

Ouvrages d'art

Aspect architectural et environnement

par **Anne BERNARD-GÉLY**

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées

Professeur à l'École nationale des ponts et chaussées

Adjoint au directeur de la Sécurité et de la circulation routières

et **Jean-Armand CALGARO**

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées

Professeur à l'École nationale des ponts et chaussées

et au Centre des hautes études de la construction

Chef de la mission Recherche et réglementation du SETRA

1. Ouvrages d'art et environnement	C 4 501 - 2
2. Quelques règles élémentaires d'esthétique	— 2
2.1 Première règle : rapport des dimensions	— 2
2.2 Deuxième règle : un ouvrage ne doit pas fermer l'espace	— 3
2.3 Troisième règle : bonne ordonnance de la structure	— 5
2.4 Quatrième règle : mise en valeur de l'intention structurale	— 5
2.5 Cinquième règle : intégration de la structure dans son environnement	— 6
2.6 Dernière règle : aspect final des parements	— 6
3. Préoccupation esthétique dans la démarche du projeteur	— 7

Dès les premières esquisses, l'ingénieur doit se préoccuper de l'aspect de son ouvrage. Ni la réalisation d'un exploit technique, ni la recherche de l'économie à tout prix ne peuvent justifier qu'on enlaidisse villes et paysages. **Projeter des ouvrages qui soient réellement des ouvrages d'art doit être une préoccupation essentielle de l'ingénieur.**

1. Ouvrages d'art et environnement

Les problèmes relatifs à la qualité paysagère et architecturale des ouvrages routiers sont traités dans une circulaire ministérielle en date du 24 septembre 1984. Cette circulaire insiste sur le fait qu'aucune décision quant à la qualité paysagère et architecturale des ouvrages routiers ne doit être prise sans une connaissance suffisamment approfondie du site (caractère des espaces, perception de l'ouvrage, potentialités en aménagement, etc.). C'est à partir de cette analyse du site et d'une réflexion sur le projet que le projeteur aboutit au choix de l'**objectif paysager et architectural** et ce, dès le stade de l'étude préliminaire.

La circulaire du 5 mai 1994, relative aux modalités d'instruction des dossiers techniques pour les opérations d'investissements routiers, reprend ces idées et décrit, en particulier, la consistance minimale d'une étude préliminaire d'ouvrage d'art vis-à-vis des problèmes d'environnement :

— établissement d'un programme précisant l'ensemble des contraintes, en particulier les contraintes esthétiques (qualité du site et de l'environnement, site classé, etc.) ;

— choix du parti (analyse des solutions envisageables) en proposant l'adoption d'un **objectif architectural**.

Pour les ouvrages courants, il est dit : « lorsqu'un objectif architectural spécifique conduit à des caractéristiques particulières, l'étude préliminaire contient les documents graphiques nécessaires à la compréhension de l'intention ». Quant aux ouvrages non courants, il est précisé : « l'étude préliminaire de l'ouvrage comporte au moins quelques dessins sommaires des solutions envisageables, des perspectives dans le site et une analyse détaillée du programme et des éléments de choix du parti ».

En effet, contrairement à l'objet d'art qui a une beauté intrinsèque, un pont ne saurait être dissocié de son environnement, dont il fait partie intégrante. Il est donc indispensable que l'auteur du projet connaisse bien le site dans lequel l'ouvrage sera placé et en tienne compte au niveau de la conception.

La préoccupation de l'aspect doit toujours être présente au cours de l'étude de l'ouvrage, jusqu'au niveau de l'exécution. Ce serait, en effet, une grave erreur de penser qu'il suffit de quelques aménagements partiels et tardifs (corniche, garde-corps), ou d'une décoration surajoutée, pour essayer de rendre plus 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 n'exclut pas la nécessité d'en étudier avec soin tous les détails.

L'intervention des architectes dans la conception des ouvrages d'art est relativement courante. Mais les rôles ne doivent pas être confondus : l'ingénieur reste le responsable de son projet comme le souligne la lettre-circulaire ministérielle du 21 novembre 1989 relative à la qualité des études d'ouvrages d'art :

« Il doit être entendu que l'étude d'un ouvrage d'art doit être menée par un ingénieur spécialiste, de compétence proportionnée à l'importance et à la complexité de l'ouvrage, et personnellement attentif aux aspects esthétiques de la conception. Pour les ouvrages qui méritent une recherche architecturale particulière, et cela doit être systématiquement le cas pour les grands ouvrages ou les ouvrages en milieu urbain, il est nécessaire qu'un architecte soit associé à la conception dès le début de celle-ci, le spécialiste restant responsable de l'ensemble de la conception ».

2. Quelques règles élémentaires d'esthétique

L'analyse architecturale d'un grand nombre de ponts mène à proposer certaines règles qu'il semble nécessaire de respecter pour la création de formes harmonieuses ; mais il n'est pas possible d'arrêter des règles permanentes et universelles d'esthétique car elles sont, au moins en partie, fonction de la mode, de l'évolution de la technique et des impératifs économiques et, de plus, elles ne sont ni suffisantes, ni peut-être toujours nécessaires ; nous en citerons néanmoins quelques-unes parmi les plus couramment admises. En les respectant, l'ingénieur fera, en général, un ouvrage acceptable et, s'il y ajoute du talent, il fera un ouvrage esthétique ; cependant le respect de ces règles ne doit pas gêner son esprit créatif.

2.1 Première règle : rapport des dimensions

Il est fondamental de donner à l'ouvrage de bonnes proportions (figure 1). En effet, une caractéristique importante de la beauté d'un monument est donnée par l'harmonie de ses proportions dans l'espace : la hauteur, la largeur et la profondeur, le contraste entre surfaces pleines et ajourées ainsi que le rapport clair – obscur provoqué par l'ombre et la lumière.

Le choix des proportions n'est pas simple et dépend du caractère que l'on veut donner à l'ouvrage (robustesse, minceur, etc.) ; les proportions ont, bien sûr, une importance très inégale selon qu'elles se rapportent à des dimensions de parties principales ou secondaires et selon la position du point de vue.

En plus des proportions entre les diverses dimensions géométriques de l'ouvrage, il est nécessaire de veiller aux proportions entre les masses de ses éléments. C'est le cas, en particulier, du rapport entre les piles et le tablier. D'une façon générale, un ouvrage doit nécessairement donner une impression de stabilité et de sécurité (figure 2) : il convient donc de proscrire les appuis trop grêles (figure 3), susceptibles de créer un sentiment de malaise. Dans le cas de piles de grande hauteur, la prise en compte des critères de résistance (flambement) et de sécurité lors de la construction du tablier conduit généralement à leur conférer des dimensions proportionnées à celles du tablier.

Le problème est nettement plus ingrat à traiter lorsqu'il s'agit d'un tablier de grandes portées (donc relativement épais) et dont le profil en long est proche d'un terrain naturel sans relief.

On peut, dans ce cas, être amené à prévoir des piles très massives qui souligneront l'impression de robustesse donnée par l'ouvrage (figure 4).

La question des ouvertures sous un ouvrage, ou plus généralement du choix de la travure, est des plus importantes. D'une manière générale, les ouvertures de forme voisine du carré sont maladroites, qu'il s'agisse de petits ou de grands ponts. En modifiant la répartition des travées ou en s'orientant vers un autre type de structure, le projeteur peut toujours trouver une solution conduisant à des ouvertures plus équilibrées d'aspect satisfaisant (figure 5). Si, comme nous l'avons dit, une ouverture carrée est plutôt maladroite, une ouverture rectangulaire allongée dans le sens de la hauteur (cas d'un pont cadre de faible largeur ou de fort tirant d'air) (figure 6) est franchement disgracieuse.

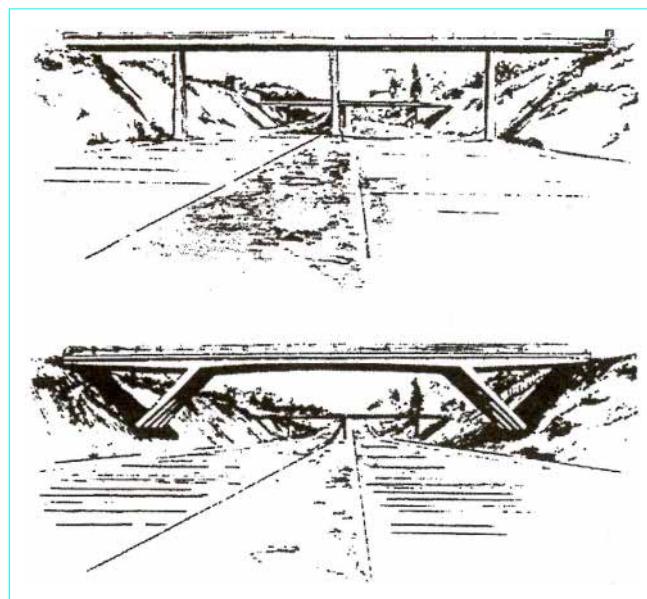


Figure 1 – Dans le cas d'appuis de grande hauteur, un pont à bâche est préférable à un pont-dalle

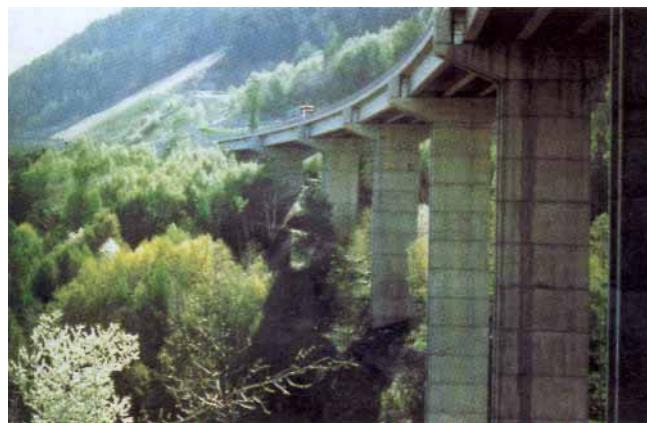


Figure 2 – La forme et les proportions des piles donnent une bonne impression de stabilité (doc. SETRA)

2.2 Deuxième règle : un ouvrage ne doit pas fermer l'espace

Selon la circulaire du 24 septembre 1984, on distingue :

- les ouvrages essentiellement destinés à s'adapter au site existant sans intention de transformer celui-ci ;
- les ouvrages destinés à constituer un élément d'un site futur ;
- les ouvrages inévitables voués à retenir l'attention ;
- les ouvrages sur lesquels on veut attirer l'attention.

La première catégorie est principalement constituée d'ouvrages aux dimensions modestes : ils doivent en général être aussi « transparents » que possible et ne pas s'imposer. Dans le cas d'un passage supérieur d'autoroute, par exemple, où il est indispensable de dégager la meilleure visibilité pour l'automobiliste, il faut éviter la multiplication des appuis intermédiaires ou la présence de culées



Figure 3 – La minceur des poteaux donne une impression de fragilité (doc. SETRA)



Figure 4 – Ouvrage bien proportionné et de bonne qualité d'aspect (doc. SETRA)



Figure 5 – Ouvrage qui dégage particulièrement bien l'espace (autoroute A 13) (doc. SETRA)

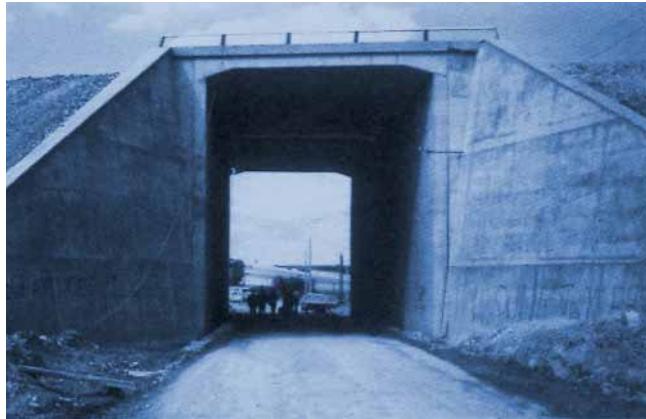


Figure 6 – Mauvaises proportions : le tirant d'air est trop grand pour l'ouverture (doc. SETRA)

trop massives. On préfère donc projeter un ouvrage de portée nettement plus importante que la largeur de la plate-forme autoroutière et, si possible, sans appui sur le terre-plein central. Il sera intéressant de choisir un tablier élancé et de chercher à diminuer l'importance des culées en les éloignant de la plate-forme ou en les remontant suffisamment au sommet des talus.

Dans des contrées vallonnées, il pourra être judicieux de prévoir, si le terrain est de bonne qualité, un pont à bêquilles qui, dégageant bien l'espace, est en général plus esthétique et peut être choisi pour marquer un point particulier d'un tracé (point haut, col) et rompre la monotonie d'une autoroute.

Par contre, pour un grand ouvrage, les contraintes techniques s'imposent et le pont devient nécessairement un élément dominant de l'environnement dont il faudra tirer le meilleur parti.

C'est pourquoi, un tel ouvrage doit être traité avec beaucoup de sensibilité. Même lorsqu'il s'agit d'un pont sur lequel on veut attirer l'attention, il ne doit pas masquer le site dans lequel il est implanté, mais le mettre en valeur. Par exemple, lorsque nos anciens ont construit, il y a un siècle, le viaduc de Garabit dans une vallée peu marquante, ils ont réellement embellie et mis en valeur le site ; la tâche fut donc encore plus difficile lorsque nos ingénieurs ont eu à projeter un nouvel ouvrage dans cette vallée pour porter l'autoroute A75. Le parti retenu (figure 7) fut d'implanter l'ouvrage loin du précédent, à 1 100 m, en veillant à ne porter aucune atteinte visuelle au site de Garabit et de projeter un élégant pont à bêquilles (figure 8) enjambant de façon semblable, avec majesté, la vallée.

Dans un grand nombre de cas, c'est la recherche de l'impression de légèreté qui prédominera. Les développements récents en matière de conception des structures (précontrainte extérieure, extension du domaine d'emploi des ponts à haubans aux portées moyennes) et de qualité des matériaux (bétons de fibres, bétons à hautes performances) permettent, dans les cas complexes, d'alléger substantiellement le poids des tabliers.

On préférera souvent, pour des portées supérieures à 70 m, un tablier d'épaisseur variable dont l'aspect paraîtra plus agréable : les droites donnent toujours une impression de rigidité et leur forme technique et dépouillée contraste avec celles de la nature. Si l'épaisseur de l'ouvrage est constante, il faut veiller à la forme de la corniche et des piles pour ne pas donner une impression de rigidité, surtout si le site en vaut la peine.

La conception des piles elles-mêmes joue également un rôle capital dans l'aspect général de l'ouvrage. Pour des franchissements de vallées profondes, les appuis doivent paraître les plus « transparents » possibles pour ne pas donner l'impression d'obstruer la vallée ; le critère essentiel sera donc de chercher à réduire au maximum la somme des masses des piles.

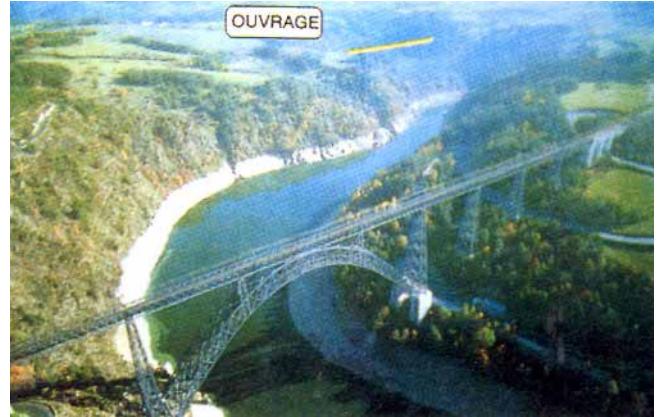


Figure 7 – Viaduc de Garabit et emplacement du nouvel ouvrage (doc. DDE du Cantal)

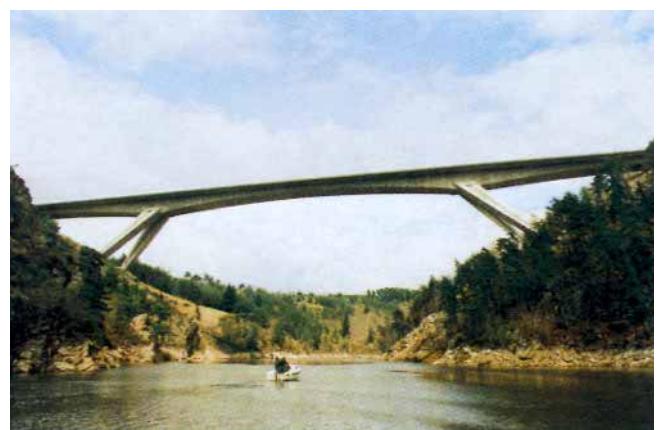


Figure 8 – Pont sur la Truyère (doc. DDE du Cantal)

Le projeteur devra souvent faire preuve d'imagination ; par exemple, pour le viaduc du Magnan (cf. article *Conception des ponts* [C 4 500] dans ce traité), le système des doubles piles particulièrement apprécié pour la construction en encorbellement, permet d'atténuer quelque peu la lourdeur des poutres continues à hauteur variable surtout si les piles vont en se rétrécissant vers le haut ; le profil en I des piles contribue également à la beauté de l'ouvrage.

On remarquera aussi (figure 9) l'élégance du pont de Cheviré, ouvrage très large au gabarit contraignant, dont les études de conception assez complexes ont permis d'en alléger l'aspect : une solution avec deux tabliers parallèles a été écartée car ses appuis encombraient trop l'espace. La force du caisson nervuré transversalement à âmes inclinées et la conception du chevêtre en tête des piles, ainsi que celle du socle à la base des appuis lui donnent une impression de puissance et de majesté.

La technique des ponts à haubans permet de donner un très grand élancement au tablier du pont et confère à ce type d'ouvrage un charme esthétique indiscutable.



Figure 9 – Pont de Cheviré (photo G. Forquet)

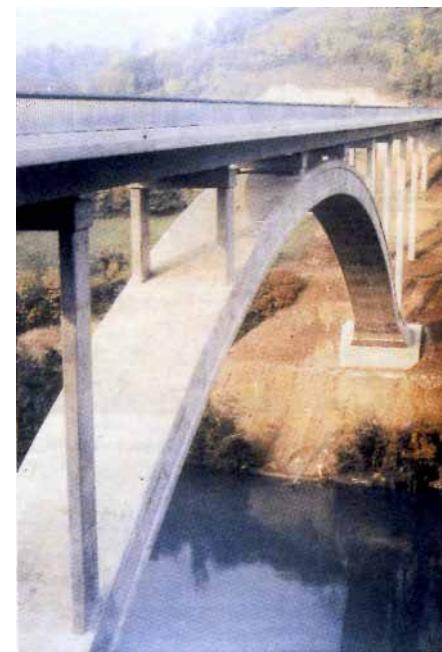


Figure 10 – Pont en arc de Trellins (photo G. Forquet)

2.3 Troisième règle : bonne ordonnance de la structure

L'ordre est expression de beauté et inversement le désordre crée un malaise. Un observateur est troublé et se sent mal à l'aise lorsque les directions des membrures, supports, arêtes et autres sont trop diverses.

Il s'agit donc de limiter le nombre des directions dans l'espace ; dans le cas de certains ouvrages biais, par exemple, les lignes d'appui non parallèles sont à éviter. L'unité dans les lignes est également à rechercher ; c'est ainsi que l'aspect donné par des lignes à courbure discontinue n'est jamais heureux car l'œil est très sensible à de telles discontinuités. Il convient de traiter les profils en long des tabliers en raccordant les parties rectilignes par des arcs de parabole et de ne jamais passer brutalement d'un segment de droite à un arc de cercle.

Il convient également d'éviter les profils en long concaves : ils donnent la fâcheuse impression que le tablier est en train de plier sous son poids propre ! Lorsqu'un tel profil en long ne peut être évité, le tablier doit être impérativement conçu de hauteur constante. Il convient aussi de rechercher, selon le cas, la symétrie ou un rythme particulier. La notion de rythme procure souvent de la satisfaction au regard, mais il faut absolument éviter toute exagération qui renverrait l'impression.

Pour le pont en arc de Trellins (figure 10), dont on pourra remarquer les proportions harmonieuses, le concepteur a cherché à simplifier la structure en supprimant l'entretoise de liaison prévue entre les deux fûts de la pile principale, au droit des culées de l'arc, car elle constituait un élément supplémentaire dans le système formé par l'arc, le tablier et les pilettes. De même, dans la disposition des pilettes entre l'arc et le tablier, il a préféré ne pas prévoir de pilette à la clé pour bien marquer l'absence de liaison et a donc projeté un nombre pair des pilettes.

Citons, pour terminer, quelques problèmes parmi les plus ingrats à traiter. Le premier concerne les « piles-culées », c'est-à-dire les appuis situés à la jonction de deux ouvrages qui peuvent différer par le mode de construction ou même par la structure. Ce cas se présente, par exemple, lorsque les deux ouvrages constituent deux lots confiés à des entreprises différentes et franchissent des brèches de nature différente. Leur juxtaposition sans précaution peut conduire à une esthétique très discutable.

Il convient de respecter les principes suivants :

- donner, dans toute la mesure du possible, la même hauteur aux deux tabliers, même s'ils sont confectionnés à partir de matériaux différents (béton et acier, par exemple) ;
- éviter impérativement de raccorder deux travées de hauteur variable (la pile-culée apparaîtrait comme une « béquille » destinée à soulager un ouvrage qui aurait du mal à se porter lui-même) ;
- si l'une des deux travées est de hauteur variable, prévoir une partie de hauteur constante suffisamment longue pour que la pile-culée apparaisse comme un appui courant ;
- éventuellement, traiter la pile-culée comme un ouvrage fonctionnel pour marquer la séparation entre les deux ouvrages (figure 11).

Le second problème concerne l'unité de structure des ouvrages courants. Ainsi, la coexistence de murs en aile et de murs en retour donne un aspect peu satisfaisant (figure 12), tout comme la dissymétrie flagrante d'un ouvrage « hybride » (figure 13). Sur un tronçon routier ou autoroutier de caractéristiques géométriques hétérogènes, il est déconseillé de projeter des ouvrages de caractéristiques hétérogènes, c'est-à-dire les uns, par exemple, avec travées de rive sur talus et les autres avec culées apparentes.

2.4 Quatrième règle : mise en valeur de l'intention structurale

Le fonctionnement statique apparent d'un ouvrage doit être intelligible, procurer une bonne impression de stabilité et tendre vers une grande simplicité. L'observateur a besoin de sentir intuitivement la fonction d'utilité de l'ouvrage et la forme qui en découle ; « la forme suit la fonction » pourrait-on dire pour cette règle. La forme de la structure porteuse, qui dépend du matériau, la descente de charges, les transferts d'efforts doivent paraître simples et clairs.

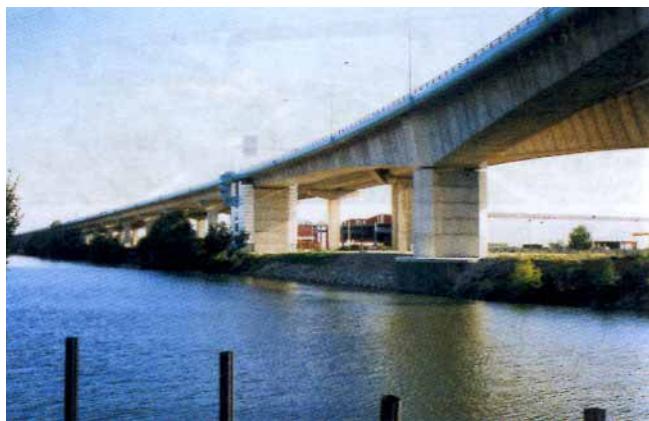


Figure 11 – Pile culée entre le viaduc et le pont de Gennevilliers
(photo JAC)



Figure 12 – Déséquilibre certain entre les extrémités gauche et droite (doc. SETRA)



Figure 13 – Ouvrage disgracieux (doc. Slater)

Dans un ouvrage, les parties composantes, éléments porteurs et éléments portés, doivent être nettement exprimées et la nature de leur liaison doit le plus souvent être affirmée ; par exemple, le mécanisme de la structure d'un pont à bâcheuses inclinées, avec articulation à la base est bien apparent.

2.5 Cinquième règle : intégration de la structure dans son environnement

Le concepteur doit réfléchir à l'incidence qu'aura l'échelle de l'ouvrage sur le site, en imaginant notamment la manière dont l'ouvrage sera éclairé ; un petit ouvrage (quelques mètres) passera plus ou moins inaperçu, tandis qu'un ouvrage important s'imposera d'autant plus que ses dimensions seront plus importantes, jusqu'à devenir un élément majeur du site (par exemple, les grands ponts suspendus). Cette règle a une certaine incidence sur le choix de la structure, du matériau, de la couleur de l'ouvrage ou de ses équipements.

Les dimensions des constructions doivent aussi être à la mesure de l'homme : les formes lourdes et agressives angoissent l'observateur ; il faut donc impérativement les éviter. C'est pour cela que le projet doit être contrôlé de tous les points de vue que pourra prendre le futur observateur. Le dessin géométrique d'une élévation peut être très satisfaisant mais s'avère souvent insuffisant. Plusieurs perspectives en diagonale doivent être réalisées (si besoin de façon informatisée) car elles peuvent révéler des recouvrements inélégants. Il faut également tenir compte de l'effet des ombres et de la lumière qui peuvent modifier l'aspect de l'ouvrage.

2.6 Dernière règle : aspect final des parements

Un bel ouvrage est avant tout un ouvrage dont l'exécution est soignée. L'intégration d'un pont dans l'environnement dépend largement du choix des matériaux de construction et de la texture des surfaces. Par exemple, des surfaces rugueuses sont bien adaptées aux piles et aux culées alors qu'une texture lisse convient mieux aux corniches, aux poutres et aux colonnes élancées. De même, en règle générale, une surface mate est plus appréciée qu'une surface brillante.

En plus de la texture, la couleur du parement est un élément essentiel de l'effet esthétique global que présentera l'ouvrage lorsqu'il sera réalisé ; les différents types de matériaux ou de composants permettront de jouer sur cet effet.

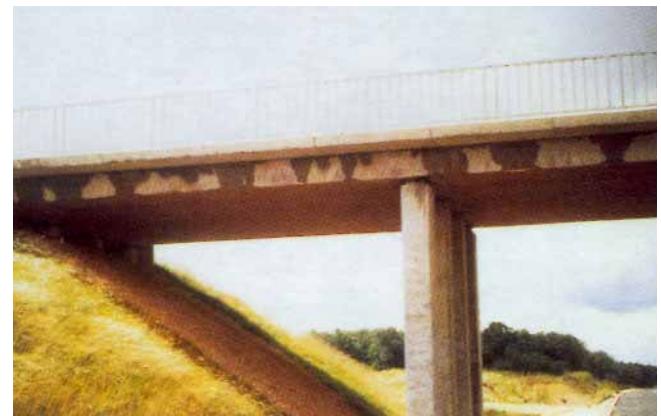


Figure 14 – Conséquences d'un défaut d'étanchéité (doc. SETRA)



Figure 15 – L'ornement et les équipements ne sont pas à l'échelle de l'ouvrage (PS sur l'autoroute A61) (doc. SETRA)

Au cours de la mise au point du projet, le concepteur devra également toujours penser à l'exécution et éviter des dispositions irréalistes ; dans le cas d'un ouvrage en béton, il ne devra pas prévoir des formes trop complexes ou délicates à coiffer et à démouler sans être sûr que l'aspect final correspondra à son attente.

Le projeteur doit aussi penser aux détails dont l'oubli pourrait nuire à l'aspect final de l'ouvrage, notamment à tout ce qui concerne l'étanchéité et l'évacuation des eaux (figure 14).

La beauté n'ayant besoin d'aucun ornement et se suffisant à elle-même, un ouvrage gagne à être sobre ; toutefois, l'ornement (parements ouvrages, corniches, garde-corps spéciaux, etc.) peut intervenir pour agrémenter et parfois souligner l'architecture, à condition d'être à l'échelle de l'ouvrage (figure 15), mais il doit alors être prévu dès l'avant-projet.

3. Préoccupation esthétique dans la démarche du projeteur

La démarche du concepteur présentée dans l'article *Conception des ponts* [C 4 500] doit être suivie en prenant en compte l'aspect esthétique du futur ouvrage.

Dans la première phase, le recueil des données, les données naturelles sont à compléter en fonction des préoccupations esthétiques ; orientation de l'ouvrage, façon dont il sera éclairé par le soleil, points de vue réels.

Dans le cas d'ouvrages hors agglomération, le point de vue à considérer est celui des automobilistes circulant sous l'ouvrage ; quant aux ouvrages urbains, il y a lieu d'envisager des points de vue variés. Il est également indispensable de savoir comment l'observateur verra l'ouvrage ; un automobiliste passant sous un ouvrage et roulant vite verra l'ouvrage d'assez loin et observera surtout la silhouette, les proportions, la forme générale et la couleur ; par contre, en milieu urbain, l'automobiliste roulant lentement, le piéton et le riverain auront l'occasion, quand ils côtoieront et verront la structure, de remarquer les détails constitutifs, les parements, les défauts qui résulteront d'un mauvais entretien, etc.

C'est dans un souci d'objectivité que l'analyse des données relatives au site s'appuiera sur des photographies prises des points de vue définis au préalable. À partir de l'ensemble des données concernant l'ouvrage futur et son environnement, il s'agit pour le projeteur de définir une forme générale qui soit en harmonie avec l'environnement, appelée **l'intention esthétique**. Cette forme générale sera obtenue en jouant sur les portées et le nombre des



Figure 16 – Enchevêtrement de poteaux (doc. SETRA)



Figure 17 – Effet désagréable : pile en retrait au droit du gousset (doc. SETRA)

travées, leurs proportions, la forme du tablier, celle des appuis, la présence éventuelle de culées apparentes.

En deuxième phase, le projeteur doit inventorier les différents types de structures techniquement envisageables, puis ne retenir que des solutions répondant à l'intention esthétique.

Afin de mieux percevoir les solutions envisageables, le projeteur peut faire appel aux techniques d'approche visuelle telles que perspectives, photomontages ou même maquettes : ces techniques, qui sont d'une très grande aide pour le projeteur, permettent de juger les volumes et les formes qui peuvent difficilement être appréhendés par le dessin courant à base de plans, élévations et coupes, car on voit presque toujours un ouvrage dans ses trois dimensions.

Les vues en perspective, élaborées à partir des points de vue d'où l'ouvrage pourra être regardé, permettent d'imaginer l'ouvrage tel qu'il apparaîtra en réalité ; le simple examen de vues en perspective suffit en effet pour se rendre compte, par exemple, qu'un pont droit et un pont biais identiques en élévation présentent un aspect très différent lorsqu'ils sont vus dans leurs trois dimensions, que les lignes d'appuis même peu nombreuses peuvent se transformer en une forêt enchevêtrée de poteaux (figure 16) ou qu'une pile en retrait au droit d'un gousset peut procurer un effet désagréable suivant le point de vue (figure 17).

Une fois le choix de l'ouvrage effectué, la troisième phase de la démarche du projeteur consiste à étudier la forme et les détails des différents éléments de la structure, la mise en proportion et l'harmonisation de ces éléments les uns par rapport aux autres.