**Zeitschrift:** IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen

**Band:** 032 (1979)

**Artikel:** Aspects négligés ou mal traités

**Autor:** Grattesat, G.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-25604

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 17.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

**Aspects négligés ou mal traités**

Vernachlässigte Aspekte

Neglected or Badly Managed Aspects

G. GRATTESAT
Ingénieur Général des Ponts et Chaussées
Professeur à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
Paris, France

**RESUME**
Certains aspects des projets de ponts risquent d'être négligés ou mal traités, soit par oubli, soit par sous-estimation des conséquences qui peuvent en résulter. Plusieurs exemples sont donnés de telles imperfections, à différentes étapes et dans différentes parties des projets. L'auteur du projet doit rassembler toutes les informations nécessaires et avoir une bonne connaissance des conditions d'exécution et du comportement des ponts en service. De nombreuses considérations sont à prendre en compte et certains éléments considérés quelquefois comme secondaires doivent être étudiés avec soin.

**ZUSAMMENFASSUNG**
Ein Übersehen oder eine mangelhafte Behandlung gewisser Aspekte bei Brückenprojekten können dadurch entstehen, dass der Entwerfer sie entweder vergisst oder ihre Folgen unterschätzt. Es werden mehrere Beispiele von solchen Fehlern gegeben. Der Entwerfer muss alle wichtigen Daten sammeln und muss ferner über gute Kenntnisse der Baubedingungen und des Verhaltens von bestehenden Brücken verfügen. Manche Aspekte müssen berücksichtigt werden, und gewisse Elemente, die manchmal als sekundär gelten, erfordern eine eingehende Untersuchung.

**SUMMARY**
Certain aspects of bridge projects may be neglected or badly managed, either because the designer forgets them or because he underestimates their consequences. Several examples are given of such defects, at different stages and in different parts of the projects. The designer must gather all necessary information and must have a good knowledge of the conditions of construction and of the behaviour of existing bridges. Many considerations are to be taken into account and certain elements which are sometimes considered as secondary must be carefully studied.

## 1. INTRODUCTION

La principale préoccupation de l'auteur d'un projet de pont a toujours été et doit rester la sécurité. Il est évidemment indispensable de justifier avec le plus grand soin les conditions de stabilité et de résistance des principaux éléments structuraux de l'ouvrage à construire. Mais il est nécessaire d'étudier aussi les éléments secondaires de la structure et tous les détails constructifs qui conditionnent son fonctionnement. Un grand progrès a été fait récemment par l'introduction des méthodes d'états-limites : grâce à la distinction entre "états-limites ultimes" et "états-limites de service", les projeteurs sont obligés maintenant, de façon plus explicite et plus précise qu'auparavant, de vérifier non seulement la capacité portante et la résistance de la structure, mais aussi un certain nombre d'éléments visant à garantir convenablement ses conditions d'exploitation et sa durabilité, ainsi qu'éventuellement d'autres exigences. Et ceci est encore insuffisant. Bien d'autres condidérations doivent être prises en compte pour que l'ouvrage soit bien adapté à ses fonctions et pour assurer sa qualité technique, sa qualité architecturale intrinsèque et son intégration dans le site, son comportement dans le temps, etc .. Beaucoup de ces considérations ne font pas l'objet de règles précises.

Les questions à examiner par les auteurs de projets sont si nombreuses et si variées que certains aspects des projets risquent d'être *"négligés ou mal traités"*. Cela peut provenir soit d'un oubli pur et simple, soit d'un manque de coordination entre les divers intervenants dans l'élaboration du projet, soit de l'ignorance ou de la sous-estimation des conséquences susceptibles d'en résulter.

Un certain nombre de ces *aspects négligés ou mal traités* sont évoqués dans ce qui suit. Il ne s'agit évidemment pas d'une liste complète, mais seulement de quelques exemples repérés à différentes étapes et dans différentes parties des projets.

## 2. LES DONNEES NATURELLES ET LES CONTRAINTES A RESPECTER

Avant de commencer l'avant-projet, il est indispensable de connaître aussi bien que possible les données naturelles, qu'il faut nécessairement respecter, ainsi que les contraintes dimensionnelles et fonctionnelles qui sont à fixer par le maître d'ouvrage.

La première question à examiner est celle de l'emplacement du pont, s'il n'est pas fixé obligatoirement. Lorsqu'il s'agit d'un itinéraire nouveau, il est souvent possible, en modifiant légèrement le tracé de la route sans nuire aux intérêts de la circulation, de trouver pour les ponts de meilleures conditions de fondation, de réduire ou de supprimer leur biais ou leur courbure en plan. Quelquefois même on s'aperçoit qu'un déplacement peu important du tracé permettrait de remplacer un pont par un remblai, ou de réduire sensiblement sa longueur. Sans doute, les moyens modernes de calcul et d'exécution permettent de satisfaire à toutes les exigences du tracé, mais certaines complications coûtent inutilement cher. Il suffit pour les éviter de quelques études préalables, qui nécessitent que soit établie *une bonne concertation* entre les ingénieurs chargés du tracé de la route et ceux qui auront à établir les projets des ponts.

Les données naturelles ne sont jamais connues de façon précise et complète. Les premiers renseignements à obtenir concernent la *nature du sol*. Dans tous les cas, il est indispensable d'avoir effectué un ou plusieurs sondages à l'empla-

cement de chacun des appuis. Si l'on se contente d'une reconnaissance sommaire ou d'un raccordement entre des sondages voisins des emplacements exacts, cela peut entraîner à l'exécution des modifications et des renforcements très onéreux des fondations lorsqu'on découvre trop tard que le sous-sol est différent de ce qu'on attendait. Quand les emplacements des appuis ne sont pas imposés à l'avance, les études géotechniques et les études des dispositions générales du pont doivent donc être menées de manière progressive et en étroite coordination car elles dépendent très directement les unes des autres. Il faut avoir une première idée du type de pont pour fixer les emplacements des premiers sondages, mais il faut pouvoir modifier ce premier schéma en fonction des résultats obtenus, et prescrire d'autres études du sol.

Dans ce domaine, le risque le plus courant est celui de l'insuffisance des études géotechniques, avec toutes les conséquences qui peuvent en résulter pour l'économie ou même pour la sécurité du pont. Mais un autre risque est celui d'un excès d'études préalables qui pourraient fournir une masse de renseignements inutiles et coûteux. Ces études géotechniques doivent donc être dirigées et orientées en liaison avec les études du pont.

*Lorsque le pont doit franchir une rivière*, il faut non seulement connaître le profil en travers du lit et le tracé des berges, mais aussi se préoccuper de leur évolution dans le temps, du fait de l'érosion naturelle ou de projets de rectification ou d'approfondissement. Il faut se renseigner aussi sur le niveau de l'eau, le débit et le tracé de la rivière aux différentes crues, le débit solide (en vue de la protection éventuelle des parements des appuis contre l'abrasion), le cas échéant l'importance des débâcles de glaces. Dans tous les cas, il convient de faciliter au maximum l'écoulement des eaux et surtout de se prémunir contre les risques d'affouillements.

Ces différentes considérations ont une grande importance, non seulement sur les dispositions des fondations, mais d'abord sur l'emplacement des appuis et sur le type d'ouvrage à choisir.

Les *actions climatiques* de la neige, du vent, de la température et les actions sismiques font l'objet de règlements ou de normes qui précisent dans quelles conditions elles sont à prendre en compte dans les calculs. Mais si le pont se situe dans une zone climatique particulière, les valeurs correspondant aux circonstances courantes sont à modifier en conséquence.

Il convient aussi de rechercher si le pont ne risque pas de subir des *actions inhabituelles* non prévues dans les textes officiels.

La fixation des différentes contraintes dimensionnelles et fonctionnelles implique en général la consultation de plusieurs services. Cette consultation est souvent longue et les exigences qui apparaissent sont quelquefois contradictoires. Il appartient au maître d'ouvrage de procéder en temps voulu aux arbitrages et aux conciliations nécessaires et d'obtenir dans certains cas les dérogations aux règles générales sans lesquelles il ne serait pratiquement pas possible de construire l'ouvrage.

Les renseignements à obtenir concernent essentiellement la disposition en plan, les raccordements aux accès, les profils en long et en travers, les gabarits à réserver au-dessus de la voie franchie, les programmes de charges.

L'auteur du projet doit aussi se préoccuper des *équipements* dont devra être muni le pont (glissières ou barrières de retenue, éclairage, etc ..) ainsi que

des *canalisations* qui l'emprunteront. Dans certains ponts urbains, ces canalisations peuvent être très nombreuses et volumineuses ; il en résulte une augmentation sensible des charges permanentes à prendre en compte, et l'obligation d'aménager en conséquence la coupe transversale.

Il est aussi très important de bien connaître les *sujétions à respecter en cours d'exécution*. Le type d'ouvrage à choisir est intimement lié à la manière dont il sera construit, et les conditions imposées pendant la construction sont susceptibles d'interdire certaines solutions. Par exemple, lorsque la nécessité de maintenir la circulation sous le futur pont pendant les travaux ne permet pas d'envisager la construction sur cintre, il faut s'orienter vers d'autres méthodes. Les possibilités d'accès au chantier et les emplacements qui pourront être mis à la disposition de l'entreprise sont aussi des éléments à prendre en compte dès le début des études.

Plus généralement, il convient d'examiner avec attention les contraintes très diverses qui peuvent provenir *de l'environnement du pont et de son insertion dans le site*, et inversement de la gêne provisoire due au chantier et des répercussions durables de la présence du pont sur son voisinage. On recherchera en particulier *les contraintes inhabituelles* qui pourraient être oubliées au départ.

Dans la plupart des cas, tous ces renseignements sont à fournir par le maître d'ouvrage à l'auteur du projet. Mais celui-ci ne doit pas se contenter de les attendre et de les recevoir passivement. Il lui appartient de préciser au maître d'ouvrage toutes les données dont il a besoin, et de bien insister sur le fait que toute modification de ces données qui entraînerait un changement dans le projet obligerait à refaire les dessins et les calculs. Malgré cela, les décisions initiales sont quelquefois modifiées, en fonction de considérations financières ou autres, ou parce qu'on avait négligé de consulter tel ou tel service. Par exemple, il peut arriver que le maître d'ouvrage décide au dernier moment de changer, en plus ou en moins, la largeur de la chaussée, sans se rendre compte du gaspillage de temps et d'argent qui en résulte au niveau du projet.

Il ne suffit pas de rechercher avec soin si l'on a bien rassemblé toutes les conditions à respecter au moment de l'exécution du pont. Il faut aussi se préoccuper des modifications qui peuvent intervenir après sa mise en service, soit du fait de l'évolution des données naturelles, soit du fait de l'apparition ultérieure de nouvelles contraintes dimensionnelles et fonctionnelles.

Ainsi l'augmentation prévisible du trafic conduit à donner à la chaussée une largeur supérieure à ce qui serait strictement nécessaire ; si l'on n'en a pas tenu compte au départ, la construction ultérieure d'un barrage à l'amont ou l'approfondissement du chenal navigable pourraient obliger à reprendre en sous-oeuvre les fondations, l'élargissement de la voie franchie pourrait être rendu impossible par la présence des appuis et nécessiter la démolition prématurée du pont, etc .. Il appartient aussi à l'auteur du projet d'informer le maître d'ouvrage des incidences fâcheuses de certaines contraintes sur l'économie du projet, et des avantages que pourrait procurer leur atténuation.

Les insuffisances dans la recherche et l'examen critique de toutes les conditions à respecter peuvent apparaître pendant l'établissement du projet ; leurs inconvénients peuvent se manifester à plus ou moins long terme et elles sont alors plus difficiles à réparer ; elles peuvent aussi, sans avoir de conséquences visibles, écarter des solutions qui pourraient être plus sûres, plus économiques et mieux adaptées.

Il faut donc s'efforcer de les éviter dans toute la mesure du possible, et cela nécessite au départ une grande attention et *une bonne coordination entre l'auteur du projet et le maître d'ouvrage.*

## 3. LE CHOIX DU TYPE ET DES DISPOSITIONS GENERALES DU PONT

Une fois rassemblées les données de base, ou tout au moins les plus importantes d'entre elles et notamment celles qui concernent la nature du sol, le choix du type de pont se fait essentiellement sur la base de critères techniques et économiques. A chaque époque, il existe un ensemble de types de ponts parmi lesquels il s'agit de choisir celui qui satisfait le mieux aux conditions particulières imposées. Cet ensemble se modifie dans le temps, en fonction du progrès technique et de l'évolution économique.

Le développement des échanges d'informations entre les pays, grâce aux revues techniques, aux voyages d'études et à l'action des associations internationales comme l'A.I.P.C., a eu pour effet une large unification des types de ponts. Les innovations se répandent vite à travers le monde et l'expérience conduit à une sélection des meilleures structures.

Parallèlement à cette tendance à l'unification, on constate encore des différences sensibles entre les pays dans la manière de traiter des problèmes pourtant très analogues. Cela ne vient pas seulement des règles de calcul, qui sont encore loin d'être unifiées malgré les progrès faits dans ce sens. Cela s'explique par le fait que la conception d'un projet n'est pas une simple question de calcul des structures, et qu'il faut tenir très largement compte des caractères particuliers du pays et de la région où le pont sera construit.

Il est évident que les possibilités d'approvisionnement et les prix des différents matériaux sont des éléments essentiels pour la détermination du meilleur type d'ouvrage. Mais les conditions climatiques, les frais d'entretien et les autres sujétions à escompter au stade de la maintenance ne doivent pas être oubliées dans cette détermination.

Le choix du type de structure dépend aussi au plus haut point de la manière dont le pont pourra être exécuté. Il faut donc savoir quelles sont les entreprises disponibles, quels sont leurs moyens, leurs compétences et leurs habitudes, et apprécier le délai d'exécution à prévoir suivant la solution envisagée. Lorsque le pont fait partie d'un ensemble d'ouvrages nouveaux, il faut le situer dans cet ensemble en s'efforçant d'unifier autant que possible les matériaux à utiliser et les méthodes à employer. Un projet qui aurait été parfaitement optimisé au niveau des dessins et des calculs peut apparaître comme tout à fait inadapté lorsqu'il n'a pas été suffisamment tenu compte des conditions réelles de son exécution.

Il est indispensable dans certains cas de recourir à des dispositions compliquées et sophistiquées. Mais en général il est préférable de *choisir des solutions simples, robustes et bien connues.* Même si elles nécessitent un peu plus de matière, elles s'avèrent plus économiques, car elles sont plus faciles à construire, elles comportent moins d'aléas à l'exécution et sont plus durables.

De même, s'il convient d'expérimenter de temps en temps des *innovations* qui sont indispensables au progrès technique et qui s'imposent quelquefois pour résoudre des problèmes spéciaux, ce serait une erreur de vouloir en introduire

dans chaque projet. Lorsqu'elles paraissent justifiées, il ne faut pas oublier de procéder à un examen critique comparatif des avantages escomptés et des inconvénients qu'elles sont susceptibles d'entraîner.

Les considérations d'architecture et d'esthétique ne doivent jamais être négligées dans les projets. SEJOURNE, grand constructeur et professeur de ponts en maçonnerie du début du siècle, affirmait "*De tous les ouvrages - je dis de tous, même des petits - l'aspect importe : il n'est pas permis de faire laid*". Cette préoccupation procède à la fois d'une exigence interne que doivent normalement ressentir tous les auteurs de projets, et d'une exigence de plus en plus fortement imposée de l'extérieur en vue de la protection des paysages.

Au niveau du projet, il importe que la préoccupation de l'aspect esthétique intervienne *dès le début des études*. Ce serait en effet une grave erreur de penser qu'il suffirait de quelques aménagements partiels, ou d'une décoration surajoutée, pour rendre beau ou simplement convenable un projet dont les formes générales ne seraient pas harmonieuses au départ : Ce sont les grandes lignes du pont qui commandent l'impression plus ou moins agréable qu'il produira, ce qui ne supprime pas la nécessité d'en étudier avec soin tous les détails.

Il ne suffit pas que le projet soit satisfaisant par lui-même, il importe aussi que le pont s'*accorde bien au cadre* dans lequel il sera placé. Il est donc indispensable que l'auteur du projet connaisse bien ce cadre et en tienne compte au niveau de la conception. En dehors des grands ouvrages qui constituent un élément marquant du site et qui nécessitent une étude architecturale poussée, il convient souvent de traiter les ponts de manière qu'ils s'insèrent avec discrétion dans les paysages pour ne pas les déparer.

Ce sujet particulièrement important de l'aspect esthétique des ponts a été développé dans l'exposé qui lui a été spécialement consacré à juste titre.

Les négligences dans ce domaine de l'esthétique sont visibles et sont sanctionnées par le jugement défavorable des spectateurs sur le résultat, mais elles n'ont guère d'incidence financière. Au contraire, une étude superficielle de la détermination du type de pont, qui ne tiendrait pas suffisamment compte des considérations qui viennent d'être évoquées sur le choix des matériaux, les capacités des entreprises, etc .. n'a pas nécessairement de conséquences visibles ; mais elle peut conduire à une augmentation sensible des dépenses par rapport à une solution mieux adaptée.

Il est donc indispensable de *porter une grande attention au départ sur le choix du type de pont*, et au besoin de procéder à quelques études comparatives préalables. Les économies à en attendre sont souvent bien plus importantes que celles qui peuvent résulter d'une étude approfondie du dimensionnement.

## 4. LA CONCEPTION ET LES DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

Après avoir choisi le type et les lignes générales du projet, on en dessine les différents éléments. *Le calcul n'intervient qu'ensuite*, pour vérifier la convenance des dispositions envisagées et pour préciser les dimensionnements, par approximations successives. On constate pourtant une tendance très répandue à commencer trop tôt des calculs trop détaillés. Cette tendance n'a fait que s'accentuer avec l'introduction du calcul électronique qui supprime les difficultés matérielles des calculs manuels.

Dans tous les cas, même lorsqu'on utilise des programmes de détermination des

dimensions, le projeteur doit *commencer par réfléchir aux dessins* à obtenir, et contrôler les résultats fournis par les machines.

Cette réflexion sur le choix des dispositions constructives n'a pas seulement pour but d'éviter des calculs multiples et inutiles, elle est indispensable du fait que le calcul n'est pas suffisant et que d'autres éléments, qui sont parfois négligés, doivent intervenir.

L'auteur du projet doit avoir constamment la préoccupation des conditions d'exécution du pont. La liaison étroite entre le type d'ouvrage et la méthode d'exécution a déjà été soulignée. Il convient aussi, au stade de l'étude des dispositions constructives, de s'assurer qu'elles peuvent être effectivement réalisées, et de faciliter autant que possible leur exécution.

Par exemple il faut, pour les ponts en béton, contrôler avec soin dans les dessins la possibilité de mettre en place toutes les armatures prévues, la possibilité de faire passer convenablement le béton à travers le ferraillage et d'y introduire les aiguilles de vibration, etc .. ; pour les ponts en béton précontraint, tenir compte de la présence simultanée des armatures de précontrainte et des armatures passives (qui doivent figurer sur les mêmes dessins pour vérifier leur compatibilité), s'efforcer de prévoir un tracé aussi simple que possible pour les armatures de précontrainte afin d'assurer leur positionnement exact et réduire les pertes par frottement, réserver une place suffisante pour le fonctionnement des vérins, etc .. ; pour les ponts en acier, s'assurer de la possibilité de mise en place des différents éléments, des conditions d'exécution des assemblages et en particulier de la facilité d'exécution des assemblages soudés sur le chantier, etc ..

Il ne faut pas oublier de prévoir dans le projet les réservations à faire pour la fixation des différents équipements, ainsi que les dispositions nécessaires pour supporter ou accrocher les appareils et engins qui seront utilisés pour l'exécution : poutres de lancement, équipages mobiles ou autres.

Les emplacements nécessaires devront être réservés *pour les canalisations*, ce qui soulève quelquefois des problèmes délicats notamment pour la traversée des entretoises ; on ne doit pas négliger de s'assurer en même temps des possibilités de pose, d'entretien et de remplacement de ces canalisations, ni de préciser leurs systèmes d'attaches dont l'exécution pourrait affecter la structure si elle n'était pas prévue à l'avance.

Il faut aussi avoir, au niveau de la conception, le souci de la vie ultérieure du pont, de sa durabilité et des conditions de sa maintenance.

Le *choix des matériaux* est à faire en tenant compte de l'ambiance plus ou moins agressive et des risques plus ou moins grands de corrosion des aciers. Les propriétés exigées doivent être précisées dans le projet. Ainsi, la nature et le dosage du ciment, la compacité du béton sont à fixer spécialement pour certains éléments particulièrement sensibles ou exposés.

Le principal danger pour la durabilité provient des *différents effets de l'eau*, surtout lorsqu'elle est chargée de fondants chimiques ou de sels anti-verglas qui sont répandus dans certaines régions pendant les périodes froides sur des itinéraires de plus en plus nombreux.

La première ligne de défense consiste à empêcher l'eau de pénétrer dans le tablier. Pour cela, il faut prévoir des pentes suffisantes dans tous les sens,

éviter les points bas où l'eau pourrait s'accumuler, indiquer dans le projet les différents exutoires en leur donnant un tracé tel qu'ils ne risquent pas de se boucher ou qu'il soit facile de les déboucher. De plus, en Europe tout au moins, il est considéré comme nécessaire de protéger le tablier par une *chape d'étanchéité* ; malgré la présence de cette chape, il est prudent de limiter autant que possible le nombre de câbles de précontrainte débouchant dans le hourdis supérieur, car les ancrages sont toujours des points faibles par où l'eau pourrait pénétrer.

La deuxième ligne de défense consiste à se prémunir contre les effets de l'eau qui n'aurait pas rencontré d'obstacles ou qui les aurait franchis.

*Dans les ponts en béton*, cela exige par exemple de fixer des épaisseurs d'enrobage suffisantes pour les armatures passives et les armatures de précontrainte, de prévoir dans certaines zones un ferraillage passif plus important que ne l'indiquerait le calcul pour limiter la fissuration, de tracer les armatures de précontrainte de manière à faciliter leur injection et donc à améliorer leur protection.

*Dans les ponts en acier*, cela conduit à recourir à des formes aussi simples que possible pour la structure et les assemblages, à supprimer les "nids à rouille", à préciser dans le projet les protections des différents éléments métalliques contre la corrosion, par peintures ou par d'autres moyens, en renforçant s'il y a lieu cette protection dans certaines parties du pont, à faire en sorte que les lignes de contact du métal, du béton et de l'acier, lorsqu'elles ne peuvent pas être évitées, soient disposées de telle manière que la corrosion du métal suivant ces lignes n'ait pas de conséquences graves ; à augmenter l'épaisseur de certaines pièces particulièrement exposées à la corrosion au-delà de ce qui serait strictement nécessaire, etc ..

Le projet doit encore être tel que la surveillance et l'entretien du pont soient facilités au maximum. Il devra donc comporter les dispositions nécessaires pour accéder autant que possible à toutes ses parties : portes, trous d'homme, échelles, passerelles fixes de visite, etc .. et en particulier pour pouvoir inspecter l'intérieur des caissons ainsi que les appareils d'appui. Il ne faut pas oublier que l'entretien courant exige non seulement la possibilité d'accès et d'examen visuel mais aussi l'emploi d'un petit outillage pour lequel les dégagements nécessaires sont à réserver. Il convient aussi de penser à l'utilisation de passerelles mobiles d'inspection pour la surveillance et l'entretien des parties extérieures des tabliers, de manière que leur installation et leur déplacement soient faciles et qu'elles disposent de points d'appui ou d'accrochage assez résistants.

Les considérations d'esthétique ne doivent pas être négligées : proportions des volumes et des surfaces vues, rapports entre les portées des différentes travées, entre l'épaisseur du tablier et sa portée, entre l'épaisseur et la hauteur des piles, etc .. Les dispositions des appuis, des lignes de l'extrados et des intrados sont à étudier avec soin. Ces considérations peuvent conduire à épaissir certaines pièces qui paraîtraient trop grêles et donneraient un sentiment d'insécurité, même si leur résistance était suffisante. Elles imposent aussi de prévoir le traitement des surfaces vues et de préserver la propreté du pont, notamment en aménageant les évacuations de manière que les eaux ne coulent pas sur les parements et ne les salissent pas, tout en évitant, pour une raison d'aspect, de placer des tuyauteries à l'extérieur du pont.

Enfin, il convient de prévoir dans le projet certaines possibilités de répara-

tions et de renforcements ultérieurs. Par exemple, il est souvent nécessaire d'envisager le remplacement des appareils d'appui, dont la durée de vie s'avère inférieure à celle du pont ; pour cela, il suffit de réserver des emplacements pour des vérins et de renforcer suffisamment les pièces sur lesquelles ils prendront appui pour soulever le tablier. Dans les ponts en béton précontraint, il est prudent de laisser quelques gaines vides dans lesquelles on pourra enfiler des câbles supplémentaires si pour une raison ou pour une autre la précontrainte voulue n'est pas atteinte sur le chantier. Mais l'expérience montre que ces gaines risquent d'être inutilisables au bout d'un certain temps. Pour ménager la possibilité d'ajouter ultérieurement de la précontrainte, il est donc utile, dans les ponts en caisson, de prévoir au départ des bossages et des déviateurs pour mettre à l'intérieur du caisson, si cela s'avère nécessaire, des câbles de renforcement à l'extérieur du béton. Dans les ponts suspendus et les ponts à haubans, les dispositions des câbles doivent être telles qu'on puisse remplacer individuellement un câble élémentaire, en limitant simplement la circulation sans mettre en danger la résistance de l'ouvrage.

Toutes les précautions qui viennent d'être indiquées, et toutes les précautions du même genre destinées à faciliter l'exécution et la maintenance sont faciles à imaginer et sont peu coûteuses. Mais lorsqu'elles ont été oubliées ou négligées dans le projet, elles peuvent entraîner des improvisations dangereuses sur le chantier, une diminution de la qualité et de la durée de vie du pont, et de très grandes difficultés pour l'entretenir et le réparer.

## 5. CALCUL

Avant tout calcul, il est indispensable de contrôler, en examinant les dessins, que l'équilibre statique est assuré, que chaque pièce paraît convenablement dimensionnée, que les efforts se transmettent correctement, qu'il n'existe aucune discontinuité dangereuse, etc .. Il faut aussi s'assurer que les hypothèses de base, notamment la résistance du béton, pourront être effectivement respectées sur le chantier.

La justification par le calcul fait l'objet de règlements, de codes ou de normes, que le projeteur est obligé d'appliquer. Cependant, la réglementation, même lorsqu'elle se présente comme très étoffée, est forcément simplificatrice. Il n'est pas possible de prévoir tous les cas possibles et d'édicter des prescriptions pour tous les détails des projets.

Il existe d'ailleurs encore des questions insuffisamment connues et maîtrisées, sur lesquelles les règles officielles sont sensiblement différentes suivant les pays, quand elles ne sont pas vagues ou muettes.

Par exemple, dans le domaine fondamental des *principes généraux de sécurité*, des actions et de leurs combinaisons, malgré les progrès très importants qui ont été faits grâce aux travaux du *"Joint Committee on Structural Safety"* auxquels participe l'A.I.P.C., il subsiste bien des incertitudes et des obscurités, et l'unification internationale est encore loin d'être atteinte.

Parmi les phénomènes dont l'intensité à prendre en compte ou les effets sont mal connus et font l'objet d'appréciations divergentes, on peut citer les actions du vent, celles de la température - dont les conséquences des variations d'ensemble et des différences entre des éléments diversement exposés sont sous-estimées dans certains cas - les actions accidentelles comme les chocs de bateaux contre les piles des ponts, etc ..

Dans le domaine du *calcul des structures*, qui a fait aussi de grands progrès grâce notamment à la puissance des moyens dont on dispose maintenant, il reste encore beaucoup de questions à approfondir, par exemple en ce qui concerne le calcul des fondations, les phénomènes de fatigue, la redistribution des efforts sous l'effet des déformations différées dans les ponts en béton précontraint, etc ..

Il n'appartient évidemment pas à chaque projeteur de résoudre les problèmes que les autorités scientifiques et techniques nationales et internationales ne dominent pas, mais il serait bon d'attirer l'attention sur le caractère approximatif de certaines règles et sur la prudence à observer à leur égard.

Même dans le domaine habituel des calculs, il est nécessaire que l'auteur du projet fasse preuve de jugement et d'esprit critique, sans ce contenter d'appliquer automatiquement des règles générales.

Il devrait avoir constamment à l'esprit que le *modèle simplifié qu'il utilise pour le calcul* ne correspond pas exactement à l'ouvrage réel. Il doit penser notamment aux tolérances et aux petites imperfections inévitables à l'exécution, au fait que le poids propre ne sera pas exactement égal à celui qu'il a calculé, que les réactions d'appui ne passeront pas exactement aux endroits prévus, qu'un élément vertical ne sera pas exactement vertical, etc ..

Il devra aussi examiner, en accord avec le maître d'ouvrage, les *modifications à envisager dans le temps*, par exemple les rechargements de la chaussée qui peuvent entraîner une augmentation sensible du poids mort.

Il doit apporter une attention particulière aux *phénomènes considérés à tort comme secondaires*, et dont l'importance risque d'être sous-estimée. Il ne devra donc pas négliger les effets des gradients thermiques, les poussées au vide dans les éléments courbes, les conséquences de certaines excentricités, etc ..

Il doit se méfier des *extrapolations* : Lorsqu'on change d'échelle, lorsqu'on passe d'un ouvrage bien connu à un ouvrage semblable mais de taille sensiblement supérieure, il n'y a pas toujours proportionnalité ; certains effets minimes ou ignorés peuvent devenir importants et doivent être pris en compte.

Lorsque les hypothèses de la résistance des matériaux relatives à la forme des pièces ne sont pas réalisées, il convient de recourir à des méthodes spéciales pour prévoir la répartition des efforts, par exemple en ce qui concerne les charges concentrées, la diffusion de la précontrainte, les efforts dans les assemblages, etc ..

La validité des calculs doit être appréciée en fonction des hypothèses faites, des incertitudes sur les actions et les sollicitations et sur les phénomènes "parasites" susceptibles de se manifester. Ainsi en béton précontraint, dans les zones dites *"de moment nul"* et plus largement lorsque le calcul annonce des contraintes de compression très faibles, il est prudent de prévoir un ferraillage passif suffisant pour limiter une fissuration éventuelle.

Il est donc nécessaire que les projeteurs aient une bonne connaissance des conditions d'exécution et du comportement réel des ponts, de manière à savoir déceler les points faibles et les éléments qu'il est utile de renforcer.

Enfin, la *stabilité et la résistance du pont en cours d'exécution* ainsi que des éléments préfabriqués pendant leur transport et leur mise en place, devront ê-

tre vérifiées au niveau du projet. Il faut éviter sur le chantier toute improvisation et toute manoeuvre délicate qui n'aurait pas été étudiée à l'avance.

Les désordres et les accidents qui peuvent être attribués au calcul proprement dit proviennent bien souvent de points qui avaient été complètement oubliés, ou trop négligés, parce qu'ils paraissaient secondaires. Les projeteurs, ainsi que ceux qui ont pour tâche de contrôler les calculs, ne doivent donc pas s'attacher seulement à la vérification de ce que contient la note de calculs, mais aussi *à en découvrir les lacunes et les insuffisances*.

## 6. LES EQUIPEMENTS

Il s'agit des divers dispositifs destinés à assurer soit la sécurité et le confort des usagers, soit la durabilité du pont, soit d'autres fonctions particulières, et qui sont souvent *"négligés ou mal traités"* dans les projets.

Ils ont pourtant une grande importance : leur coût d'installation n'est pas négligeable, les frais de réparation et de remplacement qu'ils entraînent peuvent être très lourds et surtout leur défaillance risque d'entraîner des dangers pour les usagers et de réduire la durée de vie du pont.

Sans méconnaître cette importance, certains projeteurs ont tendance à penser qu'il s'agit d'éléments qui seront à choisir et à préciser au dernier moment, alors qu'ils sont en réalité plus ou moins liés avec la structure porteuse. Ils doivent donc être étudiés en même temps qu'elle et conçus de manière que leur fonctionnement soit sûr et durable, et que leur entretien et leur remplacement soient faciles.

Les dispositions relatives à l'écoulement des eaux (pentes, caniveaux, gargouilles, etc ..) sont manifestement à examiner au stade du projet, sans oublier de prévoir les emplacements des tuyaux de descente.

Pour être efficaces, les chapes d'étanchéité doivent être continues et relevées sur tous les bords ; des engravures doivent donc être prévues dans les bords verticaux pour empêcher l'eau de passer sous la chape. Le complexe *chape d'étanchéité - couche de roulement* est à étudier dans son ensemble ; son épaisseur et son poids interviennent dans le respect des contraintes géométriques et dans le calcul. L'auteur du projet doit se préoccuper de la qualité et de la durabilité du système à choisir. Il n'existe pas de solution à la fois parfaite et économique. Des difficultés subsistent : effets de la chaleur lorsque la chape est coulée en place, résistance aux efforts horizontaux lorsqu'elle est préfabriquée, accrochage des revêtements sur les dalles orthotropes, etc .. mais de sérieux progrès ont été faits dans ce domaine depuis quelques années.

Les progrès ont été plus spectaculaires dans le domaine des joints de chaussée. Des solutions satisfaisantes ont été apportées à tous les problèmes qui étaient apparus dans les anciens systèmes, et il existe maintenant plusieurs types de joints qui donnent entière satisfaction. Encore faut-il choisir convenablement celui qui est le mieux adapté à chaque cas, et bien indiquer dans le projet les emplacements et les dispositions des ancrages, qui doivent toujours être assez solides pour résister aux efforts d'arrachement qui leur seront appliqués.

Il est toujours préférable, pour plusieurs raisons, de limiter au maximum le nombre de joints, et cela peut conduire à préférer un type de structure à un autre, notamment des travées continues ou rendues continues à une suite de tra-

vées indépendantes. Il est donc nécessaire *d'étudier conjointement* le tablier, les appareils d'appui et les joints de chaussée.

Les dispositifs de protection latérale, bordures, garde-corps, glissières, barrières de retenue qui interviennent dans la détermination des coupes transversales, doivent aussi être choisis et étudiés dans le projet. La transmission des efforts doit être vérifiée et les dispositifs de fixation sont à indiquer avec précision.

Divers autres équipements sont à prévoir s'il y a lieu : éclairage du pont, dalles de transition, grilles centrales, panneaux ou portiques de signalisation, perrés, etc .. La principale difficulté est de ne pas les oublier, afin d'éviter des difficultés d'installation et d'avoir à percer des trous dans l'ouvrage terminé.

Comme cela a été déjà souligné, une attention particulière doit être apportée aux divers dispositifs permettant de *visiter et de faciliter l'entretien* du pont et des canalisations qui l'emprunteront. Il est bon par exemple de prévoir l'éclairage intérieur des caissons et d'installer quelques prises de courant pour le petit outillage.

## 7. CONCLUSION

Les considérations à prendre en compte par l'auteur du projet sont nombreuses et diverses. S'il doit toujours apporter la plus grande attention à la stabilité et à la résistance du pont et à sa qualité technique, il lui faut aussi se préoccuper de son environnement, de son aspect esthétique, de ses modalités d'exécution, de son exploitation, de son évolution dans le temps et de sa maintenance, en respectant toutes les conditions particulières qui lui sont imposées. Il doit pour cela rechercher soigneusement toutes les informations nécessaires et établir une bonne coordination avec tous ceux qui sont concernés par le projet.

Il ne doit pas négliger les détails et les éléments considérés comme secondaires, qui sont souvent à l'origine d'inconvénients ou de désordres.

Tout ceci nécessite une expérience pratique et le sens des réalités. La connaissance du comportement des ouvrages existants est essentielle et il est très souhaitable que les échanges internationaux d'information se développent dans ce domaine.

Enfin, si les quelques observations qui précèdent ne s'appliquent qu'au stade du projet, il est certain que bien d'autres *"aspects négligés ou mal traités"* pourraient être énumérés aux stades ultérieurs et qu'il est nécessaire d'y remédier, car la qualité du pont dépend à la fois de la qualité du projet, de la qualité de l'exécution et de la qualité de la maintenance.

## 8. REMERCIEMENTS ET REFERENCES

L'auteur remercie tous les ingénieurs français et étrangers qui l'ont aidé de leurs conseils et de leurs informations. Les principaux documents utilisés ont été les publications du Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (B.P. 100 - 92223 BAGNEUX - France), les contributions aux Journées de l'Association Française des Ponts et Charpentes de Juin 1978 *"Conception et Durabilité des ponts"* et le Cours de *"Conception des Ponts"* de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (Editions EYROLLES).