i>Procès-verbaux des réunions du Comité du P.C.M.</i>	104
<i>Mutations, Promotions et Décisions diverses</i>	106
<i>Offres de Postes — Naissances, mariages — Note de la Rédaction</i>	112
<i>Communiqué</i>	113
<i>La page du Trésorier</i>	114

Photo de couverture : Trois projets pour le futur viaduc de Calix à CAEN (portée centrale 156 m, longueur totale 1100 m).

- *En haut* : Poutres-caissons en béton précontraint construites en encorbellement.
- *Au milieu* : Poutres continues en acier avec dalle orthotrope.
- *En bas* : Pont à haubans à tablier en béton précontraint.

LXV° année - n° 11 - mensuel **RÉDACTION** : 28, rue des Sts-Pères, Paris-7° LIT. 25.33
PUBLICITÉ : 254, rue de Vaugirard, Paris-15° LEC. 27.19



Echangeur dit de Cherbourg à Puteaux Ph BARANGER

sécurité et durabilité du béton

syndicat national des fabricants de ciments et de chaux

Réforme régionale

Cette note résume les premières conclusions de groupes de travail régionaux constitués à ce sujet par l'Association Professionnelle des Ingénieurs des Ponts et Chaussées et des Mines. Il ne s'agit pour l'instant que du problème considéré dans sa généralité. Compte tenu de l'importance des effectifs d'Ingénieurs des Ponts et Chaussées dans les services du Ministère de l'Équipement et du Logement et du Ministère des Transports, le P.C.M. fera connaître ultérieurement les implications concrètes de la réforme régionale dans les domaines d'action de ces deux départements ministériels.

Décentralisation.

Le problème de la réforme administrative est latent depuis déjà longtemps ; la crise de mai 1968 en a seulement concrétisé l'acuité. Le but de la réforme envisagée doit être la participation effective des citoyens et des forces vives du pays aux affaires publiques, et l'un des moyens pour y parvenir est la décentralisation des pouvoirs de l'État. Compte tenu de l'expérience acquise au cours de ces dernières années, la Région est incontestablement un niveau important de décentralisation, mais il n'est pas le seul ; la réforme communale, notamment, appartient au même ordre de préoccupations que la réforme régionale, et ces deux problèmes doivent certainement être traités et réglés conjointement.

La décentralisation ne peut valablement s'exercer qu'au profit de collectivités pleinement majeures et responsables. A ce titre, la Région doit être une collectivité territoriale « de plein exercice », au sens constitutionnel du terme. C'est à la lumière de ce principe que doivent être examinées les questions soulevées par la réforme des collectivités :

- leurs attributions, qui à partir d'une définition générale de l'organisation des institutions de la Nation, doivent être fixées de telle manière que le recours au niveau supérieur ne soit envisagé que lorsque la nature ou la taille des problèmes l'exige réellement ;
- leurs limites géographiques, qui doivent correspondre aux solidarités humaines et économiques au sein desquelles elles exerceront leurs responsabilités ; ce découpage doit se plier aux conditions du moment (1), afin que ces solidarités puissent immédiatement se manifester, mais il doit réserver des possibilités d'évolution facile et rapide ;
- la fiscalité, qui doit leur apporter des ressources propres, et non pas octroyées, modulables en fonction des besoins ;
- l'organisation de leurs moyens administratifs d'étude et de gestion. Elles doivent, en ce domaine, disposer d'une large liberté. Cela n'entraîne nullement la nécessité de créer, à l'échelon régional notamment, des cadres spéciaux de fonctionnaires : l'État doit conserver la responsabilité de la formation et de la gestion des Corps administratifs et techniques, qui peuvent être mis à la disposition des collectivités locales par voie de détachement ; cela n'exclut pas, dans de nombreux cas, le recours aux prestations des Services Extérieurs de l'État.

(1) En ce sens, il paraît résulter d'une vision trop dogmatique du problème que de vouloir, au départ, donner à toutes les régions une taille ou un « poids » analogue.

Redonner aux collectivités le sens et le goût de leurs responsabilités exigera, il ne faut pas se le dissimuler, une profonde modification des habitudes et des modes de pensée ; c'est là que réside la difficulté majeure à laquelle se heurtera l'application de la réforme. Elle entraîne, notamment, pour les fonctionnaires de l'Etat, une remise en cause de la notion de tutelle. A l'intérieur de certaines limites, l'exercice de la responsabilité comporte des risques d'erreur qu'il faut accepter.

Déconcentration.

Décentralisation et déconcentration vont évidemment de pair : si l'on veut qu'un dialogue effectif s'instaure dans de bonnes conditions, à des collectivités locales fortes doivent correspondre, à chaque niveau, des représentants du pouvoir central dotés de réelles facultés de décision. En ce domaine, il ne faut pas craindre d'aller trop loin, et c'est un sentiment de confiance a priori qui doit présider aux délégations de pouvoirs à tous les échelons.

La personnalisation du pouvoir de décision entraîne certaines contraintes pour ceux qui l'exercent : le recours à certains « parapluies » n'est plus possible ; l'exercice de la responsabilité entraîne, pour ceux qui la revendiquent, le devoir d'une information loyale des échelons supérieurs, et l'acceptation de la sanction, en bien comme en mal, de leur action.

Le problème de la redistribution des pouvoirs au sein des administrations de l'Etat se pose à un moment où leurs missions et leurs méthodes méritent également d'être repensées. Dans cet ordre d'idées, la réforme régionale apparaît comme une occasion unique de mettre en place, au niveau de la Région, des structures administratives qui s'écartent résolument des schémas traditionnels marqués par une hiérarchie pyramidale et des cloisonnements verticaux. Pour n'avoir pas su éviter ces ornières, la réforme de 1964 a finalement conduit à une complication des circuits de décision et à un alourdissement improductif des procédures ; l'organisation d'un nouvel échelon régional d'administration doit essentiellement rechercher la légèreté et l'efficacité, en faisant une large place aux techniques modernes de direction et de gestion.

Quel que soit l'avenir du Département, à plus ou moins long terme, en tant que collectivité territoriale, l'échelon départemental paraît être appelé à demeurer au niveau de base de l'Administration, car il est apte à saisir au contact direct des réalités les données élémentaires des problèmes, et, dans beaucoup de cas, à les régler : c'est vers lui que peuvent être dirigées, chaque fois que sa compétence territoriale le permet, les mesures de déconcentration. Cela est vrai, et couramment admis, dans le domaine de la gestion : cela doit l'être également dans ceux de l'animation et de la conception.

Avertissement

Il n'était pas possible de dresser dans un seul numéro un panorama général de la mutation qui se fait depuis quelques années dans la technique des ponts : un tel tour d'horizon aurait été, nécessairement, trop superficiel pour faire comprendre l'ampleur de l'évolution technique qui est en cours dans le monde et à laquelle notre pays se doit de participer au rang qui est le sien.

Il a été nécessaire de se limiter à l'évolution technique en matière d'études et à quelques réflexions sur l'exécution. Des questions aussi importantes que celles de l'architecture et de l'esthétique, de l'entretien et de la pathologie des ponts, de l'enseignement et de la formation des spécialistes, de la recherche et du développement, n'ont pas pu y être abordées et sont réservées pour d'éventuelles publications ultérieures.

On peut espérer que l'étendue de ce sujet conduira chacun à conclure qu'il est indispensable de donner aux études d'ouvrages d'art le rang et la place qu'elles doivent avoir.

En raison de la délimitation du sujet, ce numéro a été préparé par des ingénieurs ou anciens ingénieurs du Service Central d'Etudes Techniques (S.C.E.T.) et de la division des Ouvrages d'Art du Service Spécial des Autoroutes (S.S.A.R.), maintenant rassemblés dans le Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (S.E.T.R.A.) du Ministère de l'Équipement et du Logement.

Il a été rédigé pour l'essentiel par MM. GRATTESAT et MATHIEU, ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées, BRAULT, CIOLINA, DARPAS et Michel LEVY, ingénieurs des Ponts et Chaussées, VALLANTIN, ingénieur en chef du Corps Autonome des Travaux Publics.

Ont participé également à ce numéro, MM. MANTE, MONNERET et CEYLON, ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées, THENOZ et NOURISSON, ingénieurs des Ponts et Chaussées.

Ombres et Lumières sur les ouvrages d'art

C'est une véritable mutation qui s'est produite depuis quelques années dans le domaine des ouvrages d'art.

Chacun peut constater que les lignes actuelles sont de plus en plus élancées, les formes de plus en plus audacieuses, l'échelle des réalisations de plus en plus impressionnante. L'évolution de la technique est visible dans le pont d'OLERON et celui de SAINT-FLORENT-LE-VIEIL, dans le stade de glace de GRENOBLE et l'échangeur de la Porte de la Chapelle, dans les tours de la Défense et les grands ensembles universitaires, dans les passages supérieurs d'autoroutes et la passerelle d'ORLY, dans le radiotélescope de NANGAY et les caissons de réacteurs nucléaires.

Mais les transformations les plus profondes n'apparaissent que dans les laboratoires, dans les bureaux d'études et sur les chantiers. Elles se situent à tous les stades,



Le pont d'Oléron (Photo Poinot)

depuis le choix des matériaux jusqu'aux moyens d'exécution, en passant par la conception et l'élaboration des projets.

Ce qui constitue essentiellement cette mutation, c'est l'ensemble de ces transformations, leur interaction, leur généralisation à tous les secteurs de la construction : au total, les ouvrages de 1968 sont fondamentalement différents de ceux de 1960.

Vers les 1000 ponts par an.

En ce qui concerne les ponts, cette mutation qualitative s'est accompagnée d'une mutation quantitative. Le développement des programmes routiers et autoroutiers a entraîné une augmentation massive du nombre annuel de ponts nouveaux. Nous donnons quelques statistiques dans ce numéro. Elles ne sont pas exactes, car les renseignements dont nous disposons sont très incomplets. Les chiffres réels sont certainement supérieurs à ceux qui figurent dans nos tableaux. Mais ceux-ci sont déjà très éloquents. En 1963, on évoquait la perspective de « notre pont quotidien ». La prédiction est déjà dépassée, et nous allons vers les 1000 ponts par an. Ce qui frappe au surplus, c'est que le rythme annuel a été à peu près multiplié par 3 en 4 ans et par 6 en 7 ans. Cela caractérise suffisamment l'ordre de grandeur de l'accélération.

A cette augmentation en quantité s'ajoute une augmentation en complexité. Les exigences accrues de la circulation routière et de la navigation obligent les constructeurs de ponts à mieux s'adapter aux tracés en construisant des ouvrages courbes, biais, de plus en plus minces, à espacer les appuis et à diminuer leurs emprises, à trouver des joints de chaussée plus confortables et plus durables, des garde-corps plus résistants, à raccourcir les délais d'études et d'exécution.

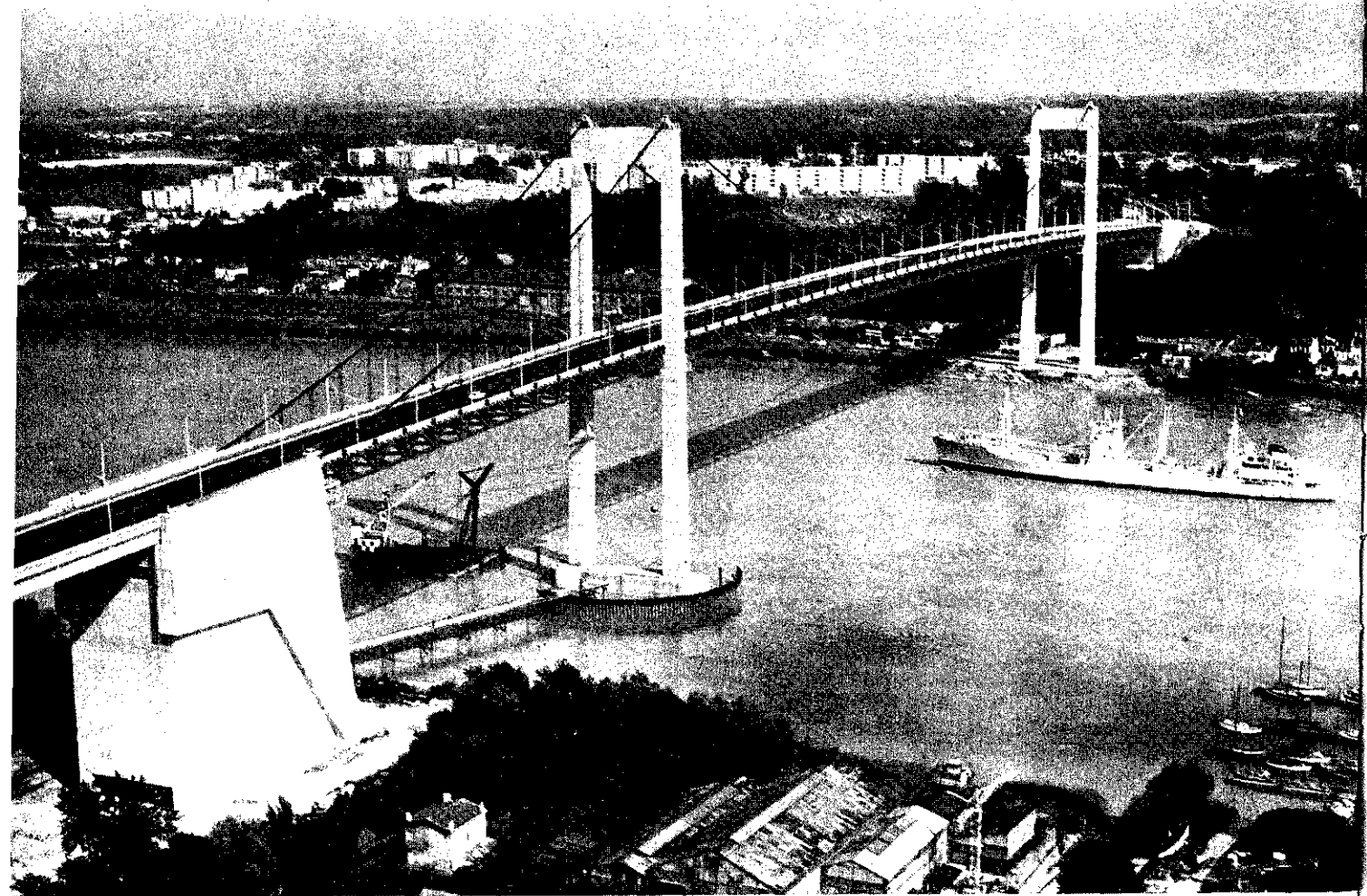
Un certain malaise.

Cette situation devrait être enthousiasmante, et elle l'est en effet. Le temps est loin où les jeunes Ingénieurs se demandaient s'ils auraient la chance d'avoir à construire un ou deux ponts pendant leur carrière.

Pourtant, ceux qui se sont spécialisés en ouvrages d'art ressentent actuellement un malaise, précisément à cause de cette mutation. Parce qu'ils n'ont plus assez de temps pour à la fois se tenir au courant de tous les changements, établir des projets qui ne soient pas en retard sur la technique, pour aider et conseiller, enseigner et recycler, et participer eux-mêmes aux progrès. Parce que les Ingénieurs des services locaux, dont les tâches se sont multipliées et diversifiées, ont de moins en moins de temps à consacrer aux ponts. Parce que leur nombre n'a pas augmenté, bien loin de là, autant que les ouvrages qu'ils ont à construire.

L'ordinateur, une panacée ?

Bien sûr, nous avons maintenant le calcul électronique. « Là où il fallait trois semaines de calcul d'Ingénieur, il faut aujourd'hui trois minutes d'ordinateur » (Bulletin du P.C.M. - Mai 66, p. 77). C'est parfaitement exact. L'invention des premiers « projets de ponts automatiques » accompagnés de leurs dossiers-pilotes est sans doute une des plus importantes de ces dernières années. Elle a apporté une solution générale pour les tabliers et les piles des ponts courants et elle a raccourci sensiblement les études des autoroutes. Pour les ponts spéciaux et exceptionnels, l'établissement de programmes électroniques de calculs de structures, de vérification automatique, de fabrication d'abaques, a permis à la fois de gagner beaucoup de temps et de recourir à des structures complexes dont le calcul traditionnel aurait été inextricable. Sans le calcul électronique, nous n'aurions certainement pas pu établir autant de projets en aussi peu d'années.



Le pont d'Aquitaine à Bordeaux (Photo Baranger)

L'ordinateur ne pourrait pas le faire...

On peut escompter que l'emploi généralisé des plus récents ordinateurs provoquera dans l'avenir des bouleversements encore plus profonds. Mais il ne faudrait pas croire que l'ordinateur pourra bientôt résoudre tous nos problèmes. Non seulement parce qu'il faudra toujours des Ingénieurs pour l'alimenter, le contrôler et utiliser ses résultats, mais surtout parce que le calcul n'est qu'un des éléments dans la longue chaîne d'opérations qui va de la détermination des données de base d'un avant-projet aux épreuves de l'ouvrage terminé. En supposant — et nous en sommes encore bien loin — que l'ordinateur accomplisse tous les calculs, nous manquerions encore d'Ingénieurs pour tout ce qui demande de l'intelligence, de l'expérience, de l'imagination, du goût et d'autres qualités humaines qu'aucune machine ne possèdera jamais par elle-même.

Une autre panacée ?

L'ordinateur n'est donc pas un remède suffisant à l'asphyxie qui nous menace. On peut en envisager un autre, apparemment plus efficace : le recours au secteur privé. Pourquoi l'Administration garderait-elle le monopole des études ? Pourquoi ne les confie-

rions-nous pas à des bureaux d'études privés, comme nous avons toujours confié aux entreprises l'exécution des ouvrages ?

Encore un remède illusoire, parce qu'il est déjà largement employé et qu'il n'apporte qu'une réponse limitée à nos questions. Dès maintenant, une grande partie des études est effectuée par les bureaux d'études indépendants et les bureaux d'études d'entreprises. On ne peut pas envisager d'aller beaucoup plus loin dans cette voie pour deux raisons :

- la première est que les bons Ingénieurs d'ouvrages d'art dans le secteur privé ne sont pas non plus assez nombreux pour tout le travail qui s'annonce, et qu'il faut du temps pour en former d'autres.
- la seconde est que notre Administration doit rester en mesure d'assumer ses missions et ses responsabilités techniques.

Un bouleversement irréalisable.

Si notre potentiel technique devait diminuer, en valeur relative, par rapport à l'afflux des tâches nouvelles, nous arriverions bientôt à un premier seuil en deçà duquel les dépenses supplémentaires — visibles, mais surtout invisibles à tout contrôle purement administratif et financier — dépasseraient de beaucoup les « économies » en personnel ; puis à un deuxième seuil en deçà duquel la convenance des ouvrages et la sécurité elle-même seraient mises en cause.

Avant d'en arriver là, il est d'ailleurs certain que les bonnes entreprises réclameraient d'elles-mêmes des arbitres indépendants et compétents, que les banques et les compagnies d'assurances créeraient des bureaux de contrôle, que l'Administration serait dans l'obligation de réviser, non seulement les situations de fait issues d'une longue tradition, entre autres le recrutement et la formation de ses Ingénieurs, mais encore les situations de droit qui lui imposent des responsabilités directes en tant que puissance publique, maître d'ouvrage et maître d'œuvre.

Un tel bouleversement n'est pas impensable dans l'abstrait.

Pour le moment en tout cas, et là où nous sommes, nous avons d'abord à demander les moyens nécessaires pour exercer convenablement notre métier.

Le rôle de l'Administration dans les études.

Il n'est peut-être pas superflu de rappeler quelques aspects de ce métier, d'abord en ce qui concerne les études :

— Au départ, bien poser le problème. Rassembler toutes les données de base, sans oublier le détail qui change tout. Trouver et faire accepter des compromis convenables entre des exigences contradictoires. Faire en sorte que l'ouvrage ne soit ni surabondant, ni étriqué. Tout cela demande déjà beaucoup d'expérience, de réflexion et de jugement, et il arrive encore, malheureusement, qu'on demande au projeteur, au dernier moment, d'élargir une chaussée, d'augmenter un gabarit, voire même de modifier l'implantation.

— Ensuite, établir ou faire établir le projet, examiner et comparer les propositions des entreprises en cas de variantes ou de concours.

Il est évidemment nécessaire pour cela d'avoir une solide formation scientifique, de bien connaître et de bien appliquer les Cours et les Règlements, de se recycler constamment pour rester au niveau de la technique.

Mais ce n'est pas suffisant : il faut encore avoir à l'esprit tous les types d'ouvrages possibles et suivre sans cesse leur évolution, afin de choisir, à chaque moment et dans chaque cas particulier, le meilleur. Choix d'autant plus difficile et important qu'il est bien rare qu'une seule solution s'impose, qu'on ne peut les étudier toutes, et qu'une erreur au départ peut avoir de graves conséquences : il serait absurde de dépenser beaucoup d'énergie à économiser 1 % sur un projet, alors qu'on pourrait gagner 10 % avec une autre forme ou un autre matériau... Du fait de la rapidité des transformations techniques et économiques, une telle absurdité n'est pas à exclure, mais elle doit être décelée à temps.

Il faut aussi savoir juger la qualité d'un projet.

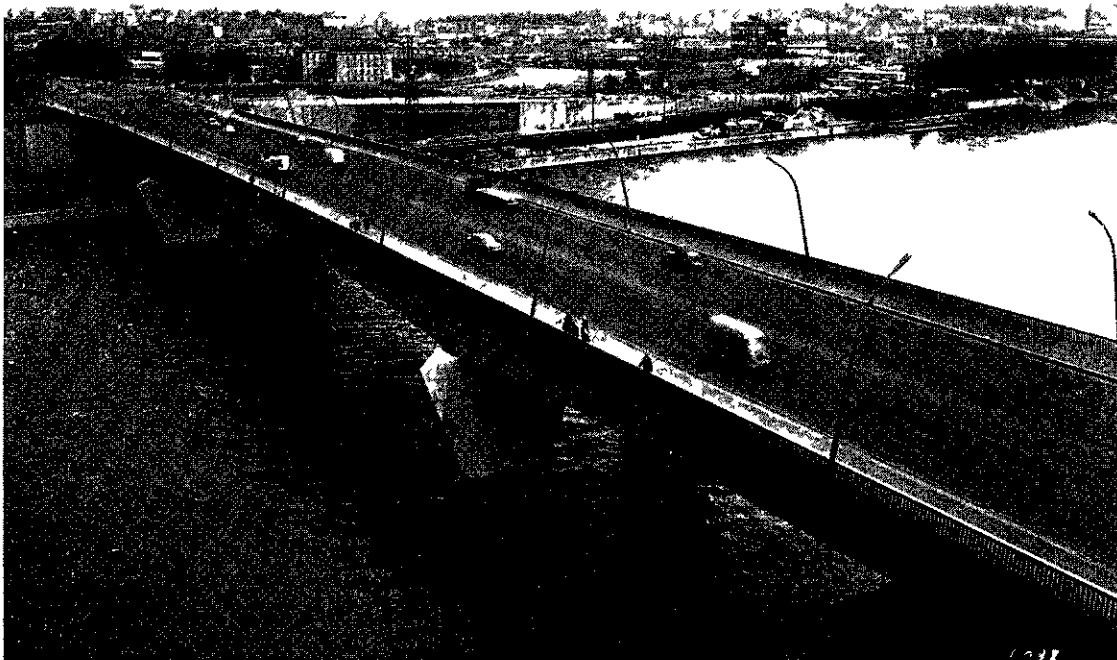
La qualité technique ne peut pas se traduire en chiffres, mais elle peut s'apprécier assez exactement par un Ingénieur exercé. Elle apparaît dans les lignes générales comme dans le souci des détails, dans la correction des dispositions constructives, dans le soin apporté à la note de calculs... *Elle ne découle pas automatiquement de l'application des règlements. Elle exige la connaissance des règles de l'art et l'expérience pratique du constructeur.*

Le choix d'un niveau de qualité est une des tâches les plus importantes de l'Administration, et elle ne peut être déléguée. Elle consiste à la fois à imposer les économies possibles et à refuser les économies illusoires. Elle constitue une synthèse entre les impératifs contradictoires de prix, de délais, de sécurité, de durabilité. Souvent d'ailleurs, l'opposition apparente entre la qualité et l'économie disparaît quand on prend en considération les frais d'entretien et l'amortissement. Ceux qui, en même temps qu'ils construisent, ont à maintenir en état d'anciens ouvrages, sont bien placés pour faire intervenir dans leur appréciation les facteurs conservation et durée de vie. Ils savent qu'une réalisation de bonne qualité se comporte mieux dans le temps et revient, au total, moins cher.

La qualité architecturale ne se traduit pas non plus en chiffres, et elle dépend, pour beaucoup, des Ingénieurs, même lorsqu'un architecte de profession collabore au projet. Il faut naturellement viser à faire des grands ouvrages, des ponts urbains et de quelques autres, autant que possible des « œuvres d'art ». Il est encore plus important, à l'heure actuelle où les villes et les campagnes se couvrent d'autoroutes, d'échangeurs, de routes surélevées, que tous ces ponts nouveaux, même moyens et petits, s'intègrent harmonieusement dans les paysages. Bien des exemples dans le monde nous alertent sur la laideur et la tristesse qui nous menaceraient si les Ingénieurs ne gardaient pas constamment le souci de l'aspect de leurs réalisations.

Quand on parle de « l'affaiblissement de la distinction entre l'Etat et l'entreprise privée » (La Jaune et la Rouge - Oct. 1968, p. 15), il ne faudrait pas oublier cette simple constatation que l'intérêt de l'acheteur, qui veut de la bonne qualité au juste prix, et celui du vendeur, qui pense à son bilan, ne sont pas forcément concordants... Et une collectivité publique « n'achète » pas un pont ou une étude comme un client ordinaire achète une automobile ou un réfrigérateur. Notre expérience quotidienne nous prouve que seuls les Ingénieurs qui ont l'expérience concrète et continue des projets sont capables de juger la qualité de ce qu'on leur offre. C'est ce qui justifie fondamentalement que l'Administration doive continuer à effectuer elle-même suffisamment d'études pour jouer convenablement son rôle.

— Enfin, vérifier les dessins et calculs d'exécution. On pense quelquefois qu'il s'agit d'une formalité administrative et qu'on peut faire confiance au bureau d'études de l'entreprise. Cela comporte un risque certain : car les règlements actuels permettent de faire travailler la matière au maximum, et les erreurs, toujours possibles, auraient de graves conséquences. Il est prudent dans tous les cas de faire vérifier un projet par quelqu'un d'autre que son auteur. On peut recourir pour cela, comme dans d'autres pays, à des bureaux privés, encore que toute vérification implique des décisions qui ne découlent pas toujours de textes réglementaires. En tout cas, dans la situation actuelle, l'approbation incombe aux Ingénieurs de l'Administration.



Le pont du Garigliano à Paris (Photo Baranger)

La qualité de l'exécution.

C'est à eux aussi qu'il appartient de participer activement à l'exécution, de la surveiller et de la contrôler. Il suffit de noter à ce propos qu'il est de l'intérêt de l'entreprise aussi bien que de celui du maître d'ouvrage que cette intervention soit compétente et efficace, que la qualité d'un ouvrage dépend au moins autant de l'exécution que du projet, que la plupart des accidents et des dégradations proviennent d'erreurs ou simplement de manque de soin sur les chantiers. Nos camarades des services extérieurs qui ont la lourde responsabilité de l'exécution, et dont les moyens sont pour le moins réduits, auront certainement beaucoup à dire à ce sujet.

Freiner ou accélérer le progrès ?

On n'arrête pas le progrès. Mais on peut le freiner, ou l'accélérer. S'il est facile de constater après coup ce qui est progrès, c'est beaucoup plus difficile d'en juger à l'avance. Toute innovation comporte des incertitudes et des risques. Les avantages qu'on peut en escompter sont atténués et quelquefois annulés par des inconvénients qui n'apparaissent souvent qu'au bout d'un certain temps.

Tout ce qui entraîne une économie n'est pas un progrès, si cela diminue la sécurité ou la durabilité. Dans bien des cas, les matériaux nouveaux, les structures nouvelles, sont plus coûteux au départ que les structures et les matériaux traditionnels.

Quand faut-il accepter les frais et les aléas d'une expérience en vraie grandeur ? De quelles précautions faut-il s'entourer pour limiter les dangers sans pour autant entraver les développements possibles ? C'est à l'Administration de répondre correctement à ces questions, ce qui demande beaucoup de connaissances, de jugement et de courage, du temps et des moyens suffisants.

La menace la plus grave qui pèse sur nous est bien celle-ci, et il ne faut pas la minimiser : obligés de consacrer tous nos efforts aux nécessités immédiates, nous pourrions à la fois empêcher des progrès possibles et prendre des risques inconsidérés.

Il faudrait au contraire que notre Administration participe directement et largement au progrès.

Non seulement parce qu'elle l'a toujours fait dans le passé : sans remonter à PERRONNET ou à RESAL, c'est dans l'Administration que FREYSSINET a conçu le béton précontraint, c'est l'Administration qui a imposé l'utilisation de l'acier 52, c'est dans l'Administration qu'ont été élaborés les premiers programmes de calcul entièrement automatique ainsi que plusieurs structures inédites d'ouvrages d'art.

Non seulement parce qu'on ne peut pas envisager de former et de conserver de bons Ingénieurs sans leur offrir la possibilité, la responsabilité et la joie de créer eux-mêmes du nouveau.

Mais surtout parce que, depuis quelques années, si bien des innovations viennent de France, bien plus encore ont été importées. Nous avons perdu du terrain dans la compétition internationale. Nos entreprises ont été amenées à acheter de nombreux brevets à l'étranger. Cela s'explique par l'accélération brutale des besoins qui a obligé à concentrer toutes les forces disponibles sur l'urgent et l'immédiat. Il serait très inquiétant que cette situation se prolonge.

Pour sauvegarder l'avenir, il est absolument indispensable que se développent largement la recherche et l'enseignement dans le domaine des ouvrages d'art.

Un effort commun.

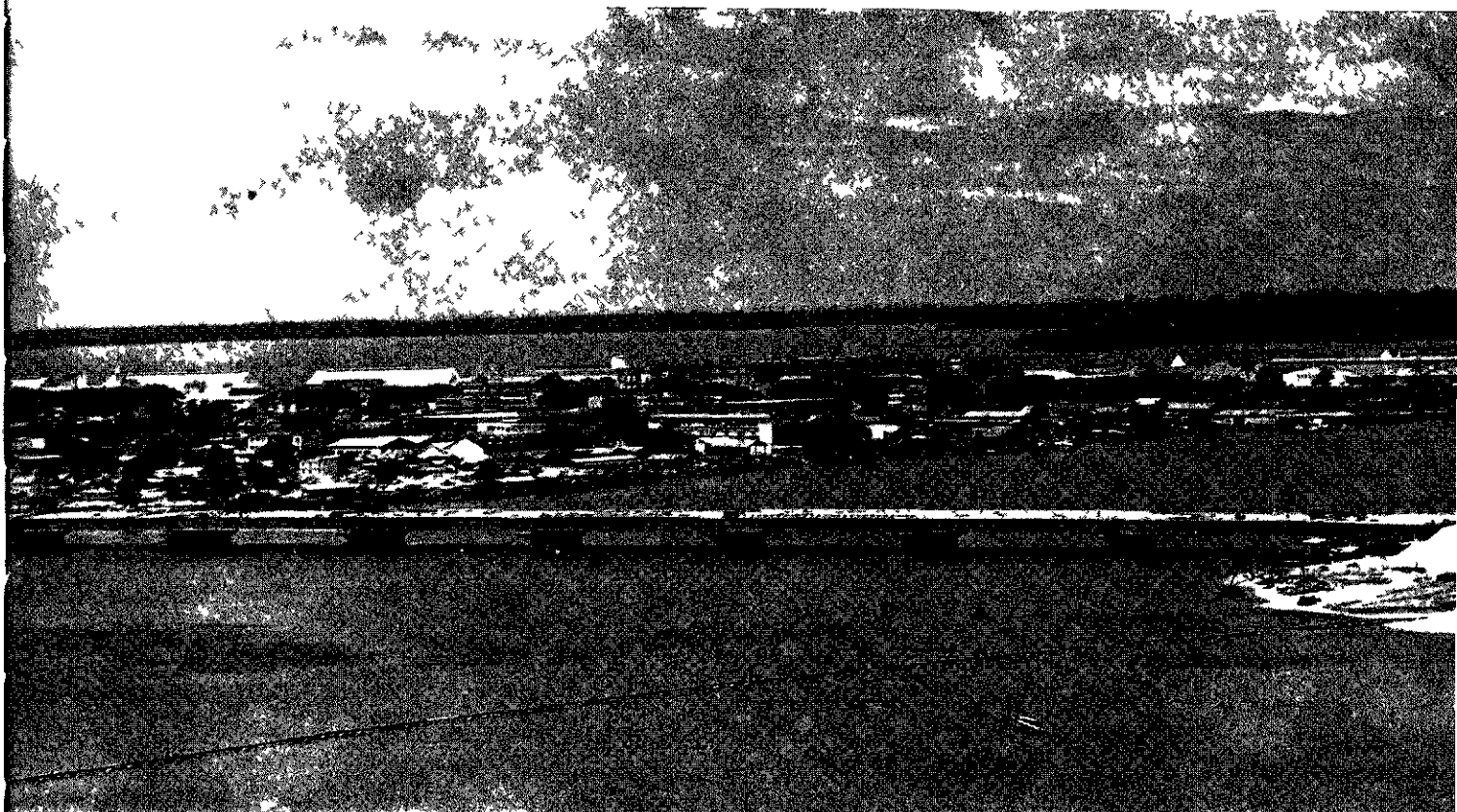
Cette nécessité s'impose autant au secteur public qu'au secteur privé. Elle appelle à la fois un effort de l'Etat et un effort des professions intéressées. Ce qui importe, c'est beaucoup plus l'importance totale de cet effort que sa répartition entre les uns et les autres.

On hésitera peut-être à le consentir sous prétexte que les ouvrages d'art représentent finalement peu de chose dans le budget total de la Nation, et qu'ils ne concernent qu'un nombre relativement réduit d'entreprises. Observons seulement :

- que leur importance en valeur absolue dans le budget de l'Etat justifie à elle seule des investissements suffisants pour la recherche et le développement ;
- qu'ils sont un des repères les plus significatifs de la valeur technique d'un pays ;
- que les progrès dans les ouvrages d'art se diffusent à tous les domaines de la construction.

Une volonté commune.

En ce qui concerne notre Administration, c'est à la fois sur les études et sur la recherche que doit porter cet effort. Il serait inutile de lancer un programme de recherches s'il ne pouvait se concrétiser en études. Inversement, nos études ne peuvent se développer que si elles s'appuient sur des résultats sérieux de recherches.



*Le deuxième pont d'Abidjan
Un exemple d'exportation de la technique française*

(Photo Cinc-Publicite, Abidjan)

Le malaise que nous avons signalé vient de notre inadaptation actuelle en hommes, en organisation, en machines, à ce qu'impose la situation. Il traduit l'aspiration profonde de tous ceux qui sont passionnés par leur métier à pouvoir l'exercer le mieux possible et à participer au progrès d'ensemble.

Ce que nous avons espéré, en préparant ce Bulletin qui évoque quelques aspects de la mutation que nous vivons, c'est que ce désir de voir notre Administration renforcée dans le domaine technique s'appuie sur une volonté commune, pour vaincre tous les obstacles qui s'opposent à ce qu'il devienne réalité.

L'importance des ouvrages d'art dans les programmes d'équipement routier

Quelles sont les cadences actuelles d'étude et de construction des ouvrages d'art en France ? Quelle est la part « Ouvrages d'art » dans l'effort d'équipement routier en cours ?

La réponse à ces questions, qui paraissent relativement simples, se heurte en fait à de multiples difficultés qui nous amènent à faire un certain nombre de conventions ou d'hypothèses simplificatrices.

1) Les renseignements dont nous disposons ne concernent guère que les ouvrages financés totalement ou partiellement par la Direction des Routes et de la Circulation Routière. Sont donc exclus :

- les ouvrages relevant des autres Directions ministérielles (notamment les ouvrages portuaires, de navigation, de la S.N.C.F.),
- les ouvrages construits par les collectivités locales sans intervention de l'Administration centrale,
- les ouvrages étudiés par notre pays pour l'étranger, au titre de la coopération notamment.

2) Le mot « pont » peut se rapporter à des réalisations d'envergures différentes : entre deux ouvrages tels que le viaduc d'Oléron et un pont courant d'autoroute, le rapport des dimensions et des coûts est de l'ordre de cent à un. Il est déjà bien discutable de les compter chacun pour une unité dans une statistique globale. Conventionnellement, dans notre recensement, nous ne compterons donc pas les ouvrages dont l'importance est inférieure à celle des ponts courants d'autoroutes (350.000 F environ). Il importe néanmoins de savoir qu'une part relativement importante du chiffre d'affaires des entreprises de Génie Civil porte sur des ouvrages de dimensions encore plus faibles, et que les volumes de dépenses que nous envisageons plus loin en tiennent compte.

Par ailleurs, dans les ouvrages de plus en plus complexes tels qu'on en trouve notamment en milieu urbain, comment décompter le nombre des ouvrages sans introduire une large part d'arbitraire ? Combien, par exemple, y a-t-il de « ponts » dans l'échangeur de la Porte de La Chapelle ? ou dans une tranchée couverte de grande longueur et de dimensions transversales variables ?

3) La notion de nombre de ponts construits « par an » est difficile à cerner. En dehors des ponts courants d'autoroutes qui se construisent en quelques mois, les ouvrages les plus importants s'exécutent généralement sur deux exercices au moins.

Pour ces divers motifs, nous avons dû partir *d'éléments très partiels* qui sont rassemblés dans le tableau ci-après. Ces éléments, qui représentent pour trois années différentes les seuls ouvrages d'art du ressort de la Direction des Routes, permettent de dégager des ordres de grandeur et l'importance de l'évolution en cours.



*L'échangeur de la Porte de la Chapelle
Combien voyez-vous de ponts ?*

(Photo Baranger)

ÉLÉMENTS PARTIELS DE RECENSEMENT

Ouvrages	etudies en	1957		1961		1964	
	engages en	1958		1962		1965	
	mis en service en	1960		1964		1967	
		Nombre d'ouvrages	Montant (en millions de francs)	Nombre d'ouvrages	Montant (en millions de francs)	Nombre d'ouvrages	Montant (en millions de francs)
AUTOROUTES DE LIAISON Ponts courants et spéciaux et ponts exceptionnels		33	18	154	93	224	166
FSIR — Direction des Routes Voirie de rase campagne. Voirie en milieu urbain. Ponts détruits par faits de guerre..		37	53	68	91	183	206
Total Général pour les éléments recensés		70	71	222	184	407	372

A partir de ces éléments partiels, on peut s'efforcer d'approcher comme suit l'importance des ouvrages construits annuellement.

1) Le pourcentage des dépenses d'ouvrages d'art par rapport aux crédits globaux d'équipements routiers paraît se situer :

- aux environs de 20 % pour les autoroutes de liaison,
- entre 30 et 60 % pour les autoroutes de dégagement et urbaines,
- entre 10 et 30 % pour les autres voiries.

2) Les ouvrages recensés dans les dernières colonnes du tableau qui précède sont, comme nous l'avons vu, ceux *mis en service* en 1967, c'est-à-dire en moyenne *engagés* en 1965. Pour obtenir le montant des ouvrages à engager en 1970, dont les études nous intéressent dès maintenant, il faut appliquer par rapport à ces chiffres un coefficient de majoration qui, en prenant comme base le montant global des autorisations de programme, devrait être, en moyenne, d'environ 1,6. Ce coefficient ne tient d'ailleurs pas entièrement compte du poids croissant du secteur urbain dans le total.

Le montant global des engagements « Ouvrages d'art proprement dits » intéressant la Direction des Routes en 1970 devrait donc être de l'ordre de 600 millions.

Le nombre d'ouvrages d'art correspondant paraît devoir être compris entre 600 et 700.

3) Ne sont pas compris dans les estimations précédentes les ouvrages des Collectivités locales. Or, si ces ouvrages ne relèvent pas de la Direction des Routes, la grande majorité d'entre eux nécessite l'intervention des Ingénieurs des Ponts et Chaussées.

En appliquant aux seuls montants des autorisations de programme concernant les tranches communale, départementale et urbaine du F.S.I.R. (196 millions en 1967, 240 escomptés en 1970), un pourcentage de dépenses « Ouvrages d'art » moyen de 25 %, on est conduit en 1970 à un supplément de 60 millions pour ces opérations des collectivités locales. Il y correspondrait une centaine de ponts par an.

Contrairement à ce que l'on serait peut-être, a priori, parfois tenté de penser, il ne s'agit pas d'ouvrages de faible importance par rapport à ceux qui relèvent de l'Etat. C'est parmi eux, pour ne citer que quelques exemples, que figurent le viaduc de l'île d'Oléron (3 km. de longueur - 33 millions de francs), les ponts du Boulevard périphérique de Paris y compris ses deux ponts sur la Seine, le pont de Benodet avec sa travée métallique de 200 m.

4) Ne sont pas compris, enfin, les ouvrages construits pour le compte des autres Administrations, de l'E.D.F., de diverses Sociétés concessionnaires, ou à l'étranger sur études faites en France. Une grande partie de ces ouvrages sont construits sous la direction des D.D.E. ou étudiés par des Ingénieurs des Ponts et Chaussées en service détaché. On peut se faire une idée de l'ordre de grandeur de ce que représentent ces « ouvrages divers » en sachant que le nombre des calculs électroniques faits pour de tels ouvrages (ponts S.N.C.F. exclus) représente actuellement 20 % du total de ces calculs, soit le double de ce qu'il en est fourni pour les collectivités locales. Un certain nombre de grands ouvrages figurent parmi ces ouvrages divers, par exemple le pont de la Pyle, avec sa travée précontrainte de 114 m., construit pour l'E.D.F. au titre du rétablissement des communications sur la retenue de Vouglans sur l'Ain.

L'ensemble des considérations ci-dessus conduit à penser qu'en 1970, selon les prévisions du V^e Plan, le nombre total des ouvrages d'art à engager, relevant directement ou indirectement des Ingénieurs des Ponts et Chaussées, devrait représenter de l'ordre de 900 à 1000 ouvrages. Quant au chiffre d'affaires du poste Génie Civil dans les équipements routiers, il se situerait aux environs de 800 millions pour les ponts proprement dits, et avoisinerait sans doute le milliard si l'on y ajoute le coût des ponceaux, ouvrages d'assainissement et murs de soutènement.

Nous rappelons que ces chiffres ne doivent être considérés que comme des ordres de grandeur, le nombre de ponts construits par an n'étant qu'une notion approximative, comme nous l'avons vu pour commencer.

Ces ordres de grandeur doivent cependant être présents à l'esprit quand on évalue l'importance :

- du personnel à consacrer aux études, à la vérification des projets et à la direction des travaux, d'autant que les ouvrages se plient de plus en plus aux exigences du tracé et sont de conception de plus en plus délicate (biais, courbure, etc.);
- du montant des crédits de recherche à consacrer aux techniques intéressant les ouvrages d'art.

Matériaux nouveaux et futurs dans les ouvrages d'art

Les grandes mutations de l'histoire des ouvrages d'art ont été dues, dans le passé, à l'utilisation de matériaux nouveaux : apparition des premiers ponts en fonte à la fin du 18^e siècle, des constructions en fer, en acier, puis en béton armé, au siècle dernier, enfin invention du béton précontraint, il y a juste quarante ans, grâce à l'idée de Freyssinet d'employer des fils d'acier à haute résistance pour comprimer durablement le béton.

Chacun de ces matériaux ne cesse de s'améliorer et c'est, pour beaucoup, l'évolution de leurs caractéristiques qui commande l'évolution des formes des ouvrages.

C'est aussi de la qualité des matériaux que dépend pour une grande part la sécurité : combien d'accidents ont été provoqués par des bétons de résistance inférieure à la résistance escomptée ou par des ruptures fragiles d'aciers...

C'est encore le vieillissement des matériaux qui entraîne, le plus souvent, les maladies et la mise hors service des ouvrages. Une des causes principales de la mort des ponts — en dehors des guerres et de l'agressivité croissante des surcharges — est simplement l'eau : l'eau de pluie qui provoque la corrosion des aciers, l'éclatement des bétons, l'eau des rivières qui délave et creuse les massifs de fondation. Ce sera peut-être demain le sel, encore plus dangereux, qu'on répand par tonnes contre le verglas, si on ne met pas au point d'excellentes chapes d'étanchéité, ou si on ne trouve pas un autre moyen économique de préserver la vie des automobilistes sans pour autant risquer de réduire la durée de vie des ouvrages.

Une collaboration nécessaire.

Tout ceci explique et justifie l'effort tenace que notre Administration poursuit pour mieux connaître et pour améliorer les matériaux. Si les études et les recherches dans ce domaine incombent aux laboratoires, elles concernent très directement les ingénieurs constructeurs, et une collaboration étroite s'impose. Les bureaux d'études doivent se tenir constamment au courant des caractéristiques des divers matériaux — et en béton précontraint, des caractéristiques de déformation différée — et indiquer les voies des progrès possibles. Les Ingénieurs des chantiers doivent savoir ce qu'ils ont à exiger et à vérifier, les précautions à prendre pour la mise en place, la protection et l'entretien, et informer les projecteurs et les laboratoires de leurs constatations. Cette collaboration est d'autant plus nécessaire que l'évolution des matériaux a été dans ces dernières années, et reste, extrêmement rapide. Nous n'en rappellerons ici que quelques aspects.

Les aciers.

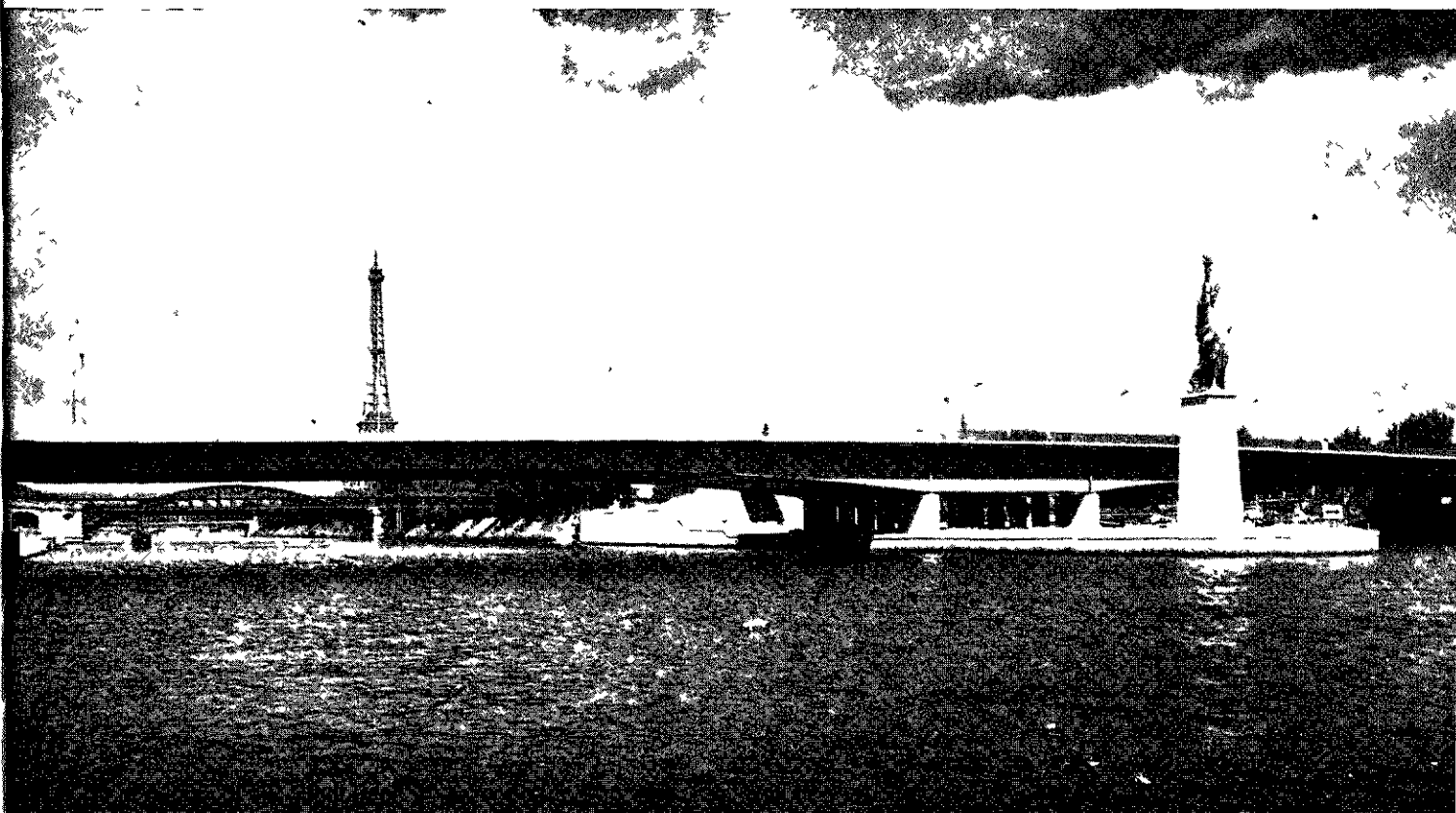
Armatures de béton armé. — Les ronds lisses en acier A.42 de 24 kgf/mm² de limite d'élasticité, seuls utilisés autrefois, ont été largement remplacés par des armatures à haute adhérence de limite d'élasticité au moins égale à 39,2 hbar (soit 40 kgf/mm².

Nouvelle unité légale, l'hectobar vaut $\frac{1}{0,981}$ kgf/mm²).

Armatures de précontrainte. — Il y a une dizaine d'années, les armatures les plus courantes étaient constituées de fils parallèles d'une résistance voisine de 140 hbar dont la relaxation était assez importante.

Aujourd'hui, on utilise soit des fils parallèles dont la résistance atteint, pour quelques-uns, 160 hbar, soit des torons constitués de fils hélicoïdaux dont la résistance dépasse quelquefois 180 hbar. Certaines qualités de fils ont une très faible relaxation garantie. Il en est résulté une diminution sensible de la quantité d'armatures pour une même force de précontrainte. Les câbles sont devenus de plus en plus puissants, permettant la construction d'ouvrages de grande portée.

En même temps, des recherches approfondies ont été poursuivies, notamment au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, sur le phénomène complexe de la corrosion sous tension, qui reste un grave danger pour les armatures imparfaitement protégées. Sans doute, il subsiste encore bien des incertitudes sur ses causes et sur les moyens de s'en protéger. Mais les résultats déjà obtenus ont permis de formuler des conditions assez précises sur les qualités des aciers, et une amélioration très nette a été atteinte sur ce point capital pour la sécurité et la durée de vie des ouvrages en béton précontraint.



*Le nouveau pont de Grenelle à Paris
Sans l'acier 52, il n'aurait pas été si mince*

(Photo Baranger)

Aciers pour construction métallique. — L'acier 42 à 24 kgf/mm² de limite d'élasticité a cédé la place, dans la plupart des ouvrages d'art métalliques, à l'acier 52 soudable à 35,3 hbar (36 kgf/mm²) de limite d'élasticité.

On est passé en même temps d'aciers moyennement soudables à des aciers à haute soudabilité. La plupart des aciers agréés de la nuance A.52 S γ ont une résilience *moyenne* voisine de 12 daJ/cm² à -20° , ce qui permet, malgré la dispersion des valeurs mesurées, de satisfaire pratiquement à coup sûr aux épreuves sévères imposées par le Cahier des Prescriptions Communes ; pour les tôles, les températures de transition des essais de résilience en long sur barreaux entaillés en V varient de -35°C à -70°C au niveau 5 daJ/cm² et de -45°C à -100°C (et même moins) au niveau 3,5 daJ/cm².

Plus récemment sont apparus de nouveaux aciers, additionnés de niobium, de vanadium ou de nickel, présentant les mêmes caractéristiques mécaniques et de résilience, mais conduisant à une moindre dureté sous cordon.

Ces améliorations ont apporté des garanties supplémentaires contre les risques de rupture fragile, et aucun accident de ce genre ne s'est produit dans les ponts depuis dix ans. Elles ont permis de souder sans préchauffage des tôles atteignant 50 mm d'épaisseur, et donc de diminuer les frais d'usinage et de soudage.

Il en est résulté, au total, un allègement spectaculaire des structures en acier.

LES PEINTURES et les autres moyens de protection des aciers, comme la galvanisation, ont aussi fait de grands progrès. Le fascicule du C.P.C., en préparation à ce sujet, représentera un pas en avant très important par rapport à l'empirisme qui était pratiqué autrefois, faute d'études scientifiques sérieuses.

Les bétons.

Sous l'impulsion du béton précontraint qui exige des matériaux à caractéristiques mécaniques élevées, les résistances des bétons n'ont fait que s'accroître ces dernières années. Il est maintenant assez courant de trouver des résistances moyennes sur cylindres à 28 jours avoisinant 450 bars ; on obtient même, dans des régions privilégiées sur le plan de la qualité des granulats, des valeurs maximales dépassant 600 bars.

Ces chiffres sont à comparer aux 250 kgf/cm² de résistance des bétons courants visés dans le Règlement de 1934, qui a été remplacé par celui de 1964. Il s'agissait alors d'essais sur cubes, qui donnaient des valeurs plus élevées que les essais sur les éprouvettes cylindriques devenues réglementaires. L'augmentation des résistances est donc encore plus grande que celle qui résulte de la considération des chiffres bruts.

Il faut noter cependant que les résistances *nominales* à utiliser dans les calculs et qui tiennent compte de la dispersion des essais, sont inférieures à ces résistances moyennes. Or les coefficients de variation (1) qui traduisent numériquement l'importance de cette dispersion ont diminué en même temps que les résistances moyennes augmentaient.

On ne saurait plus admettre, à notre époque, sur les chantiers d'ouvrages d'art, des coefficients de variation compris entre 0,20 et 0,30, tels qu'on les rencontrait souvent avec les moyens artisanaux tolérés jusqu'à une époque récente. Un chantier bien équipé doit permettre d'obtenir des valeurs comprises entre 0,10 et 0,15. Il est même possible de faire mieux, notamment avec les usines de béton prêt à l'emploi dont le développement et l'implantation se poursuivent actuellement à une cadence rapide. Souvent équipées en installations modernes, soumises à une procédure d'agrément (les premiers dossiers sont en cours d'examen, et les problèmes de transport et déchargement seront examinés à cette

(1) Nous rappelons que le coefficient de variation est le rapport de l'écart-type à la moyenne.

occasion) qui sera prolongée par un contrôle suivi, ces usines seront en mesure de fournir des bétons très réguliers et de caractéristiques bien connues à l'avance.

Qu'il s'agisse de béton fabriqué sur le chantier ou en usine, la diminution de la dispersion vient à la fois de l'amélioration des installations et de celle des matériaux.

Au crédit des installations, il faut porter la précision des dosages qui permet de réaliser des bétons conformes aux formules mises au point par le laboratoire ; la qualité des bétons est en particulier liée au dosage en eau dont il est possible de mieux respecter la valeur théorique en mesurant la teneur en eau des granulats et en installant sur les malaxeurs des appareils tels que les wattmètres différentiels qui permettent une vérification globale de la production et une appréciation de la teneur en eau.

Pour ce qui est des matériaux, l'amélioration est, pour l'instant, le fait des ciments pour lesquels des progrès notables ont été réalisés sur le plan de la régularité (du moins dans les usines modernes). Il reste, par contre, beaucoup à faire dans le domaine des granulats.

Enfin, il faut noter qu'un gros effort est en cours et sera généralisé dans les Laboratoires Régionaux pour mettre au point des formules types de bétons. Ces formules permettront de connaître à l'avance et avec précision les résistances nominales qui pourront certainement être atteintes dans un ouvrage à construire en un lieu déterminé.

LES CAOUTCHOUCS ARTIFICIELS ET LES RÉSINES sont de plus en plus employés dans les ouvrages d'art, soit pour améliorer les propriétés de certains bétons, soit pour effectuer des collages, soit pour les équipements — joints de chaussée, appareils d'appui —, soit pour les réparations.

Le téflon apporte une solution particulièrement efficace à tous les problèmes de glissement avec un minimum de frottement.

Le principal obstacle au développement de ces matériaux est leur prix. La principale question qu'ils posent au constructeur est celle de leur comportement dans le temps.

Les contrôles de qualité.

Les méthodes de contrôle statistique sont devenues réglementaires et se sont généralisées. Les caractères mécaniques des différents matériaux sont maintenant définis par la formule $m - k s$, m étant la moyenne des résultats mesurés sur un certain nombre d'éprouvettes, s l'écart-type, k un coefficient variable suivant le matériau.

Cette méthode n'est certainement pas parfaite, et les statisticiens la critiquent avec juste raison. Mais en attendant de trouver mieux, il faut reconnaître qu'elle a permis de mieux connaître les matériaux et d'améliorer la régularité des fabrications.

La procédure d'agrément instituée d'abord pour les aciers soudables, les fils pour précontrainte, les aciers à haute adhérence s'est étendue aux procédés de précontrainte, puis aux usines elles-mêmes, pour les ronds à béton et les bétons prêts à l'emploi.

Elle a pour but de juger de la qualité, de préciser certaines caractéristiques, de faire ressortir les propriétés intrinsèques de tel ou tel produit. Les commissions d'agrément ne se sont pas bornées à examiner de près les conditions de fabrication, la régularité de la production, le respect des caractères garantis. Elles ont poussé les producteurs et les laboratoires à approfondir nos connaissances sur des phénomènes encore insuffisamment maîtrisés, comme la soudabilité des aciers ou la corrosion sous tension, et il en est résulté une nette amélioration des matériaux.

Le contrôle en usine n'est pas une nouveauté ; mais il va être rendu plus efficace par une organisation en cours de création, qui permettra notamment d'alléger les contrôles sur les chantiers.

Les contrôles non-destructifs.

L'amélioration des contrôles de qualité a permis d'augmenter sensiblement la sécurité en ce qui concerne les matériaux à mettre en œuvre. Il reste à vérifier que l'exécution a été correcte, et par la suite, à déceler les symptômes de vieillissement et les maladies qui pourraient menacer l'ouvrage. Jusqu'ici, nous ne pouvions guère recourir qu'à l'examen visuel.

Plusieurs méthodes récentes de contrôle non-destructif, inventées ou utilisées par le L.C.P.C., ouvrent de nouvelles perspectives. Ce sont par exemple :

- *l'auscultation dynamique* qui permet d'apprécier, au moins par comparaison, la résistance des bétons en place,
- *la gammagraphie* grâce à laquelle il est devenu possible, dans certains cas, de contrôler l'injection des armatures de précontrainte et de découvrir des ruptures de fils,
- *le contrôle électromagnétique* qui donne déjà des renseignements assez nets sur l'état d'oxydation interne des câbles de ponts suspendus.

De grands progrès doivent être recherchés dans ce domaine particulièrement important, pour déceler sans délai, sur un chantier, les insuffisances ou les défauts cachés afin de les corriger aussitôt, et surtout pour contrôler l'état réel des ouvrages existants. Le besoin de méthodes sûres et précises se fait déjà sentir pour connaître la résistance des anciens ponts suspendus et des ponts en béton armé. Il faudra bientôt trouver les moyens de vérifier facilement et dans tous les cas l'intégrité des armatures de précontrainte.

Les matériaux futurs.

Dès maintenant, de nouveaux matériaux sont à l'étude et ont déjà été utilisés dans quelques ouvrages : aciers à 70 hb. de limite d'élasticité, bétons légers, aciers autoprotecteurs. Des matériaux tels que l'aluminium et les résines pourraient être employés plus largement si on trouvait le moyen de le faire de façon économique et si on connaissait plus à fond certaines de leurs propriétés. Il est à peu près certain qu'apparaîtront bientôt de nouveaux coulis d'injection, des ciments sans retrait, des bétons à très haute résistance, que les performances des fils de précontrainte seront encore augmentées. La légèreté accrue des ouvrages posera aux constructeurs de nouveaux problèmes relatifs à leur stabilité, à leur déformabilité, aux vibrations, à la fatigue. Cela imposera des recherches sur les structures, pour que les qualités de ces matériaux soient utilisées au maximum, sans diminution de la sécurité.

Et il ne fait pas de doute que, grâce à l'extension des connaissances sur la structure de la matière, grâce aux progrès scientifiques et techniques dans tous les secteurs, des matériaux actuellement insoupçonnés trouveront des applications imprévisibles dans le domaine des ouvrages d'art.

L'évolution des règlements

Les facteurs intervenant dans la sécurité d'une construction peuvent être classés sous trois rubriques : la qualité des matériaux utilisés, la valeur de l'étude effectuée qui se traduit sous la forme de dessins et de notes de calculs ; enfin, le soin et la surveillance apportés à l'exécution. Nous retrouvons ces rubriques dans les titres des fascicules du C.P.C. qui, du point de vue des ouvrages d'art, peuvent être rangés dans trois catégories : la fourniture des matériaux (fascicules 3 et 4), la conception et le calcul des ouvrages (fascicule 61), l'exécution (fascicules 63, 64, 65, 66, 68).

Remarquons tout de suite que, la sécurité constituant un tout, on ne saurait attacher plus d'importance à un texte qu'à un autre ; un ouvrage doit être dans tous les cas étudié sérieusement, puis réalisé conformément au projet (aux tolérances admissibles près).

De même qu'un ouvrage mal conçu donnera des mécomptes même si les matériaux sont d'excellente qualité et bien mis en œuvre, de même un projet soigneusement étudié dans tous ses détails ne constituera qu'une masse de papier sans valeur si le chantier est bâclé.

Les matériaux et l'exécution étant traités par ailleurs, nous nous bornons ici aux règlements de conception et de calcul, en retenant au départ que ceux-ci supposent des coefficients de sécurité ne couvrant que les aléas normaux de l'exécution ; autrement dit, les coefficients de sécurité réglementaires ne sauraient couvrir des erreurs de projet, ni même des écarts importants par rapport aux tolérances admises.

Quelques raisons de l'évolution des règlements.

Nous assistons actuellement à des modifications ou refontes de la quasi-totalité des textes réglementaires ; en comparant les textes actuels (ou en préparation) et ceux qui les ont précédés, on ne peut qu'être frappé par le chemin parcouru ; les directives sont plus précises, beaucoup plus nombreuses et, par conséquent, les justifications à fournir ne font qu'augmenter de volume. A quoi correspond cette tendance ? Les vieux règlements étaient-ils erronés, insuffisants ou bien compliquons-nous les choses à plaisir alors que nos anciens auraient eu tendance à simplifier ? C'est à ces questions que nous allons essayer de répondre. Les causes principales de cette évolution sont les suivantes :

— Les matériaux utilisés évoluent, soit que leurs caractéristiques fassent l'objet d'améliorations (par exemple les aciers et les bétons), soit que l'on mette au point des matériaux nouveaux (par exemple boulons à haute résistance).

— Notre connaissance des matériaux et des structures s'accroît grâce aux nombreux résultats d'essais de laboratoire (toujours plus précis et perfectionnés), grâce aussi aux constatations qui ont pu être faites sur les ouvrages existants. On est ainsi amené à préciser les grandeurs de certains paramètres (tels que le retrait ou le fluage du béton) et aussi à améliorer les méthodes de calcul et la façon de tenir compte de certains phénomènes (tels que la fissuration du béton).

— Nos conceptions en matière de sécurité ont évolué notamment sous l'influence de théories probabilistes qui permettent de mieux évaluer les risques courus. Or, notre époque veut éviter le gaspillage et utiliser au mieux les matériaux dont elle dispose. On est ainsi amené à utiliser la matière au plus juste en s'appuyant sur des méthodes et des théories plus exactes mais plus compliquées, le volume supérieur des justifications à fournir constituant la rançon de l'économie obtenue sur la matière.

— L'amélioration de nos connaissances et de nos moyens (calcul électronique) permet d'aborder des ouvrages plus complexes ; on n'hésite plus à construire des ouvrages biaisés et courbes qui sont soumis, de par leur nature, à des efforts complexes ; d'où la nécessité de prendre en considération de nouveaux cas de sollicitation, alors qu'auparavant nombre de structures n'étaient soumises qu'à des sollicitations simples, et pouvaient être justifiées par des théories simplifiées.

Nouvelle conception des règlements. — Etats-limites.

Une quantité n'est jamais connue en valeur absolue, mais oscille entre des limites souvent imprécises suivant des lois que l'on peut assimiler dans les cas les plus simples à une loi de Gauss ; la quantité considérée sera alors caractérisée par une moyenne et un écart-type.

Or, il n'est pas possible de se baser uniquement sur la moyenne, mais il faut aussi tenir compte des variations possibles autour de cette moyenne, de façon à évaluer le risque encouru et fixer le coefficient de sécurité en conséquence ; le but à obtenir étant que l'ouvrage n'ait que très peu de chances de ruine (elles ne sont jamais nulles) dans le cours de sa vie normale ; nous pressentons ainsi que le coefficient de sécurité pourra être plus ou moins élevé suivant que l'ouvrage est espéré durer 20 ans ou 100 ans.

D'autre part, on veut obtenir une sécurité homogène. Nous nous expliquons : il est vain de surdimensionner un élément de couverture si la poutre porteuse est susceptible de se rompre sous des efforts inférieurs ; tout au plus pourrait-on concevoir une sécurité réduite pour des éléments qui seraient aisément remplaçables et ne mettraient pratiquement pas en cause la sécurité publique.

Jusqu'à une époque récente toutes les théories étaient basées sur l'élasticité des matériaux, hypothèse commode mais qui ne traduit la réalité que de façon imparfaite ; on peut même affirmer que cette théorie est grossièrement fautive pour le béton qui ne peut être considéré comme élastique que sous des efforts très modérés. Ce qui intéresse les constructeurs modernes, c'est d'évaluer la marge existant entre la sollicitation provoquant la mise hors service de l'ouvrage et celle qui correspond à son utilisation normale ; on arrive ainsi à la notion d'états-limites définis comme les états dans lesquels la construction ou un quelconque de ses éléments cesse de remplir les fonctions pour lesquelles il a été conçu.

On distingue plusieurs états-limites correspondant aux différentes causes susceptibles de provoquer la mise hors service ; ces causes peuvent être l'épuisement de la résistance de la matière (rupture proprement dite), la perte de la stabilité (de forme ou de position), l'apparition de fissures préjudiciables, des déformations et déplacements excessifs, des vibrations inadmissibles, etc.

Examinons, par exemple, l'état-limite du béton armé correspondant à l'épuisement de la résistance de la matière : cette résistance sera mesurée par des contraintes dites caractéristiques σ_{ak} pour l'acier et σ_{bk} pour le béton, tenant compte de la dispersion des mesures réalisées sur éprouvettes. La sollicitation limite (on dit aussi ultime) S_u sera une fonction de σ_{ak} et σ_{bk} que nous écrivons : $S_u = F(\sigma_{ak}, \sigma_{bk})$.

La sollicitation de service peut comprendre plusieurs termes, S_1, S_2, S_3, \dots (par exemple, charge permanente, surcharges variables, effets du retrait et de la température). Les facteurs $\sigma_{ak}, \sigma_{bk}, S_1, S_2, S_3$ obéissent respectivement à des lois probabilistes différentes

et devront donc intervenir chacun avec son coefficient de sécurité, soit γ_a pour l'acier, γ_b pour le béton, $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ pour les sollicitations composantes. L'expression traduisant la sécurité de l'élément considéré s'écrira alors :

$$\gamma_1 S_1 + \gamma_2 S_2 + \gamma_3 S_3 + \dots \leq F \left(\frac{\sigma_{ak}}{\gamma_a}, \frac{\sigma_{bk}}{\gamma_b} \right).$$

Tous les coefficients γ ont des valeurs numériques supérieures ou égales à l'unité et sont d'autant plus élevés que les aléas sont plus grands (sauf dans les cas où la charge permanente intervient de façon favorable : il faut alors l'affecter d'un coefficient minorateur tenant compte de l'incertitude de son évaluation).

**

Ces conceptions ont déjà commencé à s'introduire dans nos règlements, sous des formes diverses : citons la contrainte nominale du béton qui tient compte de l'écart-type des valeurs mesurées, la vérification à la rupture des sections en béton précontraint sous surcharges majorées par 1,8, la pondération des surcharges (sollicitations des 1^{er} et 2^e genres) en béton armé, enfin la contrainte admissible du béton qui d'après le Titre VI du fascicule 61 dépend de la nature de la sollicitation exercée. Dans ce dernier cas, on a voulu conserver la théorie de calcul classique (élasticité) de façon à ne pas troubler les habitudes acquises ; mais pour corriger les inexactitudes de la théorie, on a dû faire varier la contrainte admissible du béton qui doit être considérée comme un repère et non comme une valeur scientifique traduisant la réalité.

Le futur règlement du béton précontraint, en préparation, sera basé d'une façon explicite et aussi complète que possible sur la méthode des états-limites.

L'Ingénieur face aux règlements techniques.

Face aux règlements modernes volumineux et complexes, l'Ingénieur ne peut pas adopter une attitude passive et appliquer des recettes de cuisine dont il ignore l'origine. Nous ne sommes plus à l'époque des ponts en maçonnerie dont la tenue était assurée par leur masse même et qui offraient des coefficients de sécurité surabondants. Nous avons déjà indiqué que les tendances modernes allaient vers l'allègement des ouvrages ; en rappelant par exemple que les contraintes normales dans un ouvrage métallique peuvent atteindre les 3/4 de la limite élastique, nous concevons facilement qu'une grosse erreur de conception ou de calcul aurait de graves conséquences. L'Ingénieur constructeur devra donc :

— Savoir que les coefficients de sécurité ne sauraient couvrir des approximations ou imprécisions trop importantes ; les contraintes admissibles réglementaires supposent non seulement une exécution conforme au projet, mais aussi des hypothèses et des méthodes de calcul assez précises. Il faut que toute hypothèse simplificatrice ou méthode approchée soit appréciée quant à sa validité et sa marge d'imprécision de façon à introduire le cas échéant un coefficient de sécurité supplémentaire susceptible de couvrir les aléas correspondants. Notons à ce sujet que certains éléments massifs de formes complexes (tels que fûts de piles conçus pour des raisons architecturales) ne sont pratiquement pas calculables et qu'il faudra en conséquence être très prudent dans la conception de leur ferrailage ; dans certains cas, les essais sur modèles réduits seront le seul recours possible.

— Savoir que certains articles s'appliquent à des structures bien définies et non à des structures qui pourraient paraître analogues ; c'est ainsi que des règles visant le hourdis d'un tablier à poutres sous chaussée ne sauraient concerner les ponts-dalles dont le fonctionnement est différent.

— Connaître les limites et les lacunes des règlements. Ceux-ci traduisent l'état de la technique à l'époque où ils sont rédigés. Mais ils ne peuvent pas tout dire : certains phénomènes sont ignorés ou mal connus. Dans le cadre forcément limité d'un règlement,

il n'est pas possible d'envisager toutes les éventualités, tous les détails, tous les cas exceptionnels. Lorsque les règlements sont muets sur une question (la torsion par exemple), il conviendra d'être prudent et d'adopter des coefficients de sécurité majorés pour tenir compte de notre connaissance insuffisante du phénomène en cause.

— Savoir enfin que dans certains cas (qui ne sont pas forcément signalés par le règlement), on peut sortir du cadre normal d'application des prescriptions ; le règlement devra alors être interprété et utilisé en tant que guide.

Dans ce domaine, le rôle des services spécialisés est évidemment très important, d'abord pour expliquer et conseiller et surtout pour interpréter, pallier des lacunes, accepter et proposer des dérogations. Mais leur intervention ne supprime pas la nécessité pour tous les Ingénieurs constructeurs, où qu'ils se trouvent, de dominer intellectuellement les règlements : une application servile et mécanique des textes pourrait, dans certains cas, conduire à des gaspillages de matière, voire même aboutir à une réduction de la sécurité.

Problèmes d'avenir (immédiat).

De nombreux problèmes difficiles se posent notamment en ce qui concerne la mise à jour et l'extension à tous les marchés de travaux publics du Cahier des Prescriptions Communes, la synthèse dans des documents uniques de règles applicables à des ouvrages très différents, les rapports entre la réglementation technique et la normalisation, etc.

Fondamentalement, ces difficultés proviennent de la nécessité :

- de simplifier (sinon la réglementation risquerait de devenir monstrueuse, et en fait inapplicable) ;
- d'unifier, alors que la technique se diversifie de plus en plus ;
- de préciser des règles stables et indiscutées, alors que la technique évolue tous les jours et que tout, ou presque, est sans cesse remis en question.

Pour l'avenir, en tout cas, il est indispensable :

— que la réglementation s'appuie sur des résultats de recherches théoriques et expérimentales suffisamment probants, car si on peut prendre certains risques consciemment acceptés pour un ouvrage particulier, il n'en est pas de même pour l'ensemble des ouvrages ;

— qu'elle ait une souplesse suffisante pour ne pas bloquer et fossiliser la technique, ce qui suppose que les procédures d'élaboration et de modification des règlements soient adaptées à la vitesse actuelle des transformations et des innovations.

Emploi et perspectives du calcul électronique

En matière de calculs de ponts, l'ordinateur répond aux besoins de notre époque.

Les règlements de calcul des ponts, on vient de le voir, se sont considérablement développés en volume depuis quelques années et continueront à le faire : ceci est la rançon de l'emploi de matériaux de plus en plus diversifiés et de l'obligation, pour mieux utiliser la matière, d'analyser de plus en plus près son comportement dans les ouvrages. Si les ponts modernes coûtent aujourd'hui beaucoup moins cher, au mètre carré, que les constructions plus traditionnelles, ils nécessitent des calculs beaucoup plus complexes. De plus, comme on construit désormais les ponts en fonction des tracés routiers, au lieu de les « raccorder » par les tracés en S de jadis, leurs formes sont devenues très variées : il est banal, par exemple, qu'un ouvrage soit non pas seulement biais, mais courbe de rayon variable, et de largeur également variable. Il va de soi que la longueur et la difficulté du calcul s'en ressentent énormément.

Nous avons également vu que le nombre des ouvrages à calculer est en croissance exponentielle depuis plusieurs années.

Pour toutes ces raisons, les besoins en calcul d'ouvrages ont crû et croissent d'une manière explosive.

Le calcul électronique est venu à point pour fournir les moyens de résoudre ce problème autrement que par un accroissement à peu près proportionnel du nombre des Ingénieurs, qui d'ailleurs n'aurait pas été pratiquement réalisable. En effet, son emploi, dans ce secteur, est, dès 1962 entré, dans notre pays, dans le domaine des applications courantes par l'établissement du programme PS-BA62 de l'ancien S.S.A.R.

Un premier stade dans l'emploi de l'ordinateur : les calculs de structure.

On peut, et ceci est fait un peu partout en France et dans le monde, se borner à commander à l'ordinateur de calculer des tableaux de valeurs numériques représentant le résultat de formules mathématiques, celles de la résistance des matériaux en particulier. On réalise ainsi un *calcul de structure*.

Ceci est déjà fort intéressant et rentable, pour peu que le calcul ainsi automatisé soit un calcul que l'on sera appelé à répéter quelques dizaines de fois au moins au total, avec des valeurs numériques de départ différentes. Tel est le cas, par exemple, du calcul classique des efforts dans les poutres continues (programme TIV).

ARMATURES INTERIEURES

LES ABSCISSES SUR LE PIEDROIT SONT COMPTEES A PARTIR DE L'ANGLE INFERIEUR

TR A V E R S E S U P E R I E U R E

	ABSCISSES DES EXTREMITES		LONGUEUR DES BARRES
MOITIE 1	A1S= 0.50	E1S= 7.25	A1S1= 6.75
MOITIE 2	A2S= 1.50	E2S= 8.25	A2S1= 6.75

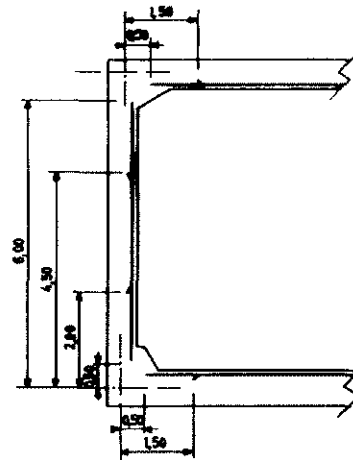
à disposer tête-bêche

TR A V E R S E I N F E R I E U R E

MOITIE 1	A1I= 0.50	E1I= 7.25	A1I1= 6.75
MOITIE 2	A2I= 1.50	E2I= 8.25	A2I1= 6.75

P I E D R O I T S

MOITIE 1	A1P= 0.50	E1P= 4.50	A1P1= 4.00
MOITIE 2	A2P= 2.00	E2P= 6.00	A2P1= 4.00



ARMATURES EXTERIEURES

LES ABSCISSES SUR LE PIEDROIT SONT COMPTEES A PARTIR DE L'ANGLE INFERIEUR

A N G L E S U P E R I E U R

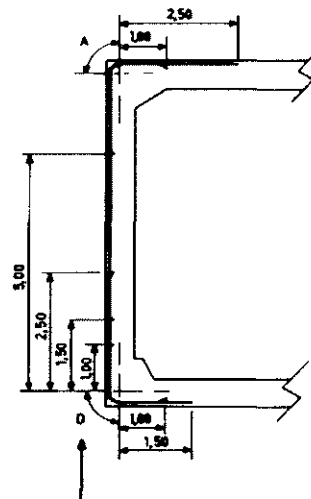
	ABSCISSE SUR LE PIEDROIT	ABSCISSE SUR LA TRAVERSE	LONGUEUR DES BARRES
MOITIE 1	1.50	B1S= 1.00	B1S1= 6.42
MOITIE 2	B2P= 5.00	B2S= 2.50	B1S2= 4.42

A N G L E I N F E R I E U R

MOITIE 1	2.50	B1I= 1.00	B1I1= 3.85
MOITIE 2	B1P= 1.00	B2I= 1.50	B1I2= 2.85

Abcisses imposées à adapter

- dans le cas d'un ouvrage courant, pour que le recouvrement de 1 m soit conservé tout au long du piedroit,
- dans le cas d'ouvrage de faible hauteur, pour que ces barres ne sortent pas du cadre.



Angles la valeur A est comprise égale à $(E_2 + E_3)/2$
" D " " $(E_1 + E_2)/2$

Fig. 2

Cela devient plus intéressant encore lorsque dans une même structure les mêmes opérations sont à répéter un très grand nombre de fois, ce qui rendrait le calcul matériellement démesuré. Tel est le cas, par exemple, des calculs qui nécessitent l'emploi de formules très longues et très complexes ou des approximations successives, et la résolution de systèmes d'équations linéaires de rang élevé. Ce cas se rencontre, par exemple, lorsqu'on doit calculer des dalles de biais prononcé (programmes MRB).

Un second stade : les ponts courants automatiques.

Mais de plus on peut faire prendre par l'ordinateur des décisions, en cours de calcul, pour la poursuite dudit calcul. C'est ainsi que moyennant définition d'un plan de logique établi à l'avance dans le moindre détail, et moyennant dans chaque cas d'espèce quelques choix qui restent du domaine de l'Ingénieur, on peut *faire dimensionner les ouvrages par l'ordinateur*, et non plus seulement, comme dans le cas des calculs de structure, faire établir par l'ordinateur des calculs justificatifs plus ou moins complets. On parle alors de « pont automatique ».

Autrement dit, le projeteur n'a plus alors qu'à remplir un tableau numérique (bordereau des données) contenant les paramètres, géométriques pour la plupart, qui définissent les données particulières de l'ouvrage à construire. Ces paramètres sont au nombre de 30 à 50 environ, dans les cas les plus courants. A partir de ces données, l'ordinateur va établir le projet, c'est-à-dire délivrer une note de calcul contenant les dimensions définitives du coffrage, le détail du ferrailage (ou du câblage) et même l'avant-métré. Il n'y a plus qu'à passer directement au dessin (Fig. 1 et 2).

Chose curieuse, l'Amérique n'avait pas pensé, avant notre pays, à l'intérêt pratique de ces possibilités des ordinateurs, et ces réalisations, exposées en 1965 au Congrès de l'American Concrete Institute de San Francisco, par trois de nos Ingénieurs, ont été pour elle une révélation. Disons tout de suite qu'en revanche, pour sa part, elle s'empressait alors aussitôt de mettre en place tous les moyens utiles pour exploiter cette idée de la manière la plus rentable.

Voyons donc en quoi consiste l'établissement d'un programme projeteur, c'est-à-dire l'ensemble des instructions que l'on doit donner à l'ordinateur pour qu'il dresse des projets de ponts automatiques. Cet établissement représente une tâche lourde et difficile, même pour des ouvrages relativement simples (les seuls qu'on ait, jusqu'à présent, traités ainsi). Nous ne pouvons en donner ici qu'un aperçu. Il comporte les opérations suivantes :

- au préalable, établissement ou rassemblement d'un certain nombre de précédents calculés à la main, permettant de bien connaître la structure et de savoir ce qui conditionne effectivement son dimensionnement ;
- ce stade préparatoire permet d'établir la « logique » du programme, c'est-à-dire d'établir le plan d'ensemble des décisions qu'aura à prendre l'ordinateur. Cette logique, matérialisée par un organigramme, est toujours fortement ramifiée et comporte toujours des recyclages, mais doit couvrir l'ensemble des cas qui se rencontreront en pratique. Un exemple de décision logique consiste à dimensionner l'épaisseur d'une pièce d'après la valeur du moment fléchissant en tel point si la portée est comprise entre telles et telles valeurs, parce qu'on s'est alors préalablement assuré que pour de telles portées l'effort tranchant n'est jamais déterminant ;
- on complète alors l'« analyse » en ajoutant à la logique toutes les formulations mathématiques du dimensionnement et du calcul justificatif qui sera fourni également par l'ordinateur ;
- on peut ensuite passer à la « programmation » proprement dite, c'est-à-dire à l'écriture, selon l'ordre de la logique et en tenant compte des possibilités de l'ordinateur, des instructions que l'on donne à l'ordinateur. Cette écriture se fait en un langage symbolique (FORTRAN le plus souvent), transformable automatique-

Un moment négatif dans le pédroit est un moment qui tend la face extérieure du pédroit.

MOMENTS FLECHISSANTS EXTREMES SUR LE PEDROIT

LES ABCISSES SONT COMPTEES A PARTIR DE LA BASE

	ABSCISSE SECTION	CHARGE PERMAN.	EFFET DC	MOM A	PONDERE CHAR	DES TROTTOIR	SURCHARGES REMBLAI	MOMENTS PONDERES 1ER GENRE	TOTAUX PONDERES 2EME GENRE / 1,5
MAX	0.	-9.02	0.	0.	0.	0.	0.	-9.02	-6.01
MIN		-12.99	-0.06	-6.23	-5.52	0.	0.	-20.97	-15.31
MAX	0.50	-5.50	0.	0.	0.	0.	0.	-5.50	-3.72
MIN		-6.19	-6.50	-6.13	-5.75	0.	0.	-13.90	-10.62
MAX	1.00	-0.92	0.	0.	0.	0.	0.	-0.92	-0.61
MIN		-2.90	-6.34	-6.10	-5.99	0.	0.	-10.51	-8.27
MAX	1.50	2.95	0.	0.	0.	0.	0.	2.95	1.97
MIN		-0.92	-6.18	-6.13	-6.22	0.	0.	-8.34	-6.00
MAX	2.00	5.55	0.	0.	0.	0.	0.	5.55	3.70
MIN		0.62	-6.02	-6.17	-6.45	0.	0.	-6.99	-5.09
MAX	2.50	7.00	0.17	0.00	0.00	0.	0.	7.16	4.80
MIN		1.19	-5.96	-6.23	-6.60	0.	0.	-6.29	-5.44
MAX	3.00	7.44	0.34	0.26	0.02	0.	0.	7.84	5.30
MIN		1.65	-5.90	-6.30	-6.91	0.	0.	-6.11	-5.33
MAX	3.50	6.97	0.55	0.52	0.07	0.	0.	7.63	5.19
MIN		1.26	-6.05	-6.36	-7.14	0.	0.	-6.38	-5.53
MAX	4.00	5.73	0.76	0.60	0.12	0.	0.	6.64	4.58
MIN		0.68	-6.14	-6.63	-7.40	0.	0.	-7.04	-5.98
MAX	4.50	3.04	0.97	0.77	0.16	0.	0.	5.01	3.53
MIN		-0.22	-6.20	-6.50	-7.72	0.	0.	-6.02	-6.65
MAX	5.00	1.43	1.10	0.94	0.21	0.	0.	2.85	2.14
MIN		-1.30	-6.44	-6.57	-8.03	0.	0.	-9.41	-7.49
MAX	5.50	-1.36	1.39	1.12	0.25	0.	0.	0.30	0.48
MIN		-2.74	-6.66	-6.63	-8.36	0.	0.	-11.10	-8.49
MAX	6.00	-4.24	1.61	1.27	0.30	0.	0.	-2.31	-1.22
MIN		-4.45	-6.91	-6.70	-8.73	0.	0.	-13.19	-9.00
MAX	6.50	-5.81	1.82	1.46	0.34	0.	0.	-3.63	-2.06
MIN		-7.65	-7.16	-6.77	-9.11	0.	0.	-16.79	-12.20

MOMENTS FLECHISSANTS EXTREMES SUR LA TRAVERSE SUPERIEURE

LES ABCISSES SONT COMPTEES A PARTIR DE L'ANGLE

	ABSCISSE SECTION	CHARGE PERMAN.	EFFET DC	MOM A	PONDERE CHAR	DES TROTTOIR	SURCHARGES REMBLAI	MOMENTS PONDERES 1ER GENRE	TOTAUX PONDERES 2EME GENRE / 1,5
MAX	0.	-6.10	1.05	1.50	0.35	0.	0.	-3.87	2.21
MIN		-8.27	-7.21	-6.70	-9.18	0.	0.	-17.45	-12.72
MAX	0.50	-3.75	1.69	1.49	0.37	0.	0.	-1.72	0.81
MIN		-5.92	-4.30	-3.61	-5.05	0.	0.	-11.07	-8.24
MAX	1.00	-1.60	2.91	2.16	1.56	0.	0.	1.81	1.79
MIN		-3.05	-2.19	1.40	-1.76	0.	0.	-6.49	-4.76
MAX	1.50	0.10	5.50	3.50	4.27	0.	0.	6.80	5.65
MIN		-2.07	-0.55	-0.62	0.	0.	0.	-2.73	-1.93
MAX	2.00	1.59	7.90	5.33	7.30	0.	0.	11.07	8.96
MIN		-0.50	-0.30	-0.27	0.	0.	0.	-1.04	-0.77
MAX	2.50	2.80	9.68	6.05	9.71	0.	0.	14.41	11.54
MIN		0.63	-0.21	-0.15	0.	0.	0.	0.37	0.21
MAX	3.00	3.73	10.54	7.90	11.62	0.	0.	16.41	13.05
MIN		1.56	-0.05	-0.07	0.	0.	0.	1.50	0.99
MAX	3.50	4.37	11.40	8.77	12.92	0.	0.	18.05	14.31
MIN		2.20	0.	0.	0.	0.	0.	2.20	1.46
MAX	4.00	4.72	11.77	9.11	13.63	0.	0.	18.85	14.92
MIN		2.55	0.	0.	0.	0.	0.	2.55	1.70

Fig. 3

ment en « langage machine », exclusivement numérique. Un programme de pont automatique comporte un ordre de grandeur de 10.000 *instructions Fortran* ;

- on doit encore procéder aux tests du programme. Ceci comporte nécessairement une foule de mises au point, qui ne sont pas seulement d'ordre matériel : on découvre alors toujours certains cas que l'on n'avait pas prévus dans l'analyse ; par exemple, l'influence d'un arrêt de câble de précontrainte s'étend, pour certaines configurations, dans la zone d'influence d'un autre arrêt de câble de sorte qu'il faut alors prévoir l'éventualité d'une zone intermédiaire où une formule particulière de raccordement est à appliquer. En effet, si l'ordinateur est fidèle et infatigable, il est incapable de la moindre imagination ; aussi faut-il lui avoir *tout* expliqué à l'avance ;
- le programme en état, il faut le mettre à la disposition des utilisateurs. Comme ceux-ci sont l'ensemble des bureaux d'études, des maîtres d'œuvre et des entreprises, et que le nombre des ouvrages à construire (615 notes de calcul ont été commandées au S.E.T.R.A. pendant la seule année 1967) exclut une consultation particulière par ouvrage à étudier, il n'est pas d'autre moyen que de mettre à la disposition des intéressés tous les éléments qui leur permettront, sans devoir s'initier le moins du monde aux mystères du fonctionnement de l'ordinateur, de préparer le « bordereau des données », c'est-à-dire leur commande particulière, et de comprendre sans difficulté la note de calcul définissant et justifiant le dimensionnement, préparée par l'ordinateur.

Ce moyen, c'est le sous-dossier 2 du *dossier-pilote*, dont il sera question au chapitre suivant ; la note de calcul étant par ailleurs présentée sous la forme des notes manuelles (cf. figure 3).

Et après ? Il faut suivre l'exploitation, ce qui conduira en particulier à découvrir encore, de temps en temps, des « cas vicieux » où une combinaison de données aura échappé à la logique du programme et où une retouche de celui-ci sera nécessaire. Et ultérieurement reprendre de loin en loin le programme pour l'adapter à l'évolution de la technique et des règlements.

On ne s'étonnera donc pas si, pour une année seulement de programmation proprement dite, en ordre de grandeur, ce sont généralement de trois à cinq ans qui sont nécessaires pour l'ensemble des opérations énumérées ci-dessus. Ceci explique que beaucoup des programmes aient dû être mis en service avant d'être achevés, c'est-à-dire en ne donnant qu'un dimensionnement partiel qui devra être ensuite complété à la main. Et comme on a traité en premier lieu les structures les mieux connues, la difficulté du travail va évidemment croissant.

Aussi serait-il souhaitable que chaque nouveau programme à entreprendre ne soit pas, du fait de la mobilité des Ingénieurs, un coup d'essai : on ne peut compter que de tels coups d'essai se transforment généralement en coups de maître, car en ce domaine l'expérience est primordiale.

La bibliothèque des programmes publiés par le S.E.T.R.A.

Ainsi a été constituée, peu à peu, par une petite équipe aujourd'hui malheureusement en grande partie dispersée, une bibliothèque de programmes de calculs de ponts que l'on trouvera rassemblée dans la figure 4. La consistance de ces programmes est exposée, en une demi-page environ pour chacun, dans le chapitre IX du catalogue CAT 67 du S.E.T.R.A. (ancien S.S.A.R.).

On constatera que ces programmes couvrent une bonne part des structures courantes. Cependant beaucoup d'entre eux nécessitent encore un complément de calculs manuels assez important et qu'il serait hautement rentable d'automatiser ; et dans le domaine des ponts spéciaux, dont le calcul est précisément le plus long et le plus complexe, ce sont encore quatre-vingt-dix pour cent du travail qui restent à faire.

BIBLIOTHÈQUE DES PROGRAMMES ÉLECTRONIQUES D'OUVRAGES D'ART DU S.S.A.R.

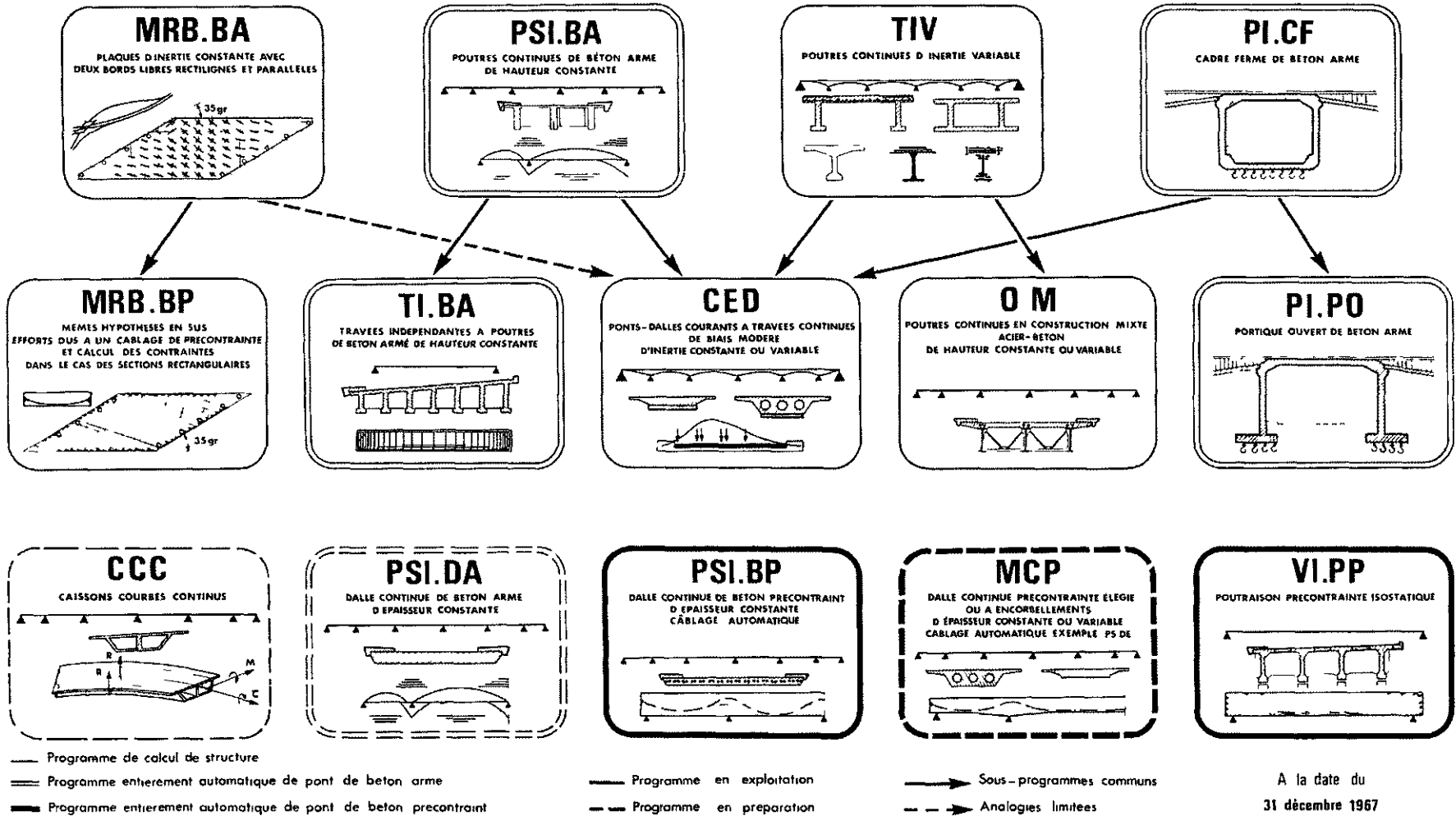


Fig. 4

Tous ces calculs sont hautement rentables.

Quelques mots maintenant sur la rentabilité de ces méthodes :

1° Le coût marginal d'une note de calcul du pont automatique, c'est-à-dire le coût du passage en ordinateur, est, selon le programme, compris entre 180 et 600 F, soit de l'ordre du dixième d'une note manuelle dont au surplus la qualité serait moins régulière.

2° Le coût total doit comprendre en sus l'amortissement du programme. Celui-ci représente une dépense importante ; plusieurs dizaines d'usages sont nécessaires pour l'amortir. Mais la large diffusion qui a été faite de nos programmes assure cet amortissement de façon surabondante : dès à présent, en moyenne, chacun de nos programmes a déjà servi plus de deux cents fois...

3° Le pont automatique est un pont « sur mesure industrielle » dans lequel les matériaux sont utilisés au mieux : non seulement il s'adapte exactement au site, sans nécessiter un seul mètre carré de trop (à 500 ou 1.000 F/m²), mais aussi le caractère infatigable de l'ordinateur permet de serrer le calcul au plus près. Ce sont plus de cinquante anciens milliards de francs d'ouvrages qui ont été dépensés ainsi dans les meilleures conditions.

4° Quant aux ponts qui ne bénéficient encore que de calculs de structure, il convient de dire que pour nombre d'entre eux (les sauts de mouton par exemple), le calcul étant inabordable à la main, si le calcul électronique n'avait pas été possible, il aurait fallu employer d'autres structures ou d'autres règles de dimensionnement largement plus coûteuses.

Le calcul électronique des grands ouvrages d'art.

Par rapport aux ouvrages traités par la méthode des ponts automatiques, les grands ouvrages sont peu nombreux. Dans chacune des catégories auxquelles ils appartiennent, leur diversité est grande. Comme on le verra tout au long de cette revue, leur technique est rapidement évolutive.

Tout ceci fait qu'au cours de ces dernières années, on n'aurait pas eu le temps, pour les grands ouvrages, d'établir et d'amortir des programmes projeteurs avant qu'ils soient démodés. Le S.E.T.R.A. (ancien S.C.E.T.) s'est donc orienté vers d'autres modes d'utilisation des ordinateurs.

Le premier de ces modes d'utilisation est l'usage des programmes de calcul de structure, que nous avons déjà décrits plus haut. Il peut s'agir de certains des programmes qui ont été établis pour des ouvrages courants : par exemple, le programme TIV précité peut être parfaitement utilisé pour l'étude d'un pont sur la Seine ou sur le Rhône, son domaine d'utilisation ayant été aisément développé à cet effet. Mais il peut aussi s'agir de programmes de calcul plus spécifiques :

- l'un d'entre eux, par exemple, permet le calcul des lignes enveloppes des efforts dans un tablier continu d'inertie variable encasté sur des appuis élastiques ; une telle structure est, pour des raisons de construction progressive, assez couramment employée pour certains grands ouvrages ; un autre permet le calcul des lignes enveloppes dans une poutre continue portant une largeur de tablier variable, pour un coefficient d'excentrement prédéterminé ;
- plusieurs d'entre eux permettent, par certaines assimilations, pour certaines structures, d'effectuer le calcul des efforts réels en le ramenant au calcul d'une structure équivalente hautement hyperstatique composée d'un ensemble de barres encastées les unes sur les autres ; les programmes ainsi utilisés sont des programmes très généraux.

L'usage de tels programmes — souvent privés, parce qu'ils ont été établis soit pour les besoins propres d'une entreprise spécialisée, soit pour des ouvrages très divers et non pas particulièrement pour les ponts — présente, surtout dans le dernier cas, l'inconvénient qu'il reste souvent une part importante de calcul à faire à la main.

Aussi, pour certains types d'ouvrages, a-t-il été reconnu rentable, sans aller jusqu'au « pont automatique », d'étendre le calcul des structures jusqu'à un stade intermédiaire : celui des « programmes vérificateurs ». Un premier exemple en est la vérification entièrement automatique d'une travée indépendante en béton précontraint de coupe transversale quelconque, à poutres éventuellement préfabriquées. Un second exemple, en cours d'achèvement au S.E.T.R.A., concerne un pont en béton précontraint construit par encorbellement. En un tel cas, le projeteur, après avoir dimensionné l'ouvrage par des calculs sommaires et approximatifs, le décrit dans un bordereau des données très détaillé ; l'ordinateur lui fournit une note de calcul justificative dans laquelle il trouvera les éléments nécessaires pour décider de conserver ou ajuster son premier dimensionnement ; au prix de deux ou trois passages en machine au plus, l'ouvrage est définitivement dimensionné sans avoir nécessité beaucoup de calculs manuels.

Un dernier mode de recours au calcul électronique, spécifique des grands ouvrages, est l'usage d'un petit ordinateur de bureau. Il s'agit alors d'effectuer automatiquement de petites fractions de calcul simples, mais fréquentes et fastidieuses, telles par exemple que calculs des moments d'inertie d'une section, de pertes de précontrainte, calculs en flexion composée d'une section en I. Au cours de l'établissement d'un projet, par ailleurs généralement manuel, le projeteur vient un certain nombre de fois faire lui-même sur la machine de telles fractions de calcul. Pour éviter des temps morts répétés, il est alors indispensable de disposer sur place de la possibilité de faire effectuer immédiatement le calcul.

Tout ceci n'épuise pas entièrement le sujet et l'on peut ajouter par exemple que, pour les ouvrages de toutes natures, l'ordinateur a permis l'établissement ou l'amélioration de nombreux abaques d'excellente qualité. C'est ainsi que les anciens abaques de calcul de dalles qui nécessitaient des calculs manuels fastidieux ont été complétés par des abaques donnant directement le moment recherché sous les surcharges réglementaires au moins dans les cas courants. D'autres exemples concernent la résistance, sous flexion composée, des poteaux de section circulaire ou annulaire.

La poursuite de l'effort entrepris, condition indispensable d'un niveau technique honorable.

Pour terminer sur ce chapitre, quel peut — et doit — être l'avenir de ces méthodes ? Il va de soi que la mutation des méthodes est irréversible : il est devenu impensable — et impossible — de revenir au calcul manuel dans le domaine des calculs de ponts qui ont fait l'objet d'une automatisation.

Il faut évidemment terminer ce qui est seulement entrepris, dans le domaine des ponts courants et dans celui des grands ouvrages ; et faire face aux besoins actuellement non satisfaits, dans le domaine des ponts spéciaux.

Mais, ce faisant, il importe pour *au moins rester dans la course mondiale*, de s'adapter à l'évolution technique que l'on constate à l'étranger. Le renouvellement récent du matériel (ordinateurs de la 3^e génération) étant maintenant un fait acquis, les grandes lignes de l'évolution ultérieure sont les suivantes :

- passage du stade des programmes indépendants au stade des systèmes intégrés unitaires, qui moyennant réécriture de l'ensemble des sous-programmes en fonction d'un plan unique, permettent de traiter les problèmes les plus variés et permettent l'exploitation, en téléprocessing, par les grands utilisateurs ;
- dessin automatique des projets, complétant la détermination manuelle : plusieurs réalisations intéressantes, dans notre Service, montrent que le problème ne présente pas de difficulté particulière et nécessite seulement que des Ingénieurs puissent s'y consacrer.

Tout ceci est déjà réalisé là où les moyens nécessaires ont été mis en place :

- en Amérique, par plusieurs organismes à la fois, et ce en moins de trois ans ;
- en France même, dans le domaine des études de tracés.

La standardisation des ponts

Pourquoi des ponts standardisés ?

En regard des autres aspects de l'évolution technique en matière d'ouvrages d'art, la standardisation des ponts peut paraître un objectif de modeste importance. En effet, pour les ouvrages d'art de même que pour tout autre objet, la normalisation n'est pas par elle-même créatrice, hormis dans un seul domaine (mais celui-ci est de toute première importance), celui des *méthodes de travail*. Son but général est en effet de faire en sorte qu'un problème, qu'il soit d'étude ou de fabrication, qui se pose de façon répétitive, soit résolu une fois pour toutes pour un certain nombre d'années. Ses avantages seront des gains de temps, d'argent et de qualité.

La normalisation est une nécessité dans une société industrielle. En matière de ponts, après un certain nombre de réalisations limitées parfois fort anciennes (les premiers « projets types » sont antérieurs à la deuxième guerre mondiale), elle ne s'est véritablement développée qu'à partir de 1960 lorsque la nature et l'abondance des besoins à satisfaire en matière de ponts a nécessité de passer à l'échelle industrielle, c'est-à-dire lorsque notre pays s'est engagé dans un vaste programme d'autoroutes de liaison.

Il aurait été facile, à cette époque, de se fourvoyer dans des voies sans grand débouché. On aurait pu par exemple miser sur le réemploi des projets, moyennant certaines adaptations éventuelles. Or il a été prouvé, par un examen attentif, et confirmé par l'expérience, que le pourcentage des projets qu'il est rentable de réutiliser, dans les conditions que l'on rencontre sur un réseau routier tel que le nôtre, est *très faible* (cf. article publié dans la Revue « La Route », de septembre 1965, page 61, par MM. A. THIEBAULT et H. MATHIEU). Bien des pays s'y sont laissé prendre cependant, et le résultat est que pour l'étude d'ouvrages souvent assez modestes ils sont encore obligés de traîner avec



Un pont standardisé
type PSOM
(ouvrage mixte
acier-béton)

(Photo CFEM)

eux une véritable et coûteuse armée de projeteurs. Si, dans notre pays, les choses ont suivi un cours différent, c'est parce que, lorsque le problème s'est posé à notre Administration et peut-être parce qu'il s'est posé alors brutalement, celle-ci a su, et voulu, mettre en place les moyens nécessaires pour qu'il soit correctement résolu.

Les ponts-types et les éléments-types.

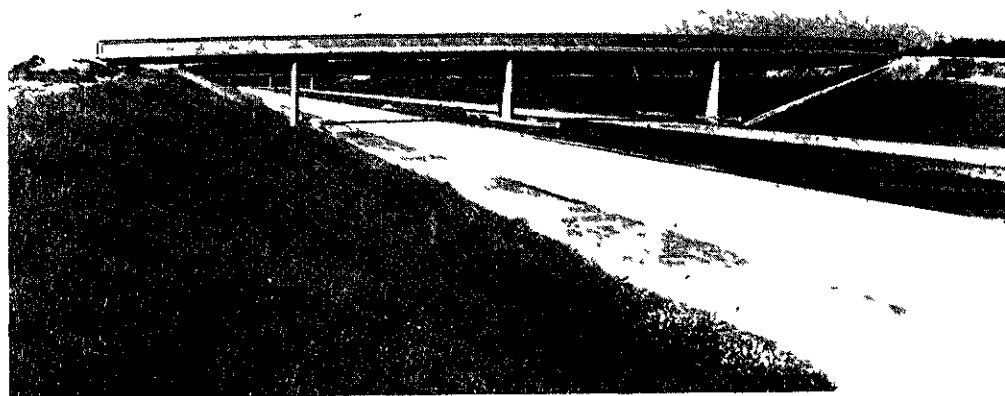
Il s'agissait alors essentiellement de normaliser les études des ponts courants des autoroutes. La solution mise en œuvre a déjà fait l'objet de très nombreuses publications. Nous n'y reviendrons donc aujourd'hui que brièvement, pour remettre en mémoire ses caractéristiques principales et en dégager certaines conclusions.

Les ponts à construire, assez bien groupés du point de vue de leurs dimensions générales, pouvaient être réalisés suivant un petit nombre de types. Mais en raison des besoins routiers :

- le nombre des combinaisons possibles de leurs dimensions individuelles (portées, largeurs des chaussées, trottoirs et bande d'arrêt d'urgence, biais, niveau, pente moyenne et courbure du profil en long, etc., soit au total quelques dizaines de paramètres) était astronomique ;
- la continuité des tabliers était souhaitable et rendait malaisée la constitution de ceux-ci par éléments identiques, préfabriqués ou non.

La répétition en identique d'un certain nombre d'éléments constitutifs des ponts courants est assez largement répandue dans plusieurs pays européens ; elle a posé des problèmes nouveaux qui ne sont pas toujours résolus d'une manière pleinement satisfaisante ; compte tenu de l'outil mis en place dans notre pays et des conditions économiques et géographiques qui lui sont propres, elle n'est généralement apparue, pour ces ouvrages, avantageuse ni sur le plan du coût total ni sur celui de la qualité.

C'est pourquoi la standardisation des études, en matière d'ouvrages courants, a consisté en la mise au point, pour un certain nombre de types, d'une méthode simple d'établissement de projets d'ouvrages « sur mesures », exactement adaptables à des sites très variés. Sa conception a été si souple et si large que, alors qu'elle avait été conçue à l'origine pour les seuls ponts des autoroutes, de très nombreux ponts routiers y ont trouvé tout naturellement place : à ce jour, *près de la moitié des usages de ces méthodes ont lieu pour des ponts du réseau routier.*



Un pont type PS.BP (passage supérieur, pont-dalle en béton précontraint)

(Photo SETRA)

La bibliothèque des dossiers-pilotes et le Catalogue.

Il est aujourd'hui bien connu de tous que le moyen par lequel se matérialisent ces méthodes, c'est le *dossier-pilote*, dossier fournissant dans un cadre lui-même normalisé, organisés dans un ordre logique, tous éléments utiles à l'établissement le plus rapide possible de projets. Sa consistance générale, illustrée par quelques « aperçus », est également bien connue : on y traite d'abord généralement du choix de l'ouvrage, de son dimensionnement général et préalable par abaques et des dispositions constructives ; vient ensuite, avec le dimensionnement complémentaire de détail, le calcul définitif qui est fait par un programme électronique ; et enfin un exemple d'application.

Le projeteur utilisant un dossier-pilote se voit ainsi guidé par celui-ci tout au long de son étude. Le dossier ramènera à peu de chose son travail matériel — hormis pour le rassemblement des données particulières d'ordre local — et fixera beaucoup de dispositions de détail. Mais il l'invitera à procéder à un certain nombre de choix ; ceux-ci lui seront proposés dans un ordre logique, avec le maximum d'éléments de décision, mais il lui restera à apprécier et à trancher. On ne doit donc pas penser que projeter un pont type suffise pour éluder les problèmes. En bref, le dossier-pilote guide et assiste l'ingénieur ; il ne le supprime pas.

Dans certains cas particuliers, les équipements des tabliers par exemple (garde-corps, joints de chaussée, etc.), il est possible d'aller plus loin. C'est pourquoi, depuis un peu plus d'un an, il a été diffusé un certain nombre de *Spécifications*, dessins accompagnés des rédactions nécessaires qui sont fournis sous forme de calques, prêts pour un emploi direct dans les dossiers d'appels d'offres. En ce cas, les choix auxquels il reste à procéder se limitent à la sélection des modèles.

Cette manière de faire, outre qu'elle présente le maximum d'avantages en matière de simplification des études, a aussi des avantages évidents en matière de qualité et de prix.

Bien entendu, tout ceci n'est bénéfique que sous les conditions suivantes :

- la *qualité* des dossiers, intrinsèque et aussi pédagogique ; les Ingénieurs qui ont eu à utiliser des éditions vieilles d'il y a cinq ans, et les éditions récentes, savent bien quels progrès ont été réalisés à ce sujet ;
- la *tenue à jour* et l'amélioration permanentes ; ceci est une nécessité vitale pour toute normalisation, sous peine de devoir l'abandonner, ou de figer la technique. Tout ce que l'on savait sur le sujet, lors de l'édition précédente, étant contenu dans celle-ci, le point de départ est toujours assuré pour que l'édition suivante soit meilleure. Toutefois l'amélioration elle-même dépendra grandement de l'expérience des Ingénieurs — s'ils sont autres que les auteurs initiaux — qui seront chargés de la révision.

Le domaine couvert par les dossiers-pilotes existants est illustré par la figure ci-contre, qui en montre en outre l'articulation. Il est important, l'ensemble constituant une bibliothèque de 1,20 m d'épaisseur totale. C'est pourquoi, afin d'y pénétrer aisément, une clé était nécessaire. Cette clé existe depuis deux ans ; c'est le *Catalogue* (actuellement CAT. 67), brochure à laquelle tout utilisateur aura à se reporter pour commencer y compris pour définir et passer ses commandes de dossiers et de calculs.

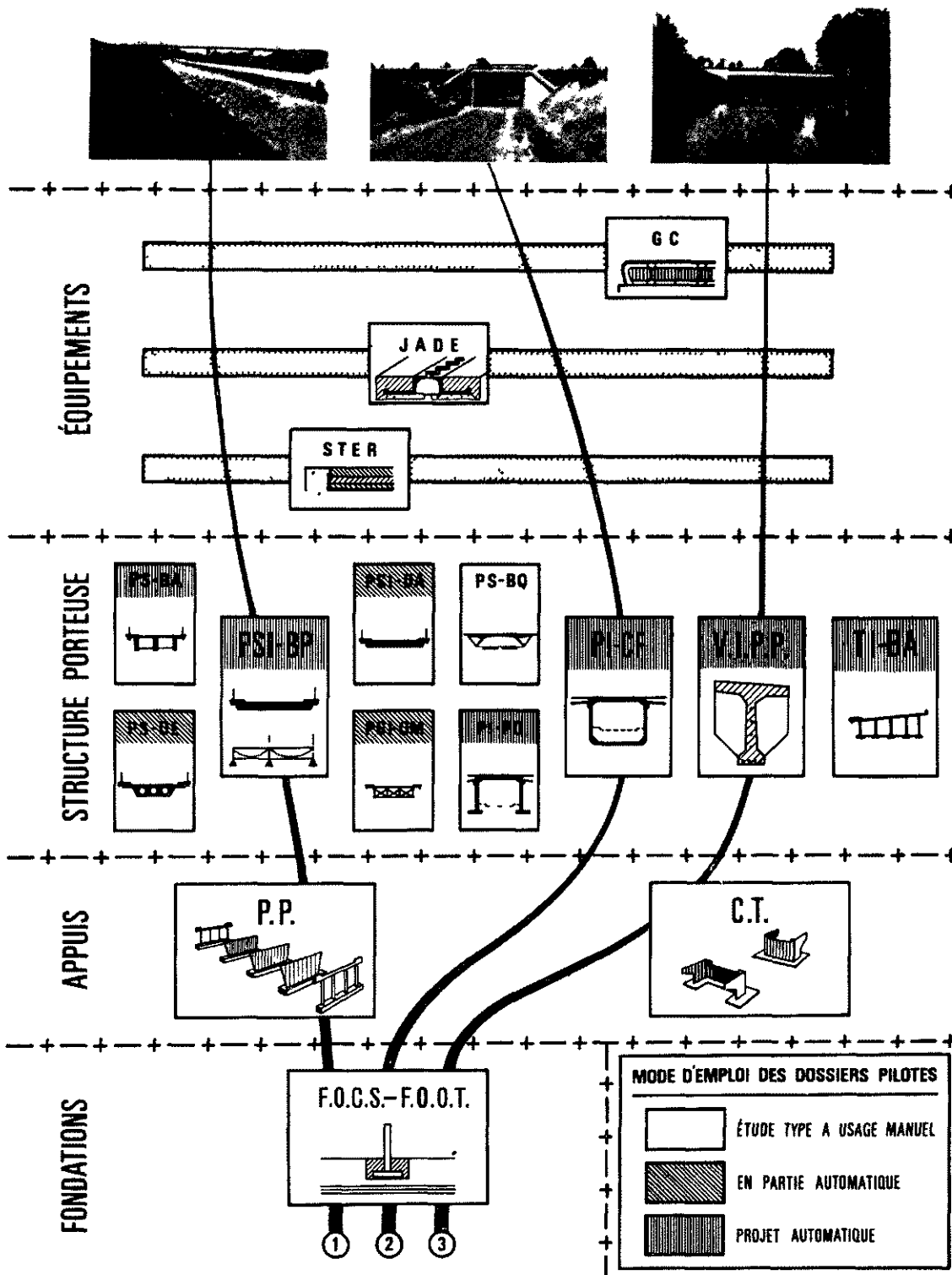
Le Catalogue n'est d'ailleurs pas seulement une clé ; il contient par lui-même beaucoup de renseignements directement utilisables par le projeteur : tout ce qui avait valeur générale et qu'il était donc inutile de répéter dans chaque dossier particulier. Il constitue en fait une véritable *doctrine* en matière d'études de ponts non exceptionnels. Nous pensons qu'il y a là, dans un domaine technique précis, un exemple de ce qu'une Administration centrale peut, si elle le veut, faire dans d'autres domaines. Mentionnons en outre, au passage, ses Annexes EST et FOOT, documents de synthèse qui évitent aux projeteurs d'innombrables calculs préliminaires manuels, dans les premiers stades des études, en matière d'estimation et de fondations et sondages.

COMPOSITION D UN PONT-TYPE COURANT

EXEMPLE 1 PASSAGE SUPERIEUR

EXEMPLE 2 PASSAGE INFERIEUR

EXEMPLE 3 PASSAGE HYDRAULIQUE



Le chemin qu'il reste à faire.

Tout ceci constitue un ensemble que nous pouvons considérer avec quelque satisfaction, sachons le reconnaître, en raison du très grand nombre d'usages — spontanés, pour une très forte proportion, de la part des Services locaux — auquel il a donné et donne lieu. Ce succès a même été tel que, courant 1968, le S.E.T.R.A. s'est trouvé dans l'obligation, par suite de contraintes financières, et non sans regret, de freiner certaines commandes de dossiers peut-être trop enthousiastes et en tout cas trop coûteuses.

Pourtant, on ne saurait, sans un grave danger, laisser s'accréditer l'illusion que tout soit fait ou presque dans ce domaine : la moitié environ des dossiers existants remonte à 1964 ou au-delà ; elle est actuellement largement dépassée sur le plan technique et en retard d'un, voire de deux Règlements de Calcul. Un certain nombre de types d'ouvrages ne sont pas encore standardisés, alors qu'ils mériteraient de l'être ; c'est le cas de divers ouvrages spécifiquement routiers, des murs de soutènement, des sauts de mouton, des viaducs plus ou moins courbes à faible encombrement au sol, des trémies et, de façon générale, des ouvrages urbains dont le V^e Plan a pourtant, depuis 1965, annoncé le grand développement. Et un certain nombre de plus grands ouvrages doivent maintenant être traités par ces méthodes, l'accroissement de la demande ne permettant plus de les traiter rationnellement au coup par coup. Quoiqu'avertis en temps utile par le V^e Plan, *nous sommes maintenant en retard* dans ce domaine. Ajoutons que les efforts ont été concentrés jusqu'à présent sur la standardisation des études et qu'en matière de standardisation de l'exécution ce qui a été fait jusqu'à ce jour a été dû à la seule initiative des entreprises (voir article de M. OZENNE dans la revue « L'Ingénieur Constructeur » de décembre 1967) et n'a pas été suffisamment généralisé. Quant à la standardisation des tâches des Maîtres d'Œuvre, rien à ce jour n'a été publié à ce sujet, et ce n'est que dans quelques mois que sera prête une première édition, très préliminaire et provisoire, des *Guides de chantier* qui ont tant été demandés au S.E.T.R.A.

Le béton armé dans les ponts modernes

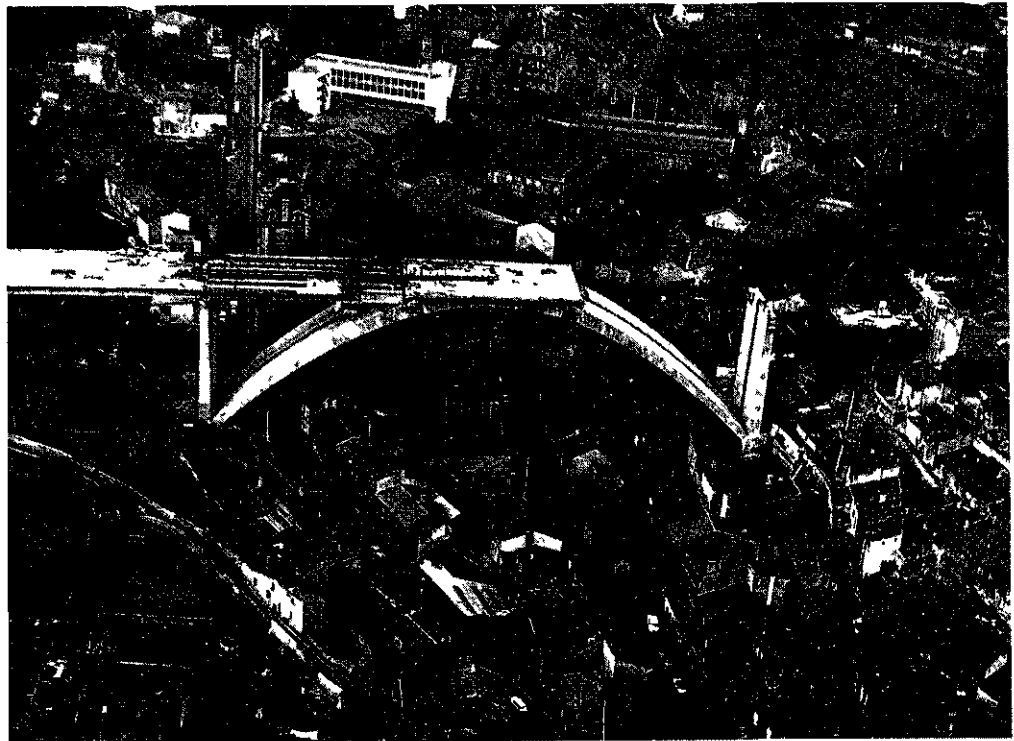
En raison du développement spectaculaire du béton précontraint, on ne parle plus guère des ponts en béton armé. Et il est vrai que ceux que l'on construit maintenant n'ont, pour la plupart, rien d'exceptionnel.

Les derniers grands arcs.

Certes, il a encore été construit, au cours des dix dernières années, quelques grands arcs en béton armé (en moyenne un par an) parmi lesquels :

- le pont d'Armor à Saint-Brieuc sur la vallée du Gouëdic (portée 80 m.) ;
- le pont de Revin à Orzy sur la Meuse (portée 120 m.) ;
- le viaduc de Rive de Gier dont les travées en béton précontraint s'appuient sur un arc en béton armé de 120 m. de portée.

L'abandon progressif de cette solution, pourtant très esthétique pour le franchissement de brèches profondes, s'est avéré inéluctable parce que le coût des cintres devenait prohibitif.



Le pont de Rive de Gier

(Photo Le Progrès)

Les ouvrages standardisés, famille nombreuse de ponts en béton armé.

L'immense majorité des ponts en béton armé que l'on construit encore sont des ponts standardisés. Il n'est peut-être pas inutile de faire savoir que l'on en construit beaucoup, plus que l'on n'en a jamais construit. Se doute-t-on que, dans la seule année 1967, l'ancien S.S.A.R. a fourni aux Services locaux :

- 184 notes de calculs électroniques de ponts en cadre fermé PI-CF ;
- 64 notes de calculs électroniques de ponts en portique ouvert PI-PO ;
- 38 notes de calculs électroniques de ponts à poutres en béton armé PS-BA et TI-BA ;
- 70 notes de calculs électroniques partielles de ponts à dalle continue de béton armé PSI-DA ;

soit plus de la moitié du nombre total des notes de calcul fournies par ce Service ? Nous ajouterons qu'aux Etats-Unis on continue à construire énormément de ponts en béton armé, à tablier en caisson notamment.

En fait le pont en béton armé a déjà presque cessé d'être un cas d'espèce ; et il en est de même des appuis en béton armé d'un grand nombre d'autres ouvrages. Son calcul doit être presque toujours électronique. Considérer le pont en béton armé sous un autre angle serait désormais se limiter à bien peu de chose, essentiellement à des ouvrages de minime importance. Le pont en béton armé se distingue donc maintenant nettement, en ce qui concerne les études, du bâtiment et des autres ouvrages de génie civil.

Pont-type PIPO (Portique ouvert en béton armé)

(Photo SETRA)



L'évolution technique des ponts en béton armé.

Du point de vue technique, nous nous limiterons, faute de place, à quelques indications essentielles.

En ce qui concerne les formes, on remarquera au vu des chiffres qui précèdent la nette prépondérance des structures à deux dimensions (cadres, portiques, dalles) par rapport aux tabliers à poutres. Ceci est dans la ligne de l'évolution générale de la technique des ouvrages en béton.

En ce qui concerne les problèmes que posent actuellement les ponts en béton armé, outre ceux qui concernent les matériaux constitutifs, nous citerons notamment, et brièvement :

- la préfabrication des armatures (nappes principales et armatures de cisaillement) ;
- une meilleure connaissance des conditions de durabilité des ouvrages : ouverture et refermeture des fissures tant de cisaillement (y compris de torsion) que de flexion, en distinguant les comportements sous charges probables et sous charges extrêmes (les seules sous lesquelles on calcule en France), en tenant compte des effets dynamiques réels et de la répétition des charges, et en tenant compte du biais des armatures par rapport aux efforts ;
- l'effet physique réel du coefficient de Poisson, qui pour les ponts dalles a une grande importance pratique sur le tonnage des armatures, alors qu'en fait la variation de contrainte qu'il induit dans celles-ci a une valeur moyenne nulle ;
- l'établissement de règles de dimensionnement tenant compte de l'effet des tassements différentiels ;
- l'établissement de solutions types valables à base d'éléments préfabriqués, qui pour des ouvrages de petites portées seraient en mesure d'économiser des cintres ;
- l'établissement de solutions types pour des ponts à biais très prononcé (portiques notamment).

Il est assez remarquable que dans plusieurs de ces domaines un pays tel que la Suède a plusieurs années d'avance sur notre pays : elle y a consacré non seulement quelques Ingénieurs à temps complet, mais aussi quelques crédits pour essais, pendant quelques années. Pour plusieurs centaines de ponts par an, notre pays n'aurait-il pas avantage, et ne pourrait-il faire de même ?

Les piles et culées.

Les appuis des ouvrages d'art, piles et culées, restent enfin, très généralement, du domaine du béton armé, malgré quelques exceptions, telles que des fléaux très minces des « piles marteaux », pour lesquels l'emploi du béton précontraint est nécessaire.

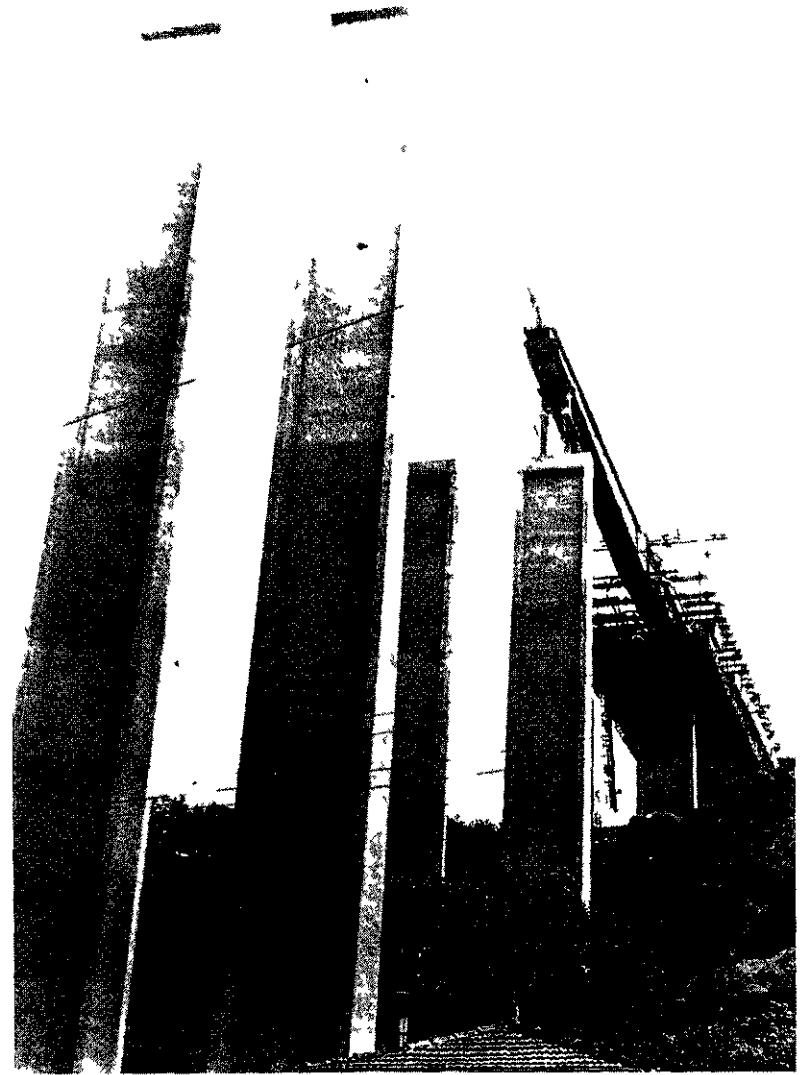
Pour les ouvrages courants, il s'agit presque toujours de solutions standardisées à base de structures simples tels que voiles ou palées. Mais pour les ouvrages importants, surtout en site urbain, les solutions sont souvent très diverses en raison de conditions locales très variées ; on arrive même dans certains cas à des structures importantes et complexes qui posent autant de problèmes que les tabliers dont elles constituent le support.

C'est le cas en particulier de certaines culées sur lesquelles aboutissent des voies de diverses directions ; de tels appuis arrivent à constituer de véritables plates-formes comportant dalles nervurées, voiles verticaux et contreforts dont l'agencement peut être très délicat et nécessite une étude fouillée de la transmission des efforts et des conditions d'accrochage d'un élément sur les parties voisines.

Dans le domaine des piles, en dehors des formes simples qu'il est possible de normaliser, on trouve des formes plus complexes, souvent choisies pour des raisons architecturales ; les solutions économiques pour les tabliers étant en nombre limité, on doit en effet souvent se rabattre sur les piles pour trouver des motifs architecturaux intéressants ; les piles peuvent d'ailleurs s'accommoder, du point de vue technique, d'une certaine fantaisie à condition de ne pas aller trop loin ; rappelons à ce sujet que des formes trop originales que l'on ne sait pas calculer peuvent aboutir non seulement à des dépenses élevées notamment en coffrages et frais d'études, mais aussi à des mécomptes graves, ainsi qu'on a déjà eu l'occasion de le constater.

*Piles d'un viaduc de l'au-
toroute Roquebrune-
Menton*

(Photo SETRA)



C'est enfin dans le domaine des piles de grande hauteur (et dans celui des pylones tels ceux du pont de Tancarville), qu'on a assisté, depuis la guerre, en France comme à l'étranger, à une importante évolution technique sur le plan du mode de réalisation. Il s'agit essentiellement de l'emploi des coffrages glissants, qui s'impose en ce cas, pour des raisons de prix. La forme des piles doit alors être étudiée en conséquence.

C'est suivant cette technique qu'ont été réalisées en France des piles dont la hauteur peut atteindre 60 à 80 m. ; nous citerons comme exemples les piles du pont Louis-Philippe à Villefort, du pont de la Pyle sur le retenue du barrage de Vouglans, enfin tout récemment celles des viaducs de l'autoroute Roquebrune-Menton.

Les hauteurs citées ne constituent d'ailleurs pas une limite et en Autriche (pont de l'Europe sur l'Autoroute du Brenner), la hauteur au-dessus du terrain, dans une région de haute montagne, a pu atteindre 150 m. environ (181 m. depuis le niveau de fondation). Il va de soi que les piles de hauteurs exceptionnelles nécessitent des études et des justifications particulièrement poussées.

Les transformations des ponts métalliques

Depuis les premiers ponts en fonte, auxquels ont succédé les ponts en fer et enfin les ponts en acier, la construction métallique n'a cessé d'évoluer et de se perfectionner.

Cette évolution s'est brutalement accélérée à partir des années 60, en deux étapes :

Les premières transformations sont venues de la substitution très générale de l'acier 52 à l'acier 42 traditionnel, ainsi que du soudage au rivetage.

La deuxième série de transformations, plus récente, a porté à la fois sur les assemblages, sur les modes de conception et de calcul des couvertures, sur les coupes transversales, sur les formes des ouvrages, etc.

Ces transformations sont encore en cours et il est certain que dans les années à venir d'autres innovations apparaîtront.



*Le pont de Pirmil
à Nantes*

(Photo Lavallette)

Les aciers et les procédés de soudage.

Le remplacement de l'acier 42 rivé par l'acier 52 soudé a permis un allègement considérable des ouvrages. La diminution du poids total compensait largement l'augmentation, d'ailleurs faible, du prix unitaire de l'acier. Les ponts en acier sont devenus plus élancés, plus élégants, les surfaces plus nettes grâce à la suppression des couvre-joints rivés.

Les procédés de soudage se sont eux-mêmes améliorés. Le soudage manuel à l'électrode basique a fait place en atelier au soudage sous flux avec électrode en fil continu et au soudage semi-automatique en atmosphère gazeuse.

Il reste évidemment que le soudage est une opération délicate, qui exige un très grand soin dans la conception des assemblages, dans le choix des méthodes à utiliser et surtout dans l'exécution. Un contrôle très sérieux de l'opération et de son résultat est absolument nécessaire.

Les résultats de cette évolution apparaissent dans les nombreux grands ponts en acier 52, depuis le pont des Vignettes construit en 1960, jusqu'aux ponts du Garigliano et de Grenelle à PARIS, en passant par les ponts de SEVRES, du PECQ, de NOGENT, de CHATOU, de VALENCE, le pont Galliéni à LYON, les ponts de la Madeleine et de Pirmil à NANTES (record français de portée des ponts à poutres avec 117,60 m.) et bien d'autres.

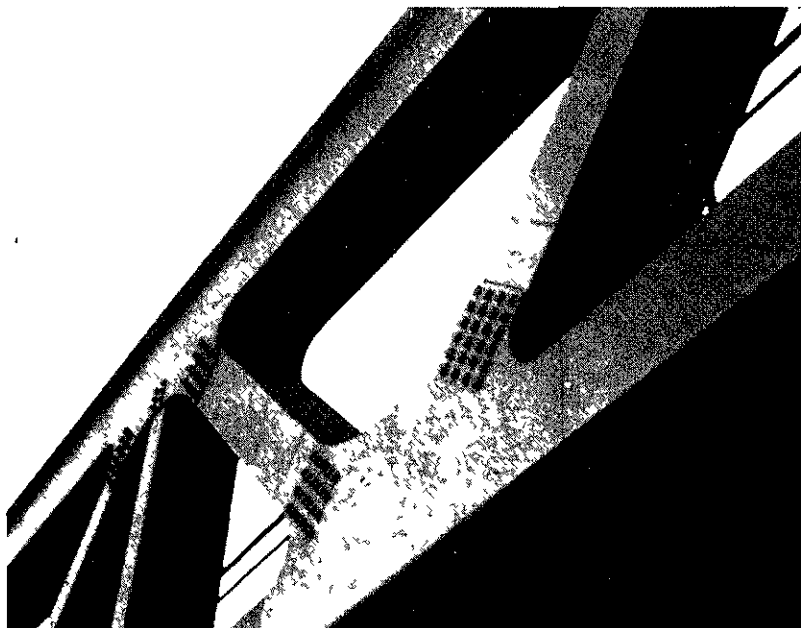
Les boulons à haute résistance.

Sur le chantier, on utilise souvent maintenant, au lieu du soudage, les boulons à haute résistance, notamment pour l'assemblage d'éléments soudés et préfabriqués en usine. Ces boulons, en acier à haute limite d'élasticité, sont plus faciles à mettre en place et plus efficaces que les rivets, réclament moins d'usinage des pièces, et entraînent une réduction des dimensions des goussets. La résistance est obtenue grâce au frottement des éléments fortement comprimés par un serrage contrôlé.

Bien que les paramètres qui déterminent la valeur réelle du frottement ne soient pas encore connus avec précision, ce nouveau mode d'assemblage vient de faire l'objet de prescriptions réglementaires.

*Assemblages
par boulons H.R.*

(Photo SETRA)



De nouvelles couvertures.

La couverture traditionnelle constituée d'une dalle de béton armé dont on supposait qu'elle ne jouait aucun rôle, sinon de poids mort, dans la résistance d'ensemble du tablier, est en voie de disparition.

Elle est remplacée :

- par la *dalle Robinson* — dalle mince en béton armé coulée sur une tôle de 6 à 8 mm. d'épaisseur — employée par exemple au pont suspendu de BORDEAUX et au pont de REVIN ;
- par la *dalle en béton armé (ou en béton précontraint) « participante »*, permettant d'obtenir un ouvrage mixte acier-béton où la dalle est prise en compte dans la résistance à la flexion générale. C'est une solution logique : qu'on le veuille ou non, la dalle intervient en fait dans la résistance générale. C'est une solution économique : l'intervention du béton comprimé dans la résistance permet de diminuer la section d'acier des poutres.
- par la *dalle orthotrope*, constituée d'une tôle raidie dans le sens longitudinal et portée transversalement par des pièces de pont et des entretoises. Cette dalle joue à la fois le rôle de membrure supérieure des poutres principales, des pièces de pont et des entretoises, et de plaque pour la transmission des surcharges locales. Le revêtement noir est posé directement sur la tôle sans interposition de béton. On arrive ainsi à une très grande légèreté (moins de 200 kg/m², au lieu de 290 kg/m² pour la dalle ROBINSON et 400 kg/m² pour la dalle en béton armé).

Mais cette solution ne comporte pas que des avantages. Il faut d'abord que la dalle ne puisse ni glisser ni se soulever. D'où la nécessité de prévoir des organes de liaison, appelés connecteurs. Il faut ensuite faire intervenir dans le calcul les efforts réels dus à cette liaison, notamment ceux qui proviennent du retrait du béton et des différences de température. Il faut enfin analyser et peser les conséquences de la fissuration éventuelle du béton sur la résistance effective. Malgré les nombreuses recherches menées à ce sujet, notamment en Angleterre, nos connaissances sont encore insuffisantes : pour aller plus loin que les règles provisoires établies en 1966, il faudrait disposer de résultats plus nombreux d'essais et d'expériences en vraie grandeur.

Dès maintenant, ce système de « construction mixte » a été utilisé dans de nombreux passages supérieurs, sur l'autoroute de Normandie et sur l'autoroute Paris-Lyon. Il a permis notamment de franchir d'une seule travée toute la plateforme, sans appui sur le terre-plein central, dégageant ainsi la perspective pour l'usager.

Il a été utilisé aussi pour plusieurs grands ponts, où la nécessité de précomprimer le béton a exigé soit des dénivellations d'appui importantes, comme à BELLEVILLE, soit le recours à des systèmes originaux de précontrainte, comme à PONTOISE (fig. 3).

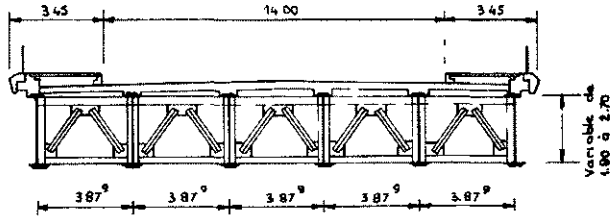
Il est certain que ces opérations « accessoires » compliquent le chantier, augmentent les délais et diminuent l'intérêt économique du procédé. Elles apparaissent pourtant comme nécessaires pour la sécurité tant que des incertitudes subsisteront sur le fonctionnement réel de ce genre d'ouvrages.

Il est certain aussi que cela demande aux projeteurs, à tous échelons, un effort supplémentaire pour analyser les phénomènes dans toute leur complexité. Pour les ouvrages courants, un programme électronique a déjà été établi et utilisé. Pour les ouvrages exceptionnels, la difficulté des études est certainement justifiée par l'économie de matière qui en résulte déjà, et qui devrait être encore plus importante à l'avenir.

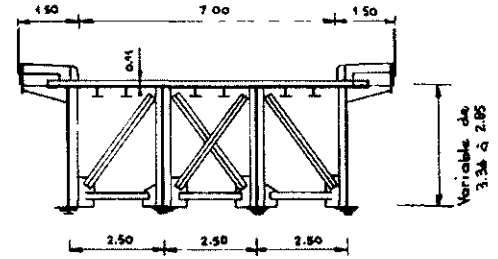
En contrepartie, c'est une couverture coûteuse, à cause du prix unitaire de l'acier et des dépenses dues aux opérations d'usinage et à la longueur des cordons de soudure. Elle n'est donc à envisager que pour les grandes portées, où elle devient rentable grâce à l'économie qu'elle entraîne sur le poids mort.

C'est pourquoi elle n'a été utilisée en France que récemment, alors qu'elle était déjà largement employée à l'étranger, surtout en Allemagne et en Autriche.

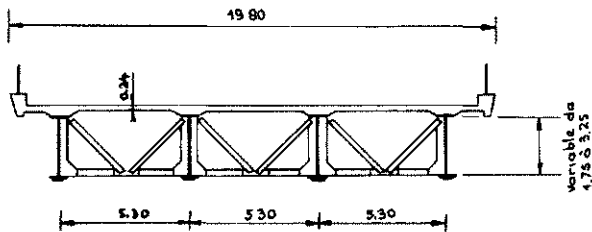
Après quelques expériences sur des ouvrages modestes déjà en service, ce type de couverture a été retenu pour plusieurs grands ouvrages en construction (pont de CHAU-



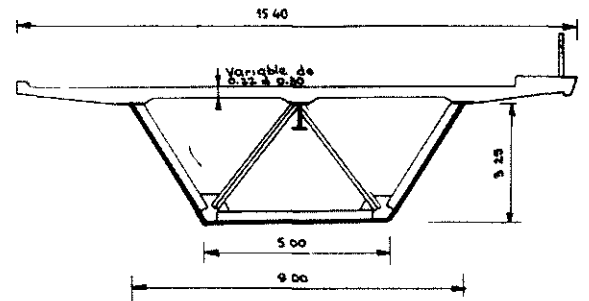
1. Pont à poutre sous chaussée et dalle en béton armé
(Pont sur le bras de la Madeleine à NANTES)



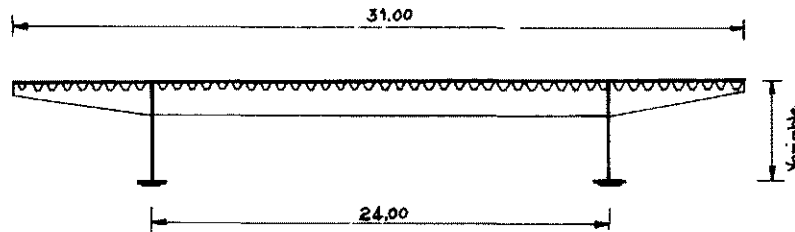
2. Pont à poutre sous chaussée et dalle mince
Robinson (Pont de REVIN)



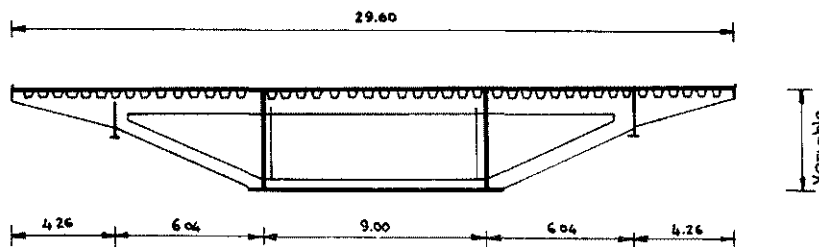
3. Pont à poutre sous chaussée et dalle précontrainte associée
(Pont de PONTOISE)




4. Pont en caisson avec dalle de béton armé associée
(Viaduc de BELLEVILLE)



5. Pont à poutres et dalle orthotrope (Projet du viaduc d'Autreville)



6. Pont à caisson et grands encorbellements (Projet du viaduc de Carante)



Le futur pont de Kernours (Morbihan)

(Photomontage Chauvin, Vannes)

MONT sur la Loire, de KERNOURS dans le Morbihan, de SAINT-AMBROIX dans le Gard) ou en projet (pont de CARONTE, pont de BENODET qui détiendra bientôt le record français des ponts à poutres avec 200 m. de portée centrale, etc.).

En apparence, cette structure est simple. En réalité, elle nécessite des calculs très complexes, un acier de haute qualité et un très grand soin à l'exécution pour obtenir une surface parfaitement régulière.

Malgré toutes les recherches qui ont été faites à ce sujet en Allemagne, les problèmes que posent l'accrochage, la résistance et l'étanchéité du revêtement ne sont pas entièrement résolus, pas plus que ceux qui concernent la répartition exacte des contraintes, la déformabilité, les vibrations, la fatigue.

Là encore, des recherches théoriques et expérimentales restent nécessaires pour arriver à dominer ces questions très difficiles.

De nouvelles coupes transversales.

Le remplacement de la couverture traditionnelle par des couvertures modernes a été de pair avec une évolution des coupes transversales.

L'espacement des poutres, qui était l'imité à 3 ou 4 m atteint maintenant, pour les grandes portées, 10 m, 20 m. et même plus. Cette transformation spectaculaire et audacieuse ne va pas, bien entendu, sans poser de sérieux problèmes concernant par exemple la résistance des âmes au voilement, la déformabilité, la répartition des surcharges dans le sens transversal.

Les principaux types de coupes transversales correspondantes sont :

- le tablier à 2 poutres reliées soit par une dalle en béton armé (projet de CRIQUEBEUF), soit par une dalle orthotrope (projet d'AUTREVILLE, fig. 5).
- le caisson, rectangulaire ou trapézoïdal (fig. 4) portant éventuellement, pour les grandes largeurs, des encorbellements supportés par des bracons (fig. 6) — couvert lui aussi soit d'une dalle en béton armé soit d'une dalle orthotrope.

Il est frappant de constater qu'aucun des grands ponts métalliques actuellement en construction ou en projet ne ressemble, en coupe transversale, à ceux qui viennent d'être mis en service.

De nouvelles formes.

Le type d'ouvrage métallique le plus répandu est de beaucoup le pont à poutres continues sous chaussée (généralement à 3 travées).

C'est une forme claire, simple, élégante, qui s'inscrit bien dans n'importe quel paysage.

Les ponts à poutres latérales triangulées ont presque entièrement disparu, essentiellement pour des raisons d'aspect. On les utilise seulement lorsque l'épaisseur disponible pour le tablier interdit les poutres sous chaussée (pont de LAMARCHE-SUR-SAONE) ou dans des cas particuliers (pont levant de MARTROU). Les réalisations récentes ont évidemment bénéficié des progrès dans les assemblages (soudage et boulons H.R.) et ont beaucoup gagné en légèreté.



Le pont à haubans de Saint-Florent-le-Vieil sur la Loire

(Photo Guiraud, Angers)

Plus récemment, de nouvelles formes sont apparues :

- les *ponts à haubans*, dont le principe, connu et employé dès le siècle dernier, a été utilisé en 1953 près de DONZERE (avec un tablier en béton armé), puis en Suède et surtout en Allemagne où plusieurs ouvrages de ce type dépassent 250 m de portée. En France, nous avons très rarement d'aussi grandes brèches à franchir, aussi n'en existe-t-il que deux exemples récents : le pont de SAINT-FLORENT-LE-VIEIL (2 travées de 104,60 m sur la Loire), et le pont MASSENA (travée centrale de 161,43 m) en construction à PARIS — et deux autres en projet ;
- les *ponts à béquilles obliques* (forme qu'on trouvait déjà dans plusieurs ponts en béton armé et en béton précontraint) qui ne peuvent être envisagés, eux aussi, que pour de grandes portées et lorsque la vallée à traverser présente des caractéristiques spéciales : pont de KERNOURS en construction, viaduc de CARONTE, en projet.

Il résulte, entre autres, de ces innovations, que le pont suspendu de BORDEAUX restera longtemps le plus récent du genre en France, car il faudrait maintenant une brèche d'au moins 400 m à franchir sans appuis pour que ce type d'ouvrage ne rencontre pas de concurrents sérieux.

L'avenir.

Ce panorama très sommaire de l'évolution des ponts métalliques montre au moins la nécessité d'une part de mieux connaître le fonctionnement réel des nouveaux types d'ouvrages, d'autre part de préparer l'avenir en cherchant dès maintenant une amélioration des matériaux, de nouvelles méthodes d'analyse et de calcul, de nouveaux moyens d'assemblage et de montage, de nouvelles structures.

Confrontés, entre autres, avec la concurrence du béton précontraint, les constructeurs de ponts métalliques sont absolument obligés de faire sans cesse de nouveaux progrès. Mais les problèmes à résoudre sont tellement variés, complexes et difficiles qu'ils exigent de nombreux Ingénieurs de grande valeur, disposant de moyens suffisants d'expérimentation. Dans tous les pays industriels, un effort très important est consenti depuis longtemps dans ce domaine ; il est loin d'en être de même en France.

La comparaison entre le nombre des Professeurs et des Laboratoires, le montant des contrats d'études et de recherches passés avec les Universités, en Allemagne, en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis, et les chiffres correspondants dans notre pays, est assez éloquente à cet égard.

C'est essentiellement de la rapidité du redressement à opérer sur ce point fondamental que dépend l'avenir de la construction métallique française.

Présent et avenir des ponts en béton précontraint

Une révolution dans l'art de bâtir.

Il n'y a pas de révolution sans révolutionnaires. FREYSSINET en était un. Il n'y a pas de vrais révolutionnaires sans imagination, sans courage, sans passion. FREYSSINET possédait ces qualités. A la fois artisan, artiste et calculateur, inventeur et expert dans tous les domaines des travaux publics, il sera sans doute reconnu comme un des plus grands constructeurs de tous les temps. Sa vie et ses écrits mériteraient d'être médités par tous les jeunes Ingénieurs. Mais cela demanderait une certaine exégèse : son audace technique et son indépendance (1) auraient été bien dangereuses sans sa logique et sa connaissance concrète de la matière, son expérience, son « perfectionnisme » (2) et sa probité intellectuelle. Il reste que son exemple doit faire réfléchir sur la formation à donner aux Ingénieurs, sur les chances à offrir aux précurseurs (3), sur la collaboration entre bureaux d'études, laboratoires et chantiers (4) et sur bien d'autres sujets (par exemple : combien de Français connaissent le nom et l'œuvre de FREYSSINET ?).

En tout cas, sa « révolution dans l'art de bâtir » (5) a réussi : le béton précontraint s'est imposé de façon extraordinairement rapide et s'est répandu dans le monde entier.

Un essor fulgurant.

Sur environ 8.000 ponts construits de 1946 à 1966, 1225 sont en béton précontraint (6), soit environ 15 %. Il est vraisemblable que la proportion est maintenant à peu près inversée et que 85 % des ponts actuellement en construction ou en projet sont en béton précontraint (7).

(1) « J'y arrive... avec une liberté de pensée et de formes aussi totale que si j'étais le premier homme chargé de construire des ponts... aucune autorité n'ayant approuvé mes projets, étudiés dans le plus parfait mépris des circulaires... »

(2) « Je dessine alors l'ouvrage dans ses moindres détails, persuadé que c'est surtout par ses détails qu'un ouvrage est bon ou mauvais ».

(3) Nous ne faisons pas seulement ici allusion à son départ de l'Administration (que se serait-il passé s'il était devenu Ingénieur en Chef d'un Département ?), mais surtout à son départ de l'Entreprise pour essayer seul de « faire de l'idée de précontrainte une réalité industrielle » : « à 50 ans, j'abandonnais une vie toute tracée pour m'engager dans une existence nouvelle pleine d'aléas et de périls ».

(4) « Je tiens que, privée de l'expérience, la déduction mathématique n'est qu'une source d'erreurs, d'autant plus dangereuses qu'elle est pleine d'attraits ».

Ces quatre citations sont extraites d'une conférence de E. Freyssinet reproduite dans « Travaux » de juin 1954.

(5) Article de E. Freyssinet dans « Travaux », novembre 1941.

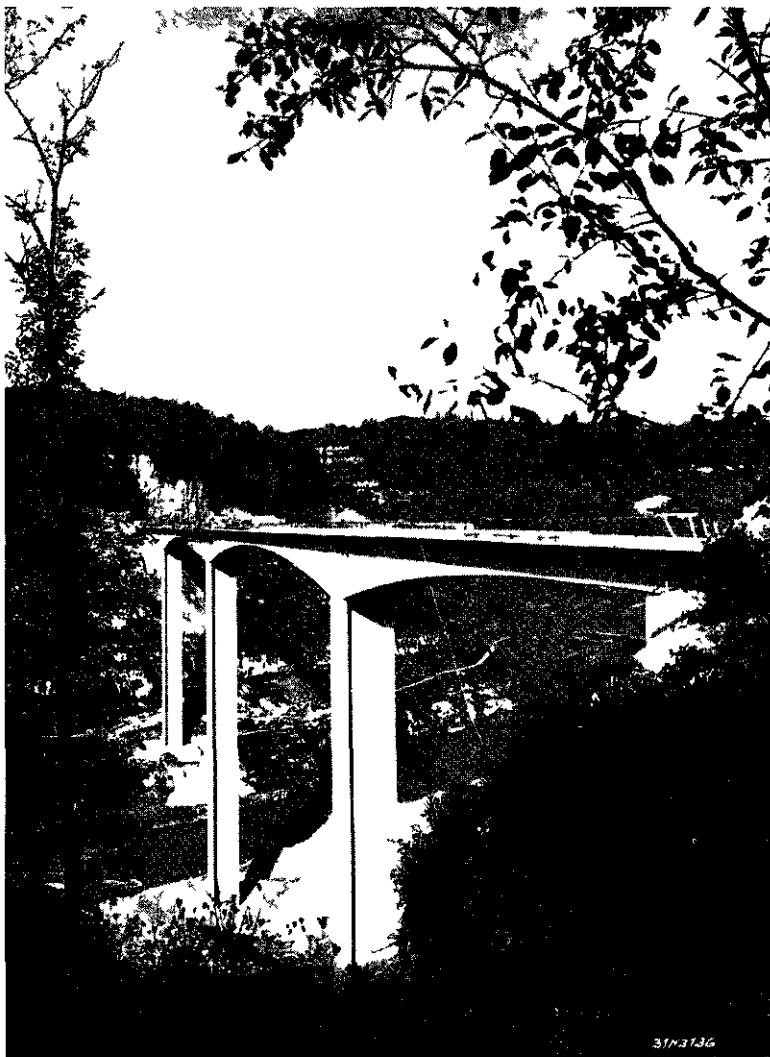
(6) Chiffres cités par E. Beltremieux dans « Un demi siècle de technique française de la précontrainte ».

(7) Sous toutes réserves dues à l'absence de statistiques complètes.

Le brevet de FREYSSINET date d'Octobre 1928. Le premier pont en précontraint a été construit en 1938. En dehors d'un pont-dalle datant de 1942, c'est après la Libération que s'est développée, dans certains Départements, la nouvelle technique. Mais c'est surtout l'extension récente des programmes routiers et autoroutiers, depuis moins de dix ans, qui a permis l'essor fulgurant de ce matériau tout jeune.

L'immense domaine du béton précontraint.

Le béton précontraint est utilisé dans les ouvrages les plus divers, allant des bâtiments et des réservoirs aux caissons des piles atomiques, en passant par la basilique de Lourdes. Dans les ponts, il couvre actuellement un domaine très étendu dont les frontières sont évidemment indéfinies, mais qui n'a fait que s'élargir, surtout depuis dix ans. A partir de 15 m, la dalle pleine précontrainte est maintenant plus économique que la dalle en béton armé. A l'autre bout de l'échelle, il existe déjà dans le monde 4 ponts en béton précontraint de portée supérieure à 200 m : ponts à haubans de Maracaibo au Vénézuéla (portées de 235 m), de Polcevera (Gênes), pont suspendu sur la Hudson Hope River (Canada) et pont à poutres-caissons construit en encorbellement, au-dessus du Rhin, à Bendorf (Allemagne), (portée de 208 m). En France, la portée des ponts en béton précontraint dépasse déjà 100 m (110 m à LA PYLE et à GIVORS). Le viaduc de Calix, à Caen, aura une portée de 156 m : le béton précontraint et l'acier seront mis en concurrence. Il est probable que la lutte sera chaude.



*Le pont de la Pyle
(portée de 110 m)*

(Photo Baranger)

317-3136

Bien entendu, les ponts métalliques, plus légers, sont seuls à envisager pour les très grandes portées.

Dans le domaine intermédiaire, la construction métallique est un adversaire sérieux pour les portées les plus grandes, pour les franchissements d'autoroutes sans appui central, etc., et s'impose lorsque certaines conditions particulières sont à respecter.

Rappelons enfin que le pont le plus long du monde est celui du lac de Pontchartrain (Etats-Unis) qui étend sur 38 km ses 2 232 travées préfabriquées en béton précontraint par le procédé FREYSSINET, et que la précontrainte a été un des principaux facteurs qui ont permis de construire l'arc en béton qui détient le record mondial de portée (305 m) à Gladesville (Australie).

Quelques aspects de l'évolution des types d'ouvrages.

Comme pour les ponts en acier, l'amélioration des matériaux (notamment l'augmentation de la résistance des bétons et de la puissance des câbles) a permis un allègement des structures et un affinement des formes. Mais ce sont les procédés d'exécution qui ont été les facteurs déterminants dans l'évolution des ponts en béton précontraint.



Le viaduc de Roberval
(Photo Baranger)

Dès le début, les trois principaux procédés à envisager dans toute construction ont été employés ; le coulage en place sur cintre, la préfabrication, l'encorbellement. FREYSSINET lui-même leur a fait appel, notamment dans ses premiers grands ponts sur la Marne.

C'est d'abord la préfabrication de poutres, atteignant une cinquantaine de mètres de portée, qui s'est développée en France. Une des premières réalisations spectaculaires en a été le viaduc d'accès au pont de Tancarville. Plusieurs entreprises se sont équipées en matériel de fabrication et de lancement de poutres pour réaliser, par exemple, le viaduc d'accès au pont de Bordeaux, le viaduc de Roberval, les ponts d'Abidjan, le viaduc du Parc des Expositions à Paris, et bien d'autres.

En Allemagne, on construisait surtout au moyen d'échafaudages, puis, pour franchir de très grandes portées au-dessus de larges fleuves, en encorbellement. Le principe de l'encorbellement a été utilisé de tous temps ; on le retrouve dans les ponts primitifs en bois et les fausses voûtes en pierre, dans de grandes constructions en acier du 19^e siècle, dans un pont brésilien en béton armé de 1930, dans le pont de Bezons, en béton armé, projeté en 1942, et exécuté en 1947. Le béton précontraint se prêtait particulièrement bien à ce mode de construction : 2 ponts furent ainsi réalisés en Allemagne dès 1950, puis en France le pont de la Voulte en 1952, le pont de Chazey en 1955, les ponts de Savines et de Beaucaire, etc.

Dans les années 1960, les deux systèmes se sont développés parallèlement et ont donné lieu à de multiples réalisations.

Plus récemment, des nouveautés importantes sont apparues. Il s'agit, soit de transformations dans les types d'ouvrages précédents, soit d'innovations dans les modes de construction et dans les structures :

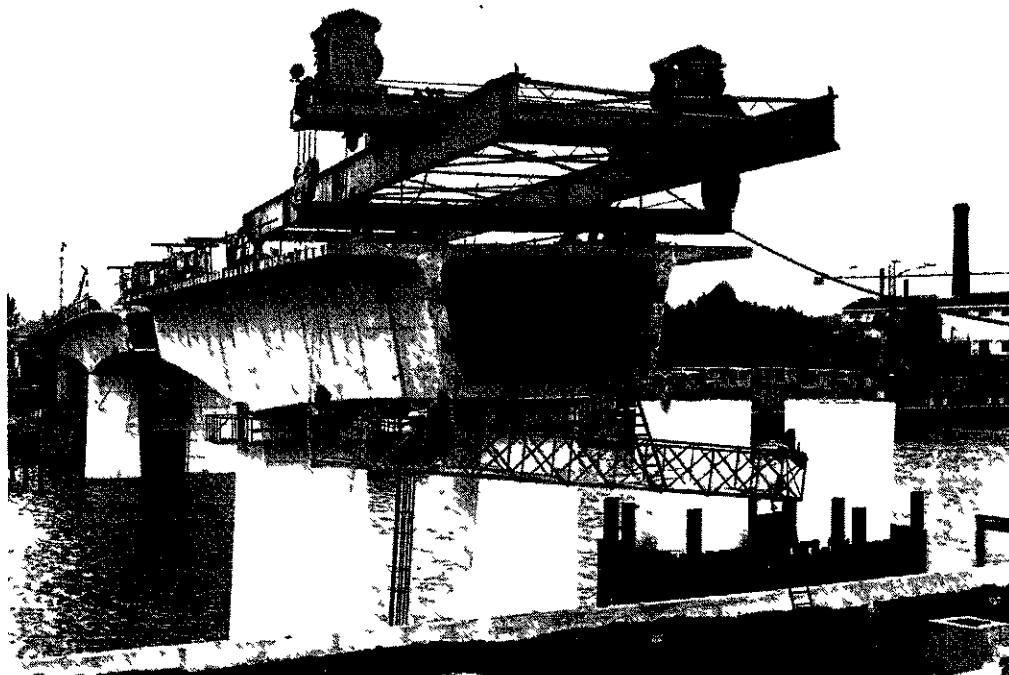
La construction en encorbellement est maintenant la seule employée pour les portées dépassant une soixantaine de mètres. Les premiers ponts de ce type comportaient une articulation à la clé, ce qui facilitait les calculs et simplifiait la construction. Mais, du fait de l'abaissement inéluctable des clés, dû au fluage et à la relaxation, cela entraînait des inconvénients pour l'aspect de l'ouvrage, pour le confort des usagers, pour la tenue des joints. Depuis 1961, tous les ponts français de ce type ont été rendus continus, ce qui a permis de bénéficier des avantages de l'hyperstaticité, dont les principaux sont la disparition presque totale des déformations gênantes, et l'augmentation de la résistance à la rupture.

En 1961, nouvelle invention : *les voussoirs préfabriqués*. Alors que, jusque-là, les voussoirs étaient toujours coulés en place, sur un échafaudage porté par la console, on eût l'idée de combiner le principe de l'encorbellement avec celui de la préfabrication. Le problème était de lier convenablement entre eux les voussoirs préfabriqués, problème dont la difficulté avait fait abandonner ce genre de technique depuis 1950. Il a été résolu, en partie grâce à l'emploi de résines époxy, en partie grâce à la mise au point de procédés nouveaux pour la fabrication et la mise en place des voussoirs successifs, leur contact parfait, la compensation et le réglage de l'ensemble. Après le pont de Choisy, cette invention a été très souvent utilisée en France : Lyon, Oléron, Courbevoie, Boulevard périphérique à Paris, Bonpas, etc. et à l'étranger. Un des avantages de cette nouvelle famille de ponts — en plus de ceux de l'hyperstaticité — est l'augmentation spectaculaire de la vitesse de construction, grâce à la fabrication préalable des voussoirs à terre pendant la construction des piles : la vitesse moyenne de construction du pont d'Oléron a été de 10 m par jour — avec des pointes de 30 m par jour — au lieu de 1 m par jour pour les tabliers coulés en place (8).

Un programme électronique de vérification des calculs des ponts en encorbellement (calculs très complexes puisqu'ils doivent tenir compte de la déformation de la console pendant la construction et de bien d'autres phénomènes) a été entrepris par le S.C.E.T. et sera bientôt terminé et employé par le S.E.T.R.A.

Les poutres préfabriquées sont encore largement utilisées. Leur calcul a été facilité par l'établissement de 2 programmes électroniques complémentaires ; le premier (VIP, établi

(8) Des renseignements complets à ce sujet figurent dans le numéro de janvier 1966 de la revue « Travaux ».



*Construction par voussoirs préfabriqués du pont amont du Boulevard Périphérique
(sur la Seine à Paris)*

(Photo Baranger)

par l'ex-S.C.E.T.) permet de vérifier automatiquement le calcul d'une poutre indépendante de forme quelconque. Le deuxième (VIPI, établi par l'ex-S.S.A.R.) permet de déterminer le câblage et de calculer automatiquement une poutre indépendante de forme classique.

Mais une tendance très vigoureuse et très compréhensible vise à supprimer les joints entre les travées indépendantes ; il faut pour cela, soit transformer en poutre continue une suite de poutres indépendantes préfabriquées, soit supprimer seulement la discontinuité de la dalle supérieure. A vrai dire, ni l'un ni l'autre de ces objectifs ne sont simples à atteindre, et nous en sommes encore à la période des expériences, dont plusieurs sont faites sur des ouvrages réels.

Les avantages de la continuité ont incité à recourir plus largement à la construction sur cintre, chaque fois qu'elle était possible et économique, notamment pour trois types d'ouvrages :

- les ponts-dalles en béton précontraint à plusieurs travées, dont le type principal est le « PS-BP » ; il en existe déjà plusieurs centaines d'exemplaires sur nos autoroutes (9) ;
- les ponts à poutres en T (appelés parfois dalles nervurées) qui permettent de simplifier considérablement les coffrages et d'optimiser facilement la précontrainte (10) ;
- les ouvrages complexes tels que les échangeurs et certains viaducs urbains où la position des appuis est soumise à des conditions très strictes.

(9) Pour plus de précisions sur les ponts courants, consulter la brochure C.A.T. 67 établie par le S.E.T.R.A. ex-S.S.A.R.

(10) Consulter à ce sujet l'article de J. Fauchart paru dans le numéro de mai 1968 des Annales de l'I.T.B.T.P., et le S.E.T.R.A. (ex-S.C.E.T.).

Tout cela a poussé les constructeurs ou loueurs de cintres à chercher sans cesse de nouveaux progrès. On a fait appel notamment à une technique nouvelle :

— *Les cintres autoportants et autolanceurs* qui s'appuient seulement sur les piles définitives de l'ouvrage et qui combinent les avantages de la construction sur cintre et de la construction en encorbellement. Ils apportent une solution économique pour la réalisation de suites de travées nombreuses ou franchissant des vallées profondes. L'emploi de ces cintres impose des tabliers de formes cylindriques d'axe horizontal, de façon que le coffrage soit télescopique. On adopte soit des poutres en T (ou dalles nervurées) comme pour le viaduc d'Incarville, soit des poutres-caissons, comme pour l'autoroute Roquebrun-Menton. Cette technique pose, entre autres, le problème de l'incidence de la déformabilité du cintre sur le comportement du béton jeune.

— *Les ponts à haubans* avec tablier en béton précontraint, dont deux exemplaires existent déjà et dont plusieurs sont en projet. Cette forme est extrêmement logique pour des tabliers devant franchir de grandes portées, avec des épaisseurs réduites. Ne pouvant appuyer le tablier par en-dessous (en compression, donc généralement avec du béton), on l'appuie par en-dessus (donc en traction), au moyen de câbles obliques, accrochés, d'une part au tablier, d'autre part au pylône. En raison de l'obliquité des 2 haubans jumeaux, le tablier est fortement comprimé entre leurs points d'attache, ce qui diminue d'autant la précontrainte à lui appliquer.

**

Cette énumération ne couvre évidemment pas toutes les formes et tous les modes d'exécution qui sont très variés, grâce à la souplesse du béton précontraint : les ouvrages peuvent être coulés en place ou composés d'éléments préfabriqués plaqués et comprimés les uns contre les autres, constitués de poutres, de dalles ou de pièces massives, pré ou post-contraints, sur appuis verticaux ou inclinés (11), etc.

Rappelons seulement que ces perfectionnements ont permis de maintenir en valeur absolue, depuis plusieurs années, les prix des tabliers en béton précontraint et même de les abaisser notablement pour certains types d'ouvrages — ce qui surprend beaucoup nos visiteurs étrangers.

Tout n'est pas résolu.

Pourtant, tout n'est pas résolu, et il subsiste encore beaucoup d'inconnues.

Certes, les maladies de jeunesse, qu'on ne peut éviter lorsqu'on utilise des matériaux nouveaux (qu'on songe à la fonte ou au béton armé) ont été en grande partie épargnées au béton précontraint, grâce aux réflexions approfondies, aux longues expériences, et au souci du détail de son inventeur.

De plus, un ouvrage en béton précontraint est soumis, lors de sa construction, au moment de la mise en tension des câbles, à un examen sévère, mettant à l'épreuve un béton qui n'a pas atteint sa résistance définitive, imposant aux fils des contraintes de traction qui ne peuvent que diminuer par la suite. La mise en précontrainte est donc par elle-même une épreuve probante pour la qualité des matériaux.

Enfin, le fait que le béton précontraint est — en principe — entièrement comprimé, permet d'éviter, ou d'atténuer, les infiltrations d'eau.

Il reste que le béton précontraint, comme tous les autres matériaux, sera certainement menacé par des maladies de vieillesse. Nous ne les connaissons pas encore bien puisque tous les ouvrages en béton précontraint sont encore jeunes. Dès maintenant, nous savons, grâce à quelques expertises, que le principal danger réside dans la corrosion des câbles. Pour y parer, il faut d'une part choisir et mettre en œuvre des gaines et des coulis d'injection qui protègent le câble de façon aussi parfaite que possible, d'autre part,

(11) Consulter à ce sujet le dossier-pilote PS-BQ 67.

*Construction d'un viaduc
de l'autoroute
Roquebrune-Menton sur
cintre auto-portant et
auto-lanceur*

(Photo Ponts et Chaussées
Nice)



empêcher par des chapes étanches et durables les infiltrations d'eau et de saumure. Un second danger, qui risque de s'étendre à mesure des développements techniques, réside dans la fissuration du béton et la fatigue des armatures. Sa solution nécessite de nombreuses études théoriques et expérimentales. Malgré cela, des risques subsisteront : il faut donc trouver un moyen de contrôle non destructif de l'intégralité des câbles cachés dans le béton.

Une des particularités du béton précontraint par rapport aux autres matériaux de construction est que le paramètre « temps » intervient dans les calculs (parce qu'il intervient dans la réalité) du fait du retrait et du fluage du béton et de la relaxation de l'acier. Mais nous ne connaissons pas exactement les lois correspondantes, et encore moins bien le résultat de la combinaison des trois effets (qui ne dépendent pas seulement du temps, mais aussi de la température, de l'hygrométrie, de la forme de la pièce, etc.).

Dans les structures isostatiques, cette incertitude n'a pas de graves conséquences. Mais dans les structures hyperstatiques, surtout dans celles où l'on associe des bétons d'âges différents, les liaisons empêchent les déformations différées de s'effectuer librement, et engendrent des efforts dont il est actuellement difficile d'apprécier l'incidence. Ce phénomène d'adaptation peut d'ailleurs être favorable, à condition que le projeteur en tienne compte intelligemment : encore faudrait-il que les paramètres physiques qui les commandent soient mieux connus.

**

Une autre caractéristique du béton précontraint est que, dès le début, son calcul a été presque totalement maîtrisé. Il est assez remarquable que les premières instructions provisoires aient été établies dès 1953 et qu'elles n'aient eu besoin que de quelques améliorations en 1965. Il reste cependant bien des incertitudes ; nos connaissances sur le béton et sur l'acier sont encore insuffisantes, des phénomènes comme la torsion ont été très peu étudiés, bien des calculs font encore appel à des hypothèses simplificatrices, etc.

Perspectives d'avenir.

Le béton précontraint réserve certainement encore bien des surprises, car nous sommes loin d'avoir épuisé toutes ses possibilités.

Le nouveau règlement en cours de rédaction, tenant compte des recommandations des Organismes internationaux (Fédération Internationale de la Précontrainte et Comité Européen du Béton) apportera certainement des améliorations, grâce notamment à la notion nouvelle d'états-limites (12). Il ne doit guère changer, par lui-même, les dispositions des ponts. Il permettra surtout d'utiliser, dans le bâtiment et dans certains ouvrages, une « précontrainte partielle » économiquement très intéressante. Son élaboration permet aussi de faire apparaître les points qui nécessitent des compléments d'études théoriques et expérimentales.

Il est certain que de nouvelles structures apparaîtront, en étroite relation avec de nouvelles méthodes de construction. Dès maintenant, on a essayé dans quelques ouvrages une méthode de lancement sur appuis glissants (méthode classique bien connue des constructeurs métalliques) ; encore faut-il examiner avec soin les efforts introduits dans la structure pendant son déplacement.

Il est certain aussi que certaines méthodes encore artisanales seront remplacées par des méthodes industrielles.

C'est dans le domaine des procédés de précontrainte, et plus encore dans le domaine des matériaux, que de grands progrès peuvent être escomptés. Les aciers à très faible relaxation et de plus en plus résistants, et surtout les futurs bétons (bétons à très haute résistance, bétons sans retrait, bétons légers) transformeront à coup sûr les structures que nous connaissons.

**

Mais le principal atout du béton précontraint réside dans la liberté qu'il offre à l'Ingénieur d'utiliser pleinement la matière et de choisir volontairement et intelligemment les formes et les dispositions constructives. Il exige donc d'excellents Ingénieurs (d'ailleurs il sanctionne impitoyablement toute médiocrité de conception ou d'exécution). Nous avons la chance d'avoir une école française de béton précontraint très vivante ; il faut seulement souhaiter que les jeunes Ingénieurs suivent les traces de FREYSSINET, qu'ils s'inspirent de son exemple de passion créatrice et de travail acharné, et qu'ils obtiennent les moyens nécessaires pour soumettre à l'expérience les créations de leur imagination.

(12) Cf. notre chapitre sur l'évolution des règlements.

Art et techniques des fondations

Pour les ponts, les problèmes de fondation sont des problèmes majeurs.

Il n'est pas nécessaire d'attirer ici l'attention sur l'importance des fondations dans les ponts : tout Ingénieur même non spécialisé a eu l'occasion de constater que les fondations donnent lieu à de fréquentes et graves difficultés avant, pendant et après la construction des ouvrages. C'est souvent en « tirant » exagérément sur les fondations que certaines Entreprises essaient d'enlever un marché sur appel d'offres. Ce sont les fondations qui conduisent sur les chantiers aux plus nombreux dépassements de quantités et de prix ; les aléas dans l'exécution des fondations sont coûteux et générateurs de retards très importants. Les désordres dans les fondations, une fois les ouvrages terminés, sont toujours très graves, soit qu'ils compromettent la vie de l'ouvrage obligeant même parfois à le reconstruire, soit qu'ils conduisent à exécuter des reprises en sous-œuvre délicates.

Enfin, le calcul des fondations comporte plus d'incertitudes que celui des tabliers, parce que la théorie en est complexe et peu précise, et parce que les caractéristiques des sols sont moins bien connues que celles des matériaux de construction.

De nos jours, les fondations difficiles sont de plus en plus fréquentes ; certaines difficultés sont attachées à la nécessité, pour atteindre des profondeurs très importantes, de recourir à des procédés d'exécution nouveaux et pour lesquels on n'a encore que peu d'expérience ; d'autres difficultés sont la conséquence de l'évolution qui se produit dans les conceptions des superstructures.

Ce qui caractérise actuellement les fondations des ponts.

Tout d'abord, les fondations de ponts sont essentiellement ponctuelles. Dans le cas d'ouvrages de grande portée, elles sont de plus extrêmement lourdes. Une conséquence en est que les couches de sol intéressées sont très localisées, ce qui limite l'emploi de la géologie pour prévoir la nature du sol au droit de la fondation. Cependant, les méthodes de la mécanique des sols sont souvent mises en défaut par l'hétérogénéité locale des terrains.

D'autre part, les ponts sont dans de très nombreux cas sensibles aux tassements ; si les tabliers des ponts modernes sont plus élancés qu'autrefois, les matériaux constitutifs sont également plus fragiles. L'emploi généralisé des ponts continus, moins déformables et plus confortables pour l'usager, aggrave leur sensibilité aux tassements différentiels. Celle-ci est encore augmentée par le fait que les chantiers sont menés à vive allure et les ponts terminés dans des délais très courts ; les appuis étant légers eux-mêmes, les tassements qui se produisent pendant la construction sont beaucoup moins importants qu'autrefois, et la proportion des tassements qui ont lieu après la mise en service des ouvrages est donc sensiblement plus grande. Aussi est-il presque toujours nécessaire d'étudier avec soin le sol au droit de chaque appui.

*Reconstruction
du pont d'Agde
Batardeau rive gauche*
(Photo Ramond, Agde)



La reconnaissance préalable des sols.

La principale difficulté vient du fait que dans bien des cas on ne peut fixer définitivement l'emplacement des appuis avant d'avoir fait des sondages. Mais ce serait du gaspillage que de faire généralement des reconnaissances complètes en escomptant des implantations et des types d'ouvrage déterminés, car ils seront en fait modifiés ensuite, ou d'orienter les reconnaissances dans l'hypothèse de types de fondation qui seront écartés en fin de compte. Pour éviter tout cela, on est amené à procéder par étapes et approximations successives en faisant collaborer les géologues, les géotechniciens et les spécialistes en ouvrages d'art.

Le premier stade est la reconnaissance géologique avec identification des sols, qui permet de connaître approximativement les principales couches de terrain. L'ingénieur en ouvrages d'art est alors en mesure d'envisager plusieurs types possibles d'ouvrages et de préciser au géotechnicien chargé de la reconnaissance, c'est-à-dire généralement à un Laboratoire, les emplacements probables d'appuis et la liste des renseignements qu'il souhaite connaître pour pouvoir dans une deuxième étape, choisir le type d'ouvrage, dimensionner sommairement les fondations après avoir choisi leur type et leur mode d'exécution. Pour les ouvrages courants, le document type FOOT du S.E.T.R.A. permet à l'ingénieur de poser au Laboratoire le problème en termes assez précis. Pour les autres ouvrages, un début d'étude particulière, non encore normalisé, reste encore nécessaire à cet effet.

Pour satisfaire à cette demande de renseignements, les Laboratoires disposent maintenant d'un grand nombre d'essais in situ ou sur échantillons ; chacun de ces essais est plus ou moins adapté à un type de terrain donné et à l'obtention d'un type de renseignement déterminé. Les possibilités d'essais inutiles sont donc grandes et la collaboration avec les Ingénieurs en ouvrages d'art est nécessaire pour orienter le Laboratoire vers les essais donnant les renseignements strictement indispensables.

Rappelons brièvement quels sont les principaux essais.

Essais en laboratoire :

- essais d'identifications : densité, teneur en eau, granulométrie, limite d'Atterberg.
- essais mécaniques : boîtes de cisaillement, résistance à la compression simple, triaxial, œdomètre.

Les essais en laboratoire sont précis si le prélèvement a été soigné ; ils sont longs et coûteux et il faut en faire beaucoup si l'on veut tenir compte de l'hétérogénéité du sol.

Essais in situ :

- pénétromètres statiques et dynamiques
- pressiomètre
- scissomètre.

Les essais in situ sont rapides, peu coûteux et « intègrent » l'hétérogénéité du sol. Ils sont peu précis et difficiles à interpréter de manière sûre. Des règles tendent à s'établir ; elles sont encore très empiriques et demandent à être appliquées par des spécialistes expérimentés, car les formules dépendent des types de sols et des types de fondations, toutes choses qui sont à l'appréciation du sondeur et du projeteur.

Après la reconnaissance géologique, on procède donc à une reconnaissance rapide par des essais in situ, qui permet de confirmer le type d'ouvrage et de prédimensionner les fondations ; si le besoin s'en fait sentir, on cherche à préciser les résultats par des essais en laboratoire ou d'autres essais.

En plus de ces essais d'application très générale, les Laboratoires disposent encore de toute une gamme d'essais plus spécialisés et orientés vers l'obtention de renseignements particuliers qui vont des essais de perméabilité du sol (pompage et injection) aux essais de chargement de pieux en vraie grandeur. Les progrès effectués dans l'exécution de tous les essais portent en eux leur propre danger : en perturbant au minimum les propriétés du sol, ils conduisent à des taux de travail de plus en plus grands. Il appartient au Laboratoire et au projeteur d'imaginer les dégradations qui peuvent se produire, sous l'effet de l'eau par exemple, pendant ou après l'exécution des fondations.

Dans les fondations profondes difficiles d'ouvrages importants, la nature de la fondation sera déterminée non seulement par les conditions mécaniques du sol, mais aussi par le procédé d'exécution ; les renseignements à obtenir concernent non seulement les couches s'assise de la fondation (sur une profondeur suffisante au-dessous du niveau de la fondation), mais aussi les couches supérieures intervenant dans l'exécution des fondations : par exemple si une fondation à l'intérieur d'un batardeau de palplanches est envisagée, il sera intéressant d'avoir déterminé, au cours de la reconnaissance, les possibilités de battage de palplanches, voire leur module : un procédé de reconnaissance permettant d'employer à un moment ou à un autre un enfoncement par battage (carottiers battus ou pénétromètres dynamiques ou même statiques) serait utile. Si cette même fondation devait être exécutée par caissons havés ou foncés à l'air comprimé, il serait au contraire très important de déterminer le coefficient de frottement à attendre au cours du havage : il sera donc intéressant de connaître l'angle de frottement et la cohésion des terrains rencontrés. Selon le procédé d'exécution (épuisement de la fouille ou non), il est plus ou moins important de mesurer la perméabilité du sol à divers niveaux.

Malgré le développement et le progrès des méthodes de reconnaissance et d'essais, les « surprises » au moment de l'exécution et après, restent nombreuses. Le projeteur est donc amené à faire appel, aussi souvent qu'il le peut sans trop de frais, aux solutions les plus sûres, à s'inspirer de procédés d'exécution expérimentés dans des circonstances analogues, à s'enquérir du comportement d'ouvrages déjà exécutés. Pour cela, il faut encourager la création d'équipes de constatation dont le rôle serait de venir faire des essais et constatations en fond de fouille sur le chantier, de procéder à des observations chiffrées des ouvrages en service, et de mettre cette documentation sous une forme accessible à tous afin que les mêmes erreurs ne soient pas répétées.

L'étude hydraulique préalable.

Bien entendu l'étude hydraulique préalable pour les ponts franchissant un cours d'eau porte d'abord sur la précision des niveaux des crues, sur l'évaluation des débouchés nécessaires, sur les corps flottants et sur les modifications possibles dans le tracé des berges et dans les cotes du fond du lit.

Dans la plupart des cas, il faut déterminer la profondeur des affouillements éventuels. On s'en protégeait autrefois par des talus d'enrochements qui nécessitent une surveillance et un entretien constants, sans apporter de sécurité absolue : la plupart des anciens ponts ont péri par affouillement, et tous les ans encore, plusieurs ouvrages sont emportés par les crues. Il faut donc placer la base des massifs de fondations au-dessous du niveau des plus grands affouillements possibles. Malheureusement, il n'existe aucune formule permettant de connaître ce niveau avec une certitude suffisante. Les études sur modèles réduits, auxquelles on ne peut recourir que dans des cas particuliers, ne fixent qu'un ordre de grandeur. Le nombre des paramètres est si grand, et les connaissances scientifiques si limitées sur ce sujet, qu'il faut au projeteur, aidé par tous les renseignements qu'il peut recueillir sur le cours d'eau et sur la nature du sol, beaucoup d'expérience et d'intuition pour ne pas se tromper grossièrement dans sa décision.

Les inconnues du dimensionnement des fondations courantes sur semelles.

Les fondations sur semelles superficielles sont de très loin les plus nombreuses ; elles sont les plus simples ; elles bénéficient de ce fait d'un grand nombre d'études théoriques.

C'est pour elles qu'en l'absence de tout Règlement à ce sujet, le S.E.T.R.A. et le L.C.P.C. ont défini dans le dossier-pilote FOCs 64 dont la révision est en cours, la marche à suivre non seulement pour reconnaître les sols, mais aussi pour procéder au dimensionnement.

La caractéristique principale des semelles des ponts modernes est leur légèreté grâce à l'utilisation presque constante du béton armé. Cette légèreté et la résistance des semelles armées permettent de transmettre au sol des efforts très excentrés. Pour éviter les tassements avec renversement, il faut cependant s'astreindre à disposer les semelles de façon que les efforts transmis sous l'effet des charges permanentes soient le plus parfaitement possible centrés sous la fondation.

En dehors de cette condition, les dimensions d'une semelle sont déterminées par deux facteurs : la résistance du sol et les tassements. Pour le mécanicien du sol, la distinction de ces deux facteurs est arbitraire et n'a presque aucun sens ; pour le projeteur d'ouvrages d'art, il importe au contraire de limiter les tassements : dans certains cas, la condition déterminante sera la « rupture » du sol sous la fondation car elle entraîne des tassements importants ; dans d'autres cas de sols relativement compressibles, le tassement limite sera atteint bien avant la rupture.

Si la détermination de la contrainte de rupture d'un sol est relativement bien connue pour la plupart des types de sols, les théories permettant de calculer les tassements déduits de tel ou tel essai en laboratoire ou in situ sont très loin d'être au point : deux théories différentes de calcul donneront des écarts importants (de 1 à 10) sur la grandeur des tassements à prévoir ; et pour ce qui concerne l'évaluation de la vitesse des tassements, l'écart entre la prévision et la réalité peut très bien être de 1 à 100.

Ce système de fondation étant généralement adopté pour les ponts les plus courants, c'est-à-dire les plus sensibles au tassement, un effort très important serait indispensable pour améliorer la prévision des tassements. Force est de reconnaître l'existence d'une grave lacune à ce sujet ; en particulier, les mesures de tassement d'ouvrages réels sont restées jusqu'à présent extrêmement rares et n'ont permis encore aucune conclusion valable. La raison principale en est qu'il faudrait des moyens importants pour ces recherches qui ne pourront aboutir sans être nombreuses et prolongées.

On peut d'ailleurs remarquer que la sensibilité d'un ouvrage au tassement n'est encore définie dans aucun Règlement ; dans les dossiers-types d'ouvrages courants pour autoroutes du S.E.T.R.A., un critère a été adopté (dépassement défini des contraintes réglementaires en cas de tassement), mais aucun principe de limitation n'a été fixé de façon générale pour aucun matériau déterminé (béton armé - béton précontraint - métal).

Pour en finir avec le dimensionnement des semelles, on doit signaler l'utilité qu'il y a à déterminer, avant tout début d'exécution, au moyen d'essais in situ simples, les niveaux définitifs des fondations sur semelle avec une précision de quelques dizaines de centimètres ; au moment de l'ouverture des fouilles, il est en effet souvent trop tard pour changer le projet de l'appui. On risque donc d'avoir à creuser dans du bon sol ou à couler un massif pour se ramener à la cote du projet. Cette nécessité se présente d'ailleurs également pour certaines fondations spéciales, quoique beaucoup d'entre elles se prêtent relativement bien à des adaptations en cours de travaux.

L'état actuel de la technique des fondations sur pieux.

Les pieux qui servent fréquemment de fondation aux ouvrages d'art se classent en deux catégories principales : les pieux préfabriqués et battus d'une part, les pieux forés et coulés en place d'autre part.

Mais à l'intérieur de chacune de ces catégories, il existe une multiplicité de variantes de détail portant sur leur constitution, leur forme, leur mode d'exécution et leur rôle : pieux métalliques, pieux à bulbe, pieux lancés, pieux flottants, etc. Il existe également un certain nombre de modèles intermédiaires. Un dossier pilote entier, non encore entrepris, sera nécessaire pour traiter du sujet de façon exhaustive et on peut ajouter qu'il devra être ensuite fréquemment révisé, le sujet restant largement évolutif.

Devant cette diversité, le premier problème qui se pose est celui du choix de la catégorie et du modèle. Naturellement, chaque modèle est plus spécialement adapté à telle ou telle configuration du sol et surtout chacun a ses supporters chez les maîtres d'œuvre et projeteurs d'une part, chez les techniciens du secteur commercial d'autre part. On touche là une des conséquences de cette diversité : les problèmes de la mise en concurrence de ces différents systèmes ; dans une certaine mesure, ces problèmes s'apparentent, mais avec plus de difficultés en raison de l'incidence des sols, à ceux que posait il y a dix ans encore la mise en concurrence du béton armé et du béton précontraint selon différents systèmes.

De façon générale, on cite en faveur des pieux préfabriqués et battus leur excellente robustesse due aux bonnes conditions de leur fabrication, et la possibilité de vérifier cette qualité ainsi que leur portance ; ce dernier point est d'ailleurs parfois contesté.

En faveur des pieux exécutés en place, on cite surtout la souplesse et la facilité de leur exécution et de leur adaptation en présence de terrains hétérogènes.

Il est certain qu'aucune de ces solutions n'est une panacée, et que le pieu battu est idéal pour atteindre un sol assez dur à travers des sols mous, alors que le pieu foré est seul valable pour traverser des obstacles à des niveaux intermédiaires.

On peut dire aussi que le pieu battu nécessite des renseignements précis sur les sols préalablement à l'exécution, mais que le pieu exécuté en place nécessite beaucoup plus d'attention et de décisions du maître d'œuvre en cours d'exécution ; faute de quoi, le béton ou les armatures risquent d'être défectueux : la présence d'eau dans le forage, l'éboulement des terres et l'absence de gainage là où il serait nécessaire, sont sources de difficultés et parfois même de graves défauts d'autant plus dangereux qu'ils sont très difficiles à déceler.

On peut enfin, pour en finir avec ce bref aperçu sur les problèmes posés par les fondations sur pieux, signaler la large part d'ignorance qui subsiste vis-à-vis des cisaillements (poussées des terres, cercles de glissement) et des frottements négatifs, dont l'importance réelle est encore très mal connue.

Les fondations difficiles.

Comme nous l'avons déjà dit, les fondations difficiles sont de plus en plus nombreuses ; les bons sols sont souvent déjà utilisés par d'autres ouvrages ; les conditions très rigoureuses des tracés d'autoroutes obligent souvent à implanter des ouvrages dans des zones très défavorables. On est donc conduit à chercher le bon sol toujours plus profondément et pour des charges toujours plus lourdes, donc avec des fondations plus massives. Nous allons examiner quelques procédés utilisés en France dans un passé récent et qui ont permis d'atteindre des profondeurs importantes.

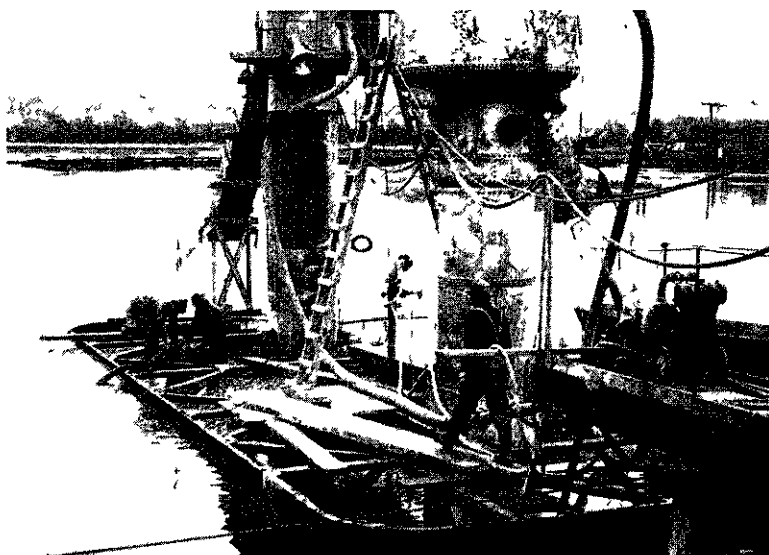
Massif de fondation à l'intérieur de batardeaux de palplanches :

Lorsque le terrain s'y prête (terrain de qualité médiocre surmontant un terrain de bonne qualité), ce procédé permet d'atteindre des profondeurs importantes : une limitation pratique est la longueur courante des palplanches (20 m) bien qu'il soit possible de rabouter par soudage sur chantier les palplanches au moment du battage ; les batardeaux les plus profonds se font en plusieurs rideaux télescopiques, le rideau le plus profond étant battu à l'intérieur de tous les autres, et le rideau le moins profond à l'extérieur ; une telle disposition a été adoptée avec certaines variantes pour les fondations du Pont d'AGDE et pour celles du pont amont du Boulevard périphérique de PARIS (profondeur — 28).

Parmi les problèmes difficiles qui se posent couramment pour l'exécution de ces batardeaux, l'un des plus délicats, malgré son apparence élémentaire, est encore le choix du module et de la nuance de l'acier des palplanches. Un autre d'entre eux, très mal résolu également, est celui de la prévision correcte des venues d'eau par le fond. Les autres problèmes classiques (stabilité, étalement, condition de renard) sont mieux résolus, de même que ceux de l'exécution.

Caissons :

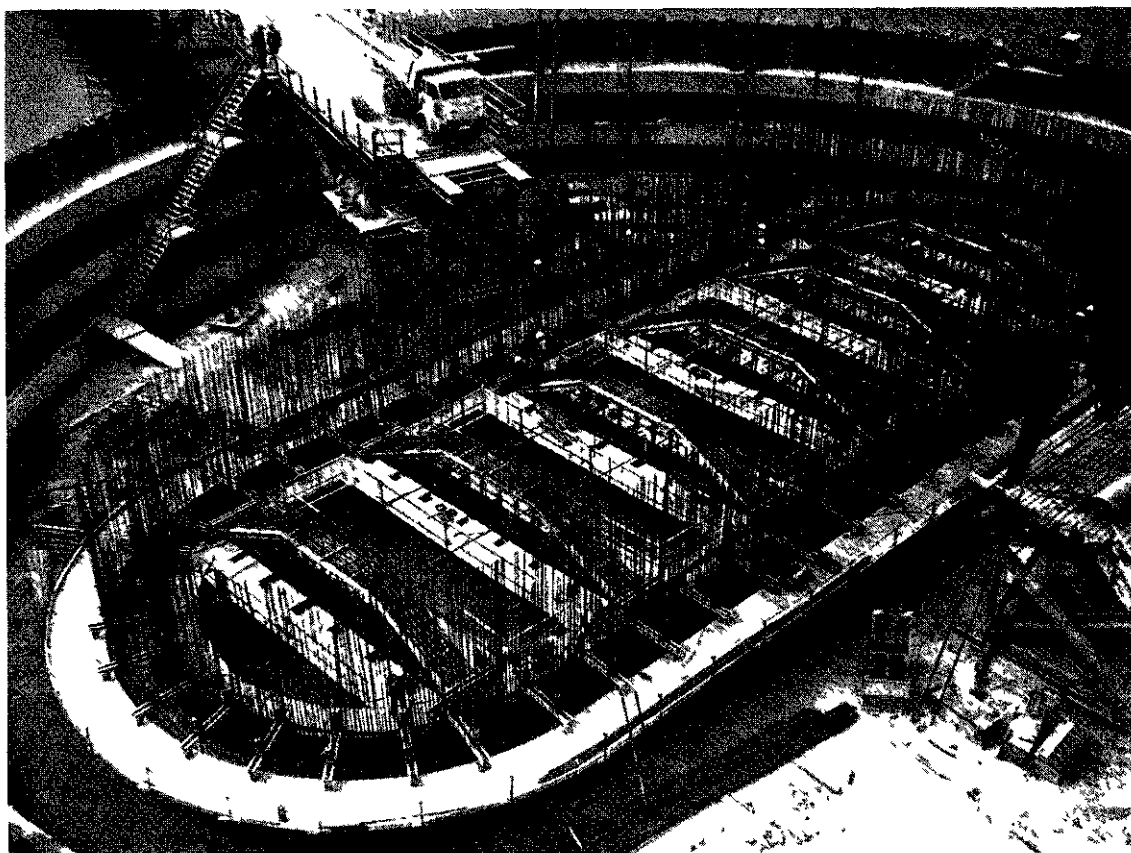
La technique des *caissons foncés à l'air comprimé* n'a pas beaucoup évolué depuis un bon nombre d'années ; elle est toujours très sûre, mais soumet le personnel à des conditions de travail extrêmement sévères. Elle est pour cette raison très coûteuse et limitée à des cas exceptionnels ; la profondeur la plus grande atteinte en France avec ce procédé est de — 40 ; mais une profondeur de — 20 est déjà une performance.



*Caisson foncé
à l'air comprimé
au pont d'Oissel*

(Photo SGE)

Les caissons havés ont toujours une certaine faveur bien que les aléas du havage soient grands : une technique intéressante a été utilisée récemment en FRANCE : il s'agit du havage à la bentonite par le procédé LORENZ-FEHLMAN. Ce procédé consiste à envoyer sous pression de la bentonite à l'extérieur du caisson. Cette bentonite vient former tout autour du corps du caisson une sorte d'enveloppe lubrifiante qui réduit à presque rien le coefficient de frottement et permet d'atteindre avec des caissons normaux des profondeurs importantes.



*Fondation du pylône rive gauche du pont d'Aquitaine à Bordeaux
Caisson havé dans une île artificielle (Photo ISD, Bordeaux)*

Cette technique a été utilisée pour les fondations d'un des pylônes du pont de BORDEAUX : la profondeur atteinte a été de 34 m. Un autre avantage de cette technique est que la quantité de déblais extraits est à peine supérieure au volume du caisson lui-même. Le terrain voisin est donc remanié au minimum.

Puits forés de gros diamètre :

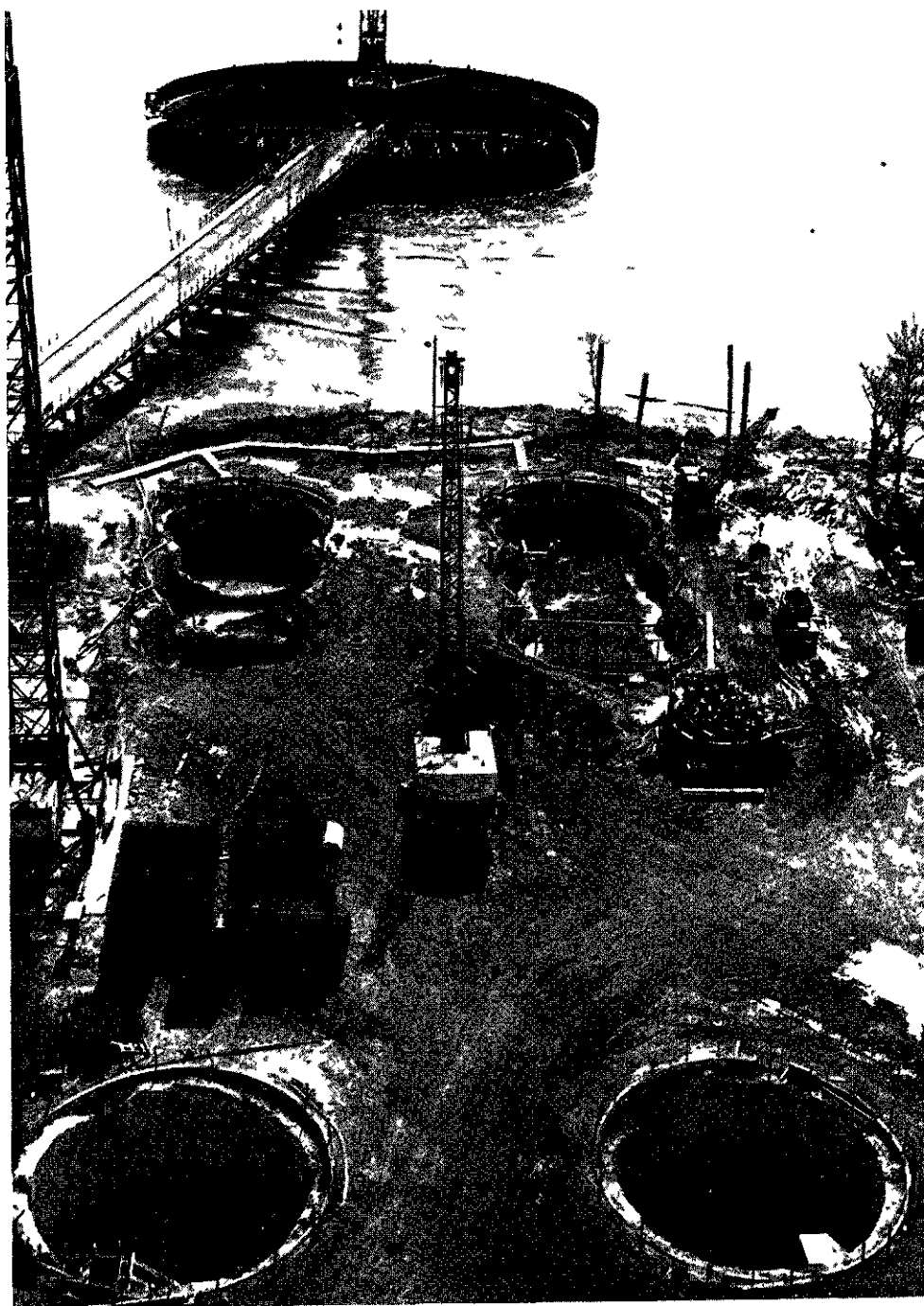
Les puits forés de gros diamètre (entre 0,80 et 1,50 m) connaissent un développement très grand : lorsqu'une forte épaisseur de terrain mou ou affouillable surmonte un terrain dur ou assez profond pour être inaffouillable, ou lorsque des fondations sont exécutées à côté ou au travers d'un remblai mis en place depuis peu de temps, les pieux classiques n'inspirent pas confiance : en raison de leur faible section, ils peuvent être cisailés par des poussées du terrain, déversés latéralement ou rompus au cas où ils seraient dégarnis par les affouillements. Les fondations massives sont chères et souvent très difficiles à réaliser si l'on veut les descendre à une grande profondeur. Les puits de gros diamètre semblent donc offrir au projeteur cette solution intermédiaire idéale qui permet de descendre à moindre frais à des profondeurs très grandes et par sa résistance à la flexion, d'encaisser des efforts latéraux. L'utilisation de ces puits pose malheureusement des problèmes théoriques et pratiques qui ne sont pas résolus, ou qui le sont incomplètement, en ce qui concerne leur calcul et leur exécution.

L'étude théorique et pratique doit donc se poursuivre activement car par suite du procédé d'exécution de ces puits, il est économique de les faire travailler au taux maximal compatible avec la résistance du béton, même s'il faut pour cela abaisser le niveau de fondation.

Tubes de grand diamètre battus :

Un procédé très utilisé en Amérique a été choisi récemment au Pont d'OISSEL pour obtenir des fondations très profondes : il s'agit d'un tube métallique de grand diamètre

(2,00 m) battu comme un pieu avec un casque géant, et dont l'intérieur est excavé au fur et à mesure du havage pour permettre une descente plus facile. La profondeur atteinte au pont d'OISSEL a été de 30 m. environ. En combinant ce procédé avec l'utilisation de bentonite externe pour diminuer le frottement latéral, on pourra atteindre des profondeurs très grandes avec des diamètres plus gros que pour les puits forés. L'intérêt supplémentaire de ces fondations est que les difficultés de bétonnage pourront être résolues par assèchement des enceintes : l'enveloppe métallique, résistante à cause du battage, sera suffisante pour équilibrer la pression extérieure, et l'encastrement obtenu grâce au battage sera suffisant pour empêcher l'eau de s'infiltrer.



*Fondations du massif
d'ancrage rive gauche
du pont aval de Bor-
deaux. Parois moulées*

(Photo Soletanche)

Parois moulées :

Dérivées de la technique des pieux forés à la bentonite, les parois moulées constituent l'un des exemples les plus caractéristiques des progrès effectués en fondations.

Ce procédé permet de creuser une tranchée profonde sur une largeur de 40 à 80 cm ; les parois sont maintenues par de la bentonite ; la tranchée est alors bétonnée à la goulotte exactement comme un puits ou un pieu.

En bétonnant successivement des panneaux de quelques mètres, on peut ainsi constituer des parois de grande longueur aux usages multiples.

Dans les ponts, les parois moulées sont essentiellement utilisées comme des batardeaux ; lorsque l'encastrement dans un sol de bonne qualité est suffisant, on peut excaver à sec sans être gêné par des butons. Une telle solution a été employée avec succès au pont de BORDEAUX où la paroi était ancrée à 37 m. de profondeur.

A la recherche des bases d'une véritable technique.

Cet aperçu fait apparaître quelques-uns des progrès et des innovations récemment intervenus en fondations de ponts. Mais les fondations toujours plus audacieuses ne seront rendues possibles que par une étude toujours plus poussée du sol et des ouvrages. Nos connaissances restent malheureusement limitées, notamment par l'insuffisance du nombre d'observations sur les ouvrages réels. Dans la situation présente, force est de reconnaître que le choix et le dimensionnement des fondations restent un art très difficile, où la part d'appréciation personnelle est très grande et où l'expérience est indispensable pour les projeteurs et pour les maîtres d'œuvre. Il est donc urgent à la fois de poursuivre les recherches théoriques et expérimentales, et surtout de développer, de diffuser et d'interpréter les observations faites pendant et après la construction des ouvrages.

La rationalisation des équipements

Un lecteur non averti pourrait être tenté de croire que l'évocation des divers points traités ci-dessus a fait le tour des problèmes d'étude des ouvrages et qu'il ne reste qu'à les construire.

La réalité est plus compliquée, car il est en outre indispensable de doter tout ouvrage d'art d'équipements qui seuls le rendront apte à assurer sa fonction.

Les équipements des tabliers sont nombreux et divers.

Les équipements, distincts du gros œuvre, dont un ouvrage est habituellement doté s'énumèrent comme suit :

Appareils d'appui — Joints — Dalles de transition — Dispositifs d'évacuation des eaux — Garde-Corps — Dispositifs de sécurité (glissières et barrières) — Grilles du trou central — Chapes d'étanchéité — Couche de roulement.



*Au pont du Garigliano, à Paris,
le garde-corps a été renforcé pour supporter les chocs éventuels*

(Photo SETRA)

Il s'y ajoute assez couramment des dispositifs de visite ou de minage, des supports de canalisations de natures diverses, des lampadaires et même parfois des supports de signalisation.

Leurs objets, on le voit déjà, sont extrêmement divers. Il en résulte une très grande diversité de leur étude fonctionnelle : de la dynamique des véhicules (glissières de sécurité) à l'étanchéité (chapes). Il en résulte en outre une extrême diversité de leurs matériaux constitutifs (métaux variés, caoutchoucs, bitumes, matières plastiques et autres produits de la chimie la plus récente).

Ils doivent répondre à des besoins nouveaux.

Tous ces équipements paraissent classiques, et ils le sont effectivement : il y a par exemple des siècles que l'on met des chapes d'étanchéité et des parapets sur des tabliers. Alors pourquoi les évoquer ? C'est parce qu'en réalité, les paramètres définissant les conditions de fonctionnement de ces équipements ont évolué d'une façon telle que les « solutions traditionnelles » sont dépassées dans des cas de plus en plus fréquents.

Le trafic est de plus en plus agressif.

Tout d'abord le trafic a augmenté. C'est un lieu commun de le dire ; mais il ne faut pas oublier que cette augmentation apparaît sous les formes suivantes :

- l'augmentation de la *charge par essieu* qui dépasse du reste souvent la charge maximale autorisée par le Code de la Route ;
- l'augmentation de la *vitesse* et des trois composantes des efforts qui en résultent : verticale, dans l'axe, et centrifuge ;
- l'augmentation du *nombre des véhicules empruntant chaque jour une chaussée* donnée, donc du nombre des poids lourds qui se trouvent concentrés sur les voies de droite quel que soit le nombre des voies ;
- l'introduction de plus en plus fréquente de lignes de guidage qui ont pour conséquence de *canaliser le trafic*. Tout au moins pour les poids lourds, 90 % du trafic ne sollicitent, pour chaque sens de circulation, que deux bandes larges de 1 m au maximum chacune, sans qu'aucun autre trafic sur les zones adjacentes ne vienne remettre en place des matériaux qui auraient tendance à fluer. A titre indicatif, deux bandes étroites de chacun des deux tabliers du viaduc de la Bièvre supportent chacune annuellement trois millions d'essieux lourds.

Les joints, les couches de roulement, les chapes, etc. souffrent particulièrement des conséquences de l'augmentation du trafic.

Les tracés des routes modernes sont causes de nouvelles sujétions.

Les caractéristiques des tracés ont évolué : les rayons de courbure relativement faibles, admis maintenant assez souvent sur ouvrages, entraînent des forces centrifuges importantes ; les changements de dévers créent des changements de pente qui sont souvent à l'origine de « pièges à eau ».

Les couches de roulement, les dispositifs de sécurité, etc., souffrent de ces nouvelles contraintes.

La généralisation des ponts biais, et la fréquence des ponts courbes, posent systématiquement le problème de la connaissance des mouvements de dilatation dans différentes directions, et celui de la compatibilité des joints de chaussée avec de tels mouvements.

Leur exploitation également.

L'accroissement du nombre et de la vitesse des véhicules pose en termes nouveaux le problème de la sécurité du trafic. La continuité du profil des surfaces de roulement, sur ouvrages et à leurs abouts, est plus nécessaire qu'autrefois. Des accidents très graves et spectaculaires — à l'étranger notamment — ont montré l'inaptitude des garde-corps, et même de nombreux dispositifs classiques de sécurité, à retenir les véhicules en perdition.

Le salage de nombreuses chaussées en période d'hiver, y compris sur des itinéraires de rase campagne, sanctionne désormais l'absence ou l'inefficacité de nombreuses



*Tous les garde-corps ne peuvent pas être des barrières anti-chocs...
Il faut savoir adapter leur résistance aux risques de chocs
et aux conséquences d'un accident*

chapes : des ponts métalliques ou précontraints ont déjà vu leur vie fortement abrégée — d'autant plus que le gros œuvre des ouvrages modernes ne comporte plus guère de matière excédentaire.

L'évolution des structures fait apparaître des phénomènes nouveaux.

Les importants gains de matière qu'ont permis d'obtenir les matériaux nouveaux d'une part et les méthodes de calcul plus élaborées, plus précises et plus strictes d'autre part, ont eu pour conséquence d'amener à projeter et à réaliser des ouvrages de plus en plus légers. Il intervient alors un nouveau phénomène : la vibration, qui jusqu'à une époque récente apparaissait principalement dans les seuls ponts métalliques très élancés, mais qui petit à petit gagne les tabliers courants et que les couches de roulement en matériaux traditionnels supportent mal.

Dans le cas des revêtements sur tôle de couverture orthotrope, ce phénomène prend une importance capitale.

Les équipements ne peuvent plus être étudiés indépendamment des structures.

Depuis plusieurs années déjà, l'imperfection des meilleurs joints de chaussée, tant du point de vue du confort que de celui de l'étanchéité, a conduit chaque fois que c'était raisonnablement possible, à abandonner les travées indépendantes en faveur de tabliers continus.

Les formes nouvelles d'ouvrages peuvent parfois se révéler inaptes à supporter certains équipements : de graves difficultés apparaissent, par exemple, quand on veut ancrer un dispositif de sécurité d'efficacité élevée (genre barrière) sur un tablier doté latéralement de deux larges porte à faux spectaculaires, ou sur une tôle de couverture

orthotrope. La simple préfabrication des pièces porteuses peut elle aussi poser de gros problèmes d'ancrage. Même le simple problème de l'évacuation des eaux de ruissellement impose parfois des innovations : corniches creuses formant chéneau.

Il n'est donc plus possible de projeter les structures en réservant pour l'exécution le choix des équipements ; et il est nécessaire de disposer d'équipements nouveaux pour réaliser des structures nouvelles.

La laborieuse évolution de la panoplie.

Pour faire face à ces nouvelles contraintes, de quelles armes disposons-nous ? Comment les utilisons-nous ?

La sélection naturelle.

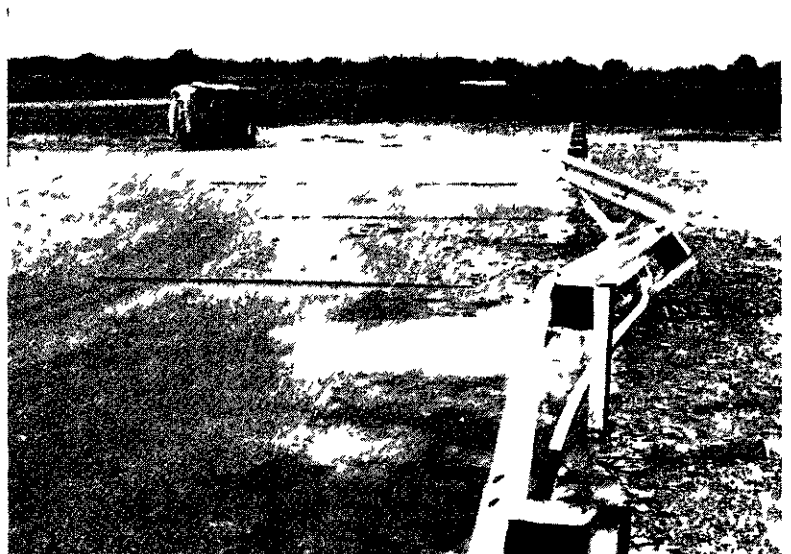
L'expérience acquise par l'utilisation des solutions traditionnelles commence à nous permettre, par leurs cas d'échecs, de définir les limites actuelles de leur domaine d'emploi.

En fait, cette sélection naturelle n'est pas une sélection spontanée. Elle nécessite une vaste collecte de renseignements, comportant l'observation et le contrôle méticuleux de l'évolution dans le temps des réalisations. Dans un certain nombre de cas, ceux notamment qui mettent en jeu un ensemble de paramètres très complexes et des phénomènes fugitifs et difficiles à analyser par voie théorique (glissières et barrières de sécurité notamment), ou ceux dont l'évolution serait trop lente, l'observation in situ ne saurait suffire et il est indispensable de procéder à des essais directs : par exemple des essais de choc sur dispositifs de sécurité sont faits par l'ONSER à Lyon ; d'autres équipements fortement exposés à la fatigue devraient faire l'objet d'essais en manège.

L'exploitation de ces renseignements doit être suivie, après interprétation, de diffusions systématiques d'informations auprès de très nombreux utilisateurs, sous forme notamment de dossiers-pilotes.

Les nouveaux modèles.

Mais la sélection et même l'adaptation des solutions traditionnelles ne sauraient suffire pour résoudre tous les problèmes qui se posent. Pour ne citer que quelques exemples :



Resultat d'un essai sur une glissière de sécurité (fait par l'ONSER à Lyon)

(Photo ONSER)

- c'est en vain que l'on cherchera, parmi les revêtements de chaussée traditionnels, celui qui est apte à constituer la couche de roulement des tôles de couverture orthotropes ;
- pour des raisons diverses, l'observation du comportement des chapes et joints de chaussée a conduit à éliminer pour ces équipements presque toutes les solutions traditionnelles.

Aussi s'est-il avéré nécessaire de rechercher dans deux voies :

- celle des matériaux nouveaux que la chimie moderne notamment met à notre disposition, mais avec tous les problèmes d'adaptation que l'on peut imaginer ;
- celle de conceptions nouvelles pour les équipements ; par exemple : corniche chéneau — barrière en éléments de béton précontraint indépendante du tablier, etc.

Comment toutes ces armes sont-elles utilisées ?

On doit considérer comme un fait que l'initiative de ces recherches émane d'une foule d'organismes dispersés, à savoir :

- de certains services projeteurs ou constructeurs ;
- du Laboratoire Central ou des Laboratoires Régionaux ;
- des Entreprises de Travaux Publics ;
- de l'industrie chimique, métallurgique...

C'est pourquoi l'intervention d'un organisme central (le S.E.T.R.A.) s'est avérée indispensable pour définir les besoins, orienter certaines recherches, y participer, et en tirer les conclusions.

Cette intervention est d'autant plus indispensable que l'origine d'un certain nombre de solutions se situe dans le secteur commercial et que le souci dominant de ce secteur est de vendre ses produits :

- avec le moindre prix de revient, donc avec le minimum de frais d'essais et d'études de mise au point, et avec une tendance systématique à l'allègement de la qualité ; d'ailleurs, le chiffre d'affaires correspondant à la fourniture et à la mise en œuvre de ces équipements nombreux et variés est relativement faible (10 % environ du coût total des ouvrages d'art), ce qui n'incite guère les entreprises ou l'industrie à de gros investissements de recherche ;
- aussi vite et aussi abondamment que possible ; en règle générale on ne peut en attendre des définitions claires ni prudentes des limites du domaine d'emploi ; dans les cas les meilleurs — et ils sont rares — on peut se faire une idée du comportement à moyen terme des produits proposés ; jamais au-delà. Et il est presque toujours bien difficile de savoir si les produits proposés sont conformes ou non à ceux qui avaient été élaborés et mis en œuvre à l'origine.

Ces inconvénients, qui sont monnaie courante, ne doivent certes pas conduire à mésestimer le rôle de l'initiative privée dans ce domaine. Mais ils prouvent la nécessité, en face du secteur privé, d'un interlocuteur compétent, représentant de l'Administration et des besoins du secteur public. Ils montrent également que dans ce domaine on ne peut tout attendre de la seule initiative privée et que dans un certain nombre de cas une intervention de l'Administration est indispensable, ne serait-ce que sous la forme de passation de certains contrats de recherche avec le secteur privé.

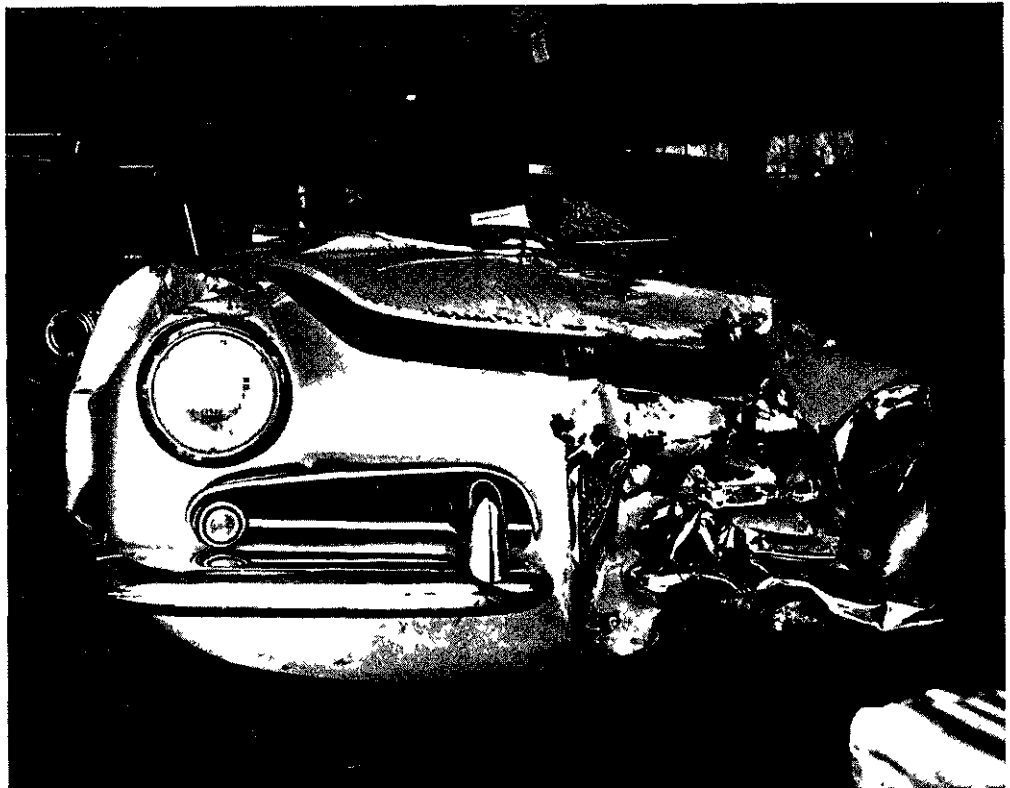
Cette intervention est également indispensable parce qu'il est quasiment impossible à un échelon local d'être au courant de l'ensemble de ce qui a pu être déjà essayé ailleurs — en France aussi bien qu'à l'étranger — et des causes possibles d'échec. Certes on ne doit pas méconnaître que bien des idées valables ont leur origine dans les Services

locaux de l'Administration, aussi bien qu'à l'échelon central ou dans le secteur privé. Si ce problème est évoqué ici, c'est pour montrer l'importance particulière, dans ce domaine des équipements, des liaisons et échanges d'information, pour éviter les multiples emplois et les échecs réitérés.

Le minimum à accomplir.

Force est de reconnaître que si, depuis plusieurs années, on a commencé à étudier systématiquement les équipements et si l'on a déjà enregistré de substantielles améliorations pour certains d'entre eux (joints de chaussée, dispositifs de sécurité), la plus grande partie du travail reste à accomplir. Or les besoins n'attendent pas : par exemple l'entretien hivernal, malgré les ravages qu'il cause déjà par le salage des ouvrages, ne peut être abandonné jusqu'à ce que soient mises au point et mises en œuvre des chapes d'étanchéité d'une efficacité certaine et constante. Par ailleurs les équipements représentent, pour l'usager, l'élément le plus sensible dans un ouvrage d'art, et tout chantier de réfection peut entraîner des accidents ou des retards qu'un équipement initial satisfaisant aurait évités.

Devant la diversité des techniques à utiliser, un ou deux Ingénieurs à l'échelon central ne peuvent être autre chose que de mauvais spécialistes de l'ensemble des équipements.



Le cabriolet européen est passé en Californie sous une glissière à câbles destinée à retenir des véhicules américains de plus grande hauteur. Les occupants ont été décapités.

Comme il ne peut être matériellement question de passer à une dizaine de véritables spécialistes, il faut que notre échelon central ait au moins la possibilité matérielle de susciter les recherches et essais indispensables. Il lui faut celle de rencontrer ses homologues des pays voisins et visiter leurs réalisations, car il ne serait pas raisonnable de vouloir résoudre par les seuls moyens de notre pays, l'ensemble de ces problèmes qui se posent en grande partie, d'une façon comparable, dans les autres pays. On ne doit, toutefois, pas oublier qu'une solution étrangère n'est pas toujours valable en France : ainsi, on ne peut se borner à copier les dispositifs de sécurité américains, car le parc automobile français couvre une gamme de dimensions géométriques et de masses différentes ; pour les revêtements et joints, notre essieu de 13 t est plus agressif que les essieux des autres pays. Un certain effort national — dont nous serions les premiers bénéficiaires — est donc, de toute manière, indispensable.

Et, bien entendu, il appartient en outre à nos quelques spécialistes de ces problèmes, de diffuser les renseignements recueillis par tous moyens appropriés, aux utilisateurs, et conseiller ceux-ci sur les problèmes particuliers qu'ils rencontrent.

Ce qui précède suffira, nous l'espérons, à faire apparaître l'ampleur de leur tâche.

Quelques réflexions sur l'exécution des ponts

Observation préliminaire.

Notre intention n'est pas d'énumérer ici, et encore moins d'analyser, les multiples difficultés d'ordre technique qui peuvent apparaître lors de l'exécution d'un ouvrage d'art.

Nous nous proposons seulement d'examiner la situation actuelle de l'Administration, et plus spécialement des Ingénieurs des Ponts et Chaussées, vis-à-vis du problème que pose l'exécution des ouvrages d'art.

La situation actuelle : ses avantages, ses inconvénients et leurs causes.

Traditionnellement, l'Ingénieur local (Arrondissement territorial ou Arrondissement fonctionnel) est responsable de l'exécution des ouvrages dépendant de sa circonscription, quelle que soit l'importance de ceux-ci.

Cette solution présente des avantages incontestables :

- sur le plan technique, l'Ingénieur local connaît en principe mieux qu'un autre « son terrain » : conditions climatiques de la zone considérée, régime des cours d'eau à franchir, difficultés de fondation que l'on doit attendre, qualités des ciments et des granulats qu'il est possible d'obtenir dans la région, résultats que l'on peut espérer pour les bétons, etc.
- sur le plan de la continuité, il est, à tout moment, à peu de distance du lieu des travaux ; il est donc, géographiquement, de beaucoup le mieux placé pour exercer les responsabilités réglementaires ou contractuelles de l'Administration pendant les travaux ; ces responsabilités, nous devons y insister, n'ont eu aucune tendance à diminuer au cours de ces dernières années, bien au contraire ; cet avantage est donc primordial ;
- sur le plan professionnel, chaque Ingénieur peut avoir la satisfaction de réaliser, à certains moments de sa carrière, un ou plusieurs ouvrages d'art intéressants, et, corrélativement, d'accroître son bagage technique.

Mais elle n'est pas sans inconvénients.

Peut-être n'est-il pas inutile de rappeler tout d'abord que les ouvrages d'art constituent une spécialité particulièrement difficile et d'une diversité croissante, et qu'à l'étranger bien des Ingénieurs de très haut niveau éprouvent la nécessité d'y consacrer leur carrière toute entière, et même se limitent le plus souvent à certaines branches.

Chacun sait qu'il n'en est actuellement plus de même dans notre Administration, à de très rares exceptions près. L'Ingénieur des Ponts et Chaussées, dans la grande majorité des postes qui lui sont offerts, se voit confier des tâches de plus en plus nombreuses et variées, et il n'est plus en mesure de consacrer un temps suffisant à la technique, et

notamment à celle des ouvrages d'art. Ajoutons que la multiplicité des missions des Ingénieurs en service a conduit à multiplier les disciplines d'enseignement à l'École, et donc à diminuer le temps consacré à la conception et à l'exécution des ouvrages d'art dans la formation générale des jeunes ingénieurs.

Incomplètement formé au départ (à moins d'avoir bénéficié d'un complément de formation par un passage dans un Service central), dispersé ensuite dans ses tâches, l'Ingénieur des Ponts ne pourra acquérir que très difficilement et, le plus souvent, partiellement, les connaissances techniques nécessaires à l'étude et à la direction des travaux des ouvrages d'art.

Au stade des études d'un ouvrage important (A.P.S., A.P.D., dossier d'appel d'offres), le jeune Ingénieur local, faute de temps et de connaissances, se décharge le plus souvent sur des Organismes spécialisés : S.E.T.R.A. ou bureaux d'études privés. Dans le meilleur des cas, il peut suivre personnellement, et d'assez près, le déroulement des études, ce qui est une excellente chose non seulement pour parfaire sa formation, mais aussi parce que ses suggestions permettent bien souvent d'améliorer un projet, notamment pour ce qui est des fondations. Mais, trop souvent, il ne prendra véritablement l'affaire en main qu'au stade de l'exécution, ce qui est, à bien des égards, aberrant, car c'est au moment où des problèmes particulièrement délicats et lourds de conséquences vont se poser qu'il se trouvera, dans le cadre des structures actuelles, presque totalement livré à lui-même.

A l'exécution, il aura tendance à faire confiance à l'entrepreneur, alors qu'un ouvrage n'est correctement exécuté que si les deux fonctions de maître d'œuvre et d'entrepreneur sont assurées l'une et l'autre de façon satisfaisante. Sur le chantier, il faut organiser et prévoir les difficultés, ce qui demande du métier et de l'expérience.

Quelques suggestions préliminaires pour améliorer la situation actuelle.

Nous rappellerons tout d'abord quelques vérités premières, qui ne sont en fait que des truismes, mais qui n'apparaissent pas toujours comme tels :

1. — Il existe une réglementation technique de l'exécution des travaux, qui s'impose sur le plan juridique aussi bien à l'Entreprise qu'à l'Administration ; il serait donc pour le moins souhaitable que les deux parties en aient une connaissance suffisante. Cette réglementation est, certes, d'un abord difficile ; elle est souvent incomplète, voire obscure sinon dans sa consistance, du moins dans ses motivations, et parfois même fort imparfaite. Mais les problèmes de compréhension et d'interprétation qu'elle pose, qui ne font en général que refléter les difficultés intrinsèques des problèmes techniques auxquels elle se rapporte, ne doivent pas empêcher l'Ingénieur d'y avoir largement recours : la réglementation n'est pas faite que d'interdictions ; on y trouve non seulement des prescriptions, mais aussi des recommandations et des conseils qui sont souvent bons à prendre.

2. — Les avant-projets détaillés et dossiers d'appels d'offres ne constituent en aucun cas des études d'exécution.

Ceci est particulièrement vrai pour les structures métalliques où les détails d'assemblage, et notamment les séquences de soudage, peuvent avoir une influence considérable sur la qualité et même la tenue de l'ouvrage : nous avons vu (à l'étranger) deux parties de dalle orthotrope qui auraient dû être jointives, et qui étaient en fait distantes de plusieurs centimètres, et cela parce qu'on avait omis de tenir compte du retrait des cordons de soudure ; l'intervalle a été bouché tant bien que mal (avec de la soudure), mais il va sans dire qu'une telle malfaçon peut avoir des incidences fâcheuses sur la tenue de l'ouvrage en service.

3. — Il y a toujours lieu de s'assurer que les dispositions prévues sur les plans d'exécution sont bien respectées sur le chantier. En béton précontraint, par exemple, les efforts importants qui entrent en jeu imposent des ferraillements secondaires complexes, lesquels sont rarement du goût des hommes de chantier qui ont une tendance naturelle à la simplification. Il en va de même pour les tracés des gaines qui, dans les structures minces, devraient être respectés scrupuleusement, ce qui n'est pas toujours le cas : combien de fois avons-nous vu des câbles transversaux qui, pour être très correctement

dessinés sur les plans (tracé sinusoïdal), ne s'en retrouvent pas moins rectilignes dans la réalité, et situés en particulier dans le tiers supérieur du hourdis dans la zone comprise entre deux âmes ; quand on songe qu'une erreur de 2 cm sur l'excentricité d'un câble transversal produit sur chaque fibre extrême d'un hourdis de 18 cm une variation de contrainte de 30 kg/cm², on ne s'étonne pas qu'une fissuration importante puisse apparaître dès la mise en service. Il faut ajouter que les chefs de chantier, même les meilleurs, n'ont que rarement les connaissances requises en résistance des matériaux pour mesurer la portée de certaines erreurs ; c'est donc au maître d'œuvre qu'il incombe d'être vigilant à cet égard.

Il faut bien avoir présent à l'esprit le fait qu'une très grande part des incidents constatés sur des ouvrages en service provient d'une mauvaise exécution : bétons irréguliers, injections de gaines mal faites, mises en tension effectuées à un moment inopportun, peintures réalisées avec un soin insuffisant, etc.

4. — Dans le même ordre d'idées, il existe des aléas qui ne peuvent être prévus sur les plans d'exécution, et qui peuvent échapper (faute de connaissances suffisantes) au chef de chantier, mais que devrait déceler l'Ingénieur maître d'œuvre. Dans le cas des ponts construits par encorbellement, par exemple, il est extrêmement fâcheux que deux fléaux n'arrivent pas en face, tant en plan qu'en élévation, car les manœuvres que l'on est amené à faire pour les aligner peuvent introduire dans la structure des contraintes fort importantes. Le maître d'œuvre peut prévenir de tels inconvénients en examinant attentivement, entre autres choses, les calages provisoires qui lui sont proposés par les exécutants, lesquels n'ont en général pas d'idées précises sur les efforts que supportent ces calages, et qui pourront employer du bois là où il faudrait de l'acier. De même, s'il arrive malgré tout que les fléaux ne soient pas alignés, il ne faut pas laisser à un chef de chantier le choix de la manœuvre de redressement, car celui-ci prendra alors la plus expéditive ou la moins coûteuse, au détriment peut-être de l'intégrité de l'ouvrage.

Ce que nous voudrions faire comprendre, c'est qu'il y a, au cours de la vie d'un chantier, des périodes où seul un Ingénieur de haut niveau technique peut imposer des solutions valables.

Ceci étant, il ne faut pas espérer que les tâches des Ingénieurs locaux vont aller en décroissant, ce qui leur permettrait de se mieux consacrer à la technique. L'inverse est plus probable ; il faut donc s'y adapter. Comment peut-on s'y prendre ? C'est ce que nous allons maintenant rechercher.

Une répartition rationnelle des missions est possible.

De tout ce qui précède, il ressort que l'Ingénieur d'Arrondissement (fonctionnel et a fortiori territorial) se trouve dans une situation comparable à celle d'un praticien de médecine générale. Il est donc indispensable qu'il puisse s'appuyer sur des spécialistes. Nous allons chercher comment les tâches des uns et des autres pourraient s'articuler entre elles, et pour cela nous examinerons successivement le cas des ouvrages courants, des ouvrages importants, et enfin des ouvrages exceptionnels, cette classification quelque peu simpliste n'ayant bien entendu qu'une valeur indicative.

Les ouvrages courants.

On peut considérer comme tels les ouvrages qui présentent de faibles portées, et pour lesquels il n'y a pas des difficultés particulières de fondation (ce dernier point étant essentiel). Entrent par exemple dans cette catégorie tous les P.S. autoroutiers, et la plupart des P.I. Il semble normal que, pour de tels ouvrages, l'Ingénieur des Ponts puisse se décharger très largement sur un Ingénieur des T.P.E., étant observé que celui-ci sera aidé dans sa tâche par la réglementation technique évoquée plus haut, laquelle ne pose pratiquement pas de problèmes d'interprétation dans les cas courants, et par les divers documents édités par le S.E.T.R.A. (dossiers-pilotes, bulletins et notes techniques).

Le S.E.T.R.A. prépare en outre, à l'intention des services locaux, un premier *Guide de chantier* qui devrait faciliter le travail des Ingénieurs des T.P.E. et des surveillants dans

le domaine des ouvrages courants, pour lesquels ce sont presque toujours les mêmes difficultés qui se présentent : elles concernent essentiellement les tabliers et plus particulièrement les tabliers en béton précontraint.

Par ailleurs, nous pensons que les conférences de recyclage qui sont organisées depuis quelques années soit à Paris, soit en province dans les Centres de formation professionnelle, devraient permettre aux Ingénieurs des Ponts et Chaussées et des T.P.E. qui les suivent de s'initier aux techniques modernes de construction.

Les ouvrages importants.

Il s'agit, dans notre esprit, et pour fixer les idées, d'ouvrages dont le coût est compris entre 2 et 20 millions de francs, et qui, en toute hypothèse, présentent des difficultés sérieuses tant pour les tabliers (soit en raison de leur mode de construction, soit à cause de la dimension des travées) que pour les fondations.

Le plus souvent les avant-projets de tels ouvrages sont dressés ou contrôlés par le S.E.T.R.A. Mais au stade de l'exécution, le Service local ne dispose généralement d'aucune assistance. Quelquefois, un Ingénieur du S.E.T.R.A. est chargé de vérifier les calculs et les plans d'exécution ; mais cette solution ne peut être généralisée en raison du fait que les effectifs de l'échelon central n'ont pas été fixés en vue de telles missions. Par ailleurs, malgré les avantages qu'elle présente, elle n'est que partiellement satisfaisante : elle comporte en particulier l'inconvénient d'inciter le Service local à se désintéresser presque totalement des études d'exécution, de telle sorte qu'il n'y a personne qui fasse véritablement la synthèse entre le chantier et les études. Par ailleurs, l'Ingénieur du S.E.T.R.A. n'est qu'insuffisamment associé aux problèmes d'exécution. Or, nous sommes convaincus qu'on ne peut qualifier de compétent en matière d'ouvrage d'art qu'un Ingénieur qui possède à la fois :

- une connaissance approfondie des problèmes de conception et de calcul.
- une pratique suffisante des problèmes d'exécution, tant sur le plan technique que sur le plan économique. Or, cette pratique ne peut s'acquérir que par une fréquentation assidue des chantiers.

A titre d'expérience, et sans approfondir les problèmes d'ordre quantitatif que poserait toute généralisation, nous en sommes donc arrivés, pour quelques ouvrages particuliers et en accord avec les services locaux concernés, à essayer une formule beaucoup plus souple. Dans les cas évoqués, la collaboration entre le S.E.T.R.A. et le Service local a commencé dès la préparation du dossier d'appel d'offres ou du jugement de l'affaire, selon qu'il s'agissait ou non d'un concours. Normalement, l'intervention de l'Ingénieur du S.E.T.R.A. aurait dû ou aurait pu s'arrêter là. En fait, les choses se sont déroulées ou se déroulent schématiquement de la façon suivante (il s'agit d'expériences en cours ou remontant à un passé très récent) : avant le démarrage du chantier, ou au début de celui-ci, toutes les réunions d'études entre l'entreprise et l'Administration ont lieu à Paris, sous la direction de l'Ingénieur du S.E.T.R.A. En général, l'Ingénieur local participe à ces séances, surtout lorsqu'il s'agit de réunions importantes qui engagent l'économie de l'ouvrage ou les délais ; il ne s'en dispense que lorsqu'il s'agit de questions à caractère spécifiquement théorique, le S.E.T.R.A. et l'entreprise le tenant cependant informé. C'est l'inverse qui se produit pour les réunions de chantier, celles-ci ayant lieu sur place bien entendu : l'Ingénieur du S.E.T.R.A. se déplace de Paris pour les réunions les plus importantes, en même temps d'ailleurs que le directeur technique ou le directeur des études de l'entreprise. Les plans et les notes de calculs d'exécution sont systématiquement adressés à l'Administration en deux exemplaires (un pour le Service local, un pour le S.E.T.R.A.). L'Ingénieur local garde évidemment toutes ses prérogatives de maître d'œuvre, et c'est lui en particulier qui vise les documents d'exécution.

Dans les cas délicats, le Service local peut prendre, autant qu'il le désire, l'avis du S.E.T.R.A. avant d'accorder son visa.

Ces expériences se sont révélées extrêmement fructueuses, et n'ont donné lieu en pratique à aucune divergence, de quelque ordre que ce soit, entre le Service local et le S.E.T.R.A. Le système est d'ailleurs très souple, car la participation du S.E.T.R.A. peut varier de 0 à 100 % suivant les ouvrages ou suivant les différentes phases d'un même

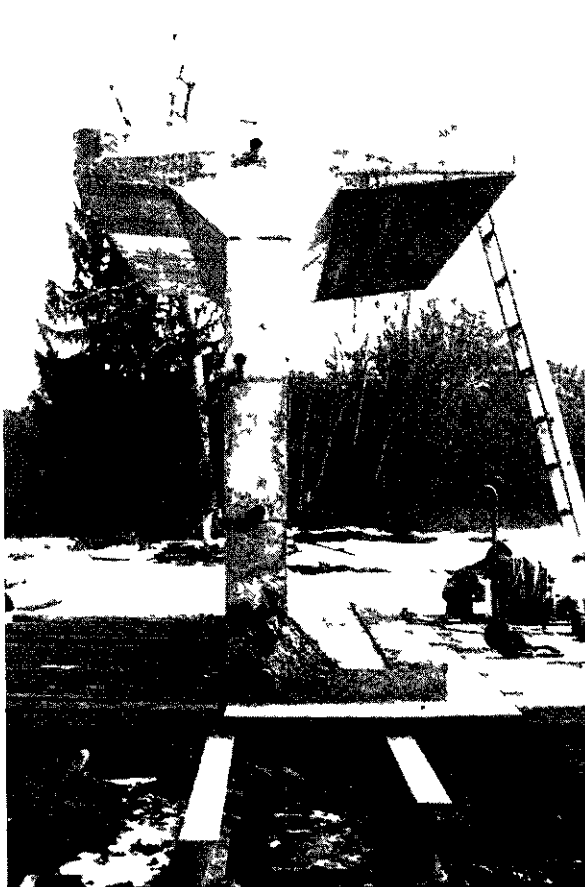


Fig 1. — Premier essai de bétonnage avec un schéma de câblage défectueux



Fig. 2. — Deuxième essai avec schéma rectifié

Que se serait-il passé si l'ouvrage avait été exécuté avec le schéma de câblage initial ?

chantier. Il permet en outre au S.E.T.R.A., d'être tenu directement informé des problèmes d'exécution, et il est alors facile de faire profiter un chantier de l'expérience acquise sur un autre. Signalons, à titre d'exemple, le cas d'un ouvrage d'importance moyenne dans les Alpes : les dispositions proposées par l'entreprise pour le câblage et le ferrailage du tablier laissaient entrevoir de sérieuses difficultés de bétonnage ; le maître d'œuvre a décidé, sur les conseils du S.E.T.R.A., de faire exécuter deux voussoirs d'essai, l'un avec les dispositions de l'entreprise, l'autre avec les contre-propositions du S.E.T.R.A. (fig. 1 et 2). Le résultat a été assez éloquent, et a démontré que les dispositions initiales auraient conduit inévitablement à une malfaçon. L'expérience a pu, tout récemment, être transposée avec le même succès sur un ouvrage beaucoup plus important de l'autoroute de Normandie, les constatations faites sur le voussoir d'essai conduisant l'Administration et l'entreprise à revoir un certain nombre de dispositions ; nous pensons avoir ainsi évité de sérieuses difficultés. Or, sensiblement à la même époque, paraissait dans la presse technique un article, fort intéressant au demeurant, relatant la construction d'un ouvrage de même type et exposant les prodiges d'ingéniosité qu'il avait fallu déployer pour remédier, après coup, à des défauts de bétonnage d'âmes minces. Ce que l'auteur de l'article ne semblait pas imaginer, c'est que les difficultés qu'il a dû surmonter étaient parfaitement prévisibles, et qu'elles ne se seraient sans doute pas produites s'il avait communiqué les plans d'exécution à un Ingénieur du S.E.T.R.A. Il est d'ailleurs remarquable de constater que les Ingénieurs qui ont le plus volontiers recours au S.E.T.R.A. sont parmi les plus chevronnés en matière d'ouvrages d'art.

Il est, en tout cas, certain que les Ingénieurs des services locaux et ceux des services spécialisés ont besoin de collaborer autant qu'il est possible.

En fait, ce problème se pose actuellement en termes nouveaux pour de multiples raisons dont les principales sont l'augmentation du nombre des ouvrages à construire et la régionalisation. Cette dernière aura pour effet qu'un certain nombre de spécialistes seront non pas à proprement parler sur place, mais géographiquement plus proches des Ingénieurs locaux que ne le sont ceux des Services centraux. L'extension du mode de collaboration que nous avons décrit ci-dessus en serait facilitée.

Il n'en reste pas moins que le problème de la répartition des missions, entre généralistes et spécialistes d'une part, entre spécialistes des différents échelons d'autre part, se pose non seulement en termes qualitatifs, mais aussi en termes quantitatifs. Il faut souhaiter que cette répartition soit étudiée en fonction de la nature technique des tâches et de leur caractère plus ou moins répétitif, et que les effectifs soient fixés d'une manière cohérente avec une telle étude.

Nous rappellerons enfin qu'une visite ou qu'un coup de téléphone au S.E.T.R.A. sont toujours possibles. Nombreux sont les Services qui ont recours à cette forme simple d'assistance, qui s'avère efficace dans de nombreux cas.

Les ouvrages exceptionnels.

Nous considérons comme tels des ouvrages isolés dont le coût atteint ou dépasse 20 millions de francs, ou bien des groupements, dans un secteur assez limité, de quelques ouvrages un peu moins importants mais pour lesquels le montant total des travaux dépasse la somme indiquée ci-dessus. Il nous semblerait logique, sinon indispensable, pour ces réalisations qui peuvent et doivent être des occasions de progrès, et qui en toute hypothèse engagent le renom de la technique française, de constituer des arrondissements spéciaux. Corrélativement, ces arrondissements devraient être confiés à des Ingénieurs confirmés sur le plan technique, ce qui, dans notre esprit, implique à la fois, de façon préalable :

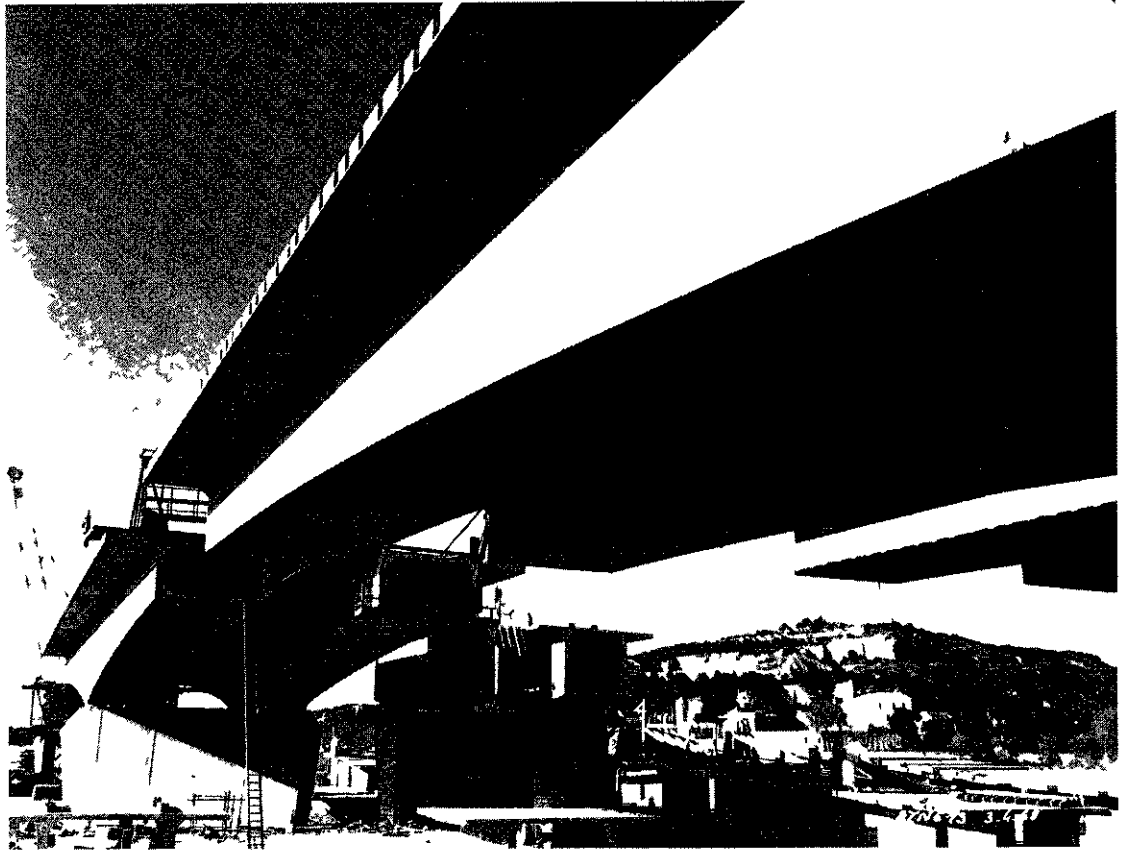
- un passage de quelques années au S.E.T.R.A.
- une participation à un nombre suffisant de chantiers importants.

Ces conditions paraissent nécessaires pour qu'un tel Ingénieur soit en mesure :

- de préparer l'appel d'offres qui donnera généralement lieu à un concours ;
- de procéder à l'examen des offres ;
- de jouer le rôle principal dans la direction des travaux ;
- et à cette occasion de faire effectuer tous les essais auxquels le chantier pourrait donner lieu, essais dont les résultats profiteraient non seulement à la construction en cours, mais à diverses réalisations ultérieures.

Il n'existe actuellement que deux ou trois arrondissements qui correspondent sensiblement à la définition précédente ; il s'agit d'ailleurs, compte tenu du volume des travaux à effectuer pendant de très nombreuses années dans les agglomérations considérées (Paris et Lyon), d'arrondissements permanents. Mais on pourrait aussi envisager des arrondissements temporaires, qui seraient créés pour un ouvrage ou un groupement d'ouvrages déterminés dès la mise à l'étude de ceux-ci, et qui seraient dissous après le règlement définitif de l'affaire (leur durée serait donc de l'ordre de 4 à 6 ans environ).

La création de tels arrondissements poserait certes quelques problèmes, administratifs et autres, que nous n'ignorons pas ; mais nous insistons sur les avantages que l'on pourrait en tirer, lesquels, encore une fois, dépasseraient largement le cadre de l'ouvrage considéré. Il ne faudrait en aucun cas que les Ingénieurs qui pourraient postuler à de tels arrondissements en soient dissuadés par des raisons matérielles, des difficultés de logement par exemple : est-il besoin d'indiquer, et ceci n'est pas une boutade, que le coût d'une maison d'habitation et de quelques bureaux à un emplacement voisin du futur chantier représenterait environ 1 % du montant des travaux à réaliser ? Ne pense-t-on pas qu'un Ingénieur véritablement qualifié pourrait faire regagner à la collectivité beaucoup plus que la dépense correspondante ?



Le pont de Bonpas, en construction.

(Photo Baranger)

Le fond du problème.

Nous avons tenté de compléter l'examen des problèmes que pose l'étude des ouvrages d'art, par leur prolongement sur le plan de l'exécution.

Ceci nous a conduit à analyser une situation dont on voit qu'elle est difficile, et à proposer des embryons de solution. Il s'agit bien d'embryons, car les possibilités d'action des trop rares Ingénieurs confirmés dans le domaine des ouvrages d'art, dont l'Administration dispose actuellement, ne sont pas illimitées : il serait illusoire de penser qu'une poignée d'hommes puisse s'occuper tout à la fois et efficacement d'élaborer des projets d'ouvrages non courants, de faire face aux besoins en matière d'informatique, de former les futurs spécialistes et, en plus, de suivre d'assez près un certain nombre de réalisations.

Il n'est pas possible de méconnaître certaines réalités dans l'exécution des ouvrages d'art : on ne peut pas tricher avec la matière. En particulier, il n'est plus possible, à une époque où des préoccupations très légitimes d'économies et de délais commandent de réaliser des structures sans cesse plus hardies, de confier à des hommes surmenés ou à des débutants de trop lourdes responsabilités dans la marche des chantiers difficiles.

Le fond du problème réside donc dans la formation et le maintien, notamment dans l'Administration, d'un nombre suffisant d'Ingénieurs constructeurs, c'est-à-dire d'Ingénieurs ayant une haute spécialité technique, aptes non seulement à concevoir les ouvrages, mais aussi à exercer pleinement les fonctions attachées à la maîtrise de l'œuvre.

Problèmes d'aujourd'hui et de demain

En apparence, la situation dans le domaine des ouvrages d'art en France est bonne. Le Pont de TANCARVILLE a été le plus grand d'Europe et reste une réalisation prestigieuse. Le béton précontraint est né dans ce pays et a pris une extension extraordinaire. Les premiers programmes de calcul entièrement automatique de ponts, élaborés il y a quelques années dans l'Administration et largement utilisés, sont appréciés et diffusés à l'étranger. Il existe, dans notre pays, de bons Ingénieurs, de bonnes entreprises, qui bâtissent déjà près de 1000 ponts par an, avec un nombre infime d'accidents et pour un prix au mètre carré inférieur à celui d'un mètre carré de plancher d'habitation.

**

En réalité, derrière ces apparences, de graves problèmes se posent, dans l'immédiat et, plus encore, pour l'avenir.

Du fait de l'augmentation massive du rythme des travaux routiers et autoroutiers, le nombre annuel de projets de ponts a plus que doublé depuis 5 ans. En même temps, la technique a subi une mutation profonde et continue à se transformer très rapidement.

Mais les moyens d'études — qu'il s'agisse des bureaux d'études privés ou de ceux de l'Administration — n'ont pas suivi, loin delà, l'augmentation des besoins. Il a été possible de faire face à ce changement brutal grâce à un accroissement de la productivité, en particulier grâce au recours intensif à l'ordinateur.

Cela ne pourra pas suffire : nous en sommes arrivés à un point où les bons bureaux d'études d'ouvrages d'art sont saturés et où l'ordinateur ne peut plus pallier l'insuffisance du nombre d'Ingénieurs. Le ralentissement des travaux, dû à la conjoncture économique, ne sera que passager. Lorsque l'expansion reprendra, comment éviter une dégradation de la technique si le secteur des études n'est pas renforcé ?

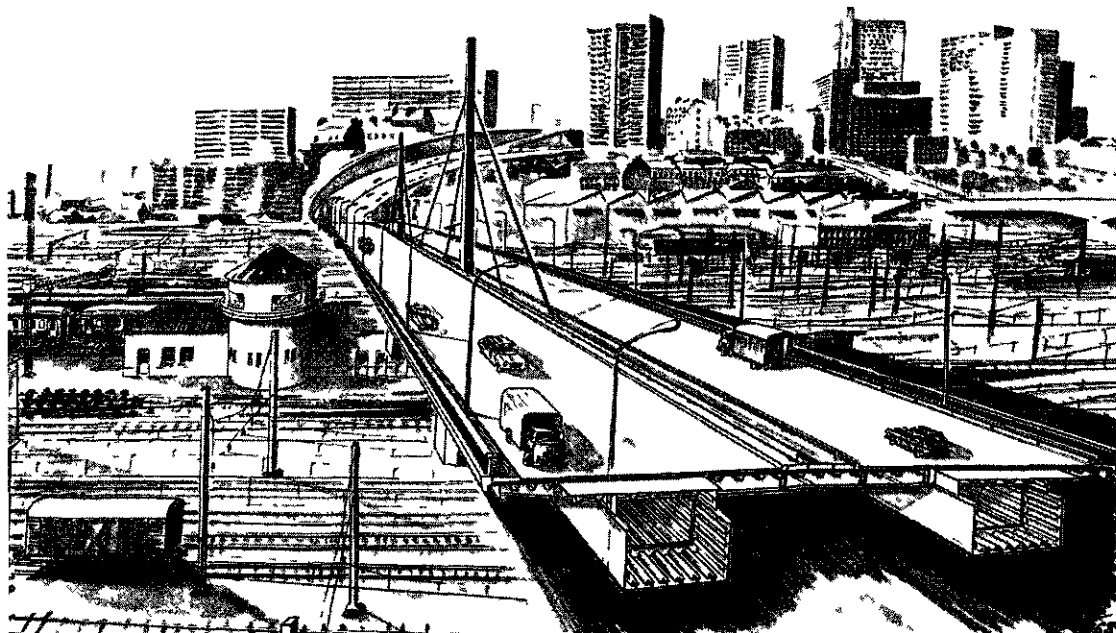
**

L'asphyxie qui menace en matière d'études est le danger le plus imminent et le plus visible. Mais plus inquiétante encore est l'insuffisance des moyens de recherche, notamment dans le domaine des structures, qui compromet l'avenir.

Dans tous les pays industrialisés, il existe des Universités techniques nombreuses et de haut niveau, qui disposent de professeurs à temps complet et de crédits substantiels de recherche provenant de l'Etat et des entreprises. Avec notre système de grandes Ecoles et de Laboratoires, il devrait être possible d'obtenir aussi d'excellents résultats, à condition d'y affecter les moyens nécessaires.

Mais, en 1963, moins de 2 millièmes du chiffre d'affaires de la branche Bâtiment et Travaux Publics étaient consacrés à la recherche (1). Et sur ces 2 millièmes, une part minuscule est revenue aux ouvrages d'art, qui ont la malchance d'être toujours minoritaires dans les problèmes à l'ordre du jour.

(1) Chiffre cité par M. DURAND-DUBIEF, Commissaire aux entreprises de Travaux Publics et du Bâtiment, dans « La Jaune et la Rouge », numéro spécial 1967.



*Perspective d'avenir sur le pont Masséna
(actuellement en construction sur le Boulevard Périphérique à Paris)*

(Photo Lavalette. CFEM)

Depuis cette date, ce pourcentage n'a guère varié, alors que des questions techniques nouvelles et très difficiles concernant les ponts récents sont apparues et n'ont pas encore reçu de réponses entièrement satisfaisantes.

Comment serait-il possible, dans ces conditions, d'expérimenter de nouveaux matériaux ou des structures inédites ?

Combien les Laboratoires ont-ils reçu de crédits pour la recherche en matière d'ouvrages d'art dans ces dernières années ? Combien de brevets ont été vendus à l'étranger, et combien les entreprises de travaux publics en ont-elles achetés ?

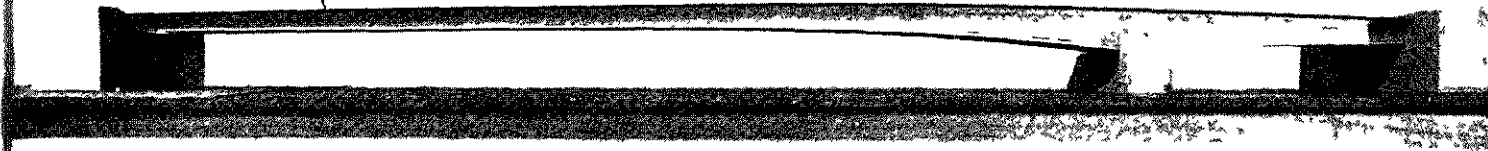
Chacun connaît le défi américain. Il y a, dans le secteur des ouvrages d'art, un défi européen au moins aussi pressant.

*

Ce sont là des problèmes qui se posent à l'échelon national, et qui ne peuvent être résolus qu'à cet échelon.

Ils concernent à la fois le secteur privé et l'Administration.

Les entreprises et les Chambres syndicales s'en préoccupent. De leur côté, les Ingénieurs des Ponts et Chaussées, qui ont en grande partie la responsabilité de la technique des ouvrages d'art, ont le devoir de demander les moyens nécessaires pour l'assumer, dans l'intérêt général.



Maquette du futur pont de l'Alma à Paris

(Photo Baranger)

Ces moyens ne sont pas à attribuer seulement aux Services Centraux spécialisés, mais aussi aux Services Régionaux en formation et aux Services Départementaux qui conservent, même lorsqu'ils n'ont pas fait le projet, la responsabilité de la construction et de l'entretien des ouvrages.

Pour obtenir le renforcement technique indispensable, il ne suffira pas de crédits supplémentaires, qui ne représenteraient d'ailleurs qu'une faible partie des crédits de travaux. Il faudra revoir l'organisation et les méthodes, pour les faire passer du système artisanal à l'ère industrielle. Il faudra surtout former des Ingénieurs constructeurs de grande valeur, et pour cela donner aux jeunes qui ont le désir de construire un enseignement efficace, les recycler fréquemment et vouloir les conserver en leur offrant des possibilités de carrières complètes dans le domaine des ouvrages d'art.

Tout cela ne se fera pas en un jour. Mais ce sont des problèmes auxquels il faut s'attaquer immédiatement.

PROCÈS-VERBAUX DES RÉUNIONS DU COMITÉ DU P.C.M.

Séance du vendredi 25 Octobre 1968

Le Comité du P.C.M. s'est réuni le vendredi 25 octobre 1968, à 14 h. 30, à l'École Nationale des Ponts et Chaussées (Salle Bouilloche).

Étaient présents : MM. Ailleret, Aussourd, Block, Boilot, Cazes, Chambolle, Clarens, Cohas, Delaporte, Deschênes Dobias, Fumet, Funel, Gayet, Gerodolle, Gerondeau, Grammont, Huet Y., Joneaux, Josse, Kosciusko-Morizet, Lacaze, Lagautrière, Lame, Lapillonne, Leclercq, Maisse, Monsarrat, Noyelle, Pezin, Ponton, Poupinel, Prévot, Regard, Tanzi, Thiébault.

Absents excusés : MM. Brisson, Cartier, Chéret, Cocude, Colin, Giraudet, Hervio, Hirsch J.-P., Parayre, Paré, Poggi, Ribès, Rousselot.

1° Pouvoirs au Trésorier et au Secrétaire.

Le Président annonce le départ de Tardieu qu'il remercie de son action au P.C.M. et son remplacement par Dobias et Kosciusko-Morizet.

Après en avoir délibéré, le Comité du P.C.M. renouvelle les pouvoirs de son trésorier, M. J.-P. Lacaze, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 10, rue E.-Boudin, à Rouen (76).

Les mêmes pouvoirs sont conférés à M. G. Dobias, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 46, rue de l'Assomption, à Paris (16^e), secrétaire de notre Association.

2° Adoption du procès-verbal du 25 septembre 1968.

Le procès-verbal détaillé de la dernière réunion du Comité du P.C.M., soumis aux membres, appelle les observations de la part de Gerodolle et de Huet, et est amendé en conséquence.

3° Groupes de travail du P.C.M.

Les rapporteurs des groupes régionaux du P.C.M. se sont réunis le 25 octobre au matin pour faire le point de l'avancement des travaux dans chaque groupe. À la demande du Président, chaque groupe de travail a désigné, en son sein, un rapporteur national.

Il est demandé à ces derniers de rappeler les grandes lignes de leurs réflexions et l'orientation qu'ils comptent leur donner dans l'avenir.

a) Stratégie d'action du P.C.M. : Gerodolle.

D'un commun accord, ce groupe a travaillé avec le groupe « Problèmes de Corps », car la limite entre leurs domaines respectifs est difficile à trouver.

La base de la discussion de ces deux groupes a été les réflexions du groupe de Bordeaux, de juillet dernier.

b) Réforme administrative : Maisse.

Des notes de huit groupes de province sont parvenues.

Maisse propose, à partir des documents reçus, de faire une première synthèse, dont les principales têtes de chapitres pourraient être les suivantes :

- décentralisation : problème de l'organisation de la région ;
- réforme communale ;
- déconcentration ; problème de l'organisation des pouvoirs et des délégations de pouvoirs dans l'Administration : organisation de l'Administration en général et en particulier, déconcentration aux échelons divers de l'Administration ;
- organisation des services extérieurs : dans les départements et dans les régions et rapports des services centraux avec ces divers services extérieurs.

c) Problèmes des Corps : Monsarrat.

(Voir groupe « a »).

d) Urbanisme : Ponton.

Ce groupe de travail a prévu de préparer une note de synthèse s'appuyant sur les différentes notes déjà reçues. Ponton estime qu'il est indispensable de s'attacher à cette question, absolument fondamentale pour notre Corps. Quelques chapitres ont été dégagés, en particulier les points suivants :

- augmentation du rôle des collectivités locales en matière d'urbanisme ;
- politique foncière ;
- permis de construire ;
- action d'urbanisme et d'urbanisme opérationnel.

e) Logement et constructions publiques : Poupinel.

Les documents reçus sont assez hétérogènes. Il importe d'approfondir le rôle des Ingénieurs des Ponts et Chaussées en matière de construction. Ce problème est lié aux travaux des groupes « Urbanisme » et « Réforme administrative ». L'action de ce groupe consistera à sensibiliser les esprits en matière de formation et en matière de prise en charge des problèmes de construction.

4° Gestion du Corps.

Au cours d'une réunion commune qui s'est tenue le samedi 19 octobre dernier, nos camarades I.G.R.E.F. nous ont informé de la création d'un Conseil de Gestion de leur Corps, au sein du Ministère de l'Agriculture.

Ce Conseil a pour mission d'aider le Directeur du Personnel et de favoriser une politique de gestion du Corps. Il a également vocation pour se saisir de toutes les affaires qui concernent le Corps et émettre des conseils ou avis.

Il y aurait lieu de s'orienter vers une forme analogue à l'Équipement. Un tel Conseil, au sein du Ministère de l'Équipement, devrait également comprendre des représentants des autres Ministères, du fait du caractère interministériel du Corps des Ponts, et, en tout cas, de celui du Ministère des Transports.

Cette structure à caractère exécutif, n'est d'ailleurs pas incompatible avec une « conscience » du Corps distincte. Celle-ci serait chargée de définir une politique à long terme.

Cazes fait remarquer que si l'on veut considérer le Corps des Ponts comme un Corps interministériel, il faut créer des structures adaptées.

5° Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

Les membres du Conseil de Perfectionnement de l'Ecole se sont réunis le 22 octobre dernier pour discuter de la réforme du statut de l'É.N.P.C.

Il semble que les élèves aient modifié leur point de vue depuis les vacances et que les structures actuelles puissent leur convenir si on y apporte quelques changements, en particulier en ce qui concerne la composition du Conseil de Perfectionnement.

Deux tendances se sont dégagées à ce sujet : soit un Conseil limité en nombre, soit une formule plus étendue pour que ce Conseil soit plus représentatif. Dans cette optique, le Comité d'enseignement serait un exécutif relativement restreint comprenant 10 professeurs et 10 élèves.

Delaporte recommande le maximum d'échanges entre les deux Ministères de tutelle et estime qu'on ne peut échapper à un Conseil important par suite de la diversité des problèmes et des utilisateurs.

6° Problèmes concernant le Ministère de l'Équipement.

Une audience a été accordée au Président par le Ministre de l'Équipement et du Logement pour aborder

les problèmes posés par la modification du décret portant nomination des D.D.E.

Le problème du Corps de la Construction a également été abordé.

Par ailleurs, un groupe de travail, auquel participent **MM. Bideau, Girault** et **Jungelson**, doit se préoccuper des problèmes qui concernent les Ingénieurs généraux, les Inspecteurs généraux et le Conseil Général.

Enfin, un groupe de travail a été constitué au Conseil Général des Ponts et Chaussées pour étudier les conditions de passage dans le Corps des Ponts pour les Ingénieurs des T.P.E. Nos camarades **Ailleret** et **Giraudet** nous y représenteront. Le P.C.M. préconise une passerelle unique, le passage s'effectuant après 7 ou 10 ans de services, via l'É.N.P.C., mais avec une scolarité de durée réduite et un décalage de carrière final ne dépassant pas 5 ans.

Une note sera remise au Président **Rerolle**. Cette note insistera en particulier sur les conditions de passage des examens. Précédé d'une sélection, fondée sur la notation des candidats, celui-ci devrait avoir un aspect aussi peu traditionnel que possible. Il faudrait prévoir une épreuve théorique sur un programme très restreint (mathématiques appliquées), et le passage devant un jury.

7° Services constructeurs.

Le groupe de travail « Services Constructeurs » s'est livré récemment à une analyse aussi détaillée que possible de ce qui n'allait pas dans ce domaine. Un questionnaire a été établi dans ce sens à l'attention de tous les Directeurs départementaux de l'Équipement, pour leur permettre de faire connaître leur point de vue. Les réponses sont attendues d'urgence.

8° S.G.A.C.

Les camarades travaillant pour le compte du S.G.A.C. ont rédigé une étude sur le rôle des Services de l'Équipement dans les tâches d'Aviation civiles. Ce document a été remis au Secrétaire Général.

L'ordre du jour étant épuisé, la séance est levée à 17 h. 30.

Le Secrétaire,

G. Dobias.

Le Président,

J. Block.

MUTATIONS, PROMOTIONS et DÉCISIONS diverses

concernant le Corps des Ingénieurs des Ponts et Chaussées et des Mines

MUTATIONS

Par arrêté du Premier Ministre et du Ministre de l'Équipement et du Logement en date du 8 novembre 1968, M. **Bozon** Claude, Ingénieur des Ponts et Chaussées, est nommé Chef du Service des Affaires Economiques et Internationales du Ministère de l'Équipement et du Logement, en remplacement de M. **Rousselot**, appelé à d'autres fonctions.

J.O. du 14 novembre 1968.

M. **Plaud** Alain, Ingénieur des Ponts et Chaussées, précédemment détaché à l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la région parisienne est réintégré dans les cadres de son administration d'origine et affecté à l'Administration centrale du Ministère de l'Équipement et du Logement.

M. **Plaud** Alain est autorisé à effectuer un stage d'un an aux Etats-Unis.

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} août 1968.

Arrêté du 24 juillet 1968.

M. **Moreau** Claude, Ingénieur des Ponts et Chaussées, précédemment à la Direction de l'Aménagement foncier et de l'Urbanisme, est muté à la Direction départementale de l'Équipement du Rhône en qualité d'adjoint au chef du Groupe d'Études et de Programmation.

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} octobre 1968.

Arrêté du 16 octobre 1968.

M. **Landegren** Alain, Ingénieur des Ponts et Chaussées, précédemment à la Mission des Grands Travaux Aéronautiques en Allemagne, est muté à la Direction départementale de l'Équipement du Bas-Rhin.

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} octobre 1968.

Arrêté du 16 octobre 1968.

M. **Pradon** Claude, Ingénieur des Ponts et Chaussées, précédemment au Service des Affaires Econo-

miques et Internationales est muté à la Direction départementale de l'Équipement des Alpes-Maritimes et chargé de l'arrondissement maritime et des Bases aériennes.

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} octobre 1968.

Arrêté du 21 octobre 1968.

M. **Lamé** Robert, Ingénieur des Ponts et Chaussées, précédemment à la Direction départementale de la Nièvre (arrondissement nord) est muté à la Direction départementale de la Côte-d'Or.

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} octobre 1968.

Arrêté du 21 octobre 1968.

M. **Pommelet** Pierre, Ingénieur des Ponts et Chaussées, précédemment détaché auprès du Ministère des Armées est réintégré dans les cadres de son administration d'origine et affecté à l'arrondissement Nord-Finistère de Brest.

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} janvier 1969.

Arrêté du 21 octobre 1968.

M. **Portiglia** Michel, Ingénieur des Ponts et Chaussées, chargé de l'arrondissement de Boulogne-sur-Mer, à la Direction départementale de l'Équipement du Pas-de-Calais, est muté à la Direction départementale de l'Équipement de l'Aisne, et chargé des fonctions d'adjoint au Directeur départemental.

Ces dispositions prennent effet à compter du 16 novembre 1968.

Arrêté du 21 octobre 1968.

M. **Laure** André, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, est chargé de mission auprès du chef du Service régional de l'Équipement de la région parisienne.

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} novembre 1968.

Arrêté du 25 octobre 1968.

M. **Juton Marcel**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, détaché au Secrétariat d'Etat aux Affaires étrangères, Service de la Coopération technique, est réintégré dans les cadres de son administration d'origine et mis à la disposition de l'organisation des Nations-Unies pour l'alimentation et l'agriculture afin de collaborer à un projet régional du Fonds spécial de l'O.N.U. au Sénégal (poste d'hydrolicien agricole).

Ces dispositions prennent effet à compter du 15 septembre 1968.

Arrêté du 29 octobre 1968.

M. **Rousselot Michel**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, est réintégré dans son administration d'origine et mis à la disposition du Commissariat Général du Plan d'Equiperment et de la Productivité.

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} octobre 1968.

Arrêté du 29 octobre 1968.

M. **Boyer Robert**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à la Direction de l'Aménagement Foncier et de l'Urbanisme, est mis à la disposition du Commissariat Général du Plan (Centre d'étude des revenus et des coûts).

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} novembre 1968.

Arrêté du 31 octobre 1968.

M. **Girault Pierre**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, est nommé Directeur départemental de l'Equiperment de Meurthe-et-Moselle en remplacement de M. **Laure**, appelé, à d'autres fonctions.

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} décembre 1968.

Arrêté du 7 novembre 1968.

M. **Félix Bernard**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, chargé de mission auprès du Directeur du Personnel et de l'Organisation des Services, est nommé chargé de mission auprès du Directeur des Transports terrestres.

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} novembre 1968.

Arrêté du 7 novembre 1968.

M. **Heuzé Henri**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, adjoint au Directeur départemental de l'Equiperment de l'Aisne, est muté à la Direction départementale de l'Equiperment des Yvelines.

Ces dispositions prennent effet à compter du 16 novembre 1968.

Arrêté du 12 novembre 1968.

M. **Fève Michel**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, précédemment détaché au port autonome de Dunker-

que, est réintégré dans les cadres de son administration d'origine et affecté à la Direction des Ports maritimes et des Voies navigables.

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} novembre 1968.

M. **Binet Tarbe de Vauxclairs Christian**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, précédemment à l'Organe Technique Régional de Lyon, est muté à la Division des Ouvrages d'Art du Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes de Paris.

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} novembre 1968.

Arrêté du 13 novembre 1968.

M. **Cartier Philippe**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à la Direction départementale de l'Equiperment d'Indre-et-Loire, est muté à la Direction départementale de l'Equiperment du Morbihan et chargé des fonctions d'adjoint au Directeur départemental de l'Equiperment.

Ces dispositions prennent effet à compter du 16 novembre 1968.

Arrêté du 13 novembre 1968.

NOMINATIONS

Les Ingénieurs des Ponts et Chaussées dont les noms suivent reçoivent les affectations suivantes :

M. **Aussourd Philippe**, mis à la disposition du Ministère de l'Industrie (4^e Circonscription Electrique).

M. **De Baecque Denis**, Service Maritime de Seine-Maritime.

M. **Basset Armand**, Direction départementale de l'Equiperment de l'Ille-et-Vilaine pour être placé au groupe Urbanisme opérationnel et Construction.

M. **Bauer Jean-François**, Direction départementale de l'Equiperment de Seine-Saint-Denis pour être chargé de l'arrondissement Opérationnel.

M. **Berlioz Claude**, Service Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (ex-S.E.R.C.R.) en vue d'un détachement ultérieur à l'Institut des Recherches des Transports.

M. **Bourrel Albert**, Direction départementale de l'Equiperment du Doubs, pour être chargé de l'arrondissement de Montbeliard.

M. **Butruille Vincent**, Direction départementale de l'Equiperment de la Côte-d'Or (pour être chargé de mission auprès du Directeur départemental de l'Equiperment).

M. **Cabanieu Jacques**, mis à la disposition du Ministère de l'Education Nationale (Service Constructeur de l'Académie de Paris).

M. **Calamé** Pierre, mis à la disposition du Centre d'Etudes et de Recherches de l'Aménagement et de l'Urbanisme (C.E.R.A.U.).

M. **Claudé** Gérard, Direction départementale de l'Équipement des Vosges, pour être placé à l'arrondissement fonctionnel.

M. **Chabert** Marc, Agence du Sud-Est au Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes à Mâcon.

M. **Denizon** Jean-Marc, Direction départementale de l'Équipement de la Drôme, pour être chargé de l'arrondissement fonctionnel et opérationnel.

M. **Diez** Robert, Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes en vue d'une affectation ultérieure au Centre d'Études Techniques de l'Équipement d'Aix-en-Provence.

M. **Doyard** Jean, Service hydrologique Centralisateur de la Seine.

M. **Dutruy** Serge, mis à la disposition du Secrétariat d'État aux Affaires étrangères. Sera pris en charge provisoirement par le S.R.E. de la région parisienne.

M. **Fonlupt** Jean, Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (Division des tracés).

M. **Fourion** Jean-Pierre, Direction départementale de l'Équipement du Puy-de-Dôme pour être chargé du Service Urbanisme opérationnel et Construction.

M. **Gaillard** Michel, Direction départementale de l'Équipement de l'Aube pour être chargé de l'arrondissement fonctionnel.

M. **Goudeband** Alain, Direction départementale de l'Équipement du Val-d'Oise pour être placé au Service Urbanisme opérationnel et Construction.

M. **Gressier**, Direction départementale de l'Équipement de la Somme pour être chargé de l'Arrondissement Est.

M. **Heulme** Raymond, mis à la disposition du Ministère des Armées (Direction Centrale des Travaux Immobiliers et Maritimes) en vue d'une affectation à Brest.

M. **Joubert** Jacques, Service Maritime des Ports de Boulogne et Calais.

M. **Lafont** Jean, mis à la disposition du Centre d'Études et Recherches des Mathématiques appliquées.

M. **Leclercq** Jacques, mis à la disposition du Secrétariat d'État aux Affaires Sociales (Direction de l'Équipement).

M. **Leservot** Gilles, Service Maritime de la Gironde.

M. **Maquet** Jean-François, Direction des Ports Maritimes et des Voies Navigables.

M. **Pilverdier** Jean-Pierre, Direction départementale de l'Équipement de la Nièvre pour être chargé de l'arrondissement fonctionnel.

M. **Pruvost** Maurice, mis à la disposition du Secrétariat d'État aux Affaires étrangères. Sera pris en charge provisoirement par le S.R.E. de la région parisienne.

M. **De Plazoalo** Jacques, mis à la disposition de l'Office Central des Chemins de Fer d'Outre-Mer.

M. **Raynaud** Jean, Service des Affaires Économiques Internationales.

M. **Rouyer** Francis, Direction départementale de l'Équipement du Nord pour être chargé d'un arrondissement autoroutier.

M. **Scuter** Jean, mis à la disposition du Ministère de l'Industrie (5^e Circonscription Électrique).

M. **Spielrein** Marc, mis à la disposition du Ministère de l'Économie et des Finances (Direction de la Prévision). Sera pris en charge provisoirement par le S.R.E. de la région parisienne.

M. **Teyssandier** Jean-Paul, mis à la disposition du Secrétariat d'État aux Affaires étrangères. Sera pris en charge provisoirement par le S.R.E. de la région parisienne.

M. **Tremey** Gilles, Direction des Transports Terrestres (Service d'Études des Remontées Mécaniques à Grenoble).

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} octobre 1968.

Arrêté du 25 octobre 1968.

PROMOTIONS

Par arrêté du Ministre de l'Équipement et du Logement en date du 9 septembre 1968, les Ingénieurs des Ponts et Chaussées dont les noms suivent sont promus Ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées aux dates indiquées ci-après :

A compter du :

16 février 1966, M. **Ceylon** David ; 1^{er} avril 1966, M. **Ferrière** Clément ; 16 mai 1966, M. **Blanic** Raymond ; 1^{er} juillet 1966, M. **Tutenuit** Jean ; 16 juillet 1966, M. **Esmiol** Gaston ; 16 août 1966, M. **Reynard** Georges ; 1^{er} septembre 1966, M. **Giraudet** Pierre ;

23 janvier 1967, M. **Alexandre** Roger ; 1^{er} juillet 1967, M. **Huyghe** Michel ; 16 novembre 1967, MM. **Bourdillon** Jacques, **Millet** Jean, **Tiphine** Jacques.

J.O. du 25 octobre 1968.

Par décret du Président de la République en date du 23 octobre 1968, les Ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées dont les noms suivent sont promus Ingénieurs généraux des Ponts et Chaussées :

A compter du :

1^{er} mai 1968, MM. **Dreyfus** Gilbert-David, **Leroy** Léon, **Millier** Jean, **Teissier du Cros** François, **Temime** Raoul, **Velitchkovitch** Jean.

A compter du :

1^{er} août 1968, MM. **Beltremieux** Edouard, **Blachère** Gérard, **Bonnemoy** Guy, **Bourrières** Paul, **Lévy** Gilbert.

J.O. du 30 octobre 1968.

DÉCISIONS

Par décret en date du 10 octobre 1968, M. **Chapon** Jean-Pierre, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Directeur des Ports maritimes et des Voies navigables, est nommé délégué de la France à la Commission de la Moselle, en remplacement de M. **Velitchkovitch**.

J.O. du 16 octobre 1968.

Par arrêté du 15 octobre 1968, M. **Chapon** Jean Pierre, Directeur des Ports maritimes et des Voies navigables au Ministère de l'Équipement et du Logement, est désigné comme membre français du Conseil de surveillance de la Société internationale de la Moselle, en remplacement de M. **Velitchkovitch**.

J.O. du 22 octobre 1968.

Par arrêté en date du 22 octobre 1968, il est mis fin aux fonctions exercées au Cabinet du Ministre de l'Équipement et du Logement, par M. **Peberceau** Georges, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, en qualité de Directeur du Cabinet.

J.O. du 24 octobre 1968.

Par arrêté en date du 8 octobre 1968, est nommé au Conseil d'administration de l'Agence financière de bassin Rhône-Méditerranée-Corse, en qualité de représentant de l'État : M. **Brochet**, Ingénieur général des Ponts et Chaussées, en remplacement de M. **Bourgin**, décédé.

J.O. du 25 octobre 1968.

Par arrêté en date du 8 octobre 1968, est nommé au Comité de bassin Loire-Bretagne, en tant que délégué du Ministre de l'Intérieur : M. **Gaudel**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, adjoint au chef du Service technique de la Direction générale des collectivités locales, en qualité de suppléant de M. **Brenas** et en remplacement de M. **Lalande**.

J.O. du 25 octobre 1968.

Par arrêté en date du 23 octobre 1968, est nommé membre du Comité des Mines au Commissariat à l'Énergie atomique, pour une nouvelle période de quatre ans à compter du 12 septembre 1968 : M. **Chevrier** Charles, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Directeur général adjoint à l'Électricité de France.

J.O. du 10 novembre 1968.

Par décret en date du 15 novembre 1968, M. **Chapon** Jean-Pierre, Directeur au Ministère de l'Équipement et du Logement, est nommé Directeur des Ports maritimes en temps de crise, en remplacement de M. **Velitchkovitch**, appelé à d'autres fonctions.

J.O. du 17 novembre 1968.

M. **Gauthier** Maurice, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à la Direction départementale de l'Équipement du Bas-Rhin, est chargé en sus de ses attributions, des fonctions d'adjoint au Directeur de la Mission des Grands Travaux Aéronautiques en Allemagne en remplacement de M. **Landegren** appelé à d'autres fonctions.

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} octobre 1968.

Arrêté du 16 octobre 1968.

M. **Puzenat** Alain, Ingénieur des Ponts et Chaussées, chargé de mission auprès du Directeur des Affaires financières et de l'Administration générale est, en sus de ses fonctions, mis à la disposition du Chef du Service des Affaires économiques et internationales pour assurer le secrétariat du Groupe technique de la Commission de l'Informatique.

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} octobre 1968.

Arrêté du 17 octobre 1968.

M. **Ponchon** Auguste, Ingénieur des Ponts et Chaussées, chargé de l'arrondissement territorial Nord-Est du département du Puy-de-Dôme, est chargé en sus de ses fonctions d'assurer par intérim les fonctions de chef de l'arrondissement territorial Ouest.

Ces dispositions prennent effet à compter du 17 septembre 1968.

Arrêté du 18 octobre 1968.

M. **Herman** Jean, Ingénieur des Ponts et Chaussées, actuellement chef d'exploitation du port de Bordeaux, est chargé en sus de ses fonctions d'assurer le remplacement de M. **Pages**, Directeur du port autonome en cas d'absence ou d'empêchement de celui-ci.

Arrêté du 18 octobre 1968.

M. **Oliver** Jean-Louis, Ingénieur des Ponts et Chaussées, au Groupe d'Etudes et de Programmation à la Direction départementale de l'Équipement des Yvelines, est affecté au Service Urbanisme opérationnel-Construction et chargé des cellules Constructions publiques et Urbanisme opérationnel.

Ces dispositions prennent effet à compter du 1^{er} octobre 1968.

Arrêté du 21 octobre 1968.

Le titre de Directeur honoraire de l'École nationale des Ponts et Chaussées est conféré à M. André **Brunot**, Ingénieur général des Ponts et Chaussées.

Arrêté du 25 octobre 1968.

M. **Poullit** Jean, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à l'Organisme Technique Régional de Rouen est, en sus de ses fonctions, chargé de mission auprès du Directeur du S.E.T.R.A. pour la mise en place de la division de la circulation et de l'exploitation.

Arrêté du 29 octobre 1968.

RETRAITES

Par décret du Président de la République en date du 22 octobre 1968 :

M. **Lesieux** Louis, Ingénieur général des Ponts et Chaussées, en disponibilité, est admis, sur sa demande, à faire valoir ses droits à la retraite en application de l'article L. 4 (§ 1^{er}) du Code des pensions civiles et militaires de retraite.

M. **Venencie** Hervé, Ingénieur des Ponts et Chaussées, est admis, sur sa demande, à faire valoir ses droits à la retraite à compter du 4 novembre 1968, en application de l'article L. 4 (§ 1^{er}) du Code des pensions civiles et militaires de retraite.

M. **Angeli** Léonce, Ingénieur des Ponts et Chaussées, est admis, à compter du 28 octobre 1968, à faire valoir ses droits à la retraite, par limite d'âge, en application de l'article L. 4 (§ 1^{er}) du Code des Pensions civiles et militaires et du décret n° 53.711 du 9 août 1953.

J.O. du 30 octobre 1968.

MINES

MUTATIONS

Par arrêté en date du 5 novembre 1968, M. **Isrutier** Bernard, Ingénieur des Mines, est placé en service détaché auprès du Secrétariat d'État aux Affaires étrangères, chargé de la Coopération, pour une durée maximum de cinq ans à compter du 25 avril 1968 en vue d'exercer les fonctions de conseiller technique auprès du Président de la République du Niger.

J.O. du 13 novembre 1968.

NOMINATIONS

Par arrêté en date du 1^{er} octobre 1968, les élèves de l'École Polytechnique (promotion 1966) dont les noms suivent, ont été nommés Ingénieurs élèves des Mines à compter du 1^{er} octobre 1969 :

MM. **Stoffaes** Christian-Daniel, d'**Escatha** Yannick-Marie-Charles, **Folz** Jean-Martin, **Masson** Jean-Louis, **Dumont** Jean-Jacques, **Halton** Jacques, **Scherer** Christian-Jean-Marie, **Prévoit** Charles-Jean-Marie, **Bersani** François-Philippe-Charles, **Jaccamon** Jean-Paul-Etienne, **Biren** Jean-Michel-Yves-Marie, **Epron** Bernard-Louis-Gérard.

J.O. du 17 octobre 1968.

DÉCISIONS

Par arrêté en date du 8 octobre 1968, est nommé au Comité de bassin Loire-Bretagne : M. **Riffaud**, Ingénieur général des Mines, en remplacement de M. **Schnell**, en tant que délégué du Ministre de l'Industrie.

J.O. du 25 octobre 1968.

Par arrêté en date du 8 octobre 1968, est nommé au Comité de bassin Rhin-Meuse, au titre de délégué du Ministre de l'Industrie : M. **Hugon**, Ingénieur des Mines, en qualité de suppléant de M. **Regard** et en remplacement de M. **Ringeisen**.

J.O. du 25 octobre 1968.

Par arrêté en date du 8 octobre 1968, est nommé au Comité de bassin Rhône-Méditerranée-Corse, au titre de délégué du Ministre de l'Industrie : M. **Schnell**, Ingénieur général des Mines, en remplacement de M. **Vincotte**.

J.O. du 25 octobre 1968.

Par décret en date du 24 octobre 1968, M. **Aube** Gustave, Ingénieur en chef des Mines, représentant régional du Ministère de l'Industrie dans la région Aquitaine, est nommé membre du Conseil d'administration du port autonome de Bordeaux en qualité de représentant de l'administration de l'Industrie, en remplacement de M. **Durand** J.-P. et pour la période restant à courir du mandat de ce dernier, soit jusqu'au 31 décembre 1969.

J.O. du 1^{er} novembre 1968.

Par décret en date du 5 novembre 1968, M. **Couture** Jean, Ingénieur général des Mines, Secrétaire général de l'Energie, est nommé membre du Comité de l'Energie atomique à titre de haut-fonctionnaire choisi par le Premier Ministre.

J.O. du 6 novembre 1968.

Par arrêté en date du 23 octobre 1968, sont nommés membres du Comité des Mines au Commissariat à

l'Energie atomique, pour une nouvelle période de quatre ans à compter du 12 septembre 1968 :

M. **Daunesse** Claude, Ingénieur en chef des Mines, Directeur des Mines au Ministère de l'Industrie.

M. **Fischesser** Raymond, Ingénieur général des Mines.

M. **Perrineau** Georges, Ingénieur en chef des Mines, Président de la Fédération des Chambres syndicales des minerais et métaux bruts.

J.O. du 10 novembre 1968.

Par arrêté en date du 4 novembre 1968, sont nommés membres de la Commission des recherches scientifiques sur la sécurité dans les mines et carrières :

Au titre de représentants de l'Administration des Mines en activité de service dans un arrondissement minéralogique :

M. **Petit**, Ingénieur des Mines, en remplacement de M. **Collomb** ; M. **Gobert**, Ingénieur des Mines, en remplacement de M. **Hugon**.

OFFRES

DE

POSTES

L'Institut BATTELLE, centre de recherches de Genève, cherche

INGÉNIEUR PHYSICO-CHIMISTE

sortant d'une grande école et possédant 5 ans au moins d'expérience industrielle, s'intéressant à la mise en œuvre, à l'emploi et à la promotion des matériaux composites nouveaux (plastiques et autres).

Poste d'avant à responsabilités, domaine d'activité à créer « Materials Engineering et Design ». Age de 30 à 38 ans. Bonnes connaissances en français et anglais.

Semaine de cinq jours Sécurité sociale étendue.

Faire offres détaillées, avec photo, curriculum vitae et prétentions de salaire à

DIRECTION DU PERSONNEL

Institut Battelle, 7, route de Drize

1227 CAROUGE GE

IMPORTANT BUREAU D'ETUDES RECHERCHE .

Un ingénieur Ponts et Chaussées très ouvert aux problèmes d'autoroutes. Résidence Paris.

Adresser C.V. détaillé et prétentions à :

B.C.E.O.M., 15, square Max-Hymans, Paris (15^e).

IMPORTANT BUREAU D'ETUDES RECHERCHE :

Ingénieur haut niveau 35-45 ans, spécialiste de l'organisation des transports pour séjour plusieurs années en Afrique équatoriale.

Adresser C.V. détaillé et prétentions à :

B.C.E.O.M., 15, square Max-Hymand, Paris (15^e).

Société de Génie Industriel en plein développement recherche un Ingénieur des Ponts et Chaussées de 25 à 30 ans pour participer dans son département Transport et Stockage de gaz naturel et de produits pétroliers liquides à des études et à des réalisations de grands projets d'équipement en France et à l'étranger. Une expérience de quelques années dans l'étude et la réalisation de projets d'équipement est particulièrement souhaitée.

Adresser C.V. détaillé à SOFREGAZ, 92, boulevard Victor-Hugo, Clichy - 92. Tél. : 270-79-10, poste 202.

S.E.G.I.C., 273, avenue de Fontainebleau, 94 - Thiais, recherche ingénieur expérimenté connaissant calcul électronique pour projets autoroutes.

Ecrire ou téléphoner à 686-07-81 + 82 (M. Cieutat).

mariage

M. Jean-Louis Wennagel, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, fait part du mariage de son fils Thierry avec Mlle Marie-Chantal Hamon, le 6 novembre 1968.

naissance

M. Joël Maurice, Ingénieur des Ponts et Chaussées, fait part de la naissance de son fils François le 30 octobre 1968.

Note de la Rédaction

Nous prions notre camarade Albert Jouvent, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, de nous excuser d'avoir omis de signaler dans un précédent bulletin qu'il avait été promu Officier dans l'Ordre national du Mérite, au titre du Ministère des Affaires sociales en tant que délégué aux travaux d'équipement sanitaire et social.
