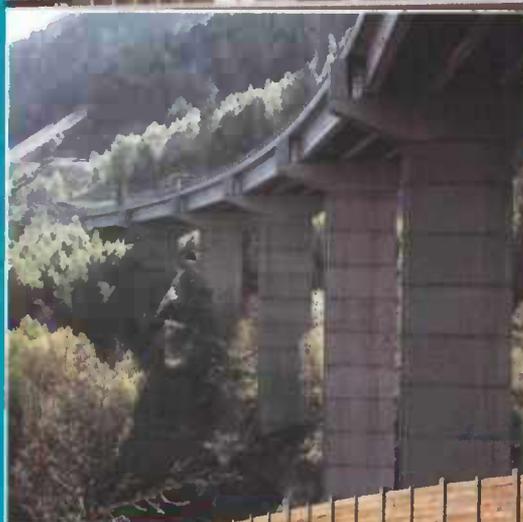
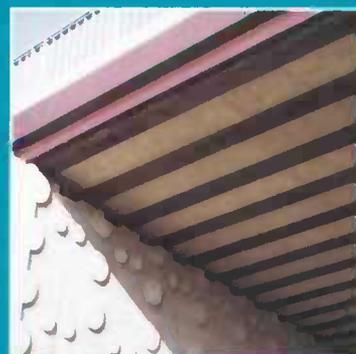
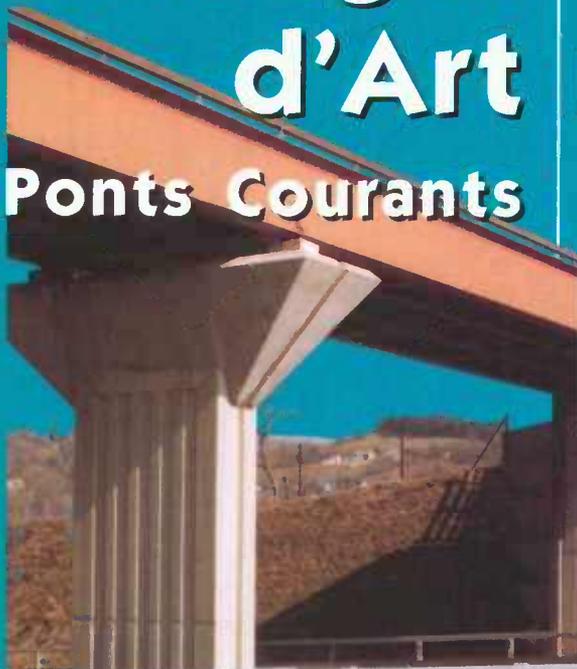
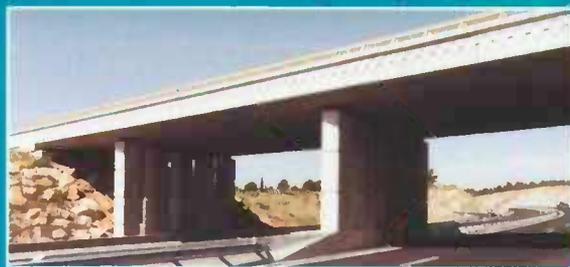


Guide du Projeteur Ouvrages d'Art

Ponts Courants



Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes



Page laissée blanche intentionnellement

Guide du Projeteur Ouvrages d'Art Ponds Courants

Janvier 1999

Document réalisé et diffusé par le



Service d'Études Technique des Routes et Autoroutes

Centre des Techniques d'Ouvrages d'Art

46, avenue Aristide Briand - B.P. 100 - 92225 Bagneux Cedex - France

Téléphone : 01 46 11 31 53 et 01 46 11 31 55 - Fax : 01 46 11 33 55

Page laissée blanche intentionnellement

PREAMBULE

Les projets d'ouvrages d'art font partie intégrante du projet routier, même s'ils nécessitent des études spécifiques.

Le présent guide ne traite que des **ponts courants** ⁽¹⁾, au sens de la circulaire du 5 mai 1994 relative aux modalités d'élaboration, d'instruction et d'approbation des opérations d'investissements sur le réseau routier national non concédé. Ces ouvrages, qui constituent la majorité des ponts construits, tant en nombre qu'en surface de tablier, ne font pas l'objet d'une instruction particulière indépendante de celle du projet routier. Ils représentent cependant des points particuliers faisant appel à des connaissances spécifiques.

C'est pourquoi ce guide est destiné à la fois au projeteur d'ouvrages d'art, chargé de définir des solutions compatibles avec les contraintes du projet, au projeteur de tracé routier, pour lui permettre de mieux comprendre l'impact de certains choix sur les ouvrages d'art, mais aussi au maître d'ouvrage ou à son maître d'œuvre, chargés de définir ou de valider le programme de l'ouvrage. Ce guide fait référence à de nombreux documents à caractère réglementaire ou à des guides auxquels il ne peut évidemment pas se substituer et que le lecteur devra toujours consulter pour de plus amples développements.

Même si ce guide ne traite pas des ouvrages non courants, de nombreux aspects concernant en particulier le recensement des données du projet ou les modes de construction sont aussi valables pour les ponts non courants, et c'est volontairement que les rédacteurs ont laissé aux chapitres correspondants cette ouverture de façon à exposer plus facilement les principes techniques traités.

Le premier chapitre rappelle comment se situent les ouvrages d'art dans les opérations d'investissement routier au fil de l'avancement des études.

Le deuxième chapitre recense l'ensemble des données du projet, administratives, fonctionnelles, naturelles, environnementales, architecturales, données de gestion et de maintenance. Ce recensement constitue le point de départ des études d'ouvrages d'art. Il est destiné à mettre en évidence les contraintes spécifiques de l'ouvrage projeté.

Le troisième chapitre s'attache à définir la démarche de conception d'un ouvrage, étape qui suit le recensement des contraintes, en analysant les marges disponibles et en donnant des éléments sur le choix des structures possibles, l'implantation des appuis, l'incidence du mode de construction. Il fournit aussi des éléments d'estimation des ouvrages.

Ce guide annule et remplace le document CAT 75.

⁽¹⁾ La définition des ouvrages courants et non courants fait l'objet du chapitre 1.

Ont participé à la rédaction de ce guide :

Hélène ABEL-MICHEL	GOA de la DREIF ⁽¹⁾
Claude BOUTHINON	CSTR du SETRA
Eric CHAPUIS	COA de la DDE de la Dordogne
Claude FONTAINE	CDES de la DDE du Var
Yann-Mikel JAFFRÉ	CTOA du SETRA
Jean-Louis JOLIN	Architecte DPLG
Hélène KLICH	GOA de la DREIF
Jean-Louis MICHOTÉY	SOGELERG
Alexandre NIETO	CETE Méditerranée
Pierre PAILLUSSEAU	GOA de la DREIF ⁽²⁾
Eric PLAUT	DDE de la Savoie
Alain ROUBY †	CTOA du SETRA
Bertrand TAIMIOT	DDE de la Dordogne
Alphonse WOELFFEL	Département du Bas-Rhin

Les illustrations ont été assurées par :

Jean-Pierre GILCART	CTOA du SETRA
Claude ZURLINDEN, Fodil OUNAS	GOA de la DREIF

et les dessins humoristiques par :

Pierre ARNAUD	CETE Méditerranée
---------------	-------------------

La rédaction de ce document a été enrichie des observations et avis de :

Bernard BOUVY (AOIA - A75), Jean-Armand CALGARO (SETRA), Alain CHABERT (CETE de Lyon), Pierre CORFDIR (CETE de l'Est), Didier CORNET (CETE de l'Ouest), J.P. DAUTEL (SNCF), J.P. FELIX (CETE de Normandie), Michel FRAGNET (SETRA), Jacques GAURAN (DREIF), Gérard GOMES (DREIF), Didier JAEGER (DDE 84), Patrice KIRSCHNER (SECOA), Thierry KRETZ (SETRA), Vu LEKHAC (SETRA), Mlle LOUBAT (RCA), Angel Luis MILLAN (SETRA), Jacques PERRIER (MISOA), Annie PLOUZEAU (SETRA), Daniel POINEAU (SETRA), Jean RENAULT (SETRA), R. RAKOTONDRAHAJA (Architecte DPLG), Pierre SKRIABINE (SETRA), Marc THENOZ (MISOA), Pierre TROUILLET (RCA).

Toutes les photos sont issues des photothèques du S.E.T.R.A. ou des C.E.T.E. sauf :

- les photos des pages 15, 33, 36, 69, 71, 73, 84, 126 à 134, 158, 164 à 172 de M. JOLIN-architecte DPLG,
- les photos des pages 7, 9, 21, 43, 67, 116 de M. GOBRY de la DREIF,
- les photos des pages 39, 122, 104 de M. GUIHO de la DREIF,
- les photos des pages 42 et 124 de M. GAUTHIER de la DREIF.

⁽¹⁾ Hélène ABEL-MICHEL est maintenant à la DRAST.

⁽²⁾ Pierre PAILLUSSEAU est maintenant à la DOA du CETE du Sud-Ouest.

SOMMAIRE

PREAMBULE.....	3
SOMMAIRE.....	5
1 - LES OUVRAGES D'ART DANS LES OPERATIONS D'INVESTISSEMENT ROUTIER	7
1.1 - LES DIFFERENTS INTERVENANTS.....	7
1.2 - COORDINATION DES ETUDES ROUTIERES ET D'OUVRAGES D'ART.....	10
1.3 - PHASES POSTERIEURES AU PROJET.....	24
1.4 - CONCLUSION.....	26
2 - DONNEES RELATIVES AUX ETUDES D'OUVRAGES D'ART.....	27
2.1 - LES DONNEES ADMINISTRATIVES.....	28
2.2 - LES DONNEES FONCTIONNELLES.....	31
2.3 - LES DONNEES NATURELLES.....	97
2.4 - LES DONNEES D'ENVIRONNEMENT.....	119
2.5 - LES DONNEES ARCHITECTURALES ET PAYSAGERES.....	126
2.6 - LES DONNEES DE GESTION.....	135
3 - DEMARCHE DE CONCEPTION D'UN PONT.....	141
3.1 - ANALYSE DES DONNEES ET MARGE DISPONIBLE.....	141
3.2 - DEFINITION DE LA BRECHE.....	174
3.3 - POSSIBILITES D'IMPLANTATION DES APPUIS.....	176
3.4 - ANALYSE DU MODE DE CONSTRUCTION ET PHASAGE.....	185
3.5 - PRINCIPES DE CHOIX DE LA STRUCTURE.....	207
3.6 - LES PRINCIPAUX TYPES DE PONTS COURANTS.....	218

3.7 - ESTIMATION DES COUTS DE CONSTRUCTION ET DE MAINTENANCE	241
3.8 - ANALYSE MULTI-CRITERES	253
ANNEXES I	255
Annexes I -1 - Eléments d'appréciation pour la classification des ouvrages en ouvrages courants types, ouvrages courants non types et ouvrages non courants.....	257
Annexes I -2 - Tableau récapitulatif des caractéristiques des ouvrages d'art recensés au stade de l'APS d'un projet d'infrastructure routière (à joindre au dossier d'APS)	261
ANNEXES II	265
Annexes II - 1 - Les routes, les artères interurbaines et les routes express (A.R.P. 1994) [23]	267
Annexes II - 2 - Les autoroutes de liaison (I.C.T.A.A.L. 1985) [21].....	269
Annexes II - 3 - Les voies rapides urbaines (I.C.T.A.V.R.U.) [22].....	271
Annexes II - 4 - Données relatives à l'élaboration du programme d'un ouvrage d'art	273
BIBLIOGRAPHIE	281
SIGLES	287
LEXIQUE DE TERMES TECHNIQUES	289
INDEX	295
TABLE DES MATIERES.....	299

1 - LES OUVRAGES D'ART DANS LES OPERATIONS D'INVESTISSEMENT ROUTIER

La qualité de la route est le résultat final d'un grand nombre d'étapes et le fruit global de l'activité de tous ceux qui y concourent : depuis ceux qui conçoivent les réseaux d'infrastructure (routes, voies ferrées, réseaux divers, ...) jusqu'à ceux qui, quotidiennement, en assurent l'entretien et l'exploitation.

Dans le champ particulier des études d'ouvrages d'art, qui s'intègrent dans les études routières, la recherche de cette qualité doit représenter un objectif essentiel pour les maîtres d'ouvrage ([1], [2], [3] et [4]).

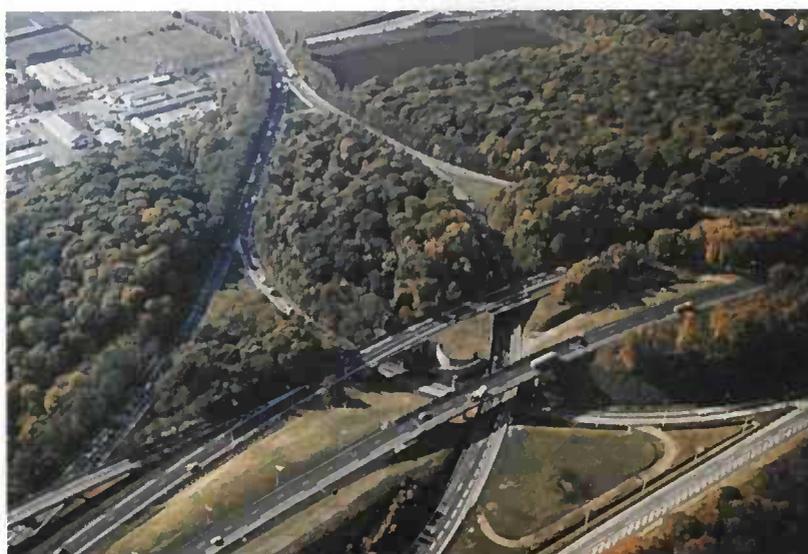


Figure 1 - La route et les ouvrages d'art

La progression des études, depuis les études d'esquisse en amont jusqu'à la phase du projet, doit faire l'objet, à chaque stade, d'un contrôle de qualité extérieur de la part du maître d'ouvrage.

Après avoir présenté les différents intervenants, ce chapitre décrit les étapes de la conception des ouvrages d'art au sein de l'opération routière. La définition des ouvrages courants et non courants et l'incidence de cette classification sur le déroulement des études y sont également précisées.

1.1 - LES DIFFERENTS INTERVENANTS

La démarche qualité nécessite la responsabilisation de chaque intervenant qui se voit attribuer un rôle spécifique et précis. En particulier, il est indispensable de distinguer nettement les rôles du maître d'ouvrage et du maître d'œuvre et, pour une opération donnée, de désigner nommément les divers responsables.

Le **maître d'ouvrage** est la personne morale pour laquelle l'ouvrage est construit. Il est le plus souvent initiateur, propriétaire et gestionnaire de l'investissement. Il lui appartient, après

s'être assuré de l'opportunité et de la faisabilité de l'opération, d'en définir le **programme**, d'en arrêter l'enveloppe financière, de choisir le processus selon lequel l'ouvrage sera réalisé et de conclure, avec les concepteurs et entrepreneurs, les contrats ayant pour objet les études et l'exécution des travaux ([5] et [6]).



Figure 2 - Les différents intervenants

Le maître d'ouvrage peut déléguer partiellement ses missions à des personnes physiques ou morales, qui assurent certaines missions spécifiques dans le cadre de l'assistance à la maîtrise d'ouvrage ou l'assistance générale sur le plan administratif, financier et technique dans le cas de la **conduite d'opération**.

Le **maître d'œuvre** monte l'opération aboutissant à la réalisation de l'ouvrage pour le compte du maître d'ouvrage. Le maître d'ouvrage peut décider de confier à un maître d'œuvre tout ou partie des missions de conception et d'assistance depuis les études préliminaires jusqu'à la réception de l'ouvrage. Ainsi, suivant la complexité des études, le maître d'œuvre sera appelé à participer à la conception de l'ouvrage plus ou moins tôt, à la demande du maître d'ouvrage.

La personne responsable de la maîtrise d'œuvre, appelée **chef de projet**, a un rôle primordial de chef d'orchestre de l'opération. Il est responsable de son bon déroulement (conception, réalisation, réception), dans le respect de la commande du maître d'ouvrage, des normes, recommandations techniques et règles de l'art.

La conception d'une infrastructure routière, et en particulier celle des ouvrages d'art, faisant appel à des compétences très diverses, le maître d'œuvre doit composer et animer une équipe de conception, réunissant des spécialistes de différents domaines : spécialiste routes, spécialiste ouvrages d'art, architecte, paysagiste, géotechnicien, hydrologue, ... Ces compétences sont recherchées au sein des services techniques des collectivités (Etat, collectivités territoriales, ...) ou dans le secteur privé (bureaux d'études, ...).

Le programme, qui explicite la commande du maître d'ouvrage au maître d'œuvre, se précise à chaque étape des études. Il est normalement établi avant le début de l'avant-projet sommaire, mais pourra être précisé par le maître d'ouvrage avant tout commencement des études de projet.

L'**entrepreneur** propose des méthodes d'exécution adaptées au projet défini au dossier de consultation des entreprises. Sa participation dans la conception peut intervenir si le règlement de la consultation, en vue de la dévolution des travaux, autorise des variantes, en particulier dans le cas des variantes larges.

Le **coordonnateur en matière de sécurité et de protection de la santé** est désigné par le maître d'ouvrage pour la phase de conception et de réalisation [8]. Il doit élaborer un PGC (Plan Général de Coordination en matière de sécurité et de protection de la santé) au cours de la conception, qui est joint au DCE, et vérifier que le PGC est respecté lors de la réalisation. De plus, cette mission est étendue aux opérations postérieures à la mise en service de l'ouvrage où il s'agit de s'assurer que l'exploitation, la surveillance et l'entretien de l'ouvrage pourront être réalisés dans le respect des règles de sécurité. Les mesures correspondantes sont consignées dans le Dossier d'intervention ultérieure sur ouvrage (DIUO). Notons également que, le plus souvent, l'ensemble de la mission est fractionné en une mission "études" et une mission "travaux".

Lorsque l'ouvrage est terminé, le maître d'ouvrage, sur proposition du maître d'œuvre, prononce la réception de l'ouvrage et en confie l'entretien et la surveillance à un service **gestionnaire**. Cette phase est généralement concrétisée par la remise d'un dossier d'ouvrage.



Figure 3 - La route et les ouvrages d'art

Cependant, dans le cas de certains projets complexes de génie civil, les définitions classiques données ci-dessus ne suffisent pas toujours à bien identifier le rôle des différents intervenants. Cela peut engendrer des difficultés de relations entre eux, sources directes de défauts plus ou moins graves dans l'exécution de l'ouvrage. En particulier, les prestations réalisées par des bureaux d'études ne doivent pas être considérées comme des missions de maîtrise d'œuvre particulières ; elles sont intégrées à la chaîne de production du maître d'œuvre et demeurent sous sa responsabilité.

En pratique, nous admettons pour la suite, que la mission du maître d'œuvre comporte l'assistance du maître d'ouvrage pour assurer l'établissement du programme en plus de sa mission consistant à apporter une réponse architecturale, technique et économique à ce programme. Le maître d'ouvrage doit bien sûr valider les choix qui lui sont proposés par le maître d'œuvre et en assumer la responsabilité, à partir des propositions de choix faites par le maître d'œuvre. Cette répartition des rôles est habituelle dans le domaine des infrastructures de génie civil.

1.2 - COORDINATION DES ETUDES ROUTIERES ET D'OUVRAGES D'ART

L'élaboration d'un projet d'ouvrage d'art nécessite, quel qu'en soit le maître d'ouvrage, plusieurs étapes à caractère technique ou administratif.

La première phase concerne les études de faisabilité et d'opportunité et définit les besoins à satisfaire, la planification et la programmation. Cette étape et les décisions qui la concluent sont de la compétence du maître d'ouvrage.



Viennent ensuite les études techniques proprement dites. La circulaire du 5 mai 1994 [19] définit "les modalités d'élaboration, d'instruction et d'approbation des opérations d'investissements sur le réseau routier national non concédé".

Même si cette circulaire n'est pas applicable à tout type d'infrastructure ni à l'ensemble des maîtres d'ouvrages, la démarche qu'elle définit peut être aisément transposée ⁽¹⁾. Elle permet de clarifier la progression des études et propose des niveaux de définition de chaque étape de la réflexion.

Figure 4 - La circulaire du 5 mai 1994

Par la suite nous nous référerons régulièrement à cette circulaire.

1.2.1 - Ordonnancement des études

Les études d'**ouvrages d'art** s'intègrent dans les études globales de tracé routier et suivent les mêmes procédures d'instruction. La circulaire du 5 mai 1994 classe les ouvrages en deux catégories selon leur importance : ouvrages d'art courants et ouvrages d'art non courants dont la définition précise est rappelée et commentée au paragraphe 1.2.2 ci-après.

Les paragraphes qui suivent ont pour objectif de préciser comment s'articulent les études routières et les études d'ouvrages d'art. Le synoptique de la page suivante illustre ces propos.

⁽¹⁾ Citons, pour le domaine concédé, la circulaire du 27 octobre 1987 relative aux modalités d'établissement et d'instruction des dossiers techniques concernant la construction et l'aménagement des autoroutes concédées.

Etudes routières
(Le tracé routier et les OA courants)

Etudes spécifiques d'ouvrages d'art
(Les OA non courants)

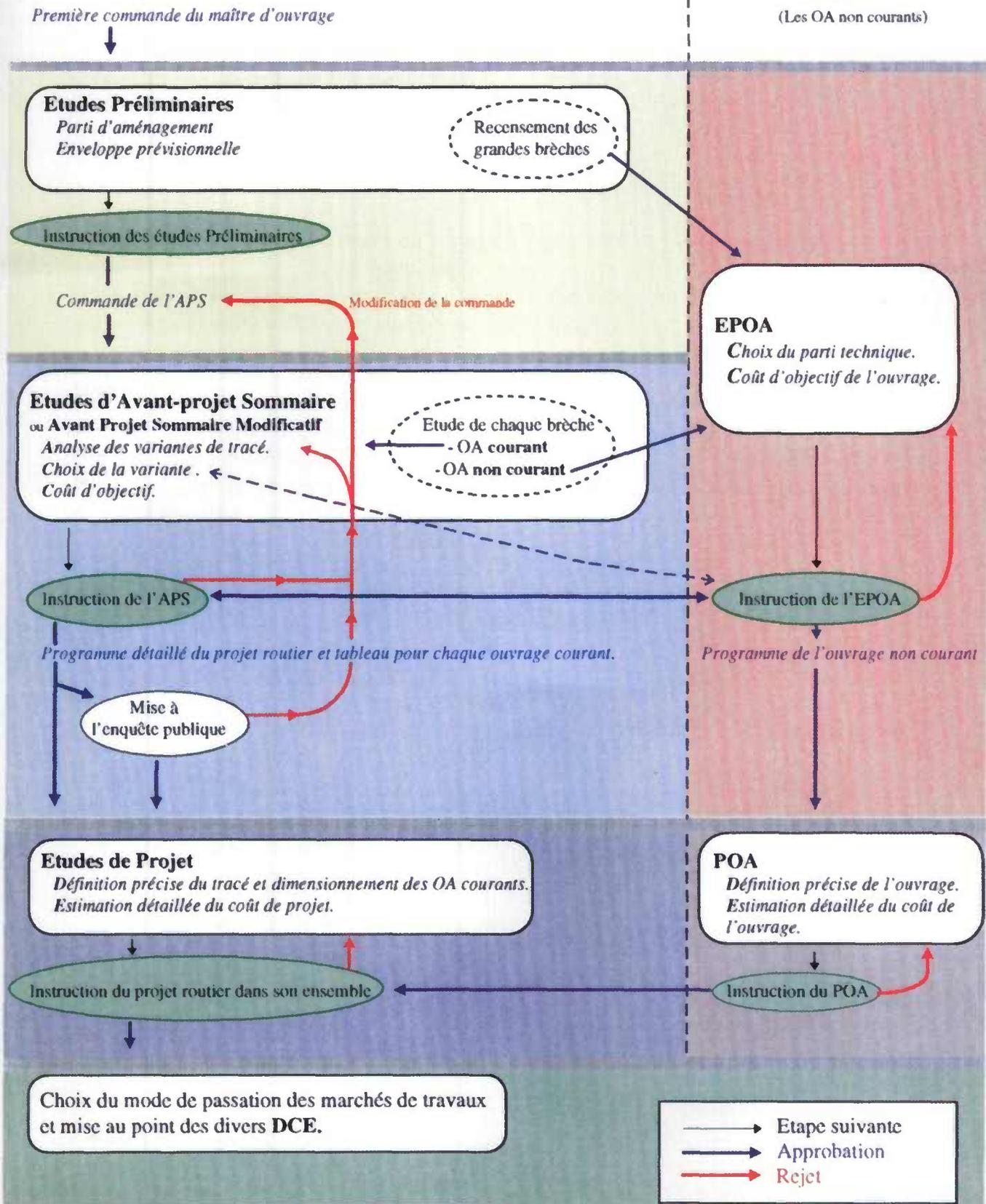


Figure 5 - Déroulement des études d'ouvrages d'art au sein des études routières d'après la circulaire du 5 mai 1994

Tout d'abord, rappelons que les **études de tracé** sont décomposées en trois phases distinctes suivant une progression continue :

- les Etudes Préliminaires routières (parti d'aménagement et enveloppe prévisionnelle),
- les études d'Avant-Projet Sommaire ou A.P.S. (analyse des variantes de tracé, choix d'une variante et coût d'objectif initial),
- les études de Projet (définition précise du tracé et coût du projet) qui débouchent sur l'établissement des Dossiers de Consultation des Entreprises (D.C.E.).

Ce découpage en phases a en particulier pour objectif de présenter l'évolution du projet au maître d'ouvrage pour que ce dernier, au vu des propositions qui lui sont faites par le maître d'œuvre, puisse faire les choix relevant de sa responsabilité et orienter le projet. Le contrôle de la qualité des études comprend donc un certain nombre de points d'arrêt qui correspondent à la fin de chacune de ces phases.

Au cours de l'étude préliminaire routière, les grandes brèches rencontrées sur la zone d'étude sont recensées. Si elles conduisent sans ambiguïté à des ouvrages non courants, il convient d'établir spécifiquement, pour chacun d'entre eux, **une étude préliminaire d'ouvrage non courant**. Les brèches plus modestes ne sont pas spécialement recensées ni étudiées à cette phase des études.

Au stade de l'APS routier, la totalité des ouvrages d'art doit être recensée. Un tableau récapitulatif de leurs caractéristiques prévisionnelles justifie leur classement selon deux catégories, ouvrages d'art courants ou non courants.

Dans le cas où l'ouvrage est déclaré **courant** au stade de l'APS routier, les études particulières de l'ouvrage sont simplement repoussées au stade du projet routier. L'APS donne un coût prévisionnel des ouvrages courants, qui peut être estimé par ratio.



Figure 6 - Une brèche courante

Dans le cas où un ouvrage est déclaré **non courant**, soit au stade de l'étude préliminaire routière, soit au stade de l'APS routier, la circulaire du 5 mai 1994 prévoit deux procédures d'instruction particulières matérialisées par des dossiers d'études spécifiques :

- l'**Etude Préliminaire d'Ouvrage d'Art** (EPOA), souvent intégrée à la phase d'APS du projet routier (choix du parti technique),
- le **Projet d'Ouvrage d'Art** (POA ⁽¹⁾), élaboré au stade des études de projet routier.

L'étude préliminaire d'ouvrage d'art (EPOA) permet de choisir le parti technique et de cerner le coût prévisionnel des ouvrages d'art non courants apportant ainsi des éléments complémentaires aux critères habituels de comparaison des variantes de tracé de l'APS. Dans des sites difficiles, où la faisabilité technique ou financière de l'ouvrage est susceptible d'influer sur la faisabilité de l'opération, il peut être souhaitable d'engager cette étude dès l'étude préliminaire de l'opération routière. Ce dernier cas ne concerne en pratique que des ouvrages non courants.

Le projet d'ouvrage d'art (POA) est établi à la suite de l'EPOA et s'intègre au projet de l'opération routière.

Les notions d'ouvrage courant et non courant sont donc essentielles pour l'articulation des études routières et des études d'ouvrages d'art. Cette distinction correspond à une différence de niveau d'études bien définie pour les projets routiers du réseau national. Elle permet de mieux garantir la fiabilité des coûts prévisionnels.

1.2.2 - Les ouvrages courants et non courants

La circulaire du 5 mai 1994 énumère des critères de classification des ouvrages non courants qui sont rappelés dans le paragraphe qui suit. A partir de ces définitions se déduisent les ouvrages courants.

La frontière entre ces deux catégories d'ouvrages est suffisamment imprécise pour être sujette à interprétation et le paragraphe 1.2.2.3 s'attache à commenter les critères définis par la circulaire.

Notons que l'ARP [6], document de référence relatif aux caractéristiques des routes nationales, ne prend en compte que le critère de la longueur pour la définition d'un ouvrage non courant ⁽²⁾.

⁽¹⁾ Cette dénomination est l'équivalent de l'Avant-Projet d'Ouvrage d'Art (APOA) utilisée par l'ancienne circulaire de 1986. [20]

⁽²⁾ L'ARP fait référence à la circulaire du 29 août 1991 [29] pour les possibilités de réduction du profil en travers.

1.2.2.1 - Définition des ouvrages d'art non courants

- *d'une part les ouvrages répondant aux caractéristiques suivantes :*
 - les ponts possédant au moins une travée de 40 m de portée,
 - les ponts dont la surface totale de l'un des tabliers dépasse 1200 m²,
 - les murs de soutènement de plus de 9 m de hauteur⁽¹⁾,
 - les tranchées couvertes ou semi-couvertes de plus de 300 m de longueur⁽²⁾,
 - les tunnels creusés ou immergés,
 - les ponts mobiles et les ponts canaux,

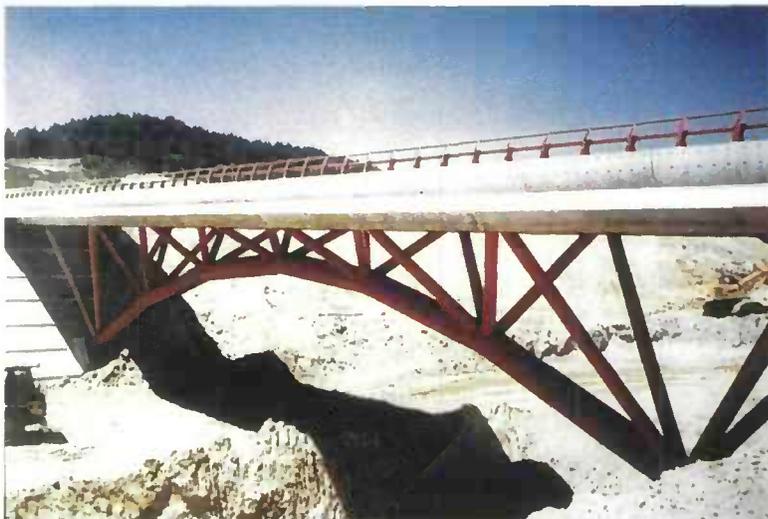


Figure 7 - Un ouvrage manifestement non courant : L'ouvrage d'Antrenas sur l'autoroute A75

- *et d'autre part, tous les ouvrages ne dépassant pas les seuils précédents, mais dont la conception présente des difficultés particulières comme par exemple :*
 - celles provenant des terrains (fondations difficiles, remblais ou tranchées de grande hauteur, risque de glissements, ...),
 - celles sortant des conditions d'emploi classiques (grandes buses métalliques d'ouverture supérieure à 8 m, voûtes en béton d'ouverture intérieure supérieure à 9 m ou dont la couverture de remblai est inférieure à 1/8^{ème} de l'ouverture intérieure, utilisation d'un dispositif ayant pour but de limiter la charge de l'ouvrage, ...),
 - celles liées à des modifications de solutions types résultant de la géométrie du tracé ou de recherches architecturales (ponts très biaisés ou à courbure très prononcée, ...),
 - celles dues à l'emploi de techniques non codifiées et n'ayant pas fait l'objet d'un avis technique du Setra (procédés de soutènement spéciaux, ...),
 - celles dues au caractère innovant de la technique ou du procédé.

⁽¹⁾ Les murs de soutènements ne sont pas traités spécifiquement dans ce guide. Néanmoins, un guide de conception est sur le point de paraître et de nombreuses indications sur leur conception figurent dans les dossiers relatifs aux ponts-cadres et portiques.

⁽²⁾ Les tranchées couvertes de moins de 300 mètres de longueur ne sont pas traitées par le présent guide.

1.2.2.2 - Définition des ouvrages d'art courants

La définition des **ouvrages courants** se déduit par complémentarité de celle des ouvrages non courants précisée au paragraphe précédent.

Le SETRA a développé pour certains ouvrages fréquemment utilisés, des guides de conception et des programmes de calcul informatiques. Ces structures rigoureusement répertoriées sont qualifiées habituellement d'**ouvrages-types** ⁽¹⁾. Leurs domaines d'emploi sont bien définis (gamme de portée, possibilités d'adaptation au biais et à la courbure, mode de construction et variantes possibles, intérêt économique par rapport à d'autres structures, ...).



Figure 8 - Un des ouvrages-types les plus courants : Un pont dalle

Les programmes de calculs d'ouvrages-types permettent au projeteur de procéder aux vérifications réglementaires sans qu'il lui soit nécessaire d'être spécialiste en calculs de structures complexes (modélisation, règlements de charge et de matériaux). De nombreux détails de conception ou dispositions constructives sont fournis par ces guides et programmes, en particulier en ce qui concerne les principes de ferrillages, qu'il est sage de respecter scrupuleusement. De plus, ces ouvrages étant très fréquents, on dispose de ratios quantitatifs et estimatifs relativement fiables (Cf. chapitre 3.7), particulièrement utiles pour fournir les éléments nécessaires au stade de l'APS routier.

Si l'utilisation des programmes types du SETRA est très pratique, il ne faut pas néanmoins en faire un usage abusif. Si les caractéristiques de l'ouvrage à étudier ne respectent pas les seuils définis par la circulaire ou le domaine d'emploi défini dans ces guides, les résultats obtenus peuvent conduire à des erreurs graves de conception. Par exemple :

- un portique de type PIPO ne pourra pas être considéré comme courant s'il est biais à 30 grades, même si son ouverture est modeste,
- un tablier à poutres précontraintes de type VIPP peu biais est un ouvrage courant, à moins qu'une travée ne dépasse 40 mètres ou que sa surface dépasse le seuil des 1200 m².

⁽¹⁾ Cette notion n'est pas reprise par la circulaire du 5 mai 1994.

De plus, les programmes informatiques ne calculent en général que les tabliers alors que tablier type ne signifie forcément ouvrage courant.



Figure 9 - Les programmes de ponts-types du SETRA

A l'inverse, les ouvrages courants ne correspondent pas tous à des modèles types, selon la terminologie du SETRA. Les études d'un ouvrage non conforme à un modèle type sont plus délicates et plus longues à conduire puisqu'on ne dispose ni de guides, ni de programmes informatiques spécialisés, ni d'exemples bibliographiques. L'expérience du projeteur est alors primordiale. En particulier, le bureau d'études aura recours à des outils informatiques plus généraux et devra effectuer la modélisation adéquate de l'ouvrage. Il devra maîtriser parfaitement le calcul de structure et les techniques de modélisation. Ce type d'études s'apparente davantage au niveau d'études requis pour les ouvrages non courants, bien que la circulaire du 5 mai 1994 n'impose pas une instruction particulière. En tout état de cause, le maître d'œuvre ne doit pas être surpris dans ce cas par des délais plus importants et par un coût plus élevé des études.

Parmi la dernière catégorie d'ouvrages courants, non conformes à un modèle type, nous pouvons citer :

Des ouvrages de morphologie courante, mais construits selon des procédés moins courants ou ayant un fonctionnement structurel complexe.

Exemples : ponts cadres ou portiques préfabriqués ou mis en place par déplacement, portiques à traverses précontraintes, ponts à béquilles, etc.

Des structures s'apparentant à des structures types mais ne pouvant être totalement prises en charge par les programmes de ponts types du SETRA.

Exemples : Portique dont les piédroits sont en palplanches métalliques, ponts cadres ou portiques-multiples.

S'il demeure des difficultés ou des incertitudes sur la faisabilité et l'estimation d'un ouvrage courant non type, il sera nécessaire de le classer en tant qu'ouvrage non courant, ce qui conduira au processus d'instruction de ce type d'ouvrages.

Ponts-types du SETRA
Guides de conception et Programmes de calcul ⁽¹⁾

Structure type	Guide	Programme de calcul
Portique de type PIPO	Ponts cadres et portiques - Guide de conception [72]	Programme PIPOEL du SETRA complété par le programme MRBEL pour les ouvrages très biais
Cadre de type PICF	Ponts cadres et portiques - Guide de conception [72]	Programme PICFEL du SETRA
Portique double de type POD	Ponts cadres et portiques - Guide de conception [72] et dossier pilote POD 76 [73]	Programme PODCCBA du SETRA
Pont dalle en béton armé de hauteur constante de type PSIDA	Ponts-dalles - Guide de conception [76]	Programme PSIDAEL du SETRA complété par MRBEL pour les ouvrages biais
Pont dalle en béton précontraint de hauteur constante de type PSIDP	Ponts-dalles - Guide de conception [76]	Programme PSIDPEL du SETRA complété par MRBEL pour les ouvrages biais
Pont dalle en béton précontraint de hauteur variable et/ou à plusieurs nervures de type PSIDN	Ponts-dalles - Guide de conception [76] Dossier PSIDN 81 [77]	Programme MCPPEL du SETRA
Pont à poutrelles enrobées	Ponts-routes à tablier en poutrelles enrobées - Guide de conception et de calcul [78]	Programmes PSIDAEL et PSIPAP du SETRA
Pont à poutrelles ajourées précontraintes (PSIPAP)	Guide de conception et guide de calcul des ponts à poutrelles ajourées précontraintes [79]	Programmes PSIDAEL et PSIPAP du SETRA
Pont à poutres précontraintes de type VIPP	Ponts à poutres préfabriquées précontraintes par post-tension -VIPP- Guide de conception [80]	Programme VIPPEL du SETRA
Pont à poutres précontraintes de type PRAD	Ponts à poutres préfabriquées précontraintes par adhérence -PRAD- Guide de conception [81]	Programme PRADEL en développement au SETRA
Piles et palées	Dossier pilote Piles et Palées 74 [83]	Pas de programme de calcul

Remarque : Les guides cités dans le tableau ci-dessus correspondent à des mises à jour des anciens dossiers pilotes qui sont pour la plupart épuisés. Ces anciens documents gardent néanmoins leur intérêt et méritent d'être conservés.

Par ailleurs, certains documents apportent des indications sur le classement des ouvrages courants et non courants (Note d'information N°12 du SETRA sur les Conduits MATIERE[®] [85] et note d'information N°20 sur les soutènements [86]).

⁽¹⁾ Liste à jour à la parution du guide

1.2.2.3 - Commentaires sur les critères énoncés par la circulaire du 5 mai 1994

La circulaire du 5 mai 1994 laisse une ouverture sur la classification des ouvrages entre les deux catégories. En effet, la limite entre ouvrages courants non conformes à un modèle type et ouvrages non courants n'est pas évidente. Sans être exhaustifs et sans prétendre résoudre tous les problèmes, quelques commentaires et mises en garde paraissent nécessaires.



Figure 10 - Courant ou non courant ?

En tout état de cause, la proposition de classification de chaque ouvrage du projet revient à l'équipe de maîtrise d'œuvre, mais la décision est prise au cours de l'instruction du dossier d'APS. En particulier, l'IGOA peut faire remarquer que tel ouvrage présente des difficultés particulières de conception et doit être classé parmi les ouvrages non courants, ou, au contraire admettre qu'un ouvrage de conception classique et courante puisse suivre une procédure d'ouvrage courant même si les seuils géométriques définis par la circulaire du 5 mai 1994 sont légèrement dépassés.

Le tableau de l'annexe I.1 fournit des éléments d'appréciation de classements des ouvrages types du SETRA en ouvrages courants conformes à un modèle type, ouvrages courants non conformes à un modèle type et ouvrages non courants.

a) Structures ou ouvrages particuliers

Certaines structures font partie des ouvrages non courants compte tenu de leurs particularités (procédés de construction spécifiques, fonctionnements particuliers de la structure, charges d'exploitation inusuelles, matériaux nouveaux, ...). Elles sont, en effet, plus délicates à concevoir et peuvent nécessiter la formation d'une équipe d'études pluridisciplinaire ainsi que le recours à des organismes particuliers.

Il peut s'agir par exemple :

- d'une passerelle pour piétons où les exigences architecturales et les effets dynamiques (vent, surcharges) peuvent être importants et nécessiter des études spécifiques et spécialisées, alors que les dimensions de l'ouvrage n'incitent pas à le classer directement parmi les ouvrages non courants,



Figure 11 - Passerelle pour piétons

- d'une structure courante mais possédant certaines caractéristiques innovantes, c'est à dire où l'emploi d'un matériau non courant (bois, aluminium, acier thermomécanique ou béton à hautes performances) voire d'un matériau nouveau,

- d'un phasage d'exécution complexe, imposé par des contraintes d'exploitation à la construction, comme par exemple le maintien des circulations,



- pont dalle poussé ou ouvrage construit par phase, utilisation d'une technique particulière, peu expérimentée.

Figure 12 - Ouvrage en bois

b) Seuils géométriques (surface, portée, hauteur)

Ces seuils traduisent un impact économique ou technique important sur le projet puisqu'ils se réfèrent aux dimensions de l'ouvrage, donc assez directement à son coût.

En limitant la portée, la circulaire du 5 mai 1994 exclut pour les ouvrages courants des techniques de construction particulières (technique de l'encorbellement, des ponts poussés, ...) ou des types de structures (ponts à haubans, dalles orthotropes, ...) adaptés aux ouvrages de moyenne, voire de grande portée. Ces ouvrages sont de fait moins répandus et nécessitent des études plus importantes réalisées par des spécialistes.

De même, la limitation de la surface du tablier ou de la hauteur de soutènement pour les murs permet un meilleur contrôle des problèmes de sécurité et de pérennité des ouvrages. Cela permet en outre de mieux maîtriser l'impact du coût de l'ouvrage sur le coût global du projet routier.

L'application stricte de ces critères ne doit pas constituer pour le projeteur un frein, mais au contraire un cadre de travail. Il paraît anormal que les choix structuraux puissent être

influencés par ces critères (par exemple, réalisation d'un ouvrage de 39,90 m de portée de façon à "bénéficier" de procédures administratives plus simples, alors qu'une portée supérieure à 40 m serait plus convenable).

c) Limitations du biais et de la courbure.

Il n'est pas possible de définir des limites valables pour tous types de structures. Certaines s'adaptent mieux aux effets du biais et de la courbure que d'autres, et l'on se reportera aux guides du SETRA et aux chapitres du présent document relatifs aux structures types. Quelques indications générales figurent néanmoins dans le chapitre 3.1, qui fournit des solutions pour limiter les effets du biais de franchissement et indique des possibilités d'adaptation à la courbure.



Figure 13 - PIPO biais à 30 grades

En tout état de cause, lorsque le biais ou la courbure d'un ouvrage sont importants, les modélisations les plus classiques en poutres ne sont plus suffisantes. Il est nécessaire de mener des calculs plus fins pour appréhender le comportement de l'ouvrage en grillage de poutres pour les ouvrages à poutres ou les dalles, voire dans les trois dimensions dans les cas les plus complexes (cadres ou portiques biais), ce qui augmente le coût des études. De plus, par rapport aux ouvrages droits ou peu biais, on constate une majoration des quantités (ferrailage et précontrainte, par exemple) et des difficultés de mise en œuvre qui augmentent le coût de l'ouvrage (coffrage, façonnage et mise en place des armatures).

d) Difficultés particulières provenant du terrain.

Les difficultés relatives à la nature des terrains peuvent rendre la conception ou la réalisation des fondations délicates et nécessiter des études plus lourdes. Si ces problèmes concernent surtout les brèches importantes, ils peuvent conduire à classer un ouvrage a priori courant en ouvrage non courant. Sans être exhaustifs, nous pouvons citer :

- les terrains très compressibles (difficulté d'évaluation des tassements),
- les problèmes liés aux zones de glissement, de versants instables ou d'affaissements miniers, aux sites karstiques,
- les problèmes liés à l'hydraulique (agressivité des nappes, affouillements, ...),
- les terrains en zone sismique particulière (effet de site, failles, ...).

e) Recherche architecturale.

L'environnement d'un ouvrage peut nécessiter un traitement architectural particulier associant des formes et des dimensions d'éléments de structure qui sortent des valeurs habituelles. Il peut s'agir des dimensions des appuis (pièces élancées, transmission indirecte des charges, ...) mais également du tablier (élancement inhabituel, forme ou variation de sections non courantes) ou encore d'éléments "ajoutés à la structure" pouvant en modifier sensiblement le fonctionnement mécanique et le coût.

1.2.3 - Les études préliminaires d'ouvrages d'art - EPOA

Ce terme n'est normalement utilisé que pour les ouvrages d'art non courants et s'applique à une phase d'étude donnant lieu à un dossier spécifique soumis à une instruction particulière. Par extension ou par abus de langage, il est parfois utilisé dans le cas des ouvrages courants pour la définition des caractéristiques des ouvrages nécessaires au stade de l'APS routier et il serait plus logique de parler d'Avant-Projet d'ouvrages d'art courants.

Dès cette phase, une concertation permanente, sous l'égide du maître d'œuvre, doit être menée entre le bureau d'études de tracés routiers et celui des ouvrages d'art. Le maître d'œuvre veillera particulièrement à la cohérence entre les caractéristiques routières en zone courante et celles des ouvrages (tracé, profil en long, profil en travers, écoulement des eaux, dispositifs de retenue, ...).

Les objectifs principaux de l'APS routier sont de :

- fixer un coût d'objectif plafond,
- proposer une solution parmi plusieurs variantes,
- fournir les éléments nécessaires à l'enquête publique.



Figure 14 - Maquette réalisée au stade de l'APS

Si le choix final relève de la responsabilité du maître d'ouvrage, l'analyse des variantes, qui est du domaine d'un ingénieur ou d'une équipe spécialisée et pluridisciplinaire, consiste en une analyse globale et assez large d'un éventail de solutions envisageables. Ces dernières doivent satisfaire aux différentes contraintes, en vue de :

- s'assurer que les contraintes imposées à l'ouvrage - par exemple le tracé de l'itinéraire aux abords de celui-ci, ou les tirants d'air prévus, le respect des contraintes d'exploitation - n'entraînent pas des sujétions disproportionnées, qui pourraient amener à réexaminer ces contraintes et éventuellement à proposer leur adaptation,
- proposer un objectif architectural,
- fixer les dispositions propres à sauvegarder l'environnement,
- fixer le profil en travers de l'ouvrage,
- choisir le type et prédimensionner l'ouvrage,
- comparer les variantes possibles et proposer un choix sans fixer prématurément leur conception,
- fixer une estimation du coût de l'ouvrage.

Le but de cette étude est de sélectionner, parmi toutes les solutions techniquement possibles, la ou les solutions qui paraissent les plus intéressantes.

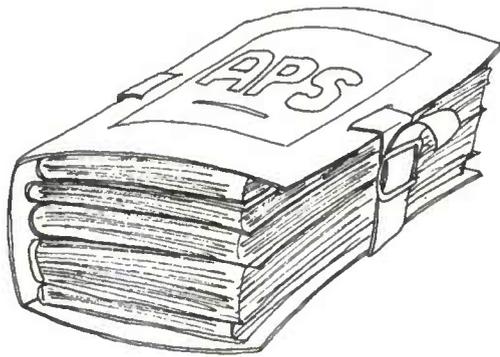


Figure 15 - Le dossier d'APS

Pour les ouvrages courants, très peu de calculs sont effectués en pratique. Il est clair que cette étude ne peut être menée que par une équipe connaissant bien les principaux types d'ouvrages, leur domaine d'emploi, ainsi que les éléments de leur prédimensionnement afin que les dessins fournis à ce stade de l'étude donnent une idée fidèle de ce que les solutions représenteraient dans la réalité.

La circulaire du 5 mai 1994 (annexe II) prescrit d'identifier chaque ouvrage par un numéro qui est reporté sur tous les documents (dessins, profils en long, ...). Pour chaque ouvrage, ou pour un ensemble d'ouvrages homogènes, le programme doit être défini, ce qui inclut :

- les caractéristiques fonctionnelles : nature du franchissement (PI ou PS), tracé en plan, hauteur libre sous ouvrage et gabarits à respecter, profils en travers des voies portées ou franchies, en particulier les largeurs des bandes d'arrêt d'urgence, des bandes dérasées et des trottoirs éventuels, la nature des dispositifs de retenue (choisis en cohérence avec le profil en travers hors ouvrage), contraintes relatives à la construction telles que l'espace disponible ou la continuité de la circulation, les équipements spéciaux éventuels, etc.
- les conditions d'exploitation : exigences en matière de transports exceptionnels, réseaux de concessionnaires, éclairage, dispositifs de surveillance et d'entretien,
- les données liées au site : hydrauliques, géologiques, ...
- les contraintes particulières à respecter : géométriques, bruit, assainissement, emprises, contraintes d'exécution,
- les objectifs architecturaux définis à partir d'une analyse de l'itinéraire et des sites traversés.

Pour les ouvrages non courants, le dossier d'Etude Préliminaire d'Ouvrage d'Art doit être élaboré. Son contenu, détaillé dans la circulaire du 5 mai 1994, est peu différent de celui du programme défini ci-dessus (pour les ouvrages d'art courants), mais des études plus poussées sont nécessaires. En effet, pour ces ouvrages non courants, même pour des spécialistes expérimentés, il est moins évident de définir "la" solution la mieux adaptée au programme de l'ouvrage et il est donc nécessaire d'entreprendre des calculs, même sommaires, pour valider la faisabilité d'une solution et pour en faire l'estimation. L'EPOA est soumise à instruction selon les modalités de cette circulaire et fait l'objet d'avis particuliers émis par les services spécialisés (IGOA, SETRA).

1.2.4 - Le projet d'ouvrage d'art - POA

Le terme de Projet d'Ouvrage d'Art (POA) est utilisé pour les ouvrages d'art **non courants** et correspond à l'élaboration d'un dossier particulier soumis à l'instruction dans le cadre de la circulaire du 5 mai 1994, qui en détaille le contenu (annexe III.4).

Pour les **ouvrages courants**, l'étude correspondante est directement incluse au projet routier. A cette phase, il convient en effet de définir avec précision le dimensionnement de l'ouvrage, de le justifier par le calcul et aussi de fixer toutes les options techniques et architecturales de la solution retenue et les variantes éventuellement admises. Le concepteur doit établir les notes de calculs et les plans correspondants.

Le **dossier de projet d'un ouvrage d'art courant** comprend les éléments suivants (annexe II de la circulaire du 5 mai 1994) :

- plan de situation à échelle adéquate (par exemple 1/25 000),
- vue en plan, avec report de la voie projetée, des voies ou cours d'eau franchis, des abords et des talus et définition de l'implantation (échelle 1/100 ou 1/500),
- élévation au 1/100 ou 1/500,
- coupe longitudinale sur l'axe de la chaussée avec report du terrain naturel, des sondages et des contraintes de site (gabarits, etc.), (1/100 ou 1/500),
- coupes transversales et plans de coffrage de détails du tablier, des appuis et des fondations (1/20 ou 1/50),
- plans de câblage de principe pour les ouvrages en béton précontraint,
- note de présentation décrivant et justifiant les principales options techniques retenues, notamment en ce qui concerne les équipements. Sont annexés à cette note les rapports de laboratoire et les coupes de sondage,
- notes de calcul (tabliers, appuis, fondations),
- étude paysagère et étude architecturale,
- avant-métré et estimation correspondante différenciant les éléments de l'ouvrage : fondations, culées, piles, tablier, équipements. L'estimation est comparée à celle de l'étude préliminaire.

Ces éléments, tels qu'ils sont listés par la circulaire du 5 mai 1994, sont nécessaires à l'élaboration du projet. Toutefois, les désordres constatés sur les ouvrages courants résultent le plus souvent du manque d'étude de détails et cela principalement au niveau des équipements du tablier et des appareils d'appui. En effet, la majorité des réparations concerne la reprise des étanchéités, le changement des appareils d'appui et des joints de chaussée. C'est pourquoi il est **essentiel** d'étudier en détail toutes les dispositions d'équipements, afin d'appréhender les interférences de ces équipements entre eux, d'étudier les raccordements de ces dispositifs avec les abords de l'ouvrage. Ainsi, et comme cela est prévu pour les ouvrages non courants, il est indispensable d'ajouter aux pièces du dossier de projet les éléments suivants :

- plans de détail des équipements du tablier (appareils d'appuis, joints de dilatation, dispositifs de retenue, étanchéité, ...),
- description du mode de construction s'il ne s'agit pas d'une méthode classique ou qu'un phasage complexe est prévu.

La circulaire du 5 mai 1994 préconise d'établir des notes de calculs et, pour les ouvrages en béton précontraint, de fournir des schémas de câblage. Lorsque l'ouvrage est un pont type, le coût d'un calcul informatique par les programmes de ponts-types du SETRA est très faible et permet de valider très rapidement le dimensionnement du tablier et d'obtenir des ratios précis. Néanmoins, même si l'on constate à cet égard une évolution, il est encore peu fréquent de procéder à des calculs complets avant les études d'exécution. Cependant, dans le cas où l'ouvrage courant est non type, la validation de la solution par le calcul est absolument nécessaire en amont de la consultation.

1.3 - PHASES POSTERIEURES AU PROJET

1.3.1 - Consultation des Entreprises

A l'issue de l'approbation du projet, la mission du maître d'œuvre se prolonge par la mise au point d'un ou de plusieurs dossiers de consultation des entreprises (D.C.E.) en vue de la passation du ou des marchés de travaux.

Généralement, les ouvrages d'art font l'objet de consultations spécifiques, et il est fréquent, pour les ouvrages courants, que les marchés portent sur des lots d'ouvrages.

Les marchés sont le plus souvent passés sur appels d'offres, bien que d'autres procédures prévues par le code des marchés publics soient possibles (appel d'offre sur performances, par exemple). Une solution courante est l'appel d'offres restreint par lequel le maître d'ouvrage, après un appel public de candidatures, sélectionne les entreprises qu'il estime compétentes pour réaliser les travaux en vue de la consultation proprement dite.

Le dossier de projet de l'ouvrage, précédemment approuvé, sert de base à l'élaboration du dossier de consultation des entreprises (D.C.E.) et les pièces purement techniques sont en pratique assez peu modifiées. On peut toutefois mettre à profit cette ultime étape pour procéder aux dernières adaptations mineures.

Il est vivement souhaitable que les bureaux d'études qui ont eu en charge l'élaboration du projet participent à la rédaction des pièces écrites techniques du marché et des parties des pièces plus administratives pouvant avoir des répercussions sur les modalités d'exécution des ouvrages. Parmi l'ensemble des pièces qui constituent le dossier de consultation des entreprises, on peut citer notamment :

- le Règlement de la Consultation fixant en particulier les possibilités de **variantes** et de **propositions techniques**, les critères de jugement des offres,
- l'Acte d'Engagement, où le soumissionnaire doit préciser le montant de son offre, les délais s'ils ne sont pas imposés, et déclarer les parties sous-traitées,
- le Cahier de Clauses Administratives Particulières (C.C.A.P.) pour ce qui est des garanties particulières, des délais, et des textes de référence rendus contractuels (C.C.T.G. notamment),
- le Cahier de Clauses Techniques Particulières (C.C.T.P.) définit les caractéristiques de l'ouvrage à construire, fixe les prescriptions concernant les matériaux et composants de l'ouvrage, fournit les modalités d'exécution des travaux, définit les résultats à obtenir, le système d'assurance qualité à mettre en œuvre,

- les dossier de plans du projet (vues en plan, élévations, profils en long, profils en travers, dossier architectural, ...),
- le cadre du bordereau des prix et le cadre du détail estimatif,
- les pièces utiles à la compréhension du projet (études géotechniques, câblages, notes de calcul, ...).

Le détail estimatif chiffré par l'administration est bien entendu confidentiel.

1.3.2 - La mise au point du marché et les études d'exécution

A l'issue de la consultation, des mises au point peuvent être nécessaires à partir de l'offre sur le point d'être retenue pour constituer le marché définitif afin de prendre en compte les méthodes spécifiques de l'entreprise et de mettre au point les variantes et adaptations techniques qui ont pu être retenues.

Qu'il s'agisse d'un ouvrage courant ou d'un ouvrage non courant, les études d'exécution sont généralement à la charge de l'entreprise attributaire.

Cette dernière doit justifier toutes les parties de la structure projetée en tenant compte de ses méthodes de construction, du matériel et de la cinématique de construction qu'elle a prévus. Ainsi, même si la consultation a été lancée sans variante, le projet d'exécution peut présenter de légères différences par rapport au projet du DCE.



1.4 - CONCLUSION

A la lumière de cette analyse de l'ordonnancement des études d'ouvrages d'art en relation avec celles de l'ensemble du projet routier, on peut constater que la démarche de conception d'un ouvrage d'art est analogue, qu'il s'agisse d'un ouvrage courant ou d'un ouvrage non courant. La seule différence est d'ordre administratif. Les ouvrages courants font en effet l'objet de procédures administratives de contrôle simplifiées du fait de l'expérience dont on dispose pour ces ouvrages. Réalisés en très grand nombre, ils montrent à l'usage un comportement satisfaisant et présentent peu de pathologie structurelle.

C'est également pour ces raisons que certaines étapes des études sont simplifiées, ce qui ne veut pas dire qu'elles soient incertaines, puisqu'on dispose d'abaques, de ratios, de coûts unitaires ou de programmes de calculs très élaborés. Cependant, ces ouvrages sont parfois négligés en ce qui concerne l'étude de détail des équipements et en particulier l'évacuation des eaux pluviales.

Les étapes essentielles de définition du programme de l'ouvrage et du recensement des contraintes ou données relatives au projet sont également très comparables. Elle sont décrites dans le chapitre 2.

La démarche permettant au projeteur d'apporter une réponse technico-économique dans le respect des contraintes du programme fait l'objet du chapitre 3.

2 - DONNEES RELATIVES AUX ETUDES D'OUVRAGES D'ART

Le maître d'ouvrage doit définir le **programme** de chaque ouvrage recensé. Ce document retrace les objectifs de l'opération, les besoins qu'elle doit satisfaire et les contraintes qui y sont attachées.

Le maître d'œuvre l'aide à clarifier et éventuellement à compléter ses attentes. Il effectue avec son équipe d'études une revue de programme.

Ce chapitre a pour ambition de rassembler de la manière aussi exhaustive que possible les différentes données ou contraintes du projet d'ouvrage d'art, en les classant dans les catégories suivantes ⁽¹⁾ :

- les **données administratives**, destinées à définir le cadre administratif et réglementaire dans lequel se situe le projet, en particulier les délais et les contraintes de financement de l'opération.
- les **données fonctionnelles** qui constituent l'ensemble des caractéristiques permettant au pont d'assurer ses fonctions de franchissement. Elles intègrent les données d'exploitation, en service et en construction.
- les **données naturelles** qui rassemblent les éléments techniques de l'environnement du pont influant directement sur sa conception.
- les **données d'Environnement** ⁽²⁾ qui rassemblent les spécificités écologiques du site.
- les **données architecturales et paysagères** qui mettent en évidence la qualité du site.
- les **données de gestion** qui traduisent la sensibilité de l'ouvrage aux opérations de surveillance, d'entretien ou de réparation.

⁽¹⁾ L'annexe II.4 dresse une liste synthétique des données à renseigner, sous forme d'un tableau à compléter, dans le but de collecter les différentes données.

⁽²⁾ Dans ce guide, l'Environnement au sens écologique du terme est distingué de l'environnement au sens voisinage par le E majuscule.

2.1 - LES DONNEES ADMINISTRATIVES

Elles ont pour but de définir le cadre administratif et réglementaire du projet.

On présente dans un premier temps les données administratives relatives au déroulement des études de projet (modalités d'instruction des dossiers, coûts et délais d'études).

Ensuite, on s'intéresse au contexte administratif du projet lui-même, en phase de réalisation ou en phase de service, qui comprend l'ensemble des règles, circulaires, normes à caractère plus ou moins technique. Ces données sont présentées dans chaque sous-chapitre spécifique correspondant (données fonctionnelles, données naturelles, données d'Environnement, données architecturales, gestion et maintenance). Ce sous-chapitre met plutôt l'accent sur les données administratives qui nécessitent d'être validées directement par le maître d'ouvrage, car elles engagent pleinement sa responsabilité.

2.1.1 - Organisation et déroulement des études

Le premier chapitre de ce document situe les études spécifiques aux ouvrages d'art dans le contexte plus global des études de l'investissement routier. Les différents intervenants sont identifiés et l'ordonnancement des études présenté.

L'inventaire des données administratives doit être établi conjointement par le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre dès le lancement des études. Ces données sont affinées pour tenir compte de toutes les sujétions du programme de l'ouvrage.

A la base de ces données administratives, il y a les **contrats liant les différents intervenants** de l'équipe d'études pour l'affaire concernée, fixant en particulier le niveau de qualité requis, le coût et le délai des études et investigations. Le maître d'œuvre veillera à intégrer le délai d'obtention des autorisations administratives nécessaires pour le projet, en particulier celles qui sont imposées par les lois sur l'eau, le bruit ou par les conditions d'accès au site pour les investigations (reconnaissance du sol). Le lecteur pourra se reporter au guide pour la commande et le pilotage des études d'ouvrages d'art du SETRA [7] qui présente de façon relativement exhaustive les rôles et responsabilités des intervenants d'une équipe d'études.

L'avancement des études est sanctionné par un certain nombre d'étapes administratives (avis sur dossiers, décisions). Ces points d'arrêt permettent au maître d'ouvrage de s'assurer du respect de la commande, en particulier du niveau de qualité requis, mais également de mettre en place les moyens financiers nécessaires aux compléments de reconnaissance, à la poursuite des études et plus tard, à la réalisation des travaux proprement dits.

En parallèle à ces procédures internes à caractère technique, le maître d'œuvre doit gérer un grand nombre de procédures administratives de plus en plus nombreuses et de plus en plus complexes. Le guide du chef de projet [10] détaille ces nombreuses procédures et en précise les délais de réalisation ou d'instruction.

2.1.2 - Cadre technico-administratif et réglementaire de l'ouvrage

La définition des données et contraintes pouvant influencer sur le programme d'un ouvrage, qu'elles soient d'ordre administratif ou technique, repose sur un ensemble de textes à caractère réglementaire, de circulaires, de normes, de guides ou de recommandations.

Il appartient au maître d'œuvre, au moment de la mise au point du programme avec le maître d'ouvrage, de mettre l'accent sur les données administratives principales. Les autres données administratives, plus spécifiques (règles de charges, règles de matériaux) qui nécessitent une compétence particulière en ouvrages d'art, sont fixées au programme par le maître d'œuvre puis validées par le maître d'ouvrage.

Les **contraintes de financement et de délais** de réalisation d'un ouvrage doivent s'intégrer aux contraintes plus globales de l'opération routière.

Le **programme de financement** d'une infrastructure impose parfois le phasage de sa réalisation avec un premier niveau de service pendant une vingtaine d'années, puis un aménagement définitif par la suite. Ce phasage doit être pris en compte non seulement au niveau de la conception initiale des ouvrages, mais aussi au niveau du déroulement de l'instruction du projet. Au contraire, des délais minimes de construction peuvent être recherchés de façon à réduire les frais financiers de l'opération.

La **position stratégique de l'ouvrage**, à court terme et à long terme, dans l'écoulement du trafic au niveau local ou régional a toute son importance ; des contraintes d'exploitation sévères rendent parfois l'entretien et la surveillance très difficiles et il est préférable dans ce cas de s'orienter au départ vers une structure rustique nécessitant moins d'entretien. Cette remarque de bon sens qui s'applique en particulier dans le domaine des murs de soutènement et des écrans antibruit, trouve aussi son intérêt dans le cas des passerelles pour lesquelles on serait tenté d'imaginer des structures légères et originales, mais délicates d'entretien.

La prise en compte de **l'environnement proche de l'ouvrage** conduit à un ensemble de contraintes très variées pour le projet et son mode de construction. Ces contraintes diffèrent selon le caractère urbain ou rural du site, les réseaux d'infrastructures voisins, l'encombrement du sous-sol, la présence plus ou moins proche d'un monument historique, d'un site archéologique, d'un équipement public ou d'un site industriel, ...



Figure 16 - Les différents intervenants

Elles font donc appel à des intervenants multiples et compliquent le contexte administratif du projet. Il n'est pas toujours possible de répondre au mieux à toutes les attentes, la prise en compte de contraintes incompatibles étant impossible. Il appartient au maître d'ouvrage, en concertation avec le maître d'œuvre de faire des choix, de hiérarchiser ces données.

Enfin, les textes réglementaires ne peuvent pas couvrir tous les cas de figure. A défaut de règles de l'art bien définies, il appartient aussi au maître d'ouvrage d'établir sa propre doctrine sur la base des éléments que lui fournira le maître d'œuvre pour l'aider dans sa décision.

Les **réseaux** doivent être recensés de manière exhaustive et leurs concessionnaires clairement identifiés. Il est recommandé de procéder à une large enquête auprès des concessionnaires, permissionnaires habituels, services ministériels, organismes publics ou privés susceptibles de posséder ou d'avoir à l'étude des ouvrages sur l'emprise du projet. Rappelons qu'un certain nombre de dispositions législatives et réglementaires régissent les rapports entre les autorités responsables de la voirie et les services exploitant des réseaux. La pose d'une canalisation fait l'objet d'une autorisation de voirie ou d'une convention. Les occupants s'acquittant d'une redevance, sont tenus de se conformer aux règlements édictés dans l'intérêt de la bonne conservation et de l'usage du domaine public et sont responsables des accidents et dommages qui peuvent résulter de l'existence et du fonctionnement de leurs ouvrages. Les opérateurs de réseaux de télécommunication disposent d'un droit d'occupation du domaine routier, étendu récemment aux opérateurs privés, ce qui ne les dispense pas des obligations d'occupants du domaine public [22]. Le fascicule 20 ⁽¹⁾ de l'instruction technique sur la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art [53] décrit les aspects juridiques des ces questions (conditions d'occupation du domaine public, responsabilités des occupants, ...).

La **domanialité** doit également faire l'objet d'un examen détaillé permettant de vérifier que les ouvrages resteront normalement accessibles et que les parties d'ouvrages pourront être effectivement remises à leurs différents gestionnaires ultérieurs.

Les **caractéristiques fonctionnelles** répondent au besoin d'utilisation de l'ouvrage avec une certaine plage de confort et de sécurité. Le sous-chapitre relatif à ces données détaille l'ensemble des dispositions réglementaires en fonction du statut administratif des voies de communication. Le lecteur constatera que ces textes ne sont pas applicables à l'ensemble des maîtres d'ouvrage, même s'ils peuvent servir de référence. Certains choix sont laissés à l'appréciation des maîtres d'ouvrage, comme par exemple le choix entre un trottoir de service ou un trottoir public. Les charges prévues (passage des piétons, des cyclistes, des convois exceptionnels, ...), leurs caractéristiques et leurs conditions de circulation (nécessité de prévoir ou non la possibilité de stationnement, stationnement d'urgence ou stationnement courant) interviennent dans le dimensionnement d'un pont mais déterminent aussi le type des équipements de sécurité à disposer sur l'ouvrage ; l'étude de trafic doit être détaillée et récente et prendre en compte toutes les hypothèses de son évolution. Il importe que toutes les caractéristiques fonctionnelles soient clairement validées par le maître d'ouvrage, en veillant aussi à envisager toutes les étapes de mise en service.

⁽¹⁾ En cours d'élaboration à la parution du présent guide.

2.2 - LES DONNEES FONCTIONNELLES

Les données fonctionnelles rassemblent l'ensemble des caractéristiques permettant au pont d'assurer sa fonction d'ouvrage de franchissement à sa mise en service et à terme compte tenu de phasage fonctionnel éventuel. Pour cela, il est nécessaire de définir les caractéristiques des voies portées et des voies ou obstacles franchis en conformité avec les règlements relatifs à chaque type de voie.

Les ponts-rails et les ponts canaux ne sont pas abordés dans ce guide. En ce qui concerne les ponts routes, nous détaillerons plus particulièrement les caractéristiques fonctionnelles des ponts sur routes nationales et autoroutes non concédées.

Selon la position de l'ouvrage d'art par rapport à l'infrastructure routière, l'ouvrage est qualifié de PI (Passage Inférieur) ou de PS (Passage Supérieur).

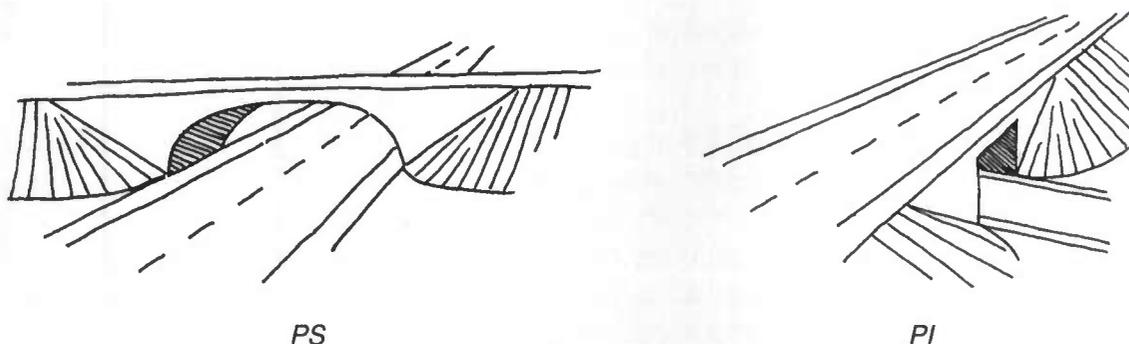


Figure 17 - Passage Supérieur et Passage Inférieur

Dans le cas où l'ouvrage porte et franchit une route, il est à la fois PS pour la voie qu'il franchit et PI pour la voie qu'il porte. Dans le cas d'une infrastructure routière ou autoroutière, on a l'habitude de prendre cette voie comme référence et de qualifier les ouvrages la portant de PI et les ouvrages la franchissant de PS. A noter que dans le cas d'un franchissement d'une voie ferrée, celle-ci est généralement prise comme référence.

Dans ce chapitre, pour éviter les confusions, nous avons préféré différencier :

- Les **données relatives à la voie portée**, en se limitant au cas des routes et autoroutes, et plus particulièrement celles relevant de l'ARP, l'ICTAAL et l'ICTAVRU (Cf. ci-après). Elles font l'objet du chapitre 2.2.1.
- Les **données relatives à l'obstacle franchi** par l'ouvrage, en distinguant le cas des routes et autoroutes définies ci-dessus, des voies ferrées et voies navigables. Elles font l'objet du chapitre 0.

2.2.1 - Données relatives à la voie portée

Comme il vient d'être précisé, nous nous limitons dans les paragraphes qui suivent au cas où la voie portée est une route relevant de l'ARP, de l'ICTAAL ou de l'ICTAVRU. Dans le cas des autres routes, pour lesquelles il n'existe pas de textes réglementaires de référence, les caractéristiques à adopter peuvent être obtenues auprès des services gestionnaires.

2.2.1.1 - Types de routes

Le document de référence pour l'aménagement du réseau routier national est le Schéma Directeur Routier National approuvé par décret en Conseil d'Etat. C'est un outil de planification qui traduit les grandes orientations et les priorités de la politique routière de l'Etat.

La circulaire du 9 décembre 1991 [18] relative à l'aménagement du réseau national en milieu interurbain définit les types de routes (autoroutes, routes express, artères interurbaines et routes).

Le détail des caractéristiques techniques des différents types de voiries est précisé dans les textes réglementaires en vigueur dont les principaux sont les suivants :



- I.C.T.A.A.L. (Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison) [21]. Cette instruction est applicable aux **autoroutes et aux routes à 2×2 voies de type autoroutier** en milieu interurbain au sens de la circulaire du 9 décembre 1991 définissant les types de routes.

- I.C.T.A.V.R.U. (Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines) [22]. Cette instruction est applicable aux **voies rapides en milieu urbain**.



- A.R.P. (Aménagement des Routes Principales) [23]. Ce document s'applique aux **routes bidirectionnelles, aux artères interurbaines à 2×2 voies et aux routes express à une chaussée**. Pour ce qui concerne le réseau routier national, la circulaire du 5 août 1994 confère au document A.R.P. le statut d'Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Routes Nationales (I.C.T.A.R.N.) et prévoit les modalités de son application.

En ce qui concerne les autres voiries, le document "Voiries à faible trafic. Eléments pour la conception et l'entretien" [27], sans caractère réglementaire, est un guide destiné aux gestionnaires des collectivités locales.

2.2.1.2 - Tracé en plan

Le **tracé en plan** est la projection de l'axe de la route sur un plan horizontal (plan topographique).

Cet axe a un caractère conventionnel et il ne correspond pas nécessairement à un axe de symétrie de la structure ou de la chaussée. Il importe donc que **l'axe du tracé en plan soit très clairement défini sur une coupe transversale**, fournie par le projecteur routier, en particulier au droit des ouvrages d'art.



Figure 18 - Les ouvrages dans le tracé routier

En plan, un ouvrage est caractérisé par son biais et sa courbure.

a) le biais

Le biais géométrique ou plus simplement **biais** de l'ouvrage correspond à l'angle φ , habituellement exprimé en grades, formé entre l'axe longitudinal de l'ouvrage et les lignes d'appui. Cet angle peut varier d'un appui à l'autre.

Compte tenu de cette définition, un ouvrage est considéré comme :

- droit lorsque l'angle de son biais géométrique est de 100 grades.
- peu biais lorsque l'angle de biais géométrique est compris entre 60-70 et 100 grades.
- de biais à très biais, pour un angle plus faible.

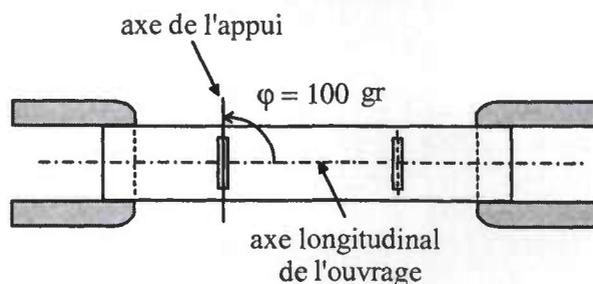


Figure 19 - Ouvrage droit

Il arrive que le biais de l'ouvrage ϕ , donnée importante pour le fonctionnement mécanique du pont, soit différent du biais du franchissement des voiries (angle ϕ' formé par l'axe longitudinal de l'ouvrage et l'axe de la voie franchie).

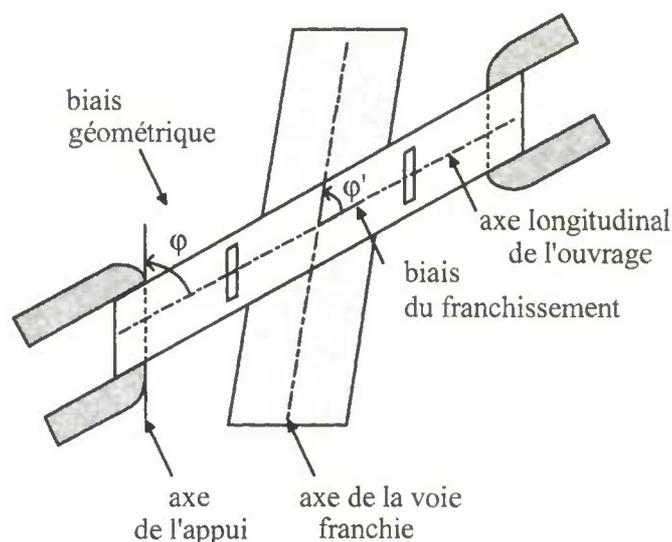


Figure 20 - Ouvrage biais

Les biais trop marqués doivent être évités le plus possible compte tenu du surcoût et des difficultés qu'ils engendrent au niveau du tablier de l'ouvrage. En règle générale, les angles de biais ne devraient que rarement descendre en dessous de 60 grades, des biais inférieurs à 30 grades devant être proscrits. Néanmoins, en site fortement urbanisé, les contraintes géométriques peuvent être déterminantes et limiter les possibilités de réduire le biais.



Figure 21 - Passage inférieur biais

b) la courbure

Les **ponts courbes** sont des ouvrages plus difficiles à réaliser et en général plus coûteux que les ponts droits. Toutefois, si le tracé en plan au droit de l'ouvrage est courbe, on cherchera à donner à l'ouvrage une courbure constante, en évitant en particulier les portions de clothoïdes sur ouvrage.



Figure 22 - Ouvrage courbe

Les effets de la courbure sont d'autant plus importants que la portée angulaire (égale au rapport de la portée développée sur le rayon de courbure, c'est-à-dire l'angle α formé par deux appuis adjacents) est importante. A titre indicatif, on considère que des études particulières doivent être effectuées pour les ponts dalles à appuis radiaux dont la portée angulaire est supérieure à 0,3 radians. Les guides de conception du SETRA précisent cette limite pour chaque type de structure.

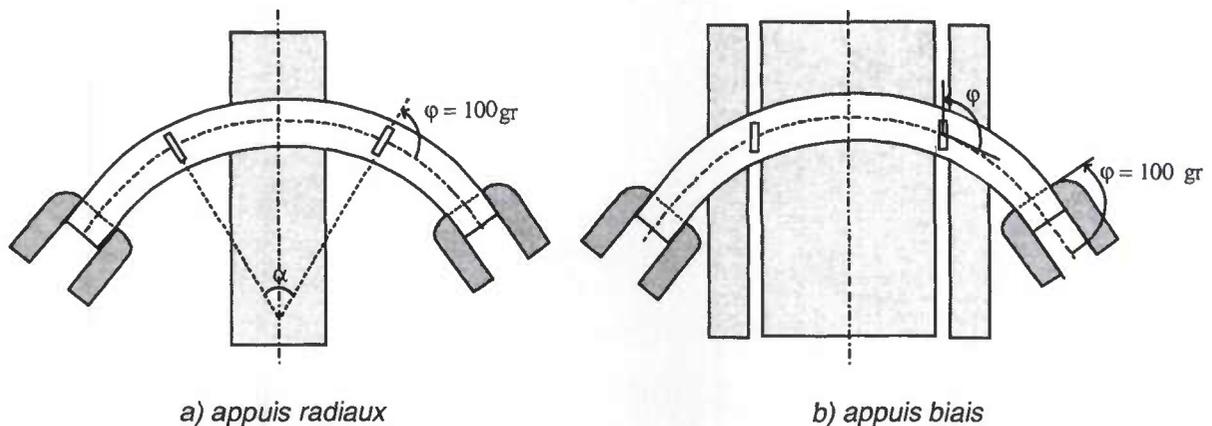


Figure 23 - Courbure en plan

Lorsque les contraintes de site sont fortes, on peut être amené à concevoir des ouvrages à la fois biais et courbes, comme l'illustre le schéma b) ci-dessus.

Une étude concertée du tracé et des ouvrages conduit dans bien des cas à une plus grande adéquation des ouvrages, à la limitation des biais à des valeurs raisonnables, à la réduction du nombre de ponts courbes, à la diminution des portées angulaires et au rejet des clothoïdes en dehors des ouvrages.

2.2.1.3 - Profil en long

Le **profil en long** permet de définir l'altitude de l'axe du projet. Il s'agit d'une courbe dans l'espace représentant la cote de **la fibre supérieure de la couche de roulement** en fonction de l'abscisse curviligne du projet dans le plan topographique.

Rappelons qu'il est important de bien repérer l'axe du projet sur un profil en travers fonctionnel, pour éviter toute confusion.

En règle générale, il convient d'éviter les ouvrages rigoureusement horizontaux pour permettre un écoulement correct des eaux de pluie. A cet égard, une pente minimale de 0,5% est souhaitable. Le guide d'assainissement de ponts routes du SETRA [70] recommande une valeur de 1%). Les pentes maximales sont définies par les textes normatifs relatifs à chaque type de voirie (ARP, ICTAAL, ICTAVRU, ...).

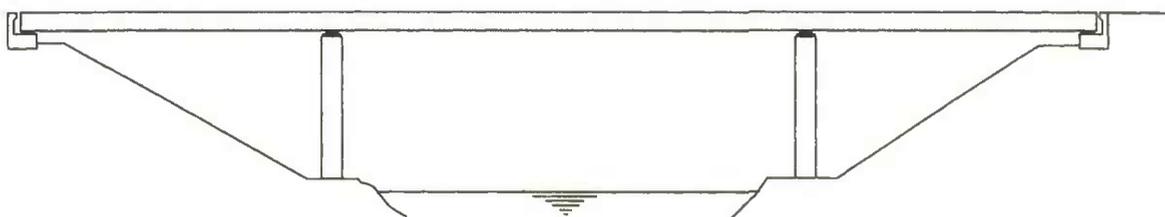


Figure 24 - Profil horizontal à éviter

Un profil en long en pente unique est intéressant lorsqu'il est bien adapté à la topographie du site et au tracé routier.

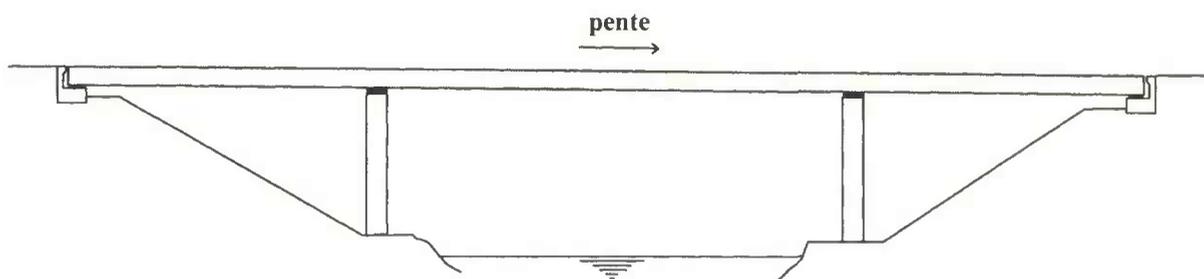


Figure 25 - Profil à pente unique



Figure 26 - Un passage supérieur en pente unique

Un ouvrage à profil convexe est préférable esthétiquement lorsqu'il présente une courbure constante, toutefois, le sommet quasi horizontal est favorable à la stagnation de l'eau.

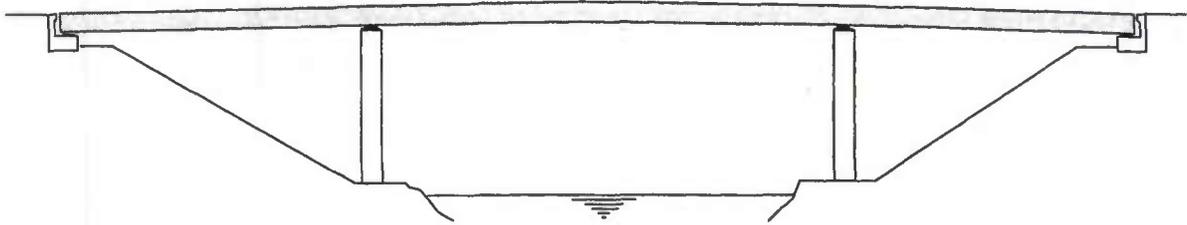


Figure 27 - Profil convexe

Un ouvrage à profil concave est déconseillé pour des raisons liées à l'assainissement lorsque le point bas se trouve au niveau de l'ouvrage.

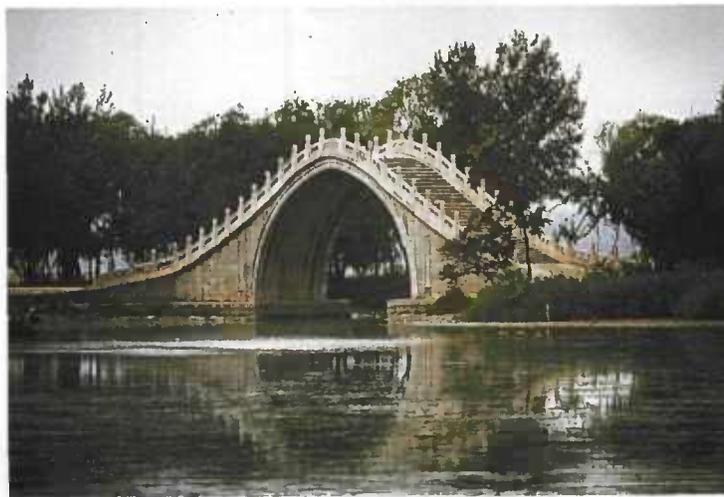


Figure 28 - Un profil en long très particulier !

2.2.1.4 - Profil en travers en section courante

Le **profil en travers** définit la géométrie transversale. En section courante, il est fixé par les textes réglementaires en fonction de la nature de l'itinéraire (Cf. paragraphe 2.2.1.1).

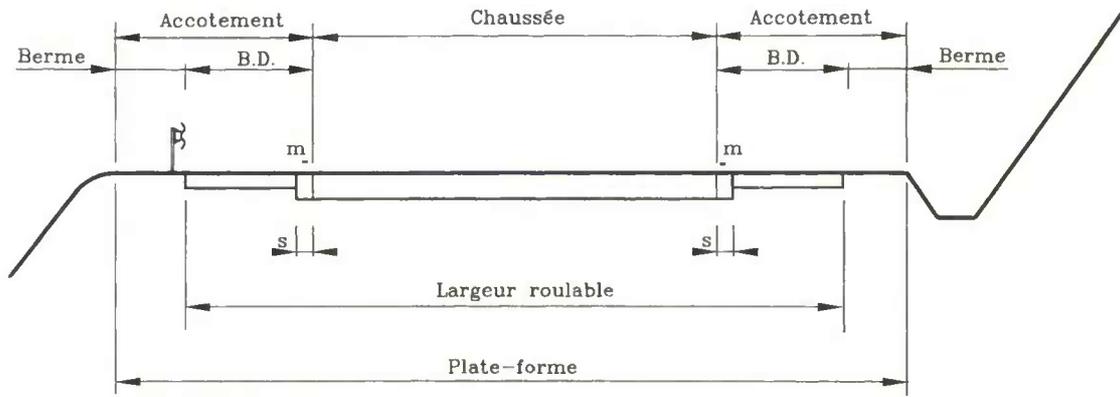
Ce paragraphe rappelle les caractéristiques de la chaussée, traite de la prise en compte des piétons, des cyclistes et des dispositifs de retenue **en section courante**.

Ces différents sujets sont également traités au paragraphe 2.2.1.5 en ce qui concerne leurs particularités **sur ouvrage** et au paragraphe 2.2.2.1 pour leurs spécificités **sous ouvrage**.

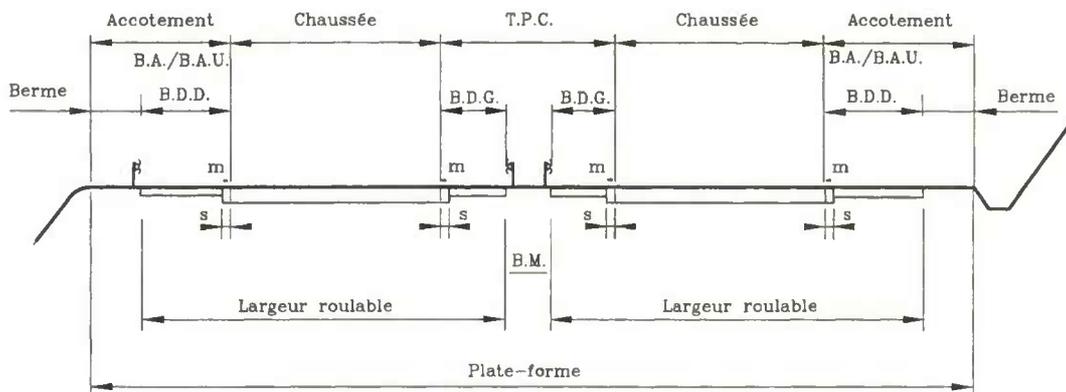
a) Définition des éléments du profil en travers en section courante

Les différents éléments composant le profil en travers d'une voie routière en **section courante** sont définis par les schémas de la page suivante.

La **chaussée** comporte plusieurs voies de circulation dont la largeur normale est de 3,50 m. Dans le cas des voiries secondaires (rétablissements de voiries existantes, passages agricoles, ...), de certaines voies urbaines, les largeurs de chaussées peuvent être notablement plus faibles et l'on doit se référer aux largeurs existantes en zones courantes. Des surlargeurs de chaussée sont prévues dans les courbes de faible rayon.

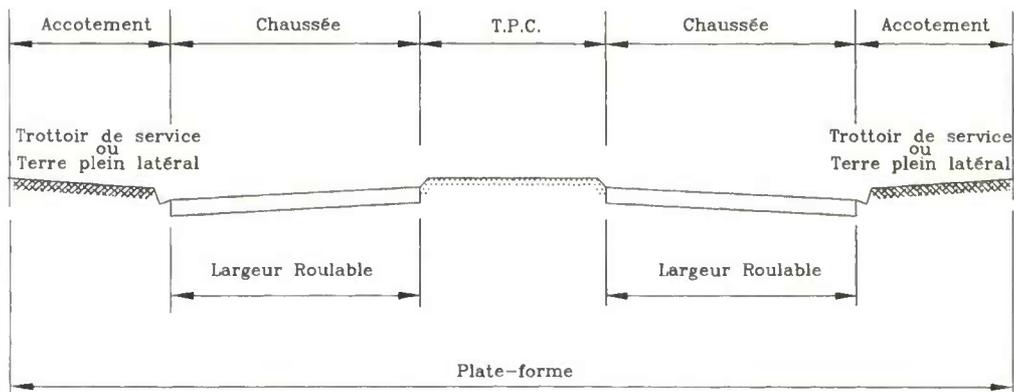


Profil en travers à 2 ou 3 voies (ARP)



- B.A. Bande d'Arrêt (BAU si statut autoroutier)
- B.D. Bande Dérasée (BDD Bande Dérasée de Droite, BDG Bande Dérasée de Gauche)
- s Surlargeur structurelle de chaussée supportant le marquage de rive (m)
- T.P.C. Terre plein central
- B.M. Bande médiane
- m Marquage de rive

Profil en travers à 2 X 2 voies
(ARP, ICTAAL ou VRU de type A ou U éventuellement sans BA)



Profil en travers pour VRU de type U

Figure 29 - Eléments de profil en travers de la section courante (hors ouvrage d'art)
Nota : Les dispositifs de retenue figurant sur ces dessins sont donnés à titre d'exemple.

Un **accotement** borde les chaussées sur leur droite dans chaque sens de circulation. Pour les voies à caractéristiques autoroutières, la partie de l'accotement jouxtant la chaussée constitue la **bande d'arrêt d'urgence** (B.A.U.). Pour les routes nationales, la chaussée est bordée par une **bande dérasée de droite** (B.D.D.), le plus souvent revêtue. Bandes dérasées de droite et bande d'arrêt d'urgence sont dégagées de tout obstacle. La bande de marquage est incluse dans les bandes dérasées de droite ou de gauche.



Figure 30 - Profil en travers en zone courante

Lorsque la voie comporte des chaussées séparées, un **terre-plein central** (T.P.C.) est prévu. Sa largeur doit être compatible avec l'encombrement des obstacles qui peuvent y être implantés (piles, pieds de potences de signalisation) et avec le bon fonctionnement des dispositifs de retenue qu'il supporte. Il comprend les deux **bandes dérasées de gauche** (B.D.G.) revêtues et la **bande médiane**.

La **largeur roulable** (LR) comprend la largeur de la chaussée et ses surlargeurs (B.A.U. ou bandes dérasées). La largeur roulable doit être dégagée de tout obstacle.

La **berme** dite engazonnée, supporte les dispositifs de retenue (Cf. d) ci-après) et d'éventuels panneaux de signalisation ou équipements. Elle borde la B.A.U. ou la B.D.D., selon les cas. Elle a une largeur de 0,75 m éventuellement portée à 1,00 m, voire davantage, en présence de dispositifs de retenue.

Notons également que dans le cas de l'aménagement d'une première phase à 2 voies (prévue pour un doublement à terme) la bande dérasée de gauche (du côté du futur TPC) doit être conçue exactement comme la bande dérasée de droite et cela même si une partie de cette bande dérasée doit être intégrée à terme dans la bande médiane du TPC. Cette disposition vise à éviter de néfastes confusions entre une chaussée bidirectionnelle et une chaussée unidirectionnelle et offrir les mêmes niveaux de sécurité et de confort aux deux sens de circulation.

Chacun des éléments présentés ci-dessus présente un **dévers** (pente transversale) variable selon les caractéristiques du tracé en plan et destiné à favoriser l'écoulement latéral des eaux de pluie et à relever les virages dans les zones en courbe (Cf. annexe II).

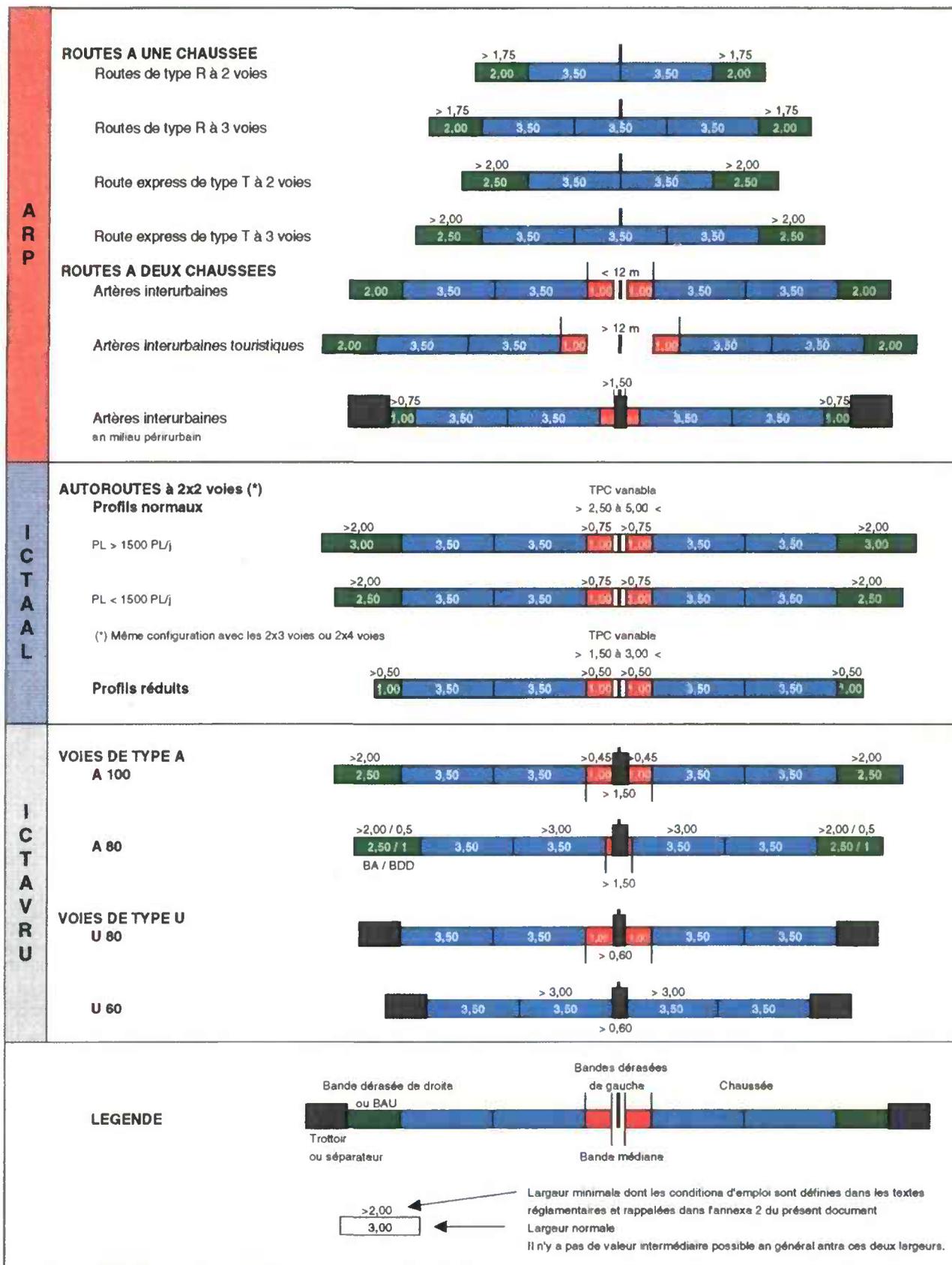


Figure 31 - Profils en travers en section courante pour les voies relevant de l'ARP, de l'ICTAAL ou de l'ICTAVRU

Au niveau géométrique, les zones de variations de dévers sont délicates à réaliser et l'on cherchera naturellement à les éviter au droit des ouvrages.

La figure 31 rappelle schématiquement les profils en travers à adopter, pour les voies relevant de l'ARP, de l'ICTAAL ou de l'ICTAVRU. Les annexes II.1, II.2 et II.3 détaillent et commentent ces dispositions.

b) Prise en compte des piétons en section courante

La prise en compte des piétons est différente selon que leur circulation est autorisée ou ne l'est pas. Dans le premier cas, il est nécessaire de prévoir des dispositifs permettant le cheminement des piétons en toute sécurité. Dans le second cas, leur présence est occasionnelle et correspond à des automobilistes en panne ou à des personnels de service.

- *Cas où la circulation des piétons est autorisée*

La circulation des piétons est autorisée sur les routes secondaires et sur les routes relevant de l'ARP qui ne sont pas classées routes express.

L'ARP indique que la circulation des piétons doit être assurée sur les routes de type R. Il précise que lorsque la fréquentation des piétons est faible, des accotements stabilisés et non enherbés sont en général suffisants. Au contraire, lorsque la fréquentation des piétons est importante, il est souvent prévu des trottoirs dont la largeur est variable et doit être adaptée au nombre de piétons.

- *Cas où la circulation des piétons n'est pas autorisée*

La circulation des piétons n'est pas autorisée sur les autoroutes ou routes express qui relèvent de l'ICTAAL, de l'ARP ou de l'ICTAVRU, et aucune disposition particulière n'est prévue en section courante.

c) Prise en compte des cyclistes en section courante

Les études destinées à préciser les fonctions que doit assurer l'infrastructure à réaliser doivent prendre en compte tous les modes de déplacements concernés, et notamment les deux-roues non motorisés. Cela ne concerne en pratique que les routes secondaires ou les routes nationales de type R relevant de l'ARP, ce qui correspond à une situation de rase campagne et les voies rapides urbaines relevant de l'ICTAVRU correspondant à un milieu urbain.



Figure 32 :
Le gabarit du cycliste

Les principaux types d'aménagements en faveur de la circulation des cyclistes sont les suivants :

- les **bandes multifonctionnelles** : parties de la largeur roulable utilisées par les cyclistes, mais qui ne leur sont pas réservées. En pratique, elles font partie de bandes dérasées de droite.
- les **bandes cyclables**⁽¹⁾ : voies de la chaussée exclusivement réservées aux cyclistes, séparées du reste de la chaussée par un marquage de largeur inférieure à 50 cm ou qui s'en distinguent par une coloration différente.
- les **pistes cyclables** : exclusivement réservées aux cyclistes et interdites à tout autre usager. Les pistes sont en général séparées de cette dernière, soit par un dispositif infranchissable, soit par un marquage de largeur supérieure à 50 cm.



Figure 33 - Prise en compte des cyclistes

- *En rase campagne*

Pour les routes relevant de l'ARP il est possible de réaliser en fonction de l'importance du trafic de cyclistes les aménagements suivants [23] et [31] :

- des **bandes dérasées multifonctionnelles** revêtues dont la largeur préconisée est de 1,25 m de large, bande de rive incluse. Le revêtement est en principe de même nature que celui de la chaussée. Le reste de la bande dérasée généralement de 2,00 m, donc en principe 0,75 m, est à prévoir en matériau stabilisé ou éventuellement revêtu.
- des **bandes cyclables** identiques à la bande dérasée multifonctionnelle mais l'espace présente alors un caractère exclusif marqué par une signalétique lourde (signalisation horizontale, signalisation verticale, pictogrammes). Ce type de bande ne présente pas d'intérêt en rase campagne.
- des **pistes cyclables**, plutôt mieux adaptées à l'environnement des routes de type R à chaussées séparées. Elles seront de préférence unidirectionnelles (2,00 m de largeur minimum) ou exceptionnellement bidirectionnelles (2,50 m minimum).

⁽¹⁾ Conformément au décret 98-828 du 14 septembre 1998 relatif à la circulation des cycles et modifiant le code de la route, les cyclomoteurs ne sont plus admis à circuler sur les bandes et pistes cyclables.

• *En milieu urbain*

Le tableau ci-dessous, issu de "Sécurité des Routes et des Rues" [34], rassemble différentes configurations possibles préconisées en milieu urbain.

			Largeurs usuelles
Bandes cyclables			0,90 à 1,50 m
Pistes cyclables	avec cyclomotoristes ⁽¹⁾	unidirectionnelle	≥ 2,00 m
		bidirectionnelle	≥ 2,50 à 3,00 m
Pistes cyclables	sans cyclomotoristes	unidirectionnelle (1 vélo)	≤ 1,20 m
		unidirectionnelle (2 vélos)	≤ 2,00 m
		bidirectionnelle	1,60 à 2,20 m

Figure 34 : Largeurs usuelles des aménagements pour cyclistes (CETUR - Sécurité des routes et des rues)

Pour les voies de type U, l'ICTAVRU autorise les pistes cyclables situées à droite de la chaussée dans la mesure où elles sont séparées de celle-ci par un terre plein latéral à bordure non franchissable.

La largeur des pistes cyclables unidirectionnelles et bidirectionnelles est respectivement de 2,00 m et de 3,50 m.



Figure 35 - Piste cyclable en milieu urbain

d) Dispositifs de retenue en section courante

En limite de la largeur roulable peuvent être implantés des dispositifs de retenue destinés à retenir des véhicules contre les sorties accidentelles de chaussée.

Actuellement, l'ensemble de ces dispositifs est désigné sous le terme de barrière, de type 1 (1a, 1b, 1c) ou de type 2 (2a, 2b, 2c) conformément à la norme NF P 98-409 [60]. Mais cette terminologie sera prochainement remplacée par la terminologie européenne.

Rappelons tout d'abord que la norme française récente NF P 98-409 relative à ces équipements a abandonné, comme catégorie de dispositif de retenue, la désignation de glissières.

⁽¹⁾ Conformément au décret 98-828 du 14 septembre 1998 relatif à la circulation des cycles et modifiant le code de la route, cette disposition ne doit plus exister.

Auparavant, en effet, les dispositifs de retenues comprenaient deux catégories, définies par la circulaire N° 88-49 du 9 mai 1988 [59] :

- les **glissières de sécurité**, destinées à retenir des véhicules légers, qui correspondent sensiblement aux barrières de type 1.
- les **barrières de sécurité**, destinées à retenir des véhicules plus lourds, qui correspondent aux barrières de type 2.

Ces anciennes terminologies sont celles qui sont utilisées dans le dossier GC 77 [62], l'ARP, l'ICTAAL et l'ICTAVRU.

Entre la circulaire N° 88-49 du 9 mai 1988 et la norme NF P 98-409, la terminologie n'est que légèrement différente (Cf. figure 36). En effet, les essais de chocs qui définissent les niveaux de performances sont similaires.

Classification	Instruction sur les dispositifs de retenue annexée à la circulaire 88-49 du 9 mai 1988 [59]	NF P 98-409 [60]
Classe	Glissière de sécurité	Barrière latérale de type 1
Niveaux	Niveau 1 Niveau 2 Niveau 3	Niveau 1a Niveau 1b Niveau 1c
Classe	Barrières de sécurité	Barrière latérale de type 2
Niveaux	Barrière lourde Barrière normale Barrière légère	Niveau 2a Niveau 2b Niveau 2c

Figure 36 - Correspondance entre terminologies ancienne et actuelle des dispositifs de retenue

La norme française NF P 98-409 sera à terme remplacée par la norme NF P 98-440 (parties 1 et 2), version française de la norme européenne EN 1317 (parties 1 et 2). Les deux normes vont cohabiter pendant une certaine période.

La nouvelle norme définit deux niveaux : le niveau N pour "retenue normale" (N1, N2, N3) et le niveau H pour "haute retenue" (H1, H2, H3) qui correspondent à des niveaux de performance en terme d'essais de chocs qui sont sensiblement différents de ceux qui sont définis dans la norme NF P 98-409.

Bien qu'il n'y ait pas exacte équivalence entre les deux normes, l'ensemble de la panoplie des barrières va être repositionnée suivant la norme NF P 98-440 à des niveaux très proches de celui de la norme NF P 98-409.

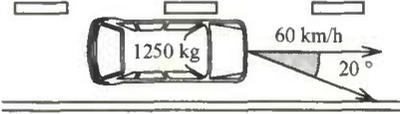
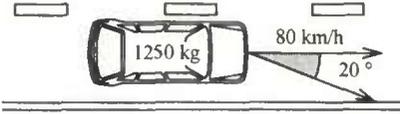
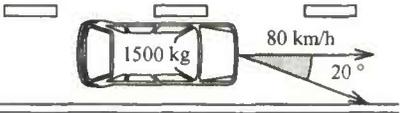
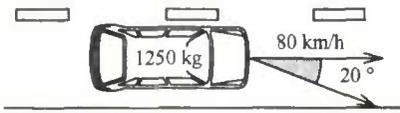
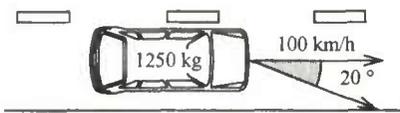
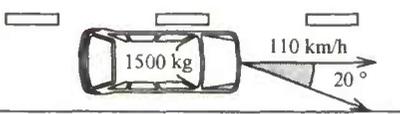


Figure 37 - Essai de choc sur dispositif de retenue

Le tableau de la page suivante présente les essais qui définissent les niveaux de performances pour chacune des deux normes citées ci-avant.



Figure 38 - Les dispositifs de retenue sont homologués par des essais normalisés

Niveau de performance NF P 98-409	Conditions d'essais	Niveau de performance NF P 98-440-2
1c		
1b		
		N1
1a		
1a		
		N2

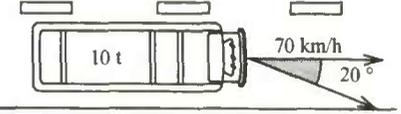
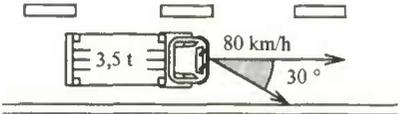
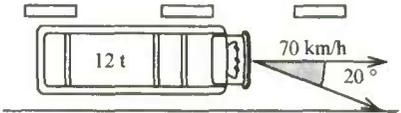
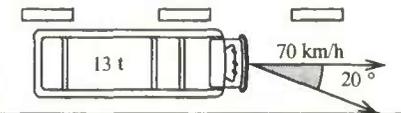
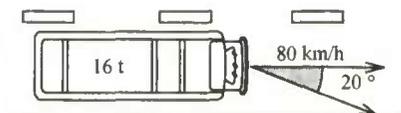
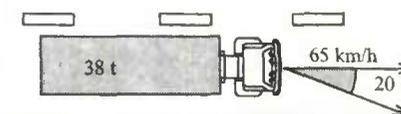
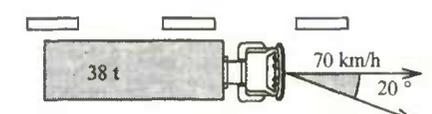
Niveau de performance NF P 98-409	Conditions d'essais	Niveau de performance NF P 98-440-2
		H1
2c		
2b		
		H2
		H3
		H4
2a		

Figure 39 : Comparaison des conditions d'essais de chocs selon les normes NF P 98-409 et NF P 98-440-2 (EN 1317-2)

Les dispositifs de retenue utilisés sur autoroutes ou sur routes ouvertes à la circulation publique doivent être conformes à un type homologué, sauf autorisation d'emploi spécifique et préalable.

Le choix des dispositifs de retenue résulte de l'application des instructions et textes réglementaires déjà cités, qui font, pour la plupart, référence à l'ancienne terminologie. Les guides de la collection GC existants (garde-corps [66] et barrières PL [67]) et à paraître (choix des dispositifs et barrières VL) se substituent peu à peu aux documentations plus anciennes.

Il est rappelé qu'à chaque dispositif de retenue correspond une longueur minimale d'implantation et un débattement minimum pour assurer son bon fonctionnement.

2.2.1.5 - Profil en travers sur ouvrage

Dans ce chapitre ne sont décrites que les dispositions relatives à une voie routière ou autoroutière **portée** par l'ouvrage et relevant de l'ARP, de l'ICTAAL ou de l'ICTAVRU.

Les dispositions à adopter pour les autres types de voiries sont à obtenir auprès de leurs services gestionnaires, les principes exposés dans les paragraphes qui suivent pouvant être retenus.

a) Définition des éléments du profil en travers sur ouvrage

Au droit d'un ouvrage d'art, les caractéristiques de la route se déduisent de celles de la zone courante adjacente et, en règle générale elles ne doivent pas être réduites.

En particulier, l'ARP précise qu' "*en règle générale, toutes les dimensions du profil en travers (chaussée, bandes dérasées, etc.), sont conservées au droit des ouvrages d'art courants, à l'exception éventuelle des bermes*".

L'ICTAVRU indique de conserver les bandes d'arrêts sur ouvrages si elles existent hors ouvrage.

L'ICTAAL, plus ancienne, indique que les largeurs de chaussées et du T.P.C. sont conservées, mais que les B.A.U. sont normalement réduites à 2,00 m. La B.D.G peut être réduite en fonction du type de dispositif de retenue choisi.

En pratique, et contrairement aux possibilités de réduction qu'offre l'ICTAAL, le profil en travers au droit des ouvrages d'art courants n'est réduit que dans la mesure où celui de la section courante adjacente l'est aussi. Il n'y a donc pas lieu de choisir au droit de ces ouvrages un profil en travers différent de celui prévu sur la section courante.

Pour les ouvrages d'art les plus importants, en général des ouvrages non courants, les textes réglementaires autorisent des réductions de profil (circulaire du 29 août 1991 [29]).

Pour les itinéraires à chaussées séparées, l'ouvrage d'art est le plus souvent dédoublé en deux tabliers indépendants, mais ce n'est pas systématique. Dans tous les cas, la largeur de la bande dérasée de gauche est conservée. Lorsque les tabliers sont indépendants, ils sont séparés par un vide central au niveau de la bande médiane ou sont accolés tout en restant physiquement indépendants.



Figure 40 - Profil en travers sur ouvrage

Sur ouvrage, la plate-forme routière est limitée à l'extérieur par des dispositifs de retenue. Le tablier doit comprendre des surlargeurs convenables pour supporter de tels dispositifs et pour permettre leur fonctionnement dans des conditions satisfaisantes.

Par ailleurs, sur ouvrage, les différentes largeurs sont usuellement définies comme suit ⁽¹⁾ :

La **largeur utile** du tablier (LU) correspond à la distance entre nus intérieurs des dispositifs de retenue extrêmes.

La **largeur roulable** est définie comme la largeur comprise entre dispositifs de retenue ou bordures ; elle comprend donc, outre la chaussée proprement dite, toutes les surlargeurs éventuelles, telles que bandes dérasées, bandes d'arrêt, etc. Dans le cas où l'on prévoit un élargissement futur de la chaussée, il y a lieu de considérer celle-ci dans son état définitif.

La **largeur chargeable** (LC), se déduit de la largeur roulable en retranchant une bande de 0,50 m le long de chaque dispositif de retenue de type barrière lorsqu'ils existent.

La définition de la largeur roulable mesurée "entre" dispositifs de retenue ne précise pas s'il s'agit du nu intérieur des dispositifs de glissement ou d'une autre référence. En pratique, pour la plupart des dispositifs de retenue utilisés sur ouvrages (Cf. d) ci-après), la limite de la largeur roulable a été définie par le CAT 75 puis a été reprise par le GC 77 et correspond le plus souvent au nu intérieur du dispositif de glissement. Compte tenu de la morphologie des différents dispositifs (BN1, BN2, BN4, glissières), qui présentent une partie saillante (longrine ou bordure) à l'avant du dispositif de glissement, le caractère roulable du pied de dispositif devient contestable, puisque la zone correspondante n'est pas "dégagée de tout obstacle", ce qui est contraire aux dispositions de l'ARP et de l'ICTAAL.

⁽¹⁾ Les définitions des largeurs roulable et chargeable sont reprises du règlement de charge des ponts-routes (fascicule 61, titre II du CCTG) [88]

La zone incriminée située à l'avant du dispositif de glissement est en fait peu importante et atteint une vingtaine de centimètres dans les cas défavorables. Il est par ailleurs difficilement concevable qu'une roue de véhicule puisse effectivement circuler si près de la lisse du dispositif (effet de paroi).

Néanmoins, la totalité de la largeur roulable est nécessaire pour définir des largeurs de voies réduites par application des dispositions prévues par la circulaire du 29 août 1991 en phases de chantier.

C'est pourquoi il est aujourd'hui admis de considérer que **la largeur roulable doit être mesurée à partir de la partie la plus saillante du dispositif**. Cette mesure conduit à légèrement élargir les tabliers par rapport aux habitudes anciennes. Le tableau de la figure 44 précise pour chaque dispositif utilisé sur ouvrage la position relative du dispositif et de la largeur roulable.

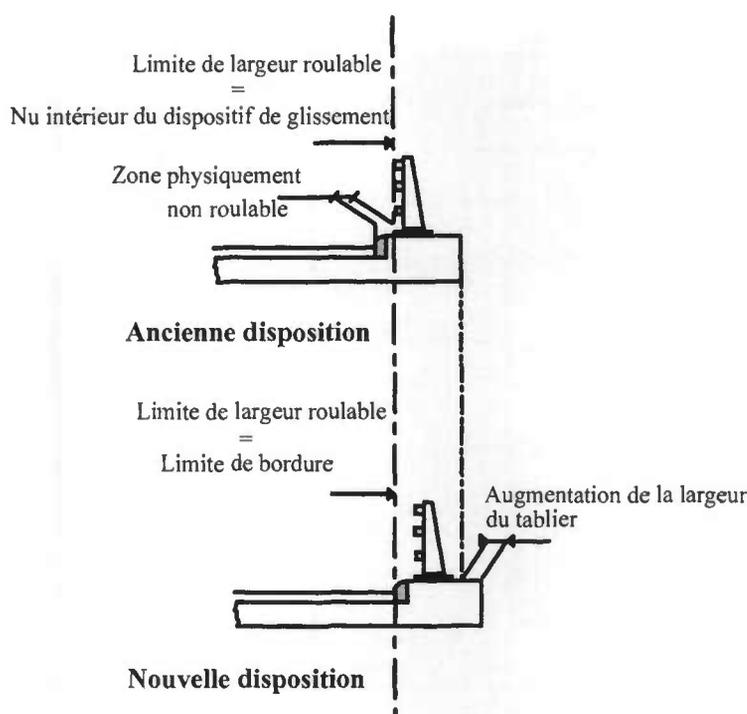


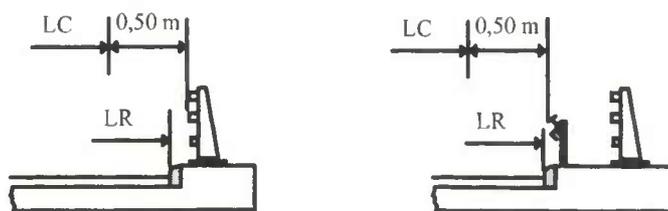
Figure 41 : Modification de la limite de largeur roulable
Exemple dans le cas d'une barrière BN4

La **largeur chargeable** est une notion spécifique aux ouvrages d'art qui intervient dans les calculs de flexion longitudinale des tabliers pour définir le nombre de voies réglementaires. Pour tenir compte d'un effet de paroi créé par la proximité du dispositif de retenue, la largeur chargeable est réduite à partir d'une **limite de paroi** propre à chaque dispositif de retenue.

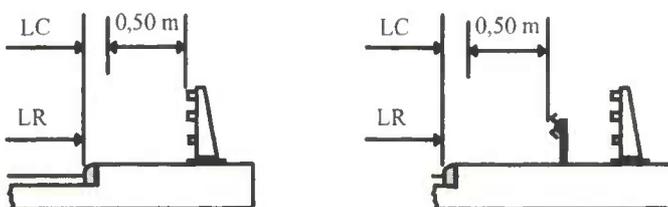
Les dessins de la figure 44 définissent les limites de largeur roulable (LR) et les limites de paroi (LP) pour les dispositifs de retenue de type N ou H utilisés sur ouvrages.

La **largeur chargeable** est la partie de la largeur roulable située à plus de 0,50 m des limites de parois de chaque dispositif de retenue lorsqu'ils existent ou la totalité de la largeur roulable dans le cas contraire.

Les dessins de la figure ci-dessous illustrent quelques configurations possibles en fonction des dimensions des dispositifs situés en pied du dispositif le plus proche de la chaussée.



"Longrine" de dimension inférieure à 0,50 m



"Longrine" de dimension supérieure à 0,50 m

Figure 42 - Différentes configurations possibles

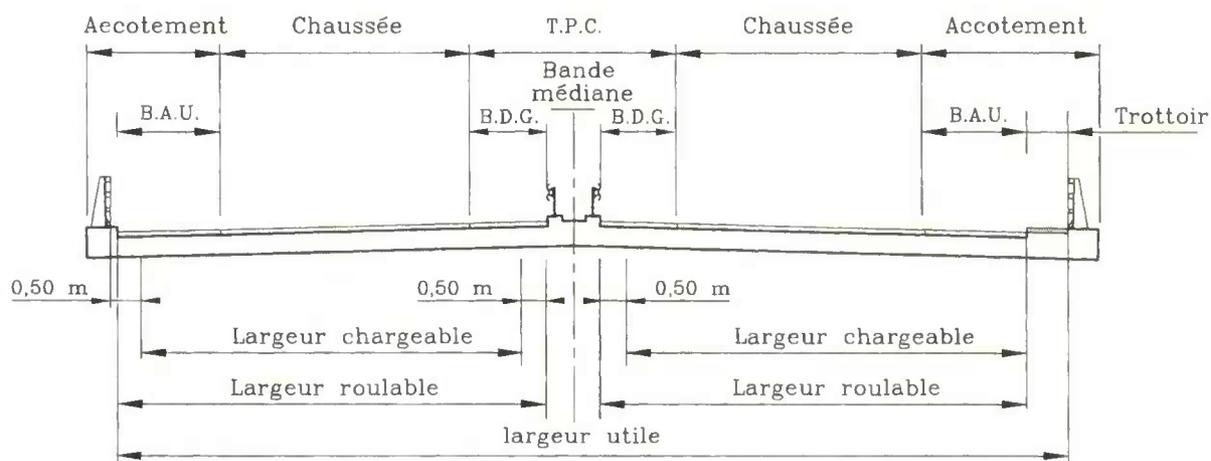
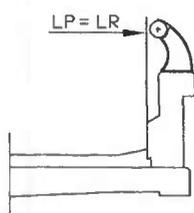
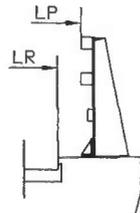


Figure 43 - Largeur roulable et largeur chargeable schéma réalisé dans le cas de la nouvelle disposition

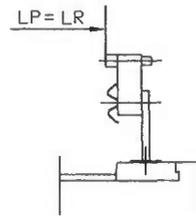
• **Barrières de niveau 2 (ou H)**



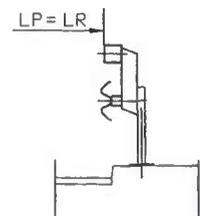
BN1



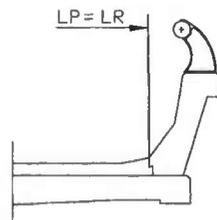
BN4 (*)



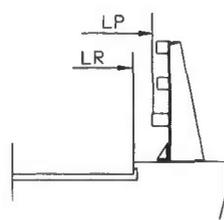
BN5
longrine en retrait



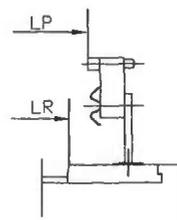
BHO
longrine en retrait



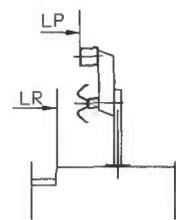
BN2



Tetra® S16

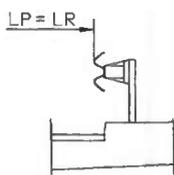


BN5
longrine en saillie

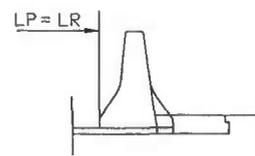


BHO
longrine en saillie

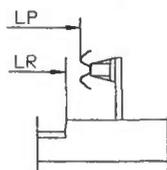
• **Barrières de niveau 1 (ou N)**



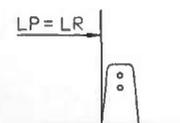
GS
longrine en retrait



GBA/DBA



GS
longrine en saillie



Muret VL

(*) Même configuration avec barrières BN4, BN4-16, Tetra® S13 ou BHab, pour lesquelles la lisse supérieure est en saillie.

LP : Limite de paroi du dispositif
LR : Limite de la largeur roulable

Figure 44 - Limites de paroi et limites de largeur roulable pour les différents dispositifs de retenue sur ouvrage

b) Prise en compte des piétons sur ouvrage

La circulation des **piétons sur ouvrage** peut s'effectuer par l'intermédiaire d'un passage surélevé - le **trottoir** - ou situé au même niveau que la chaussée - le **passage de service**.

Notons dès maintenant que la présence d'un trottoir engendre un certain nombre de contraintes supplémentaires qu'il y a lieu de bien intégrer dans les études de l'ouvrage, en particulier en ce qui concerne :

- le raccordement et la cohérence des dispositifs de retenue sur ouvrage et hors ouvrage,
- la continuité du cheminement des piétons malgré la présence des dispositifs de retenue,
- la continuité du joint de chaussée à travers le trottoir,
- le traitement des extrémités de trottoirs pour les rendre moins agressives en cas de chocs (doucines).

Lorsqu'il n'est pas prévu de trottoirs pour la circulation des piétons, la conception de l'ouvrage doit tenir compte de la présence des réseaux sans qu'il soit nécessairement créé un trottoir réservé à cet usage.



Figure 45 - Présence de piétons sur ouvrage

La présence de piétons sur l'ouvrage pose également la question de l'implantation d'un dispositif de type garde-corps, qui par fonction est destiné à empêcher la chute d'un piéton. Si la réglementation ne précise pas les exigences d'emploi d'un garde-corps (hauteur de chute, longueur correspondante), ce choix est de la responsabilité du maître d'ouvrage. En pratique, il est quasiment systématique d'en implanter sur les tabliers de ponts (sauf cas très particuliers et l'on se reportera au guide Garde-Corps de la collection GC [66]).

L'ARP et l'ICTAAL donnent des précisions qui sont rappelées dans les paragraphes qui suivent.

L'ICTAVRU n'impose pas de dispositions types et renvoie au dossier GC 77 [66] ou à la circulaire 88-49 [59].



Figure 46 - Garde-corps

Rappelons qu'il existe deux classes de garde-corps adaptées ou non à la présence normale de piétons. Dans le cas où la circulation des piétons est autorisée, le garde-corps est dit "normal" (anciennement série S) par opposition au garde-corps de service (anciennement série I). Moyennant certaines adaptations [67], certaines barrières peuvent remplir la fonction garde-corps (ajout de barreaudage par exemple). D'autres barrières, dites de profils en travers, doivent obligatoirement être complétées par un passage de service, limité côté bord libre par un garde-corps.

- *Cas où la circulation des piétons est autorisée*

Sur les routes non classées routes express ou autoroutes, l'ARP précise que la circulation des piétons doit être assurée en prévoyant **deux espaces** pour piétons, clairement identifiés (revêtement de couleur, trottoirs délimités par des bordures, franchissables ou non) de 1,00 m de largeur au moins. Cette valeur est portée à 1,25 m si le trottoir est assez fréquenté.

Sauf cas particulier, les itinéraires relevant de l'ARP sont assez peu fréquentés par les piétons et l'on retient le plus souvent une largeur de trottoir de 1,00 m. Dans des cas particuliers en milieu urbain, compte tenu de l'environnement immédiat (établissements d'enseignement, stades, etc.), des largeurs nettement plus importantes peuvent être nécessaires. En particulier lorsque des trottoirs existent en zone courante, leur largeur est naturellement conservée au droit des ouvrages d'art.

Sur ouvrage, l'ARP distingue les trottoirs non franchissables, dont une définition est proposée ci-dessous, des trottoirs franchissables.

Au droit des **trottoirs non franchissables**, la bande dérasée de droite a une largeur de 2,00 m dans le cas général. Dans le cas où la bande dérasée de droite a une largeur inférieure à 2,00 m en section courante, elle est ramenée à 1,00 m sur ouvrage au droit d'un trottoir non franchissable. En milieu urbain, cette largeur peut être ramenée à 0,50 m.

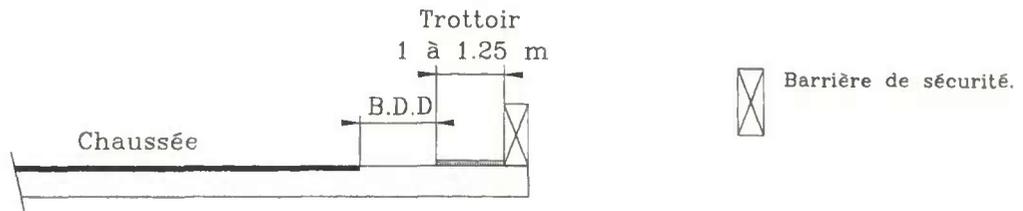


Figure 47 - Dispositions types en présence de circulation piétonne au droit d'un trottoir non franchissable

Au droit des **trottoirs franchissables**, la bande dérasée de droite a une largeur de 1,00 m. Dans le cas où la bande dérasée de droite a une largeur inférieure à 2,00 m en section courante, on adopte sur l'ouvrage un profil tel que la somme des largeurs de la bande dérasée et du trottoir franchissable soit égale à la largeur de la bande dérasée en section courante.

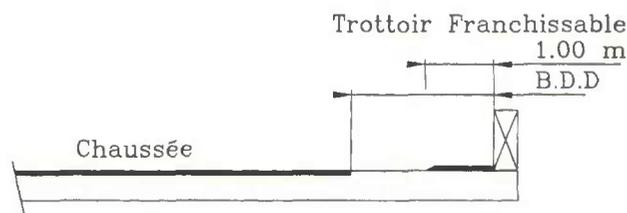


Figure 48 - Dispositions types en présence de circulation piétonne au droit d'un trottoir franchissable

Mise à part cette distinction, l'ARP ne donne pas de définition de la notion de "trottoir franchissable" et nous retiendrons la définition suivante, inspirée partiellement de l'ICTAAL :

Sera considéré comme trottoir franchissable un aménagement en légère surélévation (moins de 5 à 6 cm⁽¹⁾) permettant le cheminement de piétons en nombre limité sans être agressif pour les véhicules. En général, la largeur d'un trottoir franchissable sera limitée à 1,00 m.

En pratique, cette disposition prévue par l'ARP est assez peu utilisée. En effet, la suppression de la surélévation ramène au cas du passage de service, prévu pour les chaussées de type autoroutières, qui n'offre pas moins de sécurité pour le piéton et permet l'utilisation de la bande dérasée dans les mêmes conditions qu'en zone courante.

Dans le cas où l'on adopterait un trottoir franchissable dans le prolongement de la bande dérasée, il conviendra d'intégrer le trottoir dans la largeur roulable et par conséquent charger la zone correspondante par les charges de chaussée.

Il est clair que le trottoir non franchissable offre un meilleur niveau de sécurité pour les piétons qu'un accotement classique, mais il est plus agressif pour les véhicules. En particulier, il convient de bien traiter l'extrémité du trottoir (doucines, etc.).

⁽¹⁾ 6 cm correspondant à la hauteur du pied des bordures de type I selon la norme NFP 98-302.

La raison d'être d'un trottoir non franchissable sur ouvrage est liée à l'existence du même type de trottoirs hors ouvrage, ce qui est par exemple le cas de la traversée des hameaux ou de petites agglomérations.

En milieu urbain, pour lequel l'ARP n'est pas applicable, il y a lieu de procéder à une étude particulière en association avec les représentants des zones traversées, afin de définir les dispositions à adopter sur ouvrage.

Lorsque la fréquentation des piétons est importante, on pourra s'interroger sur la nécessité de protéger les piétons par un dispositif de retenue compte tenu de la difficulté qu'il y a de réaliser une continuité du dispositif de retenue hors et sur ouvrage.

- *Cas où la circulation des piétons n'est pas autorisée*

Même si la circulation des piétons n'est pas autorisée (autoroutes par exemple), il est néanmoins courant de prévoir sur ouvrage un cheminement pour la circulation des piétons, bien que le dimensionnement de la largeur de la BAU prenne explicitement en compte la circulation accidentelle des piétons le long des voies.

En ce qui concerne l'ICTAAL, il est laissé à l'appréciation du projeteur de réaliser ou non un passage de service de 1,00 m de largeur, protégé par une barrière de sécurité. Ce passage de service est simplement destiné aux personnels d'entretien ou aux automobilistes en panne. Il est implanté en limite extérieure de la BAU ou de la BDD. La présence d'un "véritable" trottoir y est donc jugée inutile. L'intérêt d'un passage de service doit faire l'objet d'un examen spécifique. En effet, il s'agit d'une zone non circulée et difficile à entretenir. A largeur égale du tablier, il peut être judicieux d'offrir la largeur de ce passage comme élargissement de la BAU.

Les solutions types proposées par L'ICTAAL consistent à :

- *prévoir un passage de service* de 1,00 m de largeur avec deux variantes possibles :

- Un passage de service limité à l'extérieur par un garde-corps ou une barrière de type 2 (ou H) et limité à l'intérieur par une barrière de type 1 (ou N) ⁽¹⁾. La largeur de 1,00 m est comptée entre nus avant de ces dispositifs.

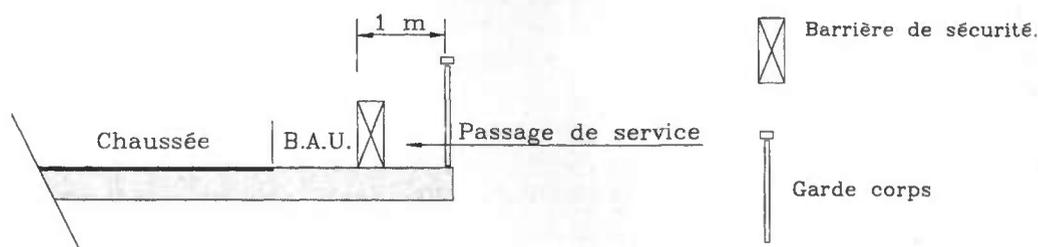


Figure 49 - Passage de service protégé par une barrière

⁽¹⁾ Rien n'empêche de prévoir une barrière de type 2 (ou H) à l'intérieur, mais cette disposition n'est pas envisagée par l'ICTAAL.

- Un passage de service limité à l'extérieur par un garde-corps et limité à l'intérieur par une bordure franchissable de 5 cm de hauteur. La largeur de 1,00 m est comptée entre nu avant du garde-corps et la bordure. Dans la conception actuelle, un dispositif de type barrière est préférable à l'extérieur du tablier, à condition que la longueur du tablier permette une telle implantation (Cf. d), ci après) et ce rôle ne peut pas être assuré par un garde-corps. Cette seconde solution est donc à proscrire.

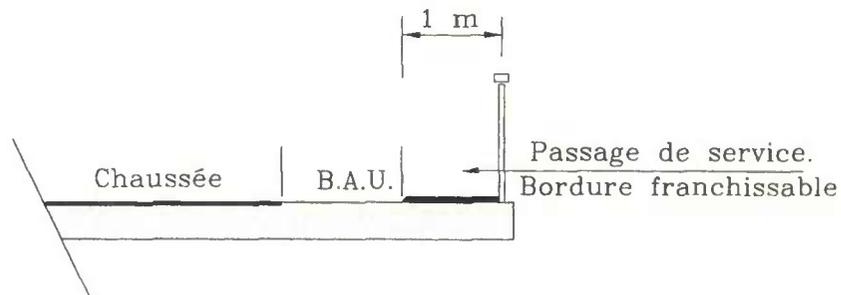


Figure 50 - Passage de service non protégé
Disposition non recommandée

- supprimer le passage de service

Dans ce cas, une barrière de type 2 (ou H) sera implantée en limite extérieure de la BAU, à condition que la longueur du tablier permette une telle implantation (Cf. d), ci après). Elle n'est pas précédée d'une barrière de type 1 (ou N).



Figure 51 - Dispositions types en l'absence de circulation piétonne

Pour les routes express, l'ARP indique qu'aucun trottoir n'est à prévoir en sus des bandes dérasées. Par conséquent, le dispositif de retenue est implanté en limite extérieure des bandes dérasées.

• *Protection du trottoir*

Lorsqu'il est prévu un dispositif de retenue protégeant la circulation des piétons, le dispositif choisi doit être cohérent avec les dispositions prévues pour les piétons à l'aval et à l'amont de l'ouvrage et en particulier assurer une continuité au cheminement piétonnier.

En général, il s'agit d'une barrière de type 1 (ou N) destinée à retenir les véhicules légers.

L'emploi d'une barrière souple est déconseillé, compte tenu du risque de blesser un piéton présent à l'arrière du dispositif au moment du choc. Il sera préférable d'avoir recours à des dispositifs peu souples voire rigides (GBA ou muret VL).

Des bordures de sécurité du type bordure haute (bordure VL) peuvent également être utilisées, mais ce type de dispositif n'est pas homologué et reste franchissable à partir de 60 km/h et pour une incidence de 15°, ce qui ne permet, en pratique, de les envisager qu'en site urbain.

Les dispositifs rigides présentent également l'inconvénient d'être plus agressifs pour les véhicules.

c) Prise en compte des cyclistes sur ouvrage

Les ouvrages d'art constituent des points singuliers pour les cyclistes car la continuité de leur cheminement n'a pas toujours été bien prévue lors de la conception des ouvrages.

Par conséquent les cyclistes retournent dans la circulation générale avec tous les risques que cela comporte ou empruntent les trottoirs lorsque leurs extrémités sont chanfreinées.



Figure 52 - Cyclistes sur ouvrage

Dans les cas où en zone courante les cyclistes circulent sur des bandes cyclables, ce qui on l'a vu, ne présente pas beaucoup d'intérêt en rase campagne, il paraît souhaitable de se ramener à une disposition de type bandes multifonctionnelles sur ouvrage, dans le but d'en limiter la largeur. Les principes proposés ci-dessous, qui ont fait l'objet de quelques réalisations, pourront être retenus :

- matérialisation sur l'ouvrage du cheminement cycliste sur la bande dérasée sur une largeur de 1,25 m,
- neutralisation d'une bande de 0,50 m pour effet de paroi en bordure d'un dispositif de retenue,
- recul de 0,25 m par rapport à une bordure haute de trottoir non franchissable,
- aucun recul par rapport à une bordure basse de trottoir franchissable.

En cas d'utilisation de **pistes cyclables**, une réflexion particulière sera à mener. Les principes mentionnés ci-dessus pourront encore être appliqués.

Les dessins ci-dessous illustrent les principes proposés :

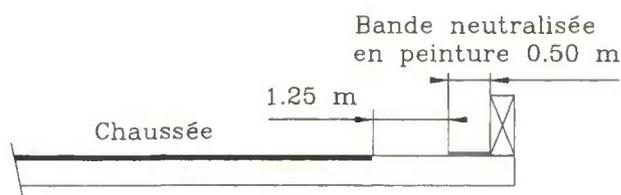


Figure 53 - Bande multifonctionnelle sur ouvrage en l'absence de piétons

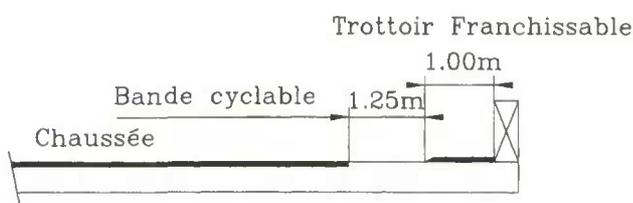


Figure 54 - Bande multifonctionnelle sur ouvrage avec faible trafic de piétons

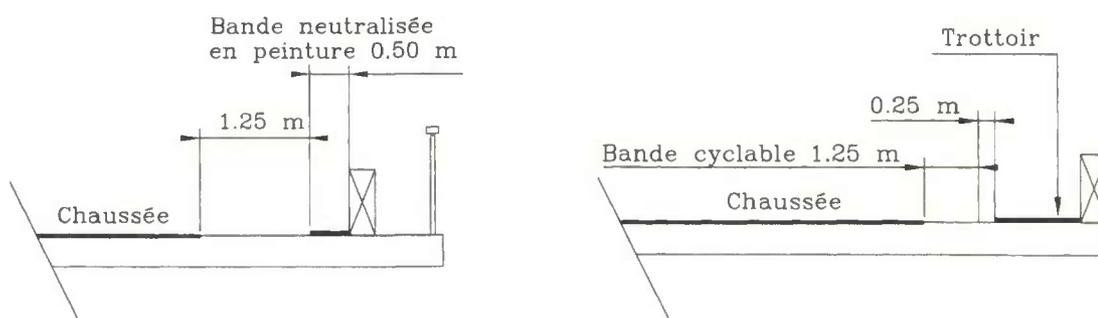


Figure 55 - Bande multifonctionnelle sur ouvrage avec fort trafic de piétons

d) Dispositifs de retenue sur ouvrage

Suivant la catégorie de la voie, les instructions relatives à chaque type de route (ARP, ICTAAL ou ICTAVRU) définissent le type de **dispositif de retenue** à prévoir **sur ouvrage**. Lorsque ces instructions offrent différentes possibilités ou à défaut de prescriptions, le dossier pilote GC 77 [62] du SETRA propose une méthode de choix basée sur l'évaluation d'un indice de danger.

Du fait de l'évolution de la terminologie des dispositifs de retenue, les paragraphes qui suivent font référence à la terminologie de la norme NFP 98-409 et de la norme NFP 98-440 (Pr EN 1317). Les recommandations des textes ou instructions qui utilisaient l'ancienne terminologie ont été transposées dans ces nouvelles terminologies.

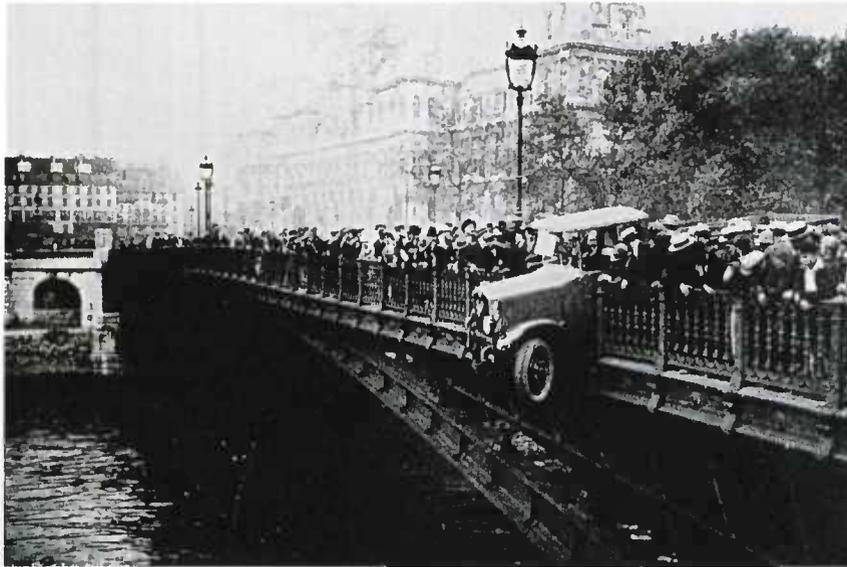


Figure 56 - Choc de véhicule sur un dispositif de retenue

L'efficacité du dispositif de retenue n'est pas le seul critère de choix. En effet, d'autres éléments d'appréciation interviennent comme :

- l'esthétique du dispositif,
- la facilité de raccordement aux dispositifs hors ouvrage,
- son poids et les efforts qu'il transmet au tablier,
- son encombrement et le débattement nécessaire à son fonctionnement,
- la facilité d'entretien et de réparation,
- son adaptation à la circulation piétonne.

De manière générale, **sur ouvrage**, la démarche pour choisir les dispositifs de retenue est différente du côté du TPC ou en rive droite de la chaussée.

- **Du côté du TPC**, les dispositifs de retenue sur ouvrage sont le plus souvent choisis à partir de ceux existant hors ouvrage (même niveau de performance et même modèle si possible).
- Par contre, **le long des bandes dérasées de droite**, les dispositifs de retenue employés en section courante, lorsqu'ils existent, sont en général insuffisants ou inadaptés sur l'ouvrage où la sécurité peut nécessiter des dispositifs de niveau supérieur. Un changement de type de dispositif est souvent nécessaire.

En cas de changement de dispositifs de retenue au droit de l'ouvrage, que l'on soit sur le TPC ou à droite de la chaussée, il convient de veiller à une bonne transition entre dispositifs de nature différente. L'instruction annexée à la circulaire N° 88-49 du 9 mai 1988 sur les dispositifs de retenue [59] ainsi que les normes et les guides de la collection GC [67] précisent les possibilités de raccordement entre les divers dispositifs agréés.



Figure 57 - Raccordement d'une glissière métallique sur une barrière BN2

Par ailleurs, dans le cas où l'ouvrage est court, il est conseillé de bien évaluer la nécessité d'implanter un dispositif différent de celui utilisé en section courante compte tenu de la distance minimale d'implantation du dispositif nécessaire à son bon fonctionnement et des difficultés de raccords des dispositifs entre eux.

- *A droite de la BDD ou de la BAU*

A droite de la chaussée, le dispositif de retenue peut être de type 1 (ou N) ou de type 2 (ou H).

Dans le premier cas, prévu en particulier par l'ICTAAL, le dispositif de type 1 (ou N) est situé en limite de BDD ou de BAU. Un dispositif de type garde-corps situé à l'arrière assure alors la sécurité des piétons. Ce cas est bien adapté aux ouvrages courts et dans le cas d'une brèche à faibles risques (faible indice de danger).



Figure 58 - Barrière BN2

Bien souvent, les conséquences d'une sortie de route et par conséquent l'indice de danger sont tels que l'on est amené à prévoir en extrémité de tablier un dispositif de type 2 ou (H).

Les principaux modèles utilisables sur ouvrages d'art sont les suivants [67] :

- la **BN1** et la **BN2** : Ce sont des barrières en béton armé de type rigide dont l'encombrement est particulièrement réduit. Elles sont implantées en bordure de tablier et fonctionnent par encastrement linéaire dans la structure. En plus de leur fonction de dispositifs de retenue, ces barrières peuvent servir de corniche.

- la **BN4** : Il s'agit d'une barrière de type souple en acier à lisses horizontales fixées sur des supports ponctuels. Elle est également implantée en bordure de tablier et fonctionne par encastrement ponctuels.
- **BN4 - 16** : Dérivée de la BN4 par un renforcement des lisses.



Figure 59 - Barrière BN4

- **Tetra[®] S13** et **Tetra[®] S16** : D'un principe de fonctionnement et de géométrie proches de la barrière BN4. Ces barrières comprennent les supports dits Tetra[®] et les lisses de la BN4 pour la Tetra[®]S13 et spéciales pour la Tetra[®] S16. Comme la BN4, elles sont du type souple, sont implantées en bordure de tablier et fonctionnent par encastrement ponctuels.
- **BHab** : La barrière "habillée" a été conçue pour être facilement peinte et habillée dans un but architectural tout en retenant les véhicules lourds. Comme la BN4 elle est également implantée en bordure de tablier et fonctionne par encastrement ponctuels.

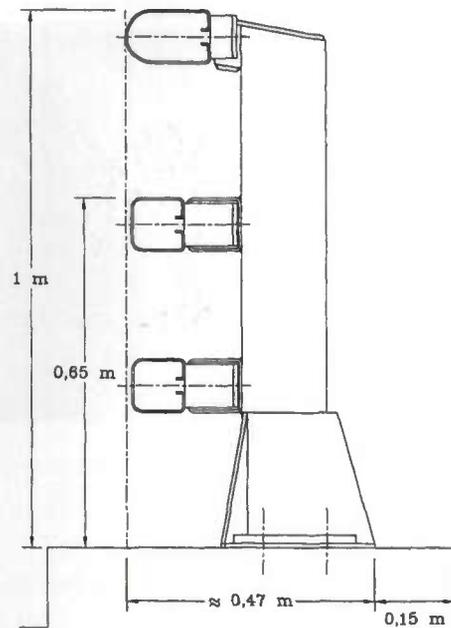


Figure 60 - Barrière BHab

- la **BN5** : Il s'agit d'une barrière constituée d'un élément de glissement de glissière souple, rehaussée et renforcée par des profilés spéciaux. Elle est de type souple, implantée en limite de chaussée et fonctionne par encastrement ponctuels.
- Les barrières **BHO** : Ces barrières peuvent être conservées sur ouvrage lorsqu'elles sont implantées en section courante aux abords de l'ouvrage. Cette disposition est plutôt réservée aux ouvrages courts. C'est une barrière de type souple, implantée en limite de chaussée, qui fonctionne par encastrement ponctuels.
- **GBA/DBA** : Les barrières DBA (Double en béton adhérent) ou GBA (Glissière en béton adhérent) sont des murets en béton coulés en place. Ce sont des barrières de type rigide, implantées en limite de chaussée.

Les barrières BN5, BHO et GBA/DBA sont des dispositifs dits de "profil en travers" et doivent être complétées à l'arrière par des garde-corps assurant la sécurité des piétons.

L'utilisation de dispositif déformable en cas de chocs (dispositifs de type souple) impose un recul suffisant des obstacles situés à l'arrière (lampadaires, signalisation) et en particulier sur ouvrage, où l'on a tendance à réduire au maximum les espaces libres. Pour chaque type de dispositif, un gabarit de protection à l'arrière des barrières permet de définir une zone dans laquelle il est déconseillé d'implanter des éléments susceptibles d'être heurtés [67]. Toutefois, il s'agit seulement d'un conseil et il appartient au projeteur de juger du risque et des conséquences de la présence d'un équipement dans ce gabarit de protection (fonctionnement du dispositif, destruction des équipements en question, chute de débris, etc.).

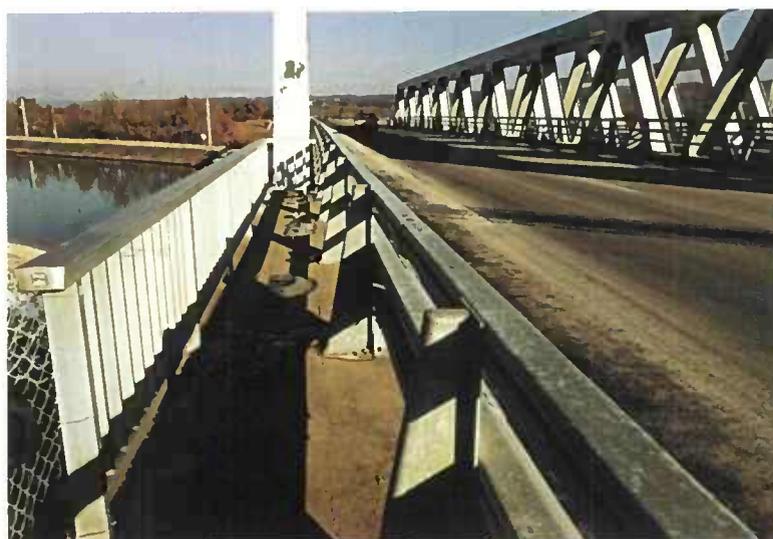


Figure 61 - Equipements à proximité des dispositifs de retenue

Le tableau de la page suivante présente les configurations possibles de barrières de sécurité que l'on peut trouver sur ouvrage en fonction de la présence ou non de piétons. La limite extérieure de la largeur roulable, donc de la BDD ou de la BAU, est précisée sur ces schémas compte tenu des nouvelles règles précisées au paragraphe 2.2.1.5 a) ci-avant.

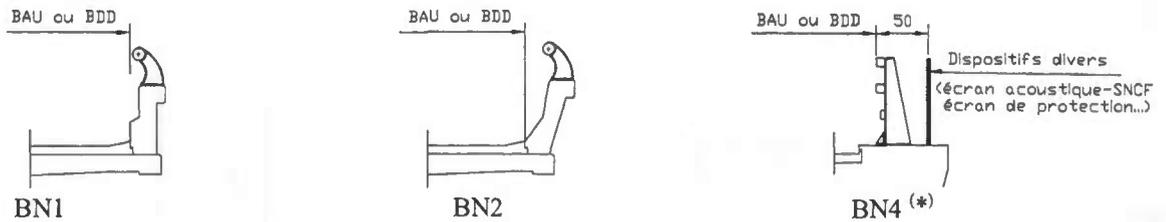
Dans ces tableaux, les dispositions B et D sont relativement luxueuses. Le dispositif de type 1 (ou N) est d'abord destiné à retenir les véhicules légers. La protection des piétons circulant sur le trottoir peut être un argument de choix complémentaire si la fréquence de piétons est importante.

Le choix d'un dispositif de retenue peut également résulter des risques encourus par les usagers de la voie franchie, facteur intervenant d'ailleurs dans l'estimation de la valeur de l'indice de danger.

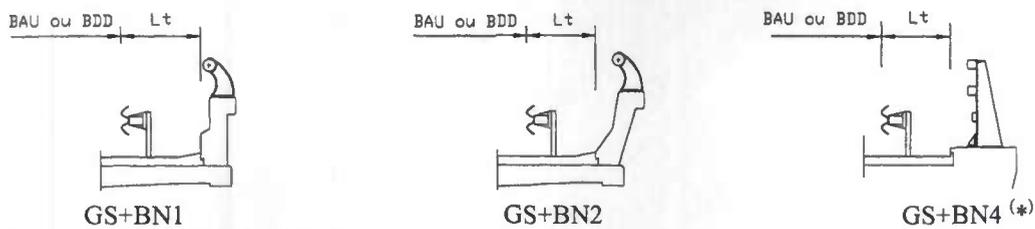
Lorsque l'ouvrage franchit une voie ferrée à grande vitesse, la SNCF recommande l'emploi d'un dispositif de type barrière de type 2. Il est toutefois prudent de prendre l'avis de la SNCF.

BARRIERES DE SECURITE ROUTIERES SUR OUVRAGES

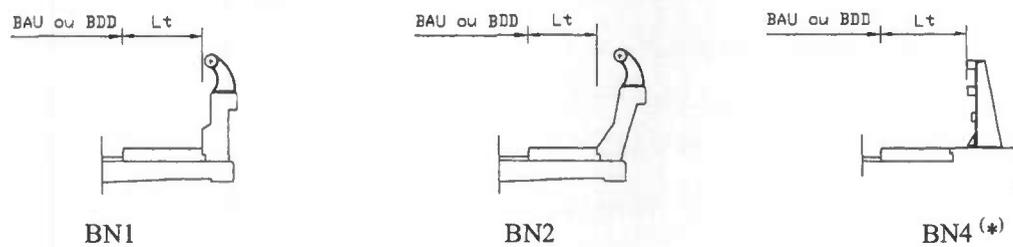
A) Ouvrage sans trottoir, ni passage de service



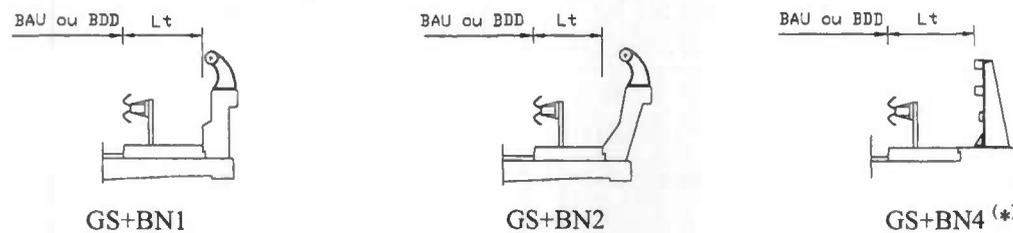
B) Ouvrage avec passage de service (emploi limité à des cas spéciaux)



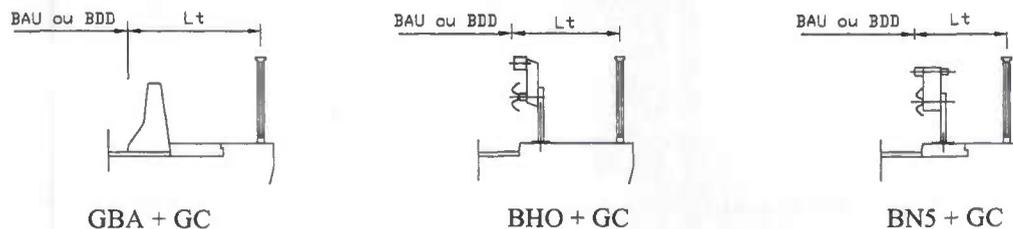
C) Ouvrage avec trottoir non protégé



D) Ouvrage avec trottoir protégé



E) Solutions avec barrières de profil en travers



L_t : Il s'agit de trottoirs ou de passages de service.

(*) Même configuration avec barrières BN4, BN4-16, Tetra® S13 et Tetra® S16 ou BHab

Figure 62 - Différentes configurations possibles de barrières de sécurité sur ouvrages

Un certain nombre de particularités des voies franchies peut nécessiter de compléter l'aménagement. Il peut s'agir d'écrans anti-jets d'objets en zone urbaine, de dispositifs évitant l'escalade d'enfants, également en zone urbaine, de dispositifs de retenue de chargement, évitant le déversement d'un chargement de poids lourd lors d'un choc sur le dispositif de retenue, d'écrans acoustiques, etc. Le guide Garde-Corps de la collection GC donne un grand nombre de précisions sur ces sujets [66].



Figure 63 - Dispositif anti-déversement de chargement

Les normes françaises relatives aux dispositifs de retenue sont rappelées dans le tableau ci-dessous ainsi que leur niveau de performance reconnu jusqu'à ce jour.

Type de barrières	Norme associée	Niveaux de performance		Circulaire d'homologation
		NFP 98-409	NFP 98-440-2 (EN 1317-2)	
BN1	XP P 98-422	2b	H2	C 88-49 du 09-05-88
BN2	XP P 98-422	2b	H2	C 88-49 du 09-05-88
BN4	XP P 98-421	2b	H2	C 88-49 du 09-05-88
BN5	XP P 98-424	2b	H2	
BHO	NF P 98-420	2b	H2	C 88-49 du 09-05-88
GBA/DBA	NF P 98-430 432	2b	N2 ou H2 ⁽¹⁾	C 88-49 du 09-05-88
Tetra [®] S13		2b	H2	C 3-93 (breveté)
BN4 - 16		2b	H3	C 95-68 du 28-07-95
Tetra [®] S16		2b	H3	C 3-93 (breveté)
BHab		2b	H3	C 98-09 du 06-01-98
GS (A.B)	NF P 98-410 à 413	1	N2	C 98-09 du 06-01-98

Figure 64 - Niveaux de performances des dispositifs de retenue

⁽¹⁾ Pour être classé H2, un certain nombre de conditions sont nécessaires. Se reporter à la norme.

Remarque : La satisfaction d'un niveau de performance donné est obtenue avec un coefficient de sécurité différent selon les dispositifs. En d'autres termes, les dispositifs homologués pour un niveau donné ne sont pas pour autant équivalents selon qu'ils ont juste ou largement satisfait aux critères d'homologation.

- *Autres cas pouvant nécessiter des dispositifs particuliers pour la sécurité des piétons ou d'autres usagers*

Comme nous l'avons rappelé au paragraphe 2.2.1.5 b), la réglementation ne précise pas les exigences d'emploi d'un garde-corps. Nous développons dans les paragraphes qui suivent des éléments d'appréciation sur l'emploi d'un garde-corps dans le cas de murs de soutènement, qui peuvent être des murs de tête d'ouvrage.

Le guide Garde-Corps de la collection des guides GC indique que certains textes abrogés précisait que des dispositifs de protection doivent être employés lorsque la route est en remblai d'au moins 2 m de hauteur ou 1 m en cas de dénivellation brutale. On rencontre un certain nombre de situations possibles telles que celles illustrées par la figure ci-dessous.

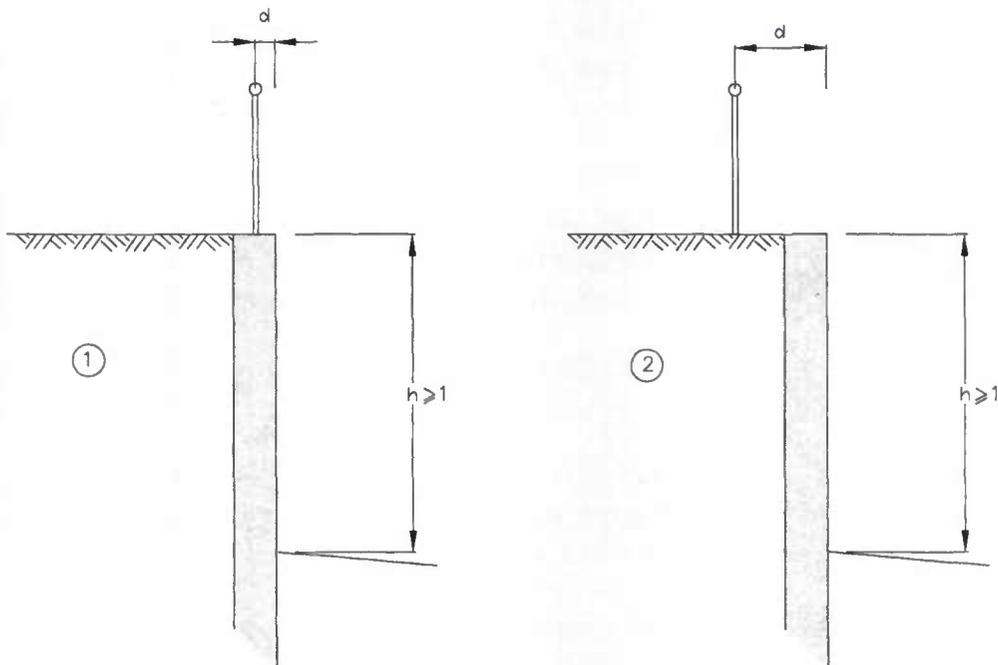


Figure 65 - Dispositifs de retenue à proximité d'une dénivellation longée par des piétons

Dans ces deux cas, la fonction garde-corps doit être assurée dès que la hauteur de dénivelée dépasse 1 mètre et un retour à angle droit doit être réalisé aux extrémités de l'ouvrage.

Remarquons qu'une solution de type 2 n'est pas très satisfaisante lorsque la distance d est importante ($d > 0,50$ m). En effet, le risque demeure qu'un piéton, plus particulièrement un personnel d'entretien, puisse circuler sur la plate-forme située à l'arrière du garde-corps et se sentir d'autant plus en sécurité que cette plate-forme est large alors qu'il risque la chute. Une solution préférable consiste soit à positionner le garde-corps à la limite de la dénivellation, ce qui ramène à la solution 1, soit à le doubler par un garde-corps de service situé à cette même limite lorsque la distance d est très importante.

- *Sur le TPC*

Sur ouvrages d'art, le traitement du bord gauche du tablier est différent du bord droit en présence d'un terre-plein central (TPC), situation qui correspond aux itinéraires à chaussées séparées.

Pour ce qui est des dispositifs de retenue du côté du TPC, le principe est de conserver le même type de dispositif qu'en zone courante. Les dispositions de détail dépendent du choix fait sur le tablier (un seul tablier monolithique supportant les deux chaussées ou deux tabliers indépendants) et sur la largeur du TPC.

Le choix d'un tablier monolithique présente principalement un avantage esthétique.

Le recours à des tabliers indépendants présente de nombreux avantages et se révèle souvent plus souple d'emploi :

- meilleure possibilité d'adaptation au biais,
- meilleur éclairage sous l'ouvrage en cas de vide central,
- meilleur fonctionnement transversal de deux tabliers indépendants étroits que celui d'un seul tablier large (flexion transversale, tassements différentiels),
- possibilité d'entretien et de réparation plus aisée par basculement de circulation

Lorsque les tabliers sont indépendants, ils peuvent être physiquement séparés par un vide central, habituellement recouvert d'un caillebotis métallique, ou construits côte à côte et simplement séparés par un joint sec séparant les deux relevés d'étanchéité.

La largeur du TPC en section courante, qui est conservée sur ouvrage courant, conditionne les choix possibles.

- Lorsque le TPC est étroit ($< 3,00$ m), les largeurs des bandes dérasées usuelles (1,00 m) majorées des largeurs nécessaires pour l'implantation des dispositifs de retenue conduisent pratiquement à recouvrir totalement le TPC. Le vide central résiduel est donc inexistant. On réalise alors un tablier monolithique ou deux tabliers accolés indépendants. Le dispositif de retenue est central et sert aux deux sens de circulation (barrières DE ou DBA). Dans le cas de deux tabliers indépendants, le joint ne coïncide évidemment pas avec l'axe du TPC et conduit à des tabliers légèrement différents. Il convient de traiter ce joint contre les pénétrations d'eau par un joint de trottoir.



Figure 66 - Un dispositif central

- Lorsque le TPC est plus large ($3,00\text{ m} < \text{TPC} < 5,00\text{ m}$) ou que les bandes dérasées sont réduites ($0,50\text{ m}$ ou $0,75\text{ m}$), la distance entre nu arrière des dispositifs de retenue intérieurs est significative, et il est intéressant de prévoir un vide central entre les deux tabliers. Le vide central est recouvert d'un caillebotis métallique dont la portée limite envisageable est de $2,00\text{ m}$ afin d'éviter le risque de chute d'un véhicule ou d'un piéton franchissant le dispositif de retenue.

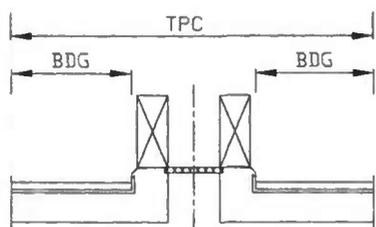


Figure 67 - Vide central et caillebotis

- Lorsque la largeur du TPC conduit à une portée libre du caillebotis supérieure à $2,00\text{ m}$, cette dernière solution n'est plus envisageable et l'on réalise deux tabliers nettement séparés. Le choix des dispositifs de retenue à droite est alors du même type qu'à gauche et résulte des mêmes considérations, abstraction faite de l'aspect des trottoirs. Dans le cas d'une infrastructure à deux chaussées construite en deux phases, on est également amené à concevoir le tablier de la première phase avec des dispositifs identiques des deux côtés.

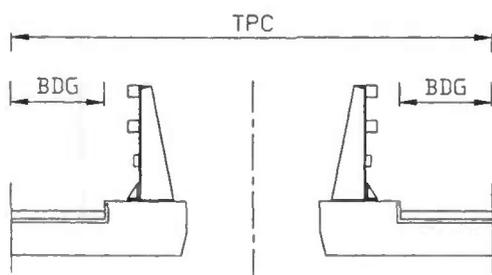


Figure 68 - Tabliers nettement séparés (exemple dans le cas de BN4) ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Dans ce cas, on peut s'interroger sur la nécessité d'équiper les barrières intérieures de rehausses empêchant des piétons d'être tentés de traverser le TPC.

Il va de soi que ces règles ne sont pas rigides et que l'on peut se trouver dans une situation où un léger élargissement des tabliers par rapport au strict nécessaire permet de se ramener de la situation de la figure 68 à celle de la figure 67, et se révéler plus économique.

En règle générale, on recherche à conserver sur ouvrage le dispositif de retenue existant en section courante, mais ce n'est pas absolu. En pratique, on rencontre les situations définies ci-après.

Barrière de type glissières doubles à entretoises (DE) en zone courante

Cette barrière, qui est fixée dans l'axe du TPC, peut être conservée sur ouvrage. Lorsque les tabliers sont séparés par un caillebotis, le dispositif est fixé sur une console prenant appui sur la joue d'un des tabliers. En cas de joint étroit, la fixation du dispositif dans l'axe du TPC nécessite de décaler le joint par rapport à l'axe du TPC. Lorsque les tabliers sont assez longs (>50 m pour fixer les idées), il paraît préférable, pour des raisons économiques et d'entretien de doubler le dispositif DE par deux barrières GS fixées indépendamment sur chaque tablier.

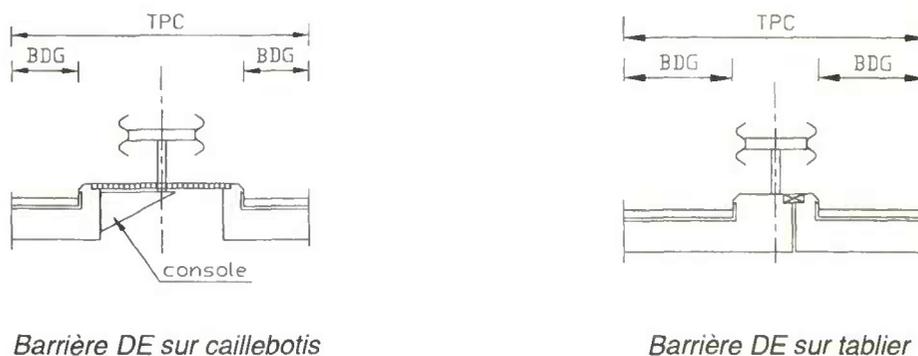


Figure 69 - Barrière DE

Barrière de type 2 x GS en zone courante

Le Guide des Equipements des Routes Interurbaines [61] déconseille cette solution en section courante, à moins que le TPC soit de plus de 5,00 m et que l'itinéraire supporte un trafic inférieur à 5000 véh/j. Ce dispositif est néanmoins très bien adapté sur ouvrage et on le conserve généralement.

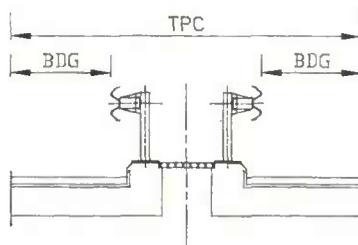


Figure 70 - Glissières simples métalliques indépendantes avec vide central

Barrière de type DBA en zone courante

Il est possible de conserver la DBA si le tablier est monolithique ou, si les deux tabliers indépendants sont jointifs, en décalant légèrement la position du joint. Dans le second cas, la difficulté consiste à bien traiter les relevés d'étanchéité au droit de la DBA. Il faut noter également que l'utilisation d'un séparateur en béton conduit à porter la BDG à 1,50 m ou à 1,25 m au minimum [61].

Il est également possible de dédoubler la DBA en deux barrières GS ou en deux GBA.

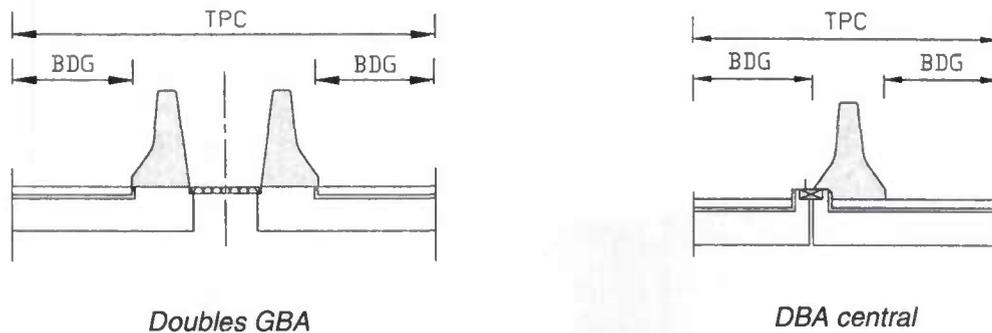


Figure 71 - Séparateurs en béton sur ouvrages



2.2.2 - Données relatives à l'obstacle franchi

Lorsque l'ouvrage projeté franchit une voie de communication (route, voie ferrée ou voie navigable), il convient évidemment de respecter les caractéristiques fonctionnelles relatives à cette voie, mais aussi leur évolution envisagée à terme.

Dans tous les cas, il y a lieu de se rapprocher du service gestionnaire de la voie franchie, qui précisera les contraintes qui lui sont spécifiques. Les éléments qui suivent correspondent aux cas courants et résultent des textes réglementaires qui ont été rappelés au paragraphe 2-2-1-1.

Il s'agit essentiellement de respecter les gabarits et les ouvertures. La circulaire du 17 octobre 1986 [35] définit les notions de gabarit et de hauteur libre :

La **hauteur libre** (ou tirant d'air) représente la distance minimale entre tous points de la partie roulable de la voie franchie par l'ouvrage (existante ou projetée) et de la sous-face de l'ouvrage, ou, le cas échéant, de la partie inférieure des équipements que supporte cette sous-face. Cette grandeur est associée à l'ouvrage.

Le **gabarit** caractérise la hauteur statique maximale d'un véhicule, chargement compris, dont le passage peut être accepté, dans les conditions normales de circulation, sous un ouvrage. Cette grandeur est associée au véhicule.

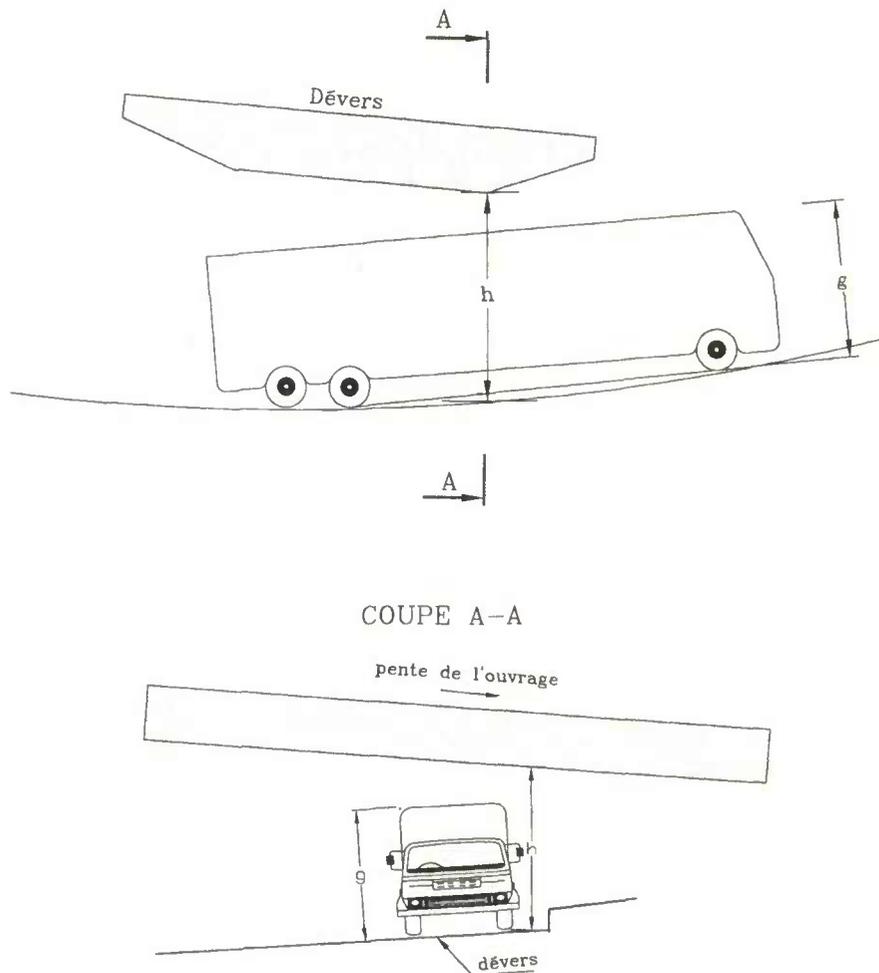


Figure 72 - Hauteur libre (h) et gabarit (g).

Les définitions ci-dessus faites pour les franchissements routiers ont leur équivalent pour le franchissement de voies navigables ou ferroviaires.

Ces gabarits doivent être respectés en tout point du franchissement. Il convient notamment de tenir compte des dévers et pentes longitudinales des voies franchies et portées et de veiller à ce qu'aucun équipement tel que dispositifs d'éclairage ou de signalisation ne vienne entamer les gabarits.

S'agissant de la dimension horizontale à dégager, on parle parfois de gabarit horizontal.

La **hauteur libre minimale** à prévoir pour un ouvrage est obtenue en **ajoutant** aux gabarits des véhicules autorisés à circuler sous l'ouvrage des **revanches** (r), c'est-à-dire des marges, de **construction ou d'entretien** et de **protection**, en fonction de la nature de l'ouvrage et des caractéristiques des véhicules admis sur la voie franchie. Les valeurs à donner aux revanches seront précisées dans les paragraphes qui suivent.

2.2.2.1 - Les routes : caractéristiques sous ouvrages

Il s'agit de définir les caractéristiques du profil en travers de la voie nouvelle au droit d'un ouvrage qui la franchit (PS). **L'obstacle franchi est une route.**



Figure 73 - Caractéristiques de la route au droit d'un ouvrage qui la franchit

Comme pour ce qui est des caractéristiques sur ouvrages décrites dans les paragraphes précédents, le principe général consiste à conserver sous ouvrage courant le profil en travers de la section courante.

L'ICTAAL prévoit cependant la possibilité de réduire la BAU à 2,00 m en présence d'un appui latéral. Cette possibilité n'est à retenir que dans des situations particulièrement difficiles et n'est en pratique utilisée que dans le cas de modification ou de rattrapage. On cherche à l'éviter pour les ouvrages neufs.

La largeur minimale du TPC est fixée à 3,00 m lorsqu'un appui y est implanté. Il va de soi qu'une telle disposition entraîne sur la section courante adjacente la mise en place d'un TPC de même largeur, ou un élargissement localisé à intégrer dans le tracé.

a) Les gabarits

Les gabarits routiers (g sur les dessins de la figure 72) sont définis par les textes normatifs déjà cités et en partie rappelés par la circulaire du 17 octobre 1986 [35] qui prévoit :

- 6,00 m pour les itinéraires supportant les convois exceptionnels de type C,
- 7,00 m pour les itinéraires supportant les convois exceptionnels de type D ou E,
- 4,75 m pour les autoroutes de liaison, les voies rapides urbaines et pour les itinéraires militaires de 3^{ème} et 4^{ème} classe,
- 4,50 m sur les grands itinéraires de trafic international (A.G.R.),
- 4,30 m sur l'ensemble du réseau routier national,
- 3,65 m sur itinéraires à gabarits réduits pour bus,
- 1,90 m (gabarit A) et 2,60 m (gabarit B) sur itinéraires à gabarits réduits pour véhicules légers.

Le code de la voirie routière [26] prescrit un gabarit minimal de 4,30 m sur les voies départementales et communales.

Une **revanche de construction et d'entretien** de 0,10 m est prévue pour tenir compte des erreurs de nivellement ou des tassements éventuels, et surtout pour tenir compte du rechargement ou des renforcements qui pourraient être prévus sur la chaussée franchie.

Dans le cas de structures légères (passerelles piétons) ou d'équipements fragiles surplombant la chaussée (portiques, potences, dispositifs d'éclairage), il convient d'**ajouter une revanche de protection** de 0,50 m compte tenu des conséquences d'un choc de véhicule hors gabarit. Cependant, lorsque ces structures ou équipements sont protégés de part et d'autre par un passage supérieur massif (voir ci-dessous), cette revanche peut être réduite à 0,10 m. Contrairement à la revanche de construction et d'entretien, la revanche de protection doit subsister dans le temps.

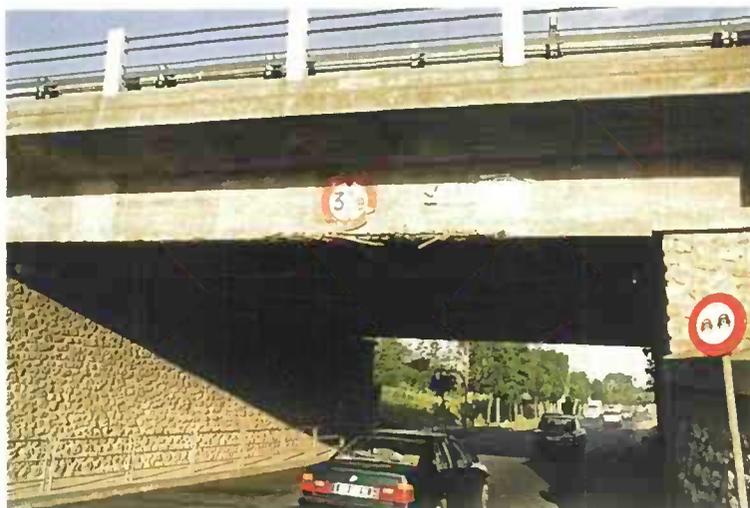


Figure 74 - Conséquences du non-respect des gabarits sous ouvrage

L'ICTAVRU recommande de maintenir en zone urbaine la continuité des gabarits autorisés hors agglomération.

Ces tirants d'air, mesurés perpendiculairement à la voie, sont à dégager sur toute la largeur roulable.

Notons que des **chocs de véhicules hors gabarit** sont toujours possibles et qu'il n'existe pas de dispositions réglementaires visant à prendre en compte ce risque. Une solution classique et efficace consiste à s'assurer sur un tronçon routier qu'en amont des ouvrages dont la structure est sensible au chocs (ponts à poutres PRAD, passerelles, etc.), il existe des tabliers massifs (ponts dalles) qui font office de protection.

Au droit des trottoirs, un gabarit strictement minimal de 2,00 m est à respecter. Indiquons également que dans le cas de passages inférieurs pour piétons, le guide Aménagements en faveur des piétons [32] préconise une hauteur minimale de 2,50 m. Par ailleurs, dans les bâtiments recevant du public, les hauteurs minimales sous plafond des couloirs sont fixées à 2,15 m.

En ce qui concerne les cyclistes une hauteur de 2,00 m à 2,50 m est à respecter (Cf. figure 32).

b) Dispositifs de retenue sous ouvrage

La présence d'obstacles à proximité des bandes dérasées (côté droit ou côté gauche), le plus souvent des appuis d'ouvrages, pose un problème de sécurité qui nécessite une protection par un dispositif de retenue placé en limite extérieure des bandes dérasées.

La distance minimale entre cette limite (à l'aplomb du nu du dispositif de retenue) et le parement de l'obstacle doit correspondre aux conditions de fonctionnement du dispositif utilisé en fonction de sa déformabilité. Des considérations de visibilité peuvent nécessiter d'augmenter cette distance.

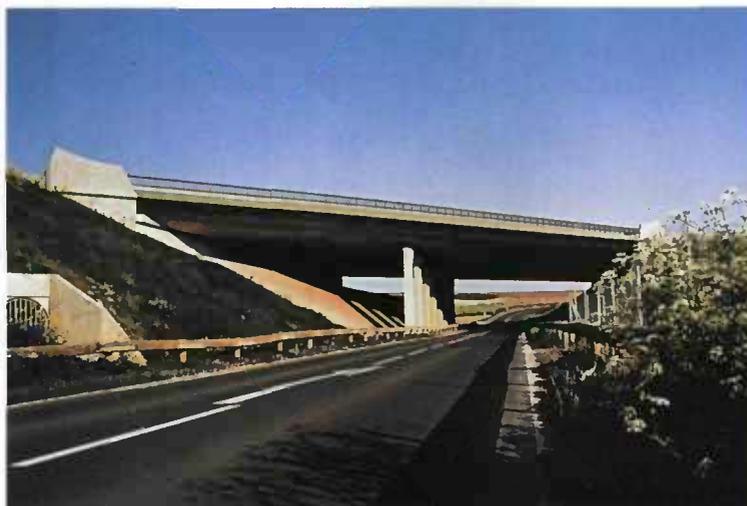


Figure 75 - Dispositifs de retenue sous ouvrage

L'ARP précise que "en présence d'un appui latéral, il est nécessaire d'isoler cet obstacle par un dispositif de retenue (toutefois, dans le cas d'un mur latéral parallèle à la chaussée franchie, à parement lisse et de longueur supérieure à 25 m, seules les arêtes doivent faire l'objet d'un isolement)." "Dans le cas des routes unidirectionnelles de type R (artères interurbaines), l'appui éventuel sur le TPC est systématiquement isolé".

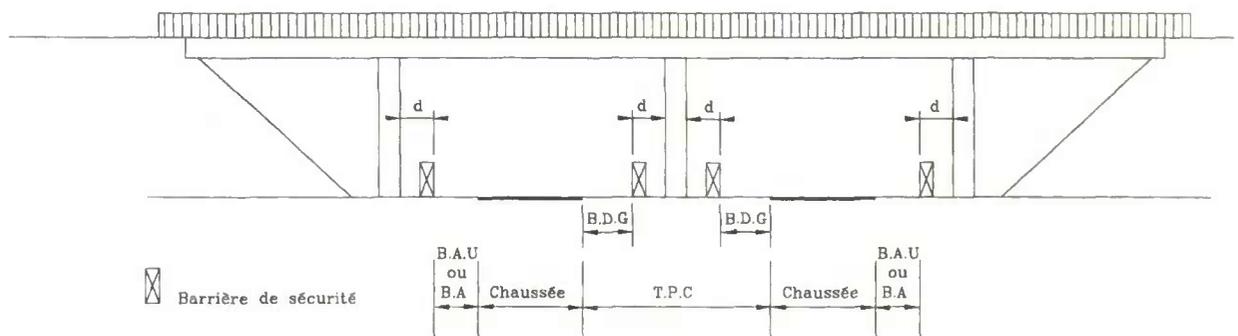
L'ICTAAL précise que "l'absence d'appuis latéraux permet d'éviter la mise en place de dispositifs de retenue, et de ce fait réduit d'autant la largeur de plate-forme au droit de l'ouvrage".

Le guide de l'Équipement des Routes Interurbaines [61] apporte quelques précisions sur la nécessité de protéger les appuis par des dispositifs de retenue qui sont développées dans les paragraphes qui suivent.

- Pour les autoroutes, routes express et artères interurbaines, la mise en place de barrières de sécurité en limite de BAU (si elles n'existent pas en section courante) est indispensable dès que les piles ou culées sont à moins de 10 m du bord de la chaussée (Cf. ICTAAL [21] et Guide de l'Équipement des Routes Interurbaines [61]). Il s'agit de barrières de niveau 1 (ou N).

Sur TPC, les barrières de sécurité de type 1 (ou N) sont obligatoires, il convient de veiller toutefois à leur intégration avec le parti architectural recherché pour l'ouvrage.

- Pour les routes principales bidirectionnelles et les routes secondaires, le guide de l'Équipement des Routes Interurbaines [61] précise que "sur accotements, les piles d'ouvrages situées à moins de 7 m du bord de chaussée doivent être isolées". Là encore, il s'agit de barrières de type 1 (ou N).



d : largeur de débattement nécessaire au fonctionnement du dispositif de retenue.
des dispositifs différents peuvent figurer à droite et à gauche

Figure 76 - Dispositifs de retenue à proximité des appuis d'un passage supérieur

En pratique, la plupart des piles de ponts courants de passages supérieurs de routes nationales ou d'autoroutes sont à isoler compte tenu de leur proximité des voies. La protection par des barrières de type 1 (ou N) ne dispense évidemment pas de dimensionner ces piles vis-à-vis des chocs de véhicules (Cf. 2.2.4.1-h). De ce point de vue, des piles relativement massives sont certainement préférables.

Si la place disponible est très réduite, particulièrement dans le cas du TPC, un certain nombre de dispositions prévues par l'instruction du 9 mai 1988 [59] pour des situations difficiles de rattrapage ne sont pas recommandées dans le cas des ouvrages neufs. Nous les citerons pour mémoire :

- englober l'obstacle dans le prolongement d'un DBA,
- réaliser un décrochement en biseau d'une glissière métallique dans la bande médiane pour éviter l'obstacle,
- avoir recours à des adaptations de type renfort d'obstacle et pièces d'appuis.

c) Prise en compte des piétons et des cyclistes

Sur autoroute, les piétons et cyclistes étant interdits, aucune disposition particulière ne les concerne.

En milieu interurbain, sur les voies non autoroutières, la prise en compte des piétons n'est pas indispensable, il ne sera donc pas prévu de trottoirs sous ouvrages. Les piétons éventuels utiliseront les bandes dérasées.

En milieu urbain, s'il existe des trottoirs en zone courante, ils seront maintenus sous l'ouvrage.

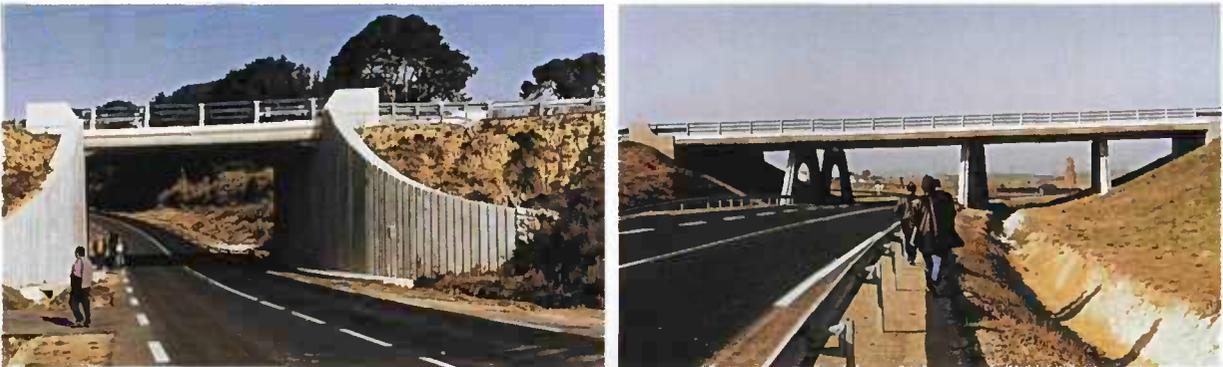


Figure 77 - Piétons sous ouvrage quand aucune disposition n'est prévue pour leur cheminement

De plus, si la voie en section courante ne comporte ni bande dérasée, ni trottoir, il est indispensable de prévoir au moins une bande dérasée sous l'ouvrage (largeur minimale de 0,75 m) afin de réduire l'effet de paroi et d'assurer le passage éventuel des piétons.

Si des bandes multifonctionnelles revêtues ou des bandes cyclables existent en section courante, elles seront maintenues sous ouvrage. Les dispositions suivantes peuvent être appliquées :

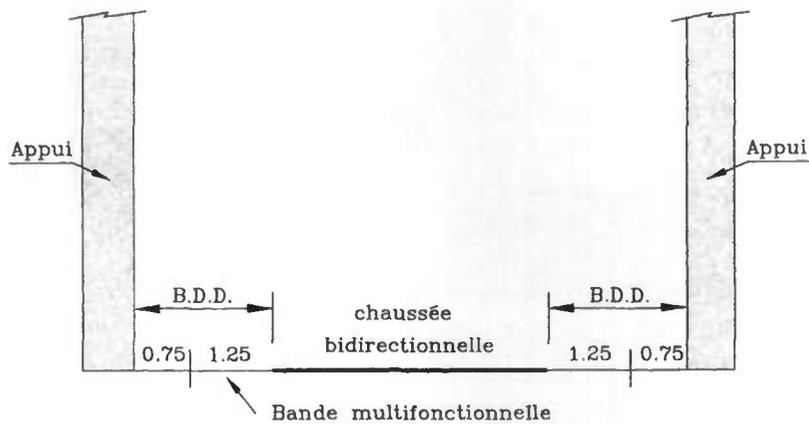


Figure 78 - Bande multifonctionnelle à proximité d'un appui

La bande multifonctionnelle revêtue de 1,25 m de largeur constitue une partie de la bande dérasée.

Dans les cas des routes principales de type R, il est recommandé d'utiliser une largeur de bande dérasée de 2,00 m afin de conserver une surlargeur de 0,75 m pour éviter un effet de paroi trop important sous l'ouvrage.

En milieu urbain, si des bandes cyclables existent de part et d'autre de l'ouvrage et si des trottoirs sont prévus sous celui-ci, les dispositions schématisées sur la figure suivante peuvent être appliquées :

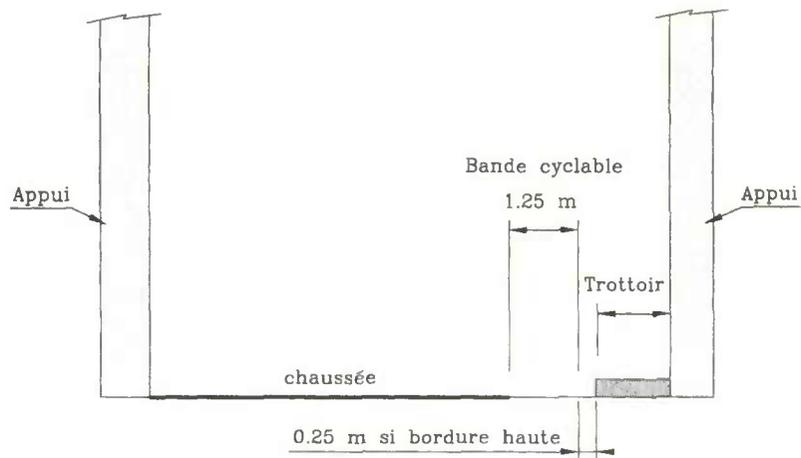


Figure 79 - Bande cyclable en milieu urbain.

2.2.2.2 - Les voies ferrées



Figure 80 - Franchissement de voies ferrées

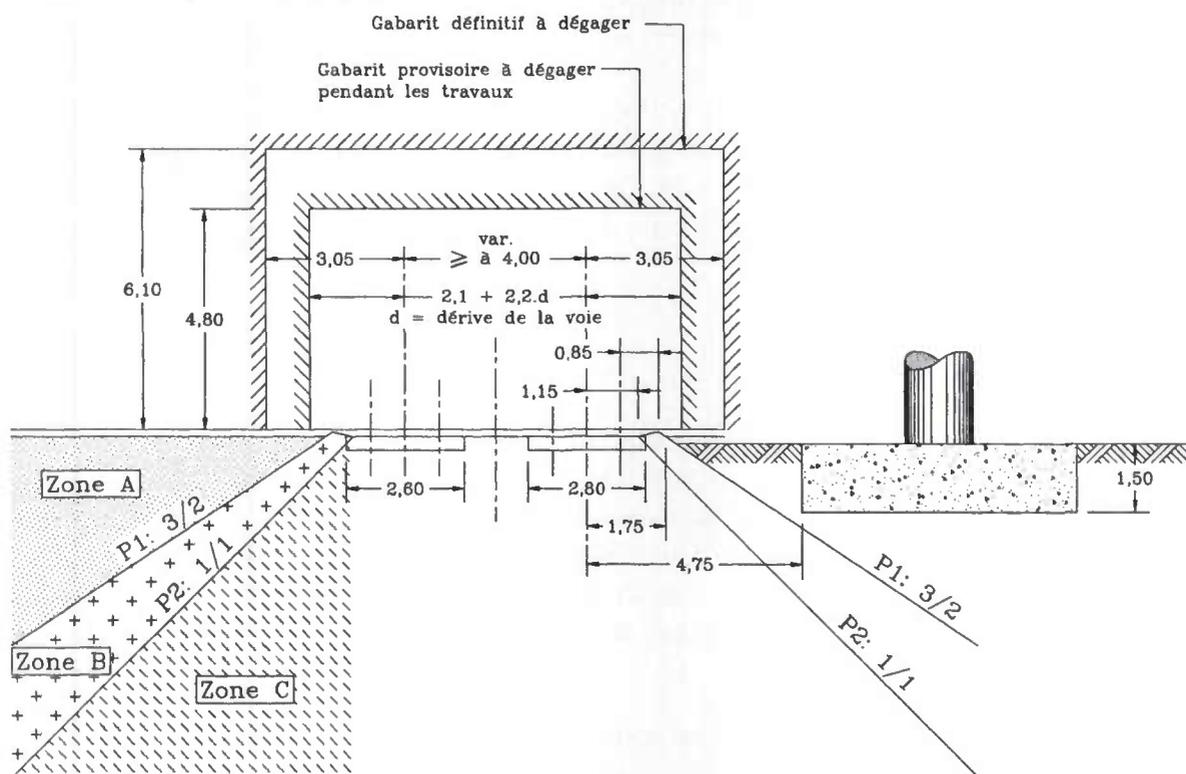
Dans le cas d'ouvrages franchissant des voies ferrées, les gabarits à respecter dépendent de nombreux paramètres : de la nature et du type de voies, du type et du mode de fixation des caténaires, du respect des distances de visibilité de la signalisation. Il convient, pour chaque cas d'espèce, de consulter les services techniques concernés, qui préciseront ces caractéristiques en fonction des voies franchies.

Notons que la SNCF assure systématiquement la maîtrise d'œuvre de ses ponts rails dans le cas où la voie nouvelle passe sous une voie ferrée existante, et également dans le cas des ponts routes franchissant les lignes nouvelles à Grande Vitesse en exploitation.

Les valeurs courantes des hauteurs à dégager sont données ci-dessous pour la SNCF :

Type de voie	hauteur
Non électrifiée	4,80 m
Électrifiée 1500 V	5,20 m ou 5,30 m
Électrifiée 25000 V	4,95 m à 5,46 m
Lignes nouvelles à Grande Vitesse	
Hors zone d'appareils de voies	5,80 m
En zone d'appareils de voies	6,25 m

Transversalement, les gabarits sont définis à partir de l'axe des voies et présentent un gabarit définitif (3,05 m) et un gabarit de construction plus réduit. Il convient d'adapter ce gabarit au dévers des voies ferrées. La vitesse de la ligne et son mode de traction ont également une incidence sur le gabarit à respecter.



Zone A : Si les fouilles ne descendent pas au-dessous d'un plan P_1 à $3/2$ de pente, en principe les déconsolidations ne sont pas à craindre, et les travaux peuvent s'exécuter sans ralentissement du trafic ferroviaire.

Zone B : Si les fouilles se situent entre le plan P_1 à $3/2$ de pente et le plan P_2 à $1/1$ de pente, les travaux sont à exécuter avec un blindage correct et des ralentissements de trains peuvent éventuellement être nécessaires.

Zone C : Si les fouilles descendent au-dessous du plan P_2 à $1/1$ de pente, les travaux sont à exécuter avec blindages très soignés et ralentissement des circulations ferroviaires indispensable.

Figure 81 - Implantation d'un appui à proximité des voies ferrées

De plus, la SNCF impose des conditions très strictes sur l'implantation des appuis et leur mode de construction :

- installation de clôtures infranchissables situées à plus de 3,00 m de l'axe de la voie la plus voisine,
- construction de planchers de protection jointifs et étanches,
- interdiction de procéder à des manutentions au-dessus des voies ou à moins de 5,00 m d'une verticale passant par-dessus l'axe des voies,
- respect d'une distance d'isolement d'au moins 0,50 m pour tout élément susceptible d'être mis sous tension,
- blindage des fouilles (*Cf.* figure 81 ci-avant),
- vibrations.

Les contraintes et installations de protection pour la réalisation d'ouvrages à proximité et au dessus de voies ferrées en exploitation font l'objet de règles décrites dans la réglementation SNCF auxquelles il y a lieu de se reporter. Citons en particulier :

- La notice NG EF 9 C1 n°2 : Appuis et fondations,
- Le livret 2.02 : Ouvrages provisoires,
- La consigne EF1 G2 n°1 : Notice de sécurité ferroviaire.

Par ailleurs, la SNCF facture au maître d'ouvrage le coût de sujétions particulières liées à la construction de l'ouvrage, qui peuvent occasionner des ralentissements de trains, des frais de coupure de caténaires ainsi que des coûts de surveillance des installations. Ces frais sont en général très élevés et une étude économique doit étayer le bien fondé des choix effectués.

2.2.2.3 - Les voies navigables

Dans le cas d'ouvrages franchissant des voies navigables, les services de navigation définissent les gabarits à respecter. Ils se présentent généralement sous la forme d'un rectangle disposé au-dessus des plus hautes eaux navigables (P.H.E.N.) ou d'un niveau de référence défini par le service de navigation. Leurs dimensions dépendent de la catégorie du cours d'eau. La circulaire 76.38 du 1^{er} mars 1976 modifiée par la circulaire 95.85 du 6 novembre 1995 [37] constitue le texte de référence en matière de caractéristiques pour les canaux et rivières navigables.

L'ouvrage projeté devra également permettre de maintenir ces gabarits de navigation lors des plus basses eaux navigables (P.B.E.N.), avec un positionnement transversal éventuellement différent de celui des plus hautes eaux.

D'anciens chemins de halage sont souvent maintenus comme passages de service ou comme chemins locaux. Ils comportent généralement un gabarit de 3,50 m de largeur et de 3,50 m de hauteur.

L'implantation des appuis doit par ailleurs respecter la stabilité des ouvrages existants tels que des murs de quai.

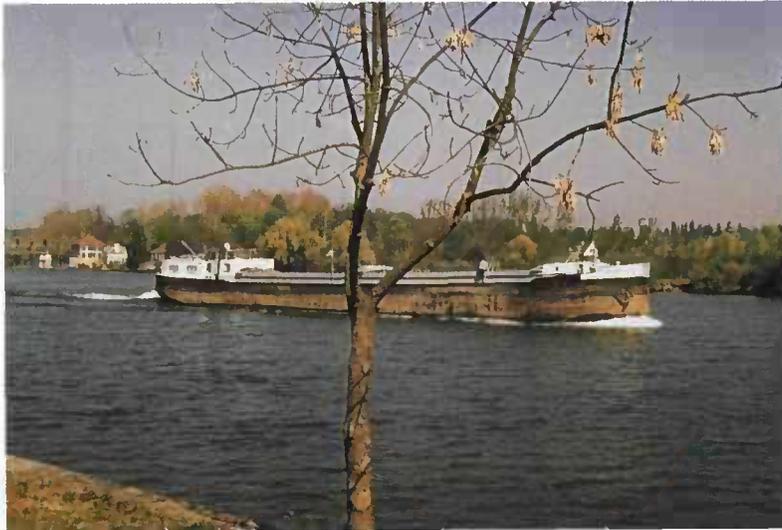


Figure 82 - Voie navigable

Notons toutefois que, compte tenu des dimensions des voies navigables, il est rare que l'ouvrage concerné soit un ouvrage courant.

2.2.2.4 - Autres servitudes

Certains aménagements peuvent présenter des servitudes spéciales dont le respect par l'ouvrage est obligatoire, y compris pendant la phase de construction.

C'est le cas, notamment, à proximité d'un aéroport, où s'applique un plan réglementaire de servitudes de dégagements aéronautiques. Ce plan, opposable aux tiers, fixe, notamment, la hauteur maximale de tous les obstacles à l'intérieur d'un volume situé autour de l'aéroport. Il convient donc, dans tout projet de pont, de se renseigner auprès des responsables locaux de la Direction de l'Aviation Civile, sur la présence de tels plans de servitudes. Généralement, les Directions Départementales de l'Équipement disposent d'un service local des bases aériennes, compétent en la matière.

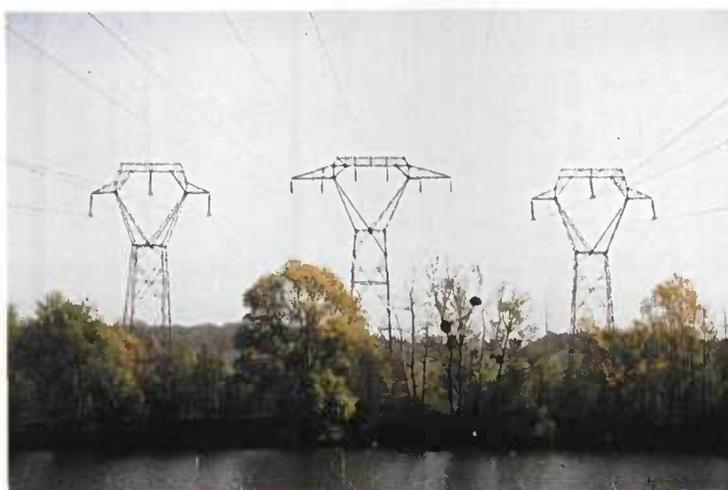


Figure 83 - Servitudes particulières

Dans un contexte différent, la proximité de lignes électriques à haute tension crée des limitations de gabarits aériens et nécessite de mettre l'ouvrage à la terre.

D'autres servitudes particulières peuvent exister, à proximité de zones militaires, par exemple.

Ces contraintes peuvent limiter voire interdire les possibilités de construction (mâts de haubanage, utilisation de grues à tour, ...).

2.2.3 - Données relatives aux équipements

Les données relatives aux équipements d'un ouvrage sont essentielles à sa conception détaillée. En effet, les équipements sont tout à la fois spécifiques à l'ouvrage et en continuité avec les équipements de la route hors de l'ouvrage.

Leur définition impose donc une étude particulière pour s'assurer de leur fonctionnement, de leur pérennité et de leur remplacement éventuel.

Une enquête devra être menée suffisamment tôt auprès des différents services concessionnaires et gestionnaires afin de recenser les besoins.

Il convient de déterminer les caractéristiques de tous ces équipements (poids, dimensions, type d'accrochage, ...) et de bien étudier les raccordements à l'ouvrage (dispositifs de retenue, drainage, dispositifs de dilatation, ...). La géométrie de ces éléments doit être compatible avec les déformations de la structure.

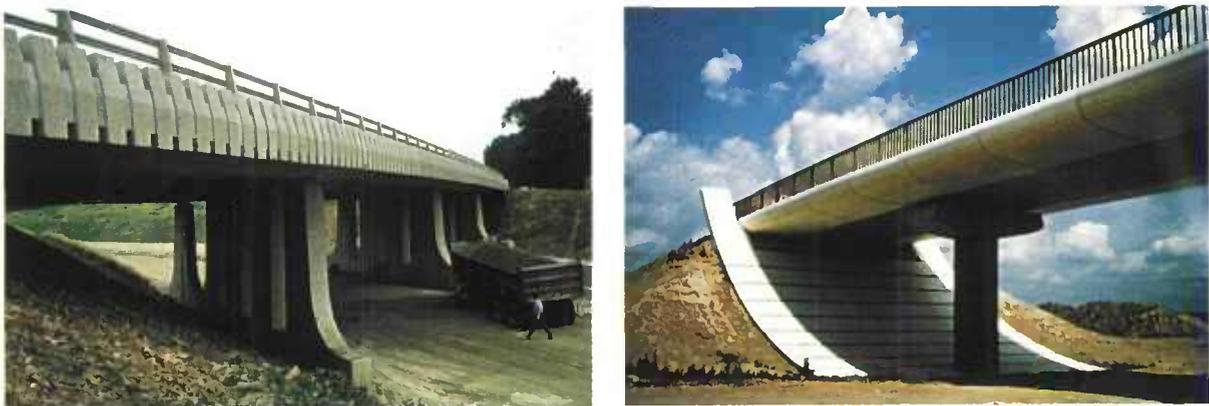


Figure 84 - Corniche et garde-corps

Nous citerons :

- les dispositifs de retenue : garde-corps, barrières,
- les systèmes d'étanchéité du tablier (type et épaisseur du système de protection),
- le revêtement de chaussée,
- les joints de chaussée et de trottoirs,
- les trottoirs (hauteur, revêtement, bordure),
- les dispositifs de recueil et d'évacuation des eaux (caniveau fil d'eau ou corniche-caniveau, gargouilles, descentes d'eau, conduites, ...), et leur jonction hors ouvrage,
- les dispositifs de protection acoustique,
- les dispositifs d'éclairage (espacement, caractéristiques),
- les dispositifs de signalisation verticale et horizontale,
- les dispositifs de mines (itinéraires militaires),



*Figure 85
Joint de chaussée*



*Figure 86
Corniche caniveau*

- les dispositifs de visite et d'entretien, accès, circulation des personnels, galeries, regards, ...
- les réseaux passant dans l'ouvrage (eau, télécommunication, électricité, gaz, réseaux d'exploitation de la route : télésurveillance, appel d'urgence, signalisation à messages variables, ...) et leur propres dispositifs d'entretien et d'exploitation,
- autres dispositifs spécifiques, tels que, pour des ouvrages franchissant des voies ferrées, des auvents de protection, les dispositifs anti-chute de colis ou détecteurs de chutes.



Figure 87 - Pose d'une étanchéité

De plus, compte tenu de l'incertitude sur la définition de ces éléments et de l'évolution possible de ces charges au cours du temps, il est d'usage de prendre en compte des valeurs représentatives minimales et maximales de ces équipements ou de leurs effets.

Rappelons que les appareils d'appui ne sont pas considérés comme des équipements et qu'ils font partie intégrante de la structure, dont ils conditionnent le fonctionnement.

2.2.4 - Données d'exploitation en phase de service

La définition des charges d'exploitation en phase de service fait partie du programme de l'ouvrage et doit être validée par le maître d'ouvrage. Nous nous limitons au cas des ponts routiers.

Pour le calcul proprement dit, elles sont définies par le fascicule 61, titre II du C.P.C [88], qui constitue le règlement national de charge des ponts routes. Les valeurs nominales des actions correspondantes sont sommairement décrites au chapitre 2.2.4.1 ci-dessous.

Les Eurocodes, normes européennes de conception et de calcul des constructions, remplaceront prochainement les textes français. Le chapitre 2.2.4.2 indique, à la parution du présent guide, l'état d'avancement de l'élaboration de ces textes. L'Eurocode 1 [89], partie 3 traite en particulier des 'Actions dues au trafic sur les ponts' en général et pas seulement des ponts routes.

2.2.4.1 - Charges d'exploitation routières selon la réglementation nationale

Les charges applicables sur les ponts routes peuvent comprendre :

- les charges **sans caractère particulier** ou **charges civiles** :

- charges de chaussée
 - charges de trottoirs

- les charges **à caractère particulier** :

- charges militaires
 - charges exceptionnelles

- les charges de **fatigue** (p.m.)

Il appartient au maître d'ouvrage de préciser dans son programme la nature des charges à caractère particulier, militaire ou exceptionnel, susceptibles de circuler sur l'ouvrage. Il est en effet fréquent que ces charges soient dimensionnantes du point de vue des gabarits et des charges avec une incidence directe sur les quantités, voire sur le type de structure.

a) charges civiles routières

Les charges de chaussée sont modélisées par deux systèmes A et B, distincts et indépendants.

Le système A se compose d'une charge uniformément répartie variable avec la longueur chargée.

Le système B comprend trois sous-systèmes de camions, dits :

- B_c : 2 camions de 30 t par voie,
- B_t : 2 essieux-tandems de 32 t,
- B_r : roue de 10 t.

L'impact des roues est quasi-ponctuel.



Figure 88 - Convoi de poids-lourds
(épreuves d'un ouvrage)

Les charges des systèmes A et B sont susceptibles de développer des réactions de freinage, efforts s'exerçant à la surface de la chaussée dans l'un ou l'autre sens de circulation. Les charges B sont à pondérer par un coefficient de majoration dynamique.

b) charges sur les trottoirs

Les charges définies sur les trottoirs non franchissables comprennent :

La charge générale utilisée pour la justification des éléments porteurs (poutres maîtresses qui supportent à la fois une chaussée et un ou des trottoirs) est une charge de 150 kg/m², cumulable avec les charges générales de chaussée.

Les charges locales, utilisées pour la justification des éléments du tablier, comprennent :

- soit une charge de 450 kg/m² (cumulable avec les systèmes civils et militaires)
- soit une roue isolée de 6 tonnes (uniquement pour les vérifications d'Etat Limite Ultime).

c) charges des passerelles pour piétons

Pour les ouvrages réservés à la circulation des piétons et des cycles, on applique une densité de charge uniforme dont l'intensité varie avec la longueur chargée.

Dans le cas où l'ouvrage est couvert, il y a lieu de cumuler cet effet à celui du vent et de la neige.

Si leur largeur et leurs accès le permettent, il est sage de prévoir la possibilité de passage d'un véhicule de secours, de service ou d'entretien dont les caractéristiques sont à définir. A contrario, lorsque la largeur de la passerelle est significative, en pratique dès 2,00 m, il est prudent d'interdire physiquement - par une borne par exemple - la circulation de véhicules si elle n'a pas été prévue au dimensionnement.



Figure 89 - Passerelle pour piétons

Il y a lieu également de s'interroger sur les risques de résonance de ce type d'ouvrage au pas des piétons. Pour s'affranchir de ce phénomène, la solution la plus efficace est en général d'alourdir la structure, pour augmenter son inertie, ce qui est coûteux en matériau. Dans tous les cas, une étude dynamique doit être effectuée au stade du projet, voire au stade de l'étude préliminaire pour la solution retenue. Ce type d'études, relativement pointues, conduit en général à classer les passerelles parmi les ouvrages non courants.

d) charges militaires

Elles comprennent les classes M_{120} et M_{80} , de 110 et 72 tonnes, et comportent chacune deux systèmes de charges, un char et un groupe de deux essieux. Elles font également l'objet d'une pondération par un coefficient de majoration dynamique.

Ces charges sont à appliquer uniquement sur les itinéraires faisant l'objet d'un classement d'itinéraire militaire.

Les autorités militaires peuvent également imposer de supporter le porte-char Leclerc.

e) charges exceptionnelles

La politique en matière de transport exceptionnel est précisée par la lettre circulaire R/EG.3 du 20 juillet 1983 [90].

Un transport est exceptionnel quand il est effectué de manière non conforme aux prescriptions du code de la route.

Pour les ponts, si l'on exclut le caractère exceptionnel des dimensions du convoi, qui sont rarement pénalisantes, le principal critère est la charge des convois exceptionnels qui sont classés en trois catégories :

- 1^{ère} catégorie : poids total maximal 45 t,
- 2^{ème} catégorie : poids total compris entre 45 t et 70 t,
- 3^{ème} catégorie : tous les convois de caractéristiques supérieures où l'on distingue quatre classes ⁽¹⁾ :
 - classe C pour les convois dont le poids total roulant (PTR) est inférieur ou égal à 120 tonnes,
 - classe D pour les convois dont le poids total en charge (PTC) de la remorque ou semi-remorque est inférieur ou égal à 250 tonnes,
 - classe E pour les convois dont le poids total en charge de la remorque ou semi-remorque est inférieur ou égal à 400 tonnes,
 - classe Super E pour les convois dont les caractéristiques sont supérieures au convoi E.



Figure 90 - Convoi exceptionnel

Les convois-types qui servent tant pour les études de tracé (problèmes de rayon de braquage) que pour les études d'ouvrages d'art sont définis dans un document spécifique du SETRA (annexé à la lettre-circulaire du 20 juillet 1983). Ils remplacent les convois types D et E

⁽¹⁾ Remarque : Les valeurs représentatives de calcul doivent être majorées par 1,10 (circulaire REG/3).

définis par l'article 10 du titre II du fascicule 61 du C.P.C. qui est suspendu dans son application.

La prise en compte de ces charges pour le calcul des ouvrages dépend de leur appartenance aux réseaux C et E et de l'accord de la Direction des Routes.

Dans certains cas spécifiques, pour la vérification de la portance des ouvrages existants ou pour le dimensionnement des ouvrages neufs, le transporteur peut définir lui-même les caractéristiques de son convoi. Il doit alors s'engager à supporter intégralement les dépenses correspondantes pour les études et les travaux de renforcement imposés par son convoi.

f) charges sur les remblais

Les remblais d'accès aux ponts peuvent recevoir une charge répartie sur toute la largeur de la plate-forme de 1 t/m^2 . En outre, pour la justification des éléments de faible dimension (garde-grève, ...), il faut appliquer B_t ou B_r sur le remblai sans coefficient de majoration pour effet dynamique.

L'effet de ces charges se diffuse à travers le remblai et exerce des pressions verticales et horizontales sur les murs qui soutiennent la plateforme routière, en particulier les murs garde-grèves, les éléments porteurs des culées, les murs de tête. Les murs de soutènement qui ne supportent pas de chaussée ne sont pas concernés.



Figure 91 - Charges sur remblais

On ne considère pas les effets du freinage ni ceux de la force centrifuge sur les remblais.

g) charges sur les garde-corps

Les caractéristiques et les charges des garde-corps sont définies par la norme XP P98-405 [63].

Les charges se composent :

- d'une *force normale, horizontale et uniforme*, appliquée à la main courante et d'intensité :

- en présence d'un trottoir :

$$H = \text{Max} \{ (500 (1 + b), 2500) \} (\text{N / ml})$$

avec b : largeur du trottoir exprimée en m

- pour un garde-corps de service :

$$H = 1000 \text{ N / ml}$$

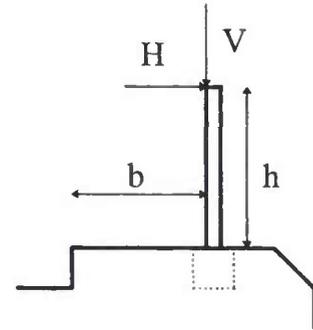
Rappelons que la hauteur minimale du garde-corps est la suivante :

$$h = \text{Min} \{ 0,95 + 0,005 h_c, 1,20 \} \text{ m}$$

où h_c représente la hauteur de chute.

Néanmoins, la hauteur des garde-corps peut être adaptée et dépasser les hauteurs minimales imposées par les normes pour tenir compte de la présence de certains usagers (deux roues, cavaliers, ...).

La hauteur des garde-corps de service est de 0,90 m.



- d'une *force verticale uniforme* de 1000 N/ml appliquée à la main courante,
- d'une *force verticale concentrée* de 1000 N appliquée en tout point sur tout élément non vertical.

Un essai dynamique, au sac de sable ou à la bille d'acier, est également prévu.

h) actions accidentelles d'origine fonctionnelle

- *chocs de véhicules sur les dispositifs de retenue*

Bien qu'ils se développent accidentellement, les chocs sur les dispositifs de retenue ne sont pas très "rares" et il semble plus approprié de les considérer comme une action variable avec une faible occurrence.

Lors du choc d'un véhicule, le dispositif de retenue peut être entièrement détruit. Son changement est possible et il a été conçu dans ce but.



Figure 92 - Choc de véhicules sur dispositif de retenue

Mais il importe que la structure ne soit pas endommagée et conserve ses conditions d'exploitation ou de durabilité. Cette condition correspond alors à la définition d'un état limite de service au sens des Directives Communes de 1979 [87], alors que le BAEL et le BPEL indiquent de prendre en compte ce cas de charge à l'état limite ultime sous combinaison accidentelle. (Cf. Bulletin de liaison "Ouvrages d'Art" n°16 du SETRA- p. 36 et 37 - Novembre 1993 [17] et fascicules du guide GC).

Les fascicules du guide GC ([62], [66] et [67]) précisent les efforts à prendre en compte en fonction du type de dispositif de retenue et les normes relatives à ces équipements.

- *chocs de véhicules sur les piles de pont*

Le choc d'un véhicule sur une pile de pont est assimilé à une force horizontale F_a appliquée à 1,50 m au-dessus du niveau de la chaussée, dont les valeurs nominales définies par le BAEL et le BPEL sont rappelées par le tableau suivant :

Vitesse estimée des poids lourds de 15 à 19 tonnes (km/h)	Valeur du choc F_a	
	frontal (kN)	latéral (kN)
90	1000	500
75	800	400
60	500	250

Afin d'assurer une bonne homogénéité de la résistance aux chocs, quelle que soit la forme de la pile (courante ou non), il faut également considérer un choc d'intensité $F_a/5$ appliqué conventionnellement à 4 m du niveau de la chaussée, F_a étant la force déterminée précédemment. (Cf. Bulletin de liaison "Ouvrages d'Art" n°16 du SETRA - p. 38 et 39 - Novembre 1993 [17]).

La conception des piles d'ouvrages courants soumises à chocs de véhicules (ou de bateaux comme décrit dans le paragraphe suivant) doit s'orienter vers des piles massives, donc d'une épaisseur suffisante, et de préférence monolithiques.

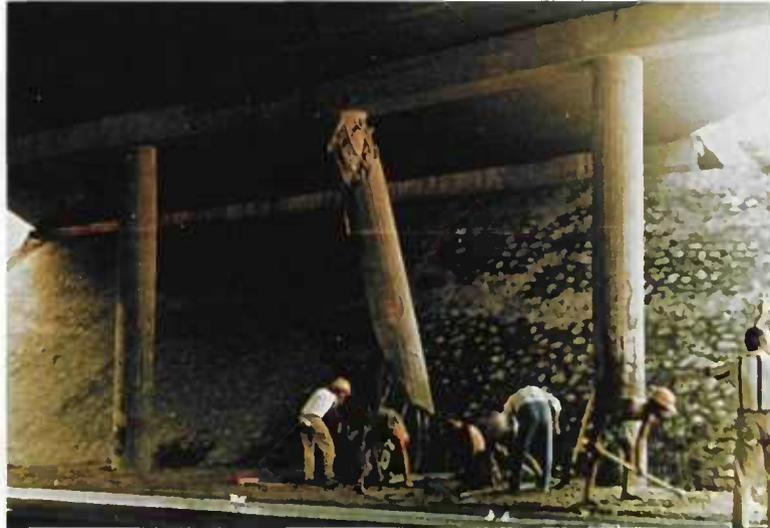


Figure 93 - Choc de poids lourd sur une pile de pont

Pour le cas particulier de piles à proximité de voies ferrées, la fiche UIC 777/2 "Construction situées au dessus des voies ferrées - dispositions constructives dans la zone des voies" définit quelques règles et nous renvoyons le projeteur à ce document pour le cas d'ouvrages ferroviaires.

- *chocs des bateaux sur les piles de pont*

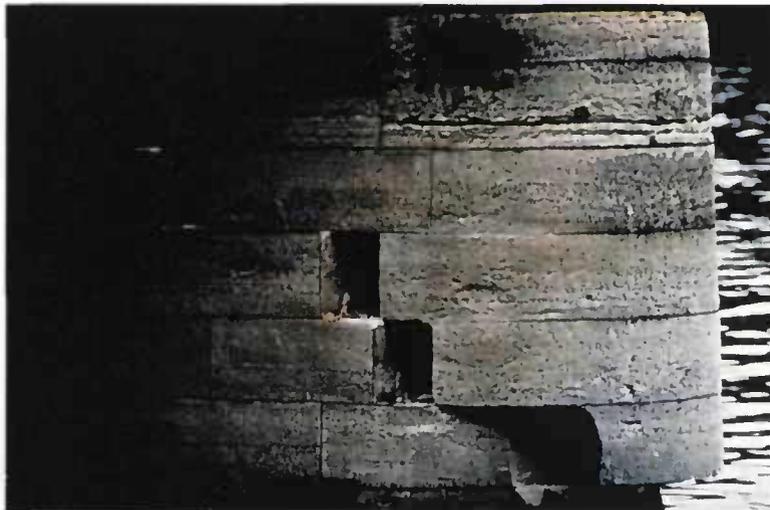


Figure 94 - Choc de bateau sur une pile en maçonnerie

Le choc éventuel d'un bateau sur un appui en rivière est assimilé à l'action d'une force horizontale appliquée au niveau des plus hautes eaux navigables (P.H.E.N.). Dans un but de simplification, il est admis que cette force peut être soit parallèle au sens du courant (choc frontal), soit perpendiculaire à celui-ci (choc latéral). Il est rare que ce type de choc soit à appliquer à un ouvrage courant.

L'intensité des efforts dépend de la catégorie de la voie navigable (Article 3.3 de l'annexe 8 du BPEL 91).

- *chocs sur les tabliers*

Le choc sur les tabliers de ponts de véhicules hors gabarit n'est généralement pas étudié, du fait de l'absence de prescription réglementaire à cet égard.

Dans le cas où le risque correspondant paraît significatif, il est possible d'adopter un sur-gabarit fournissant une revanche supplémentaire ou d'avoir recours à une structure peu sensible aux chocs transversaux (ponts dalles) ou encore encadrer l'ouvrage par des ouvrages massifs arrêtant les véhicules hors gabarit.

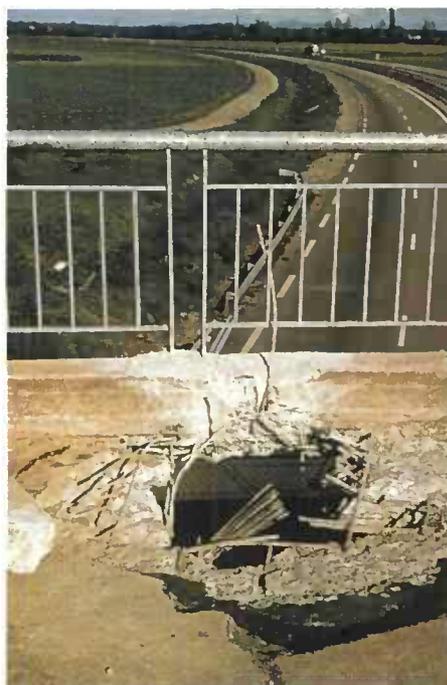


Figure 95 - Choc de véhicule hors gabarit sur un tablier de pont-dalle

2.2.4.2 - Charges d'exploitation routières et la réglementation européenne

Les Eurocodes, normes européennes de conception et de calcul des constructions, remplaceront prochainement les textes nationaux équivalents. La plupart d'entre eux sont actuellement transposés en normes françaises provisoires (ENV) d'application volontaire et publiés par l'AFNOR accompagnés d'un Document d'Application Nationale (DAN), qui permet, en principe, de les raccorder aux règles françaises actuelles.

L'Eurocode 1 est consacré à l'évaluation des actions, à l'exception des actions d'origine sismique qui sont traitées dans l'Eurocode 8 (ENV 1991-1), et à la formation des combinaisons de calcul pour les diverses situations (durables ou transitoires) à considérer lors d'un projet particulier. La conversion d'un premier groupe de textes en normes définitives (EN) est actuellement engagée : leur publication en 2000 ou 2001 devrait déclencher le retrait progressif des textes nationaux homologues. Pour le calcul des ponts, le tableau de la figure 96 précise, à la date d'octobre 1998, la correspondance actuelle et future entre les règles françaises et les normes européennes, y compris les règles sur les matériaux.

Les actions dues au trafic, traitées dans l'ENV 1991-3 (et dans la future EN 1991-2), couvrent les ponts-routes, les passerelles et les ponts-rails. Pour ce qui est des ponts-routes et des passerelles, le DAN définit les modalités d'emploi de cet Eurocode avec les règles BAEL, BPEL, le Fascicule 61 Titre V du CPC et la Circulaire sur les ponts-mixtes acier-béton. Contrairement au Fascicule 61 Titre II du CPC, il ne traite pas des charges militaires, étant entendu que, pour un ouvrage particulier, c'est à l'autorité compétente de définir les conditions d'exploitation de son ouvrage (CCTP ou spécifications du projet). Par contre, il propose des modèles de charges exceptionnelles et les conditions d'application de ces modèles, la sélection étant toujours faite par l'autorité compétente ou, selon le vocabulaire employé dans les Eurocodes, le "client".

	TEXTES NATIONAUX	NORMES EUROPEENNES PROVISOIRES (ENV)	NORMES EUROPEENNES DEFINITIVES (EN)
Format général des justifications	Circulaire n° 79-25 du 13 Mars 1979 : "Instruction technique sur les directives communes de 1979 relatives au calcul des constructions".	ENV 1991-1 : Bases de calcul	EN 1990 : Bases de calcul <i>conversion en cours</i>
Evaluation des actions permanentes	Circulaire n° 79-25 du 13 Mars 1979 : "Instruction technique sur les directives communes de 1979 relatives au calcul des constructions".	ENV 1991-2.1 : Poids propre, densités et charges sur les planchers de bâtiments	EN 1991-1.1 Poids propre, densités et charges sur les planchers de bâtiments <i>conversion en cours</i>
Evaluation des actions variables	Fascicule 61 Titre II du CPC : programme de charges et épreuves des ponts routiers. Livret 2.01 de la SNCF pour les ponts ferroviaires. Fascicule 61 Titre III du CPC : programme de charges et épreuves des ponts-canaux. Guide AFPS 92	ENV 1991 : Partie 2.3 : Actions dues à la neige Partie 2.4 : Actions dues au vent Partie 2.5 : Actions thermiques Partie 2.6 : Actions en cours de construction Partie 2.7 : Actions accidentelles dues aux chocs et explosions Partie 3 : Actions dues au trafic sur les ponts. ENV 1998 : Parties 1 et 2 : Actions sismiques	EN 1991 : Partie 1.3 : Actions dues à la neige <i>conversion en cours</i> Partie 1.4 : Actions dues au vent <i>conversion en cours</i> Partie 1.5 : Actions thermiques Partie 1.6 : Actions en cours de construction Partie 1.7 : Actions accidentelles dues aux chocs et explosions Partie 2 : Actions dues au trafic sur les ponts. <i>début de conversion en 1999</i> EN 1998 : Parties 1 et 2 : Actions sismiques <i>conversion de la partie 1 en 1999</i>
Ponts en béton armé	Fascicule 62 Titre I Section I du CCTG : Règles BAEL 91.	ENV 1992 : Parties 1.1 et 2	EN 1992 : Parties 1.1 et 2 <i>conversion de la partie 1 en cours</i>
Ponts en béton précontraint	Fascicule 62 Titre I Section II du CCTG : Règles BPEL 91	ENV 1992 : Parties 1.1 et 2	EN 1992 : Parties 1.1 et 2 <i>conversion de la partie 1 en cours</i>
Ponts métalliques	Fascicule 61 Titre V du CPC : conception et calcul des ponts et constructions métalliques en acier.	ENV 1993 : Parties 1 et 2	EN 1993 : Parties 1 et 2 <i>conversion de la partie 1 en cours</i>
Ponts-mixtes acier béton	Circulaire 81-63 du 28/7/1981 relative au règlement de calcul des ponts-mixtes	ENV 1994 : Parties 1 et 2	EN 1994 : Parties 1 et 2 <i>conversion de la partie 1 en cours</i>
Ponts en bois	Règles CB71 et modificatif 1975	ENV 1995 : Parties 1 et 2	EN 1995 : Parties 1 et 2 <i>conversion de la partie 1 en cours</i>
Fondations	Fascicule 62 Titre V du CCTG : règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil.	ENV 1997 ENV 1992 Partie 3 : fondations en béton ENV 1993 Partie 5 : pieux et palplanches métalliques	EN 1997 : Calcul géotechnique <i>conversion en 1999</i> ENV 1991 Partie 3 : en cours d'incorporation dans EN 1992-1

Figure 96 - Correspondance actuelle et future entre les règles françaises et les normes européennes

En ce qui concerne les actions accidentelles, on retrouve à peu près, dans l'ENV 1991-3, les éléments contenus dans les règles françaises (CPC, CCTG, règles SETRA) pour ce qui est des chocs de véhicules routiers sur les dispositifs de retenue et sur les piles de ponts. Par contre, l'ENV 1991-2.7 (Actions accidentelles dues au chocs et aux explosions) va nettement plus loin, en particulier en :

- différenciant les chocs de véhicules routiers sur piles de ponts selon le site de l'ouvrage (route, autoroute, site urbain, etc.),
- définissant un choc de véhicule routier sur les tabliers de ponts,
- définissant les chocs de bateaux et de navires contre les obstacles fixes implantés en voie navigable ou en site maritime.

L'attention des projeteurs est attirée sur les points suivants :

- A la fois sur le plan technique et le plan conceptuel, les Eurocodes sont des textes plus modernes que les textes nationaux équivalents, en particulier en matière d'actions. Leur emploi ne peut être que recommandé dans la mesure où ils sont effectivement transposés en normes AFNOR à travers un DAN soigneusement élaboré.
- Les Eurocodes sont des normes, donc des textes très différents du CCTG. En principe, en vertu de leur statut actuel, on ne peut déroger aux normes : on ne peut que les compléter là où elles ont été rédigées avec une souplesse suffisante pour offrir au projeteur une certaine liberté de choix.
- Les Eurocodes sont des textes dont la lecture, pour de multiples raisons, est nettement plus difficile que celle des textes nationaux équivalents. Il est donc conseillé, dans l'immédiat, de ne les employer qu'à titre expérimental et en liaison avec les spécialistes du SETRA ou des CETE.

Les différents Eurocodes ont déjà fait l'objet de séminaires de formation et de publications. Citons, à titre d'information, les bulletins n° 23, 24 et 26 de la revue Ouvrages d'Art du SETRA.

2.2.5 - Données d'exploitation en construction

Le maître d'œuvre a l'obligation de prévoir et de contrôler l'impact du chantier en termes de :

- sécurité vis-à-vis des tiers, des usagers des voies concernées, et vis-à-vis du personnel du chantier,
- fonctionnalité des infrastructures plus ou moins directement impliquées dans les travaux, ainsi que celle des réseaux de communication, assainissement,
- confort des riverains et des usagers des installations voisines,
- charges en phase de travaux.

Ces différents aspects concernent également les interventions ultérieures sur l'ouvrage dans le cadre de son entretien ou de réparations.

2.2.5.1 - La sécurité

Un accident en phase d'exécution peut engager dans certains cas la responsabilité pénale du maître d'œuvre et du maître d'ouvrage. Ce dernier s'appuiera sur les services du coordonnateur en matière de sécurité et de protection de la santé dès la phase de conception du projet.

Le droit fait la distinction entre les **usagers** d'une infrastructure et les **tiers** dont la présence à proximité d'un chantier n'est pas liée à l'usage normal ou à la maintenance des infrastructures concernées. Leur sécurité doit être soigneusement analysée et assurée, car ils ne sont pas censés être avertis des travaux, ni même faire preuve du moindre surcroît d'attention.



Figure 97 - La sécurité du chantier

Cela nécessite de pouvoir contrôler tous les accès au chantier (clôture s'il est possible de clore complètement le chantier, gardiennage), d'interdire certaines zones jugées dangereuses (risque de chute d'objets) et demande une protection de résistance satisfaisante et bien entretenue. Ce type de précautions doit faire l'objet de prescriptions particulières dans la rédaction du

marché. Elle concerne généralement peu le projecteur Ouvrages d'Art dans sa démarche de conception.

La sécurité vis-à-vis des usagers doit être prise en compte suffisamment en amont des études de conception. On n'envisage pas en effet le même éventail de solutions d'ouvrages suivant le type de voies à franchir et leur niveau de fréquentation. Le chapitre 3 relatif aux marges disponibles pour concevoir un ouvrage à partir de l'ensemble des données du projet présente quelques solutions, mais il laisse aux responsables une certaine marge de liberté pour apprécier les mesures à prendre suivant les situations rencontrées et les moyens disponibles. En tout état de cause, il sera nécessaire pour garantir la sécurité de l'usager de ne pas négliger la signalisation et l'éclairage du chantier, le but étant, contrairement au cas du tiers, de convaincre l'usager de modifier son comportement pour l'adapter à une situation qui lui est inhabituelle. L'esprit et les principes de la signalisation temporaire, définie par la 8ème partie du livre I de l'Instruction Interministérielle sur la signalisation routière [14], sont présentés dans le guide technique "Manuel du Chef de Chantier" du SETRA [16].

Dans le cas de voies autres que routières, le maître d'œuvre s'adressera au gestionnaire de la voie. Sur certains cours d'eau, une signalisation particulière peut être exigée de jour, mais aussi de nuit. Des dispositions visant à éviter la chute d'objets qui peuvent non seulement créer des accidents corporels, mais aussi des incidents dus aux produits dangereux transportés par les barges (gaz liquéfiés, essence, produits chimiques, ...) ou les trains peuvent être imposées et nécessiter les dispositions adéquates au niveau de la conception de l'ouvrage ou de la rédaction du marché.



Figure 98 - La sécurité

La sécurité des agents travaillant sur le chantier fait partie des missions qui incombent au coordonnateur en matière de sécurité et de protection de la santé et nous renvoyons le lecteur de ce guide au texte de loi [8] qui régleme son intervention. Nous attirons l'attention du maître d'œuvre et du projecteur sur le fait que certaines dispositions d'emprises de chantier ou liées à la méthode de construction peuvent nécessiter pour préserver la sécurité du personnel de prévoir la réalisation d'ouvrages provisoires (estacades, passerelles) dont la conception doit faire l'objet d'un contrôle.

Rappelons également que le recours à un coordonnateur n'est pas nécessaire si une seule entreprise intervient.

2.2.5.2 - La fonctionnalité des réseaux et voies

Le programme d'un ouvrage doit comprendre l'ensemble des données relatives à l'exploitation des voies concernées par le chantier et, dans la mesure du possible, les contraintes de réseau des concessionnaires.

Le maître d'œuvre choisit et met en œuvre sa politique de gestion de la circulation aux abords du chantier, en accord avec le maître d'ouvrage et les gestionnaires concernés. Il peut être décidé de couper certaines voies, de les dévier ou de les maintenir en place. Des coupures partielles (souvent de nuit), des ralentissements pour les voies ferrées ou des restrictions de voies ou de gabarits sont une autre solution. Ces contraintes se traduisent en termes de coût, de délai, de période d'intervention ou de fluidité de trafic. Elles peuvent fixer le mode de réalisation de l'ouvrage et le phasage des travaux. Elles exigent en tous cas, une organisation particulière des gestionnaires qui demandent parfois des préavis importants.

Enfin, l'emprise du chantier et les installations provisoires doivent être compatibles avec de bonnes conditions d'accès du chantier. Il arrive que des solutions soient abandonnées en raison de la mauvaise accessibilité de certaines zones de chantier.

En zone urbaine, le cheminement piéton est un réel souci. Il doit apparaître clairement et des précautions particulières seront prises vis-à-vis des risques de chutes d'objet ou de matériaux, de salissures, de la proximité des autres voies de circulation. Le piéton ne doit pas être incité à prendre des raccourcis et doit avoir une bonne visibilité.

2.2.5.3 - Le confort des riverains

Un chantier induit inmanquablement un surcroît d'agitation, de bruit, de salissure, d'encombrement, de vibrations parfois.

L'ensemble de ces nuisances, qui perturbent le confort et l'esthétique d'un site, doit être analysé vis-à-vis des riverains. Les dispositions prises, en particulier au titre des engagements de l'Etat, peuvent se traduire par des restrictions sur les techniques d'exécution, sur les déplacements autorisés, le rythme de travail et sur les phasages de réalisation. C'est souvent le cas en zone urbaine.



Figure 99 - Le confort des riverains

2.2.5.4 - Charges de chantier

Il est prudent de tenir compte des engins de chantier particulièrement lourds pour le dimensionnement des ouvrages en veillant à intégrer les besoins de circulation nécessaires à la réalisation de l'ensemble de l'opération routière.



Figure 100 - Charges de chantier

La directive provisoire sur l'admission éventuelle des engins lourds de terrassement sur les ouvrages, de janvier 1970 (directive DELTA 70) [91], fixe quelques règles :

- les ouvrages qui ont été dimensionnés pour les seules charges d'exploitation réglementaires peuvent admettre des engins de 15 m³ de capacité maximale.
- pour des engins allant jusqu'à 23 m³ de capacité maximale, il convient :
 - de protéger le tablier par environ 20 cm de terre avant mise en place des superstructures (chape, revêtement, trottoir, ...),
 - de limiter à un seul le nombre des engins admis à circuler en même temps sur l'ouvrage et de prévoir des dispositions garantissant cette limitation,
 - de limiter le passage des engins sur la moitié centrale de la largeur du tablier,
 - de limiter la vitesse de l'engin à 10 ou 5 km/h.

Cette directive définit également les caractéristiques de deux engins types de 23 m³ et 34 m³ pour la justification par le calcul. Ces convois intègrent un coefficient de majoration dynamique de 1,5.

Il est important de rappeler la capacité portante réglementaire des structures dans les appels d'offres. Il est de plus conseillé au maître d'œuvre d'inviter les entreprises appelées à soumissionner pour un marché de terrassements à préciser au moins la capacité des engins lourds de terrassement qu'elles prévoient d'utiliser. De même, il importe de préciser les cheminements des engins et de conserver une bonne qualité de roulement aux pistes de chantier.

En tout état de cause, la prise en compte de ces charges de chantier est généralement dimensionnante et se traduit donc par un surcoût de l'ouvrage. Le maître d'ouvrage doit faire son choix dès les études de conception et le préciser dans le programme.

2.3 - LES DONNEES NATURELLES

Les données naturelles rassemblent l'ensemble des éléments techniques de l'environnement influant directement sur la structure. Il peut s'agir de paramètres sur lesquels la construction de l'ouvrage va agir en modifiant le milieu naturel préexistant (solicitation des terrains, modification des écoulements, ...) ou de données agissant directement sur le dimensionnement et la conception de l'ouvrage (effet d'un cours d'eau, de la neige, du vent, ...).

Le projeteur ouvrages d'art s'attachera à collecter l'ensemble des différentes données nécessaires pour son projet :

- données relatives au terrain naturel (topographie),
- données relatives au sol (données géologiques et géotechniques),
- données ou caractéristiques hydrauliques,
- données climatiques,
- données sismiques.

2.3.1 - Topographie du terrain naturel

L'analyse de la topographie du site permet au projeteur d'implanter correctement l'ouvrage en tenant compte des courbes de niveau, des accès possibles pour les différentes parties de l'ouvrage, des mouvements de terre nécessaires, des possibilités d'implantation des installations de chantier ou d'aires de préfabrication.

2.3.1.1 - L'altimétrie

L'attention du projeteur est particulièrement attirée sur l'existence de deux réseaux de nivellement :

- le réseau Lallemand établi de 1880 à 1910 est appelé **NGF-Lallemand, "altitudes orthométriques"**.
- le réseau IGN établi de 1962 à 1969 est appelé **NGF-IGN 1969 et 1978, "altitudes normales"**. Il se substitue à l'ancien réseau.

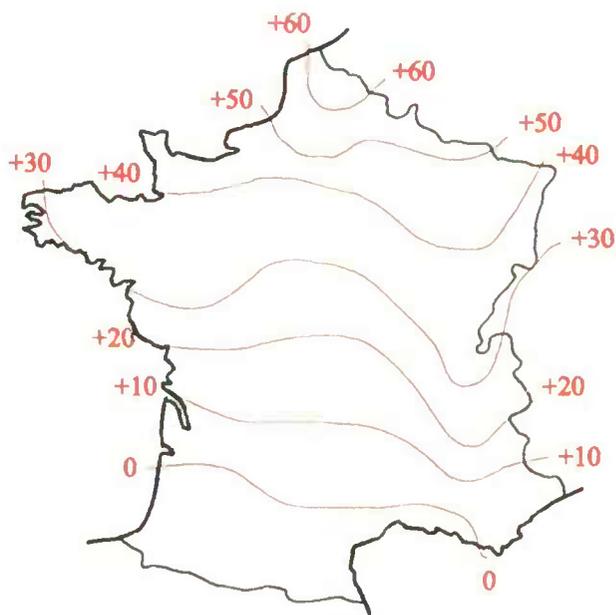
Actuellement les géomètres utilisent systématiquement le réseau NGF-IGN 1969 et indiquent dans un cartouche la mention : **altitudes normales**.

Par contre certaines administrations ont conservé l'ancien système. A titre d'exemple, à la date du présent guide, les repères de la ville de Paris sont en **altitudes orthométriques**.

Signalons également le cas particulier du domaine maritime qui exploite un référentiel de cartes marines dont l'origine correspond à la "laisse de plus basses eaux".

Pratiquement, les altitudes des repères du nouveau réseau (IGN 69) se déduisent des altitudes orthométriques par ajout d'une quantité variable suivant les secteurs. Par exemple en région parisienne la quantité qu'il faut ajouter à l'ancien nivellement pour obtenir le nouveau nivellement varie de 33 à 39 cm. A Dunkerque la valeur à prendre en compte est de l'ordre de 60 cm. Les valeurs de correction sont donc loin d'être négligeables.

La carte ci-contre indique les différences, exprimées en centimètres, entre les altitudes nouvelles "IGN 1969" et les altitudes anciennes "Lallemand".



Il est donc très important dans le cas où un document ne porterait aucune mention particulière renseignant sur la nature du réseau utilisé à l'époque, que le projeteur se rapproche du géomètre du service d'où provient le document, et le cas échéant de l'IGN.

Quant aux documents produits par un projeteur, ils devront renseigner les futurs utilisateurs sur le type de nivellement employé par une mention appropriée.

2.3.1.2 - La planimétrie

Le système légal français de planimétrie est la **Nouvelle Triangulation Française (NTF)** réalisée par géodésie classique (triangulation) de 1898 à 1991. Ce système est exprimé en coordonnées planes **Lambert I, II, III et IV** suivant un zonage géographique de la France (figure ci-dessous).

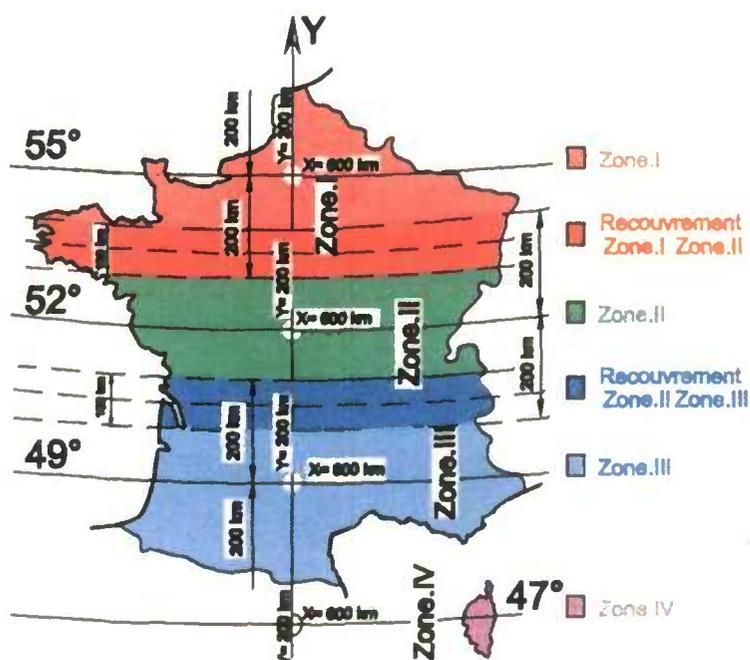


Figure 101 : Les zones Lambert

Le partage de la France en zones Lambert comprend des zones de recouvrement où deux systèmes de coordonnées sont possibles. Lorsqu'un projet se trouve dans une telle zone, il convient de choisir un même système de coordonnées pour la totalité du projet.

La cohérence locale de ce système est suffisante pour des travaux topométriques classiques.

Cependant, grâce au développement des méthodes de positionnement par GPS (Global Positioning System), un système géocentrique et tridimensionnel, de précision centimétrique appelé **RGF 93 : Réseau Géodésique Français**, lancé depuis 1993 par le SGN (Service de Géodésie et de Nivellement de l'IGN), est en cours d'élaboration. Ce système est la réalisation nationale du système européen recommandé par l'Association Internationale de Géodésie. Il n'est pas encore réglementaire en France car il s'agit désormais d'établir une nouvelle base de données des points géodésiques. Cependant, l'IGN communique déjà certains points géodésiques dans le système RGF 93.

Malgré la haute précision des coordonnées RGF 93, les utilisateurs ont besoin de coordonnées en projection plane. Ainsi, une nouvelle projection appelée **Lambert-93**, qui exprime les coordonnées RGF 93 en coordonnées planes, est mise en place progressivement. Cette dernière a l'avantage d'être unique sur tout le territoire mais possède des altérations linéaires non négligeables dans les zones extrêmes nord et sud de la France. Comme pour le système RGF, ce système est en cours d'élaboration.

Compte tenu des tendances actuelles, nous conseillons au projeteur de se faire préciser et de reproduire sur chaque plan topographique ou plan d'implantation le système de coordonnées en projection plane utilisé. Rappelons qu'à la date de parution du présent guide, la règle est de travailler en **NTF (Lambert I, II, III et IV)** sur les documents réglementaires même si les habitudes vont peut-être changer.

2.3.2 - Données géologiques et reconnaissance géotechnique

Une bonne connaissance des caractéristiques des terrains est indispensable. Non seulement les données géotechniques conditionnent le choix des fondations des appuis, mais elles constituent l'un des éléments du choix de la solution pour le franchissement.

Comme pour le projet lui même, la reconnaissance géotechnique doit normalement être menée en plusieurs étapes. L'essentiel est d'avoir un niveau d'investigations adapté à l'avancement des études. A cet égard, il faut souligner que, dans le cas des ouvrages courants, le coût de la reconnaissance géotechnique représente un pourcentage non négligeable du coût total.

2.3.2.1 - L'objectif

L'objectif de la reconnaissance géotechnique est la meilleure connaissance possible, qualitative et quantitative, des terrains concernés par le projet, y compris de tous phénomènes liés à la présence éventuelle d'eau dans ces terrains. Les caractéristiques généralement nécessaires sont les suivantes :

- la position, l'épaisseur et l'homogénéité de toutes les couches de sols susceptibles d'être intéressées par les fondations ; en particulier, la présence éventuelle d'accidents géologiques, comme des karsts, vides de dissolution de gypses, etc.,

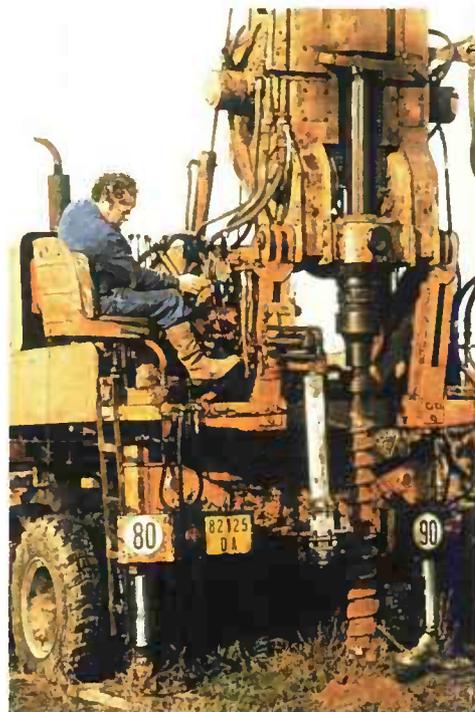
- les paramètres de résistance (paramètres mécaniques) des sols, qui permettront d'étudier la capacité portante des fondations, ou encore les conditions et méthodes d'exécution (possibilité de battre des palplanches, par exemple, en fonction de la dureté ou de la compacité des terrains, de la présence de blocs dans un terrain alluvionnaire),
- les paramètres rhéologiques des sols, nécessaires pour évaluer les déplacements et déformations sous les fondations : tassements, déplacements latéraux,
- les niveaux de nappes, venues d'eaux, perméabilités des terrains, indispensables tant pour les calculs des fondations, que pour l'étude des méthodes d'exécution (possibilité de mise à sec par épaissements, estimation des débits à évacuer, etc.),
- enfin, tout autre paramètre lié à des contextes particuliers : par exemple, en site montagneux, les failles ou diaclases, le pendage de rocher, les zones d'instabilités (éboulis, ...) ; en site aquatique, les paramètres des sols permettant l'étude des phénomènes d'affouillements et d'érosion ; les précautions particulières dans les zones d'affaissements miniers ; le comportement des sols en zone sismique (liquéfaction), etc.

2.3.2.2 - Différents types de sondages, d'essais et d'études

Les principaux moyens disponibles pour une reconnaissance géotechnique sont décrits dans le dossier-pilote FOND 72 [95].

Ils font aujourd'hui pour la plupart l'objet de normes NF auxquelles il convient de faire référence.

Figure 102 - Sondage in situ



De manière synthétique, il s'agit :

- de sondages et essais *in-situ*, parmi lesquels :
 - sondages géophysiques,
 - sondages destructifs, à la tarière ou par forages, sondages carottés,
 - essais au pénétromètre (dynamique, statique), au scissomètre,
 - essais pressiométriques,
 - essais hydrauliques : piézomètre, essais de pompage.

- d'essais en laboratoire sur des échantillons de sols prélevés en place, remaniés ou non, selon le mode de prélèvement, parmi lesquels :
 - essais d'identification : granulométrie, densités, teneur en eau, indice des vides, indice de plasticité, etc.
 - essais de cisaillement : à la boîte, au triaxial,
 - essais de compressibilité (œdomètre).

2.3.2.3 - Les intervenants et la mise au point du programme.

La reconnaissance géotechnique fait l'objet, en principe, d'une commande à un ou des prestataires extérieurs (entreprises de sondages ou laboratoires spécialisés) choisis par le maître d'œuvre.

Le maître d'œuvre a la responsabilité de la définition du programme de la reconnaissance géotechnique, du suivi de son exécution, et de l'exploitation de ses résultats.

Le déroulement de la reconnaissance proprement dite est sous la responsabilité de l'organisme retenu par le maître d'ouvrage.

Il apparaît que, dès la mise au point, un programme de reconnaissance géotechnique nécessite l'intervention de spécialistes de ce domaine, géotechniciens mais aussi géologues. Dans certains cas, par exemple celui des fondations au rocher, l'intervention de spécialistes est encore plus nécessaire. De plus, compte tenu de la nature des prestations possibles, essais in situ ou en laboratoires, études théoriques, il n'est pas rare d'avoir à faire à différents intervenants.

Il est possible de confier séparément les prestations in situ à une ou deux entreprises spécialisées en fonction de la nature de ces prestations, et celles plus théoriques à un laboratoire, ce dernier pouvant être chargé de l'interprétation finale des résultats des autres prestataires.

2.3.2.4 - Coordination entre reconnaissance et études des ouvrages

Outre un programme correctement défini, la qualité et l'efficacité d'une reconnaissance géotechnique nécessitent que son déroulement soit réellement coordonné avec les études techniques de l'ouvrage : il reste fréquent que le projet de structure précède les études de sols, ce qui amène le projeteur, soit à prendre des risques vis-à-vis de phénomènes ou de caractéristiques dont il n'a pas pu avoir connaissance, soit à surdimensionner les fondations de son ouvrage, sans pour autant, d'ailleurs, garantir des coefficients de sécurité satisfaisants.

En effet, le maître d'œuvre, gestionnaire technique et financier de l'opération, doit posséder une parfaite maîtrise des phases de reconnaissances géotechniques, notamment :

- état d'avancement : sondages et essais effectués, et restant à faire,
- synthèses partielles des résultats déjà acquis,
- coûts partiels engendrés.

Ces éléments doivent lui permettre, à chaque instant, de décider, si nécessaire, des modifications du programme initial, par exemple un accroissement de ce programme, en cas

de découvertes de problèmes ou anomalies géologiques (failles, karsts, etc.), ou de modifier le plus tôt possible le projet lui-même, voire déplacer l'ouvrage.

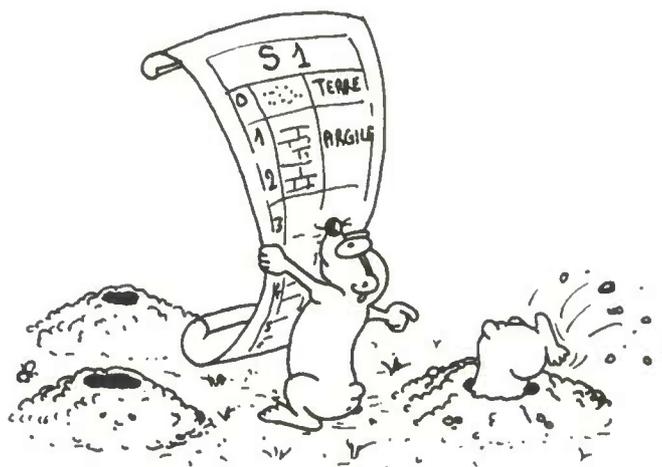


Figure 103 - Sondage géotechnique

Cette adaptabilité nécessite une collaboration permanente et sans faille entre maître d'œuvre et organisme chargé de la reconnaissance. Elle suppose une bonne compréhension mutuelle, obtenue, en général :

- de la part du maître d'œuvre, par son association avec un spécialiste,
- de la part du prestataire, par l'information permanente du maître d'œuvre, notamment par la remise de rapports partiels, et une bonne standardisation de la présentation des résultats à chaque stade de la reconnaissance.

Pour remplir ces objectifs, la reconnaissance géotechnique doit être conduite de manière progressive, et son contenu doit être adapté, à chaque phase, aux besoins du projet.

Dans ce cadre général, on prévoit habituellement trois phases successives de reconnaissance, l'**enquête préalable**, la **reconnaissance dite normale** et la **reconnaissance dite spécifique**.

Eventuellement, dans le cas où les ouvrages en projet font partie d'une voie nouvelle, cette reconnaissance propre aux fondations a pu être précédée d'une reconnaissance dite reconnaissance générale de tracé. Celle-ci n'est pas propre aux ouvrages, et nous renvoyons le lecteur aux guides méthodologiques concernant les reconnaissances de projets routiers [95].

Ces trois phases de reconnaissance géotechnique sont mises en œuvre parallèlement aux études des ouvrages, selon les correspondances suivantes, dont on ne s'écarter en pratique qu'exceptionnellement :

- | | | |
|--------------------------|--------|-------------------------------|
| - Enquête préalable | APS | cas des ouvrages courants |
| | EPOA | cas des ouvrages non courants |
| - Reconnaissance normale | Projet | cas des ouvrages courants |
| | POA | ouvrages non courants |

- Reconnaissance spécifique A cheval entre Projet / POA et DCE ou plus tôt si des problèmes spécifiques ont été identifiés et si le tracé est fixé (POA ou EPOA).

Pour des ouvrages en site urbain, où l'importance des sujétions de tracé est majeure, la confirmation de la possibilité d'implantation des appuis doit intervenir au plus tôt : les étapes de la reconnaissance peuvent alors être avancées d'une phase d'étude du projet (reconnaissance normale dès le stade APS).

Signalons enfin toute l'importance qu'il faut accorder, dans le déroulement type ci-dessus, au démarrage de la reconnaissance, puisqu'il doit permettre très tôt de donner des éléments décisifs sur la suite même des sondages.

C'est pourquoi l'intervention d'un géologue pour la définition du programme initial est toujours souhaitable : lui seul pourra donner des indications sur la nature et la densité des sondages de la première phase de la reconnaissance, en fonction de la puissance supposée des diverses couches de terrains, de leur altération, et de phénomènes annexes (éboulis, discontinuités, etc.).

2.3.2.5 - Etapes de la reconnaissance

a) L'enquête préalable (1ère étape)

Elle a pour but de réunir tous les renseignements disponibles sur les sols au voisinage de l'ouvrage à construire, pour permettre l'élaboration de l'APS (ou de l'EPOA). Elle doit fournir les données nécessaires à une pré-étude des fondations, c'est-à-dire définir le principe des fondations et donner des indications sur les difficultés prévisibles, de conception ou d'exécution, en vue d'une estimation sommaire du coût de l'ouvrage.

Néanmoins, il importe de ne pas engager à ce stade de dépenses excessives sur des sondages qui seraient inutiles en cas de changement de tracé.

• Moyens habituels de l'enquête préalable

- Etude géologique : carte géologique, examen des affleurements, archives diverses, photos aériennes, etc. En principe, on trouvera auprès du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) des renseignements géologiques locaux.
- Enquête locale à partir de précédents, d'ouvrages voisins, recensement de sources d'eau connues, puits, etc. L'interrogation des riverains peut parfois fournir des informations précieuses sur des particularités ou phénomènes plus ou moins connus de mémoire d'homme, ou par la tradition (par exemple, l'existence d'anciennes fontaines), interrogation des archéologues.
- Eventuellement, résultats de sondages simples, à la tarière notamment, ou d'essais de géophysique de dégrossissage (existence, position et nature probables du substratum, indications sur les couches supérieures, ...).
- Enfin, si elle est disponible, la reconnaissance générale de tracé fournira des renseignements utiles (sondages les plus proches).

- *Résultats de l'enquête préalable*

Les résultats qualitatifs et quantitatifs de cette première étape de la reconnaissance doivent être suffisants pour permettre de déterminer :

- un niveau d'appui probable,
- un prédimensionnement des fondations, et une estimation sommaire de leur coût,
- une estimation des difficultés prévisibles, et de leur incidence financière.

Dès cette première phase, la nécessité ou non d'une reconnaissance spécifique ultérieure doit être conclue en cas d'anomalies géologiques ou géotechniques : sites instables, sols compressibles ou de très mauvaises caractéristiques, etc.



Figure 104 - Sonde pressiométrique

Le rapport établi par le laboratoire chargé de l'enquête préalable doit fournir au moins les éléments ci-après :

- *la coupe géologique du site* (1/5000 en longueur, 1/500 en hauteur),
- *une analyse stratigraphique* : succession et puissance des diverses couches de sols, genèse,
- *une analyse tectonique* : discontinuités, éboulis, failles, anisotropies,
- *une analyse géomorphologique* : indications sur l'altérabilité, l'instabilité,
- *une analyse hydrogéologique*,
- *les points d'incertitude*,
- *un principe et un prédimensionnement des fondations*,
- *la nature et la consistance probables de la reconnaissance normale (2ème étape)*.

b) La reconnaissance "normale" (2ème étape)

Dans la plupart des cas, cette deuxième étape de la reconnaissance géotechnique doit clore les investigations de sols, sauf en cas d'anomalies ou difficultés particulières, rendant nécessaire une reconnaissance spécifique.

Elle doit permettre :

- le dimensionnement complet des fondations,
- de définir les principes d'exécution,

- de faire une estimation précise du coût des fondations.

Il en résulte que la reconnaissance normale doit être la plus complète et la plus précise possible, pour mettre en évidence la structure complète du site au voisinage de l'ouvrage à construire :

- nature de tous les sols rencontrés, géométrie des couches, degré d'homogénéité,
- régimes hydrauliques,
- anomalies : cavités souterraines, sols compressibles, etc.

• *Moyens de la reconnaissance normale*

Tous les moyens habituels de la géologie et de la géotechnique, qui ont été brièvement rappelés ci-dessus, sont susceptibles d'être employés à ce stade de la reconnaissance.

En pratique, les coûts des divers essais et sondages, amènent à prévoir un panachage entre des sondages et essais qualitatifs, en général peu onéreux, et des sondages et essais quantitatifs, en principe plus chers.

De même, leur nombre et leur implantation doivent être définis avec discernement, étant donné que la zone d'influence d'un sondage ou d'un essai, c'est-à-dire le volume de sols pour lequel ce sondage ou cet essai est réellement représentatif, dépend de l'homogénéité du site et ne peut être réellement appréciée qu'après la réalisation d'un nombre suffisant d'investigations.

Compte tenu de la diversité des sondages et essais possibles, et de l'originalité de chaque cas d'espèce, selon le degré d'homogénéité des terrains, les risques d'anomalies géologiques, les différents types de structures d'ouvrages possibles, etc. , il ne peut être question de fournir, ici, une description type d'une reconnaissance normale.

Cependant, nous donnons ci-après quelques indications très générales sur les sondages et essais *in-situ*, susceptibles d'aider, dans beaucoup de cas, à une pré-définition d'un programme de reconnaissance normale. Ces grandes lignes doivent être complétées chaque fois que des singularités se présentent, notamment par d'autres types d'essais, moins fréquents, mais très utiles pour résoudre certains problèmes. En particulier, les essais de laboratoire constituent des compléments indispensables ; leur emploi ne peut pas être schématisé dans le cadre du présent document.

Nature des sondages in-situ le plus couramment utilisés

- **Sondages destructifs**, à la tarière en terrains meubles, ou par forage avec enregistrement des paramètres : rapides et peu onéreux, ils permettent une bonne approche initiale de la qualité des terrains et de leur homogénéité. En particulier, dans le cas où l'implantation de l'ouvrage n'est pas définie, ils permettent de déterminer la meilleure position des appuis.
- **Sondages carottés**, avec prélèvements d'échantillons intacts de sols : toujours prévus, mais en faible nombre, compte tenu de leur prix, en vue d'essais en laboratoire notamment.

- **Sondages pressiométrique**, avec essais tous les mètres : bien adaptés pour le dimensionnement des fondations superficielles aussi bine que profondes et sont les essais les plus utilisés dans ce but en France. Ils permettent également une estimation des tassements d'une fondation superficielle en terrain homogène et peu compressible.

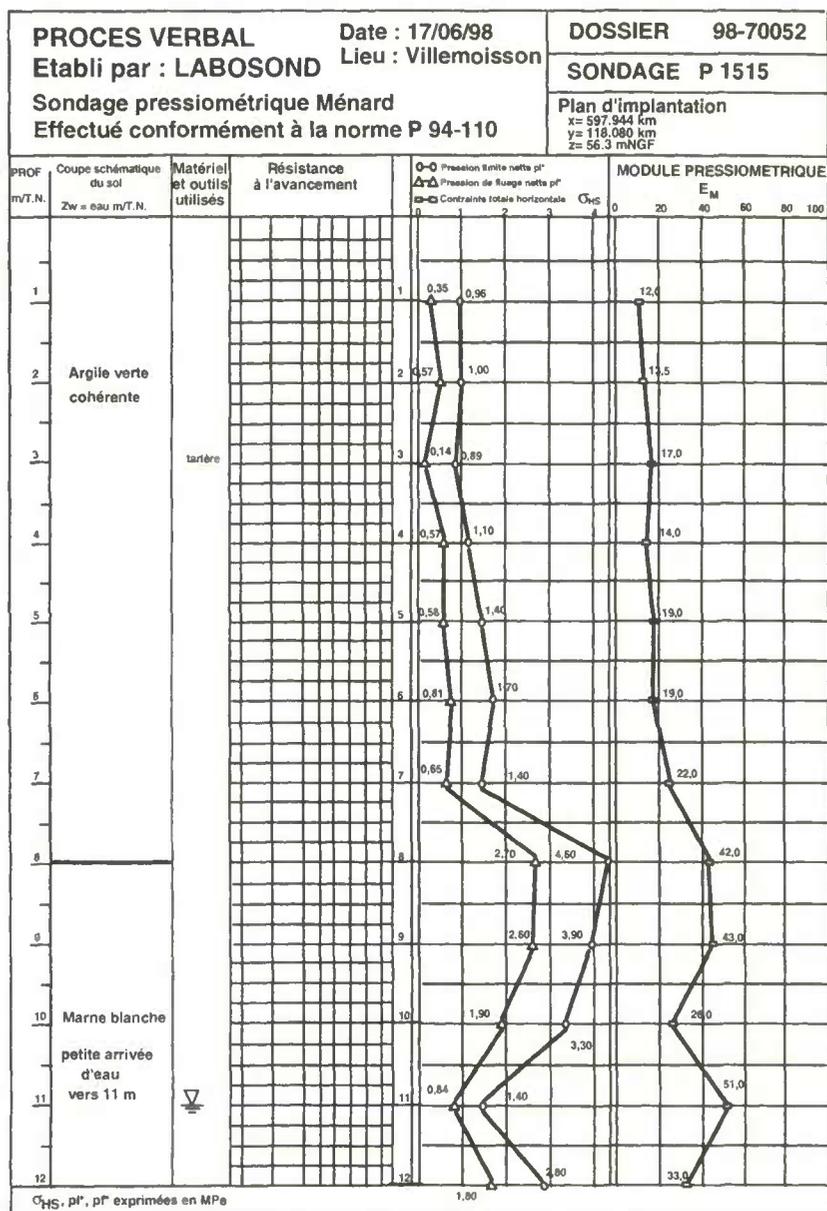


Figure 105 - Coupe de sondage pressiométrique

- **Sondages pénétrométriques** (statiques ou dynamiques) : également très utilisés, principalement pour des résultats qualitatifs sur la résistance des terrains. Ils peuvent être également utilisés pour déterminer le niveau porteur et la capacité portante d'une fondation profonde (pénétromètre dynamique).
- **Piézomètres**, en cas de nappes ou venues d'eaux.

A noter que dans le cas de formations rocheuses, certaines configurations peuvent rendre des études particulières nécessaires qui ne sont pas développées ici et les conseils d'un spécialiste sont indispensables.

Nombre et implantation des sondages

Compte tenu des zones d'influence attachées à un sondage donné, il est d'usage de distinguer les ouvrages longs, de portées supérieures à 15 m environ, et les ouvrages larges, dont la largeur utile est supérieure à une quinzaine de mètres. Un ouvrage pouvant être long et large à la fois. Les indications de ce paragraphe concernent des ouvrages courants routiers.

L'Eurocode 7 fournit les précisions suivantes : "dans le cas des ouvrages couvrant une grande surface, les points de reconnaissance peuvent être placés selon un maillage. La distance normale des points de reconnaissance est de 20 m à 40 m. Lorsque les conditions de terrain sont uniformes, les forages ou les puits de reconnaissance peuvent être remplacés en partie par des essais de pénétration ou des sondages géophysiques".

Dans le cas des ouvrages longs

Il convient d'effectuer :

- des sondages dans l'axe de l'ouvrage, centrés sur les appuis,
- au moins un sondage par appui, dont au moins un sondage carotté au droit d'une culée,
- un sondage pressiométrique au moins tous les deux appuis (tous les appuis dans le cas d'un ouvrage non courant) ,
- si le type de fondation n'est pas arrêté, au moins trois sondages pressiométriques par ouvrage,
- alternance sondage pressiométrique/pénétrométrique/destructif (tarière - forage).

Si des discontinuités géotechniques singulières apparaissent au vu des premiers sondages, on les complétera à raison d'un sondage de plus par appui.

En cas de forte hétérogénéité ou anomalies (karsts, failles), on pourra effectuer plusieurs sondages destructifs complémentaires sous chaque appui pour "encadrer" les anomalies. A ce stade, de tels compléments, s'ils sont envisageables, pourront permettre d'éviter une reconnaissance spécifique.

Dans le cas des ouvrages larges

Mêmes principes généraux, mais on cherchera, en plus, à obtenir un profil transversal du terrain, en augmentant le nombre de sondages. Par exemple :

- 2 sondages à chaque culée,
- 2 sondages au lieu d'un seul, 1 appui sur 2.

Profondeur des sondages

Fondations superficielles

- Au moins 3 fois la largeur de la semelle sous le niveau d'assise ; soit environ 5 m pour des ponts courants. Il convient normalement de reconnaître des profondeurs plus importantes pour certains points de reconnaissance afin d'estimer les conditions de tassements et les problèmes éventuels liés aux eaux souterraines.

Fondations profondes travaillant principalement en pointe

- En terrain meuble, 5 diamètres sous le niveau de la pointe, ou 1,5 fois la largeur du groupe d'éléments si on craint des couches inférieures de moins bonnes caractéristiques.

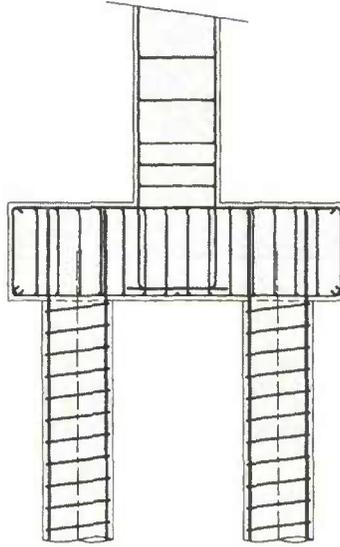


Figure 106 - Projet de fondation sur pieux

- En cas de substratum sain très résistant, 3 diamètres au maximum sous la pointe.

Fondations profondes travaillant principalement en frottement latéral

- Au moins 3 fois la plus petite dimension du groupe sous la base des éléments de fondation.

- *Résultats de la reconnaissance normale*

Le rapport établi par le laboratoire chargé de la reconnaissance normale doit fournir au moins les éléments ci-après :

- *une vue en plan de l'ouvrage*, avec implantation des sondages, essais, et piézomètres,
- *une coupe longitudinale* (et éventuellement des coupes transversales) de l'ouvrage, au 1/100, avec report en niveaux NGF en précisant le système (ancien ou nouveau) :
 - *des résultats des essais en place*
 - *de la position des piézomètres et des niveaux d'eau reconnus*
 - *les niveaux proposés pour les fondations*
- *un rapport de synthèse* indiquant au moins :
 - la consistance exacte, les conditions et tous les résultats de la reconnaissance,
 - les méthodes d'exploitation des résultats, avec analyse critique,
 - les justifications des principes de fondations proposés,
 - les hypothèses et résultats des calculs de dimensionnement (niveau Projet),
 - les problèmes éventuels d'exécution des fondations, et les méthodes à adopter,
 - la consistance de la reconnaissance spécifique éventuellement nécessaire.

c) La reconnaissance "spécifique"

La reconnaissance géotechnique devant être synchronisée au mieux avec les études d'ouvrage, la reconnaissance normale ne peut pas toujours, dans un délai donné, répondre à d'éventuels problèmes spécifiques apparus pendant son déroulement : présence de karsts, de venues d'eaux imprévues, de forte hétérogénéité des terrains, etc.

Dans de tels cas, et si les résultats de la reconnaissance normale le permettent, les études d'ouvrage peuvent être poursuivies au stade Projet (ou POA pour un ouvrage non courant), les problèmes spécifiques faisant l'objet d'une reconnaissance spécifique ultérieure : cette dernière étape de la reconnaissance sera alors effectuée avant l'achèvement du D.C.E. Dans certains cas, elle pourra être indispensable à l'établissement du POA (ouvrage non courant).

Il n'est pas possible d'établir une liste type des phases d'une reconnaissance spécifique, étant donné la variété des cas possibles. La définition de son programme doit être faite par des spécialistes, à l'issue et au vu des conclusions de la reconnaissance normale.

On gardera à l'esprit qu'une telle reconnaissance sera plus onéreuse, et souvent beaucoup plus longue, que les étapes précédentes.

2.3.3 - Données hydrauliques

Lorsqu'un ouvrage franchit un cours d'eau, il est nécessaire de rassembler toutes les informations hydrauliques qui lui sont liées. En particulier il convient de recenser les informations sur la topographie du lit, sur le régime du cours d'eau et d'évaluer les risques d'affouillements, pour la période de service comme pour la phase d'exécution de l'ouvrage.

Ces données visent, en situation critique, à assurer la continuité du trafic en toute sécurité (crues, navigation, ...).

Des études hydrauliques particulières sont nécessaires pour affiner ces paramètres.

2.3.3.1 - Topographie du lit du cours d'eau

On distingue le lit majeur et le lit mineur du cours d'eau, selon qu'il est occupé par le cours d'eau en période de hautes eaux ou de basses eaux. Il est important de connaître les possibilités d'évolution des lits.

2.3.3.2 - Régime du cours d'eau

Le régime du cours d'eau est caractérisé par les niveaux extrêmes atteints :

- P.H.E.C. : Plus Hautes Eaux Connues
- P.H.E.N. : Plus Hautes Eaux Navigables
- P.B.E.N. : Plus Basses Eaux Navigables
- P.B.E. : Plus Basses Eaux

Ces niveaux doivent tenir compte des aménagements récents ou futurs (barrages, endiguements, rectifications du cours d'eau, ...) ou des conditions particulières (extractions massives de matériaux pouvant entraîner un abaissement du lit).

En site maritime ou dans les zones d'estuaire, il est indispensable de connaître les variations de niveaux d'eau dues à l'influence des marées (marnage, mascaret, houle). On recense :

- P.H.M.M.E. : Plus Hautes Marées de Mortes Eaux
- P.B.M.M.E. : Plus Basses Marées de Mortes Eaux
- P.H.M.V.E. : Plus Hautes Marées de Vives Eaux
- P.B.M.V.E. : Plus Basses Marées de Vives Eaux

En plus de ces niveaux, il est intéressant de connaître les périodes favorables à l'exécution des fondations (en général l'étiage), les débits et vitesses du courant (charriage, corps à la dérive), en période normale et en période de crue. Leur valeur de projet est en général fixée par une étude hydraulique spécifique : on retient usuellement une fréquence de retour centennale en service (ou parfois les plus fortes valeurs connues), et décennale pour les phases de construction.

Il peut être judicieux d'apprécier le risque d'une crue plus importante (par exemple millénale) en fonction des conséquences d'une telle crue.



Figure 107 - Crue sous ouvrage

L'étude hydraulique permet également d'examiner les variations des niveaux d'eau en construction et en service de l'ouvrage pour apprécier d'éventuelles mesures compensatoires à adopter.

2.3.3.3 - Risques d'affouillement

L'érosion ou la sédimentation modifient le régime des cours d'eau, ce qui se traduit par un creusement ou par le comblement du lit. Ces phénomènes dépendent beaucoup de la nature et de la consistance des terrains superficiels constituant le lit du cours d'eau. Si un comblement

excessif peut gêner la circulation des bateaux, un creusement peut être préjudiciable à la tenue des fondations des ouvrages.

On distingue l'affouillement général, intéressant la totalité du lit du cours d'eau, de l'affouillement local au voisinage des obstacles situés dans le cours d'eau.

L'affouillement général correspond à la mise en suspension des matériaux meubles constituant le fond du lit, lors d'une crue. Ce type d'affouillement concerne l'ensemble du cours d'eau et n'est pas dû à la réalisation de l'ouvrage.

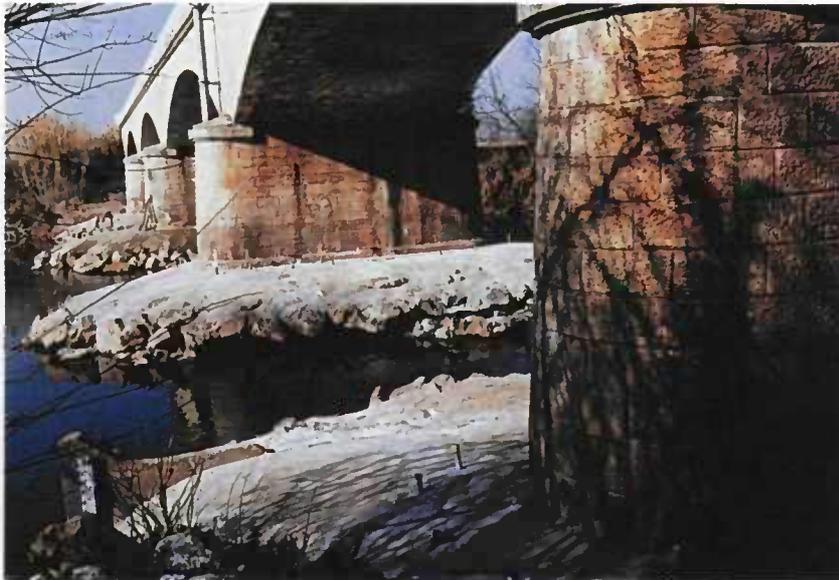


Figure 108 - Affouillement des piles

L'affouillement local est dû à la présence d'obstacles dans le lit et se traduit par un creusement plus marqué à l'amont qu'à l'aval de l'obstacle et par la création d'un dépôt au-delà du surcreusement aval. Il apparaît donc à proximité des obstacles et est donc une conséquence immédiate de la présence de l'ouvrage.

Ces deux types d'affouillements se combinent entre eux et peuvent mettre en péril la stabilité de l'ouvrage par déchaussement de ses fondations.

L'importance du phénomène peut être accentuée par une réduction du débouché hydraulique du cours d'eau du fait d'une implantation trop étriquée des remblais d'accès à l'ouvrage.

Il est donc fondamental de connaître la sensibilité du lit au phénomène d'affouillement et d'appréhender la profondeur de cet affouillement pour prendre les mesures qui s'imposent pour mettre à l'abri les fondations (conception des fondations). Si des solutions du type enrochement et protection par gabions sont utilisées en confortement d'ouvrages existants, on préfère généralement avoir recours à des fondations profondes pour des ouvrages neufs pour des questions de pérennité et d'entretien de ce type de solution. Un guide "Ponts et Rivières" traitant en particulier de ces questions, est en cours de préparation au SETRA.

2.3.3.4 - Actions dues à l'eau

Les actions dues à l'eau sur les structures immergées se traduisent par :

- une poussée hydrostatique,
- une poussée hydrodynamique,
- une action abrasive du courant,
- l'effet de l'embâcle.



Il peut s'agir, lorsque le niveau de l'eau est uniforme, de l'application du principe d'Archimède, qui conduit à déjauger les parties d'ouvrage et les remblais éventuels immergés.

Lorsque l'ouvrage peut par contre constituer un écran susceptible de freiner ou de bloquer le drainage naturel des eaux, et d'imposer une différence de niveau d'eau de part et d'autre de l'écran, il est nécessaire de prendre en compte la **poussée hydrostatique** (en plus du déjaugage, s'il y a lieu) pour la justification de la stabilité (exemple : décrue rapide d'un cours d'eau, vidange d'un canal, risque de fuites de canalisations enterrées, ...). Des dispositions pérennes de drainage doivent être prévues (masques drainants, barbacanes, ...). Quelle que soit l'efficacité de ces dispositions, il convient d'être prudent et de s'interroger à chaque fois qu'elles pourront conduire à s'affranchir de la prise en compte de cette poussée.

L'**action hydrodynamique** de l'eau est évaluée, par simplification, à partir d'un diagramme triangulaire des vitesses de l'eau entre le fond du lit et la surface libre. L'intensité de la résultante des actions hydrodynamiques du courant est définie à l'article A. 4.2,53 du fascicule 62, titre V du CCTG [94]. Il apparaît que l'intensité de cet effort dépend de la forme des piles et qu'on aura intérêt à prévoir des piles profilées et donc favorable à l'écoulement du courant. Ainsi, une section avec avant-bec offre une résistance de 75% plus faible qu'une section circulaire, offrant elle-même une résistance deux fois plus faible qu'une section carrée ou rectangulaire.

L'effet de l'**action abrasive** du courant, cas des boues torrentielles, est un phénomène assez rare dont on se prémunit par des dispositions constructives appropriées (protection des bétons, enrobage des aciers). Certaines structures y sont plus sensibles (buses métalliques).

Au cours d'une crue, on recherche le degré d'agressivité du cours d'eau en terme d'**embâcle** afin d'estimer le risque de chocs et le stockage de matériaux charriés sur l'ouvrage. Ce risque est d'autant plus élevé que la quantité et le volume de matériaux de toutes natures charriés sont importants. Ce critère d'agressivité dépend, notamment, du niveau d'entretien du cours d'eau et de la rapidité d'intervention des services chargés de l'entretien en cas d'urgence.

2.3.4 - Données climatiques

2.3.4.1 - Le climat

Un certain nombre de paramètres liés au climat (température, hygrométrie, vitesse du vent, risque de neige, variation gel-dégel, ...) ont des répercussions sur la conception et le dimensionnement de l'ouvrage pour tenir compte du comportement des matériaux de construction (retrait par exemple, sensibilité au gel, ...) et des conditions d'exécution (enrobage, ...).

Pour les ouvrages courants, l'incidence des données climatiques est prise en compte de façon forfaitaire dans les calculs par l'intermédiaire des lois de comportement des matériaux (retrait et fluage du béton, coefficient de dilatation des matériaux, ...)

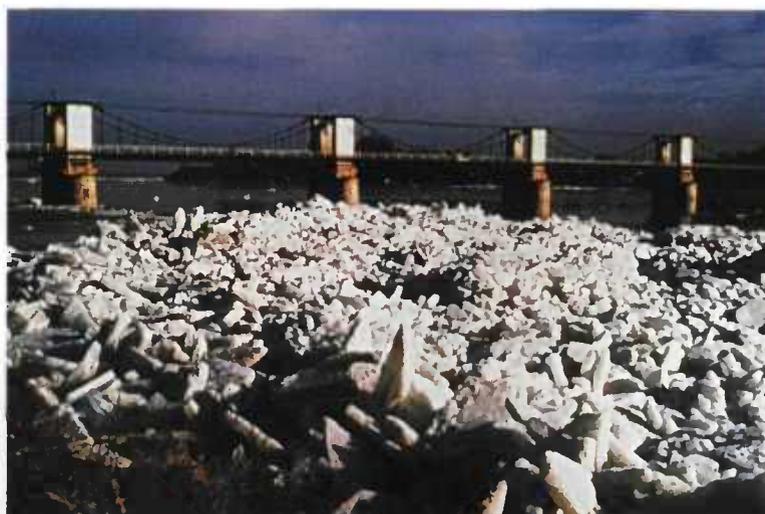


Figure 109 - Données climatiques

En ce qui concerne la neige, sauf en site montagneux très exposé et ouvrage très particulier, portant par exemple une piste de ski ou un ouvrage couvert, les charges de neige ne sont pas à prendre en compte pour les ponts.

2.3.4.2 - Le vent

Pour la plupart des ponts courants construits en France, il n'est généralement pas nécessaire de procéder à un quelconque recueil de données dues au vent.

Les efforts à prendre en compte dans les calculs sont définis par le règlement de charge (fascicule 61 titre II du CPC) comme des pressions statiques équivalentes appliquées aux surfaces frappées. Cette action **n'est pas à cumuler** avec les charges de chaussée ou de trottoirs.

- 2000 N/m² pour les ouvrages en service, ce qui correspond à une violente tempête et n'est donc pas compatible avec les charges de chaussée ni de trottoirs.
- 1250 ou 1000 N/m² pour les ouvrages en cours de construction, selon que la durée de la phase de chantier considérée excède ou non un mois.

Ces dispositions, à caractère forfaitaire, concernent les **ouvrages d'art et leurs équipements** (écrans acoustiques, panneaux de signalisation de grandes dimensions, ...).

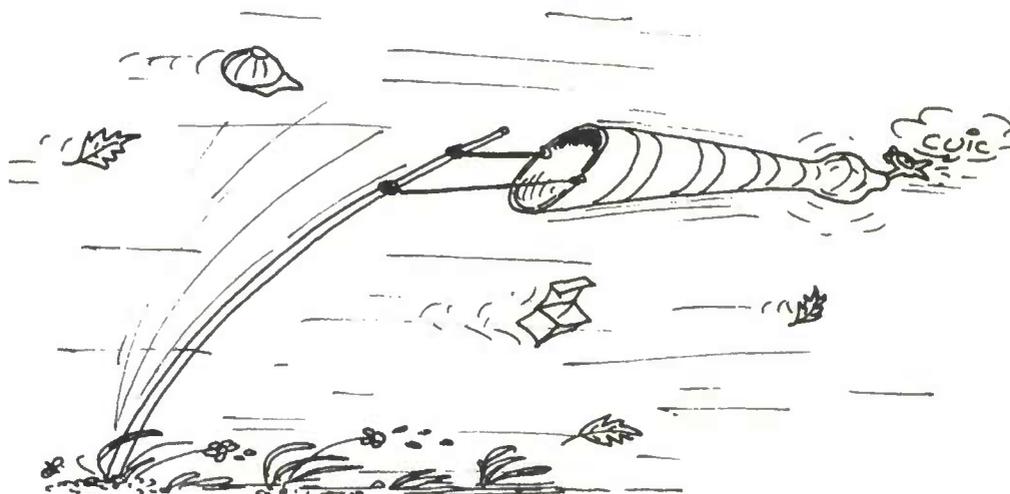


Figure 110 - Le vent

Dans le cas où cette action serait très pénalisante, ce qui ne concerne normalement pas un ouvrage courant neuf, l'intensité de la pression du vent peut être déterminée par une analyse plus fine, mais il conviendra de définir des règles de cumul avec les charges d'exploitation.

L'attention du projeteur est attirée sur le dimensionnement au vent des panneaux de signalisation, souvent critique. Citons la norme NF P 98-550 relative aux portiques, mâts et potences.

Indiquons également le cas de certains Départements et Territoires d'Outremer situés dans des zones de typhons ou de cyclones pour lesquels ces règles forfaitaires ne sont pas applicables.

Indirectement, les effets du vent créent la houle et les actions correspondantes.

2.3.4.3 - La température

La température est une action dont les effets sont importants sur les ouvrages d'art. Comme pour le vent, on n'effectue pas de recueil des données de température, mais on emploie les valeurs fixées par le règlement de charges.

Les effets de la température sont cumulables avec les charges d'exploitation. Toutefois, la prise en compte simultanée de ces deux types de charges fait l'objet d'abattements par l'intermédiaire de coefficients minorateurs d'accompagnement.

a) *variation uniforme de température*

L'effet d'une variation uniforme de la température ambiante se traduit par des dilatations ou des contractions des matériaux engendrant des déformations et des efforts dans les structures si les déformations sont gênées. Il s'agit également d'un paramètre important pour tous les organes devant absorber les déformations relatives des parties de structure, comme c'est le cas des joints de chaussée.



Figure 111 - La température

Pour les ouvrages en béton, l'intensité de cette variation de température est, par rapport à la température moyenne considérée comme voisine de 15°C , de $+30^{\circ}\text{C}$ et de -40°C dont $\pm 10^{\circ}\text{C}$ sont rapidement variables.

Pour les ouvrages métalliques, le fascicule 61, titre V du CPC recommande de prendre des déformations linéaires relatives de $+3 \cdot 10^{-4}$ et $-4 \cdot 10^{-4}$ pour des actions de courte durée et de $+2 \cdot 10^{-4}$ et $-2,5 \cdot 10^{-4}$ pour des actions de longue durée, le coefficient de dilatation de l'acier étant pris égal à $1,1 \cdot 10^{-5}$, ce qui correspond à une approche légèrement différente.

b) gradient thermique

Un gradient thermique traduit une différence de température entre la fibre supérieure, plus chaude, et la fibre inférieure du tablier. Par simplification, la variation de température entre les fibres extrêmes du tablier est supposée linéaire. Ses effets sont évalués à partir du module de déformation instantané. La valeur de cette différence de température, appelée gradient, est fixée à :

- 12°C pour les ouvrages en béton,
- 10°C pour les ouvrages mixtes acier-béton,
- aucun gradient thermique pour les ouvrages métalliques.

Sous l'effet de ce gradient thermique, la fibre la plus chaude est donc plus dilatée que la fibre la plus froide, ce qui tend à cambrer la structure. Les liaisons hyperstatiques surabondantes, en s'opposant à ces déformations, créent des efforts dans la structure.

2.3.4.4 - Milieu ambiant



Figure 112 - Site aquatique

Il est important de caractériser le milieu ambiant (eau, air, sol) dans lequel l'ouvrage sera situé et qui peut être plus ou moins agressif (pH, sels, présence de sulfates, ...), afin d'employer des matériaux adaptés et/ou de prévoir des dispositions constructives et des systèmes de protection satisfaisants.

Ce sera par exemple :

- un enrobage particulier des armatures passives ou actives pour des ouvrages en béton implantés à proximité de la mer,
- un choix de la classe de fissuration du béton, permettant de limiter cette fissuration, et par conséquent les risques de corrosion des armatures de béton armé,
- un choix de la classe de vérification pour les ouvrages précontraints,
- un choix de peinture pour les structures métalliques,
- une protection particulière contre la corrosion des aciers (atmosphères marine, industrielle, rurale) ,
- une composition particulière du béton pour mieux résister aux actions du gel et des sels de déverglaçage,
- la pluviométrie conditionnera les dispositifs de recueil des eaux.



Figure 113 - Agressivité de l'air ambiant

2.3.5 - Données sismiques

Un séisme impose aux fondations d'une construction une succession de déplacements rapides. Ses effets sont réglementairement considérés comme identiques à ceux d'une accélération uniforme présentant une composante horizontale de direction quelconque et une composante verticale.

Ces deux composantes sont à considérer en même temps mais comme résultant de vibrations non synchrones.

Pour les ponts courants, on utilise des règles simplifiées assimilant les effets d'un séisme à une accélération horizontale qui dépend de la classe de pont et de la zone sismique.

L'arrêté du 15 septembre 1995 [102] définit quatre classes de ponts (de A à D) en fonction de l'importance stratégique des ouvrages d'art pour la sécurité civile et il est nécessaire de connaître au plus tôt la classe requise pour chaque ouvrage. On retient qu'en général les autoroutes et routes express font partie des classes C ou D, les plus sensibles.

D'un autre côté, le zonage sismique de la France est défini par le décret N°1-461 du 14 mai 1991 [99]. En France, on compte cinq zones de risques sismiques croissants: 0, Ia, Ib, II, III qui sont représentées sur la carte ci-dessous (extraite de "Le nouveau zonage sismique de la France." publié à la Documentation Française).

Les justifications des ouvrages situés en zone sismiques sont à effectuer soit par l'application des règles A.F.P.S 92, relatives aux ouvrages d'art, soit par l'application de l'Eurocode 8, partie 2.

Ces règles doivent être appliquées au moyen d'une accélération nominale notée a_N en m/s^2 dont les valeurs résultent du tableau suivant :

Zones	Classes			
	A	B	C	D
0	-	-	-	-
IA	-	1,0	1,5	2,0
IB	-	1,5	2,0	2,5
II	-	2,5	3,0	3,5
III	-	3,5	4,0	4,5

Figure 114 - Accélérations nominales en m/s^2

Un guide de conception des ouvrages courants en zone sismique est en cours de rédaction [103].

Outre que les règles de calcul au séisme peuvent conduire à augmenter le dimensionnement des structures, les dispositions constructives jouent un rôle considérable dans leur comportement (butées antisismique, amortisseurs, appareils d'appuis, ...). Dans certains cas, pour les ouvrages les plus modestes et dans des zones à risque modéré, la réglementation citée ne prescrit que ces seules dispositions constructives.

ZONAGE SISMIQUE de la FRANCE

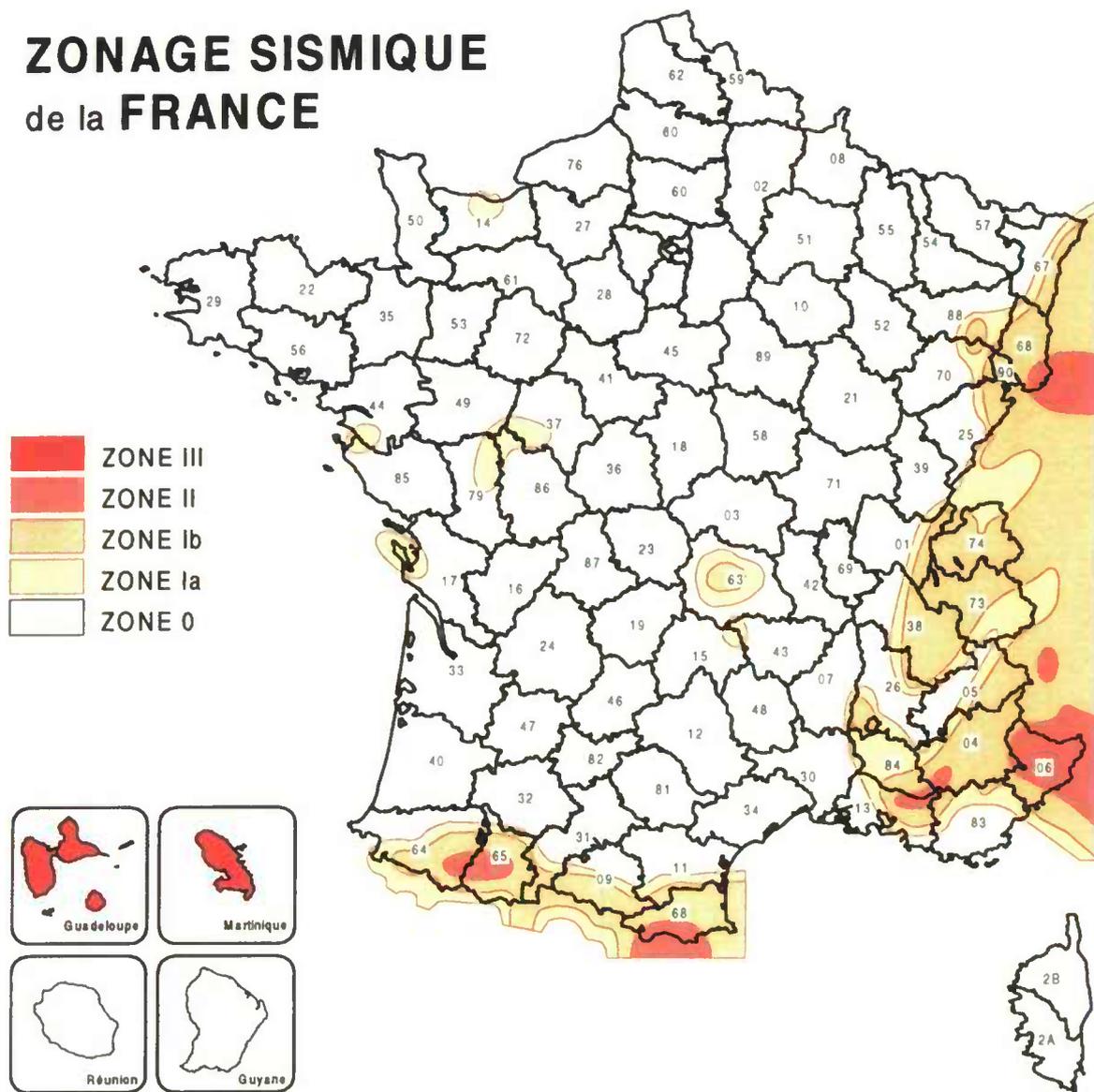


Figure 115 - Le nouveau zonage sismique de la France [100]

2.4 - LES DONNEES D'ENVIRONNEMENT

Ces données rassemblent toutes les spécificités (essentiellement qualitatives) du site, existantes ou en projet, qui créent l'environnement du projet.

La définition du site est souvent réduite au plan de situation. En fait, elle devrait résumer les conclusions de l'étude d'impact et définir les conditions d'accès, les emplacements disponibles pour la construction et les installations de chantier qui sont nécessaires au stade du projet.

2.4.1 - Qualité du site - sites classés - monuments historiques

La qualité du site impose également ses contraintes.

Du point de vue administratif, la loi du 2 mai 1930 ayant pour objet de définir la protection des monuments naturels et des sites à caractère artistique, historique, scientifique, légendaire ou pittoresque, définit deux régimes de protection des sites, le **classement** et **l'inscription** :

- Lorsque le site est classé, le projet doit recevoir l'autorisation de l'Etat (ministre chargé des sites), après avis de la commission départementale des sites, présidée par le préfet.
- Lorsque le site est inscrit, le dossier est instruit par les Architectes des Bâtiments de France (A.B.F.) qui émettent un avis consultatif.

En ce qui concerne le patrimoine architectural, les monuments historiques et les édifices inscrits à l'inventaire supplémentaire des Monuments Historiques bénéficient d'un périmètre de protection de 500 m. Dans un tel cas, le projet doit être approuvé par le service des Monuments Historiques représenté par l'Architecte des Bâtiments de France (A.B.F.) (loi du 7 janvier 1983).



Figure 116 - Proximité d'un monument historique

Dans tous les cas, un contact doit être pris très en amont avec les services de l'Architecte des Bâtiments de France afin d'envisager conjointement les contraintes à prendre pour la nouvelle

voie ou l'ouvrage à construire compte tenu de la proximité d'un élément inscrit ou classé du patrimoine.

En outre, il existe d'autres sites, non classés sur le plan administratif, mais dont la qualité justifie un traitement plus soigné, ou particulier, dans le cas de la construction d'un ouvrage d'art. Un paysagiste est en mesure de définir ces cas de figure et le soin à y apporter.

2.4.2 - Vestiges archéologiques

En présence d'un site archéologique, l'intervention des services du conservatoire régional de l'archéologie peut avoir des conséquences importantes sur le déroulement du projet. Selon la richesse du site, il peut être décidé :

- de le protéger en utilisant des techniques de construction non destructrices (éviter le recours à des fondations profondes, par exemple),
- de procéder à des fouilles de sauvetages, qui sont financées par le maître d'ouvrage,
- de modifier les caractéristiques de l'ouvrage pour ne pas nuire à un site de qualité exceptionnelle.



Figure 117 - Vestiges archéologiques

Il est dans l'intérêt du maître d'ouvrage de prendre en compte le potentiel archéologique dès le choix des tracés routiers en se rapprochant des services spécialisés [49] en vue d'éviter qu'une découverte archéologique ne soit considérée comme un élément perturbant le chantier, tant du point de vue des coûts que des délais.

Le cas échéant, la réalisation de ces fouilles est obligatoire avant le démarrage des travaux et il est souhaitable de les démarrer le plus tôt possible.

2.4.3 - Constructions et réseaux existants

La présence d'ouvrages spécifiques à proximité du site retenu peut avoir une incidence sur le projet. Il convient alors de recenser ces ouvrages et de faire préciser aux propriétaires les précautions particulières à prendre.

De tels ouvrages ou constructions peuvent consister en un centre d'exploitation (usine, aéroport, ...), des équipements liés à la sécurité publique (centres de secours, pompiers, hôpital), une structure (barrage, pont, château d'eau, bâtiment, ...), une voie de communication (route, canal, voie ferrée, ...), ou des réseaux divers (lignes électriques, canalisation d'eau ou de gaz, réseaux d'assainissement, ...).

Les fonds de plans topographiques, dressés par un géomètre, doivent indiquer dès le stade de l'avant-projet, au minimum tous les obstacles visibles (constructions de toutes natures, voiries et réseaux, arbres).

Le repérage des réseaux enterrés est toujours plus délicat. La démarche minimale consiste à s'informer auprès de tous les organismes connus susceptibles d'exploiter des réseaux (conduites d'eau ou de gaz, lignes électriques, téléphoniques, fibres optiques, assainissement, ...)

Des connaissances historiques peuvent également fournir des indications sur des vestiges de réseaux anciens (aqueducs, souterrains, ...).

2.4.4 - Protection de l'Environnement

Les Etudes d'Environnement [49] ont permis progressivement de mesurer l'impact du projet sur l'environnement, en ne perdant pas de vue que certains effets peuvent se révéler très en dehors du strict périmètre de l'opération. Au stade des Etudes Préliminaires routières, les études d'environnement ont pour objectif le recueil des données de base, la mise en évidence des enjeux forts ainsi que la définition et la comparaison des partis. Au stade de l'APS, ces enjeux sont affinés en fonction de la vulnérabilité, des sensibilités du site et des contraintes du projet. Les types d'impacts prévisibles et les mesures envisageables sont analysés et sont intégrés à la comparaison des variantes. L'étude d'impact, produite au moment de l'enquête d'utilité publique, exprime la prise en compte des préoccupations d'Environnement.

Les différentes mesures visant à supprimer, réduire ou compenser les conséquences dommageables du projet sont précisées au fur et à mesure de son avancement (APS, projet, réalisation, exploitation) et par le dossier des engagements de l'Etat.

Les aspects les plus contraignants sur les études d'un ouvrage d'art sont les critères influant directement sur sa conception, donc sur son coût qu'il est nécessaire de connaître tôt. Il est clair que le poids d'un écran acoustique sur ouvrage, l'impossibilité de dévier un cours d'eau ou la hauteur de terre souhaitée sur un passage à grande faune, peuvent être déterminants pour le dimensionnement de ces ouvrages.

Le guide méthodologique sur les Etudes d'Environnement dans les projets routiers [49] définit de nombreux thèmes - eau, milieux naturels, agriculture, sylviculture, aménagement et urbanisme du territoire, bruit, patrimoine, paysage, air et climat, risque et sécurité.

Dans les paragraphes qui suivent, nous nous sommes limités au thème de l'eau, du bruit et de la protection de la faune dont les principes sont rappelés sommairement. Ces éléments peuvent en effet concerner ou avoir un impact important sur les ouvrages d'art. Les textes étant relativement récents et mal connus des projeteurs, il a nous également semblé intéressant de donner quelques notions qui ne peuvent en aucun cas remplacer les textes de lois auxquels il convient de se référer.

2.4.4.1 - L'eau

L'eau peut être présente de différentes façons sur un site, on peut trouver [43] :

- les cours d'eau, les étendues d'eau ou les fleuves,
- les nappes d'eaux superficielles,
- les nappes phréatiques,
- les sources d'alimentation en eau potable (AEP).

Une cartographie de l'hydrologie locale permet dans les cas difficiles de mieux cerner les problèmes hydrologiques et de mieux appréhender les risques de pollution. Pour les mêmes raisons, on s'intéressera aux cheminements de l'eau entre les différentes nappes.

La pollution de l'eau peut être de plusieurs types :

- pollution liée à tout déversement qui a tendance à changer la nature de l'eau,
- pollution en phase de travaux (dérivation de cours d'eau, mise à nu des sols, rejet de produits toxiques),
- pollution due au salage des routes et donc au problème de rejet d'eaux d'évacuation trop fortement salées, ou au nettoyage d'éléments (écrans, ...)
- pollution chronique causée par la circulation des véhicules qui rejettent des polluants divers,
- pollution accidentelle, en général suite à un accident de la route, quand des produits dangereux sont déversés sur la chaussée ou dans le milieu naturel.



Figure 118 - Pollution de l'eau

De manière générale, sur les sites à risques (nappes phréatiques en surface, captages ou AEP), une attention particulière sera apportée lors de l'**étude d'impact** aux problèmes de l'eau afin de prendre en compte les risques éventuels de pollutions cités ci-dessus, mais également afin de prévoir les démarches administratives nécessaires avant tout commencement des travaux (délais).

D'un point de vue réglementaire, la loi sur l'eau du 3 janvier 1992 [39] institue dans son article 10, un régime de déclaration ou d'autorisation pour les installations, les ouvrages, les

travaux et activités réalisées à des fins non domestiques par toute personne physique ou morale, privée ou publique entraînant :

- des prélèvements sur les eaux superficielles ou souterraines, restituées ou non,
- une modification du niveau ou du mode d'écoulement des eaux,
- des déversements, écoulements, rejets ou dépôts directs ou indirects *chroniques ou épisodiques*, même non polluants.

Parmi les activités citées ci dessus, sont soumises à **autorisation** les installations, ouvrages, travaux et activités susceptibles de :

- présenter des dangers pour la santé et la sécurité publique,
- de nuire au libre écoulement des eaux,
- de réduire la ressource en eau,
- d'accroître notablement le risque d'inondation,
- de porter atteinte gravement à la qualité de l'eau ou à la diversité du milieu aquatique.

En particulier, tout ouvrage qui entre dans le périmètre de protection rapprochée des captages doit être soumis à autorisation.

Au contraire, les activités peu dangereuses sont simplement soumises à **déclaration**.

Dans le cas d'installations de chantier d'infrastructures routières qui durent moins d'un an et qui ont peu d'incidence sur l'eau, le préfet peut délivrer des autorisations temporaires sans enquête publique d'une durée maximale de six mois, renouvelables une seule fois.

La notion de dangers pour la santé et la sécurité publique est déterminée à l'aide des seuils de débits et des taux de polluants définis par le décret 93-743 du 29 mars 1993 [42]. En dessous ou au dessus de ces seuils, une activité sera soumise à déclaration ou à autorisation.

L'impact du projet sur la ressource en eau et les mesures compensatoires éventuellement prévues sont précisés par les études d'environnement et par l'étude hydraulique, qui peut être spécifique à l'ouvrage.

2.4.4.2 - Le bruit

Les textes de base relatifs aux nuisances acoustiques des infrastructures routières sont :

- la loi 92-1444 du 31 décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit [44],
- le décret 95-22 du 9 janvier 1995 relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures des transports terrestres [45],
- l'arrêté du 5 mai 1995, relatif au bruit des infrastructures routières [46],
- la circulaire du 12 décembre 1997 relative à la prise en compte du bruit dans la construction de routes nouvelles ou l'aménagement de routes existantes du réseau national [47].

Sans entrer dans les détails de cette réglementation, le niveau maximal des nuisances sonores d'une infrastructure nouvelle sur les logements est fixé à :

- 60 dB(A) le jour et 55 dB(A) la nuit dans une zone de bruit préexistant modéré,
- 65 dB(A) le jour et 60 dB(A) la nuit dans le cas contraire.

Une zone de bruit préexistant modéré est une zone où le bruit ambiant préexistant est globalement inférieur à 65 dB(A) le jour et à 60 dB(A) la nuit.

Lorsque l'on modifie une voie existante, la contribution de la voie après aménagement ne doit pas dépasser celle de la voie avant aménagement et doit rester inférieure à 65 dB(A) le jour et à 60 dB(A) de nuit.

Le respect des contributions maximales ainsi définies peut être obtenu par des protections à la source (buttes, écrans, couvertures, ...) ou par des protections individuelles (traitement de façades), ou par une combinaison de ces deux types de protections. La protection à la source doit être recherchée en priorité.



Figure 119 - Ecrans antibruit en site urbain

Le choix de la solution adaptée relève d'une analyse globale nécessitant des études acoustiques confiées à des bureaux d'études spécialisés, et la comparaison des variantes relève de l'APS, tandis que la définition détaillée des aménagements relève du projet.

En phase de chantier, le décret 95-22 du 9 janvier 1995 stipule que le maître d'ouvrage doit élaborer un dossier décrivant les impacts sonores attendus du chantier ainsi que les mesures prises pour les limiter.

2.4.4.3 - La faune et la flore

La sensibilité potentielle des lieux d'implantation des ouvrages vis-à-vis de la sauvegarde de la faune et de la flore, est connue à travers les inventaires et recensements des espèces réalisés par différents organismes. Les études d'Environnement du projet doivent en tenir compte.

La nuisance apportée par l'infrastructure routière se situe à la fois sur l'emprise de l'ouvrage achevé et sur les emprises du chantier et de ses accès qui peuvent se révéler très agressifs pour l'Environnement (décapage, création de pistes par exemple).

Les terrains "à l'abandon" ou non exploités sont souvent considérés par les aménageurs comme des territoires où l'implantation d'infrastructures ne devrait pas poser de problèmes. Du fait même de cet isolement, ils comportent le plus souvent des habitats d'espèces animales ou végétales remarquables qui méritent la plus grande attention.



Figure 120 - La grande faune

Pour ce qui est des rétablissements des voies préférentielles de déplacement des animaux sauvages, et s'il n'a pas été possible d'éviter les zones les plus fréquentées, les études d'Environnement définissent les emplacements d'ouvrages de franchissement à réaliser. La morphologie des ouvrages de franchissement, passages supérieurs ou inférieurs, présente de nombreuses différences par rapport aux ouvrages purement routiers.

Le guide technique des passages pour la grande faune du SETRA [51], définit les "gabarits" en fonction des espèces d'animaux, précise les formes adaptées (forme d'entonnoir) et fournit de nombreux conseils d'aménagement des passages et de leurs abords permettant d'en garantir une bonne efficacité.

Les passages inférieurs ne permettent pas d'implanter facilement des végétaux (lumière et alimentation en eau insuffisantes) et se révèlent donc peu accueillants pour les animaux.

Pour les *ouvrages hydrauliques*, des dispositifs particuliers permettent la régulation de la vitesse du courant et ainsi, le maintien de la vie piscicole et de la flore aquatique. Ces dispositifs sont souvent précisés dans le cadre des mesures de la loi sur l'eau. Ce type d'ouvrage est également adapté à un usage mixte, permettant à la petite faune d'emprunter l'ouvrage par des banquettes latérales hors d'eau.

2.5 - LES DONNEES ARCHITECTURALES ET PAYSAGERES

Les données architecturales et paysagères rassemblent les éléments qui vont guider la conception esthétique de l'ouvrage et sa bonne insertion dans le site.

2.5.1 - Préambule

Alors qu'ils construisaient des ponts avec des moyens rudimentaires, les bâtisseurs des siècles précédents nous ont laissé de véritables "œuvres d'art", même quand il s'agissait de modestes ouvrages.

Ils ont su choisir le bon emplacement, utiliser les procédés les mieux adaptés et les mettre en œuvre avec soin, suivant un dessin harmonieux.

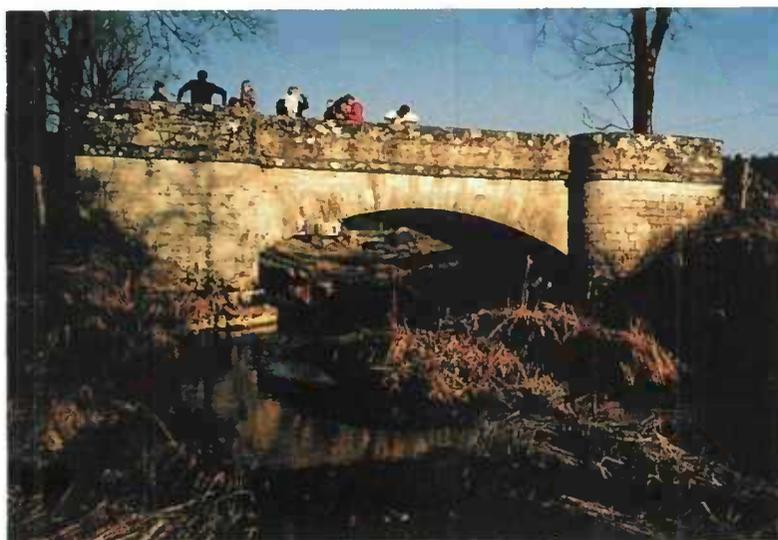


Figure 121 - Modeste, avec de bonnes proportions et soigneusement construit, cet ouvrage d'art semble défier le temps

Il n'y a pas de raison qu'avec les possibilités de la technique actuelle nous ne puissions faire aussi bien. Nous ne devons pas avoir à rougir de ce que nous laisserons au jugement des générations à venir.

Depuis toujours, la réussite architecturale d'un pont résulte d'un travail commun, mené dès le départ de la conception jusqu'à l'ultime accessoire, par une équipe regroupant paysagiste, architecte, ingénieur et entrepreneur, chacun apportant une valeur ajoutée au projet afin que la dénomination "ouvrage d'art" conserve son sens originel.

Le calcul d'un pont est capital, tout autant que les conditions dans lesquelles il est construit, mais c'est la qualité de son dessin que percevront les usagers et les riverains et qui leur fera dire que l'ouvrage est raté ou réussi.

J.R. Robinson écrivait à ce propos : *"C'est par un abus de langage que l'on dit que l'on calcule un pont ; jamais un pont n'est sorti d'un système d'équations, tel Pallas casquée du cerveau de Zeus. On ne calcule jamais que ce que l'on a projeté auparavant. Le calcul indique si ce que l'on a conçu tient ou ne tient pas, si la matière est bien utilisée ou si elle est*

gaspillée. On n'a d'ailleurs vraiment projeté que ce que l'on a dessiné et c'est par le dessin que l'on juge des dispositions constructives et des qualités esthétiques. ("Sur l'esthétique des ponts" - 1958 p. XIV)

Tous les ouvrages méritent un dessin soigné, du plus spectaculaire au plus modeste. P. Séjourné, qui a réalisé des ouvrages remarquables au début du siècle, l'exprimait clairement :

"De tous les ouvrages d'art, je dis de tous, même des petits, l'aspect importe ; il n'est pas permis de faire laid.

C'est une étrange opinion que d'estimer cher ce qui est beau, bon marché ce qui est laid : on a fait laid et cher, beau et bon marché.

C'est dans les tracés qu'on économise, après on ne fait plus que glaner, que grappiller. Ce qu'on gagne sur les ouvrages est misérable, et c'est faire voir bien peu de goût que les gâter pour si peu." ("Grandes voûtes" - 1914).

La qualité paysagère et architecturale des ouvrages d'art a récemment pris un tour réglementaire puisqu'une circulaire "relative à la qualité paysagère et architecturale des ouvrages routiers" a été diffusée le 24 septembre 1984 [38]. Elle insiste sur la volonté de concevoir des ouvrages de qualité et précise dans ses annexes des pistes pour y parvenir.

Il est donc important que l'ingénieur-concepteur forme avec le paysagiste et l'architecte une équipe efficace pour la réussite d'un ouvrage "d'art", aussi modeste soit-il.

2.5.2 - Les particularités des ponts courants

Par opposition aux grands ouvrages, souvent spectaculaires par leurs dimensions ou leur occupation du paysage, les ponts courants présentent les particularités décrites dans les paragraphes qui suivent.

2.5.2.1 - Leur place dans le paysage

Un pont urbain, long de quelques dizaines de mètres, est aussi encombrant qu'un immeuble collectif de 2 ou 3 niveaux. Il est, par rapport à son environnement, d'une taille respectable. Il importe donc de le traiter comme tel.



Figure 122 - Un ouvrage courant est à peine plus long que le diamètre d'un très gros arbre

En rase campagne, par contre, face à un panorama généralement étendu, un pont courant n'est qu'un petit élément. Un passage supérieur, sur une autoroute, est à peine plus grand qu'un bel arbre ; un passage inférieur est souvent plus petit. Un tel rapport de force impliquera beaucoup de modestie dans le traitement architectural, ce qui ne veut pas dire médiocrité.

2.5.2.2 - Leur perception

En ville, les piétons et les automobilistes à faible vitesse ont, d'un ouvrage, une perception lente, donc détaillée. Par contre les usagers d'une route ou d'une autoroute, roulant à 25 ou 36 mètres par seconde, en ont une vision lointaine et orthogonale puis oblique et très furtive. Il convient donc d'adapter pour chaque cas singulier le traitement architectural au mode de perception qu'on en aura.

Mais les usagers ne sont pas seuls à voir les ponts. Les riverains les ont sous les yeux en permanence, tout comme les poissons des rivières. Cette constatation devrait inciter à apporter à tous les ouvrages, mêmes s'ils sont modestes ou cachés, un minimum de soin.

2.5.2.3 - Leur nombre

Sur une infrastructure nouvelle, les ouvrages courants sont nombreux. On en croise en moyenne 1 tous les kilomètres, soit en gros, 2 par minute.

Si l'on ne perçoit pas les passages inférieurs, il reste encore beaucoup de passages supérieurs qui scandent le paysage. La succession d'ouvrages nombreux doit être prise en compte dans leur conception architecturale.



Figure 123 - Sur un itinéraire, les PS - que l'on voit - sont nombreux et parfois rapprochés

2.5.3 - Quelques orientations pour une bonne qualité architecturale

2.5.3.1 - Le choix d'un parti

En fonction de la position de l'ouvrage dans son site, et de la perception forte ou furtive, proche ou lointaine qu'on en aura, on fera le choix d'un parti plus ou moins élaboré.

En général, compte tenu de l'importance de l'ouvrage dans le paysage, c'est la simplicité qui restera la meilleure solution. Elle se traduira par la recherche de la plus grande unité possible dans l'organisation des formes, des volumes des détails et des matériaux. Mais choisir un parti simple et clair est autrement plus difficile qu'accumuler des configurations nombreuses, complexes et hétéroclites, souvent hors de propos et coûteuses.

2.5.3.2 - Le jeu des proportions

La qualité d'une architecture réside principalement dans le jeu équilibré des proportions de ses divers constituants : entre les pleins et les vides, entre la hauteur et la largeur des travées, entre la longueur des différentes travées.

C'est ainsi que des piles trop courtes ou trop longues - par rapport au tablier - peuvent donner l'impression d'un ouvrage écrasé ou trop haut sur pattes.

De même, les travées de rive sur perrés seront plus harmonieuses si elles sont plus courtes que les travées centrales.

Le jeu des proportions doit être poussé jusque dans les moindres détails (garde-corps, murets d'abouts) pour que l'ouvrage forme un ensemble homogène et fini et non pas un raboutage d'éléments disparates, interrompu de façon arbitraire.

Le rapport de force entre les éléments est tout aussi important : les piles, ponctuelles par définition, doivent sembler capables de supporter la masse - visuellement importante - du tablier.

2.5.3.3 - La cohérence entre formes et technique

Un pont reste un ouvrage technique par sa fonction et les moyens apportés pour le construire. Ce n'est pas un décor par trop rapporté qui améliorera son architecture. Il apparaîtra immédiatement artificiel ou inutile.



Figure 124 - Un élément "décoratif" manifestement étranger à l'ouvrage n'améliore pas l'aspect

La forme satisfaisante est celle qui correspond à la plus juste expression de la fonction et à l'exacte mise en valeur de la logique constructive. On apprécie l'élégance et on comprend le fonctionnement d'une voûte gothique ou d'un pont suspendu. De la même façon, le concepteur d'un ouvrage courant recherchera, pour chaque élément, le meilleur dessin adapté à son rôle particulier.

Ce n'est que par un contact étroit et efficace entre l'ingénieur et l'architecte, après le nombre d'échanges nécessaires, qu'on peut y arriver.

2.5.3.4 - Un volume vu comme une sculpture

Comme une architecture, comme une sculpture, un pont n'est pas destiné à n'être vu qu'orthogonalement.



C'est un volume que l'on voit de loin, on s'en approche, on le longe. On passe même à travers.

Comme une sculpture on aimerait, en le voyant sous différents angles, découvrir de nouvelles perspectives, des formes évolutives, des volumes imprévus.

Rien n'est plus triste qu'un ouvrage trop orthogonal dont on a tout compris en n'en voyant qu'une façade.

Figure 125 - Une pile, même modeste, est une sculpture où doit chanter la lumière sur des volumes animés

De même qu'en cuisine où des aromates ajoutent du goût, un peu d'aberration est nécessaire en proposant des formes et des dispositifs innovants. Mais point trop n'en faut, l'originalité à tout prix est dangereuse, elle vieillit mal.

2.5.3.5 - La notion d'échelle

La notion d'échelle est le concept qui permet, au premier coup d'œil d'apprécier la juste dimension d'un ouvrage d'architecture, quel qu'il soit, par rapport à l'unité de mesure qu'est l'homme. Au premier coup d'œil, on comprend très facilement qu'une cathédrale est un vaste édifice. Par contre, le découpage en deux des étages, ou au contraire leur groupement, perturbe complètement l'évaluation qu'on peut faire de certains bâtiments récents.



Figure 126 - Ce n'est pas un modeste PS à 6 travée, c'est un viaduc d'une quarantaine de mètres : voilà un bel exemple de hors échelle

Le problème est identique sur un ouvrage d'art où l'on devrait savoir si l'ouvrage que l'on voit est grand ou petit. C'est par le dessin des reliefs des parements et grâce à des constantes, comme les garde-corps, qu'on peut y parvenir.

2.5.3.6 - Tout dans l'ouvrage est important



Figure 127 - L'entrecroisement de la clôture et de la cunette gêne l'about de cet ouvrage

Il ne suffit pas d'avoir conçu un pont convenablement proportionné, il faut que chaque élément, jusqu'au plus petit, soit dessiné avec soin, même si cela est difficile ou semble fastidieux : rien n'est pire qu'une descente d'eau incongrue, une cunette de travers ou le raccordement malencontreux d'une clôture.

Plutôt que de les raccrocher à la sauvette, successivement, ce souci implique de sérier dès le départ tous les constituants de l'ouvrage, y compris les plus secondaires, afin de les intégrer dans un ensemble.

2.5.3.7 - Des matériaux de qualité et une mise en œuvre soignée

Si les ouvrages des siècles précédents nous sont arrivés en bon état avec parfois peu d'entretien, c'est qu'ils étaient construits avec des matériaux de qualité et mis en œuvre avec soin et compétence. Il n'y a pas de raison pour que cela soit différent aujourd'hui.



Figure 128 - L'image d'un béton que l'on ne voudrait plus voir

Un béton correctement dosé, convenablement mis en œuvre dans un coffrage soigné est la règle élémentaire. Par contre des parements en béton avec des panneaux de coffrage désaffleurant, des variations de teinte, des nids de cailloux ou des tartouillages de rattrapage sont absolument inacceptables.

Le soin de la mise en œuvre se manifestera, pour le béton, par le calepinage des coffrages à définir avec l'architecte en fonction des formats de banches disponibles et de l'effet recherché, par les arrêts et reprises de coulage et les innombrables astuces permettant un aspect impeccable.

Il en sera évidemment de même pour tous les composants et accessoires entrant dans la fabrication d'un pont, destinés à être agressés diversement et que l'on souhaite voir durer avec le minimum d'entretien.

2.5.3.8 - Le souci de la pérennité

Le souci de la pérennité se traduira également par la conception des coffrages, la fabrication du ferrailage, son enrobage suffisant, le coulage du béton ..., toutes dispositions destinées à aboutir à un produit qui vieillira convenablement.

La conception procédera du même esprit. On s'assurera en particulier du bon écoulement des eaux pour éviter les coulures intempestives et ravageuses.

On prévoira des matériaux résistants là où il y a fatigue, ou bien des produits facilement remplaçables là où ils risquent d'être endommagés (dispositifs de retenue). On évitera enfin les matériaux fragiles, dont la pérennité reste incertaine (PVC, par exemple).

2.5.3.9 - Homogénéité ou diversité

Toute infrastructure d'une certaine longueur est ponctuée par un assez grand nombre de ponts. Se pose alors le problème de savoir s'il est souhaitable d'apporter à leur architecture une certaine diversité ou, au contraire en rechercher l'homogénéité.

Chaque cas est évidemment singulier et le choix résulte principalement d'une volonté du Maître d'Ouvrage.

L'écueil de la diversité est que le résultat risque de tourner à la surenchère et à la confusion : croisant toutes les 10 minutes un ouvrage systématiquement différent des précédents, l'automobiliste sera plus perplexe qu'intéressé.

Il ressentira, par contre, la monotonie d'ouvrages systématiquement identiques.

Une solution intéressante est de définir la grammaire d'une famille d'ouvrages et de jouer sur les variations de géométrie ou sur celles d'éléments secondaires qui apporteront une animation discrète le long du parcours.

2.5.4 - La relation avec le site

2.5.4.1 - L'intégration dans le site

Chaque nouveau pont, même modeste, avec les terrassements qui lui sont associés, modifie le site dans lequel il sera construit puisqu'il implique un dénivelé d'au moins 5 mètres.

Un pont de faibles dimensions pourra être intégré dans son cadre en jouant sur les formes, les textures et les couleurs.

Au delà d'une certaine dimension - mais on sort du domaine des ouvrages courants - le terme d'intégration est impropre. C'est plutôt la qualité du rapport de force, entre l'ouvrage et le site qu'il a modifié, qui devient capital.

Si l'architecture de l'ouvrage est satisfaisante et s'il est conçu pour qu'on ait l'impression qu'il a toujours été là on aura réussi : l'ouvrage aura "fabriqué" le site. C'est bien le Pont du Gard qui a créé la célébrité d'un point précis du Gardon.

Le rôle des concepteurs est de dessiner l'ouvrage et d'en choisir les matériaux afin qu'il soit en harmonie avec son cadre. Il est aussi de cicatiser ce dernier après les travaux, quelques fois même de l'améliorer. Dans la mesure du possible, il consistera à réduire l'impact sur l'environnement.

2.5.4.2 - L'évaluation du site

Avant de concevoir un ouvrage, il est impératif de bien connaître le site où il va s'inscrire. Un état des lieux préalable analysera l'état existant, prendra en compte la perception du paysage dans sa globalité, il répertoriera la répartition, la densité et le type de végétations, il décrira le relief, les modelés, les couleurs, il fera mention du type d'habitat proche et de ses matériaux caractéristiques, il repérera les éventuels monuments historiques.

Le paysagiste est le principal artisan d'un tel inventaire, mais l'ingénieur-concepteur et l'architecte doivent avoir une connaissance des lieux équivalente pour bien caler dans le paysage l'ouvrage qu'ils vont dessiner.

2.5.4.3 - La zone d'influence de l'ouvrage

L'impact d'un pont dans son site ne se limite pas à son environnement immédiat. Il déborde largement. C'est ainsi qu'un ouvrage courant est souvent prolongé par un talus assez long qui barre le panorama ou un déblai qui le creuse largement. Un raccordement harmonieux du terrassement peut consommer une emprise appréciable qu'il est important de pouvoir maîtriser.



Figure 129 - Zone d'influence de l'ouvrage

Pour cela, l'intervention du paysagiste est capitale. Au moment du choix du tracé, il peut optimiser l'intégration du ruban dans le relief environnant. Il peut même proposer des solutions conduisant à des économies de terrassement.

Si sa présence est utile lors de la définition des emprises, elle est indispensable enfin pour cicatrifier la nature après les travaux et donner l'impression que la route et les ponts ont toujours été à leur juste place.

2.6 - LES DONNEES DE GESTION

2.6.1 - Nécessité d'une gestion

La gestion et la maintenance des ponts constituent un enjeu particulièrement important, compte tenu :

- de l'obligation pour le gestionnaire d'assurer la sécurité des usagers, des tiers et du personnel de maintenance,
- de l'importance des crédits nécessaires pour l'entretien, la réparation ou la reconstruction des ouvrages existants,
- du nombre des ouvrages en service (environ 22 000 pour les routes nationales, trois à quatre fois plus pour les routes départementales, 7000 pour les autoroutes concédées),
- des conséquences que peuvent avoir sur l'économie régionale les fermetures d'ouvrages ou la réduction de leur niveau de service (limitation de tonnage, ralentissements imposés, ...).

Une bonne gestion d'un patrimoine d'ouvrages d'art nécessite de les connaître, de surveiller leur évolution et d'intervenir en temps utile pour les opérations de maintenance.

Ces missions incombent au service gestionnaire de l'ouvrage. Remarquons que, bien souvent, plusieurs gestionnaires (gestionnaire de la voie franchie, gestionnaire de la voie portée, ...) se partagent la responsabilité de la maintenance de l'ouvrage et de ses équipements au travers de la délimitation du domaine public et de conventions de gestion.



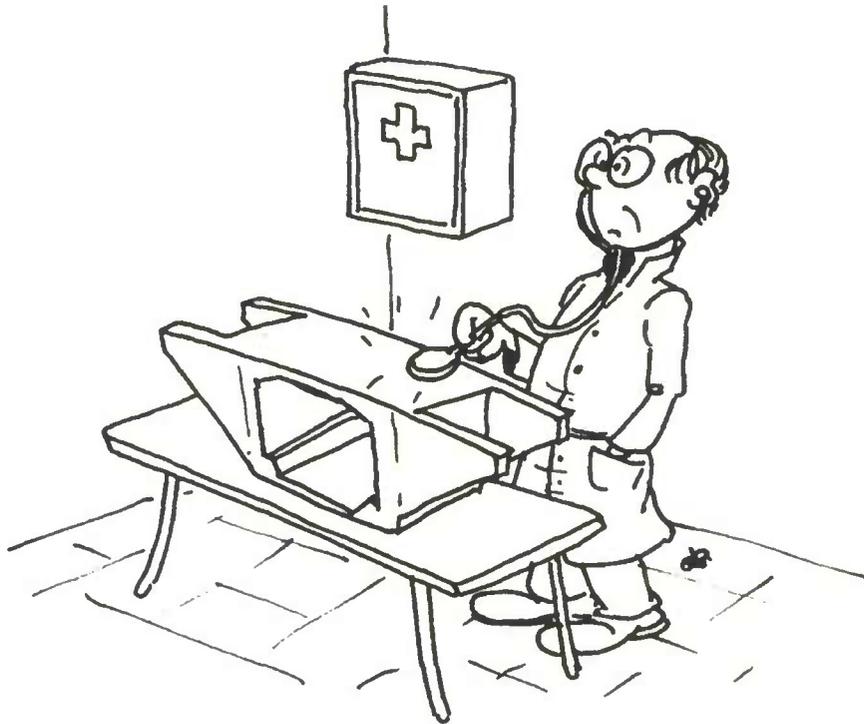
Pour ce qui est des ouvrages relevant de la Direction des Routes, ces missions sont conduites selon l'instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art de 1979, révisée en 1995 [53] et des nombreux fascicules complémentaires qui lui sont annexés. Outre la surveillance continue, la surveillance organisée est basée sur des inspections détaillées (périodicité de 6 ans qui peut être ramenée à 3 ans pour les ouvrages sensibles ou portée à 9 ans pour les ouvrages robustes). Elle est complétée par les visites IQOA tous les trois ans et par des contrôles annuels donnant lieu à un constat). Cette surveillance permet d'évaluer l'état des ouvrages et leur évolution. Il est évidemment nécessaire de disposer du **dossier de l'ouvrage** établi au moment de sa construction par le maître d'œuvre et remis au gestionnaire qui le complète à la suite de chaque intervention. Ce dossier comprend un point zéro relatif à la mise en service établi, à la suite d'une inspection détaillée initiale.

2.6.2 - Incidence de la conception

Le coût réel d'un pont ne se limite pas à son seul coût de construction, il doit également intégrer à long terme les coûts d'exploitation, de surveillance, d'entretien et de réparation.

La maintenance comprend :

- la gestion et la surveillance,
- l'entretien normal prévisible, compte tenu des caractéristiques de l'ouvrage,
- les renforcements et réparations suite aux dégradations accidentelles ou ayant pour origine des défauts de conception ou d'exécution,
- les modifications en vue d'un changement d'affectation ou de niveau de service, les mises en conformité suite à l'évolution des normes et autres réhabilitations,
- le suivi du Dossier d'Ouvrage.



L'entretien normal prévisible d'une structure et de ses équipements correspond par exemple, à la remise en peinture des ponts métalliques, à la réfection de la chape au terme de son espérance de vie, au changement de joints, appareils d'appui et autres équipements dont l'usure normale limite la longévité par rapport à celle du pont lui-même. Ce coût d'entretien doit être pris en compte parmi les critères de choix entre diverses solutions, mais pour ce faire, le maître d'ouvrage doit se baser sur une certaine échelle de temps. Il appartiendra au maître d'ouvrage de traduire en particulier l'importance qu'il accorde à l'entretien et à la pérennité des structures dans son programme et au maître d'œuvre de le répercuter dans le dossier de consultation des entreprises en positionnant ce critère à la place qui convient parmi les critères de jugement des offres.

Pour la justification des ouvrages selon la méthode semi-probabiliste des Directives Communes de 1979, la durée de vie espérée pour un ouvrage est habituellement de l'ordre de 100 ans. Cette espérance de vie permet de fixer les coefficients de sécurité sur la résistance des structures ; elle permet aussi de choisir les périodes de retour des crues ou des tempêtes de vent pour le dimensionnement des ouvrages, même s'il peut être nécessaire d'être prudent dans ce domaine. Pour les ouvrages métalliques enterrés, elle est à la base de la définition des

épaisseurs sacrifiées à la corrosion. En matière de rentabilité d'un investissement, compte tenu des frais prévisibles d'entretien et des taux habituels d'actualisation, un calcul économique simple montre que l'espérance de vie d'un ouvrage n'a quasiment pas d'influence sur le coût de son entretien ramené à la date de sa construction. Il est donc possible d'évaluer au moment de l'investissement le coût d'entretien d'une solution en l'évaluant seulement sur ses 40 ou 50 premières années de vie. Cette période est en général inférieure à la durée de service d'un ouvrage.

Les frais de surveillance d'un ouvrage sont étroitement liés aux moyens mis en œuvre dès l'investissement pour faciliter les visites d'ouvrage.

Il en est de même pour les coûts de réparation : ce sont les moyens mis en œuvre lors de la réalisation de l'ouvrage visant à assurer une bonne qualité d'exécution (choix des dispositions constructives, des matériaux, contrôle qualité, ...) qui seront les meilleurs garants vis-à-vis de la pérennité de l'ouvrage. Signalons à cet égard, que la réparation d'un ouvrage sous trafic peut, du fait des coûts indirects et des phasages imposés, être très coûteuse.

L'expérience des services gestionnaires est très importante et il convient de les consulter afin de les associer aux études de l'ouvrage.

2.6.3 - Les critères d'une bonne gestion

La gestion d'un ouvrage sera d'autant plus facile qu'on aura veillé dès sa conception, mais aussi lors de sa construction à faciliter :

- la visite, la surveillance,
- l'entretien et la réparation,

et ainsi contribué à la durabilité de l'ouvrage.

2.6.3.1 - Soins apportés à la conception

Le comportement de l'ouvrage est toujours mieux connu si ses formes et son schéma mécanique sont simples, c'est-à-dire si les éléments qui le composent sont peu nombreux ou répétitifs. Une bonne connaissance de ce schéma mécanique autorise d'ailleurs une meilleure exploitation des possibilités de l'ouvrage.

De ce point de vue, les guides de conception du SETRA prodigent de nombreuses règles et de nombreux conseils, tant dans la conception générale que dans les dispositions constructives à adopter.

2.6.3.2 - Facilité de visite et de surveillance

La surveillance des ouvrages est plus aisée si les dispositions prises lors de la conception permettent un accès facile, au moins par plate-forme automotrice, à toutes les parties vitales de l'ouvrage. Là encore, l'avantage est aux formes simples et aux structures constituées de peu d'éléments.



Figure 130 - Visite des ouvrages

La notice d'entretien des ouvrages recense les principaux points à observer lors des visites et inspections, ainsi que les repères disposés sur la structure pour en tester le comportement (repères topométriques, points de mesure des flèches, ...). Elle fait partie du dossier d'ouvrage.

Les parties vitales de l'ouvrage (appareils d'appuis, abouts de câbles de précontrainte, ...) doivent être aisément visitables. A cette fin, il est souhaitable de ménager un espace suffisant entre about de tablier et mur garde-grève (environ 40 cm) ou entre surface de chevêtres et intrados de tablier (environ 30 cm).

L'aménagement d'un cheminement ou de marches d'escalier pour accéder à la base des culées est en outre toujours apprécié. Ces dispositions peuvent être imposées par le coordinateur de sécurité dans le cadre du dossier d'intervention ultérieure sur ouvrage.

La conception des parties d'ouvrage les moins accessibles doit rester rustique.

2.6.3.3 - La durabilité des ouvrages

Pour un ouvrage, c'est sans doute l'objectif le plus apprécié du maître d'ouvrage et de son gestionnaire. Cette durabilité se traduit :

a) *par une structure durable par elle-même*

- structure de forme massive et simple, plutôt que des formes grêles et compliquées,
- structure auto protégée contre l'action de l'eau (dalles et poutres sous dalle) ou protégée par des systèmes d'étanchéité soignés et complets, en particulier au niveau des points faibles potentiels de la structure (ancrages de précontrainte, appareils d'appui, rives du tablier),
- structure en matériaux peu altérables, résistant notamment aux environnements agressifs (gel, sels de déverglaçage, milieu marin ou milieu chimique),
- structure protégée contre les chocs et les affouillements,
- structure souple, voire isostatique, s'il y a risque de tassements,
- structure monolithique ou constituée de grands éléments pour limiter le nombre de joints.



Figure 131 - Pérennité des matériaux

b) par une structure présentant des réserves de résistance

- par son hyperstaticité,
- par un dimensionnement adapté aux phénomènes d'altération superficielle et de fatigue,
- par l'emploi de matériaux de caractéristiques adéquates (matériaux présentant des réserves de résistance en élasticité ou en plasticité),
- et surtout, par des mesures favorisant la qualité de l'exécution : utilisation de matériaux faciles à mettre en œuvre, dans des délais raisonnables.

c) par des dispositions facilitant la réparation et le renforcement

- possibilité de remplacement de câbles de précontrainte,
- prévoir le réglage et le remplacement des appareils d'appui.

d) par des équipements adaptés à l'ouvrage et à son utilisation

- limitation du nombre de joints de chaussée,
- attelage des travées indépendantes chaque fois que possible,
- équipements facilement remplaçables,
- dispositions facilitant le remplacement des matériels "semi-consommables", en particulier, en évitant d'avoir recours à des équipements trop particuliers difficiles à trouver pour leur remplacement (garde-corps spéciaux par exemple, ...).

La politique d'enfouissement des réseaux aériens (EDF, Télécom, ...), le développement de la fibre optique, la généralisation des stations d'épuration font que les ouvrages d'art sont appelés à devenir les supports de véritables galeries techniques.

A ce titre, une concertation est indispensable entre le maître d'œuvre et les gestionnaires de réseaux, existants ou potentiels, en vue d'anticiper les besoins futurs.

2.6.3.4 - La facilité de visite et d'entretien

L'entretien des dispositifs d'évacuation des eaux est toujours délicat. Ainsi, il est préférable de prévoir des avaloirs sous trottoirs plutôt que des gargouilles dans le plan de la chaussée qui se bouchent trop rapidement. De même, les descentes d'eaux pluviales doivent avoir un diamètre suffisant et être faciles à curer.

Il est également souhaitable d'éviter les systèmes de cunettes à faible pente ($< 5\%$) sur les chevêtres, avec exutoire complexe, qui sont toujours ensablées. Un dévers général de la surface du sommier vers l'avant semble préférable.

Des zones de vérinages, présentant une accessibilité suffisante pour le remplacement des appareils d'appui (niches de vérinage si nécessaire), sont à prévoir.



Figure 132 - Niches à vérins

3 - DEMARCHE DE CONCEPTION D'UN PONT

Après avoir recensé l'ensemble des données relatives à un projet, le projeteur recherche à définir des solutions de franchissement de la brèche qui satisfassent à l'ensemble de ces données ou contraintes.

Pour cela, il est important d'examiner la marge disponible sur ces données, ce qui permet de mettre en évidence les contraintes principales qui ressortent de cette analyse. La définition de la solution résulte de critères plus ou moins techniques intégrant les possibilités d'implantation des appuis et d'adaptation des structures de tabliers à la brèche, le mode de construction, le parti architectural ou des dispositions facilitant la gestion ou la maintenance de l'ouvrage.

L'estimation du coût des ouvrages est nécessaire pour permettre, en plus des autres critères, d'arrêter un choix pour la solution qui respecte au mieux les différentes contraintes du projet.

L'ensemble de ce processus est naturellement itératif.

3.1 - ANALYSE DES DONNEES ET MARGE DISPONIBLE

Le premier chapitre de ce guide rappelle les termes de la circulaire du 5 mai 1994 relative à l'instruction des projets routiers. L'APS présente le programme général de la nouvelle infrastructure routière, les ouvrages courants y sont simplement recensés. La présentation de leurs caractéristiques principales, sous forme d'un tableau récapitulatif, doit permettre de vérifier l'appartenance des ponts à la classe des ouvrages courants.

A chaque étape d'avancement de l'ensemble du projet routier, le projeteur veillera à contrôler la classe de chaque ouvrage (ouvrage courant ou non courant) de façon à adopter la bonne procédure d'instruction. Il arrive en effet que les engagements pris à l'issue d'une enquête publique conduisent à augmenter les dimensions d'un pont ou de sa portée principale et ainsi à le faire changer de catégorie.

Le deuxième chapitre recense l'ensemble des données qui constituent le **programme** ou le cahier des charges d'un projet. Elles sont classées au chapitre 2 en six catégories :

Données administratives,
fonctionnelles,
naturelles,
d'Environnement,
architecturales et paysagères,
de gestion et de maintenance.

Ces données peuvent se traduire par des contraintes plus ou moins fortes pouvant affecter le projet à des niveaux d'importance différents, classés ci-dessous dans un ordre de priorité :

- le choix de la structure,
- la méthode de construction,
- la conception de certains détails,
- le traitement architectural,
- les hypothèses de calcul.

Ce classement est établi pour les cas habituels et correspond à la phase de conception. Il est clair que l'ordre d'importance serait totalement différent s'il devait être établi pour des projets en phase de réalisation en y intégrant les contraintes de marché.

Il importe donc que le concepteur de l'ouvrage évalue, en concertation avec le maître d'ouvrage, la marge dont il dispose sur chacune de ces données pour optimiser son projet, quitte à remettre certains choix en cause.

Il le fera au cours de l'APS qui constitue l'étape essentielle de validation de l'ensemble des données de l'ouvrage. Même si les textes réglementaires relatifs à l'instruction des projets n'imposent pas au projeteur d'établir pour les ouvrages courants une EPOA spécifique en même temps que l'APS, il est clair que c'est à ce stade des études que le projeteur dispose du maximum de marge (et elle peut être déjà assez faible) pour optimiser son projet.

3.1.1 - Les données administratives

Au stade du recensement des données administratives, objet du chapitre 2.1, **le contexte du déroulement des études** a été rappelé compte tenu de l'importance des contraintes de délais qui pèsent souvent sur cette phase du projet. Le maître d'œuvre connaît généralement bien la marge dont il dispose pour prendre en compte les autres contraintes administratives en phase d'études (procédures d'instruction, relations entre intervenants, rémunération des équipes d'études, ...) [10]. Les contraintes de délais sont par contre toujours difficiles à gérer. La meilleure organisation n'est pas infaillible. Il convient, et ce n'est pas facile, de bien évaluer les durées de chaque tâche, y compris les phases d'approbation.

En matière de délais d'études, il faut être prudent sur les marges dont dispose le maître d'œuvre. Pour toute modification du programme d'étude, il convient d'en évaluer les conséquences en matière de calendrier et de ne pas imposer ou accepter un raccourcissement de délai ou la résorption d'un retard conséquent sans connaître les moyens qui sont employés pour cela. La sous-traitance, l'augmentation d'effectifs, les simplifications d'hypothèses ou de modélisation et l'allègement des contrôles n'aboutissent pas au même résultat.

Le maître d'œuvre peut parfois être tenté, dans l'urgence, de demander le démarrage ou la poursuite des études, en fixant, à défaut de résultats d'investigations en cours ou à venir, sur les conseils de spécialistes, des hypothèses estimées défavorables a priori, tout en restant raisonnables. Cette pratique, qui est souvent la conséquence de délais incompatibles avec les objectifs visés, peut également conduire le maître d'œuvre à différer la production de justifications jugées trop lourdes ou trop pénalisantes. Cet usage, qui limite l'éventail des solutions possibles, doit rester exceptionnel, puisque chaque étape a son importance.

Le programme d'un projet de route présente, outre son historique et le cadre des études, le contexte administratif de l'opération : délais et phasage de réalisation, mode de financement, type et catégorie de la voie (infrastructure nouvelle, modification de voie existante, ...), normes à appliquer, coût d'objectif, planning de l'opération, engagements de l'Etat. Mais le programme de l'infrastructure routière ne rentre pas dans le détail des spécifications relatives à chaque ouvrage.

Il revient au projeteur d'affiner cet ensemble de contraintes administratives sachant que le maître d'ouvrage est particulièrement sensible a priori aux contraintes fortes de délais et de coûts. Le maître d'œuvre s'attachera en particulier à valider avec lui certains choix relatifs aux données fonctionnelles du franchissement, aux conséquences de cette réalisation sur le site et sur les riverains. Ainsi, la sécurité liée à la réalisation et l'exploitation de l'ouvrage et les données de gestion et de maintenance concernent directement le maître d'ouvrage.

En général, les données administratives d'un ouvrage laissent peu de marge au projeteur. Elles figurent en tête du programme de l'ouvrage et sont validées dès le lancement des études. Certains textes réglementaires, pas nécessairement applicables à tous les maîtres d'ouvrage, peuvent servir de référence. Ils demandent à être adaptés pour certains cas particuliers.

3.1.2 - Les données fonctionnelles

Les contraintes fonctionnelles d'un projet (tracé des voies, largeur de chaussée, bande cyclable, trottoirs, tirant d'air, voies d'insertion, équipements particuliers, conditions d'exploitation des voies, ...) orientent bien entendu très fortement la géométrie de l'ouvrage. Ceci peut amener le projeteur à se voir interdire toute solution classique. Sans prétendre régler toutes les difficultés, ce chapitre propose quelques recommandations ou quelques astuces de conception. Elles concernent essentiellement les caractéristiques géométriques de l'ouvrage, et plus particulièrement les problèmes de biais et de courbure en plan. Quelques dispositions relatives aux équipements permettent aussi de donner plus de souplesse.

3.1.2.1 - Mise au point du profil en long

La bonne adéquation du tracé routier et de la géométrie d'un ouvrage demande nécessairement plusieurs itérations entre l'équipe d'études de tracé et celle concernée par l'ouvrage lui-même. C'est pour cette raison qu'il est préférable de commencer les études, ou du moins la validation des données de l'ouvrage suffisamment tôt.

Le projeteur routier et le projeteur ouvrage d'art n'ont pas nécessairement les mêmes objectifs techniques. Par exemple, pour fixer le niveau du profil en long d'un tracé, le premier peut chercher à minimiser en priorité l'impact visuel du projet ou à réduire le coût des remblais, tandis que le concepteur de l'ouvrage cherche à préserver une marge confortable entre le niveau du profil en long et celui des voies franchies, marge compatible avec les hauteurs des tabliers des solutions classiques de pont. En fait, la démarche commune consiste à analyser globalement les contraintes du projet et à faire ressortir les éléments critiques incontournables (points de raccordements du tracé, ...). L'utilisation de valeurs habituelles d'élançement de tablier permet de travailler avec une bonne approximation sur ce point suffisamment tôt. Le projeteur ouvrage d'art, qui travaille en aval de l'équipe de tracé, évalue la marge dont il dispose ensuite sur les caractéristiques du profil en long pour recenser le choix de solutions techniques compatibles avec la hauteur disponible et concevoir l'ouvrage dans son ensemble. L'allure du profil en long a en effet un impact à ne pas négliger sur l'esthétique d'un ouvrage. Enfin, le projeteur doit vérifier que la ou les pentes du profil en long sont compatibles avec le dispositif d'assainissement de l'ouvrage. En deçà de 0,5%, la pente d'un ouvrage ne suffit pas à assurer un bon écoulement des eaux pluviales.

Le mode de construction peut également influencer sur le profil en long pour s'adapter à des éléments rectilignes comme des poutres, à autoriser le lançage ou le poussage d'un tablier, etc.

3.1.2.2 - Mise au point du tracé en plan

Le tracé en plan de l'infrastructure routière au voisinage du franchissement conditionne le biais et la courbure de l'ouvrage, sa longueur et l'implantation des appuis dans la brèche. Il importe donc que le projeteur évalue bien la marge dont il dispose à partir des données générales du projet routier pour manier au mieux ces paramètres.

Dans les paragraphes qui suivent sont passées en revue différentes méthodes qui permettent de réduire le biais et la courbure. On se reportera aux guides de conception des ponts-types pour plus de précisions et pour mieux juger de la bonne adaptation de ces méthodes à chaque type d'ouvrage. Certaines solutions ne sont d'ailleurs pas excellentes, comme celle illustrée par la figure 137, et constituent parfois un dernier recours lorsque des solutions plus satisfaisantes ne peuvent être réalisées.

a) adaptation au biais

La géométrie d'un échangeur ou d'un entrecroisement de voies existantes fixe le **biais** du franchissement, angle formé par l'axe longitudinal de l'ouvrage et l'axe de la voie franchie.

Lorsque le biais du franchissement reste modéré ($70 \text{ gr} \leq \varphi \leq 100 \text{ gr}$), on choisit le plus souvent de réaliser un ouvrage présentant le même biais géométrique (figure **Erreur! Source du renvoi introuvable.**), le dimensionnement du tablier différant peu de celui d'un ouvrage droit. Les lignes d'appuis sont alors parallèles aux voies ou aux obstacles franchis, disposition recommandée du point de vue esthétique. Cette solution conduit aux portées les plus faibles et par conséquent au tablier le plus mince.

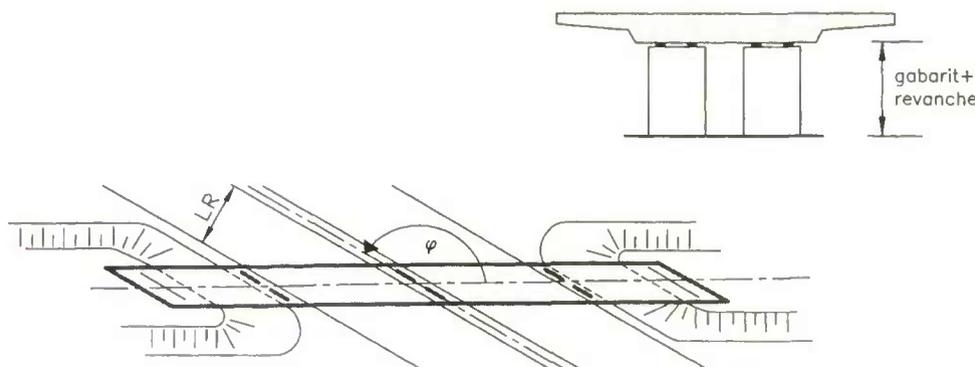


Figure 133 - Ouvrage biais

Lorsque le biais de franchissement est plus important (30 gr ou $50 \text{ gr}^{(1)} \leq \varphi \leq 70 \text{ gr}$), il est encore possible techniquement de réaliser un ouvrage présentant le même biais, mais au prix de difficultés de calcul et de réalisation et d'une surconsommation de matériau. De plus, les appuis (piles et culées) sont très longs et sont donc coûteux.

Pour éviter d'avoir à concevoir un ouvrage avec un biais trop prononcé, un certain nombre de solutions peuvent être adoptées suivant le type d'ouvrage, auxquelles il est conseillé d'avoir recours.

⁽¹⁾ 30 grades pour les ponts dalles et 50 pour les ponts à poutres.

- *Redressement des bords libres*

Cette solution consiste à conserver la direction biaisée des lignes d'appui mais à prévoir, en redressant les bords libres, un tablier de surface surabondante, franchi en diagonale par la voie portée (figure 134, dans le cas d'un pont cadre). L'ouvrage présente alors un biais géométrique plus faible que celui du franchissement.

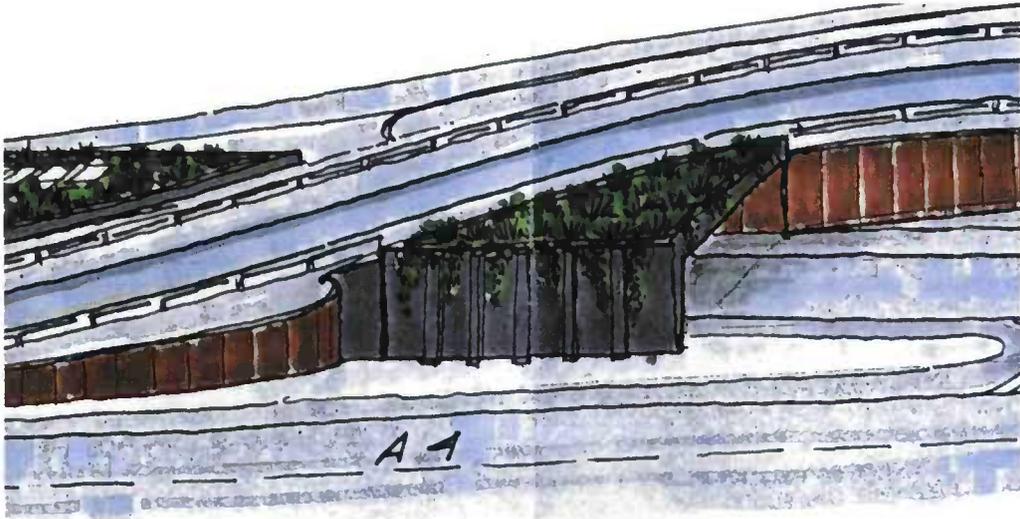


Figure 134 - Redressement des bords libres

Cette solution est d'autant plus pénalisante que l'ouvrage est long et que l'on cherche à le redresser fortement. On peut, à l'extrême réaliser un pont droit. Elle trouve donc son domaine d'emploi dans le cas d'un ouvrage court. Sauf si les emprises sont très réduites, ce principe est souvent adopté en ville, les surlargeurs pouvant être utilisées pour loger des mobiliers urbains.

- *Redressement des lignes d'appui*

Dans le cas d'un ouvrage plus long, on cherche à redresser le biais.

Sur la figure 135 ci-après, le franchissement est effectué par un ouvrage droit appuyé sur des piles marteaux. Le recours à ce type de pile, dont le fût unique prend peu de place, permet facilement l'implantation de l'appui dans le réseau biais des voies franchies. Le chevêtre en tête de pile est orienté perpendiculairement à l'axe de l'ouvrage.

L'inconvénient principal lié à cette solution provient de ce qu'il est nécessaire de rehausser le tablier pour que le chevêtre de la pile n'empiète pas sur les gabarits de circulation des voies franchies. Par ailleurs, cette disposition est plus facile à mettre en œuvre dans le cas d'un tablier qui repose sur des appareils d'appuis rapprochés (ossature mixte de type bipoutre à entretoises, dalle à nervure unique), plutôt que sur des appareils d'appuis éloignés (ponts à poutres multiples sous chaussée), qui demandent des chevêtres importants et de plus grande largeur.

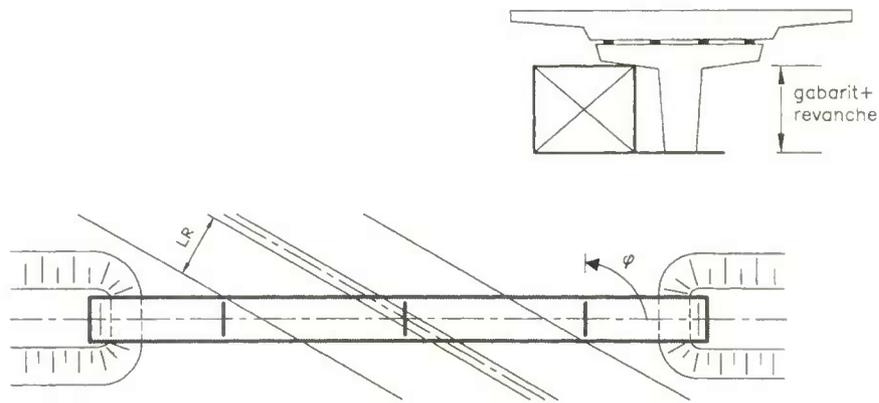


Figure 135 - Ouvrage droit avec piles marteaux

Une variante à la conception précédente consiste à faire reposer le tablier sur un seul appareil d'appui au droit des piles courantes, ce qui permet de supprimer le chevêtre en tête de pile et les inconvénients correspondants (figure 136). Il faut bien sûr conserver des appareils d'appui dédoublés sur certains appuis, en pratique sur les culées. On rencontre cette conception surtout sur des passerelles ou les bretelles unidirectionnelles routières, qui sont des ouvrages peu larges. Elle est également adaptée aux ouvrages courbes et étroits, comme l'illustre le schéma ci-après, ou à des ouvrages plus larges résistant bien à la torsion. Une telle disposition se traduit par une majoration du ferrailage transversal.

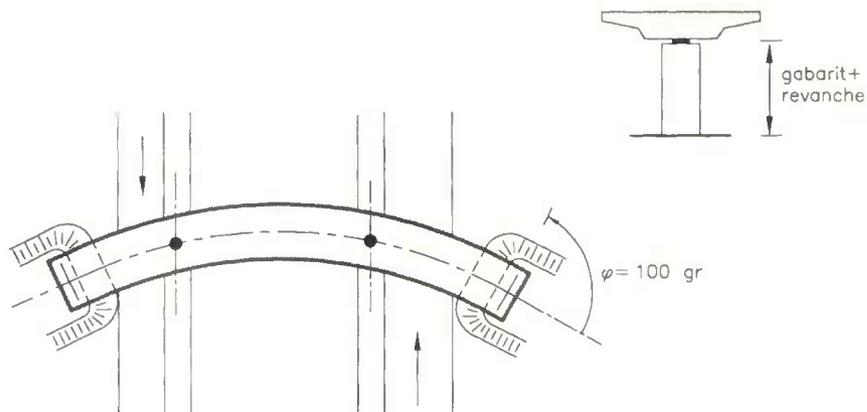


Figure 136 - Appuis intermédiaires ponctuels dans le cas d'un ouvrage courbe

Annuler totalement le biais n'est pas toujours possible ni vraiment intéressant. Les schémas précédents font effectivement apparaître les inconvénients de cette méthode : l'augmentation des portées et l'allongement du tablier. On peut se contenter alors de réduire partiellement le biais en optimisant l'implantation des piles et l'orientation des chevêtres en fonction de l'espace disponible (figure 137). Une telle solution n'est cependant pas idéale du point de vue de l'aspect.

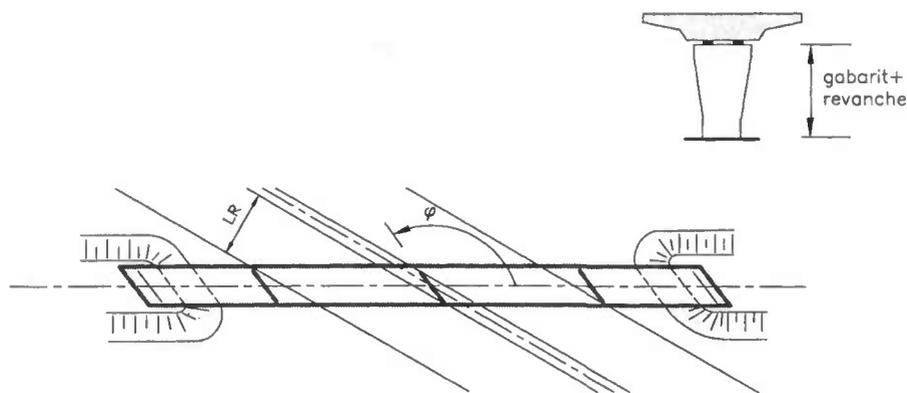


Figure 137 - Appuis intermédiaires redressés

Dans le cas d'un ouvrage à poutres et à dalle mince (bipoutre métallique, tablier en béton à nervures étroites et hautes), il est également possible de conserver le biais de l'ouvrage au droit des piles et de concevoir des culées droites suivant le schéma de la figure 138. Cette disposition, moins fréquente, demande quelques précautions au niveau de la conception des entretoises (elles seront dédoublées pour les ouvrages métalliques au droit des piles), mais elle permet de mettre en place le joint de chaussée perpendiculairement à la chaussée ce qui améliore sa longévité.

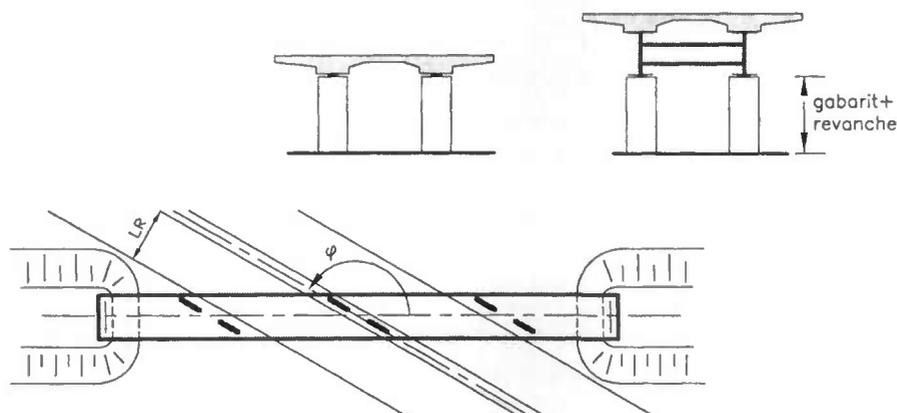


Figure 138 - Appuis intermédiaires biais

Les propositions suggérées dans les paragraphes qui précèdent devraient permettre dans bien des cas de limiter le biais géométrique d'un ouvrage à 70 grades. Si ce n'était pas le cas, il est clair que l'ouvrage, bien que courant au sens de la circulaire du 5 mai 1994, serait à considérer comme non conforme à un modèle type et demanderait une étude particulière sur ce point.

Enfin, pour les ouvrages importants, il est parfois intéressant de concevoir un ouvrage droit mais à tabliers dédoublés, les deux tabliers étant décalés longitudinalement (figure 139). Dans un tel cas, la conception des culées est plus délicate. Notons également l'aspect esthétique médiocre de cette solution du fait de la multitude d'appuis indépendants rendant l'ouvrage peu transparent.

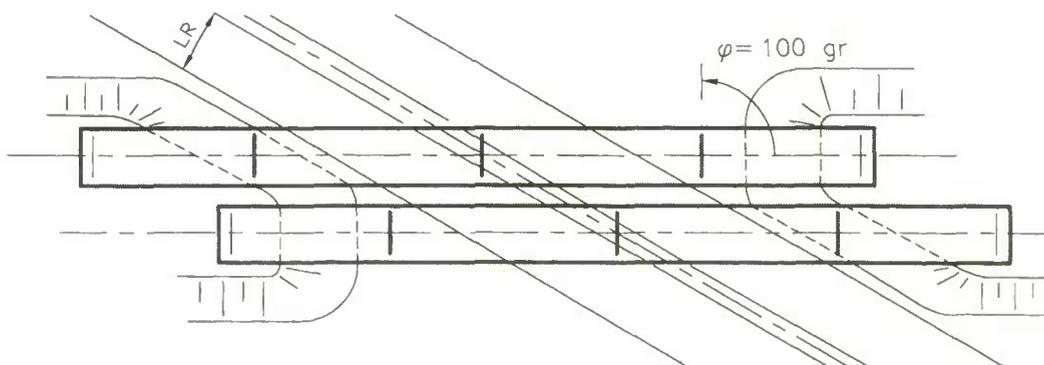


Figure 139 - Tabliers dédoublés

b) adaptation à la courbure

La mise au point du tracé routier peut faire apparaître **des ouvrages courbes**. Le projeteur doit veiller à éviter de composer biais et courbure sur un ouvrage en choisissant si possible des appuis rayonnants.

La flexion longitudinale n'est en général pas affectée par l'effet de courbure tant que la portée angulaire reste inférieure au seuil de 0,2 ou 0,3 radians, selon le type de structures (se reporter aux guides de conception du SETRA). Les difficultés se poseront alors au niveau des coffrages et des dissymétries de réactions d'appui. On veille alors à écarter suffisamment les appuis d'une même ligne d'appuis de façon à éviter les risques de soulèvements.

Un tablier très courbe, résistant à la torsion, peut être appuyé sur des appareils d'appui ponctuels reposant sur des piles intermédiaires composées d'un fût unique. Les appuis sur culées seront par contre dédoublés et suffisamment écartés. Comme pour le traitement du biais, ce cas se rencontre principalement pour les ouvrages étroits tels que des passerelles ou des bretelles.

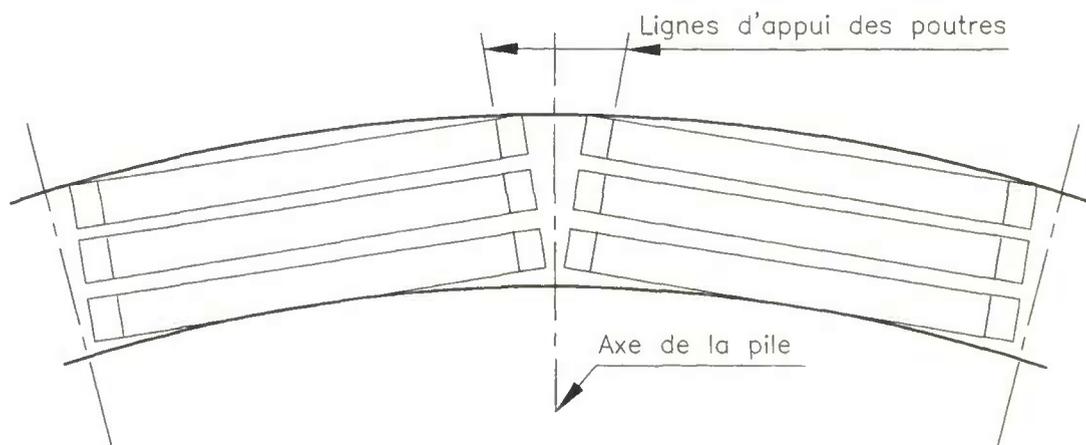


Figure 140 - Ponts à poutres courbes

Les ponts à poutres, a priori peu adaptés à la courbure, sont utilisables lorsque la courbure est faible (rayon supérieur à 15 fois la portée), en plaçant les poutres suivant une ligne polygonale dont chaque travée forme un côté. La courbure du tablier est obtenue en faisant varier la largeur du débord du hourdis. Remarquons que les ponts mixtes peuvent comporter des poutres courbes.

c) giratoires

A propos de biais et de courbure, mentionnons le cas très fréquent des ouvrages sur carrefours **giratoires dénivelés**. Nous ne nous intéresserons pas ici aux problèmes que posent ces infrastructures en matière de dispositifs de retenue, mais seulement à la structure des ouvrages. Les caractéristiques du profil en long des voies franchies imposent en général de concevoir des tabliers à dalle mince.

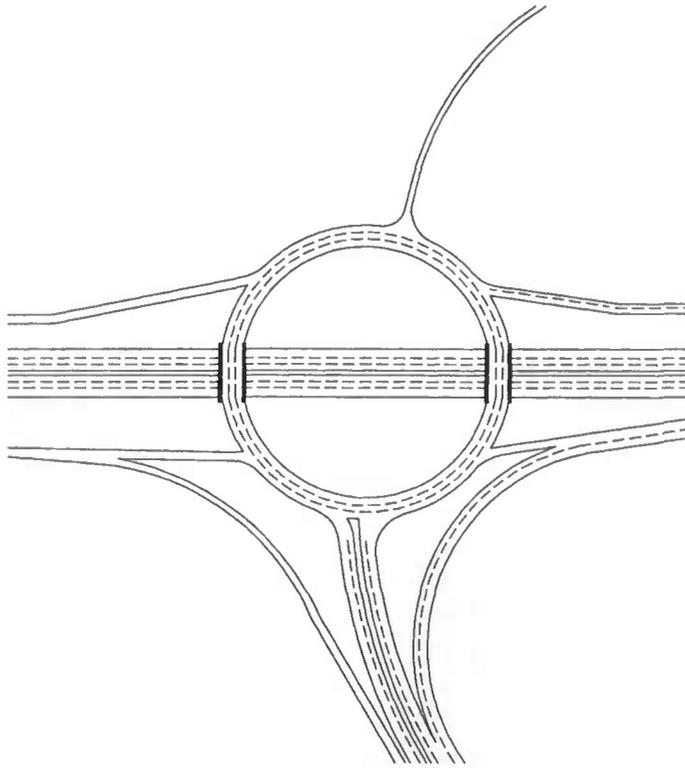


Figure 141 - Ouvrages sur giratoire

Leur faible épaisseur de tablier s'accommode mal du biais, de la courbure et des variations de largeur. Pour limiter ces contraintes, il est préférable d'éviter que l'axe des culées ne soit presque tangent au cercle intérieur du giratoire. Les bretelles de raccordement seront suffisamment écartées des tabliers.

Le tracé routier impose au niveau des raccordements des bretelles d'insertion **des ouvrages de largeur variable**. Si cette variation de largeur est faible, elle n'affecte pas le fonctionnement longitudinal de l'ouvrage. Ce problème se règle en adoptant une structure à hourdis mince ou une dalle dont on peut faire varier raisonnablement la largeur des encorbellements. Dans l'hypothèse d'une variation de largeur plus importante, il n'y a guère moyen de s'affranchir de cette difficulté au niveau géométrique. Des structures comme les dalles pleines en béton ou les ponts à poutres sont mieux adaptées à la largeur variable (poutres ou poutrelles en éventail). Au niveau des calculs, il est nécessaire d'évaluer l'effet de la variation de largeur par un calcul en grillage de poutres.

Signalons que ce type de giratoire pose d'autres problèmes, en particulier par la difficulté d'implanter convenablement des dispositifs de retenue.

3.1.2.3 - Mise au point du profil en travers

a) cas général

Nous avons vu que le principe général de définition du profil en travers fonctionnel sur ouvrage courant offrait peu de liberté au projeteur, puisque, le plus souvent, le profil en travers fonctionnel en zone courante était conservé.

La définition de détail du profil transversal de l'ouvrage doit intégrer les équipements du tablier. Le choix du ou des dispositif(s) de retenue de chaque côté de l'ouvrage, la présence d'un trottoir ou d'un passage de service, le choix fait pour le recueil des eaux (caniveau fil d'eau et avaloirs ou recours à des corniches caniveaux), le type et le dessin de la corniche, la présence de certains équipements moins courants (écrans acoustiques, potences de signalisation, candélabres, etc.) sont déterminants pour finaliser la largeur du tablier, compte tenu de leur encombrement. Ces choix doivent être fait au stade de l'APS et on doit en estimer convenablement le poids propre.

Ces choix conditionnent également des dispositions de détail, indispensables au bon fonctionnement et à la bonne mise en œuvre de ces équipements et par conséquent à la pérennité de l'ouvrage (relevés d'étanchéité, drainage, raccordements d'équipements à l'étanchéité, joints de chaussée, fixation des dispositifs sur le tablier, etc.). Ces dispositions de détail doivent être étudiées de façon fine au niveau du projet afin d'éviter toute improvisation à l'exécution.

Le passage des réseaux sur, sous ou dans le tablier pose de nombreux problèmes techniques. Sans pouvoir être exhaustifs, nous citerons les cas suivants :

- quel que soit le type de réseau empruntant l'ouvrage, la dilatation du tablier, et plus généralement, tous les déplacements ou déformations du tablier doivent être supportés par ces réseaux. Il est alors nécessaire de prévoir des appareillages spécifiques permettant d'absorber les jeux (déformations, dilatations) ou de prévoir des interventions particulières sur ces réseaux dans le cas des vérinages.
- faire préciser les règles de cohabitation inter réseaux (distances entre canalisations, proximité possible d'autres réseaux),
- prévoir des conduites étanches pour les liquides susceptibles d'être agressifs pour les matériaux constitutifs de l'ouvrage,
- prévoir la récupération des liquides en cas de fuite. Dans le cas de grosses canalisations un dispositif de fermeture automatique peut être prévu,
- estimer convenablement le poids des canalisations (fonte, acier) et galeries, ou définir les efforts spécifiques devant être repris par la structure (systèmes anti-bélier s'ils ne sont pas indépendants de la structure par exemple, ...),
- prévoir des fixations des équipements importants non traumatisants pour la structure et durables (problème de protection cathodique, fixations préservant l'étanchéité),
- en ce qui concerne les câbles électriques, il n'existe pas de difficultés spécifiques pour des câbles de faible et moyenne tension. Dans le cas de la haute tension, 20 à 90 kV, des influences électriques sur les aciers de structure et sur des réseaux voisins sont possibles. Des consignes de sécurité sont naturellement indispensables.
- les conduites de gaz sont interdites à l'intérieur des structures fermées (ce qui concerne assez peu les ouvrages courants).

b) cas des ouvrages urbains

Quelques recommandations particulières aux sites urbains limitent les possibilités d'adapter les caractéristiques des profils en travers.

Dans le cas d'une voie urbaine comportant de part et d'autre d'un ouvrage des bandes d'arrêt, celles-ci seront maintenues sur ou sous l'ouvrage. Des dérogations sont envisageables seulement en cas d'impossibilité matérielle ou si le maintien conduit à un surcoût prohibitif.

Il convient de noter que pour que les dispositifs de retenue fonctionnent correctement, il est souhaitable de respecter un "gabarit", dans lequel aucun élément physique n'est implanté, à moins d'avoir prévu pour l'utilisateur les conséquences du choc sur des éléments présents dans cette zone et pour les tiers celles liées à la chute de ces éléments. Il est également possible d'utiliser des écrans acoustiques qui jouent simultanément le rôle de barrière de type 2 (niveau 2b selon NF P 18-409) en cas de choc d'un véhicule. De tels dispositifs minimisent l'encombrement de ces équipements sur le tablier et réduisent l'entretien ultérieur. Cependant, ces écrans devront être testés et homologués en tant que dispositif de retenue, ce qui rend en général l'opération très coûteuse. Dans le cas où les ouvrages surplombent des zones habitées ou circulées, on préférera toutefois dissocier la fonction dispositif de retenue de la fonction protection acoustique.

De façon générale, les équipements liés au caractère urbain des ouvrages (candélabres, portiques et potences de signalisation, écrans antibruit ou protections anti-chute d'objets) nécessitent des adaptations de structure de façon à assurer leur ancrage et leur stabilité. Il convient de vérifier aussi leur encombrement (un trottoir doit offrir une largeur suffisante au droit des candélabres, ce qui peut obliger à élargir localement le tablier pour recevoir l'embase du candélabre). C'est au stade du projet que le concepteur intègre ces éléments.

Enfin, certains équipements permettent d'adapter le profil en travers fonctionnel d'un ouvrage à l'évolution du trafic : mise en place d'une protégée par une barrière amovible, trottoir amovible ou franchissable, ...

3.1.2.4 - Voie franchie

Les caractéristiques dimensionnelles des voies ou des obstacles franchis doivent naturellement être scrupuleusement respectées.

Il s'agit d'une part de respecter les gabarits avec les revanches de protection ou de construction en tenant compte du dévers et des pentes des voies portées et franchies. Longitudinalement d'autre part, les ouvertures à dégager compte tenu des biais de franchissement, de l'implantation de dispositifs de retenue, de la présence de réseaux, etc. permettent de définir des zones d'implantation possible des appuis.

On dispose en général de très peu de marges sur ces données qui constituent des points durs incontournables.

3.1.2.5 - Les données d'exploitation.

On entend par données d'exploitation les préoccupations vis-à-vis des usagers et des tiers liées dans un premier temps à la phase de construction, puis les problèmes qui se présentent lors de la phase d'exploitation de l'ouvrage, et notamment tous ceux liés à l'entretien.

Les données d'exploitation peuvent à elles seules justifier le choix d'un type d'ouvrage et de son mode de construction. Elles peuvent remettre en cause l'économie d'un projet.

a) Pendant les travaux

Le maintien des circulations en toute sécurité pendant les travaux limite l'emprise du chantier et impose parfois la mise en place de déviations, de passerelles réservées aux ouvriers ou aux piétons.



Figure 142 - Maintien des circulations pendant les travaux

Pour réduire l'impact d'un chantier à proximité de voies circulées, il s'avère souvent intéressant d'utiliser des méthodes de construction faisant appel aux techniques de préfabrication ou de mise en place ponctuelle :

- les ouvrages de type PRAD ou à poutrelles enrobées pour lesquels les poutres préalablement stockées à proximité sont posées sur une durée très courte, éventuellement de nuit,
- les ouvrages mis en place par ripage, autofonçage[®], poussage ou posés à la grue, également rapides d'exécution, limitent la gêne à l'utilisateur,
- enfin, les techniques de vérinage permettent de réaliser des ouvrages en surélévation, avant de redescendre le tablier à sa position définitive, le coffrage et le cintre n'engageant pas le tirant d'air nécessaire au passage de la circulation sous l'ouvrage en cours de réalisation.

Les émissions de bruit et de vibrations en site urbain, les pollutions par les boues de forage des chantiers de fondations, la proximité d'une ligne à haute-tension ou d'une voie circulée peuvent ainsi conduire le projeteur à privilégier un type d'ouvrage ou un mode de construction donné.

b) Ouvrage en service

Le futur gestionnaire de l'infrastructure doit être associé suffisamment tôt aux études de conception, au plus tard au stade de l'établissement du Projet.

Compte tenu des contraintes budgétaires qui ne permettent pas toujours aux exploitants d'assurer une surveillance et un entretien satisfaisants des infrastructures, il est nécessaire de prendre en compte leurs exigences en matière de conditions d'accessibilité et de pérennité. La circulaire du 5 mai 1994 formalise ce souci et impose l'établissement d'une notice d'entretien dès le projet. Ce sont souvent les équipements qui posent le plus de problèmes aux gestionnaires. En effet, beaucoup de désordres sur équipements ne sont pas forcément dus aux aléas de la circulation, mais bien à des défauts de conception ou de réalisation qui peuvent engendrer aussi des problèmes touchant à la sécurité des usagers ou des tiers.

3.1.3 - Les données naturelles

Les données naturelles caractérisent le site de l'ouvrage ; elles sont d'ordre géotechnique, hydraulique, climatique ou sismique. On peut aussi y inclure l'action du gel-dégel. Ces données font partie du programme de l'ouvrage et définissent un ensemble de contraintes sur lesquelles le projeteur dispose de peu de marge. Elles peuvent limiter très fortement l'éventail des solutions possibles d'un projet, imposer des dispositions complémentaires très coûteuses ou un planning d'exécution difficile. Enfin, une erreur d'investigation au niveau des données naturelles peut dans certains cas remettre en cause l'économie globale d'un projet.

Pour traiter les **données relatives au sol** et prendre en compte les contraintes géotechniques, les concepteurs disposent de techniques variées et bien expérimentées qui leur permettent dans la plupart des cas d'adapter la structure et sa technique de réalisation aux contraintes. Il se peut aussi que l'on opte plutôt pour une modification des données naturelles en améliorant par exemple les caractéristiques mécaniques du terrain. Enfin, on peut être amené à modifier ou à abandonner une variante de tracé si des contraintes sont fortes et localisées.

Si les contraintes géotechniques ne sont pas trop sévères, on cherche à concevoir des fondations adaptées : fondations profondes ou superficielles, voire semi-profondes, pieux chemisés au niveau des couches de terrain trop granuleux ou dans les zones de circulation d'eau, pieux chemisés et enduits de bitume pour éviter le frottement négatif des sols très compressibles. Des éléments de choix sont fournis dans la pièce 4 du dossier FOND 72 [95]. Enfin, on peut penser à privilégier les structures isostatiques et légères dans les zones de terrain fortement compressible (tassements atteignant 15 cm), à multiplier les joints de structure pour limiter l'effet néfaste des tassements différentiels et on n'hésitera pas, le cas échéant, à faire des calculs en fourchette avec hypothèses haute et basse sur les données géotechniques difficiles à appréhender de façon précise.

Le planning d'exécution peut lui aussi être adapté en fonction des contraintes de réalisation. Dans le cas d'un sol très compressible, il est souvent intéressant de charger à l'avance le terrain en commençant par les remblais de façon à limiter les tassements subis par la structure, ce qui peut constituer la seule solution dans les cas extrêmes.

Les contraintes liées au terrain peuvent aussi être d'ordre chimique. Des dispositions permettent là encore de pallier certaines difficultés si elles restent modérées. Dans le cas d'un sol agressif vis-à-vis des matériaux de construction, de façon naturelle ou par pollution, on peut chercher à protéger les structures enterrées ou à améliorer leur résistance. On choisit alors un béton compact ou des revêtements de protection et on fixe par exemple des règles de calcul adaptées (fissuration préjudiciable). Les pieux peuvent être chemisés.

Enfin, on peut citer les techniques qui permettent d'améliorer les caractéristiques d'un terrain en renvoyant le lecteur aux guides spécifiques :

- la substitution (mais cette méthode est généralement onéreuse et doit être réservée à des cas spécifiques),
- l'injection et autres techniques qui s'y apparentent (jet grouting, ...),
- le drainage et le rabattement de nappe accompagné ou non de colonnes ballastées.

Les **contraintes hydrauliques** liées à l'écoulement d'un cours d'eau imposent en général de prendre en compte les niveaux de crue et de minimiser l'impact du projet sur l'écoulement dans le lit majeur et dans le lit mineur. L'évaluation du débouché hydraulique (en plan et en hauteur) doit permettre le passage de la crue de référence, mais aussi des corps flottants. Cette donnée, qui fixe la cote minimale de l'intrados du tablier peut être aussi déterminante pour le calage des paramètres de tracé routier (profil en long). Elle peut également conditionner le recul des remblais par rapport aux berges. On adapte en conséquence le nombre d'appuis, la longueur du pont, la forme des fûts de pile en rivière et leur orientation. On protège également les appuis contre les risques d'affouillements local et général ou les risques d'abrasion dus au transport solide du cours d'eau. Les contraintes hydrauliques peuvent ainsi avoir un impact financier non négligeable sur un projet d'ouvrage. Il arrive que des considérations de lit majeur et d'écoulement en cas de crue conduisent à concevoir dans un remblai un ouvrage de décharge ou à rallonger de façon significative un pont, le faisant passer de la catégorie des ouvrages courants à celle des ouvrages non courants. Quant aux risques d'affouillements, des rescindements de berges peuvent améliorer l'écoulement de la rivière au voisinage d'un pont. Dans tous les cas, ces techniques sont coûteuses. Un guide "ponts et rivières" traitant des études hydrauliques et la conception des ponts est en préparation au SETRA.

On peut citer le recours au cuvelage qui permet d'étancher un ouvrage enterré ou semi-enterré pour un niveau de crue donné d'une rivière avoisinante. Cette technique comprend la réalisation de trémies d'accès à l'ouvrage lui-même.

Les **données climatiques** d'un site interviennent directement dans le dimensionnement d'un ouvrage et les règlements de calcul imposent des hypothèses forfaitaires selon la situation géographique de l'ouvrage. Outre les calculs, le projeteur et le maître d'œuvre veilleront aux précautions liées aux conditions climatiques en cours d'exécution (précautions sur les bétons, sur les mises en peinture, réglage des joints de chaussée, ...).

Les **données sismiques** ne laissent pas de marge au projeteur qui doit les prendre en compte dans le dimensionnement de l'ouvrage. Des dispositions constructives simples sont explicitées dans le futur guide de conception parasismique du SETRA [103].

3.1.4 - Les données liées à l'Environnement

Les données relatives à l'Environnement sont consignées dans l'étude d'impact du projet. Elles sont collectées par le projeteur routier dès l'étude de tracé. En fonction de la qualité et des caractéristiques du site, qualité historique, architecturale, patrimoine naturel, régional, les contraintes d'Environnement définissent le niveau de protection des riverains, du site, de la faune et de la flore, ainsi que les mesures compensatoires qui accompagnent le projet.

Ces mesures compensatoires qui peuvent se traduire par des ouvrages supplémentaires ou des équipements spéciaux le long du projet routier sont définies au stade de l'APS et éventuellement complétées au niveau du projet de façon à respecter le contexte réglementaire et administratif ainsi que les engagements de l'Etat pris à la suite de l'enquête publique. Il revient au projeteur Ouvrages d'Art de vérifier suffisamment tôt l'impact de ces mesures au niveau du programme des ouvrages à réaliser. Il veille en particulier à affiner les contraintes d'Environnement qui influent sur les conditions de construction et de maintenance des ouvrages.

3.1.4.1 - Eau

La construction d'un ouvrage d'art peut présenter des risques au sens de la loi sur l'eau pour les opérations suivantes :

- prélèvements d'eau,
- détournement ou rescindement des cours d'eau,
- ouvrage dans le lit mineur d'un cours d'eau faisant obstacle à l'écoulement des crues (emprises des piles, batardeaux)
- remblaiement, assèchement ou imperméabilisation de marais,
- ouvrages de recueil des eaux de pluies,
- altération de l'écoulement des nappes (palplanches, parois moulées, drainantes, etc.)
- plate-forme de fabrication située dans une zone sensible.
- rejets d'eaux superficielles (évacuation des eaux, assainissement),

Les modes de construction de l'ouvrage et les précautions prises pour limiter l'impact engendré par les travaux devront être adaptés pour limiter les nuisances au cours de la construction (travail dans le lit des cours d'eau, pollutions par les vidanges des engins, dépôts de matériaux, etc.).

Les nuisances potentielles provoquées par l'ouvrage lui-même concernent :

- La conservation du débouché hydraulique du cours d'eau et l'impact de l'implantation d'appuis dans le cours d'eau. L'étude hydraulique vérifie que l'ouvrage ne crée pas de nouvelles zones inondables, ne contribue pas à augmenter la vitesse du courant, ce qui pourrait nuire à la stabilité des berges et ne perturbe pas l'écoulement des nappes.
- Le risque de pollution provoquée par les eaux de ruissellement (sels de déverglaçage, usure de la chaussée ou des pneumatiques, corrosion d'éléments métalliques, hydrocarbures, etc.) ou par des produits polluants déversés accidentellement sur l'ouvrage.

Les systèmes d'assainissement classiques décrits dans le guide d'assainissement des ponts routes du SETRA [70] permettent de recueillir les eaux superficielles vers l'assainissement général routier pour y être collectées, puis traitées et ainsi éviter qu'elles ne soient rejetées dans le milieu naturel.

Vis-à-vis du risque de déversement accidentel de produits polluants ou toxiques, l'ouvrage d'art constitue en général un point faible. Du côté droit, il est relativement facile d'utiliser des dispositifs de retenue "étanches" par des barrières hautes et continues du type GBA, BN1 ou BN2, qui confinent les polluants sur l'ouvrage.

Du côté du TPC, plusieurs solutions sont envisageables. Une note d'information SETRA/CTOA-CSTR [52] en cours de rédaction et à laquelle il convient de se reporter pour plus de détails, propose différents moyens pour équiper les TPC d'ouvrages franchissant des zones à environnement sensible :

- réaliser un tablier monolithique pour les deux sens de circulation, solution jugée très contraignante du point de vue de l'exploitation,
- obstruer le vide central (couverture du vide central ou rapprochement des deux tabliers de manière à pouvoir disposer un joint d'étanchéité),
- mettre en place sur TPC un équipement identique à celui du bord droit lorsque le rapprochement des deux ouvrages n'est pas possible,
- admettre un vide central non couvert de largeur modérée (<1,20 m) dans les zones moins sensibles.

3.1.4.2 - Bruit

Lorsqu'une solution de type écran acoustique est prévue sur ouvrage, il importe d'en connaître le principe dès l'APS de manière à prévoir la sur largeur nécessaire à l'implantation et à la fixation de ces écrans et des dispositifs de retenue qui les isolent. Il faut également veiller à ce que ces écrans ne soient pas une gêne aux visites et à l'entretien des ouvrages. De plus, comme tout équipement susceptible d'être détérioré, il convient d'en prévoir le remplacement.

Il convient de rappeler que l'effet de ces écrans sur les tabliers est important. Outre le poids propre de l'écran proprement dit, qui varie fortement en fonction du matériau utilisé et de la hauteur de l'écran, l'effet du vent sur l'écran (pouvant souffler dans les deux directions) peut être déterminant pour le dimensionnement des encorbellements des tabliers.

Il est toujours désastreux de devoir "ajouter" à la dernière minute un écran sur un tablier.

Du point de vue acoustique, la continuité du dispositif de protection doit être maintenue à la sortie de l'ouvrage et au delà de l'ouvrage. Les déformations de l'écran doivent être compatibles avec celles du tablier et il convient de prévoir un joint de dilatation de l'écran au droit des joints de chaussée. Ce joint doit être acoustique.

Le dessin de la figure 143 illustre une disposition possible d'implantation d'un écran acoustique en bordure de tablier. Notons qu'il est nécessaire de prévoir un garde-corps de service à l'arrière de l'écran, pour toutes les opérations d'entretien à réaliser dans cette zone. Un passage de service de 0,60 m minimum est à prévoir.

- IMPLANTATION D'UN ECRAN -

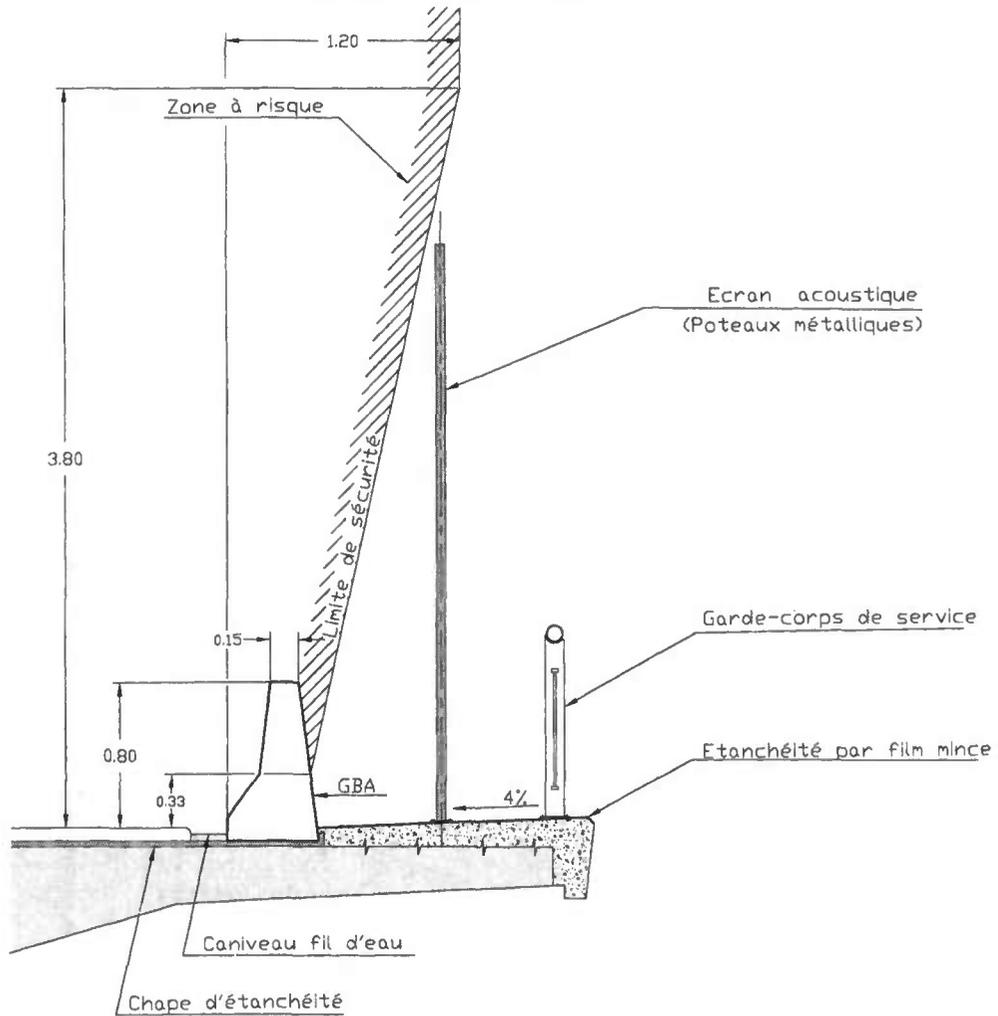


Figure 143 - Principe d'implantation d'un écran acoustique sur ouvrage

Les écrans sont généralement réalisés à base de poteaux métalliques dont les caractéristiques sont adaptées à la hauteur de l'écran et à l'espacement des poteaux. Ces poteaux sont fixés au tablier (généralement par l'intermédiaire d'une longrine) par un système de platine contre-platine permettant un réglage fin du poteau.

En avant de l'écran est généralement implanté un dispositif de retenue. Remarquons que l'implantation de l'écran en dehors du gabarit de protection du dispositif n'est pas obligatoire et qu'il appartient au projeteur d'évaluer les risques et les conséquences de la présence d'un équipement dans ce gabarit de protection (fonctionnement du dispositif, destruction des équipements en question, chute de débris, etc.).

Un soin particulier doit être apporté à l'évacuation des eaux compte tenu des "obstacles" que constituent le dispositif de retenue et l'écran. Sur la zone de corniche et de longrine, une étanchéité de type film mince doit être prévue.

3.1.4.3 - La faune et la flore

Les ouvrages de passage à grande faune ont une morphologie bien particulière, spécialement définie pour être accueillante pour les animaux sauvages. Pour les passages supérieurs la forme en entonnoir est la plus courante.



Figure 144 - Passage à grande faune

Les passages supérieurs présentent au moins les dispositifs particuliers suivants :

En rive, un parapet, généralement à parement de bois, forme écran visuel. Son implantation est similaire à celle d'un dispositif de retenue classique.

Pour offrir un meilleur accueil aux animaux, les passages sont plantés, ce qui nécessite une couverture de terre végétale, qui ne doit pas être excessive, car pénalisante pour le dimensionnement du tablier. Elle doit être toutefois adaptée aux espèces végétales plantées. Pour donner un ordre de grandeur, une épaisseur de terre de 0,50 m, pouvant permettre l'implantation d'arbustes n'est pas trop pénalisante. Une épaisseur de 2,00 m, permettant la plantation d'arbres de haute tige ne doit être envisagée que si elle est strictement nécessaire. On peut également avoir recours à des revêtements de faible densité, ce qui permet de réduire la charge permanente.

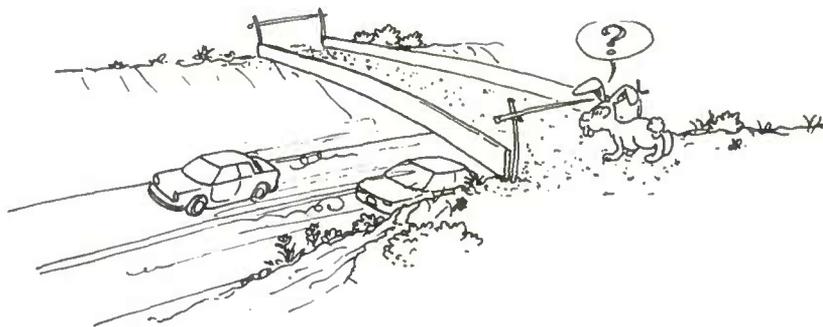


Figure 145 - Petite faune

Les particularités de ce type d'ouvrage nécessitent des adaptations par rapport aux ouvrages routiers. En effet, les ratios habituels ne sont pas directement utilisables et il est indispensable d'adapter les dimensions de l'ouvrage (épaisseurs) aux charges. Il peut être pour cela intéressant de comparer l'intensité des charges supportées par l'ouvrage à la charge A(l) que supporterait un ouvrage routier équivalent.

La forme originale en entonnoir conduit pour les études de projet et d'exécution à une modélisation en grillage de poutres pour des ponts fonctionnant en poutres simplement appuyées ou en trois dimensions pour des ouvrages de type cadre et portique ou à béquilles.

Une attention spéciale doit être portée au drainage de ces ouvrages, à la pérennité des panneaux et de leurs systèmes d'accrochage ainsi qu'au fort développement végétal à long terme. Ces éléments constituent les principales causes de désordres des passages supérieurs végétalisés pour la grande faune. Pour appréhender ces problèmes, on peut s'inspirer des techniques de jardin sur dalle qui ont fait leurs preuves.

3.1.4.4 - Impact du chantier sur l'Environnement

Les préjudices temporaires que subissent les riverains ou l'Environnement pendant les phases de chantier peuvent souvent être réduites avec un peu d'organisation et une prise en compte préalable de ces nuisances.

Le projeteur ou le maître d'œuvre doit chercher à limiter la gêne correspondante :

- en privilégiant des procédés ou phasages de construction peu agressifs,
- en réduisant et clôturant les emprises de chantier,
- en limitant les prélèvements dans la nature (recyclage de l'eau, prélèvement de matériaux nobles, ...) et les rejets,
- en soignant la propreté du chantier (nettoyage des engins, stockage des déchets, ...).



Les dispositions de protection de l'environnement et du cadre de vie des riverains en phase travaux sont mentionnées dans le SOPAQ établi par les entreprises en concertation avec le maître d'œuvre. Celui-ci formalise ainsi ses exigences particulières lors de la consultation. Il peut alors être demandé aux entreprises de produire un volet environnement spécifique au sein du Plan Assurance Qualité.

Figure 146 - Les nuisances de chantier

3.1.5 - La conception architecturale

A partir des données répertoriées au chapitre 2 en particulier, l'équipe de concepteurs peut envisager la définition d'un ouvrage.

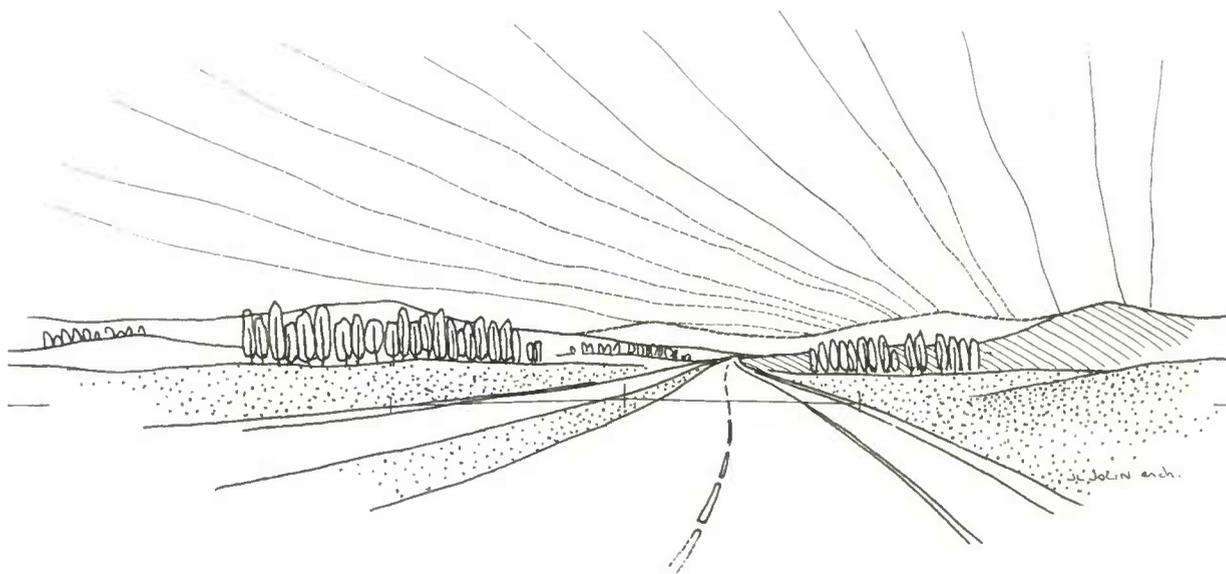
La conception architecturale a ceci de capital qu'elle en est la partie la plus visible. Sa qualité est donc importante pour une perception réussie de l'ensemble.

3.1.5.1 - Le choix d'un parti architectural

La configuration de la brèche à franchir est évidemment le point de départ qui, associé aux considérations techniques évoquées au chapitre 3.5, déterminera le parti architectural d'un pont et en particulier de celui du nombre de travées.

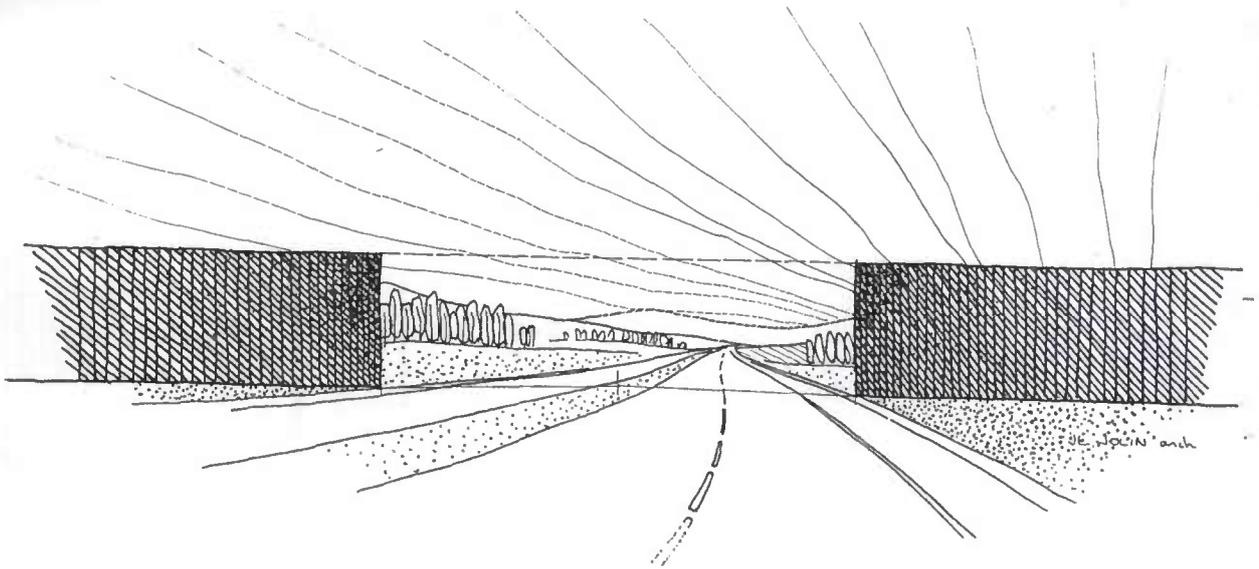
Mais ce parti peut également résulter d'une volonté du Maître d'Ouvrage ou du Maître d'Œuvre en vue d'aboutir à une image déterminée de l'ouvrage.

a) *l'effet de cloison*

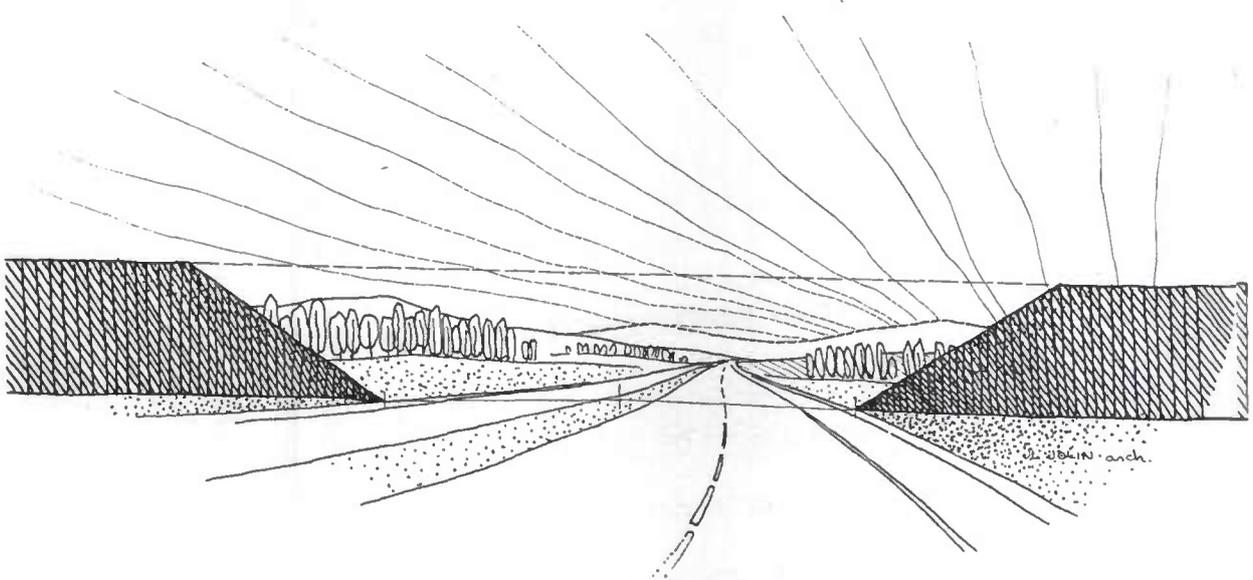


Sur une route quelconque le paysage se déploie largement et n'est arrêté que par des arbres et les lignes de crête du relief.

Toute voie traversante en passage supérieur implique un dénivelé d'au moins cinq mètres dont le talutage constitue une "cloison" qui barre la perspective jusqu'au moment où on la franchit. Dans cette cloison, seule la brèche du passage de la voie permet d'entrevoir la suite du paysage. Le traitement de cette échancrure est important pour la mise en scène que l'on veut donner le long du parcours.



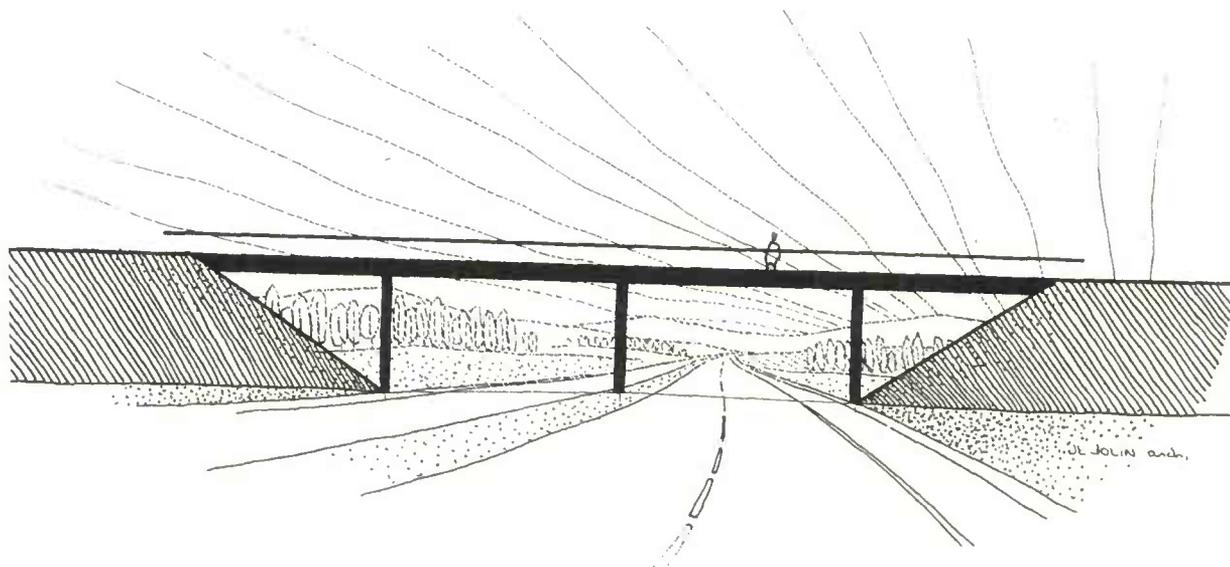
C'est ainsi que des culées droites rétrécissent le passage au maximum : on redécouvre le paysage à chaque franchissement.



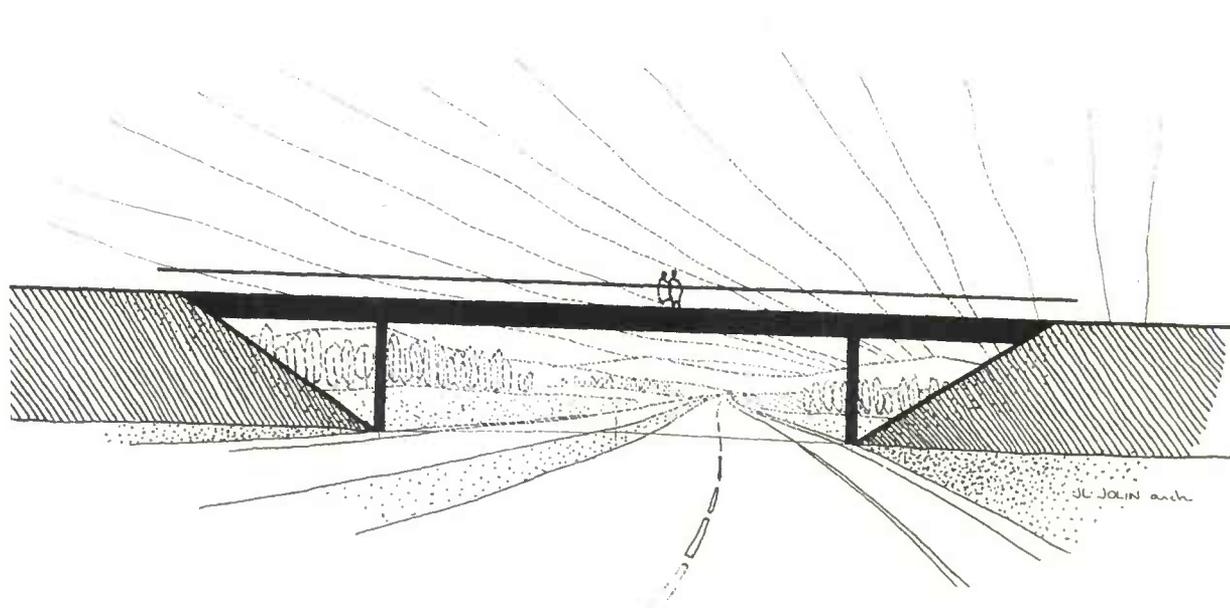
Par contre des perrés en pente douce ouvrent la perspective et donnent à voir plus largement : on privilégie la continuité de la perception.

b) le nombre de travées

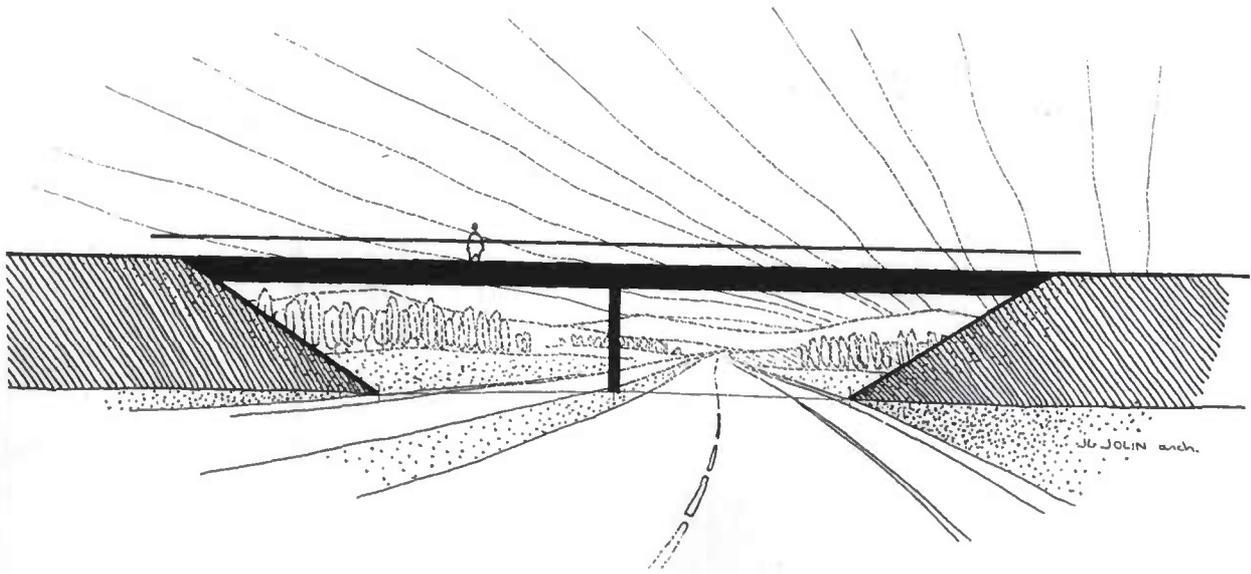
Le nombre de travées et les proportions de l'ensemble tablier / pile / talus qui en découlent déterminent des silhouettes tout à fait différentes tant pour le pont lui-même que pour la vision du paysage à travers lui.



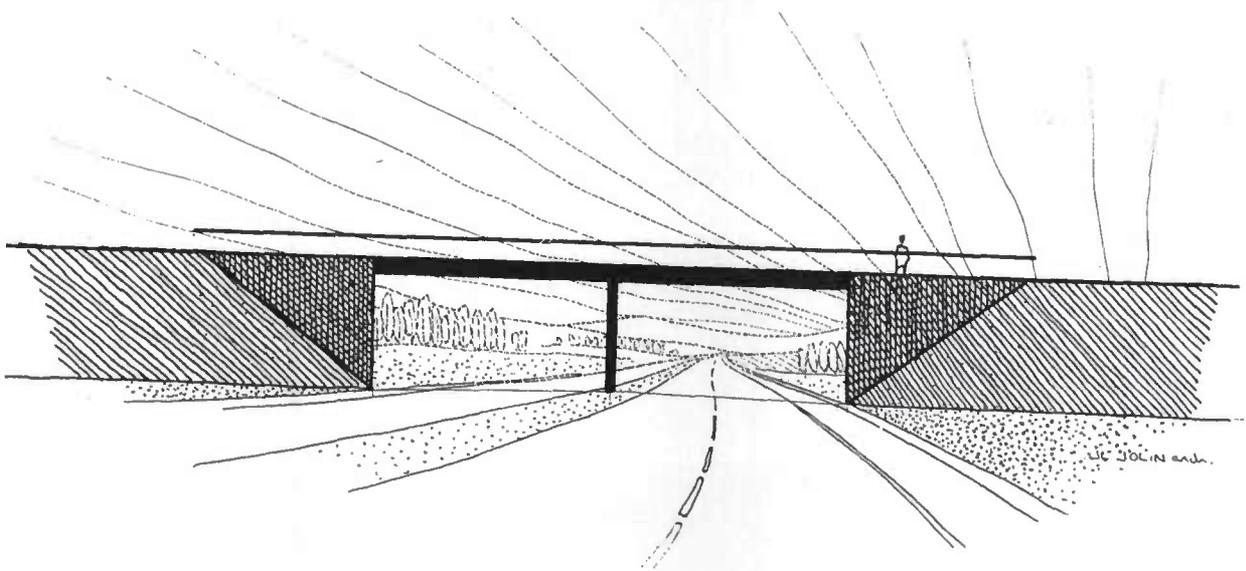
Un pont à 4 travées, solution classique, présente une silhouette généralement satisfaisante mais le paysage est très fragmenté par les piles.

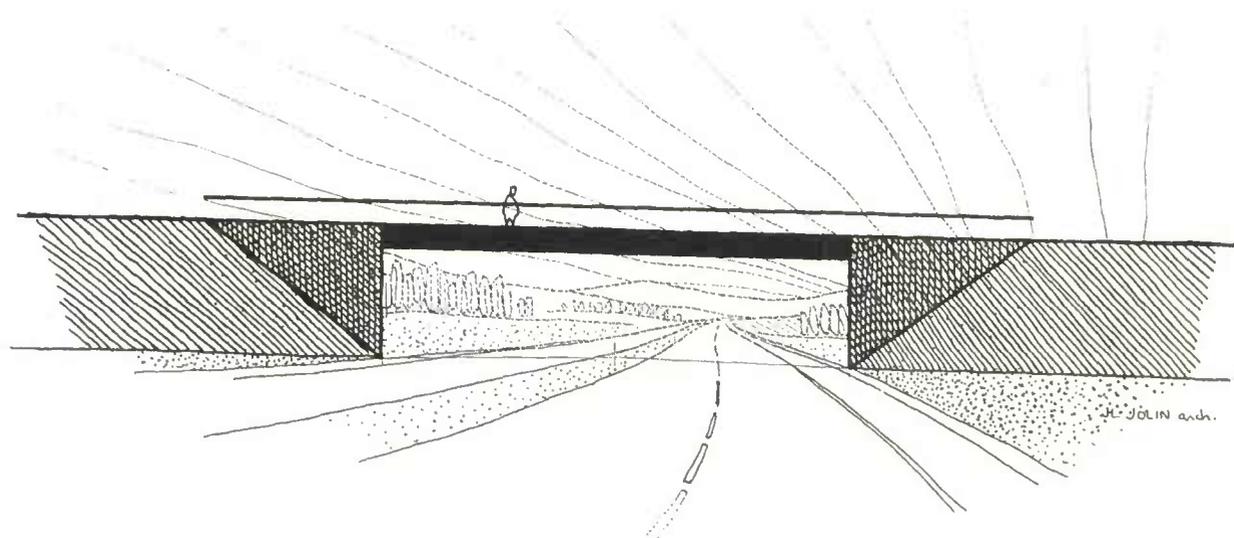


Avec 3 travées, on dégage largement l'espace central circulé et l'ensemble gagne en élégance. Il convient évidemment d'équilibrer le rapport entre la travée centrale et les travées de rives.



Deux travées donnent des résultats différents suivant que les culées sont perchées sur perrés - l'ouverture est alors très ample - ou sur culées droites où la perspective est limitée.





Avec une seule travée, la silhouette est encore différente. Une telle solution n'est en pratique envisagée que pour des brèches étroites.

Dans tous les cas, l'épaisseur du tablier est à adapter aux portées dégagées.

c) les cas particuliers

Lorsque la brèche n'est pas courante, l'architecte et le concepteur sont logiquement conduits à envisager des ouvrages spécifiquement adaptés.

Dans un déblai de forte hauteur, un pont classique peut être totalement disproportionné. D'autres solutions sont envisageables comme des ponts à béquilles, des ponts en arc qui franchissent l'espace en un seul jet. Des cas particuliers justifient d'autres solutions originales telles que des structures dissymétriques, des ouvrages suspendus, mais leur originalité en fait des ouvrages "non courants".



*Figure 147 - Un ouvrage particulièrement élégant.
Mais, par sa technique, il sort du domaine des ouvrages courants*

Un maître d'ouvrage, pour des raisons d'ordre politique, peut souhaiter le dessin d'un "pont-signal" qui, à l'image d'une porte monumentale, marquera un site ou caractérisera un itinéraire.

Enfin, la construction par phases d'une infrastructure entraîne des contraintes particulières - surlargeur au départ ou élargissement après coup - qui influencent notablement le choix des structures, donc l'aspect des ouvrages.

Quelle que soit sa situation, il n'y a pas de recette toute faite pour déterminer la configuration optimale d'un ouvrage. C'est à chaque fois un cas particulier pour lequel il faut trouver la solution la plus satisfaisante. La déterminer est une question de talent et de savoir-faire. C'est le rôle de l'architecte, associé à l'ingénieur-concepteur.

3.1.5.2 - Les composants des ponts courants

En approchant, les détails prennent leur importance. C'est pourquoi, chaque composant d'un ouvrage doit être homogène avec l'ensemble mais doit être conçu tant en fonction de sa masse visuelle que de son rôle déterminé.

a) les piles

Dans tout ouvrage, les piles sont un des éléments que l'on remarque en premier. Elles ont pour rôle de transmettre au sol le poids du tablier. Leur forme exprimera donc cette destination.



Figure 148 - Un tronc d'arbre solidement ancré au sol, aminci puis se déployant est une bonne image du concept de pile de pont

Une forme résumant bien ce concept est celui du tronc d'arbre qui, élargi au sol pour bien s'y ancrer, s'élance en se rétrécissant légèrement puis se déploie majestueusement : tout y est lisible, logique, élégant et donne une impression de puissance.

Une colonne antique avec son soubassement, son fût galbé et effilé vers le haut et le chapiteau qui s'élargit sous l'architrave exprime parfaitement cette configuration. Les Grecs ont strictement codifié la formule. Elle n'est sûrement pas mauvaise si elle a servi pendant deux millénaires. Ce n'est pas en faisant l'inverse qu'on a fait mieux. Rien n'est plus inquiétant que des piles coniques, la pointe fichée dans le sol : on dirait le pilon d'une jambe de bois.

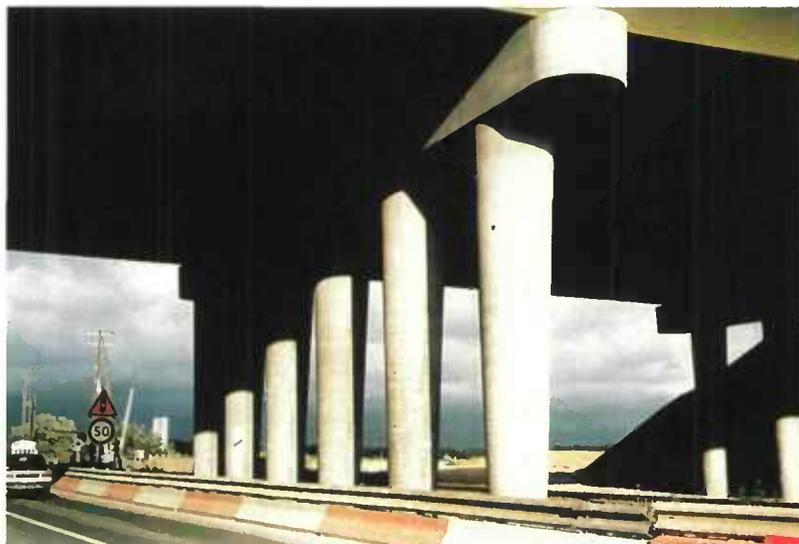


Figure 149 - Des piles amincies vers le pied sont inquiétantes et manquent d'élégance

Les piles reposent puissamment sur le sol, mais elles reçoivent ponctuellement le poids du tablier et la jonction entre ces deux éléments perpendiculaires doit être clairement exprimée. Suivant le type de liaison pile / tablier, il n'est pas mauvais de mettre en valeur - avec discrétion - le système d'appui, sans oublier naturellement les contraintes liées aux éléments secondaires tels que les niches et appuis pour vérins, par exemple.

Enfin, tout en restant dans une volumétrie simple, il est souhaitable d'abandonner la pauvreté des plans orthogonaux au profit de faces obliques ou courbes, plus vivantes, changeantes quand on se déplace, et sur lesquelles la lumière jouera plus finement.

La position de la pile par rapport à l'aplomb de la corniche est également importante en raison de l'ombre portée par cette dernière. En avant, la pile comptera avec évidence. En retrait - dans l'ombre - elle sera plus discrète.

Une pile est rarement seule. Lorsqu'elles sont nombreuses, il est important que chacune ait individuellement une proportion satisfaisante tout en formant un ensemble harmonieux avec les autres.

b) les culées

Les culées portent et butent le tablier sur un sol généralement penté. Leur rôle de jonction avec un plan incliné, sous un tablier souvent débordant, les rend difficiles à traiter.

Convergence de fonctions complexes : appui, vérinage, espace de visite, etc. les culées expriment trop souvent ces rôles par une volumétrie approximative.

Il faudra la simplifier, au moins en rive où elle se remarque davantage, par exemple en dressant soigneusement les talus jusqu'au niveau de la chaussée.

Les perrés qui les prolongent sous le tablier font partie de ces détails ingrats qui desservent bien des ouvrages faute d'être traités convenablement. On ne peut compter sur la nature : comme cette zone est protégée de la pluie, il n'y pousse rien.

La position du perré entre la nature et l'ouvrage inciterait à proposer un traitement intermédiaire avec des matériaux locaux, tel que gros galets, cailloux soigneusement dressés ou empierrements maçonnés sur une forme.

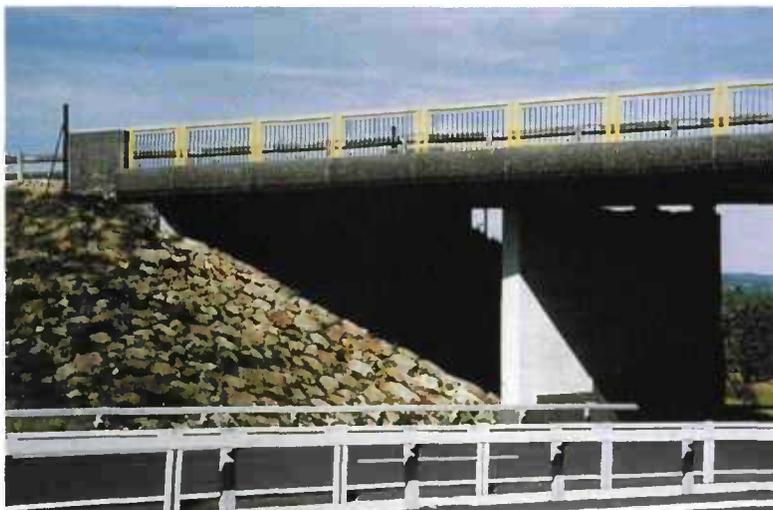


Figure 150 -

Une solution intéressante pour l'exécution d'un perré. Des gros galets permettent à la végétation de s'estomper en douceur sous le tablier

On peut aussi envisager des éléments de dallage, autoblocants ou non, en béton ou en terre cuite. On préférera une coloration qui assure la transition entre la nature et le béton du pont.



Figure 151 -

Ce n'est pas la peine de construire un ouvrage ouvert sur le paysage si des plantations bouchent les travées de rive.

Enfin il importe de ne pas obstruer les travées de rives par des plantations exubérantes ou des panneaux de signalisation.

c) le tablier

Par sa superficie, importante par rapport au reste du pont, le tablier compte beaucoup dans l'aspect général, surtout vu de près.

On essaiera d'en amincir les rives pour qu'elles soient entièrement masquées par les corniches et qu'elles n'alourdissent pas la silhouette d'ensemble.

d) la corniche

Par sa longueur et sa position frontale, c'est l'élément le plus visible de loin.

Au départ, le rôle de la corniche était purement utilitaire : il s'agissait de protéger la maçonnerie en rejetant l'eau de pluie au moyen de grandes pierres dures profilées en pente et en débord sur le soubassement. Les corniches gothiques fortement pentées, avec de profondes gouttes d'eau sont caractéristiques. Mais très vite et tout naturellement, les concepteurs ont profité de cet accessoire utilitaire pour en faire un élément de décor qui "couronne" l'édifice et le met en valeur.

La modénature⁽¹⁾ des corniches est importante puisque c'est elle, finalement, qui par le jeu des parties éclairées et des ombres issues des saillies soulignera avec plus ou moins d'élégance la tranche du tablier. Sans recopier scrupuleusement la corniche classique, sans non plus la défigurer en la simplifiant outrageusement, on peut concevoir des solutions moins indigestes que l'inévitable bandeau droit.

L'inclinaison de la corniche, par le jeu de la lumière, la fera compter différemment. Orientée vers le haut, elle tranchera en clair, même sur le ciel. Vers le bas, moins éclairée, elle sera plus discrète, allant jusqu'à être confondue avec la sous-face sombre du tablier.

Le choix du matériau est important et les solutions techniques sont nombreuses pour marier un profil satisfaisant, un parement vieillissant bien et une coloration harmonieuse qui peut être différente de celle de la structure de l'ouvrage.

e) les garde-corps et protections latérales

Vus depuis un pont, les garde-corps ou les dispositifs de retenue (BN1, BN4, glissières...) sont les seuls éléments que l'on voit de l'ouvrage. Depuis le dessous, dominant la corniche, ils achèvent la silhouette du tablier. Cette situation privilégiée justifie un traitement soigné qui ne doit pas être compliqué pour autant, tout en ne perturbant pas leur fonction de dispositif de retenue.

Sans rechercher des solutions coûteuses, des procédés et des matériaux simplement mis en œuvre permettront une large gamme de possibilités homogènes avec le caractère de l'ouvrage, massives ou aériennes, riches ou modestes.

Il ne faut pas perdre de vue qu'un garde-corps transparent - un barreaudage par exemple - est apprécié au-dessus d'une rivière ou face à une perspective. L'œil d'un automobiliste se situant entre 1,10 et 1,20 m du sol, autant ne pas lui masquer la vue sur le paysage en dessous.

⁽¹⁾ Traitement de moulures en creux ou en relief sur une architecture

A chaque extrémité du pont, les abouts des garde-corps sont délicats à traiter. Les interrompre sèchement est sordide. Y emmêler l'extrémité d'une glissière relève du bricolage. Un dessin particulier doit en accuser l'about, il vaut mieux le faire avec une certaine vigueur, par exemple au moyen d'un massif en maçonnerie solidaire de la culée. Ce massif pourra - en certain cas - être exagéré, sous forme de pylône qui marquera l'entrée de l'ouvrage et sur lequel se raccordera la clôture. De toutes façons il importe de respecter les règles de raccordements entre les différents dispositifs de retenue.



Figure 152 - Le raccordement d'une glissière sur un garde-corps relève souvent du bricolage

Enfin, le gris fade de la galvanisation est la couleur qui se marie le plus tristement avec le paysage autant qu'avec l'ouvrage. Une mise en peinture harmonieuse apportera une amélioration appréciable sans entraîner de surcoût déraisonnable.

f) les équipements et accessoires

Comme il l'est dit dans les données architecturales, tous les détails sont importants dans un ouvrage et les éléments les plus secondaires doivent être pris en compte dès le départ de la conception et traités avec soin. Qu'un seul soit négligé et c'est l'ensemble de l'ouvrage qui en pâtit.

En voici quelques exemples, dont la liste n'est pas limitative :

- les cunettes d'évacuation des eaux en tête de talus,
- les clôtures et en particulier leur raccordement sur les abouts de garde-corps,
- les GBA au pied des perrés,
- les DBA au droit des piles qui peuvent les alourdir pesamment,
- le raccordement des dispositifs de retenue entre eux, souvent inélégants,
- les panneaux de signalisation, trop proches, qui masquent une partie des ouvrages,
- les candélabres d'éclairage public.

g) les matériaux de parement

- *le béton*

C'est le matériau le plus utilisé sur les ouvrages d'art. Son aspect et sa pérennité sont bons quand il est soigneusement mis en oeuvre tant au niveau de sa composition que de son coffrage.

Ce dernier n'est pas forcément lisse. On peut lui donner du relief pour faire jouer la lumière. Des fabricants proposent à cet effet une gamme de matrices apparemment riche de motifs variés. Il vaut mieux, cependant, se méfier des dessins trop exotiques.

Tous les coffrages ne laissent voir que l'élément le moins noble du produit : la laitance. Il est possible de mettre en valeur la richesse de couleurs et de texture des agrégats que l'on aura choisis soigneusement en désactivant le parement, en bouchardant le béton ou en cassant certaines parties coulées en surabondance. On retrouve alors des parements aussi riches que certains murs en pierre. Des organismes comme BETOCIB, CIMBETON, ... sont à même d'apporter aux concepteurs des solutions efficaces dans ce domaine.



Figure 153 - Le béton n'est pas forcément lisse et fade. En le désactivant ou en cassant des cannelures en surabondance, on obtient un parement riche et animé

- *la pierre*

La pierre demeure un des matériaux dont le vieillissement est le meilleur quand elle est bien choisie.

Issue autant que possible de carrières proches, elle peut être, sur un pont, le rappel d'une couleur et d'une tradition locale caractéristique des constructions anciennes.

Reste à la mettre en oeuvre à bon escient, logiquement, sans en faire un décor trop artificiel.



Figure 154 - L'utilisation, sur un pont, d'une pierre de pays est un rappel intéressant d'une tradition locale

- *la terre cuite*

La terre cuite, matériau typique de certaines régions, se comporte remarquablement. Sa couleur chaude s'allie bien au béton. Elle peut être utilisée sous forme de briques dans les formats et les couleurs propres à chaque région ou de plaquettes émaillées ou non, de préférence dans des teintes naturelles, ou encore de pavés pour l'habillage des perrés.



Figure 155 - La brique apporte une couleur chaude et une texture vivante. Des éléments en boutisse font chanter la lumière et empêchent l'affichage

- *le métal*

Le métal couramment utilisé pour les structures est également un matériau intéressant pour les corniches et les protections latérales. Un bon dessin en exprimera au mieux les potentialités.

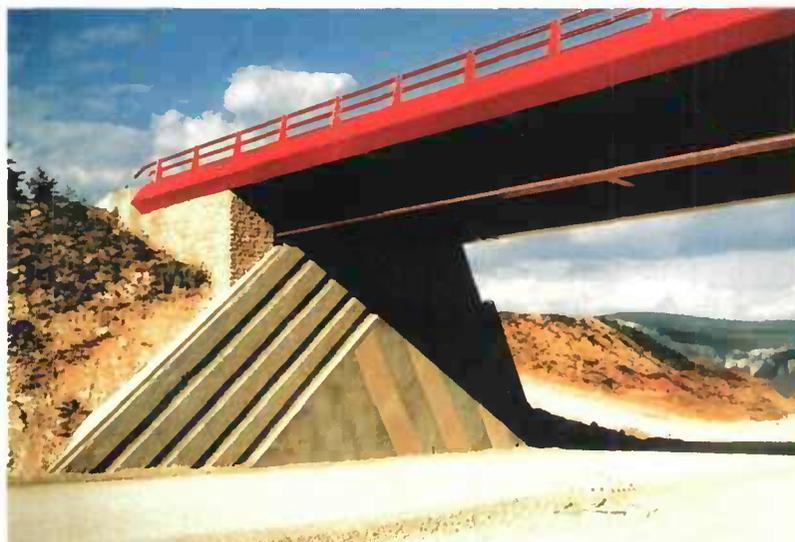


Figure 156 - Une couleur vive, ici en contraste avec les teintes du paysage, souligne franchement l'ouvrage

Une protection efficace contre la corrosion est indispensable et, puisqu'il faut le peindre, autant le colorer franchement, en harmonie avec le paysage, en jouant sur des contrastes ou des camaïeux.

Il conviendra de s'assurer, au moyen d'échantillons de grandes dimensions présentés sur place, que la référence choisie est bien adaptée au cas particulier et à la lumière du site. Il est également utile de demander des tests de tenue dans le temps de la couleur choisie : certaines virent lamentablement.

Enfin, la qualité de l'applicateur est indispensable pour la pérennité de l'ensemble. L'organisme de qualification QUALIBAT ⁽¹⁾ sanctionne sa compétence.

⁽¹⁾ QUALIBAT : Organisme de qualification des entreprises
55, avenue Kléber
75784 Paris Cedex 16

h) la protection contre les dégradations volontaires

C'est un phénomène relativement récent, mais qui va en s'aggravant.

Tant qu'il s'agissait d'affichage sauvage ou d'écritures au pinceau, des parements à fort relief (cannelures, saillies), ou des résilles posées en avant de la paroi décourageaient les amateurs. Cela reste encore une bonne solution.

L'apparition de peintures en bombes aérosols complique la situation et aucun parement n'est plus à l'abri d'un saccageur obstiné. La moins mauvaise parade est l'application de peinture ou de vernis antigraffitis, mais les peintures affadissent tous les bétons et les vernis les foncent légèrement. Quelques fabricants distribuent de tels produits.⁽¹⁾

3.1.6 - Les données de gestion

L'organisme gestionnaire d'un ouvrage ainsi que les modalités de financement de l'entretien doivent être précisés au stade de l'étude préliminaire. Au fur et à mesure de l'avancement du projet, sont fixées les dispositions destinées aux visites de l'ouvrage, aux interventions en vue de l'exploitation et aux travaux d'entretien. On doit donc veiller à faciliter l'accessibilité de toutes les parties de l'ouvrage, sans que les facilités correspondantes n'en viennent à rendre les parties d'ouvrages trop accueillantes (aires de jeu, squat, ...).

La collecte des données relatives à la gestion et à la maintenance d'un ouvrage courant peut se faire de façon systématique en utilisant la liste jointe en annexe II.4, qui récapitule les principaux points à renseigner auprès du futur gestionnaire de l'ouvrage, mais aussi auprès des gestionnaires des voies portées ou franchies en leur demandant de motiver si possible leur choix.

Les mesures relatives à la maintenance des ouvrages courants (pérennité de la chape d'étanchéité, assainissement, choix des joints de chaussées, corps de trottoir, ...) sont consignées par thème dans les différents guides du SETRA et rappelées en bibliographie.

Certaines de ces données, comme par exemple les nécessités de faire passer des convois exceptionnels, sont précisées dès le dossier d'APS pour les passages inférieurs. Mais la plupart sont à rassembler au tout début des études de projet. Le projeteur peut se heurter au caractère incompatible de certaines demandes :

- les intentions architecturales s'opposent parfois aux contraintes de maintenance ou d'exploitation (accessibilité des appuis, détails d'accrochage des corniches, esthétique de certaines barrières de retenue, conception d'écrans antibruit, ...),
- les éléments de protection peuvent masquer des parties d'ouvrages et empêcher leur surveillance.

Le rôle du maître d'œuvre est de hiérarchiser ces demandes et d'y répondre au mieux.

⁽¹⁾ PARAGRAF de LA SEIGNEURIE - BP 22 - 93001 BOBIGNY
GRAFFISTOP 2, ANTIGRAFFITI B.S. de PIERRI - SEVA - 47, rue de Metz - 57140 SAULNY
GRAFFINET de DERIVERY S.A. - 46, rue Jean Carasso - 95871 BEZONS Cedex

3.2 - DEFINITION DE LA BRECHE

L'analyse des données conduit à définir la brèche à franchir.

Une brèche est la raison même de l'existence de l'ouvrage. Elle résulte de la topographie du site, de la ligne rouge du projet et des caractéristiques des obstacles à franchir, ce qui conduit à une longueur minimale de l'ouvrage.

Ces obstacles peuvent être issus :

- de contraintes naturelles : un cours d'eau, un thalweg, la présence d'un sol compressible impropre à la construction d'un remblai, ...

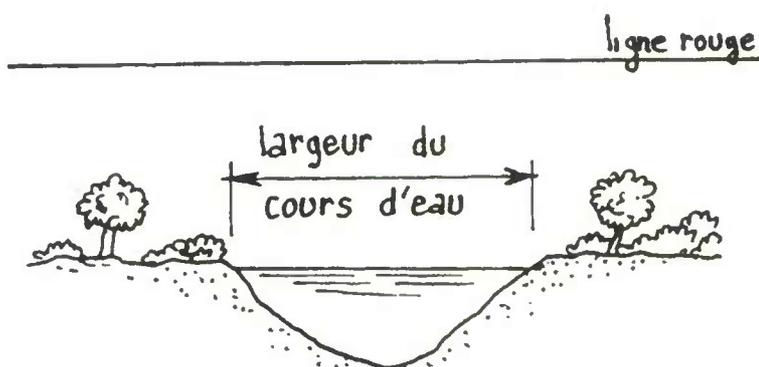


Figure 157- un cours d'eau

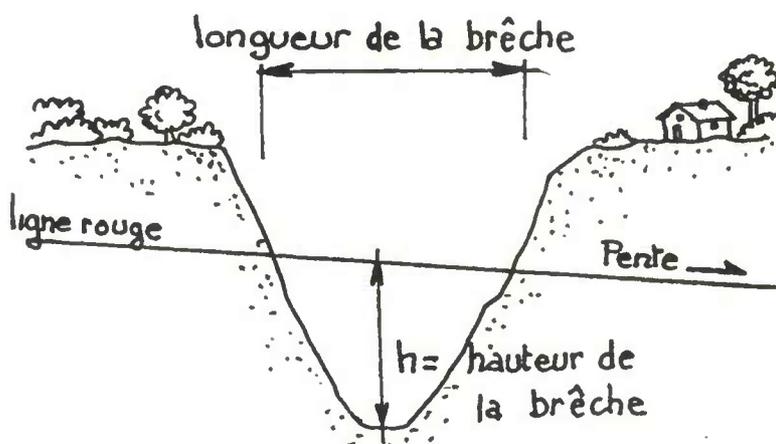


Figure 158 - un thalweg

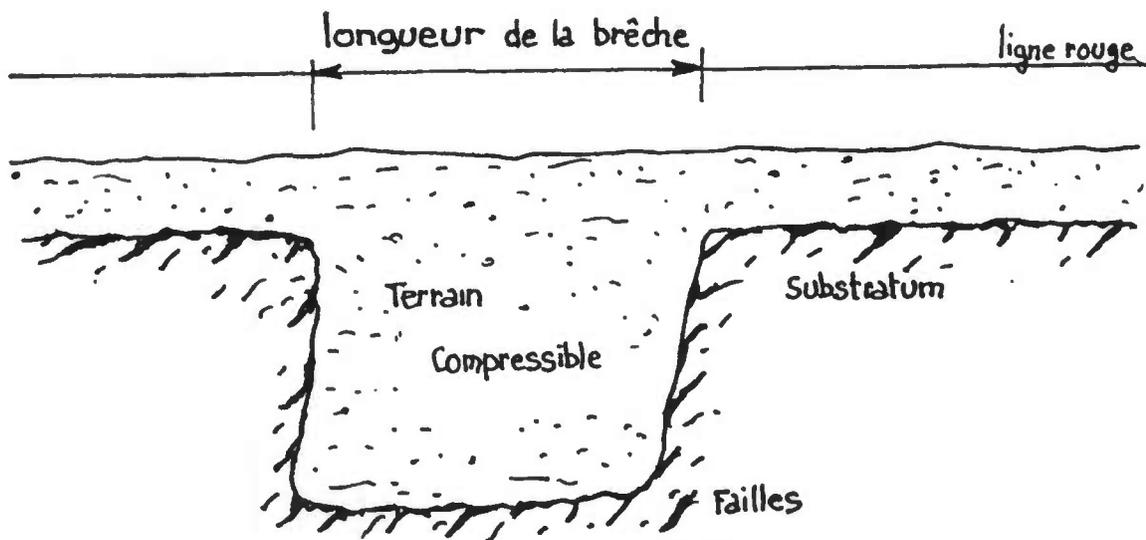


Figure 159 - une zone de terrain compressible

- de contraintes fonctionnelles : un gabarit de voie routière ou ferrée, une surlargeur de visibilité, les données liées au maintien d'une communication adaptée à la faune sauvage, ...
- de contraintes d'environnement (contraintes d'emprises, contraintes hydrauliques, ...), architecturales ou d'exploitation (doublement routier à terme, ...).

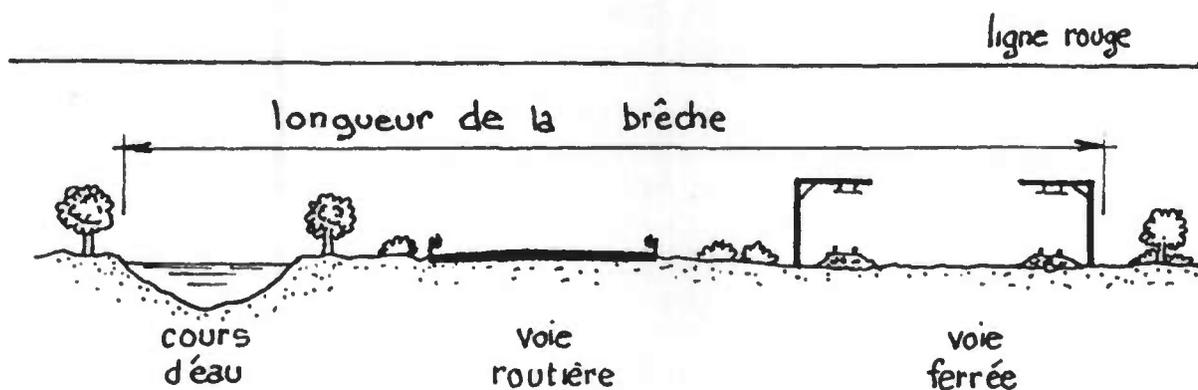


Figure 160 - Exemple de brèche issue de la combinaison de plusieurs contraintes

3.3 - POSSIBILITES D'IMPLANTATION DES APPUIS

Les appuis d'un pont assurent la liaison mécanique entre le tablier et le sol d'appui.

Ils se composent des piles, culées ou piédroits en élévation, et de leurs fondations associées.



Figure 161 - Les appuis d'un pont courant

Leur conception est tributaire, par nature, de la qualité des sols d'appuis mais peut également être influencée par les conditions de liaison au tablier (encastrement par exemple).

3.3.1 - Principe d'implantation des appuis

L'étude de l'implantation possible des appuis d'un ouvrage précède obligatoirement la définition des types de structures (tabliers) envisageables.

Elle ne peut efficacement commencer qu'après la visite du site.

Le choix définitif de l'implantation des appuis résulte d'une analyse multi-critères visant à comparer, pour chacune des solutions d'implantation d'appuis envisagées, et en respect du programme défini par le maître d'ouvrage, le mode, les difficultés techniques, l'impact sur le milieu physique et naturel, et le coût de réalisation des appuis mais aussi de la structure du tablier qu'ils se destinent à porter.

En pratique, l'implantation des appuis d'un ouvrage est un processus itératif, qui commence, après analyse des contraintes de projet, par la détermination de la brèche à franchir qui donne la position des appuis d'extrémité.

Elle se poursuit par la recherche des zones possibles d'implantation des appuis intermédiaires, qui définit naturellement les portées de l'ouvrage et permet d'envisager les différents types de structures possibles pour le tablier.

Cette démarche balaie l'ensemble des données de projet précédemment décrites, en particulier :

- la configuration des lieux : topographie, hydrographie, urbanisation, voiries et réseaux, etc.
- les données techniques : géologie / géomorphologie / géotechnique, hydraulique (niveaux d'écoulement, morphodynamisme, transport solide),
- les données fonctionnelles et leur évolution future,
- les réseaux existants,
- les délais et contraintes de réalisation,
- etc.

Les portées d'ouvrage ainsi déduites des possibilités d'implantation des appuis ne permettent pas toujours d'aboutir à une proposition d'ouvrage satisfaisante en raison, par exemple :

- d'épaisseurs de structures incompatibles avec les gabarits à respecter,
- des proportions entre les différentes travées qui en résultent (esthétique),
- des portées de rive trop longues et coûteuses, ou trop courtes pouvant occasionner des soulèvements de tablier sur culées (balancement),
- etc.

Lorsque c'est le cas, ces raisons conduisent à revenir sur le schéma initial et à revoir la position des appuis intermédiaires jusqu'à la définition de solutions acceptables, tant pour les appuis que pour les structures de tablier.

Pour satisfaire l'ensemble de ces critères, il peut parfois être nécessaire de redéfinir la position des appuis d'extrémité.

En conclusion, l'implantation définitive des appuis résulte d'une recherche itérative convergeant vers des solutions techniquement, esthétiquement et économiquement satisfaisantes, qui respectent le milieu naturel.

3.3.2 - Analyse des possibilités d'implantation des appuis

De nombreux facteurs influent sur l'implantation des appuis.

Ils concernent en particulier :

- la topographie du site,
- la géologie/géomorphologie/géotechnique,
- l'hydrologie, l'hydraulique, le morphodynamisme
- les réseaux, l'urbanisation, les servitudes diverses,
- la forme des appuis prévus,
- l'analyse technico-économique,
- l'évolution à terme des caractéristiques des voies franchies.

3.3.2.1 - Topographie du site

La topographie du site peut parfois fortement conditionner l'implantation des appuis dont découle également le choix de la structure du tablier.

La pente du terrain, lorsqu'elle concerne des zones potentielles d'implantation d'appuis, est toujours une contrainte importante de projet.

Il ne faut jamais la sous estimer, car elle génère souvent des difficultés d'accès aux zones de travaux des ouvrages, et des problèmes de stabilité. Par ailleurs, elle peut, dans certains cas, nécessiter la réalisation d'ouvrages provisoires plus coûteux.

A caractéristiques mécaniques des terrains égales, les capacités portantes des sols d'appuis sur pentes ou crêtes de talus, par rapport à ce qu'elles seraient sur un terrain horizontal, sont en général plus faibles.

Lorsque cela est possible, il est fortement conseillé d'éloigner les appuis de ces zones sensibles et notamment de les implanter suffisamment en retrait des crêtes de talus. En tout état de cause, le règlement de calcul des fondations (fascicule 62, titre V [94]) définit des coefficients qui réduisent fortement la capacité portante du sol dans le cas d'une fondation en crête de talus et qui peuvent s'avérer très pénalisants.

3.3.2.2 - Géologie - Géomorphologie - Géotechnique

Les charges appliquées par une fondation à un terrain modifient son état initial.

Il convient donc de s'assurer que le sol de fondation présente, en phases de construction et en phase d'exploitation, les aptitudes à s'adapter à ces modifications, sans rupture ni déformations ou déplacements excessifs (glissements, tassements importants, ...).

Ce travail commence par les reconnaissances géologique, géomorphologique et géotechnique qui doivent impérativement être conduites par des spécialistes.

Ces études permettent d'identifier les formations et les formes de relief en présence (plaines alluviales modernes, terrasses anciennes, cônes de déjection, etc.), leur stabilité, leurs aptitudes mécaniques, et de mesurer les paramètres caractéristiques des sols de fondation, mais aussi, dans certains cas, des terrains alentours, afin de détecter, ou d'évaluer, parfois à partir des textes réglementaires [94] :

- la capacité portante, la compressibilité, l'érodabilité des sols,
- les risques d'instabilités potentielles (laves torrentielles en zone de montagne), de grand glissement,
- la présence de cavités, de failles,
- les risques de liquéfaction (séisme),
- les écoulements de nappes souterraines,
- etc.

L'importante panoplie des techniques de fondation et de confortement de sols en place, offre au projeteur des possibilités de réponses adaptées à la plupart des situations géologiques et géotechniques rencontrées (semelles superficielles, pieux divers, caissons, etc.).

Dans certains cas, et avec l'appui de spécialistes, le projeteur peut trouver des solutions intéressantes et adaptées aux caractéristiques des terrains.

Ainsi, par exemple, dans le cas où l'on craint des déformations, la mise en œuvre de soutènements souples peut être préconisée.

3.3.2.3 - Hydrologie - Hydraulique

Il existe deux types de cours d'eau :

- les cours d'eau dits de plaine, qui se caractérisent par une faible pente et un tracé stable,
- les cours d'eau de montagne à forte pente, à débit solide important et au tracé instable (en plan et en profil en long).

Les cours d'eau de montagne nécessitent des approches complémentaires : étude géomorphologique et étude du morphodynamisme.

Le principal problème que posent les appuis implantés dans l'eau est celui de leur pérennité et de leur impact morphodynamique.

Lorsque les conditions hydrauliques l'imposent, la pérennité des fondations d'appuis ne peut être assurée que par des protections qui peuvent être des batardeaux, des surépaisseurs de béton, des radiers ou tout autre dispositif approprié, en excluant les enrochements dont le rechargement n'est jamais garanti.



Figure 162 - Contraintes hydrauliques

La consultation d'un spécialiste s'impose dans certains cas pour orienter les choix :

- fondations superficielles,
- fondations profondes avec surlongueur des pieux (diminution de l'impact).

a) Les paramètres hydrauliques

Ils sont essentiellement constitués :

- des débits caractéristiques du cours d'eau (étiage, débit moyen, crues),
- du champ des vitesses du courant (intensité, direction),
- du niveau des PHE en service, généralement centennale, ou en construction,
- du débit solide,
- de la morphologie du lit : délimitation des lits majeur, moyen, mineur, et la morphodynamique (érosion des berges, instabilité du lit).

Ils sont complétés par les données complémentaires visant à garantir le bon écoulement des eaux et le passage des corps morts (revanche), ainsi que la mise hors d'eau des appareils d'appui.



Figure 163 - Traversée d'un canal

b) Les risques d'affouillement et d'érosion

La présence d'un appui en site aquatique aggrave le plus souvent les risques d'affouillement et d'érosion.

Les reconnaissances géomorphologique et géotechnique permettront de détecter ces risques.

Seule l'étude hydraulique spécifique (morphodynamisme), qui doit être mise en œuvre le plus tôt possible, permet de caractériser, de quantifier et de définir les dispositions éventuelles de protection à adopter.

c) Les conditions d'exécution

Sauf à établir une plate-forme de travail en remblai, la construction d'un appui en site aquatique nécessite la construction d'un ouvrage provisoire destiné à la mise hors d'eau de la zone de travail par un batardeau.

Dans la plupart des cas, la complexité de celui-ci et les efforts auxquels il est soumis, imposent des études, qu'il convient de mener avec l'appui de spécialistes. En outre, les moyens et les matériels nécessaires à la réalisation de ces ouvrages sont importants et coûteux et ne sont détenus que par quelques entreprises spécialisées.

d) Les risques d'événements accidentels

Les événements accidentels pouvant compromettre la pérennité d'un appui se résument :

- aux chocs de matériaux charriés au cours d'une crue (chocs d'embâcle, chocs de blocs),
- aux chocs de bateaux.

Ils peuvent bien entendu concerner aussi bien les ouvrages provisoires que définitifs, en phase de construction comme en service.

Les risques de chocs de matériaux charriés conduisent à rechercher le degré d'agressivité du cours d'eau, en terme d'embâcle et de transport de blocs, au cours d'une crue.

Le projeteur doit veiller à positionner les appuis le plus judicieusement possible vis-à-vis des risques en évitant les pièges à matériaux que constituent les goulets d'étranglement près des berges.

On veille de plus à concevoir des formes de piles et de tablier favorisant le passage des corps flottants.

Lorsqu'un appui doit être implanté dans un cours d'eau navigable, il convient de le rendre apte à résister aux chocs de bateaux et il convient de se rapprocher des services de la navigation pour fixer les valeurs des chocs à adopter.

En outre, le projeteur peut se référer aux usages en matière de conception des chenaux d'accès à un port (Cf. CETMEF (ex STCPMVN) à Compiègne).

3.3.2.4 - Urbanisation - Voiries et réseaux existants

La présence, à proximité des ouvrages à construire, d'aménagements urbains, de constructions, de voiries, de réseaux divers, aériens et enterrés, etc. rend la recherche des zones possibles d'implantation des appuis plus délicate à mener.

Les facteurs pouvant constituer une gêne à l'implantation d'appuis sont de divers types.

a) Présence d'obstacles

Le recensement des données de projet doit permettre de faire l'inventaire de l'ensemble des obstacles susceptibles de constituer soit une contrainte de projet pouvant interdire l'implantation d'un appui, soit une gêne lors de sa construction.

Certains obstacles pourront être :

- provisoirement déplacés pour ne satisfaire que des conditions d'exécution, sans qu'ils constituent en eux mêmes une contrainte d'implantation d'appui (canalisation réinstallée sur une semelle par exemple),
- ou définitivement déplacés en vue d'obtenir une travure satisfaisante.



Figure 164 - Implantation des appuis en zone urbaine

Dans le cas contraire, le projet doit s'en accommoder en évitant toutefois d'avoir recours à des dispositions audacieuses, dont la sophistication technique risquerait d'engendrer une exécution complexe, délicate, difficile ou hasardeuse et surtout coûteuse.

b) Contraintes d'exécution

Dès le stade des études d'avant projet, le projeteur doit être en mesure d'évaluer les conséquences de ses choix d'implantation d'appuis et des techniques ou dispositions de construction.

Outre la stabilité, il doit apprécier l'impact du projet sur l'environnement naturel de l'ouvrage et les conséquences fâcheuses qu'une défaillance pourrait avoir sur les constructions avoisinantes.

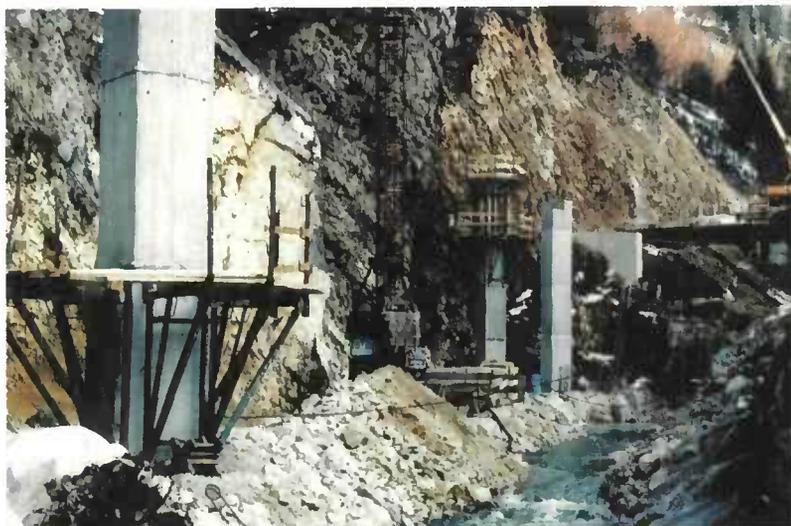


Figure 165 - Difficultés d'exécution liées au site

Cette évaluation doit concerner les effets parasites sur les terrains suite à la construction du nouvel ouvrage mais aussi et surtout aux problèmes que pourraient entraîner, tant pour

l'ouvrage proprement dit que pour les constructions et leurs occupants, ou les réseaux, des travaux provisoires insuffisamment étudiés, comme :

- un terrassement pouvant occasionner une instabilité de versant ou un glissement de terrain,
- un pompage intempestif visant à rabattre la nappe et à faciliter la construction d'une fondation, pouvant occasionner des tassements nuisibles aux constructions,
- un battage de palplanches, ou l'emploi d'explosifs à proximité de constructions propageant des vibrations et pouvant occasionner des désordres,
- etc.

Dans de tels cas, le conseil d'un spécialiste s'impose. Il doit en outre permettre de définir les travaux provisoires indirectement liés à l'ouvrage mais dont la réalisation peut entraîner des conséquences néfastes (piste de chantier à flanc de versant).

3.3.2.5 - Forme des appuis

Un simple regard sur les ouvrages mis en service dans les dernières décennies montre la diversité des formes d'appuis réalisées.

On assiste effectivement, généralement au bénéfice de l'esthétique des ouvrages, à une sophistication des formes.



Figure 166 - Formes simples et fonctionnelles dérivées de la section rectangulaire

Sauf circonstances particulières dictées par des contraintes lourdes de projet, les dispositions générales qui doivent présider au choix des formes d'appuis relèvent de principes simples visant à :

- favoriser la descente la plus directe (verticale) possible des charges du tablier sur les fondations,
- à répartir aussi uniformément que possible les charges sur le sol,
- à permettre un bon écoulement des eaux (appuis dans l'axe du courant, faible maître couple).

La morphologie des appuis peut dépendre étroitement de paramètres particuliers :

- exposition aux chocs -> piles massives,
- exposition aux crues -> piles avec avant et arrière becs profilés,
- problèmes d'emprise ou de grande hauteur -> piles marteaux,
- grande hauteur ⁽¹⁾ -> piles creuses ou en forme de H,
- largeur importante de tablier ou obstacle à survoler -> piles portique.



Figure 167 - Pile portique

La forme des piles ou au moins des têtes de piles, doit être adaptée à la nature du tablier qu'elle supporte, ce qui nécessite des dimensions minimales pour recevoir les appareils d'appui et les emplacements de vérinage. Les guides de conception des différents ouvrages types du SETRA détaillent les dispositions à adopter et il convient de s'y reporter.

3.3.2.6 - Analyse technico-économique

Comme il a été souligné précédemment, l'optimisation du coût de l'ouvrage passe par celle du coût des appuis.

Les choix d'implantation des appuis font partie de la démarche itérative décrite précédemment dont il faut peser l'impact économique.

Du point de vue de la surveillance et d'entretien ultérieur des ouvrages, des dispositions particulières pourront être adoptées en vue de :

- faciliter la visite des abouts de tablier (culées),
- faciliter les opérations de vérinage et de changement d'appareils d'appuis,
- etc.

⁽¹⁾ Pour mémoire pour les ouvrages courants

3.4 - ANALYSE DU MODE DE CONSTRUCTION ET PHASAGE

La conception d'un pont est très étroitement liée à son mode de construction.

Ces modes de construction, de plus en plus sophistiqués, permettent, par les constants progrès réalisés dans le domaine des procédés de fabrication, d'apporter des réponses innovantes et originales aux problèmes posés par les franchissements d'obstacles les plus divers.

Cette évolution a été permise grâce aux importants progrès réalisés sur la qualité et les performances des matériaux de construction ainsi que dans le domaine de l'innovation technologique en matière de techniques de chantiers.

Ce chapitre passe en revue les méthodes de construction les plus couramment utilisées : La **construction sur étaie**ments, la plus rustique, la **préfabrication** des ouvrages, très pratique, le **lançage** des ponts métalliques ou mixtes. L'exposé s'ouvre également assez largement à des techniques davantage utilisées pour des ouvrages non courants, telles que la **mise en place par rotation**, le poussage ou des modes de construction faisant appel à un **phasage** plus ou moins complexe.

Rappelons toutefois que 80 % des ponts sont des ponts dalles ou des portiques, généralement construits sur étaiements, et pour beaucoup en site urbain.

3.4.1 - Construction sur étaiements (échafaudages porteurs ou cintres)

La construction sur étaiements est la méthode de construction a priori la plus simple.

Les étaiements supportent, en construction, les charges de coffrages, de service et le poids propre de la structure avant que le béton n'ait atteint une résistance suffisante pour pouvoir supporter seul ces charges.

Ils doivent répondre à des critères de résistance mais aussi de déformabilité [84] pour permettre, après leur démontage, de respecter les tolérances géométriques de construction.



Figure 168 - Dalle précontrainte sur étaiements en cours de ferrailage

La construction sur étaiements permet de réaliser des ouvrages de dimensions modestes et de formes simples, comme les ponts cadres, les portiques ou les ponts dalles.

Elle s'impose en général pour les brèches de faible longueur et de faible hauteur, lorsqu'il n'y a pas de contrainte d'occupation majeure de l'espace entre l'ouvrage et le sol.

On peut également avoir recours à ce type de procédé pour la réalisation de structures plus importantes ou plus complexes comme les ponts à béquilles ou encore lorsque l'ouvrage permet un phasage de réalisation pouvant rendre compétitive la réutilisation des équipements provisoires.

Les étalements présentent l'avantage d'offrir une grande surface de travail (platelage).

La surface offerte par le platelage, constitué d'éléments métalliques, de bastaings de bois ou de poutrelles standards spécialement prévues par les fabricants, permet une grande liberté de forme pour le coffrage des structures.

Il supporte également les surlargeurs dédiées à la circulation des ouvriers et permet la mise en place des dispositifs de sécurité.

Nous nous limiterons ici à la construction des ouvrages en béton qui constituent le domaine d'emploi le plus courant des étalements.

3.4.1.1 - Les échafaudages porteurs

Les échafaudages sont généralement constitués de tours métalliques.

Ces tours, formées de poteaux entretoisés, transmettent directement et aussi uniformément que possible les charges qu'elles portent au sol, sur lequel elles sont réparties à l'aide de longrines, de bastaings ou de palplanches métalliques.

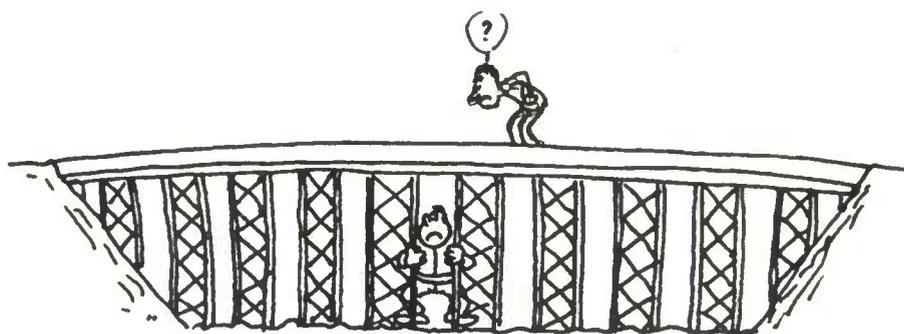


Figure 169 - Echafaudages porteurs

La stabilité des échafaudages porteurs est étroitement liée :

- à la conception même de ces ouvrages provisoires : géométrie des éléments, qualité des assemblages, respect des longueurs de sortie des pieds et têtes de tours, bonne préparation et réglage de l'assise, conception des calages qui doivent être protégés contre les agressions, en particulier celle des eaux de ruissellement,
- au nombre et à la bonne disposition des éléments de contreventement,
- à la bonne répartition des charges entre tours. Les tassements du sol doivent rester faibles, ce qui impose de s'assurer de la qualité et de la stabilité des sols d'appui et d'écarter les tours des zones sensibles, que sont par exemple, les pentes, crêtes de talus ou proximité de soutènement.

Les vérins à vis qui équipent généralement les fourches placées en têtes de tours permettent le réglage fin du platelage. Rappelons que la course de ces vérins est limitée et qu'il est dangereux de dépasser les valeurs prévues par le constructeur, même pour des éléments en parfait état.



Figure 170 - Echafaudage général d'un pont dalle

Les conditions d'exploitation sous chantier peuvent, dans certains cas, imposer de maintenir une circulation sous l'ouvrage en construction.

Dans ce cas :

- les échafaudages porteurs sont adaptés pour permettre de dégager le gabarit souhaité (hauteur et largeur),
- les tours jouxtant la largeur roulable sont renforcées pour recevoir en tête les poutres permettant de dégager la portée (largeur) et le tirant d'air souhaités (hauteur). Cette disposition constitue localement un véritable cintre. Il convient de contrôler attentivement la stabilité de l'ouvrage provisoire en veillant à centrer les appuis du cintre sur les tours,
- il est par ailleurs impératif de protéger ces équipements par des dispositifs les mettant à l'abri des chocs latéraux (dispositifs rigides tels que GBA), mais aussi du passage des véhicules en surgabarit (stabilité du cintre, mise en place de chaque côté et à distance suffisante de l'ouvrage d'un portique gabarit de protection et d'une signalisation adaptée).
- il convient enfin, en plus de l'estimation des contreflèches à donner au cintre, d'étudier le phasage de bétonnage entre les parties sur échafaudages porteurs et cintres, pour éviter, lors du bétonnage, d'occasionner localement des déformations sur le béton en cours de prise.

Lorsque le sol de fondation n'est pas de bonne qualité, il peut être envisagé une substitution sur une profondeur suffisante pour permettre de limiter les tassements et garantir la géométrie finale de l'ouvrage (profil en long).

Lorsque le sol est de qualité médiocre (sol compressible) et que son renforcement nécessite de recourir, sur une grande surface, à des dispositions coûteuses pour limiter les tassements

(fondations profondes), les échafaudages porteurs deviennent assez vite très onéreux. Il convient alors de recourir à d'autres méthodes de construction développées ci-après.

3.4.1.2 - Les cintres

A la différence des échafaudages porteurs qui descendent les charges directement sur le sol par une multitude de poteaux, les cintres constituent de véritables ouvrages provisoires portant l'ensemble des charges (coffrages, béton, charges de service en phase de construction) et les transmettant au sol, à leurs extrémités, par l'intermédiaire d'un nombre limité d'appuis.

Les appuis définitifs sont utilisés si les conditions le permettent. Lorsque les conditions de portée l'exigent, ils peuvent être complétés par quelques appuis provisoires pour optimiser leur coût.



Figure 171 - Cintres reposant sur les appuis définitifs

Les cintres sont employés de préférence aux échafaudages porteurs lorsque :

- les travaux de renforcement des sols de fondation de mauvaise qualité en vue d'appuyer un échafaudage général deviennent d'un coût prohibitif,
- le gabarit de circulation doit être libéré sous l'ouvrage en cours de construction,
- la morphologie escarpée du terrain complique la mise en œuvre d'un échafaudage porteur général,
- la nature de l'obstacle ne permet pas ou rend trop onéreuse la mise en place d'un échafaudage (grande hauteur),
- l'ouvrage provisoire doit dégager en phase de travaux un chenal d'écoulement des crues d'un ruisseau ou d'une rivière.

Les cintres de petites portées sont généralement constitués de profilés en acier du commerce. Pour des portées plus importantes, on a recours à des poutres de plus grande capacité, qui sont généralement des poutres triangulées.

La capacité portante des cintres est obtenue en jouant sur la gamme de produits offerts par les fabricants et sur leur espacement.

Les poutres s'appuient sur des tours provisoires, correctement fondées ou sur les appuis définitifs de l'ouvrage dont il convient de vérifier la stabilité. De même que pour les poutres, les entreprises spécialisées disposent d'une large gamme de tours couvrant l'essentiel des besoins en la matière.

Les cintres imposent une justification par le calcul plus lourde que les échafaudages.

Il convient en particulier :

- de vérifier naturellement l'ouvrage provisoire dans toutes les phases de construction afin de définir les moyens à mettre en œuvre pour garantir sa stabilité (déversement latéraux, contreventements),
- d'estimer, afin de les compenser par une contreflèche de construction, les flèches prises par les cintres lors du bétonnage de la structure,
- de définir le phasage de bétonnage afin d'éviter la formation de fissures dues aux déformations du cintre sur des bétons en cours de prise. Le bétonnage s'effectue en chargeant en priorité les zones les plus déformables.
- de vérifier la déformabilité du cintre.

Utilisés autrefois pour des portées assez importantes, leur coût et les progrès réalisés dans les méthodes de construction des ponts de grandes et moyennes portées (ponts poussés, ...), limitent aujourd'hui leur emploi aux ouvrages peu hauts et de moyenne importance.

3.4.1.3 - Variantes de construction

a) *construction en sur-gabarit*

Dans certains cas de passages supérieurs sur route, voie ferrée ou canaux en service, la hauteur disponible entre la sous-face de la poutre projetée et le niveau du gabarit provisoire ne permettent pas la mise en œuvre d'un cintre.

Dans ce cas, il peut être envisagé, pour éviter de construire un ouvrage en sur-gabarit définitif, coûteux en remblais contigus et moins heureux esthétiquement, de le construire sur cintre à une cote supérieure à la cote définitive et de le redescendre ensuite, par vérinage, sur ses appuis définitifs, après évacuation du cintre.



Figure 172- Construction en sur-gabarit - Empilement de cales en béton

Pour ce faire, la ligne d'appuis provisoire est surélevée à l'aide d'un jeu de cales (empilage de cales élémentaires) dont l'épaisseur permet de compenser le déficit de hauteur initialement disponible pour le cintre.

L'épaisseur des cales élémentaires doit être limitée afin :

- de réduire la hauteur des paliers successifs de descente de l'ouvrage vers sa position définitive,
- de minimiser les efforts parasites sur la structure et d'éviter le renforcement de celle-ci (ferraillage, précontrainte), qu'imposeraient, tant transversalement que longitudinalement (ouvrage à plusieurs travées), les dénivellations différentielles entre points ou lignes de vérinage.

La conception du cintre est dans ce cas rendue plus délicate par la présence des appuis provisoires (cales ou vérins avec écrous de blocage) qui doivent être maintenus en place pendant la phase d'évacuation du cintre (ripages latéraux).

Ces opérations, délicates à réaliser et qui compliquent les problèmes de sécurité, doivent être conduites par des entreprises spécialisées disposant des matériels spécifiques à ce type d'intervention et seules capables d'assurer la parfaite maîtrise de la technique. Les possibilités d'asservissement de vérins permettent aujourd'hui de maîtriser les dénivellations d'appuis avec une précision généralement suffisante (quelques dixièmes de mm).

b) Utilisation de terrains en place comme étaielements provisoires

Cette technique de réalisation peut être employée lorsque la brèche franchie par l'ouvrage projeté est à réaliser entièrement en déblai. Elle consiste à bétonner directement le tablier sur le sol par l'intermédiaire d'un béton de réglage.

Elle peut permettre une économie sur le coût du cintre et du coffrage et un gain sur les délais de réalisation.

Elle consiste à réaliser successivement :

- les fondations, généralement profondes (pieux, barrettes ou parois moulées) et les appuis et chevêtres de tête de l'ouvrage,
- la préparation du terrain par compactage léger, le béton de réglage sous la surface du tablier,
- le ferraillage et le bétonnage du tablier sur le béton de réglage,
- le terrassement en taupe sous l'ouvrage dès que le décintrement par terrassement est réalisable.

Ce mode de construction n'est possible que dans des terrains meubles pouvant supporter sans dommage (tassements) la charge surfacique apportée par le poids du béton lors du coulage du tablier. Le cas échéant, une substitution du sol en place est possible.

Un traitement architectural des appuis est généralement nécessaire. Il est généralement réalisé par ajout d'éléments préfabriqués plaqués sur les parois des appuis.

3.4.2 - Préfabrication

La technique de préfabrication des structures porteuses de ponts remonte à la première génération des ponts à poutres en béton armé.

Cette technique, qui a connu un essor grandissant depuis la dernière guerre mondiale, constitue une solution intéressante lorsque la standardisation des éléments préfabriqués peut conférer au chantier un caractère industriel, en optimisant leur mode de fabrication et d'assemblage et en ne limitant les opérations sur chantier qu'à de simples opérations de ferrailage et de bétonnage.

La fabrication des pièces en usine, à l'abri des intempéries, permet de garantir le respect des délais et apporte une meilleure garantie en matière de qualité.

La qualité des ouvrages préfabriqués terminés repose principalement sur :

- la qualité des études de conception des structures qui nécessite de définir avec précision les dimensions des pièces élémentaires et des réservations pour assemblages et de soigner la conception des joints entre éléments préfabriqués (clés de transfert de cisaillements),
- le respect des tolérances sur la géométrie finie des pièces préfabriquées (calepinage des armatures), pour garantir le bon assemblage entre éléments. Le niveau de détail peut nécessiter des études très poussées, y compris dans l'ordre de montage des pièces, dans le cas d'une géométrie complexe d'ouvrage,
- le respect des règles de l'art et des dispositions constructives essentielles que la préfabrication ne permet pas toujours de satisfaire, en raison des problèmes liés à la sophistication des moules (corbeaux, goussets),
- la qualité de la préparation des sols d'appui,
- le mode de préfabrication et la cadence de rotation des moules qui peuvent imposer un traitement thermique des bétons,
- le mode de manutention et de pose des pièces sur chantier, qui impose parfois le recours à des moyens de levage de forte puissance. Il convient de veiller systématiquement à la stabilité des engins de manutention en cours d'intervention (grues en charge), et de s'assurer qu'aucun obstacle ne risque de compromettre ces opérations (ligne électrique), ni de mettre en cause la sécurité des usagers au cours des manœuvres (survol de voies circulées),
- la bonne définition des équipements provisoires de soutènement et de brêlage des pièces, à la pose, avant assemblage définitif des éléments,
- le choix des matériaux, en particulier la qualité des bétons de structure et de clavage, mais aussi le choix du complexe d'étanchéité dont dépend pour une large part la pérennité de la structure,
- le contrôle géométrique sur le site lors de l'assemblage des pièces préfabriquées.

Cette technique trouve aujourd'hui des applications multiples dans l'ensemble des techniques relatives aux ouvrages, qu'il s'agisse des structures ou des superstructures, et pour tous les types de matériaux employés.

Couramment retenue pour les ponts à poutres précontraintes (VIPP et PRAD pour lesquels il a même été réalisé la préfabrication du hourdis), mais aussi pour la quasi totalité des petits ouvrages en béton armé ou métalliques, comme les dallots et les buses métalliques, cette technique s'est très largement étendue aujourd'hui aux autres types d'ouvrages en permettant de limiter, parfois de façon sensible, les délais d'exécution.

Les faibles coûts de transport conduisent aujourd'hui, même dans le cas où le nombre de pièces est très important, à les préfabriquer dans des usines spécialisées.

Ces pièces sont ensuite transportées sur site par camions, ce qui pose le problème de l'organisation du chantier et en particulier celui du stockage sur site pour éviter de multiplier les manutentions inutiles de pièces lors de la pose.

La préfabrication sur chantier s'impose cependant dans le cas où le volume ou le poids des pièces rendent impossible le transport de l'usine au chantier.

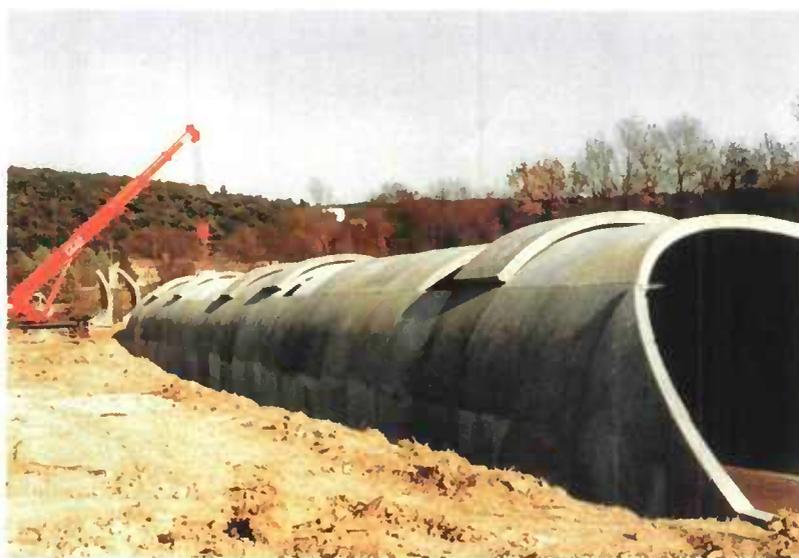


Figure 173 - Ouvrage voûté préfabriqué

Enfin, si les ouvrages préfabriqués peuvent en effet offrir de multiples avantages, à condition que toutes les phases de construction soient conduites dans le respect des règles de l'art (choix des matériaux, préfabrication, démoulage, stockage, transport, manutention, assemblage, ... des pièces), il est primordial d'attacher une importance particulière aux dispositions d'assemblage des éléments préfabriqués sur site. A ce propos, et pour des raisons qui tiennent tant à l'amélioration du mode de fonctionnement qu'au risque d'apparition de pathologie sur l'ouvrage, on cherchera à privilégier les dispositions visant à réaliser une continuité mécanique de la structure (meilleure capacité à s'adapter à la reprise d'effets parasites, suppression des appareils d'appui, suppression des joints de chaussée, ...).

3.4.2.1 - Ponts à poutres préfabriquées en béton armé ou précontraint

En dehors des problèmes d'assemblage des pièces, conditionnés essentiellement par les dispositions de calepinage des armatures, les petits ouvrages à poutres en béton armé, de coffrages simples, qui ne mettent en jeu que des pièces de faibles dimensions et de poids modérés, ne posent pas de problème particulier.



Figure 174 - Lancement d'une poutre VIPP

Les poutres de VIPP, de portées généralement supérieures à 30 mètres sont, compte tenu de leur encombrement, de leur poids et de la hauteur souvent importante de l'ouvrage par rapport au sol :

- soit préfabriquées sur les remblais d'accès à l'ouvrage et lancées, après mise en précontrainte de première famille, à l'aide d'une poutre de lancement prenant appui sur les appuis définitifs, ou par des moyens de levage (grues ou bigues),
- dans quelques rares cas, les poutres ont été bétonnées en place à partir d'un cintre reliant les appuis définitifs successifs. Ce cintre est étudié pour porter le poids des coffrages et celui du béton frais de la poutre. Il se déplace transversalement sur des rails aménagés sur le parement avant des appuis, pour réaliser l'ensemble des poutres d'une travée, puis, de travée en travée pour permettre la construction de l'ensemble des poutres de l'ouvrage.

Contrairement aux poutres de VIPP, précontraintes par post-tension (après coulage et durcissement du béton), les efforts mis en jeu, avant coulage du béton, dans le cas de la précontrainte par pré-tension des poutres PRAD (précontrainte par fils adhérents), imposent la construction des poutres en usine.

En raison du coût très important que représenterait la construction d'un banc de préfabrication sur site, dont l'installation n'est possible que sous certaines conditions (grande longueur disponible, possibilité de construire des plots fixes d'ancrage des fils et torons de précontrainte), une installation foraine de préfabrication ne pourrait se concevoir qu'à partir d'un nombre très important de pièces.



Figure 175 - Pose de poutres PRAD à la grue

Les poutres sont fabriquées en usine, sur des bancs de grande longueur qui permettent simultanément la construction en ligne de plusieurs poutres à la fois.

Après durcissement du béton, démoulage, et mise en précontrainte par relâchement des fils ou des torons, les poutres sont stockées en usine, avant d'être reprises et chargées sur trinqueballes par lots de 2 à 3, et transportées sur chantier, ou elles sont directement posées, à la grue, sur leurs appuis définitifs.

Dans la très grande majorité des cas, la mise en place de ces poutres peut se faire au moyen de grues courantes, dans des délais très courts, ne nécessitant, lorsque le pont à construire franchit une voie en service, que de brèves coupures de circulation.

Seules des circonstances particulières, comme des brèches profondes ou inaccessibles (voies SNCF), interdisant l'accès des grues courantes, peuvent imposer des moyens de levage de forte capacité.

Ces opérations restent néanmoins particulièrement délicates et supposent d'avoir préalablement défini, pour les poutres PRAD comme pour les poutres de VIPP, les moyens d'assurer la stabilité des poutres (déversement, encastrement en torsion), aussi bien au cours des phases de manutention, qu'une fois en place sur appuis définitifs, en attente de la construction du hourdis.

La pérennité des poutres PRAD, qui disposent de la totalité de la précontrainte dès la fabrication en usine, dépend très étroitement des conditions de stockage et de manutention et en particulier, des points d'appuis ou de levage (à préciser par le calcul).

Le non respect de ces règles peut initier des désordres (fissures) pouvant rendre la poutre impropre à sa destination, ou même entraîner sa ruine.

3.4.2.2 - Ponts cadres, portiques et ouvrages voûtés préfabriqués

Ces ouvrages sont, parmi tous, ceux dont la simplicité des formes favorise la préfabrication partielle ou totale en usine ou sur chantier. Cette préfabrication est généralement limitée aux ouvrages de dimensions modestes.

Les ouvrages industrialisés proposés par les constructeurs couvrent aujourd'hui une gamme importante des variantes envisageables pour ces types d'ouvrages.

En plus des recommandations décrites ci dessus, en particulier en ce qui concerne les dispositions d'assemblage des pièces préfabriquées, il convient d'attirer l'attention sur l'importance à accorder à l'étanchéité et à sa protection, aux remblais techniques réalisés à proximité immédiate des ouvrages par des matériaux rigoureusement sélectionnés permettant de maîtriser les paramètres géotechniques, à la qualité des sols d'assise et aux conditions de pose qui sont à respecter pour ces ouvrages au même titre que pour les ouvrages coulés en place.



Figure 176 - Cadre préfabriqué

A ce sujet, on pourra se reporter, aux recommandations données dans la note d'information n°12 du SETRA relative aux conduits MATIERE[®] [85] (recommandations qui peuvent être étendues à l'ensemble des ouvrages voûtés préfabriqués) et aux guides de conception des ponts cadres et portiques édités par le SETRA [72].

Un soin particulier doit être apporté à la conception et à la réalisation des clavages, zones potentiellement plus faibles et devant garantir un bon monolithisme de l'ouvrage.

3.4.3 - Techniques spécifiques aux ponts à poutres métalliques ou mixtes

Les structures métalliques sont préfabriquées en usine, puis transportées par tronçons et montées sur chantier :

- sur les remblais d'accès où ces tronçons sont assemblés, avant d'être mis en place par lançage, sur les appuis définitifs (équivalent au poussage des ponts en béton),
- après un préassemblage au sol si nécessaire, sur les appuis définitifs ou sur palées provisoires, dans leur position définitive, sur lesquels ils sont mis en place par levage à la grue.

Ces deux modes de montage sont ceux employés pour la mise en place des structures métalliques de ponts mixtes, qu'il s'agisse d'un ouvrage bipoutres ou d'un caisson.

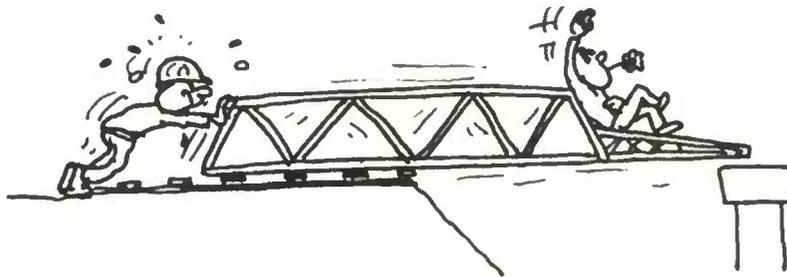


Figure 177 - Lançage d'un tablier

Le deuxième mode de montage est seul utilisé dans le cas des structures mixtes en poutrelles enrobées pour lesquelles on utilise des profilés du commerce, contrairement aux poutres de bipoutres mixtes qui sont des profilés reconstitués soudés (PRS).

Nous nous limiterons à l'exposé de ces deux modes de mise en œuvre, bien que d'autres modes existent et puissent convenir pour la mise en place d'ossatures métalliques, comme par exemple, pour les ouvrages franchissant un cours d'eau, le hissage de la structure à partir d'un pont flottant.

Les études de stabilité (déversement), doivent porter sur l'ensemble des phases de montage, quelle que soit la technique de mise en œuvre employée.

3.4.3.1 - Le lançage

L'opération de lançage consiste à tirer, à l'aide d'un treuil pour multiplier l'effort de traction, tout ou partie de l'ossature métallique en la faisant rouler sur des galets ou glisser sur des patins utilisant du Téflon. L'effort de traction est créé entre la culée de départ et l'arrière de la structure à lancer.

Le treuil de traction est doublé d'un treuil de retenue permettant d'inverser la manœuvre en cas de problème (déplacement anormal de la structure).

Si l'aire de montage, à l'arrière des culées, n'a pas la longueur suffisante pour permettre l'assemblage de la totalité de la structure, (ce qui est souvent le cas des grands ponts), on procède à des assemblages et des lançages successifs.

La longueur minimale de l'aire de montage doit être environ le double de celle de la travée de rive. Sa largeur est celle de l'ossature métallique augmentée de l'encombrement des équipements de montage et de lançage, soit environ 2,50 m de part et d'autre.

Les tronçons sont posés sur les remblais d'accès, eux mêmes réglés au niveau supérieur du chevêtre (lorsque la construction du mur garde-grève est différée, ce qui est le cas courant), par l'intermédiaire de calages provisoires en bois, dont la distance est définie pour que les déformations soient quasiment nulles aux extrémités à assembler, positionnées en vis-à-vis.

Les assemblages sur chantier se font alors par soudures manuelles bout à bout, en respectant une progression qui laisse se développer le retrait de soudure.

Après assemblage des poutres principales et des éléments transversaux, la structure est abaissée sur le système de roulement constitué de chaises à galets à balancier (assurant l'équilibre rigoureux des charges), ou appuis glissants au Téflon sur plaques inox. Le nombre et les dimensions de ces équipements dépendent des efforts à reprendre (réactions d'appuis de lançage).

Le guidage latéral est assuré par des galets d'axe vertical prenant appui sur le bord latéral de la membrure inférieure.

La structure est équipée d'un avant bec d'accostage (nez relevé), permettant de réduire les efforts de lançage et de reprendre la flèche prise par l'ouvrage afin d'assurer à la structure le passage des appuis.



Figure 178 - Lançage d'un ouvrage métallique - avant-bec

Des équipements spécifiques sont prévus pour le lançage de ponts courbes, ou de structures déjà équipées du hourdis de couverture sur l'aire de préfabrication.

En fin d'opération, l'ouvrage est calé provisoirement pour recevoir le hourdis de couverture et parfois les superstructures, puis vériné pour la mise en place des dispositifs d'appui définitifs.

Le niveau de réglage de la charpente métallique, avant bétonnage, doit éventuellement tenir compte des décalages prévus dans le cas où des dénivellations d'appuis sont effectuées pour recomprimer le hourdis après sa construction.

3.4.3.2 - Le levage

Le levage consiste à mettre en place, à l'aide de grues, dans leur position prête définitive, les tronçons métalliques tels qu'ils sont livrés d'usine ou après un préassemblage au sol, sur site. Ce mode de mise en place d'éléments métalliques peut être utilisé pour des pièces importantes (voussoirs de caisson métallique, grande poutre, ...) mais également et surtout pour la mise en place de poutres de petites dimensions, telles celles des ponts à poutrelles enrobées ou des PSIPAP.

La principale condition de sa mise en œuvre réside dans les possibilités d'accès au site des moyens de levage et de stockage des éléments.

De plus, la capacité des engins de levage est déterminée davantage par le moment de renversement qu'ils peuvent supporter que par la capacité des crochets de levage.

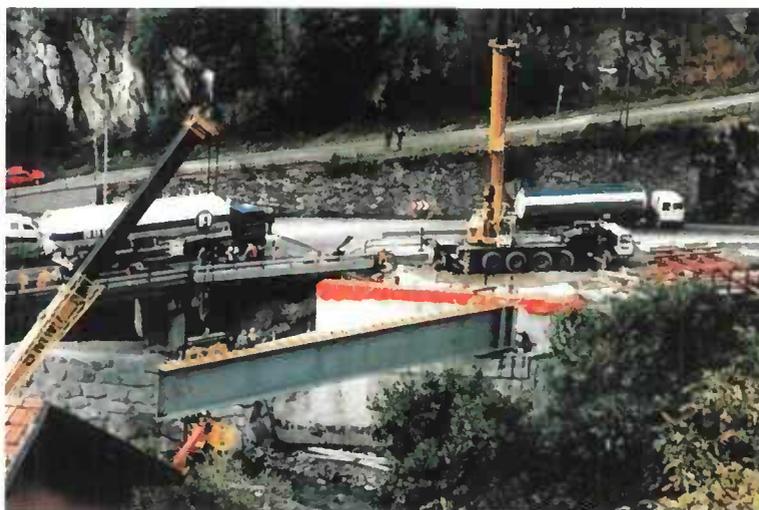


Figure 179 - Levage de poutres métalliques

La longueur des tronçons doit viser à limiter les soudures exécutées dans des conditions inconfortables et à supprimer ou réduire le nombre d'appuis provisoires de montage dont la construction peut s'avérer coûteuse, surtout si le sol d'appui n'est pas de bonne qualité.

3.4.4 - Autres modes de construction

L'importance et le coût des équipements nécessaires à la construction d'ouvrages de franchissement de brèches difficiles (hauteur, accès, ...), mais aussi les contraintes d'exploitation sous chantier de plus en plus délicates à satisfaire (franchissement d'autoroute, de voies ferrées en exploitation, substitution d'ouvrage), ont naturellement conduit les concepteurs à imaginer des méthodes tendant de plus en plus à limiter l'importance et le coût des matériels mais aussi les nuisances et la gêne aux usagers.

Par leur particularité, la sophistication du phasage de construction et des calculs qu'elles entraînent, ces méthodes imposent le recours à des organismes particuliers, même lorsqu'elles sont étendues à la construction de petits ouvrages.

Si l'on excepte le cas des ouvrages mis en place par autoripage[®] ou autofonçage[®], que l'on peut classer parmi les ouvrages courants non types, les ouvrages construits par les techniques décrites dans les paragraphes qui suivent sont à considérer, au sens de la circulaire du 5 mai 1994, comme des ouvrages d'art non courants et les études doivent être menées par un bureau d'études spécialisé.

Rappelons que l'instruction du projet statuera au cas par cas sur ce classement.

Les paragraphes suivants n'ont pour but que de décrire de façon sommaire, parmi l'ensemble de ces méthodes, celles qui pourraient concerner des ouvrages de dimensions modestes.

Nous n'évoquerons pas le cas de la construction par encorbellements successifs, même lorsqu'il s'agit d'assembler sur échafaudages des éléments préfabriqués. Sont abordées les méthodes faisant appel au phasage de construction, de ripage ou de poussage et de mise en place par rotation.

3.4.4.1 - Phasage de construction

Lorsque l'ouvrage est peu haut par rapport au sol et que, par son importante surface il rend prohibitive la mise en place d'un échafaudage général, il peut être intéressant de phaser sa construction et d'optimiser le coût des étalements et par contre coup, celui de l'ouvrage.

Le phasage limite l'importance des étalements qui sont déplacés et réutilisés pour chacune des phases de construction.

Dans ce cas, et pour éviter les opérations répétitives lourdes de montage et de démontage, il peut être économique de concevoir des équipements provisoires spécifiques.

Ces équipements doivent permettre, après stabilisation de la phase en cours, et sans démontage, de faciliter le décoffrage, de limiter le temps de transfert, le nettoyage et le réglage des outils pour la réalisation de la phase suivante.

Le phasage n'est pas sans conséquence sur les calculs (efforts, déformations) et les dispositions constructives à respecter sur chantier (reprise de bétonnage, phasage de précontrainte, mise en précontrainte partielle).

Il permet par contre, en diminuant sensiblement le volume de béton à mettre en œuvre en une seule fois, de limiter le nombre d'équipes et la durée des bétonnages.

Plusieurs méthodes de construction peuvent être envisagées suivant l'importance de l'ouvrage et la morphologie transversale du tablier en particulier :

- le phasage longitudinal seulement,
- le phasage transversal seulement,
- la combinaison des deux méthodes.

Cette technique est généralement réservée aux ouvrages en béton précontraint. Les ouvrages en béton armé, de dimensions plus modestes, justifient rarement le recours à de tels phasages. Cette méthode a toutefois pu être employée pour les ponts dalles ou des ponts à poutres en béton armé.

Dans de rares cas, et lorsque l'ouvrage est peu haut, il peut être intéressant de comparer le coût d'un coffrage outil et d'un échafaudage pour la réalisation par phases d'un hourdis de pont mixte (bipoutres).

a) phasage longitudinal seul

En dehors des structures de type caisson en béton précontraint, cette méthode ne concerne, dans le domaine des ponts courants, pratiquement que les ouvrages de grande longueur, de type dalle précontrainte, à une ou plusieurs nervures et à nombre important de travées (réemploi du matériel).

La méthode consiste à construire l'ouvrage à l'avancement, travée par travée, voire deux travées par deux travées.

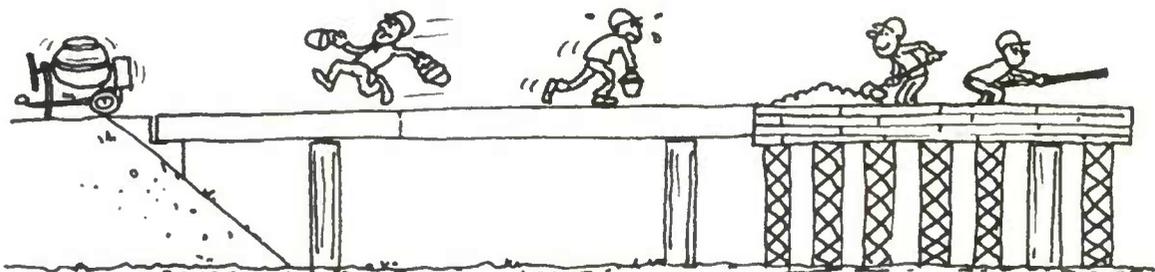


Figure 180 - Construction à l'avancement

Pour éviter de se pénaliser par les efforts de poids propre, en cours de construction, il est habituel de construire la première travée et l'amorce de la deuxième travée jusqu'au voisinage du cinquième ou du quart (position du foyer) de la travée suivante, de manière à se trouver dans la zone de moment nul.

Après durcissement du béton, mise en précontrainte pour stabiliser la partie d'ouvrage réalisée, et décoffrage, la même opération est recommencée en déplaçant les équipements longitudinalement, pour les positionner sur le reste de la deuxième travée et l'amorce de la troisième, et ainsi de suite jusqu'à la dernière travée.



Figure 181 - Phasage longitudinal - Section de reprise

La multiplication des ancrages, le croisement des câbles, l'encombrement des abouts provisoires et définitifs, ..., qu'entraînent le phasage de construction, impose, dès la phase projet, la recherche de dispositions de précontrainte adaptées à ce mode de construction.

L'encombrement des dispositifs d'ancrage des câbles, à chacune des extrémités provisoires de mise en précontrainte, ou la recherche de dispositions visant à optimiser la précontrainte de construction ou de continuité, peuvent conduire :

- à coupler un certain nombre de câbles,
- à disposer des ancrages en extradados de l'ouvrage.

Si dans le passé, le couplage des câbles a pu poser des problèmes liés à la conception, à la mise en œuvre et au fonctionnement de certains types de coupleurs, les progrès réalisés depuis permettent un fonctionnement satisfaisant de ces dispositifs. Il convient cependant, de veiller à ce que les dispositions constructives adoptées, en particulier pour ce qui est de la proportion d'armatures couplées (article 6.1.5 du BPEL), les conditions de leur mise en œuvre, leur fonctionnement permettent d'assurer la reprise des sollicitations pour lesquels ils sont prévus.

La sortie des câbles en extradados pose le double problème de la géométrie des boîtes d'ancrage et de la protection des ancrages. Si le problème de la géométrie des boîtes d'ancrage se résout sans trop de difficultés, la protection des ancrages contre les infiltrations des eaux de chaussée impose une réflexion, dès la phase projet, sur le choix du béton de remplissage, les dispositions d'armatures de fermeture, et surtout du complexe d'étanchéité destiné à garantir la protection définitive des ancrages.

Des câbles de continuité peuvent être prévus, dans certains cas, pour assurer le complément de précontrainte nécessaire à la reprise des efforts de superstructures et de charges de service. Pour éviter la multiplication des ancrages dans des zones où la place disponible est généralement limitée, ces câbles peuvent s'ancrer sur des bossages intérieurs (entre deux nervures par exemple).

b) phasage transversal

Ce mode de construction est plus particulièrement adapté au cas des dalles nervurées, précontraintes, à deux nervures ou plus, présentant une symétrie transversale.

La différence avec le mode de construction évoqué précédemment, réside ici dans le fait que l'on profite de cette symétrie transversale de l'ouvrage pour limiter encore les équipements de construction et réduire ainsi leur coût. Cette solution peut être utilisée dans le cas où il s'avère utile d'ouvrir à la circulation une partie de l'ouvrage le plus tôt possible.

On commence par construire une première phase transversale qui consisterait par exemple, dans le cas d'une dalle à deux nervures, à réaliser une demi largeur de structure, diminuée de la demi largeur du clavage transversal.

Après prise du béton, mise en précontrainte de la partie réalisée et décoffrage, on recommence l'opération en déplaçant transversalement les équipements de construction sur la demi largeur symétrique.

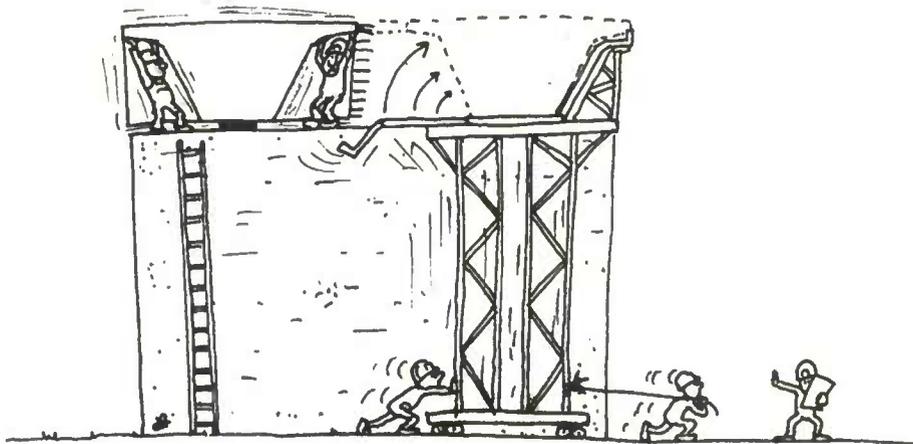


Figure 182- Phasage transversal

Avant clavage transversal, les conditions de stabilité au déversement peuvent imposer d'encasturer à la torsion la nervure (surtout si elle est étroite) sur appuis.

Après mise en précontrainte de la deuxième nervure, on réalise le clavage transversal qui est souvent simplement armé, mais qui peut être aussi précontraint, en particulier lorsque l'ouvrage est de grande largeur. La précontrainte transversale est toujours conseillée pour éviter la fissuration du hourdis au droit des reprises de bétonnage longitudinales.

Le processus est répété sur la deuxième travée et ainsi de suite comme précédemment.

La continuité longitudinale est assurée, comme dans le cas précédent, par précontrainte.

De nombreuses variantes de construction de ce type peuvent être imaginées.

L'indépendance des deux premières phases transversales s'impose en raison des efforts parasites, longitudinaux et transversaux, que feraient naître dans la structure entière, en particulier pour la première phase, les mises en précontrainte de la deuxième phase si elle était directement coulée au contact de la première (cisaillements, flexion transversale).

Ce problème subsiste pour les actions qui se développent après clavage. C'est le cas du retrait et du fluage différentiels gênés dont les effets sont d'autant plus importants que la différence d'âge entre les bétonnages des deux nervures est important. Il se crée un système d'autocontraintes comprimant la nervure la plus ancienne et tendant la plus récente, qui se traduit par une déformation courbe en plan (mise en banane de l'ouvrage).

Cette solution n'est à envisager qu'en dernier recours.

3.4.4.2 - Mise en place par ripage transversal

Le principe de cette méthode de mise en place est très simple.

Il consiste, lorsque la durée d'occupation de l'emprise de l'ouvrage définitif est limitée, ou lorsque les conditions de mise en place d'un cintre s'en trouvent simplifiées, à préfabriquer la structure, en tout ou partie, à côté de son emplacement définitif, et de la riper transversalement, à cet emplacement.

Pour les petits ouvrages, cette méthode est généralement employée lorsqu'il s'agit de remplacer un ouvrage en service en limitant la gêne aux usagers.

La structure est entièrement ou partiellement préfabriquée sur des appuis construits dans le prolongement des appuis définitifs. Sa mise en place peut alors se faire par ripage transversal après interruption de la circulation et démontage de l'ouvrage existant.

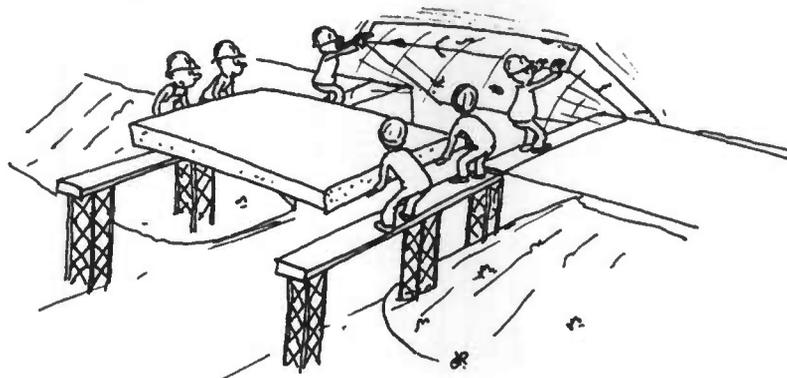


Figure 183 - Ripage transversal

Cette opération qui ne nécessite qu'un temps réduit de mise en place, (généralement effectuée de nuit), est plus particulièrement employée par la SNCF pour la reconstruction d'ouvrages portant les voies en service.

La particularité de cette méthode réside dans le fait qu'elle ne modifie pas le comportement (schéma statique) de la structure au cours de l'opération.

La **mise en place par ripage des cadres et portiques** est une technique qui relève de la préfabrication. Elle se révèle intéressante lorsque l'on cherche à réduire le plus possible l'interruption de circulation sur la voie que supportera l'ouvrage.

L'ouvrage complet ou deux demi-ouvrages jumeaux sont réalisés sur étaitements, de façon classique à côté ou de part et d'autre de la voie portée restant en service. Les terrassements sont effectués au dernier moment, dans un temps aussi réduit que possible, préalablement au ripage ou au cours du fonçage.

Pour vaincre les frottements on a eu recours à des coussins d'air mis en place sous l'ouvrage et permettant de limiter l'effort de traction.

Les techniques de l'autoripage[®] et de l'autofonçage[®] font appel à des injections d'un mélange de bentonite et de microbilles réalisant un plan de glissement peu frottant. Pour effectuer le déplacement, l'effort moteur nécessaire est transmis par des câbles prenant appui sur un massif de butée dans le cas de l'autoripage[®] ou sur l'un des deux demi-ouvrages, dans le cas de l'autofonçage[®]. Dans ce dernier cas, des forages permettent l'enfilage des câbles à travers le remblai.



Figure 184 - demi-tablier prêt à être déplacé

Dans tous les cas, des installations annexes sont à prévoir. Il s'agit des radiers de ripage et éventuellement du massif de butée.

L'intérêt de ces techniques est toutefois limité lorsque l'on est obligé de réaliser un clavage des deux demi-ouvrages, ce qui est nécessaire lorsque la zone correspondante est circulée. Dans le cas contraire (ouvrage ferroviaire ou présence d'un TPC), un joint entre les deux demi-tabliers est suffisant.

La réussite de ce type d'opération nécessite un suivi topographique rigoureux au cours du déplacement de l'ouvrage pour corriger la trajectoire en cas de dérive. Il est en effet très difficile de faire marche arrière. La maîtrise de la direction est par ailleurs plus délicate pour les ouvrages biais.

3.4.4.3 - Mise en place par poussage

Cette méthode de mise en place d'ouvrage en béton est le corollaire du lançage pour les ponts métalliques. Elle trouve sa justification lorsque la brèche est difficile d'accès (voies circulée, grande hauteur des piles ou difficultés d'implantation d'ouvrages provisoires). Elle consiste :

- à construire l'ouvrage par tronçons successifs, sur une aire aménagée dans le prolongement de l'ouvrage définitif à l'arrière des culées,
- à pousser, ou à tirer, ces tronçons successifs, préalablement assemblés aux précédents, suivant le profil en long de l'ouvrage définitif, en le faisant glisser sur des appareils d'appuis glissants disposés, à la fois sur les longrines de construction, mais aussi sur les appuis définitifs.

Pour des ouvrages de dimensions modestes, comme le sont par exemple la plupart des franchissements d'autoroutes ou de voies ferrées, cette méthode permet de simplifier la construction de l'ouvrage lorsque les voies franchies sont en service.

Elle permet de réduire le temps de survol de la brèche lors des opérations de poussage à des durées très brèves, si ces opérations se déroulent de nuit, ce qui limite considérablement la gêne des usagers.



Figure 185 - Poussage d'un pont dalle au dessus d'une voie en service

Contrairement à la méthode précédente (ripage), cette méthode ne permet pas de conserver le schéma statique de la structure au cours du poussage.

La modification du schéma statique, générée par le déplacement permanent des points d'appuis en cours de poussage, entraîne une modification permanente de la répartition des sollicitations sur la structure.

Ce mode de construction est conditionné par des conditions géométriques de l'intrados du tablier permettant une superposition de la structure sur elle-même par déplacement. Les ouvrages rectilignes, les ouvrages courbes en plan ou en long, les ouvrages appuyés sur une hélice, sont poussable. Un guide de conception du SETRA spécifique aux ponts poussés est en cours de rédaction.

3.4.4.4 - Mise en place par rotation

Comme pour le poussage ou le lançage, la mise en place par rotation consiste à s'affranchir des difficultés d'exécution dues à la nature même du franchissement, (franchissement de voies ferrées, de cours d'eau, d'autoroute, etc.), en construisant l'ouvrage perpendiculairement à son alignement définitif et à le mettre en place ensuite par rotation autour d'un ou de plusieurs appuis définitifs.

Cette méthode de construction qui ne peut évidemment s'adapter qu'à la mise en place d'un tablier unique en raison de l'obstacle que crée ce tablier pour la construction du second, suppose que les zones parallèles à la brèche et celles balayées par l'ouvrage en cours de rotation soient disponibles et libres de toute contrainte.

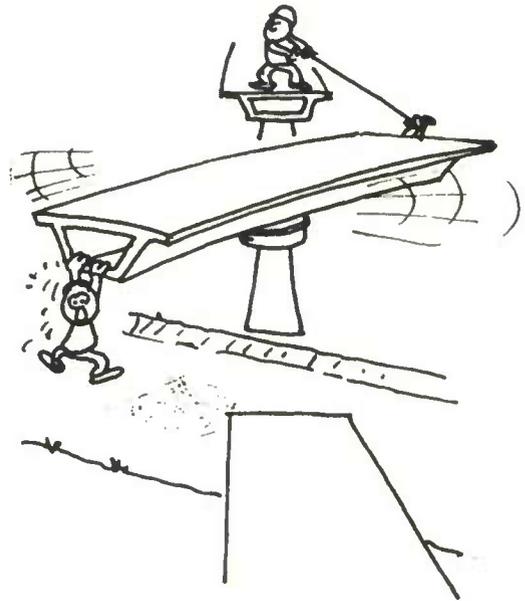


Figure 186 - Mise en place par rotation

Si cette méthode de construction de l'ouvrage, sur rive, ne nécessite le recours qu'à des équipements simples et économiques, permettant des conditions de travail optimales, elle pose cependant certains problèmes :

- augmentation de la longueur de la travée franchie, compte tenu du recul nécessaire pour mise en place des équipements de construction,
- détermination du point d'application et de l'intensité de l'effort à exercer pour assurer la rotation; stabilité de l'ouvrage en cours de rotation, tant longitudinalement que transversalement,
- réalisation du clavage central dans le cas de rotation des deux côtés de l'obstacle à franchir.

Cette méthode ne modifie pas le comportement (schéma statique) de la structure au cours de l'opération de rotation. Le schéma statique définitif est par contre différent (mise sur appui définitifs, clavages, etc.).

3.5 - PRINCIPES DE CHOIX DE LA STRUCTURE

Le but de ce chapitre n'est pas de formuler des recettes permettant le choix de la structure. Il n'évoque que les principes de conception d'un ouvrage qu'il convient de respecter pour définir le domaine des solutions possibles, sachant que, bien entendu, le choix est souvent multiple.



Figure 187 - Le bon choix dans le respect des contraintes

Le critère principal permettant de définir le domaine d'emploi des différents ponts est la **portée déterminante**, c'est à dire la plus grande des longueurs entre appuis consécutifs. Mais il est évident que d'autres critères interviennent dans le choix comme les possibilités de construction, les caractéristiques géométriques en plan, la largeur du tablier, la hauteur disponible et la nature des terrains de fondation.

Un autre élément d'appréciation dans le choix d'un type d'ouvrage est son mode de fonctionnement et son aptitude à résister aux efforts exceptionnels et accidentels tels que des chocs de véhicules hors gabarit, qui conduisent à préférer les structures plus rustiques et plus monolithiques. Par exemple, le premier passage supérieur situé après l'entrée d'un échangeur quelconque sera préférentiellement un pont dalle et servira d'écrêteur pour les véhicules hors gabarit.

Du point de vue de la structure, les éléments principaux de choix du projecteur consistent à définir le nombre de travées, leurs longueurs, le balancement des travées, l'élancement du tablier, de définir le type de structure, tant longitudinalement que transversalement en se basant sur les domaines d'emploi usuels des structures.

3.5.1 - Choix du nombre de travées

Le choix du **nombre de travées** vise à optimiser le coût de réalisation du tablier et des appuis. Plus il y a d'appuis intermédiaires, plus on diminue la portée déterminante et donc le coût du tablier, mais on augmente bien entendu le coût du poste appuis. Il faut cependant respecter les contraintes d'implantation des piles et la hauteur disponible pour le tablier entre le profil en long du pont et les gabarits. En effet, pour une structure donnée, plus la portée déterminante est importante et plus l'épaisseur du tablier augmente. Le choix du nombre de travées peut également être décidé pour des questions d'aspect.

3.5.2 - Distribution des travées

La **distribution des travées** est régie par la combinaison des contraintes d'implantation des appuis, du fonctionnement mécanique du tablier, de l'esthétique de l'ensemble et de l'économie de chaque solution.

Pour les ouvrages constitués de **travées indépendantes** multiples, on cherche à réaliser des portées égales de façon à s'orienter vers un processus de construction plus industriel car répétitif et souvent plus économique. Il s'agit essentiellement des ouvrages à poutres préfabriquées en béton précontraint par pré-tension (PRAD) ou pour des portées plus grandes par post-tension (VIPP). Ces solutions permettent une bonne standardisation grâce à la préfabrication de poutres identiques.

Pour les **structures continues** de hauteur constante, d'un point de vue purement mécanique et économique, on s'efforce aussi de réaliser des travées intermédiaires sensiblement identiques, appelées travées courantes, afin d'homogénéiser les efforts tout le long de l'ouvrage. Les travées de rive sont en général plus courtes que les travées intermédiaires puisque l'on ne bénéficie de la réduction d'efforts due à la continuité sur appui que d'un seul côté de la travée.

C'est pourquoi le **balancement** α de l'ouvrage (rapport entre la portée d'une travée de rive et celle de la travée adjacente) est limité supérieurement à 0,80 environ.

Ce rapport α peut varier de 0,60 à 0,70 pour les tabliers de hauteur variable ou bénéficiant d'un effort de compression longitudinale par précontrainte pour les ponts dalles de type PSIDP ou PSIDN ou, au moins partiellement, par fonctionnement structurel comme dans le cas des ponts à béquilles de type PSBQ. Une liberté un peu plus grande est donnée aux ponts mixtes acier-béton puisque la répartition des matières s'adapte plus aisément aux variations de sollicitations sans pénaliser l'économie du projet.

Dans tous les cas, il convient de donner à la travée de rive une longueur suffisante pour éviter les soulèvements d'appui sur culée lorsque les charges d'exploitation agissent sur la travée adjacente. On retient alors une valeur minimale du balancement α de 0,55.

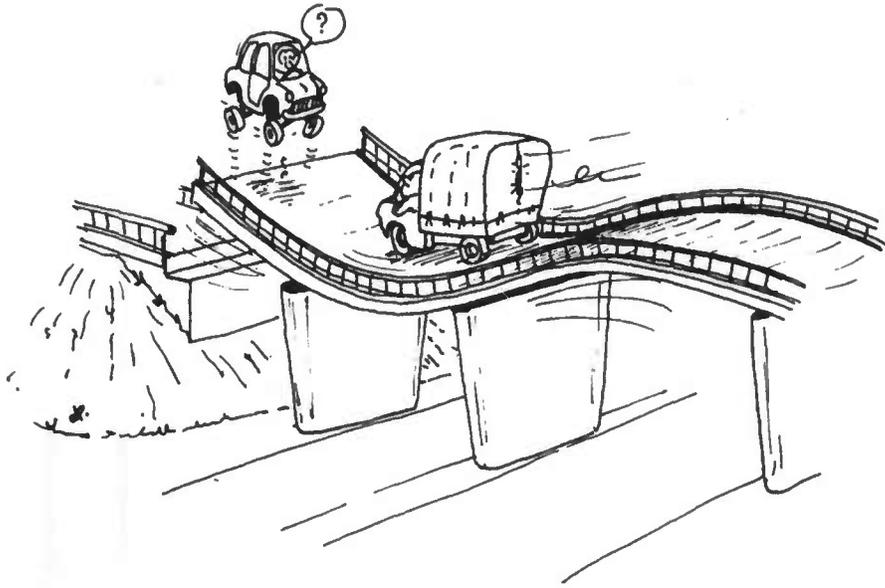


Figure 188 - Balancement de travées

Lorsque divers impératifs conduisent à prévoir une travée de rive très courte, donc un rapport α inférieur à 0,55, il est nécessaire de prendre des dispositions pour empêcher les soulèvements d'appui d'extrémité. Il est alors possible de lester le tablier, de l'ancrer, d'avoir recours à du béton léger ou de prévoir des appuis inversés.

Dans tous les cas on évite d'avoir des réactions d'appui dont le sens s'inverse sous chargements extrêmes au droit des culées. Un tel fonctionnement serait en effet préjudiciable à la pérennité des appareils d'appui et des joints de chaussée (dont on connaît le coût important d'entretien).

D'une manière générale, deux cas de figure se présentent :

- Lorsque la longueur totale du pont est fixée (implantation des culées), et si la position des appuis intermédiaires est indifférente, on a intérêt à limiter la portée déterminante dont dépendent directement les efforts et donc les quantités de matière à mettre en œuvre. On retient alors un balancement voisin du maximum pour la structure envisagée.

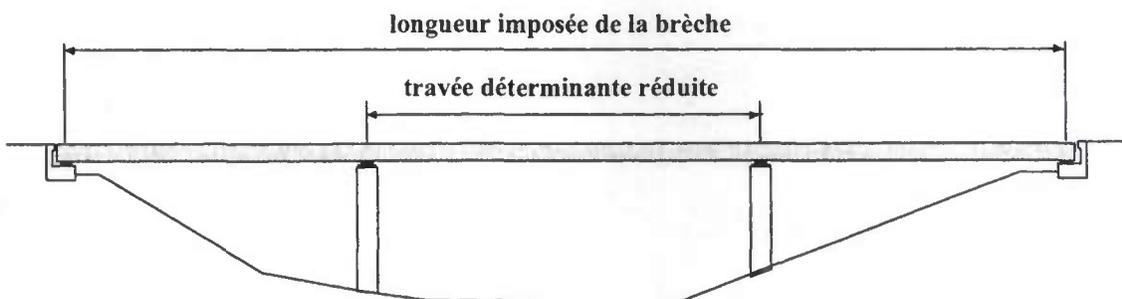


Figure 189 - Cas où la longueur du pont est fixée
Travées de rives relativement longues

GAMMES DE PORTÉES ET ELANCEMENTS

OUVRAGES CONSTRUITS SUR CINTRES AU SOL

$$\alpha = \frac{\text{longueur travée de rive}}{\text{longueur travée adjacente}}$$

TYPE D'OUVRAGE	GAMME DE PORTEE			ELANCEMENT		OBSERVATIONS	α
	Min	domaine privilégié	Max	sur pile	à la clé		
Ouvrages en béton armé							
Cadre PICF	-	2 à 10 m	12 m	$\ell/32+0,125$		épaisseur du tablier	
Portiques PIPO-POD	8 m	10 à 20 m	22 m	$\ell/40+0,100$		épaisseur du tablier	travées peu dissymétriques pour POD
Pont dalle armée PSIDA	7 m	8 à 15 m	15 m	1/20		travée isostatique	-
	7 m	8 à 15 m	15 m	1/26		2 travées continues	> 0,6
	6 m	8 à 18 m	20 m	1/28		≥3 travées continues	0,6 à 0,85
Ponts dalles précontraintes de type PSIDP							
dalles pleines	14 m	14 à 20 m	25 m	1/22 à 1/25 1/28 1/33		travée isostatique 2 travées continues ≥3 travées continues	- > 0,6 0,6 à 0,85
dalles à larges encorbellements	15 m	18 à 25 m	30 m	1/22 à 1/25 1/25 1/28		travée isostatique 2 travées continues ≥3 travées continues	- > 0,6 0,6 à 0,85
dalle pleine poussée ⁽¹⁾		10 à 20 m	25 m	1/23		surcoût 10 à 15 %	0,65 à 0,70
Pont en dalle nervurée de hauteur constante (≥ 2 nervures)							
nervures larges		25 à 30 m	35 m	1/25 1/30		2 travées continues ≥3 travées continues	0,6 à 0,9
nervures étroites		25 à 30 m	35 m	1/15 à 1/20 1/17 à 1/22		2 travées continues ≥3 travées continues	0,6 à 0,9
Pont en dalle nervurée de hauteur variable (≥ 2 nervures)							
nervures larges		35 à 45 m	50 m	1/20 1/24	1/30 1/42	2 travées continues ≥3 travées continues	0,6 à 0,9
nervures étroites		35 à 45 m	50 m	1/18	1/35		0,6 à 0,9
Pont à béquilles)							
Pont à béquilles PSBQ		20 à 40 m	50 m	1/23 à 1/28	1/33 à 1/38	trois travées portée en tête de béquilles	0,55 à 0,70 < 0,60 avec contre-béquilles

⁽¹⁾ Il ne s'agit pas d'un pont courant

GAMMES DE PORTÉES ET ELANCEMENTS

OUVRAGES A POUTRES PREFABRIQUEES

TYPE D'OUVRAGE	GAMME DE PORTEE			ELANCEMENT poutre+hourdis		OBSERVATIONS	α
	Min	domaine privilégié	Max				
PRAD Pré-tension	10 m	15 à 25 m	30 m	1/18 à 1/20 1/23 à 1/25		Travées isostatiques Travées continues	portées égales si possible
VIPP Post-tension	30 m	35 à 45 m	50 m	1/16 à 1/18-1/20			portées égales si possible

PONTS A STRUCTURE METALLIQUE OU MIXTE

TYPE D'OUVRAGE	GAMME DE PORTEE			ELANCEMENT métal seul		OBSERVATIONS	α
	Min	domaine privilégié	Max	sur pile	à la clé		
Poutrelles enrobées		8 à 25 m 10 à 30 m		1/33 (S275) 1/40 (S355) 1/38 (S275) 1/45 (S355)		Travées isostatiques Travées isostatiques Travées continues Travées continues	0,70 à 0,80 0,70 à 0,80
PSIPAP		< 28 m < 36 m		1/38 1/38		Travées isostatiques Travées continues	0,70 à 0,80
Tablier bipoutre mixte isostatique	30 m	50 à 80 m ⁽¹⁾	90 m	1/22 à 1/25		Travées isostatiques	-
Tablier bipoutre mixte continu	30 m	50 à 80 m	110m	1/28		3 travées ou plus de hauteur constante	0,65 à 0,80
Tablier bipoutre mixte continu	30 m	50 à 80 m	110m	1/25 à 1/30	1/25 à 1/40	hauteur variable	0,65 à 0,80

⁽¹⁾ Rappelons qu'à partir de 40 m, ces ouvrages sont non courants au sens de la circulaire du 5 mai 1994.

- Au contraire, si la portée déterminante est fixée, par une contrainte de gabarit par exemple, les travées de rive n'ont qu'un rôle d'équilibrage et d'accès à la travée principale. On a alors intérêt à choisir un balancement minimal conduisant à des travées de rive courtes et donc à une longueur totale d'ouvrage plus réduite.

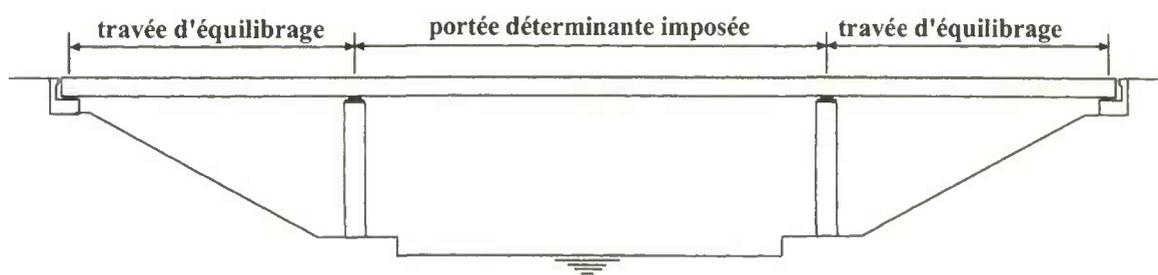


Figure 190 - Cas où la portée déterminante du pont est fixée
Travées de rives relativement courtes

Le choix du balancement peut également résulter de critères esthétiques en fonction des particularités de la brèche.

3.5.3 - Elancement

On définit l'**élancement** comme le rapport entre la hauteur du tablier et la portée principale. On distingue les élancements sur pile et à la clé lorsque le tablier est de hauteur variable.

Pour chaque type de structures, il existe un domaine d'élancement économique, issu de l'expérience et susceptible d'évolution en fonction de la conjoncture économique et des caractéristiques des matériaux utilisés.

Ce paramètre permet donc de choisir une portée admissible pour une hauteur utile fixée ou inversement de déterminer une épaisseur de tablier pour une portée donnée.

Les tableaux des pages 210 et 211 fournissent les élancements, balancements et gammes de portée pour les ouvrages types. Ces éléments sont issus des guides spécifiques de conception du SETRA, auxquels il convient de se reporter pour plus de détails (Cf. bibliographie).



Figure 191 - Les guides de conception des ponts-types du SETRA

3.5.4 - Structure longitudinale

Le fonctionnement mécanique de l'ouvrage intervient également dans sa conception. On peut distinguer les cadres (PICF), les passages voûtés (PIV), les portiques simples (PIPO ou portique mixte acier-béton) ou doubles (POD), les dalles ou poutres isostatiques et les dalles ou poutres continues.

Parmi les paramètres intéressants on retient :

- l'utilisation d'une hyperstaticité du système pour réduire les efforts et par conséquent les quantités de matière mises en œuvre (pont cadre, portique ou poutre continue),
- la déformabilité du système pour s'adapter à d'éventuels mouvements de fondation (tassement) sans préjudice pour la structure, obtenue par des structures minces, donc souples,
- la suppression des appareils d'appui et des joints de chaussée dans le cas des ponts cadres et des portiques.

3.5.5 - Structure transversale

Pour les ouvrages de faible portée, les gains de matière qui seraient permis par le choix d'une section transversale performante du point de vue mécanique seraient limités et ne compenseraient pas le coût de réalisation de formes complexes. On préfère donc des formes simples, plus économiques, même si elles n'apparaissent pas optimales sur le plan mécanique.

Au fur et à mesure de l'augmentation de la portée, afin de ne pas être trop pénalisé par les charges permanentes, il faut choisir des structures plus légères, ou augmenter les caractéristiques mécaniques de la section en concentrant la matière sur les fibres extrêmes.

On passe ainsi :

- des ponts en dalle rectangulaire, utilisés de façon classique jusqu'à des portées d'une vingtaine de mètres (cadres et portiques en béton armé, ponts à poutrelles enrobées, ponts dalles en béton armé),
- aux dalles à larges encorbellements et aux dalles nervurées permettant d'atteindre des portées de 25 à 35 mètres (PSIDP),
- puis aux ponts à nervures, véritables poutres rectangulaires sous chaussée, utilisés de façon classique pour des portées de 30 m à 50 m,
- et plus généralement aux ponts à poutres sous chaussée : en béton précontraint pour des portées de 30 m à 50 m (VIPP) et en ossature mixte acier-béton pour des portées plus importantes encore.

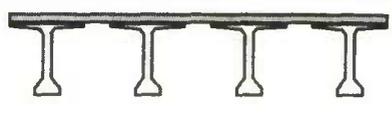
Dalles rectangulaires	
Dalles à larges encorbellements	
Dalles nervurées simples ou multiples	
Ponts à nervures	
Pont à poutres sous chaussée	

Figure 192 - Coupes transversales des ponts en béton

C'est cette adaptation de la section transversale de l'ouvrage à sa portée déterminante qui explique que la part due au poids propre dans les sollicitations totales de la section déterminante reste comprise entre 40 % et 60 % pour tous les ouvrages de portée moyenne. Ainsi au fur et à mesure de l'augmentation des portées, on recherche une section transversale à plus grande inertie et on utilise des matériaux permettant de diminuer son poids propre.

Enfin, lorsque la hauteur disponible est insuffisante ou pour diminuer l'épaisseur du tablier, il est possible d'avoir recours à des ponts à poutres latérales métalliques ou en béton. L'épaisseur utile du tablier, c'est-à-dire celle comprise entre le profil en long et l'intrados du tablier se réduit alors à l'épaisseur du complexe étanchéité-couche de roulement, du platelage ou de la dalle et des structures secondaires (pièces de ponts ou poutres transversales) nécessaires au report des charges sur les poutres latérales porteuses.



Figure 193 - Pont à poutres latérales

3.5.6 - Incidence du choix du matériau

Nous nous limitons dans ce chapitre aux matériaux usuellement employés dans la construction des ouvrages d'art, et excluons donc les matériaux à hautes performances (BHP, aciers thermomécaniques, ou autres ...) qui confèrent à l'ouvrage le caractère non courant.

Le béton est intrinsèquement un matériau économique. Il résiste bien à la compression mais mal, et de façon très aléatoire, à la traction. On doit donc considérer, en général, que le béton est fissuré dès qu'il est tendu. Il est alors non résistant mais pesant.

L'acier est un matériau relativement coûteux, mais doué d'une excellente résistance, aussi bien en traction qu'en compression.

A volume égal, l'acier est environ trois fois plus lourd que le béton ; sa résistance à la compression est 20 fois plus élevée. Ainsi pour transmettre le même effort extérieur de compression, il est moins coûteux d'utiliser le béton que l'acier mais le béton employé pèse 7 fois plus que l'acier qui serait utilisé pour le même ouvrage. En revanche pour équilibrer économiquement les efforts de traction, il faut utiliser l'acier.

On en déduit alors les principes qui orientent actuellement la construction :

- il est logique d'employer le plus souvent possible le béton puisque c'est un matériau plus économique,
- il est nécessaire de lui substituer l'acier pour équilibrer les efforts de traction, car l'acier est alors le matériau résistant le plus économique.

L'économie conseille d'employer simultanément dans une même construction, le béton pour résister à la compression et l'acier pour équilibrer les efforts de traction, en utilisant pour cela :

- la capacité d'adhérence de l'acier au béton,
- la protection contre la corrosion de l'acier qu'assure le béton, grâce au caractère fortement basique de son ciment,
- la rigidification de l'acier par le béton qui améliore son comportement vis-à-vis des phénomènes d'instabilité élastique.

De plus, outre sa charge d'exploitation, toute construction porte son poids propre. A charge d'exploitation constante, le poids propre croît plus vite que la portée.

Pour les ponts routiers, le poids propre et la charge d'exploitation sont du même ordre de grandeur lorsque la portée est voisine de 30 m pour les ponts en béton et 80 m pour les ponts en acier. Au delà, il faut dépenser davantage pour porter le poids propre du pont que pour sa charge utile.

Ainsi pour les faibles portées (jusqu'à une vingtaine de mètres), il faut employer le matériau le plus économique, même s'il est lourd, c'est à dire le béton. Dans les zones tendues, il faut substituer au béton (fissuré) l'acier sous forme de barres rondes noyées dans le béton : c'est le domaine du béton armé.

Au delà et jusqu'à des portées de l'ordre de 100 m, on peut éviter de soumettre le béton à la traction en introduisant un effort artificiel de compression, appelé "précontrainte". C'est le domaine du béton précontraint.

On peut également alléger les structures, en n'employant le béton que pour résister aux efforts de compression. L'acier, plus léger, sert alors à équilibrer aussi bien les efforts de traction que l'effort tranchant. De cette conception sont issus les profils de la construction mixte acier-béton dont les portées économiques sont comprises entre 60 et 120 m environ, qui sortent de la gamme des ponts courants. Mais dans certaines conditions (ouvrages élancés ou de type répétitif notamment) ces structures peuvent s'avérer compétitives dans un domaine de portées inférieures.

3.5.7 - Conseils pour le choix de la structure

L'importance ou l'absence de contraintes peut favoriser certaines solutions par rapport à d'autres. Les quelques éléments des paragraphes qui suivent sont largement développés dans les guides de conception des différences structures types.

Lorsqu'il n'y a aucune contrainte particulière de construction, il faut privilégier les solutions construites sur cintre qui sont les plus économiques. Il en sera de même pour franchir des cours d'eau qui peuvent être facilement détournés pendant les phases de travaux.

Lorsque des contraintes de chantier existent sous l'ouvrage (ouvrage enjambant une voie de circulation, un cours d'eau non dérivable), que le sol est de mauvaise qualité et qu'il présente de forts risques de tassements, il convient de privilégier :

- de construire sur un cintre s'appuyant sur les appuis définitifs ; On notera que la structure porteuse du cintre est intégrée à l'ouvrage dans le cas des poutres métalliques ou en béton,
- de construire sur cintre à proximité de la brèche puis de mettre en place l'ouvrage par levage, poussage ou rotation,
- de recourir à la préfabrication : poutres préfabriquées mises en place par ripage ou à la grue.

Des contraintes liées à la sécurité en phase de travaux peuvent conduire :

- à augmenter les portées pour éviter des fouilles de fondation à proximité des zones circulées,
- à limiter, voire à interdire les manutentions au dessus des voies circulées,
- à construire en sur-gabarit, à rechercher une épaisseur minimale du tablier pour ne pas engager le gabarit de circulation en construction.

L'adaptation aux contraintes géométriques du tracé :

- les ponts dalles ou les cadres s'adaptent mieux au biais et à la courbure que les ponts à poutres,
- les ouvrages coulés sur cintre s'adaptent mieux aux géométries complexes (variations de largeur, géométrie en plan, ...),
- les ouvrages voûtés et à une moindre échelle les ponts cadres, voire les portiques peuvent supporter un remblai.

Dans tous les cas, le projeteur doit garder à l'esprit que l'intérêt de recourir à des ouvrages courants types provient de la bonne connaissance du comportement de ces structures, dont les pathologies courantes sont connues et peuvent être évitées par des contre-mesures connues, et que les guides spécifiques de conception du SETRA décrivent largement. Ces structures sont caractérisées par leur robustesse.

3.6 - LES PRINCIPAUX TYPES DE PONTS COURANTS

L'objectif de ce chapitre est de rappeler succinctement la morphologie des principaux ouvrages courants. Comme il a été vu au chapitre 1, le SETRA a établi et largement diffusé des guides de conception de la plupart de ces structures et a développé des programmes informatiques permettant leur justification par le calcul. Le lecteur se reportera à ces nombreux guides pour plus de détails (Cf. bibliographie).

Le domaine d'emploi de ces ouvrages est également brièvement rappelé et les éléments numériques principaux sont rassemblés dans le tableau de la page 210.

Les ponts courants peuvent être classés en trois grandes familles. Les deux principales sont celles des ponts cadres et portiques ainsi que celle des ponts dalles tant du point de vue du nombre d'ouvrages que de la surface des tabliers. Les ponts à poutres sont moins répandus.

- Les **ponts cadres et portiques** sont adaptés aux petites brèches qu'ils franchissent en passage inférieur. Il s'agit le plus souvent de travées uniques (PIPO - Passage Inférieur en Portique Ouvert, PICF - Passage Inférieur en Cadre Fermé) ou d'ouvrages à deux travées comme les portiques doubles (POD - Portique Ouvert Double). Par extension on citera dans cette famille les ouvrages voûtés en béton armé.
- Les **ponts dalles**, en béton armé ou en béton précontraint, sont des dalles dont la section est dérivée de la section rectangulaire. Ils permettent le franchissement en passage supérieur ou inférieur de brèches un peu plus importantes. Il s'agit des ouvrages PSIDA - Passage Inférieur ou Supérieur en Dalle Armée - ou PSIDP - Passage Inférieur ou Supérieur en Dalle Précontrainte. Les **dalles nervurées**, de type PSIDN - Passage Inférieur ou Supérieur en Dalle Nervurée, constituent une extension des dalles précontraintes pour les grandes portées et peuvent être de hauteur variable. Une autre structure, moins employée, car nécessitant un très bon sol de fondation, est le **pont à béquilles** de type PSBQ - Passage Supérieur à BéQuilles constitue une extension de pont dalle.
- Dans le domaine des plus grandes portées se situent les **ponts à poutres** utilisés pour des passages supérieurs ou inférieurs, et qui sont d'un emploi moins fréquent. Si l'on exclut les ponts à poutres en béton armé (PSIBA - Passage Supérieur ou Inférieur en Béton Armé), qui ne sont plus utilisés aujourd'hui, on rencontre les ponts à poutres PRécontraintes par ADhérence (PRAD) et les ponts à poutres PRécontraintes par câbles (VIPP - Viaduc à travées Indépendantes à Poutres Préfabriquées) pour des ouvrages en béton. Les ouvrages à poutres métalliques sont du type à poutrelles enrobées, à poutrelles ajourées précontraintes de type PSIPAP ou encore du type bipoutre mixte.

3.6.1 - Les ponts cadres et portiques en béton armé

Les ouvrages à une travée de type pont cadre ou portique constituent la majorité des franchissements en passages inférieurs lorsque la voie franchie est de largeur modérée et lorsque le biais n'est pas trop accusé. Lorsque la dimension de la brèche franchie est plus importante, il peut être avantageux d'avoir recours à un ouvrage double, de conception analogue à celle d'un ouvrage à une travée. Ces ouvrages se présentent comme une ouverture rectangulaire dans le talus, assortie de murs de tête destinés à soutenir les terres à proximité de l'ouvrage.

Il sont dans leur majorité coulés en place, mais peuvent s'adapter à une préfabrication totale ou partielle.

3.6.1.1 - Morphologie des ouvrages

Le PICF (Passage Inférieur en Cadre Fermé) est un cadre rectangulaire en béton armé ouvrant un passage à travers le talus.

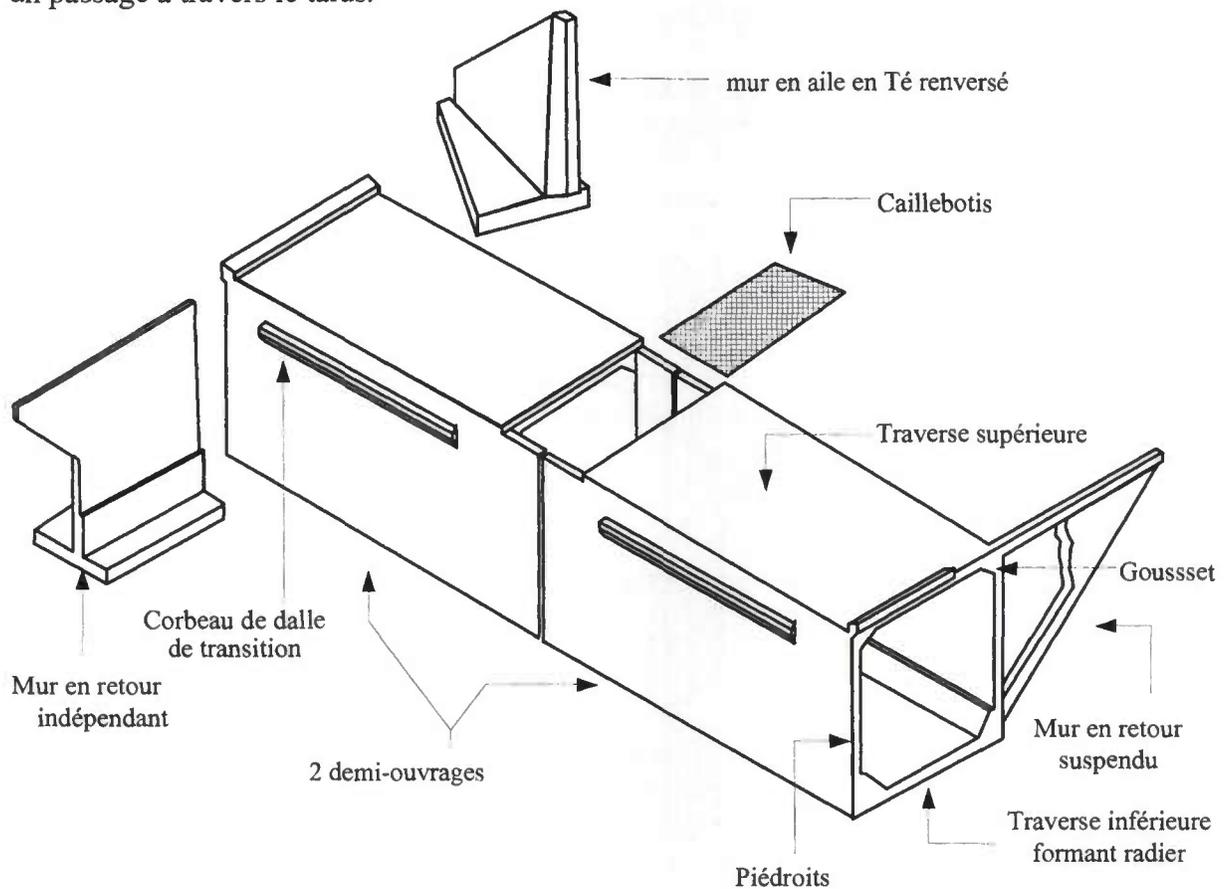


Figure 194- Vue éclatée d'un PICF

La fondation est un radier général, formant traverse inférieure, qui est coulé en première phase sur un béton de propreté. Les piédroits verticaux, coulés en deuxième phase, soutiennent les terres et font office de culées incorporées. Ils supportent la traverse supérieure coulée en troisième phase qui constitue le tablier.



Figure 195 - Pont cadre de type PICF

Cette ossature, très résistante, puisque constituée d'une structure fermée, est également très simple à réaliser et peut sans difficulté être confiée à une petite entreprise "locale", non obligatoirement spécialisée en ouvrages d'art.

Le PIPO (Passage Inférieur en Portique Ouvert) est un portique en béton armé, en forme de U renversé. Les jambes du U, qui constituent les piédroits, sont reliés par la traverse, qui fait office de tablier.

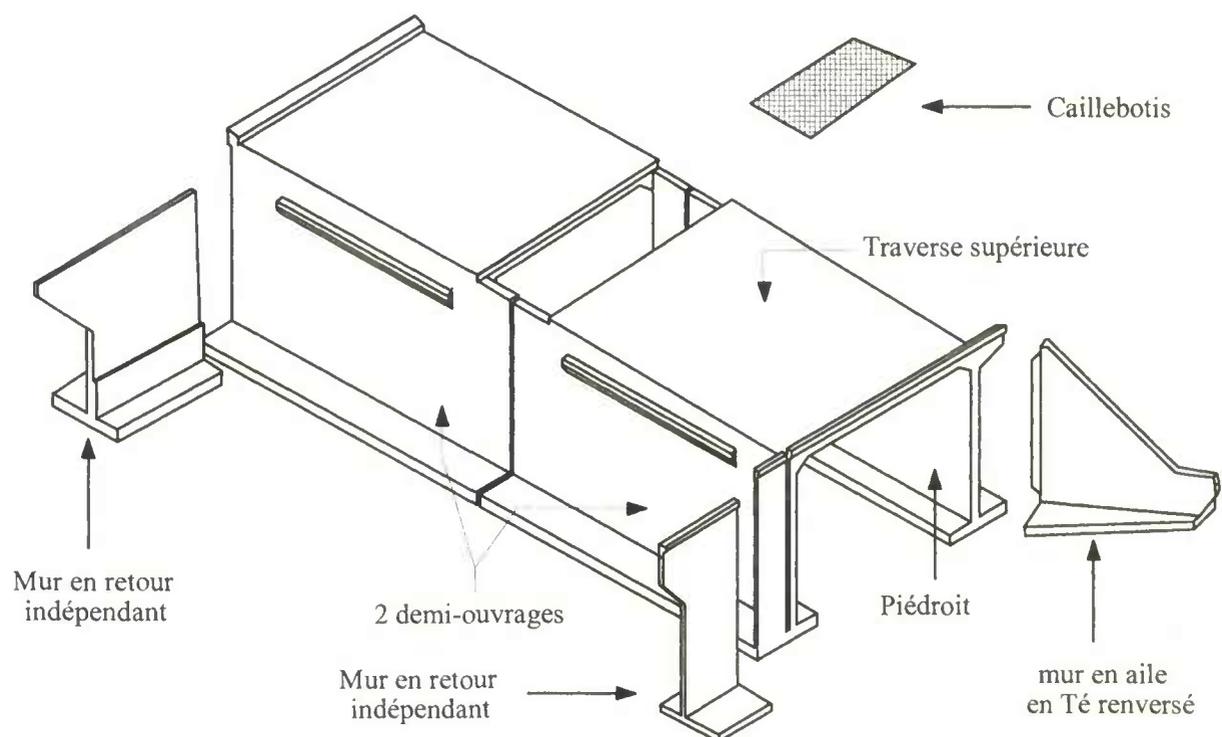


Figure 196 - Vue éclatée d'un PIPO

La traverse constituant le tablier est d'épaisseur constante. Chacun des piédroits fait office de culée incorporée et est fondé individuellement sur semelles superficielles, si le terrain le permet, ou, par l'intermédiaire de fondations profondes (une ou deux files de pieux forés

verticaux ou deux files convergentes de pieux inclinés battus), si le sol est de mauvaise capacité portante.



Figure 197 - Portique de type PIPO

Le POD (Portique Ouvert Double), constitue l'extension du PIPO, dont le domaine d'emploi est limité aux franchissements d'une vingtaine de mètres. Pour obtenir un portique ouvert double, il suffit de créer un appui intermédiaire sous la traverse d'un portique ouvert simple. Avec ce soutien, la traverse est soumise à des efforts plus faibles pour une même surcharge, ou encore, elle peut franchir une brèche plus importante avec une même section résistante. Cet appui est soit encastré ou simplement appuyé ⁽¹⁾ à la traverse supérieure et est constitué d'un ou de plusieurs voiles verticaux fondés sur semelles ou sur pieux.

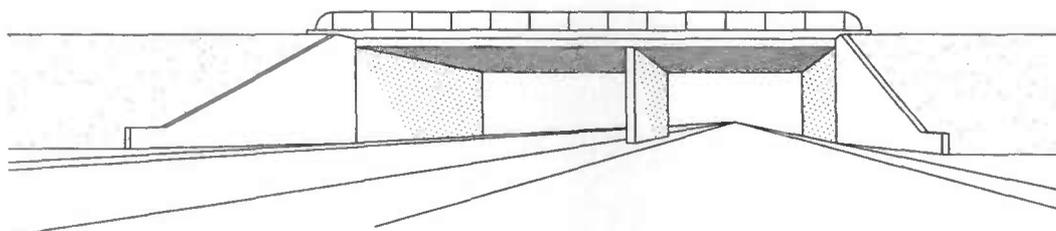


Figure 198 - Portique Ouvert Double dissymétrique.

L'optimum, en ce qui concerne la longueur des deux travées, consiste à prévoir des travées sensiblement égales. Par ailleurs, du point de vue esthétique, une trop grande dissymétrie est à éviter.

⁽¹⁾ Seule la solution à traverse simplement appuyée sur appui central peut être calculée par le programme POD du SETRA.



Figure 199 - Portique double de type POD

Ces ouvrages présentent de nombreuses similitudes et les points qui suivent sont communs aux trois types.

- Des goussets assurent un encastrement des traverses supérieure ou inférieure sur les pénétrations. Leurs dimensions sont à adapter à l'ouverture de l'ouvrage.
- Des consoles courtes (corbeaux) permettent l'appui de la dalle de transition lorsqu'il en est prévu.
- Lorsque la voie portée est large (chaussée autoroutière à chaussée séparée), on réalise deux ouvrages indépendants, portant chacun une chaussée de l'autoroute. Au niveau de la traverse supérieure, on dispose une grille centrale sous la forme d'un caillebotis métallique sur la zone du terre-plein central de la voie portée, ce qui présente en outre l'avantage d'éclairer sous le cadre.

Les ouvrages sont complétés par des murs de tête qui soutiennent les terres du remblai de la voie portée. Deux solutions peuvent être envisagées, selon qu'on réalise des **murs en retour**, parallèles à la voie portée, dans le prolongement de la corniche du cadre ou des **murs en aile**, présentant généralement un angle compris entre 30 et 60 degrés par rapport à ces pénétrations. L'aspect de l'ouvrage est très influencé par son ouverture ainsi que par ses murs de tête (orientation, type et dimensions).



Figure 200 - Murs en aile et murs en retour

Les murs de tête sont fondés sur des semelles superficielles lorsque le terrain le permet, ou sont fondés sur pieux. Leurs niveaux de fondations peuvent être différents de ceux du cadre ou du portique. Dans le cas des cadres, du fait de la présence de la traverse inférieure, il est possible de concevoir des murs en retour suspendus et liés mécaniquement au cadre.

Ces murs sont le plus souvent réalisés en béton armé, qu'ils soient coulés en place ou préfabriqués, mais on rencontre également des solutions à base de palplanches métalliques, de murs en terre armée, parfois de gabions.

3.6.1.2 - Domaine d'emploi

Ces ouvrages constituent la majorité des passages inférieurs dans la gamme de portées de 2 à 20 mètres.

Les cadres conviennent plutôt à des portées modestes (jusqu'à 12 m) et présentent l'avantage de pouvoir être fondés sur tous les types de sols acceptant une fondation superficielle peu chargée. En effet, la traverse inférieure faisant office de radier général exerce des pressions de l'ordre de 0,1 MPa.

Le portique assure la relève du cadre lorsque les portées à franchir se situent aux environs d'une dizaine de mètres et jusqu'à une vingtaine de mètres. En pratique, entre 8 m et 12 m, le choix entre un cadre et un portique dépend essentiellement de la capacité portante du sol de fondation (*Cf.* guides du SETRA).

A partir de 15 m, lorsqu'il est possible d'implanter un appui central, le portique simple est en général avantageusement concurrencé par un portique double. Au delà de 23 m, il est souvent préférable d'avoir recours à un pont-dalle comportant deux ou trois travées.

Ces ouvrages s'adaptent facilement à des biais modérés ($65 \text{ gr} \leq \varphi \leq 100 \text{ gr}$) et peuvent être utilisés pour des biais plus accentués moyennant des précautions de conception et de calcul.

Ils peuvent supporter un remblai modéré (de 2 à 3 mètres pour les cadres, 1 mètre pour les portiques) sans renforcement excessif de la traverse supérieure, ce qui peut être intéressant lorsque le remblai est plus haut que le gabarit de circulation. Cette solution permet de plus la suppression des dalles de transition ce qui est d'autant plus intéressant que la portée est faible. Pour des hauteurs de remblais plus importantes, des ouvrages voûtés sont toutefois mieux adaptés.

Notons également que les cadres peuvent admettre des tassements différentiels sous réserve que toutes les dispositions soient prises pour permettre l'ouverture des joints entre le cadre et les murs. Les portiques sont par contre très sensibles aux tassements différentiels entre piédroits.

3.6.2 - Les passages inférieurs voûtés

Les passages inférieurs voûtés ont une morphologie et un fonctionnement analogues à celui des anciens ponts en maçonnerie. Leur forme arrondie les rend aptes à supporter des hauteurs de remblais importantes.

Citons pour mémoire dans cette catégorie d'ouvrages les Ouvrages (Hydrauliques) Voûtés Massifs qui ont fait l'objet d'un dossier OHVM 63 du SETRA, actuellement épuisé. Il s'agit d'ouvrages très rigides en béton, qui se révèlent particulièrement sensibles aux tassements différentiels longitudinaux et transversaux à la différence de leurs ancêtres en maçonnerie. Ce type d'ouvrage a été utilisé pour des ouvertures de 2 à 8 m en supportant des hauteurs de remblais de 3 à 20 m.

Nous nous limiterons dans ce qui suit aux ouvrages à voûte mince qui sont aujourd'hui les plus utilisés.

3.6.2.1 - Morphologie

Les ouvrages voûtés minces sont constitués d'une voûte en béton armé de faible épaisseur (20 à 35 cm), articulée ou encastrée sur deux piédroits verticaux ou quasi-verticaux.

Les fondations sont adaptées en fonction de la portance du sol de fondation et de l'ouverture. Pour les portées les plus modestes et les sols peu portants, un radier général est bien approprié. Pour les plus grandes portées, si le terrain le permet, les fondations sont plutôt individuelles, de type semelle, sous chaque piédroit.

La forme la plus simple est constituée d'une arche simple et est caractérisée par son ouverture intérieure (D) et une hauteur libre (V). Il est parfois également intéressant d'avoir recours à des ouvrages multi-arches.

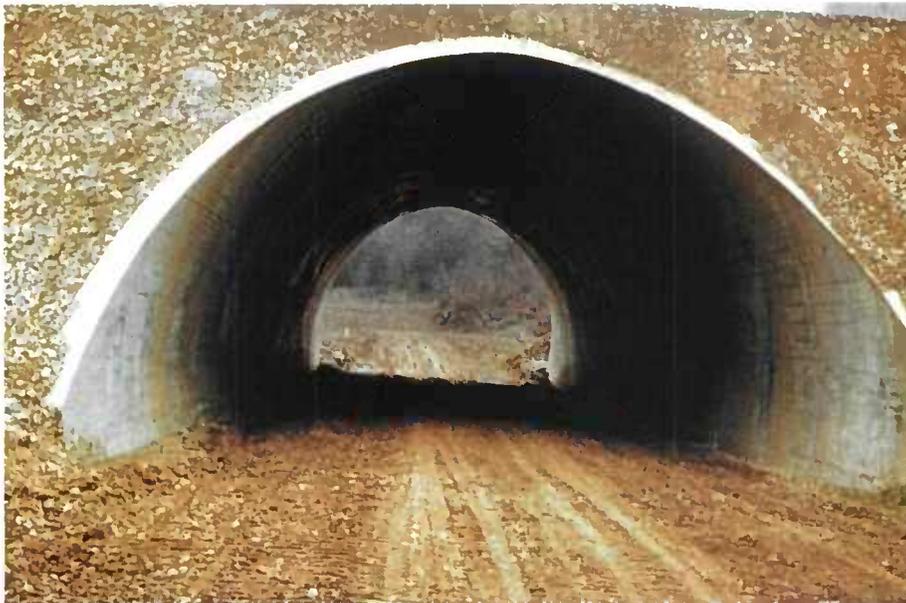


Figure 201 - Ouvrage voûté mince

Ces ouvrages sont entièrement coulés en place, partiellement ou totalement préfabriqués. Les articulations éventuelles se situent dans la partie verticale des piédroits, à la naissance de la voûte ou en position intermédiaire de la voûte. Une troisième articulation existe parfois à la clef. C'est souvent le mode d'assemblage des éléments et les habitudes des entreprises ou des préfabriquants qui déterminent la position et le nombre de ces articulations. Dans le cas des structures préfabriquées, des clavages (à la clef, dans les radiers, ...) sont parfois réalisés ; leur conception doit être particulièrement soignée.

3.6.2.2 - Domaine d'emploi

Ces ouvrages sont utilisés pour des ouvertures de 2 à 13 m environ. La forme arrondie de la structure permet de supporter un remblai important, ce qui constitue une indication d'emploi particulièrement intéressante. Pour le bon fonctionnement de l'ouvrage, une hauteur minimale de remblai de 0,50 m ou du 1/8 de l'ouverture est nécessaire à la clef. La forme de l'ouvrage est adaptée à l'importance de l'épaisseur de remblai, les ouvrages peuvent être assez surbaissés ($V/D \approx 0,6$) lorsqu'ils sont peu chargés ou au contraire rehaussés ($V/D \approx 1$) pour un fort remblai. La hauteur de remblai peut atteindre une dizaine de mètres sans dispositifs particuliers. Au delà, des dispositifs permettant de limiter la charge de l'ouvrage sont intéressants à utiliser (méthode de pose avec dépression) mais sortent du domaine d'emploi courant de la structure et confèrent à l'ouvrage le statut d'ouvrage non courant.

Le biais reste en général modéré et est compris entre 70 et 100 grades.

La note d'information N° 12 du SETRA ⁽¹⁾ (série Ouvrages d'Art) [85], relative aux conduits préfabriqués MATIERE[®], présente un certain nombre de dispositions transposables à tout type d'ouvrage analogue préfabriqué ou coulé en place et tenant compte d'une interaction sol/structure. Par référence à la circulaire du 2 janvier 1986, remplacée aujourd'hui par la circulaire du 5 mai 1994, cette note classe les ouvrages dans les trois catégories suivantes :

- ouvrages courants pouvant être assimilés à un ouvrage type :

- ouvrage simple arche d'ouverture intérieure D inférieure à 5 m
- hauteur de couverture de remblai à la clef inférieure à 4 m
- rapport hauteur (V) à largeur (D) compris entre 0,6 et 1,0
- bon sol de fondation ne nécessitant pas de traitement spécial (substitution notamment) autre que les purges locales ; à titre indicatif, il s'agit de sols pour lesquels le module pressiométrique ne serait pas inférieur à 10 MPa

- ouvrages courants non conformes à un ouvrage type :

ce sont d'une part les ouvrages simple arche vérifiant les critères suivants :

- ouvrage à simple arche d'ouverture intérieure D inférieure à 9 m
- hauteur de couverture de remblai à la clef inférieure à 7 m
- rapport hauteur (V) à largeur (D) compris entre 0,6 et 1,0
- bon sol de fondation ou sol de fondation ne nécessitant pas de traitement autre qu'une substitution destinée à atteindre le bon sol situé à faible profondeur.

⁽¹⁾ Il n'existe pas de guide de conception ni de programme de calcul du SETRA pour ce type de structure.

et, d'autre part les ouvrages multi-arche vérifiant les critères suivants :

- ouverture intérieure D de l'arche de rive inférieure à 5 m
- hauteur de couverture de remblai à la clef inférieure à 4 m
- rapport hauteur (V) à largeur (D) compris entre 0,6 et 1,0
- bon sol de fondation ou sol de fondation ne nécessitant pas de traitement autre qu'une substitution destinée à atteindre le bon sol situé à faible profondeur.

- ouvrages non courants

ouvrages ne rentrant dans aucune des deux catégories ci-dessus.

Ce type de structure est particulièrement sensible aux tassements différentiels entre l'ouvrage et les remblais, ce qui peut se révéler pénalisant dans le sens longitudinal, compte tenu des grandes dimensions de l'ouvrage et de sa grande raideur. Il est donc nécessaire de vérifier que ce tassement différentiel est supportable par la structure et de prévoir des dispositions constructives adaptées telles que des joints transversaux pour les ouvrages coulés en place.

Transversalement, la souplesse de ces ouvrages due à la minceur du voile de béton se traduit par des déformations susceptibles de mobiliser la butée du terrain adjacent. Les remblais latéraux disposés de part et d'autre du conduit, souvent appelés **remblais techniques**, ont un rôle fondamental dans le fonctionnement de la structure et leur qualité doit être rigoureusement sélectionnée et contrôlée. Ces remblais règnent sur toute la longueur de l'ouvrage, extrémités comprises, et sur toute sa hauteur. Ils sont disposés symétriquement de part et d'autre de l'ouvrage. La note d'information n°12 du SETRA, citée ci-dessus, précise les dimensions minimales à donner à ces remblais techniques.

3.6.3 - Les ponts dalles armés ou précontraints

Les ponts dalles en béton armé ou en béton précontraint représentent la grande majorité des passages supérieurs d'autoroute. De part la simplicité de leur forme, les coffrages et le façonnage des ferrillages sont facilement réalisés, ce qui se répercute favorablement sur les coûts. Ainsi, même si ces ouvrages consomment un peu plus de béton (20 à 30 %) que les ponts à poutres, ils se révèlent particulièrement économiques dans la gamme des portées moyennes. Du point de vue esthétique, leur faible épaisseur leur confère une ligne particulièrement discrète.

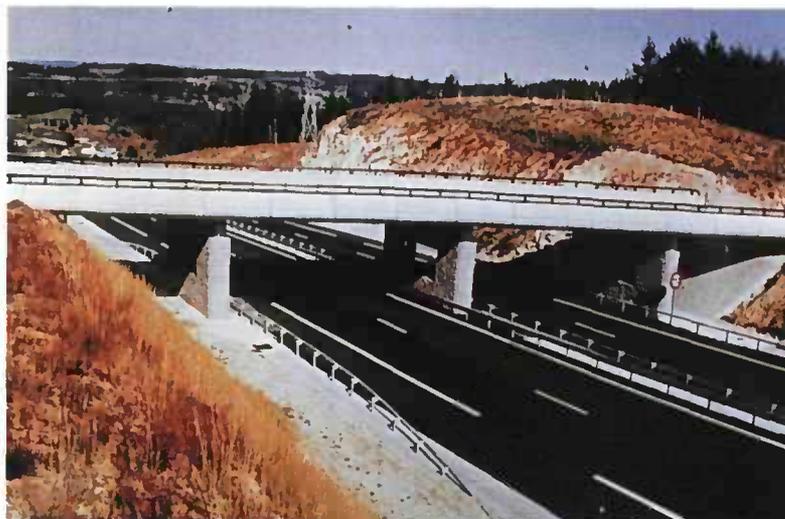


Figure 202 - Morphologie d'un pont dalle

3.6.3.1 - Morphologie

Il s'agit d'une dalle de hauteur constante dont la coupe transversale du tablier est dans sa forme la plus simple de section rectangulaire.

La section dite rectangulaire comprend en fait des chanfreins d'extrémité plus ou moins importants qui forment des encorbellements massifs. Ce type de **dalle pleine** convient pour des portées n'excédant pas 15 mètres voire à la limite 20 mètres, car devenant trop lourde.



Figure 203 - Dalle à encorbellements massifs

La **dalle à larges encorbellements** latéraux s'impose pour des portées dépassant une vingtaine de mètres et jusqu'à une trentaine de mètres. Elle présente de plus l'intérêt esthétique d'une épaisseur apparente fortement réduite. Elle est surtout employée pour les dalles précontraintes.

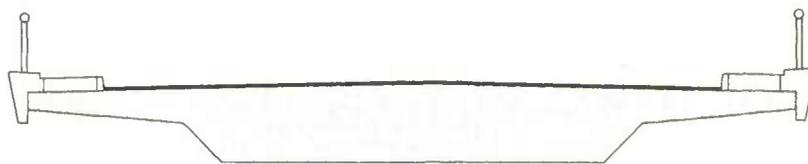


Figure 204 - Dalle à encorbellements minces

3.6.3.2 - Domaine d'emploi

Les dalles en béton armé sont utilisées pour les portées les plus modestes qui sont comprises entre 6 et 18 mètres. Les dalles précontraintes le sont entre 14 et 25 mètres, voire 30 mètres.

Etant coulés sur cintres, ces ouvrages peuvent avoir une géométrie en plan assez complexe, cependant les programmes de calcul ne sont adaptés que pour un biais modéré ($\varphi \geq 65$ grades) et une faible courbure (rapport de la portée sur le rayon de courbure $\leq 0,2$ radians). Dans le cas d'ouvrage à courbure et biais prononcés, il est nécessaire de recourir à des méthodes de calculs plus adaptées, par exemple le programme MRB du SETRA ou un calcul aux éléments finis.



Figure 205 - Exemple de pont dalle

Des variantes de construction consistent en un phasage de bétonnage pour les ouvrages importants et, plus rarement, en une mise en place par déplacement, essentiellement par poussage.

Le balancement de l'ouvrage (rapport de la travée de rive à la travée adjacente) ne doit pas descendre en dessous de 0,60 pour éviter les soulèvements d'appui sur culées lorsque la travée centrale est chargée. Il peut être compris entre 0,60 et 0,85. Au delà de 0,85, outre l'aspect esthétique peu satisfaisant, les efforts sont mal équilibrés entre les travées et cela conduit à une majoration des aciers.

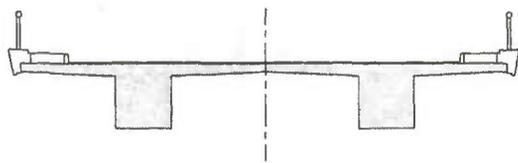
3.6.4 - Les dalles nervurées

Les dalles nervurées sont le prolongement des dalles à larges encorbellements vers les grandes portées. Elles font souvent appel à la hauteur variable et comportent plusieurs nervures dans le cas des ouvrages larges.

Elles font l'objet du dossier pilote PSIDN 81 du SETRA et peuvent être calculées grâce au programme MCPPEL du SETRA.

3.6.4.1 - Morphologie

On a l'habitude de distinguer les nervures larges (et minces) $1/5 < a < 2/3$ s'apparentant à des dalles et les nervures étroites (et hautes) $2/3 < a < 2$, s'apparentant à des poutres. (a est le rapport de l'épaisseur du tablier sur la largeur de la nervure). Cette distinction est liée à la différence de fonctionnement des structures.



Nervures étroites



Nervures larges

Figure 206 - Forme des nervures

Du point de vue esthétique, quelles que soient les dimensions retenues, une forme trapézoïdale des nervures est plus agréable que les nervures rectangulaires.

Le dimensionnement des ouvrages à nervures larges s'effectue selon des règles voisines de celles des ponts dalles. En ce qui concerne les nervures étroites, on se rapproche davantage du dimensionnement des ponts à poutres de hauteur constante.

Les ouvrages à hauteur variable présentent une grande finesse à la clé. La variation de l'intrados est linéaire ou parabolique ou comporte simplement des goussets sur appuis.

3.6.4.2 - Domaine d'emploi

Les dalles nervurées couvrent la gamme de portée comprise entre 25 et 50 mètres. A partir de 35 m de portée, il est économique d'avoir recours à la hauteur variable. Notons que, dans le haut de gamme de portées, les ouvrages correspondants sont a priori non courants.

Comme pour les ponts dalles, un biais modéré (entre 70 et 100 grades) de l'ouvrage ne pose pas de difficulté. On cherchera par contre à éviter des biais compris entre 50 et 70 grades et seront exclus les ouvrages de biais inférieur à 50 grades. Il est de toute façon toujours souhaitable d'examiner la possibilité de redresser les appuis au prix d'une augmentation des portées.

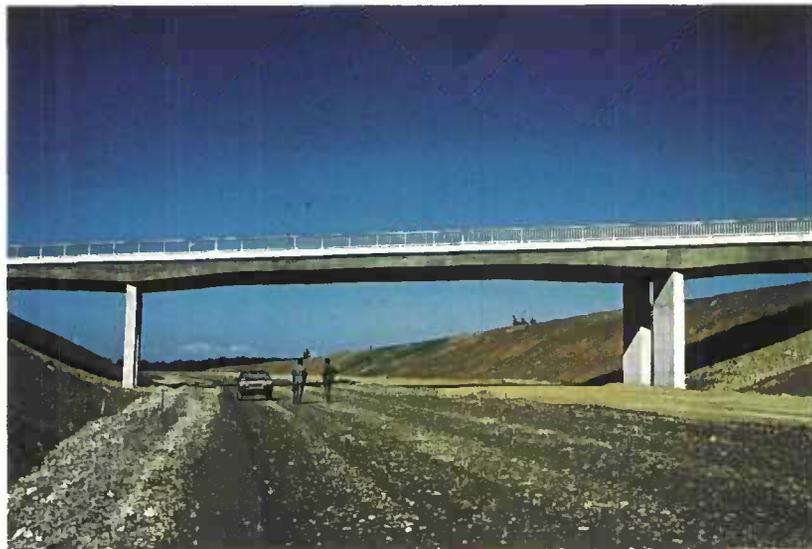


Figure 207 - Dalle nervurée

Lorsque l'ouverture angulaire (rapport de la portée au rayon de courbure) est inférieure à 0,2 radian, l'effet de la courbure peut être négligé. Au delà il faudra avoir recours à des modélisations plus complexes.

3.6.5 - Les ponts à béquilles - PSBQ

Les P.S.B.Q., ou Passages Supérieurs à BéQuilles, sont des structures assez voisines des ponts dalles ou des dalles nervurées en ce qui concerne le tablier. Ils constituent une solution intéressante pour le franchissement en passage supérieur d'une voie autoroutière par un ouvrage à trois travées. Nous nous limiterons dans ce chapitre aux ponts à béquilles coulés sur cintres, bien que ce type de structure puisse également être construit par encorbellements successifs pour de grandes portées.

Ce type d'ouvrage est relativement plus complexe à étudier qu'un pont dalle classique, compte tenu de son fonctionnement se rapprochant davantage de celui d'un pont en arc. Il n'est pas de ce fait un ouvrage type.

3.6.5.1 - Morphologie

Cet ouvrage est constitué d'un tablier précontraint de hauteur constante ou variable en dalle nervurée à nervures larges.

Les appuis intermédiaires sont des béquilles inclinées à 50 grades environ, qui sont encadrées dans le tablier en tête et qui sont le plus souvent articulées en pied sur un massif de fondation.

Les appuis d'extrémité sont des culées classiques fournissant un appui simple ou des contre-béquilles encadrées dans le tablier en tête et le plus souvent également encadrées en pied dans le massif de fondation commun aux béquilles et contre-béquilles.

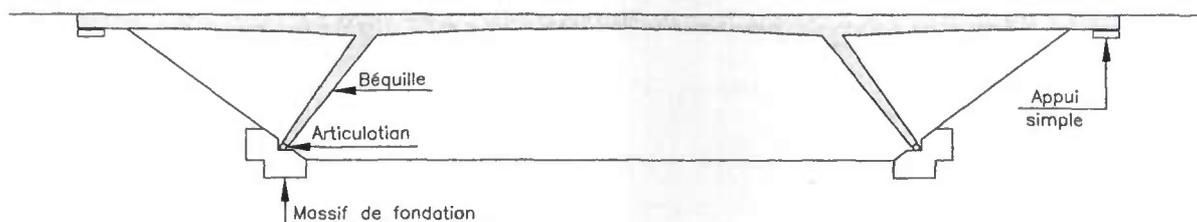


Figure 208 - Ouvrage simplement appuyé au droit des culées

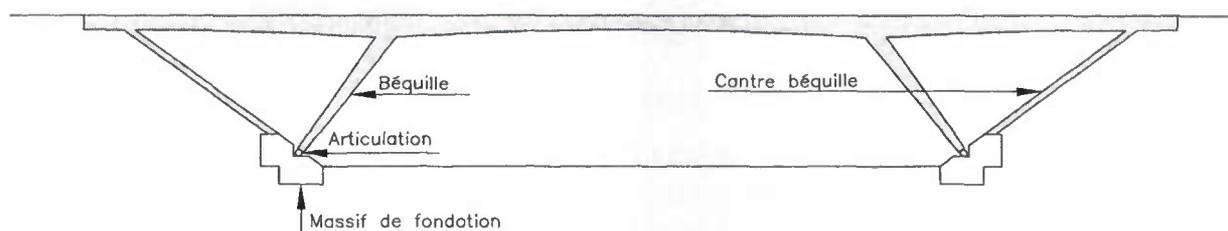


Figure 209 - Ouvrage encastré sur des contre-béquilles

Du fait de l'inclinaison des appuis, les charges permanentes créent un effort normal de compression dans la travée centrale, qui est équivalent à une précontrainte longitudinale, ce qui permet de franchir des portées importantes. Ainsi, le fonctionnement de l'ouvrage est intermédiaire entre celui d'un pont en arc et d'un pont fonctionnant en poutre.

Les contre-béquilles sont indiquées dans deux cas :

- Lorsque les travées de rive sont courtes ($\ell/L < 0,5$), les flèches vers le haut qui se produiraient inévitablement au chargement de la travée centrale sont bloquées par les contre-béquilles. Néanmoins, il est préférable d'allonger les travées de rive de manière à réaliser des appuis simples au niveau des culées et d'éviter ainsi la réalisation des contre-béquilles.
- Lorsque le sol de fondation en tête de talus est de mauvaise qualité, les contre-béquilles reportent la réaction de culée sur le massif de fondation des béquilles par un simple butonnage et produisent un effet favorable en rééquilibrant la réaction de pied de béquilles.

3.6.5.2 - Domaine d'emploi

Le pont à béquilles est particulièrement adapté lorsque la voie franchie est en fort déblai, configuration pour laquelle les ponts dalles à quatre travées sont peu adaptés car présentant un mauvais balancement (travées de rive trop longues).

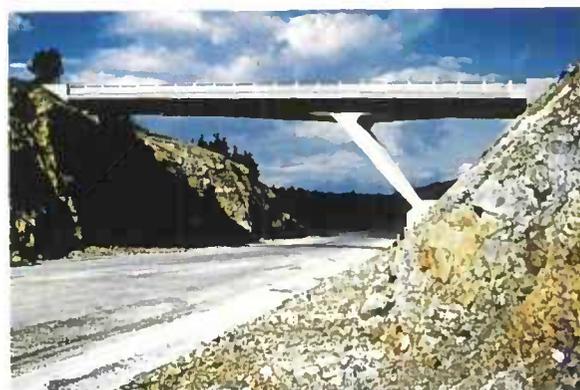
Il permet de plus de dégager un gabarit plus important qu'un ouvrage à appuis verticaux.

Par ailleurs, ce type d'ouvrage offre une meilleure visibilité du fait de l'inclinaison des béquilles. Cet aspect est appréciable dans le cas où la voie franchie est en courbure prononcée.

En dernier lieu, le pont à béquilles offre une qualité architecturale indéniable tant par la finesse du tablier que par l'originalité de ses appuis inclinés.



Pont à béquilles à trois travées symétriques



Pont monobéquille

Figure 210 - Ponts à béquilles

Ce type de structure peut être employé pour des portées de 20 à 40 mètres **entre axes de têtes de béquilles** avec des dalles à larges encorbellements. Il est possible d'atteindre des portées d'une cinquantaine de mètres avec des tabliers très élancés (1/40 en travée). En ce qui concerne le biais, il convient d'adopter un biais modéré qu'il est sage de limiter à 80 grades.

Comme nous l'avons évoqué ci-dessus, le balancement des travées conditionne l'emploi des contre-béquilles qui sont indispensables dès que le rapport de la travée de rive à la travée centrale est inférieur à 0,50, à moins de prévoir des appuis inversés. On réalise plus couramment des ouvrages à travées équilibrées, pour lesquels ce rapport est compris entre 0,55 et 0,7, avec un optimum de 0,6. Au delà de 0,7, les travées de rive sont trop souples et les béquilles drainent trop d'efforts. La variation de l'intrados est linéaire ou parabolique.

3.6.5.3 - Béquilles

L'inclinaison des béquilles par rapport à la verticale est voisine de 50 grades et dans la pratique varie de 40 grades (béquilles peu inclinées) à 60 grades (béquilles assez inclinées). L'effet d'arc est d'autant plus important que les béquilles sont inclinées mais, pour des raisons de faisabilité, il est difficile de dépasser 60 grades.

Au niveau de chaque appui, on réalise au moins autant de béquilles que le tablier comporte de nervures. Pour un tablier à nervure unique, il est également courant de doubler chaque béquille en deux fûts inclinés.

Sauf raisons architecturales particulières, les béquilles ont une section quasi-rectangulaire variable linéairement en largeur comme en épaisseur. En tête, leur largeur est voisine de celle de la nervure du tablier et diminue vers le pied. Leur épaisseur droite (a) est comprise entre 0,60 et 0,80 fois la hauteur du tablier (b), ce qui correspond à un noeud de liaison béquille-tablier sensiblement carré, compte tenu de l'inclinaison de la béquille, et bien équilibré du point de vue esthétique.

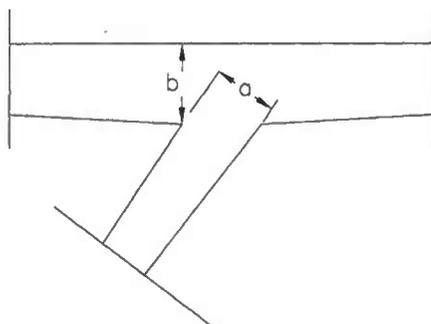


Figure 211 - Jonction béquille tablier

En pied, les dimensions peuvent être largement réduites, sans descendre en dessous d'une section de 0,50 x 0,50, puisque les efforts internes se réduisent à un effort légèrement incliné par rapport à l'axe de la béquille. Le pied de béquille doit en outre permettre de loger l'articulation. Pour des raisons esthétiques, le pied de béquille ne doit pas paraître trop grêle et ses dimensions sont couramment moitié de celles de la tête de béquille.

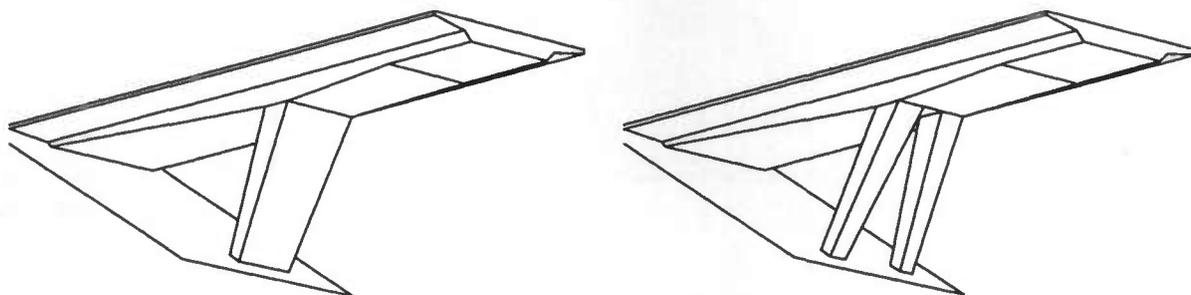


Figure 212 - Différentes formes de béquilles

3.6.6 - Ponts à poutrelles enrobées (PPE) et à poutrelles ajourées précontraintes (PSIPAP)

3.6.6.1 - Morphologie

Ces deux familles d'ouvrages sont assez similaires du point de vue morphologique. Il s'agit de poutrelles métalliques de hauteur constante, enrobées de béton. Le principe de construction consiste à poser les poutrelles, puis à couler le béton sur un coffrage perdu reposant sur les ailes inférieures des poutrelles.



Figure 213 - Pont à poutrelles enrobées

Dans le cas des ponts à poutrelles enrobées, les poutrelles sont assez faiblement espacées, le fonctionnement transversal de la structure étant assuré par des armatures de béton armé. Dans le cas des ponts à poutrelles ajourées précontraintes, les poutres sont davantage espacées et le fonctionnement transversal est assuré grâce à la mise en œuvre d'une précontrainte transversale.

Ces ouvrages peuvent être isostatiques ou mécaniquement continus. Dans ce dernier cas, la continuité peut être rétablie par soudure ou éclissages boulonnés (pièces métalliques assurant la liaison des poutres d'une travée à l'autre).



Figure 214 - Pont à poutrelles enrobées

3.6.6.2 - Domaine d'emploi

Les poutrelles enrobées, techniques plus onéreuses que les solutions précédentes, mais plus élancées, sont utilisées entre 8 et 25 m de portée pour les travées indépendantes et jusqu'à 30 m, voire au delà, pour les tabliers continus. Leur élancement dépend de la nuance de l'acier utilisé. Ce type d'ouvrage est très utilisé par la SNCF.

Les poutrelles ajourées précontraintes, bien moins fréquentes, ont été utilisées jusqu'à 25 m de portée pour les travées indépendantes et 36 m pour les ouvrages continus.

Lorsque le biais est limité ($70 \text{ gr} \leq \varphi \leq 100 \text{ gr}$) et que la courbure est modérée (portée angulaire inférieure à 0,2 radian), le comportement du tablier est assimilable à celui d'un ouvrage droit. Dans le cas contraire, des calculs plus élaborés doivent être conduits.

Ce type d'ouvrage est bien adapté à la construction au dessus de voies en circulation (voies ferrées ou voies routières). En effet les poutrelles sont légères, et par conséquent faciles à manutentionner, ce qui peut être réalisé en peu de temps et avec des moyens de manutention peu importants.

3.6.7 - Les ponts à poutres précontraintes

Les tabliers à poutres préfabriquées précontraintes appartiennent à deux grandes familles, selon que les poutres sont précontraintes par câbles (VIPP), ou par fils adhérents (PRAD).

Les poutres des VIPP (Viaducs à travées Indépendantes à Poutres Préfabriquées), sont précontraintes par des câbles de post-tension, mis en tension après que le béton ait acquis une résistance suffisante. Ce type de tablier constitue une des premières applications de la précontrainte.

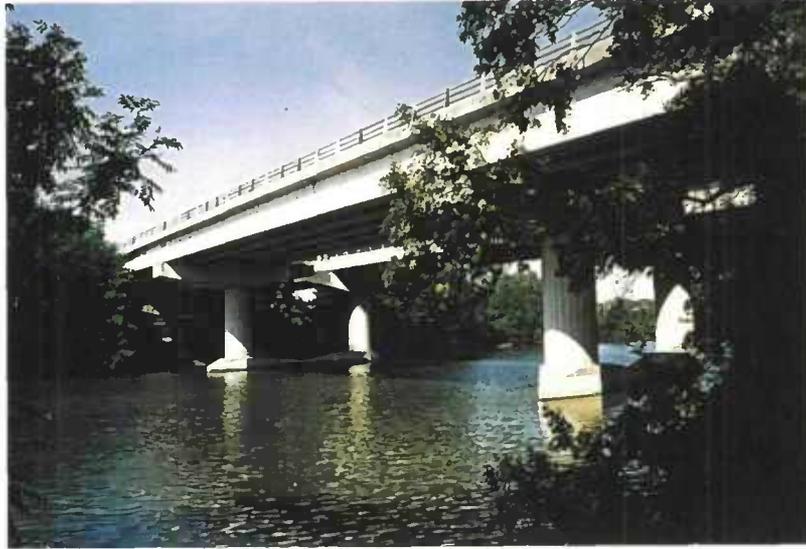


Figure 215 - Tablier de type VIPP

Dans le cas des poutres PRAD (PRécontrainte par ADhérence), la précontrainte est réalisée par des torons adhérents au béton, mis en tension avant bétonnage, et relâchés lorsque le béton a acquis une résistance suffisante.



Figure 216 - Ouvrage PRAD

Dans les deux cas, les poutres sont préfabriquées, puis mises en place au niveau des appuis définitifs par des moyens de manutention et de levage appropriés.

Ces deux types de structures sont assez voisins dans leur conception, mais diffèrent sensiblement en ce qui concerne leur domaine d'emploi.

3.6.7.1 - Morphologie des ouvrages

Les tabliers sont constitués de poutres longitudinales de hauteur constante, qui sont solidarisiées entre elles par des entretoises aux abouts et un hourdis de faible épaisseur supportant la chaussée. Elles sont le plus souvent parallèles et équidistantes.

Dans le cas des VIPP, les poutres comportent une large table de compression formant la membrure supérieure, et des talons constituant la fibre inférieure, ces deux éléments étant reliés par une âme de faible épaisseur. Transversalement, leur espacement est de l'ordre de 3 mètres.

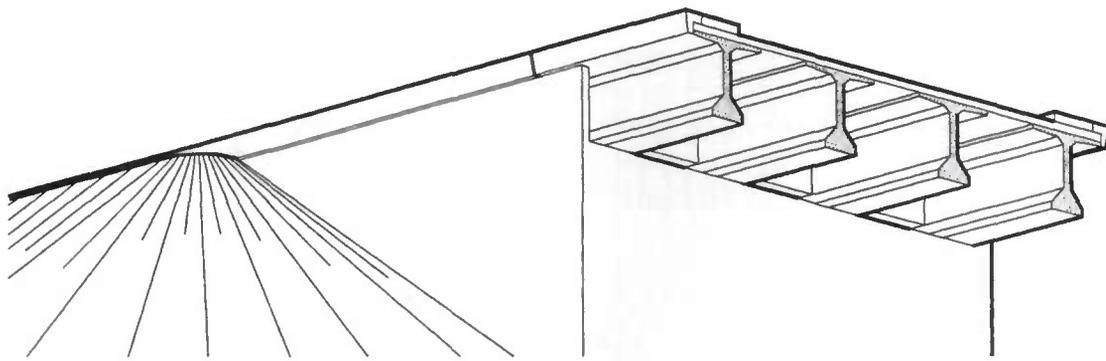


Figure 217 - Morphologie d'un tablier VIPP

Dans le cas des PRAD, les poutres ont généralement une forme en double T en section courante pour devenir rectangulaire, à la largeur des talons, aux extrémités, réalisant ainsi un blochet d'âme de faible longueur. Pour les petites portées, elles peuvent être simplement rectangulaires ou trapézoïdales sur toute la longueur. Des sections en forme de U, d'auges ou de caissons se rencontrent parfois. L'espacement transversal courant est voisin d'un mètre.

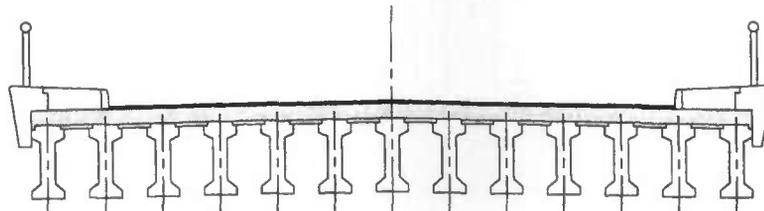


Figure 218 - Coupe transversale d'un tablier PRAD

On réalise ainsi une structure porteuse constituée d'un grillage de poutres, complétée par un hourdis d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur et coulé par dessus les poutres auxquelles il est connecté.

3.6.7.2 - Domaine d'emploi

Les tabliers VIPP sont utilisés, en travées indépendantes, pour des portées comprises entre 30 et 45 m, voire 50 m dans le cas où les appuis sont coûteux. Notons que, dans le haut de gamme de portées, les ouvrages correspondants sont a priori non courants.

Les tabliers de type PRAD couvrent une assez vaste gamme de portée de 10 à 30 mètres, avec un domaine d'emploi privilégié situé entre 15 et 25 m, pour des ouvrages isostatiques ou rendus continus par réalisation d'un noyau de continuité en béton armé.

L'intérêt de la préfabrication milite en faveur de poutres identiques, donc d'une succession de travées de même portée.

Le principal intérêt de ce type de structure est de s'affranchir pendant la construction des contraintes de la brèche.

Un inconvénient de ce type d'ouvrage, constitué de poutres de faibles dimensions, est sa grande sensibilité aux chocs transversaux dus à des véhicules hors gabarit et il est prudent, sur un itinéraire, de l'encadrer par des ouvrages plus massifs, tels que des dalles pleines.

Les biais usuels sont limités à 70 grades. Pour ce qui est de la courbure, on limite généralement le rayon à 15 fois la portée, de manière à limiter le décalage entre la corde, correspondant à la courbure, et la flèche définie par la poutre rectiligne.

3.6.8 - Les ponts bipoutres mixtes acier-béton

Ce type d'ouvrage est décrit succinctement en tant qu'ouvrage courant, alors que son domaine d'emploi est bien entendu beaucoup plus vaste.

3.6.8.1 - Morphologie

La poutraison métallique est constituée de deux poutres maîtresses réalisées à partir de poutres reconstituées soudées (PRS) ou de profilés du commerce lorsque les dimensions des poutres, et par conséquent les portées, le permettent. Cette structure porte une dalle, le plus souvent en béton armé, connectée aux poutres métalliques et réalisée en seconde phase.

La répartition des charges entre les poutres est assurée par des entretoises, désolidarisées de la dalle de couverture, ou par des pièces de pont connectées à la dalle. En pratique, la largeur du tablier conditionne le choix du type d'entretoisement et l'espacement des pièces de ponts ou entretoises.

Pour les ouvrages relativement étroits (largeur inférieure à 13-14 m), les entretoises sont généralement utilisées avec un espacement de 7 à 8 mètres environ. La dalle repose uniquement sur les poutres.

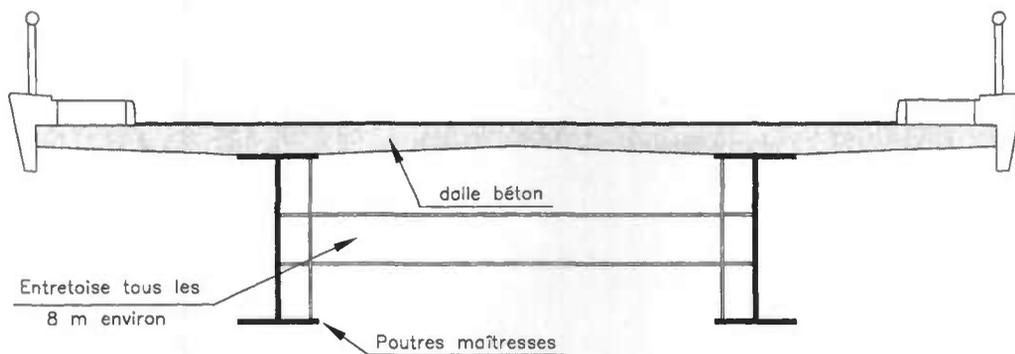


Figure 219 - Bipoutre à entretoises

Pour des largeurs plus importantes, la dalle repose sur des pièces de pont espacées de 4 m environ.

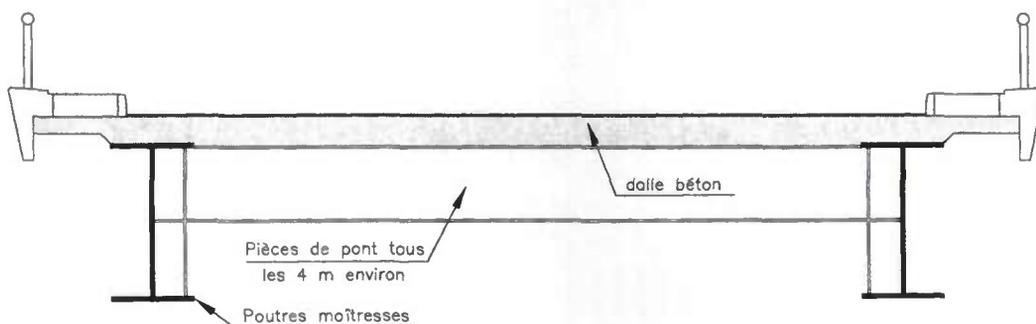


Figure 220 - Bipoutre à pièces de pont

Dans le cas de tabliers très larges, il est possible de prolonger les pièces de ponts par des consoles métalliques soutenant la dalle en encorbellement ou d'avoir recours à une précontrainte transversale. Ces deux dernières solutions sont moins courantes.

3.6.8.2 - Domaine d'emploi

Il est assez difficile de définir le domaine d'emploi des ouvrages de type bipoutre mixte dans le cadre des ouvrages courants, puisque ce type de structure est également employé pour des portées dépassant la centaine de mètres.

Indiquons seulement que l'intérêt de ce type de structure pour des portées courantes (< 40 m) peut être dû à la faible épaisseur de la structure, à la simplicité et à la rapidité de mise en place ou encore à des conditions économiques particulières.



Figure 221 - Ouvrage mixte

3.7 - ESTIMATION DES COÛTS DE CONSTRUCTION ET DE MAINTENANCE

3.7.1 - Généralités

L'estimation d'un projet routier a pour objet de représenter le coût probable de l'opération à une date de référence donnée.



Cette estimation doit être relativement précise puisqu'elle permet au maître d'ouvrage de déterminer le budget global de l'opération et au maître d'œuvre d'envisager diverses variantes dont un des critères de choix est le coût.

Le degré de précision dépend de la phase des études routières (études préliminaires, avant projet sommaire, projet).

3.7.2 - Bases des estimations

Par convention et afin de normaliser la consistance des estimations des ouvrages courants, le poste ouvrage d'art ne comprend pas les remblais d'accès, les déblais généraux ou les déviations provisoires nécessaires à la réalisation des ouvrages. Ces dépenses doivent figurer dans les postes "terrassements" et "chaussées".

Par contre, sont pris en compte les remblais techniques derrière l'ouvrage, le volume de ces remblais étant pris sur une longueur de 10 mètres environ derrière chaque culée avec un talutage théorique de 3/2.

Les quantités des avant-métrés doivent cependant être le plus exactes possible (au degré de précision près de la phase d'étude).

Pour les passages supérieurs (PS), l'estimation des ouvrages doit comprendre les chapes d'étanchéité et les revêtements de chaussée alors que pour les passages inférieurs (PI), elle ne comprend que les chapes d'étanchéité, les revêtements étant réalisés pour l'ensemble de la voie nouvelle.

3.7.3 - Evaluation sommaire du prix d'un ouvrage courant

Au niveau de l'avant projet sommaire routier, une estimation forfaitaire très sommaire des ouvrages d'art courants à partir de résultats statistiques est suffisante pour définir le coût d'objectif de l'ouvrage. Par exemple, les fascicules "Construction des ouvrages d'art -

Résultats statistiques" [108], édités et diffusés annuellement par le SETRA peuvent être utilisés. Le tableau ci-dessous concernant les ouvrages routiers ⁽¹⁾ en est extrait.

Années	1990		1991		1992		1993		1994		1995		1996	
	F TTC /m ²	Nb d'O A	F TTC /m ²	Nb d'O A	F TTC /m ²	Nb d'O A	F TTC /m ²	Nb d'O A	F TTC /m ²	Nb d'O A	F TTC /m ²	Nb d'O A	F TTC /m ²	Nb d'O A
PICF	10332	67	12006	114	11561	95	11272	88	11041	58	10021	43	13414	46
PIPO	10412	100	9944	105	9301	90	10989	80	11034	69	10163	59	14276	58
POD	7235	3	9555	12	7481	8	20220	10	8902	12	6191	14	10264	8
PSI DP	7068	96	7604	121	7730	127	7969	83	7127	91	7185	68	8108	78
PSI DA	6588	68	7507	85	6517	62	7360	50	7952	52	7142	37	8748	45
VIPP	/	0	12941	1	7950	4	12900	1	7085	2	5905	1	-	-
PRAD	7576	28	8336	52	9211	46	9344	44	8442	16	11424	25	11406	22
OM	8379	32	8930	46	8338	40	9971	28	9138	38	9154	35	10456	25
Poutrelles enrobées	16442	9	11747	15	11139	15	14100	15	7281	9	16042	7	12690	5

Figure 222 - Résultats statistiques : Prix de revient en F TTC par m² de surface utile

Les informations statistiques rassemblées dans ce tableau sont à utiliser avec discernement. Si les prix des ouvrages les plus nombreux sont relativement stables et semblent donc représentatifs, il n'en est pas de même pour les ouvrages moins répandus (VIPP, POD, poutrelles enrobées). En ce qui concerne les ouvrages mixtes, il s'agit en général d'ouvrages non courants.

Au stade du projet routier, l'estimation détaillée du coût d'un ouvrage courant est conduite à partir de prix composés appliqués aux quantités caractéristiques de l'ouvrage (béton de tablier, des appuis, des fondations, ossatures métalliques, ...) et obtenue sur la base d'un avant-métré. Les prix composés incluent le coût des systèmes de drainage et d'assainissement propres à l'ouvrage mais excluent les systèmes d'évacuation des eaux hors ouvrage.

La première des quantités caractéristiques est la surface de l'ouvrage. Nous distinguons surface utile et surface de hourdis.

Précisons quelques définitions :

- La **surface utile** est le produit de la largeur utile par la somme des portées (biaises si le pont est biais) de son tablier.
- La **largeur utile** est la largeur droite comptée entre nus des dispositifs de retenue.

Les prix composés seront établis par exploitation de marchés antérieurs et sont rapportés à la quantité caractéristique du chapitre concerné (par exemple : le prix au mètre cube de béton précontraint).

⁽¹⁾ Ces fascicules fournissent également des résultats statistiques pour les ouvrages autoroutiers et SNCF.

Il n'y a pas de dimensionnement précis à ce stade des études. Les quantités sont donc estimées soit par un prédimensionnement sommaire (fondations, appuis) soit par des formules empiriques couramment admises (par exemple : épaisseur équivalente d'un tablier précontraint en fonction de la portée déterminante). Le prédimensionnement des ouvrages peut être effectué à partir des guides de conception édités et diffusés par le SETRA (Cf. Bibliographie) et des tableaux de synthèse annexés.

Sans étude détaillée du niveau des études d'exécution, on ne peut espérer, au mieux, une précision de 10 % en valeur absolue. Il convient de rappeler ici que toute estimation doit être datée, afin de pouvoir évaluer son évolution en fonction de celle des prix.

3.7.4 - Prix composés de base

Les prix mentionnés dans le tableau ci-après fixent des ordres de grandeur, ils évoluent en fonction des conditions économiques nationales et locales, de l'indice des prix (index TP02 ouvrages d'art, par exemple), des quantités à mettre en œuvre et de certaines spécificités de l'ouvrage.

L'attention du lecteur est attirée sur le fait que les petits ouvrages (en général ouverture inférieure à 5 m) surenchérisent les coûts, car les quantités mises en œuvre sont relativement faibles pour des frais généraux et un coût de mise en œuvre équivalents.

Nota bene : Les prix indiqués dans les tableaux qui suivent sont des **prix moyens hors taxes** (valeur juin 1997) donnés à titre indicatif, pour des ouvrages en site normal. Ils devront être ajustés en tenant compte des conditions économiques nationales et locales et des conditions obtenues dans divers marchés aussi récents et comparables que possible. Il importe de ne pas méconnaître le fait que tout prix provenant d'un marché antérieur doit être interprété en fonction de la nature, du volume, du lotissement et des autres circonstances de ce marché.

La révision des prix peut être effectuée par la formule de révision :

$$P = P_0 \left(0,125 + 0,875 \times \frac{\text{Index } n}{\text{Index juin 97}} \right)$$

où :	P ₀	prix initial hors TVA,
	P	prix révisé hors TVA,
	0,125	partie fixe,
	0,875	partie variable,
	Index juin 97	valeur de l'index TP02 (117.1) ou TP13 (313.6) de juin 1997,
	Index n	valeur du même indice pour le mois de révision.
avec	TP02	indice pour les ouvrages d'art en béton,
	TP13	indice pour les ouvrages d'art métalliques.

Prix moyens hors taxes										
Ouvrages d'art courants (1)		PICF	PIPO	POD	PSIDP	PSIDA	VIPP	PRAD	OM	Poutrelles enrobées
Chapitres										
I	Prix généraux									
	- Installation de chantier - Etude d'exécution et de méthode - Contrôle et assurance qualité - Etudes et exécution des épreuves		8 %		12 %		10 %		8 %	12 %
du prix total de l'ouvrage hors prix généraux										
II	Terrassements et fouilles									
	- Fouilles	sans								50 F/m ³
	- Remblaiement des fouilles	objet								85 F/m ³
	- Remblais techniques et rampes d'accès									60 F/m ³
III	Fondations									
	<i>a) Fondations sur semelle (2)</i>									
	- Béton en m ³	sans								750 à 900 F/m ³
	- Armatures passives en kg	objet								80 kg/m ³ de béton 4,5 à 8 F/kg
	- Coffrages en m ²			1,0 m ² /m ³ de béton						0,6 m ² /m ³ de béton 200 F/m ²
	<i>b) Fondations sur pieux</i>									
	- Béton en m ³	sans								2 000 à 2 400 F/m ³
	- Armatures passives en kg	objet								110 kg/m ³ de béton 4,5 à 6 F/kg
	<i>c) Fondations sur barrettes</i>									
	- Béton en m ³	sans								2 500 à 3 000 F/m ³
	- Armatures passives en kg	objet								110 kg/m ³ de béton 4,5 à 6 F/kg

Prix moyens hors taxes									
Ouvrages d'art courants (1)	PICF	PIPO	POD	PSIDP	PSIDA	VIPP	PRAD	OM	Poutrelles enrobées
Chapitres									
IV	Appuis								
	<i>a) Culées</i>		sans objet		750 à 900 F/m ³ 110 kg/m ³ de béton 4,5 à 8 F/kg 2,5 à 3 m ² /m ³ de béton 250 F/m ²				
	- Béton en m ³								
	- Armatures passives en kg								
- Coffrages en m ²									
<i>b) Piles</i>		sans objet		750 à 900 F/m ³ 110 kg/m ³ de béton 4,5 à 8 F/kg 2,5 m ² /m ³ de béton 300 à 400 F/m ²					
- Béton en m ³									
- Armatures passives en kg									
- Coffrages en m ²									
<i>c) Piedroits</i>		750 à 900 F/m ³		sans objet					
- Béton en m ³		120 kg/m ³							
- Armatures passives en kg		4,5 à 8 F/kg							
- Coffrages en m ²		5,2 m ² /m ³ de béton		250 à 300F/m ²					
V	Tabliers		traverse sup. et infér.	traverse supérieure	tablier		hourdis seul		
	- Béton en m ³		750 à 900 F/m ³						
	- Armatures passives en kg		120 kg/m ³ de béton		80 kg/m ³ de béton	160 kg/m ³ de béton	220 kg/m ³ de béton (3)		60 à 70 kg/m ³
- Armatures de précontrainte en kg		sans objet		45 kg/m ³ de béton	sans objet	sans objet, sauf si dalle précontrainte transversalement.		Sans objet	
				18 à 22 F/kg		Nécessite une étude spécifique			

Prix moyens hors taxes										
Ouvrages d'art courants (1)	PICF	PIPO	POD	PSIDP	PSIDA	VIPP	PRAD	OM	Poutrelles enrobées	
Chapitres										
V	Tabliers	traverse sup. et infér.	traverse supérieure	tablier		hourdis seul				
	- Coffrages en m ²	1,3 m ² /m ³ de béton	2,7 m ² /m ³ de béton	2,0 m ² /m ³ de béton	2,5 m ² /m ³ de béton	1,5 m ² /m ³ de béton	0,5 m ² /ml de largeur	3,5 m ² /m ³ de béton	0,5 m ² /ml de largeur	
	- Cintres et échafaudages	600 F/m ² de surface de tablier utile pour des ouvrages à gabarit courant					idem si l'O.A. est coulé en place	en général, non nécessaire vu le type de structure		
	Poutres pour VIPP	Sans objet					Sans objet			
	- Béton en m ³						700 à 900 F/m ³			
	- Armatures passives en kg						40 kg/m ³			
	- Armatures de précontrainte en kg						4,5 à 8 F/kg			
- Armatures de précontrainte en kg						37 kg/m ³				
- Coffrages en m ²						18 à 22 F/kg				
						2,8 m ² /m ² de surface de tablier				
						300 à 400 F/m ²				
Poutres PRAD précontraintes	sans objet					1000 à 1200 F/m ² de tablier utile	sans objet			
Ossature métallique	sans objet						(4)	(5)		
							10 à 12F/kg			
Poutrelles enrobées	Sans objet								(6) 8 à 10 F/kg	

Prix moyens hors taxes										
Ouvrages d'art courants (1)		PICF	PIPO	POD	PSIDP	PSIDA	VIPP	PRAD	OM	Poutrelles enrobées
Chapitres										
VI	Superstructures									
	<i>a) Eléments linéaires</i>									
	- Garde-corps en ml ou BN en ml	600 F/ml 900 à 1 100 F/ml								
	- Longrine en béton en ml - Bordure de trottoir en ml	450 F/ml 150 F/ml								
	- Corniche en ml - DBA en ml - Glissière métallique en ml - Caillebotis en ml	1 200 à 1 500 F/ml 600 F/ml 300 F/ml 300 F/ml								
<i>b) Eléments surfaciques (7)</i>	- Chape d'étanchéité en m ²	200 F/m ² de surface utile								
	- Revêtement de chaussée en m ² (ép.8cm)	60 F/m ² de surface utile								
<i>c) Eléments d'about</i>	- Joints de chaussée et de trottoir en ml	3 500 à 13 000 F/ml de largeur utile								
	- Dalle de transition, recueil des eaux et raccordement barrières	4 000 F/ml de largeur utile								
<i>d) Eléments d'appui</i>	1000 F/ml de largeur utile									
VII	Divers									
	Murs (8) en aile ou en retour									
	- Béton en m ³	750 à 900 F/m ³								
	- Armatures passives en kg	80 kg/m ³ de béton 6,5 à 10 F/kg								
- Coffrage en m ²	3,7 m ² /m ³ de béton 250 à 350 F/m ²									
Perrés	sans objet 10 000 F/ml de largeur									
VIII	Surcoût architectural (9)	5 à 10 % du prix total de l'ouvrage								
IX	Surveillance et contrôle extérieur	4 % du montant total des travaux avec un minimum fixe de 100 000 F (10)								

Estimation effectuée en juin 97.

Commentaires

- (1) Les **types d'ouvrages** cités correspondent à des ponts types du SETRA.

En général, les ponts non conformes à un modèle type nécessitent une étude et une estimation spécifiques.

- (2) Les **fondations sur semelles** sont supposées appuyées à 2 m de profondeur par rapport à la voie franchie avec un taux de travail du sol de 0,25 MPa. Pour les PICF, il s'agit de la traverse inférieure qui est intégrée dans le poste tablier.

- (3) Dans le cadre d'une **ossature mixte**, cette quantité est estimée pour une dalle en béton armé d'un bipoutre entretoisé. Adopter les quantités suivantes pour :

- un bipoutre avec pièces de ponts

armatures passives : 220 kg/m³ de béton

coffrage : 4,5 m²/m³ de béton

- un bipoutre entretoisé avec dalle en béton précontrainte transversalement

armatures passives : 250 kg/m³ de béton

armatures de précontrainte : 10 kg/m³ de béton

- coffrage : 2,5 m²/m³ de béton.

- (4) Le **poids d'acier** est estimé à :

$$G_a = (0,105 X^{1,6} + 100) \times \frac{1}{e} \times \frac{1}{30 - \frac{\ell}{3}} \text{ en kg/m}^2 \text{ de surface utile}$$

avec $X = L$ portée principale d'un ouvrage continu de rapport de portée optimal

$X = 1,33 L$ si la portée principale est une travée de rive

$X = 1,40 L$ pour une travée indépendante

e : élancement de la poutre métallique

ℓ : largeur de l'ouvrage = largeur roulable + 60 % largeur trottoirs

Ce poids est majoré de 10 % pour les structures à pièces de pont.

- (5) Le **prix d'acier** comprend la fourniture de l'acier, l'usinage, le transport, le montage, la fourniture et la mise en œuvre de la protection anticorrosion.

(6) Le **pois d'acier** [78] est estimé à $G_a = G \times L(m) \times N$

avec G = poids par mètre courant du profilé

$L(m)$ = longueur totale d'une poutrelle

N = nombre minimal de poutrelles

$$N = \left\lceil \frac{lu - b - 0,16}{\frac{h}{3} + 0,60} \right\rceil + 1$$

$|x|$ = partie entière de x

lu = largeur utile entre garde corps de l'ouvrage en m

$h = \frac{L}{40}$ en m avec L = portée équivalente de l'ouvrage

b = largeur de la semelle de la poutrelle en m

Nota bene : h permet de choisir entre 2 ou 3 modules de poutrelles

- (7) Les trottoirs sont assimilés forfaitairement à la chaussée pour leurs parties étanchéité, matériaux de remplissage et revêtements.
- (8) Les **fouilles** et le remblaiement des fouilles sont à inclure dans le Chapitre II "Terrassements et fouilles". Les fondations sont à inclure dans le Chapitre III "Fondations".
- (9) Ce coût comprend des éléments rapportés non indispensables au fonctionnement structurel de l'ouvrage et l'emploi de matériaux particuliers. Il peut être très faible quand l'architecte est associé très tôt à la conception de l'ouvrage et que son intervention augmente peu le coût des travaux.
- (10) Ce minimum fixe rémunère les **contrôles extérieurs** minimaux nécessaires, quel que soit le coût de l'ouvrage (ces contrôles incluent les contrôles topographiques, les contrôles des plans d'exécution, des matériaux mis en œuvre, le suivi des épreuves et l'inspection détaillée initiale).

3.7.5 - Estimation d'un ouvrage courant

L'estimation d'un ouvrage courant s'établit comme suit en fonction des prix composés définis ci-dessus :

$$\text{Coût global} = \left[\text{Travaux} + \text{Max} \left(\begin{array}{l} \text{Travaux} \times 0,04 \\ 100\,000 \text{ F} \end{array} \right) \right] \times (1 + \text{TVA})$$

avec :

$$\text{Travaux} = W (1 + \alpha)(1 + \beta)$$

W = Σ (chapitre II à chapitre VII) (coût des travaux hors prix généraux)
Chapitre II Terrassements et fouilles
Chapitre III Fondations
Chapitre IV Appuis
Chapitre V Tablier
Chapitre VI Superstructures
Chapitre VII Divers

α compris entre 0,08 et 0,12 en fonction du type d'ouvrages.
(Cf. chapitre I - Prix généraux)

β compris entre 0,05 et 0,10 en fonction de la complexité du parti architectural..
(Cf. chapitre VIII - Surcoût architectural)

Il ne faut cependant pas oublier de rajouter, à ce coût global, les coûts induits par des contraintes d'exploitation spéciales et ceux induits par le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre, les études topographiques, les sondages qui représentent 4 à 6 % du montant des travaux.

Les coûts induits par les contraintes d'exploitations spéciales peuvent être par exemple :

- pour les ouvrages franchissant ou sous une voie ferrée, les coûts des ouvrages provisoires et travaux relatifs aux voies, les dépenses relatives aux lignes électriques de traction, de télécommunication et de signalisation, les charges assurant la rémunération de la SNCF ou le remboursement de ses frais, les frais de ralentissement des trains, etc.
- pour les ouvrages de protection de pipe-lines, les coûts de sondage, protection de chantier, protection spécifique des pipe-lines, frais de surveillance, frais financiers et taxes, etc. engagés par le concessionnaire lorsque ces coûts sont à la charge du maître d'ouvrage.

3.7.6 - Conclusions

L'usage de prix composés apparaît comme une excellente méthode à condition d'être faite à bon escient ; c'est-à-dire :



- les prix composés auront été choisis avec soin et appliqués à des quantités, et des surfaces utiles correctement évaluées ;
- les correctifs nécessaires ont été appliqués non seulement aux prix donnés dans les tableaux ci-dessus mais aussi aux références de prix supplémentaires (prix d'appel d'offres antérieurs par exemple) que l'on utiliserait éventuellement ;
- on peut espérer de l'usage de cette méthode une précision de l'ordre de $\pm 10\%$, au moins égale à celle de détails estimatifs complets, tout en s'épargnant d'établir de volumineux avant-métrés.

Lorsque les ouvrages tout en restant courants s'éloignent trop des ponts-types, soit par leur structure, soit par leur mode de construction, il est nécessaire d'établir un avant-métré plus ou moins précis, assorti d'un détail estimatif complet. Les prix indiqués ci-dessus seront utilisables comme repères à joindre à ceux déjà disponibles.

3.7.7 - Maintenance des ouvrages d'art

Le coût annuel de la maintenance des ouvrages d'art pour des opérations classées en première urgence, c'est-à-dire "opérations d'entretien ne pouvant être différées sans mettre en péril les ouvrages ou le niveau de sécurité prescrit" est compris entre 4 et 8 pour mille de la valeur à neuf des ouvrages, équipements inclus, selon les années, avec une moyenne de l'ordre de 5,7 pour mille, compte tenu d'une période de neutralisation de 10 ans liée à la période de garantie.

Pendant cette période dite de neutralisation peu ou pas de dépenses de maintenance sont nécessaires, ceci étant dû à la prise en compte des dépenses de parachèvement dans le budget construction et à la qualité des ouvrages.

Avertissement : Les éléments fournis ci-dessous concernent un patrimoine autoroutier, correspondant à des ouvrages relativement récents et pour lesquels les réparations structurelles dues au vieillissement des matériaux ne sont pas prises en compte.

Ce coût d'entretien peut se ventiler de la façon suivante [106] et [107] :

- par nature d'intervention

Equipements linéaires et surfaciques (corniches, dispositifs de retenue, étanchéité, couche de roulement, peintures de garde-corps, ...)	39 %
Equipements ponctuels (joints, appuis, perrés, talus)	19 %
Structures porteuses	17 %
Dépenses d'ensemble (relevage, entretien des bétons, peinture des ouvrages, entretien général)	14 %
Etudes et inspections	12 %

A noter que les équipements (joints de chaussée, étanchéité et appareils d'appui), représentent une part très importante des coûts d'entretien. Si leur coût initial est très faible, par contre, du fait de leur durée de vie, les coûts d'entretien sont forts.

- par causes :

évolution du trafic	26 %
augmentation du niveau de service	8 %
agressions dues aux intempéries	54 %
autres	12 %

- par importance économique :

études et inspections	12 %
dispositif de retenue	12 %
structures	11 %
étanchéité	10 %
joints	8 %
caoutchouc et bossages	7 %
relevage des ouvrages	7 %
corniches	6 %
buses métalliques	6 %

Le montant réduit (environ 5,7 pour mille de la valeur à neuf) à consacrer, chaque année, traduit la très bonne qualité des constructions.

En effet, si les structures standardisées (ponts types, structures dont le calcul fait appel à des programmes types), de bonne conception, ont un coût initial élevé, elles ne requièrent que très peu d'entretien ; par contre, les équipements des ouvrages dont le coût initial est faible nécessitent des travaux dont le coût global peut s'avérer très important et pouvant dépasser la moitié du coût de construction de l'ensemble de l'ouvrage. Rappelons à nouveau l'importance de l'étude de détail des équipements au stade de la conception.

3.8 - ANALYSE MULTI-CRITERES

L'analyse multi-critères est une méthode de comparaison quantitative de solutions pour un projet donné. Les résultats sont présentés sous la forme d'un tableau à double entrée. Elle est souvent demandée par les maîtres d'œuvre en conclusion d'une étude de projet.

Elle consiste :

- à présenter un ensemble fini de solutions toutes établies avec le même niveau de précision, tant du point de vue des investigations que des études,
- à définir une liste de critères d'évaluation sur la base du programme de l'ouvrage,
- à pondérer chacun de ces critères selon son importance,
- à noter chacune des solutions pour chaque critère,
- à calculer le total de points accumulés par chaque solution, tous critères confondus.

Ce résultat fournit une aide à la décision pour le choix d'une ou plusieurs solutions.

3.8.1 - Intérêt de cette analyse

Au niveau de la conclusion d'une étude d'ouvrage, proposant un choix multiple, l'analyse multi-critères permet de rappeler sous forme concise les contraintes principales du projet. Elle demande à celui qui l'établit un effort de hiérarchisation des critères.

Elle met côte à côte des critères de nature différente, à caractère plus ou moins qualitatif ou quantitatif, comme le coût et l'esthétique de l'ouvrage.

Elle rassemble les idées et offre au décideur un moyen comparatif simple.

Elle doit également aboutir sur des réflexions au niveau des critères de jugement des offres.

3.8.2 - Défauts ou dangers de la méthode

Il faut absolument que toutes les solutions comparées soient au même niveau d'avancement.

La pondération des critères, qui traduit leur hiérarchisation, peut être subjective suivant l'auteur de l'analyse (maître d'ouvrage, gestionnaire, concepteur, constructeur, ...).

La liste des critères peut être incomplète ou certains peuvent se recouvrir.

Les solutions doivent être comparables : niveau d'avancement, qualité des études, limites de projet, prix unitaires, mode d'estimation.

La notation reste très subjective.

3.8.3 - Conclusion

L'analyse multi-critère est un outil qui peut être intéressant dans le cas de multiples solutions, mais qui doit être manipulé avec prudence.

Page laissée blanche intentionnellement

Annexes I

Annexes I -1 - Éléments d'appréciation pour la classification des ouvrages en ouvrages courants types, ouvrages courants non types et ouvrages non courants _____ 257

Annexes I -2 - Tableau récapitulatif des caractéristiques des ouvrages d'art recensés au stade de l'APS d'un projet d'infrastructure routière (à joindre au dossier d'APS) _____ 261

Page laissée blanche intentionnellement

Annexes I -1 - Eléments d'appréciation pour la classification des ouvrages en ouvrages courants types, ouvrages courants non types et ouvrages non courants

Les critères rappelés synthétiquement dans le tableau ci-après sont des éléments d'appréciation permettant de classer les ouvrages dans l'une des trois catégories. Cette liste ne saurait être exhaustive.

Rappelons que le classement définitif entre ouvrages courants ou non courants résulte de l'avis de l'IGOA au stade de l'APS.

Ouvrage courant type

Il s'agit d'un ouvrage associé à un programme de pont type déchargeant le bureau d'études de la modélisation et d'une grande partie de la vérification de l'ouvrage. Les limites d'emploi du programme (caractéristiques de l'ouvrage, mode de construction, etc.) sont précisées dans les guides du SETRA.

Ouvrage courant non type

Il s'agit d'un ouvrage dont les caractéristiques sont courantes selon les critères de la circulaire mais qui ne correspondent pas à celles d'un ouvrage type (hors domaine d'emploi des programmes ou structure non type) et nécessitent une modélisation complète, donc des études plus lourdes.

Ouvrage non courant

Il s'agit d'un ouvrage dont l'une au moins des caractéristiques dépasse les seuils ou ne respecte pas les critères définis explicitement par la circulaire du 5 mai 1994 (voir chapitre 1).

Page laissée blanche intentionnellement

**ANNEXE I-1 - Éléments d'appréciation pour la classification des ouvrages
en ouvrages courants types, ouvrages courants non types et ouvrages non courants**

TYPES D'OUVRAGE	OUVRAGES COURANTS		OUVRAGES NON COURANTS
	OUVRAGES TYPES	OUVRAGES NON TYPES	
Cadres et portiques de type PIPO, PICF ou POD	<ul style="list-style-type: none"> coulés sur cintres biais modéré faible épaisseur de remblai sur la traverse 	<ul style="list-style-type: none"> ouvrages préfabriqués partiellement ou totalement biais important ouvrages ripés, foncés ou poussés traverse précontrainte piédroits en palplanches multi alvéoles sauf POD POD encastré sur appui central 	<ul style="list-style-type: none"> biais très important ouvrages sous fort remblai
Ponts dalles en béton armé de type PSIDA	<ul style="list-style-type: none"> coulés sur cintres en une phase biais et courbure modérés appuis simples 	<ul style="list-style-type: none"> ouvrages à plusieurs nervures ouvrages de largeur fortement variable biais ou courbure prononcés 	<ul style="list-style-type: none"> forme complexe (en Y par exemple) phasage de construction
Ponts dalles en béton précontraint de type PSIDP, PSIDN	<ul style="list-style-type: none"> coulés sur cintres en une phase biais et courbure modérés appuis simples 	<ul style="list-style-type: none"> ouvrages à plusieurs nervures ouvrages de largeur fortement variable biais ou courbure prononcés 	<ul style="list-style-type: none"> forme complexe (en Y par exemple) phasage longitudinal ou transversal dalles poussées
Ponts à béquilles en béton armé ou précontraint (PSBQ)	<ul style="list-style-type: none"> sans objet 	<ul style="list-style-type: none"> coulés sur cintre en une seule phase biais et courbure modérés bon sol 	<ul style="list-style-type: none"> phasage longitudinal ou transversal fondations profondes
Ponts à poutres de type PRAD	<ul style="list-style-type: none"> ouvrages isostatiques ou continus biais et courbure modérés appuis simples 	<ul style="list-style-type: none"> ouvrages sans entretoises ou sans chaînage ouvrages de largeur fortement variable hourdis préfabriqué biais ou courbure prononcés 	
Ponts à poutres de type VIPP	<ul style="list-style-type: none"> ouvrages isostatiques biais et courbure modérés appuis simples 	<ul style="list-style-type: none"> ouvrages continus ouvrages sans entretoises ouvrages de largeur fortement variable hourdis préfabriqué biais ou courbure prononcés 	
Ponts à poutrelles enrobées, PSIPAP	<ul style="list-style-type: none"> ouvrages isostatiques ou continus biais et courbure modérés appuis simples 		
Ouvrages mixtes	<ul style="list-style-type: none"> sans objet 	<ul style="list-style-type: none"> bipoutres 	<ul style="list-style-type: none"> multipoutres
Ouvrages voûtés minces	<ul style="list-style-type: none"> simple arche ouverture modeste faible remblai 	<ul style="list-style-type: none"> simple arche de moyenne ouverture multiarche de petite ouverture remblai modéré 	<ul style="list-style-type: none"> grande ouverture forte épaisseur de remblai

Page laissée blanche intentionnellement

**Annexes I -2- Tableau récapitulatif des caractéristiques des ouvrages d'art recensés
au stade de l'APS d'un projet d'infrastructure routière (à joindre au dossier d'APS)**

Le tableau de la page suivante synthétise les caractéristiques principales des ouvrages d'art recensés au stade de l'APS routier. Il est destiné à mettre en évidence les éléments permettant de classer chacun des ouvrages dans la catégorie d'ouvrages courants ou non courants.

Voie portée	Obstacle franchi	Caractéristiques de l'ouvrage
<p>(1) Nature et nom de la voie portée. <i>Par exemple : RD 234</i></p> <p>(2) Largeur utile droite de la voie portée</p>	<p>(3) Nature et nom du ou des obstacles franchis. <i>Par exemple : Voie SNCF Paris-Lyon. Cours d'eau : L'Orge</i></p> <p>(4) Indiquer la hauteur (revanches non comprises) et la largeur du gabarit des obstacles franchis <i>Par exemple : 4,75 m × 8,00 m</i></p>	<p>(5) Indiquer les portées biaises de l'ouvrage.</p> <p>(6) Indiquer le type de structure. <i>Par exemple : PIPO, PICF, VIPP, etc.</i></p> <p>(7) Indiquer le biais de l'ouvrage s'il est connu à ce stade sinon indiquer le biais du franchissement. <i>Par exemple : 80 gr ou variable de 70 à 85 gr</i></p> <p>(8) Nature présumée des fondations <i>Par exemple : superficielles ou profondes à 43,5 NGF.</i></p> <p>(9) Lister les contraintes particulières liées au projet : <i>Par exemple : contraintes géotechniques, hydrauliques, volonté architecturale, courbure, contraintes d'exécution forte, protection de l'Environnement, mode de construction, etc.</i></p>

Estimation :

Il est intéressant de ramener le coût de l'ouvrage au mètre carré de surface utile, ce qui permet de comparer les coûts à des résultats statistiques issus d'autres projets. Le coût total de l'ouvrage est évidemment essentiel car il permet de comparer différentes solutions techniques entre elles (comparaison d'un ouvrage court à une travée comme un portique à un ouvrage plus long, à trois travées tel qu'un pont dalle, par exemple) et entre dans le coût d'objectif de l'opération.

Page laissée blanche intentionnellement

Projet d'infrastructure routière :

entre :

et :

Ouvrages d'art PI ou PS + n°	Voie portée		Obstacle franchi			Caractéristiques de l'ouvrage					Estimation			
	Nature / nom (1)	Largeur utile (2)	Nature / nom (3)	Longueur de la brèche	Gabarit (4)	Portées (5)	Type (6)	Biais (gr) (7)	Fondations (8)	Particularités (9)	S utile (m ²)	Ratios (kF/ m ² de S utile)	Plus value architec (%)	Coût total TTC (kF)
Courants														
Non courants														

Page laissée blanche intentionnellement

Annexes II

Annexes II - 1 - Les routes, les artères interurbaines et les routes express (A.R.P. 1994) [23]	267
a) Dimensionnement de la chaussée, de la BDG éventuelle et de la BDD (ou BAU)	267
b) Dimensionnement du TPC pour les artères interurbaines	268
c) Dévers en section courante	268
Annexes II - 2 - Les autoroutes de liaison (I.C.T.A.A.L. 1985) [21]	269
a) Dimensionnement de la chaussée, de la BDG et de la BAU	269
b) Dimensionnement du TPC	269
c) Profils en travers spéciaux (voies supplémentaires, bretelles, voies d'insertion et de décélération)	270
Annexes II - 3 - Les voies rapides urbaines (I.C.T.A.V.R.U.) [22]	271
a) Dimensionnement de la chaussée, de la BDG et des bandes d'arrêt (BA)	271
b) Dimensionnement du TPC	271
c) Dimensionnement de l'accotement	272
Annexes II - 4 - Données relatives à l'élaboration du programme d'un ouvrage d'art	273

Page laissée blanche intentionnellement

Annexes II - 1 - Les routes, les artères interurbaines et les routes express (A.R.P. 1994) [23]

a) Dimensionnement de la chaussée, de la BDG éventuelle et de la BDD (ou BAU)

TYPES DE ROUTES		BDG	CHAUSSEE 2 VOIES	BDD	
				NORMALE	MINIMALE
R	Routes 1 chaussée		7,00 m (1)	2,00 m	1,75 m
	Artères interurbaines 2 chaussées	1,00 m	2 × 7,00 m	2,00 m	
	Artères interurbaines 2 chaussées avec trottoirs en périurbain	0,50 m	2 × 7,00 m	1,00 m	0,75 m
T	Routes express 1 chaussée		7,00 m (1)	2,50 m	2,00 m

⁽¹⁾ ou 10,50 m si la chaussée est à 3 voies.

Possibilité de modifier la largeur des voies :

- la largeur des voies de circulation, en **rase campagne**, est normalement de 3,50 m pour les routes principales en aménagement neuf,
- sur les **routes neuves de type R**, la largeur des voies peut être réduite à 3,00 m en cas de contrainte de site, ou lorsque le trafic total et le trafic poids lourds sont jugés peu importants,
- bien entendu, la largeur des voies peut être bien plus réduite sur des voies qui ne peuvent être considérées comme des routes principales, par exemple les **voies de désenclavement**.
- dans le cas des courbes de rayon inférieur à 200 m, une **surlargeur** est introduite dans les virages. Cette surlargeur vaut normalement, par voie de circulation, $50/R$ en mètres, R étant le rayon interne de la courbe exprimé en mètre.
- sur les routes principales, en **relief difficile**, qui seront généralement à une seule chaussée bidirectionnelle, des largeurs plus réduites pourront être adoptées :
 - pour les routes à **fort trafic total** (supérieur à 6 000 v/j) ou à accès limités ou à fort trafic poids-lourds (supérieur à 500 PL/j) les BDD pourront être réduites à 1,50 m,
 - pour les routes à **trafic total relativement important** (supérieur à 2 000 v/j) la chaussée pourra être réduite à 6,00 m et les BDD à 1,00 m,
 - pour les routes à **trafic poids-lourds non négligeable** (supérieur à 50 à 100 PL/j) la chaussée pourra être réduite à 6,00 m et les BDD à 1,50 m,
 - pour les autres routes de **trafics inférieurs**, la chaussée pourra être réduite à 5,50 m et les BDD à 1,00 m si possible ou 0,75 m minimum.
- la surlargeur dans les **courbes de rayon inférieur à 200 m** pourra en règle générale être réduite à $25/R$ par voie de circulation. Dans les cas difficiles, cette surlargeur pourra aussi être dimensionnée en s'appuyant sur les épures de giration des poids lourds.

b) Dimensionnement du TPC pour les artères interurbaines

Pour les routes à deux chaussées de type R, la fonction essentielle du terre-plein central est d'éviter les mouvements de traversée de véhicules et les mouvements de tourne à gauche. Toutefois, leurs caractéristiques dépendent essentiellement du milieu traversé par la route, des fonctions pour lesquelles elle est aménagée et de la vitesse limite qui y sera autorisée. Dans tous les cas, l'aspect du TPC d'une telle route doit être différent de celui d'un TPC autoroutier. On peut donc envisager :

- pour les **routes situées dans un contexte périurbain**, un TPC peu large, délimité par des bordures hautes, verticales de préférence, est recommandé. La bande dérasée de gauche est alors de 0,50 m et la bande médiane délimitée par les bordures doit constituer un refuge suffisamment large (1,50 m au minimum) pour les piétons. Aucun obstacle agressif ne peut être admis sur ce terre-plein.
- pour les routes ou sections de routes de **pure rase campagne** (sans aucun accès riverain), le TPC peut présenter une largeur inférieure à 12 m, auquel cas la bande dérasée de gauche est supérieure à 1,00 m et la bande médiane est dimensionnée en fonction des dispositifs de retenue envisagés, de leurs conditions de fonctionnement et de la nature des obstacles éventuels protégés.
- pour les routes dont la **fonction d'écoulement du trafic lié au tourisme** est importante, un TPC très large (>12 m, éventuellement variable), sans bordure ni obstacle et sans équipements, éventuellement engazonné ou végétalisé avec des arbustes, est préférable. La bande dérasée de gauche présente une largeur de 1,00 m.

c) Dévers en section courante

Pentes transversales	Pentes de la chaussée (P) et de la surlargeur structurelle	Accotements		Bandes dérasées de gauche éventuelles
		Bande(s) dérasée(s)	Bermes	
En alignement et courbe non déversée	2.5 % 	4 % (stabilisée) 2.5 à 4 % (revêtue) 	8%	2.5 %
En courbe avec dévers < à 4 %	P % < 4 % 	4 % (stabilisée) 2.5 à 4 % (revêtue) 	8%	P %
En courbe avec dévers > à 4 %	P % > 4 % 	P % 	8%	P %
Côté intérieur		2.5 % (stabilisée) 1.5 % (revêtue) vers l'extérieur 	8%	P %
Côté extérieur			8%	P %

Annexes II - 2 - Les autoroutes de liaison (I.C.T.A.A.L. 1985) [21]

a) Dimensionnement de la chaussée, de la BDG et de la BAU

AUTOROUTES		BDG		CHAUSSEE		BAU	
		NORMALE	MINIMALE	2 VOIES	3 VOIES	NORMALE	MINIMALE
L	$T_{PL} < 1500 \text{ PL/j}$ (1)	1,00 m	0,75 m	2 × 7,00 m	2 × 10,50 m	2,50 m	2,00 m
	$T_{PL} > 1500 \text{ PL/j}$ (1)	1,00 m	0,75 m	2 × 7,00 m	2 × 10,50 m	3,00 m	2,00 m
	Profil réduit (2)	1,00 m	0,50 m	2 × 7,00 m	2 × 10,50 m	1,00 m (3)	0,50 m (3)

(1) Trafic à la mise en service pour une autoroute à 2x2 voies (ce qui correspond à environ 3 000 PL/j à long terme, après mise hors péage).

(2) Ce profil réduit n'est envisageable que par dérogation aux normes. Il doit être justifié par des conditions économiques, des insuffisances d'emprises, des terrassements importants, ... Il nécessite des études et une approbation ministérielle spécifiques. Les possibilités de réductions du profil en travers de la section courante données par l'ICTAAL sont les suivantes :

- La BAU peut être réduite jusqu'à une largeur minimale de 2,00 m, ou remplacée par une bande dérasée de droite (BDD) généralement stabilisée, dont la largeur ne peut en aucun cas être inférieure à 0,50 m.
- Il est déconseillé de donner aux bandes dérasées des largeurs comprises entre 1,00 m et 2,00 m, sur des longueurs notables ; ces largeurs sont en effet dangereuses car elles peuvent donner aux usagers l'illusion de permettre l'arrêt d'urgence en sécurité.

(3) Ces largeurs étant inférieures à 2,00 m, il ne s'agit plus de BAU mais de bandes dérasées de droite (BDD).

b) Dimensionnement du TPC

La largeur du TPC peut être limitée à la dimension minimale nécessaire au bon fonctionnement du dispositif de retenue qu'il supporte compte tenu de leurs règles d'utilisation.

Dans les zones où il est revêtu, le TPC a une largeur normale de :

- 3,00 m en présence d'obstacle ponctuel d'épaisseur inférieure ou égale à 0,50 m,
- 3,50 m en présence d'obstacle continu d'épaisseur inférieure ou égale à 0,50 m,
- 2,50 m en absence d'obstacle (Remarquons qu'une DBA et qu'une glissière métallique double nécessitent respectivement une largeur de TPC de 2,60 m et de 2,80 m)

Il est possible d'adopter les valeurs réduites suivantes (cas des profils réduits (2) définis ci-dessus) :

- 2,50 m en présence d'obstacle ponctuel d'épaisseur inférieure ou égale à 0,50 m,
- 3,00 m en présence d'obstacle continu d'épaisseur inférieure ou égale à 0,50 m,
- 1,50 m sans obstacle.

Toutefois ces réductions ne peuvent être envisagées indépendamment du choix du dispositif de retenue adéquat.

c) Profils en travers spéciaux (voies supplémentaires, bretelles, voies d'insertion et de décélération)

- Voies supplémentaires en rampe ou en pente

- Cette voie supplémentaire est normalement accolée à gauche des voies normales.
- La voie supplémentaire a la même largeur qu'une voie élémentaire : 3,50 m.
- La pente transversale de cette voie est la même que celle de la chaussée qui lui est adjacente.
- La BAU n'est pas nécessairement supprimée au droit de la voie supplémentaire.

- Bretelles d'échangeur : la largeur de la chaussée, en alignement est de :

- pour les bretelles à une voie : 4,00 m
- pour les bretelles à deux voies : 7,00 m

La valeur de la surlargeur par voie dans les courbes de rayon R inférieur à 100 m est donnée par la formule $S = 50/R$ (S et R en m).

Les chaussées des bretelles unidirectionnelles sont bordées par une BDD de 2,00 m de largeur et par une BDG de 0,50 m, qui supportent les bandes de guidage. En alignement, ces chaussées ont une pente transversale unique de 2,5 %.

Les chaussées des bretelles bidirectionnelles sont bordées de chaque côté par une bande dérasée de 2,00 m de largeur. En alignement, le profil de la chaussée est constitué de 2 versants pentés chacun à 2,5 % vers l'extérieur.

Cependant ce profil présente des inconvénients en regard de la sécurité (prise à contresens, perte de contrôle dans les courbes entraînant des chocs frontaux). Aussi pour y remédier il convient de séparer physiquement les sens de circulation en créant un TPC de 1,50 m comprenant les deux BDG de 0,50 m sur la totalité de la partie bidirectionnelle y compris sur ouvrage d'art (Note d'information N° 32 du SETRA série économie, environnement et conception [28]).

En courbe, la pente transversale de la chaussée est dirigée vers l'intérieur, lorsque les rayons en plan sont inférieurs à 500 m. Le dévers varie en fonction de $1/R$ entre 2,5% pour 500 m et 7 % pour les rayons égaux ou inférieurs à 100 m. Cette valeur maximale étant abaissée à 6% dans les régions sujettes à verglas.

Aux jonctions des bretelles de l'échangeur et de l'autoroute, des **voies d'insertion et de décélération** permettent les manœuvres d'entrée et de sortie. Ces voies comportent deux sections : une section de manœuvre contiguë à l'autoroute et une section d'accélération ou de décélération qui fait partie de la bretelle. Une bande dérasée de droite de 2,00 m est maintenue au droit de ces dispositifs.

- Les **voies d'insertion** se terminent par un biseau de 120 m de longueur totale. En avant de ce biseau, la section de manœuvre d'insertion est constituée d'une voie de 3,50 m de largeur, adjacente à la chaussée de l'autoroute, d'une longueur $L = 200$ m.

- Les **voies de décélération** ont une section de manœuvre constituée par un biseau de 150 m de longueur totale, qui peut être ramenée à 110 m s'il en résulte une économie sensible.

Annexes II - 3 - Les voies rapides urbaines (I.C.T.A.V.R.U.) [22]

a) Dimensionnement de la chaussée, de la BDG et des bandes d'arrêt (BA)

TYPES DE ROUTES		BDG		CHAUSSEE Largeur des voies		BDD, BAU ou BA		
		Normale	Minimale	Normale	Minimale		Normale	Minimale
A	A100	1,00 m	0,45 m ou 0,60 m (1)	3,50 m		BAU ou BA BDD (3)	2,50 m 1,00 m	2,00 m 0,50 m
	A80				3,00 m (4)			
U	U80	1,00 m	0 ou 0,30 m (2)	3,50 m		BA	2,50 m (6)	
	U60				3,00 m (5)			

(1) 0,45 m si DBA sur le TPC et vérifier que la visibilité latérale est maintenue et 0,60 m s'il y a une glissière DE2.

(2) en général, il n'y a pas de BDG s'il n'y a pas de dispositif de retenue sur le TPC, les 0,30 m représente la largeur du marquage au sol.

(3) si l'on ne peut implanter une BAU ou une BA.

(4) maintenir la voie de droite plus large que les autres voies, seules les voies de gauche et du centre peuvent être réduites.

(5) à l'approche d'un carrefour à feux.

(6) si le parti d'aménagement l'impose.

b) Dimensionnement du TPC

Le TPC est composé de la bande médiane et des bandes dérasées de gauche éventuelles.

TYPES DE ROUTES	Bande médiane		TPC
A	$\geq 0,60$ m $\geq 0,80$ m 2,50 à 3 m $\geq 1,20$ m	DBA DE2 ou DE4 Glissières doubles et plantations arbustives Plantations arbustives entre deux DBA ou GBA	$\geq 1,50$ m ≥ 3 m ⁽²⁾
U	$\geq 0,60$ m 3,50 m à 5 m	dans tous les cas ⁽¹⁾ à l'approche des carrefours.	$\geq 0,60$ m

(1) S'il n'y a pas de dispositifs de retenue sur le TPC, la bande médiane doit être limitée par des bordures non franchissables.

(2) Dans le cas d'une glissière DE4, la BDG est supérieure à 1,10 m.

c) Dimensionnement de l'accotement

L'accotement est composé des bandes dérasées de droite éventuelles et de la berme, du terre plein latéral ou du trottoir de service.

	Utilisation	Voie	Dimensions	Commentaires
Berme	si l'assainissement est assuré par des fossés	A	≥ 0,75 m	en fonction des équipements à implanter
Trottoir de service	si l'assainissement est de type urbain.	A	≥ 1,00 m ≥ 1,50 m	trottoir à bordure franchissable pour les ouvrages d'assainissement si présence de fourreaux longitudinaux
		U	-	en fonction des dispositifs de retenue, trottoir à bordure franchissable ou non.
Terre Plein latéral	si présence de piétons, de cyclistes ou de voie en site propre à droite de la chaussée	U	≥ 0,70 m	terre plein latéral à bordure non franchissable
Pistes cyclables	si unidirectionnelle si bidirectionnelle	U	2,00 m 3,50 m	situées à droite du terre plein latéral

Choix de l'accotement en dehors des bandes dérasées

Annexes II - 4 - Données relatives à l'élaboration du programme d'un ouvrage d'art

Cette liste rassemble l'ensemble habituel des contraintes à définir et options à lever en vue de la conception d'un ouvrage. Certains éléments doivent être fournis par le maître d'œuvre, mais il appartient au projeteur d'apprécier ou de faire préciser la marge dont il dispose pour travailler à partir de ces données. Certaines caractéristiques géométriques par exemple ne peuvent être validées qu'après un certain nombre d'itérations entre les différentes équipes d'études d'un projet routier. Ces données seront affinées au fil de l'avancement des études.

Désignation de l'ouvrage :
Commune : Département :

DONNEES ADMINISTRATIVES

Maître d'ouvrage :
Maître d'œuvre :
Bureau d'Etudes :
Architecte et paysagiste :
Coordonnateur en matière de sécurité
et de protection de la santé :
Service gestionnaire de l'ouvrage :
Concessionnaires :
Laboratoire du Maître d'œuvre :

Financement de l'ouvrage :
Délais de réalisation des études préliminaires :
de l'APS :
du Projet :
du DCE :
des travaux :

PLANS A OBTENIR

- plan de situation
- plan topographique (au 1/200) avec "préimplantation" de l'axe de l'ouvrage et "prétracé" des accès
- profil en long (au 1/200 en longueur et 1/20 en hauteur) établi par lever du terrain naturel avec indication des gabarits à réserver pour les voies franchies
- profil en travers en zone courante avec matérialisation de l'axe du projet
- plans détaillés (1/50) des extrémités de l'ouvrage avec courbes de niveau
- coupe géologique du site (1/5000 en longueur et 1/500 en hauteur)
- relevé des concessionnaires enterrés et aériens existants sur le site

VOIE PORTEE ⁽¹⁾

Désignation : Type de route :
 Largeur utile : Trafic :
 Règlement en vigueur :
 ARP ICTAAL ICTAVRU
 Autre :
 Vitesse de référence :

Caractéristiques du tracé en plan

Angle formé par la voie portée et la (ou les) voie(s) franchie(s) en grades :

Profil en long

Pente unique Courbure constante
 Autre :

Profil en travers

→ en section courante

Définition du profil en travers de gauche à droite selon les PK

croissants
 décroissants

Largeur	<input type="checkbox"/> Chaussée unidirectionnelle	<input type="checkbox"/> Chaussée bidirectionnelle	<input type="checkbox"/> Autres
Berme	X		
<i>Dispositif de retenue</i>			
BA ou BAU, BDD			
Chaussée			
BDG			
<i>Dispositif de retenue</i>			
Bande médiane			
<i>Dispositif de retenue</i>			
BDG			
Chaussée			
BA ou BAU, BDD			
<i>Dispositif de retenue</i>			
Berme			

Dévers :
 Largeur roulable :
 Largeur du TPC :

⁽¹⁾ Dans le cas d'un ouvrage portant plusieurs voies (voie principal et bretelle d'accès, par exemple) remplir une fiche "voie portée" pour chaque voie.

→ Sur ouvrage :

- **Tablier(s)** indépendants monolithique
- **Possibilités de réduire le profil en travers** :
- **Choix des dispositifs de retenue**
 - Le long des BDD ou BAU :
 - Le long du TPC ou des BDG :
 - Possibilités de raccordement avec les dispositifs de retenue en section courante :
- Ecrans antibruit** Type : Poids : Hauteur :
- Evacuation de l'eau** :
- Contraintes de raccordement au système d'évacuation hors ouvrage :
- Eclairage** :
- Dispositifs anti-chute d'objet** :
- **Types d'appareils d'appui** compte tenu de l'expérience locale sur leur comportement :
- **Revêtements de chaussée et de trottoir** :
- Epaisseur(s) :
- Rechargement de chaussée à prévoir :
- Signalisation** (panneaux, portiques, dimensions, poids, emplacements sur et hors ouvrage, alimentation) :
- Autres** : Nécessité de galerie technique, concessionnaires, présence de regards, dispositifs de dilatation, de vidange, de purge...)

Circulation des piétons :

- En section courante : autorisée non autorisée
- Sur ouvrage : Passage(s) de service :
- Trottoir(s) :

Prise en compte des cyclistes

- En section courante :
 - Bande multifonctionnelle Bande cyclable Piste cyclable
- Largeur :
- Dispositions prises sur ouvrage :

Charges d'exploitation en phase de service

- charges civiles :
- charges de trottoir :
- charges de passerelles :
- charges militaires : M80 M120
- charges exceptionnelles : 1^{ère} catégorie 2^{ième} catégorie
- 3^{ième} catégorie : C..... D..... E.....
- charges sur les remblais :

VOIE(S) FRANCHIE(S)

L'ouvrage franchit une seule plusieurs voies de communication

Longueur totale de la brèche :

Si l'une des voies franchies est une route

Désignation : Type :

Largeur utile : Trafic :

Règlement en vigueur :

ARP ICTAAL ICTAVRU

Autre :

Vitesse de référence :

Gestionnaire de la voie :

• **Gabarit** (horizontal/vertical) :

Revanches : de construction et d'entretien :

de protection :

• **Profil en travers** de la route :

.....

Circulation des piétons

→ En section courante : autorisée non autorisée

→ Sous ouvrage : Trottoir(s) :

Prise en compte des cyclistes

→ En section courante :

Bande multifonctionnelle Bande cyclable Piste cyclable

Largeur :

→ Dispositions prises sous ouvrage :

Bande médiane

→ En section courante

Largeur : Dispositif de retenue :

→ Possibilité d'implanter un appui :

.....

Dispositifs de retenue à prévoir auprès des appuis :

Raccordement des dispositifs de retenue :

Accotement

→ En section courante

Dispositif de retenue :

→ Possibilité d'implanter un appui le long de la BA ou BDD

.....

Dispositifs de retenue à prévoir auprès des appuis :

Raccordement des dispositifs de retenue :

Choc de véhicule sur pile de pont

Choc de véhicule sur tablier de pont

Si l'une des voies franchies est une voie ferrée

Désignation :.....

Gestionnaire de la voie :.....

• **Gabarit** (horizontal/vertical) :.....

Revanches : de construction et d'entretien :.....
de protection :.....

Nécessité de prévoir l'élaboration d'une notice ferroviaire

Renseignements disponibles sur la ligne :.....

Conditions de travail au voisinage des voies :.....

Contraintes d'implantation des appuis :.....

Actions accidentelles liées à l'exploitation de cette voie : incendie, explosion, glissement, chocs,... :.....

Si l'une des voies franchies est une voie navigable

Désignation :..... Catégorie :.....

Gestionnaire de la voie :.....

• **Gabarit** (horizontal/vertical) :.....

Revanches : de construction et d'entretien :.....
de protection :.....

• **Système de nivellement** : Lallemand (altitudes orthométrique)
 IGN 69 (altitudes normales)
 autre (site maritime,...) :.....

• **Régime d'écoulement** :
PHEN :..... PBEN :.....

• **Type de berges** :
 Passage de service Gabarit :.....

Choc de bateau sur appui en rivière

• **Contraintes d'implantation** d'appuis en rivière :.....

Si autres servitudes

Proximité d'aérodrome, lignes électriques, zone militaire, etc.
.....
.....

Constructions et réseaux existants

.....
.....
.....
.....
Contraintes d'implantation des appuis :.....
.....
.....

CONTRAINTES DE CONSTRUCTION

- Contraintes de circulation sur ouvrage :
- Contraintes de circulation sous ouvrage :
- Possibilités de réduction de gabarits :
- Périodes favorables à l'exécution :
- Emplacement du chantier :
- Contraintes d'accès :
- Matériaux disponibles (granulats, ciments et béton et conditions de livraison) :
- Charges de chantier :
- Protection des usagers et des tiers :
- Nuisances à éviter : mur antibruit, rejet des eaux en provenance du tablier, rejet des eaux en phase de chantier, protection contre les chutes d'objets.
- Contraintes vis-à-vis de la présence éventuelle de ligne haute tension (consignation caténaïres)
- Maintien des réseaux existants :
- Autres contraintes :

DONNEES NATURELLES

Topographie du terrain

- Système de nivellement : Lallemand (altitudes orthométrique)
 IGN 69 (altitudes normales)
- Système de planimétrie : Lambert

Fortes pentes :

Contraintes d'implantation des appuis :

Données géologiques et géotechniques

- Etude géotechnique existante : rapport(s)
- Types de sols, épaisseur des couches et capacité portante :
- Essais et sondages existants :
- Essais et sondages programmés ou à prévoir :
- Laboratoire :
- Type de fondations envisagé :

Données hydrauliques

- Niveau de crue :
- Autres niveaux :
- Risque d'affouillements :
- Risque d'embâcle

Données climatiques

Vent : réglementaire autre

Agressivité du milieu ambiant : air, eau,

Utilisation soutenue des sels de déverglaçage

Classe d'environnement des bétons :

Séisme

Zone : Classe :

DONNEES D'ENVIRONNEMENT

→ Contraintes d'intégration dans le site : site classé, proximité d'un monument historique, vestiges archéologiques.....

→ Protection de l'Environnement

L'eau.....

Le bruit

La faune.....

La flore

ARCHITECTURE ET PAYSAGE

Etude architecturale existante : rapport(s).....

• Architecte :

• Paysagiste :

• Importance du parti architectural :

• Nombre d'ouvrages concernés :

• Principales orientations : matériaux, formes, proportions, nombre de travée

GESTION

• Gestionnaire de l'ouvrage :

• Dispositifs de visite et d'entretien à mettre en place (portes en hauteur, éclairage, zones à visiter...)

• Choix et qualité des matériaux :

• Risque vis à vis de l'alcali-réaction : granulats.....

ciments

Vérinage de l'ouvrage à prévoir :

Page laissée blanche intentionnellement

BIBLIOGRAPHIE

GENERALITES

- 1 Recommandation du GPEM/T relative à la gestion et à l'assurance de la qualité lors de l'étude des projets de Génie Civil, approuvée le 23 avril 1990 par la Section Technique de la Commission Centrale des Marchés (Recommandation n° T.1-90 parue dans le Moniteur du 19 juillet 1991).
- 2 Circulaire du 22 décembre 1992 sur la Qualité de la Route du Ministre de l'Equipement, du Logement et des Transports. (SETRA - A. 9353)
- 3 Lettre circulaire de la Direction des Routes du 21 novembre 1989 relative à la Qualité des études d'ouvrages d'art. (B.O. n°2 du 20.01.90.)
- 4 Guide pour une démarche d'assurance qualité - Etude de conception et d'exécution d'ouvrages de génie civil (SETRA/SNCF - décembre 1997 - F. 9775).
- 5 Loi N° 85-704 du 12 juillet 1985 (J.O. du 13.07.85 B.O. n°28 du 30.07.85) relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée (Loi MOP) modifiée par la loi n°88-1090 du 1 décembre 1988 - (J.O. du 03.12.88, B.O. n°34 du 10.12.88).
- 6 Guide à l'intention des maîtres d'ouvrages publics pour la négociation des rémunérations de maîtrise d'œuvre (Direction du Journal Officiel - Juin 1994).
- 7 Guide pour la commande et le pilotage des études d'ouvrages d'art (SETRA - 1997 - F. 9761).
- 8 Loi 93-1418 du 31 décembre 1993 applicable aux opérations de bâtiment et de génie civil en vue d'assurer la sécurité et protéger la santé des travailleurs et le décret 94-159 du 26 décembre 1994 relatif à l'intégration de la sécurité et à l'organisation de la coordination en matière de sécurité et de protection de la santé lors des opérations de bâtiment et de génie civil.
- 9 La documentation du projeteur routier pour le milieu interurbain (SETRA - 1995 - A. 9537).
- 10 Guide du chef de projet - Analyse des procédures liées à la conception routière (SETRA - Club des concepteurs routiers - E. 9329).
- 11 Répertoire des textes essentiels et documents techniques Ouvrages d'Art (SETRA - 1998 - P. 2198, 12ème édition).
- 12 Projet et Construction des Ponts - Généralités, fondations, appuis, ouvrages courants - J.A. Calgaro et M. Virlogeux (Presses de l'ENPC - 1987).
- 13 Les grands ouvrages en béton précontraint sous la direction de Jacques Mathivat et Michel Virlogeux (AFPC - Octobre 1979).
- 14 Livre I - Huitième Partie - Signalisation temporaire de l'Instruction interministérielle (novembre 1993).
- 15 Conception des Ponts de A. Bernard-Gely et J.A. Calgaro (Presses de l'ENPC - 1994) S.E.T.R.A.
- 16 Signalisation temporaire. Manuel du Chef de Chantier (routes bidirectionnelles) (SETRA - 1994 - E. 94 342).
- 17 Bulletin de liaison Ouvrages d'Art (CTOA/SETRA).

CARACTERISTIQUES FONCTIONNELLES

- 18 Circulaire du 9 décembre 1991 relative à l'aménagement du réseau national en milieu interurbain. (Ministère de l'Équipement, des Transports, et du Tourisme - Direction des Routes) (SETRA - B. 9241).
- 19 Circulaire n° 94-56 du 5 mai 1994 définissant les modalités d'élaboration, d'instruction et d'approbation des opérations d'investissements sur le réseau routier national non concédé (Ministère de l'Équipement, des Transports, et du Tourisme - Direction des Routes - SETRA). (B.O. n°19 du 20.07.94.)
- 20 Circulaire du 2 janvier 1986 relative aux modalités d'instruction des dossiers techniques des opérations d'investissements routiers (Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports - Direction des Routes - Fascicule spécial N° 86-4 bis). Cette circulaire est remplacée par la circulaire du 5 mai 1994.
- 21 I.C.T.A.A.L. : Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison (SETRA - 22 octobre 1985 - B. 8547).
- 22 I.C.T.A.V.R.U. : Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines (CETUR - 1990).
- 23 A.R.P. : Guide technique pour l'Aménagement des Routes Principales sauf les autoroutes et routes express à deux chaussées (SETRA - août 1994 - B. 9413).
- 24 I.C.T.A.R.N. : Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Routes Nationales du 28 octobre 1970, modifiée par la circulaire du 5 août 1994 qui y annexe l'ARP.
- 25 L'A.R.S. : Aménagement des Routes Secondaires (SETRA à paraître).
- 26 Code de la voirie routière (Litec édition de 1994).
- 27 Voiries à faible trafic - Éléments pour la conception et l'entretien (SETRA - mars 1989 - B. 8902).
- 28 Note d'information N° 32 du S.E.T.R.A. (série économie, environnement et conception).
- 29 Circulaire du 29 août 1991 relative aux profils en travers sur ouvrages d'art non courants (sur le réseau national) (Direction des Routes).
- 30 Accords européen du 15 novembre 1975 sur les routes de trafic international (A.G.R). Décret n° 84-164 du 2.3.1984 portant publication de l'accord. (J.O. du 09.03.84, B.O. n°10 du 29.03.84).
- 31 Instruction et Recommandations pour la prise en compte des cyclistes dans les aménagements de voiries (DR- DSCR - novembre 1995).
- 32 Aménagement en faveur des piétons (CETUR).
- 33 Guide général de la voirie urbaine - Conception, aménagement, exploitation (CETUR).
- 34 Sécurité des routes et des rues (CETUR-SETRA - 1992).
- 35 La circulaire du 17 octobre 1986 relative au dimensionnement de la hauteur des ouvrages routiers sur le réseau national (Ministère de l'Équipement et du Logement) publiée dans le Moniteur n°46 du 14 novembre 1986.

- 36 Dossier pilote des tunnels. Fascicule géométrie (CETU - décembre 1990).
- 37 Circulaire 76.38 du 1^{er} mars 1976 modifiée par la circulaire 95.86 du 6 novembre 1995 relative aux caractéristiques des voies navigables. Cette dernière circulaire a été publiée dans le Moniteur du 5 janvier 1996. (B.O. n°33 du 10.12.95)

ENVIRONNEMENT

- 38 Circulaire du 24 septembre 1984 - Qualité paysagère et architecturale des ouvrages routiers. (B.O. n°22 du 22.06.85)
- 39 Loi 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau. J.O. du 04.01.92, (B.O. n°1 du 10.01.92).
- 40 Circulaire 96.11 du 11 mars 1996 relative à la prise en compte de l'environnement et du paysage dans les projets routiers.
- 41 Décret n°93-742 du 29 mars 1993 relatif procédures d'autorisation et de déclaration prévues par l'article 10 de la loi 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau. (J.O. du 30.03.93, B.O. n°9 du 10.04.93).
- 42 Décret n°93-743 du 29 mars 1993 relatif à la nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application de l'article 10 de la loi 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau. (J.O. du 30.03.93, B.O. n°9 du 10.04.93).
- 43 L'Eau et la Route (S.E.T.R.A. - novembre 1993 - B. 9348).
- 44 Loi 92-1444 du 31 décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit. (J.O. du 01.01.93, B.O. n°1 du 20.01.93)
- 45 Décret 95-22 du 9 janvier 1995 relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures des transports terrestres. (J.O. du 10.01.95, B.O.n°1 du 20.01.95)
- 46 Arrêté du 5 mai 1995, relatif au bruit des infrastructures routières. (J.O. du 10.05.95, B.O. n°13 du 20.05.95).
- 47 Circulaire du 12 décembre 1997 relative à la prise en compte du bruit dans la construction de routes nouvelles ou l'aménagement de routes existantes du réseau national (publiée dans le Moniteur du 20 mars 1998).
- 48 Décret 91.1147 du 14 octobre 1991 - Exécution d'ouvrages à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution. (J.O. du 09.11.91, B.O. n°31 du 10.11.91)
- 49 Les études d'environnement dans les projets routiers - Guide méthodologique (SETRA-CERTU - 1998)
- 50 GUEST 69 - Guide d'esthétique des ouvrages d'art courants (SETRA - 1969 - F. 6906).
- 51 Passages pour la grande faune. Guide technique (SETRA - décembre 1993 - B. 9350).
- 52 Note d'information CTOA-CSTR sur les Equipements des TPC d'ouvrages franchissant des zones à environnement sensible (SETRA - à paraître 1998).

GESTION ET MAINTENANCE

- 53 Instruction technique du 19 octobre 1979 pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art, révisée le 26 décembre 1995 (SETRA - F 8009. Lettre circulaire D.R.C.R. du 10.12.79).
- 54 Image et Qualité des Ouvrages d'Art (IQOA). (SETRA - 1994 - F. 9619 à 9643, F. 9710 à 9719 et F. 9748C)
- 55 Entretien des ouvrages d'art. Rapport de recherche routière de l'OCDE (OCDE - septembre 1981).
- 56 Maintenance et réparation des Ponts sous la direction de J.A. CALGARO et R. LACROIX (Presses de l'ENPC - 1997).

EQUIPEMENTS

- 57 Environnement des appareils d'appui en élastomère fretté (SETRA - 1978 - F. 7810).
- 58 Surfaçage, étanchéité et couches de roulement des tabliers STER 81 (SETRA - 1981 - F. 8210 et mise à jour 1990 - F. 9040).
- 59 Circulaire N° 88-49 du 9 mai 1988 et instruction relative à l'agrément et aux conditions d'emploi des dispositifs de retenue des véhicules contre les sorties accidentelles de chaussée (DSCR - mai 1988). (B.O. n°17 du 19.06.88)
- 60 Norme NF P 98-409- Barrières de Sécurité Routières - Critères de performance, de classification et de qualification (AFNOR). (HOM. décembre 1996)
- 61 Guide de l'Équipement des Routes Interurbaines (SETRA - à paraître).
- 62 GC 77 : Garde-corps, glissières, barrières de sécurité, grilles, (SETRA - 1977 - F. 7716A mises à jour 1980, 1981,1990).
- 63 Norme XP P 98-405 : Barrières de sécurité routières. Garde-corps pour ponts et ouvrages de génie civil.
- 64 Norme Pr EN1317 sur les Dispositifs de retenue.
- 65 Répertoire des homologations des équipements de la route des dispositifs de retenue et homologations.
- 66 Garde-Corps- Collection du guide technique GC (SETRA - 1997 - F. 9709).
- 67 Barrières de sécurité pour la retenue des poids lourds - Collection du guide technique GC (SETRA - parution début 1999).
- 68 Dalles de transition des ponts-routes (SETRA - 1984 - F. 8504).
- 69 Joints de chaussée des ponts-routes - Guide technique (SETRA - 1986 - F. 8737).
- 70 Assainissement des ponts-routes. Evacuation des eaux, perrés, drainage, corniches-caniveaux. (SETRA - 1989 - F. 8940).
- 71 Corniches - Collection du guide GC (SETRA - 1994 - F. 9467).

DOSSIERS DES PONTS TYPES DU SETRA

- 72 Ponts cadres et portiques - Guide de conception (SETRA - 1992 - F. 9246).
- 73 Portique ouvert double - Dossier pilote POD76 (SETRA - 1976).
- 74 Passage Supérieur à Gabarit Normal - Dossier PSGN77 (SETRA - 1977 - F. 7720).
- 75 Passage Supérieur à Gabarit Réduit - Dossier PSGR71 (SETRA - 1971 - F. 7106).
- 76 Ponts dalles - Guide de conception (SETRA - 1989 - F. 8926).
- 77 Passage supérieurs ou inférieurs en dalles nervurées - PSIDN 81 (SETRA - 1981 - F. 8104).
- 78 Ponts-routes à tablier en poutrelles enrobées - Guide de conception et de calcul (SETRA/SNCF - mai 1995 - F. 9503).
- 79 Ponts-dalles à poutrelles ajourées et précontraintes transversalement (PSI.PAP) - Guide de conception (SETRA - décembre 1985 - F. 8610).
- 80 Ponts à poutres préfabriquées précontraintes par post-tension -VIPP- Guide de conception (SETRA - février 1996 - F. 9603)..
- 81 Ponts à poutres préfabriquées précontraintes par adhérence -PRAD- Guide de conception (SETRA - septembre 1996 - F. 9646).
- 82 Ponts mixtes acier-béton bipoutres - Guide de conception (SETRA - octobre 1985 - F. 8570).
- 83 Dossier pilote Piles et Palées (PP73). (SETRA - 1974)
- 84 Note d'information N°7 du SETRA (Série Ouvrages d'Art) Limitation de la déformabilité des ouvrages provisoires sous poids propre du béton frais.
- 85 Note d'information N°12 du SETRA (Série Ouvrages d'Art) Conduits MATIERE[®] - Quelques règles essentielles (1990).
- 86 Note d'information N°20 du SETRA (Série Ouvrages d'Art). Eléments pour le choix d'un ouvrage de soutènement dans le domaine routier (décembre 1995).

REGLES DE CALCUL

- 87 DC 79 : Circulaire N° 79-25 du 13 mars 1979 : Instruction technique sur les directives communes relatives au calcul des constructions. (B.0. fascicule spécial n°79-12 bis)
- 88 Fascicule 61, Titre II du CPC - Conception, Calcul et Epreuves des Ouvrages d'Art. Programme de charges et épreuves des Ponts-Routes (Fascicule spécial N° 72-21 bis - réédition de 1981), modifié par l'arrêté du 8 décembre 1980 et la lettre circulaire du 9 décembre 1980. (B.0. n°52 du 24.01.81)
- 89 Eurocode 1 - Bases de calcul et actions sur les structures (Basis of design and actions on structures) et document d'application nationale.
- 90 Lettre circulaire DR-R/EG.3 du 20 juillet 1983 définissant les Transports Exceptionnels (Ministère des Transports - Direction des Routes).

- 91 Directive provisoire sur l'admission éventuelle des engins lourds de terrassement sur les ouvrages de Janvier 1970 (SETRA).
- 92 Règles B.A.E.L. 91 : Fascicule 62, Titre 1^{er}, section I du CCTG - Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des Etats Limites. (n°92-3 T.O.)
- 93 Règles B.P.E.L. 91 : Fascicule 62, Titre 1^{er}, section II du CCTG - Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton précontraint suivant la méthode des Etats Limites (n°92-4 T.O.)
- 94 . Fascicule 62, titre V du CCTG - Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de Génie Civil. (N°93-3 T.O.)
- 95 Géologie et Géotechnique dans les projets routiers interurbains (SETRA-DR).
- 96 Dossier pilote FOND 72 : Fondations courantes d'ouvrages d'art (SETRA-LCPC - F. 7617).
- 97 Règles Neige et Vent 65-67 (DTU P06.002 de juin 1980).
- 98 Règles N84 (DTU P 06.006 - Août 1987) (Fascicule 61, titre IV, section II - Action de la neige sur les constructions - Fascicule spécial n° 85.37 bis).
- 99 Décret n° 91-461 du 14 mai 1991 relatif à la prévention du risque sismique. (J.O. du 17.05.91 B.O n° 14 du 20.05.91)
- 100 Nouveau zonage sismique de la France (La documentation Française - 1985).
- 101 Guide AFPS 92 pour la protection parasismique des ponts, publié par l'association française du génie parasismique (Presses de l'ENPC-1995).
- 102 Arrêté du 15 septembre 1995, relatif à la classification et aux règles de construction parasismiques applicables aux ponts de la catégorie "à risques normal" (J.O. du 07.10.95, B.O. n°28 du 20.10.95)
- 103 Guide de conception des ouvrages courants en zone sismique (SETRA-SNCF) (à paraître).

ESTIMATION

- 104 Dossier pilote EST 67 : Méthode générale d'estimations - prix composés. (SETRA - Mai 1967)
- 105 Cours de conception des ponts de l'ENTPE - J.L. Michotey - 1994.
- 106 Coût d'entretien des ouvrages d'art autoroutiers français - Actes du colloque international sur la gestion des ouvrages d'art - P. Trouillet - 1994.
- 107 Coût de maintenance des ouvrages d'art autoroutiers français - P. Trouillet - Revue Arts et Industries n° 239 janvier 1997.
- 108 Construction des ouvrages d'art - Résultats statistiques (SETRA - publication annuelle - P. 2096).

SIGLES

ABF	Architectes des Bâtiments de France
AEP	Alimentation en Eau Potable
AFNOR	Association Française de NORmalisation
APS	Avant-Projet Sommaire
ARP	Aménagements des Routes Principales
BAU	Bande d'Arrêt d'Urgence
BDD	Bande Dérasée de Droite
BDG	Bande Dérasée de Gauche
BHO	Barrière Hors Ouvrage
BM	Bande Médiane
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CCAP	Cahier de Clauses Administratives Particulières
CCTP	Cahier de Clauses Techniques Particulières
CETMEF	Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales
CPC	Cahier des Prescriptions Communes
DAN	Document d'Application Nationale
DBA	Double séparateur en Béton Adhérent
DCE	Dossier de Consultation des Entreprises
DE	Double Entretoise
DIUO	Dossier d'Intervention Ulérieure sur Ouvrage
EPOA	Etude Préliminaire d'Ouvrage d'Art
GBA	Glissière en Béton Adhérent
GPS	Global Positionning System
GS	Glissière Souple
ICTAAL	Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison
ICTAVRU	Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines
ICTARN	Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Routes Nationales
IGOA	Inspection Générale Ouvrages d'Art
IQOA	Image Qualité des Ouvrages d'Art
LC	Largeur Chargeable

LR	Largeur Roulable
LU	Largeur Utile
NGF	Nivellement Général de la France
PGC	Plan Général de Coordination en matière de sécurité et de protection de la santé
PBE	Plus Basses Eaux
PBEN	Plus Basses Eaux Navigables
PBMME	Plus Basses Marées de Mortes Eaux
PBMVE	Plus Basses Marées de Vives Eaux
PHEC	Plus Hautes Eaux Connues
PHEN	Plus Hautes Eaux Navigables
PHMME	Plus Hautes Marées de Mortes Eaux
PHMVE	Plus Hautes Marées de Vives Eaux
PICF	Passage Inférieur en Cadre Fermé
PIPO	Passage Inférieur en Portique Ouvert
PIV	Passage Inférieur Voûté
PL	Poids Lourds
POA	Projet d'Ouvrage d'Art
POD	Portique Ouvert Double
PRAD	PRécontrainte par ADhérence
PSBQ	Passage Supérieur à BéQuilles
PSIDA	Passage Supérieur ou Inférieur en Dalle Armée
PSIDN	Passage Supérieur ou Inférieur en Dalle Nervurée
PSIDP	Passage Supérieur ou Inférieur en Dalle Précontrainte
PSIPAP	Passage Supérieur ou Inférieur à Poutrelles Ajourées Précontraintes
RGF	Réseau Géodésique Français
SGN	Service de Géodésie et de Nivellement
SOPAQ	Schéma Organisationnel du Plan Assurance Qualité
STCPMVN	Service Technique Central des Ports Maritimes et Voies Navigables
TPC	Terre-Plein Central
VIPP	Viaduc à travées Indépendantes à Poutres Préfabriquées
VL	Véhicule Léger

LEXIQUE DE TERMES TECHNIQUES

Affouillement général	Mise en suspension des matériaux meubles constituant le fond du lit d'un cours d'eau se traduisant par un creusement du lit.
Affouillement local	Fosse creusée par l'eau à la base d'un obstacle situé dans un cours d'eau et résultant de l'accélération locale du courant.
Ame	Partie verticale ou légèrement inclinée d'une poutre ou d'un caisson, de faible épaisseur par rapport à la hauteur de la pièce.
Appareil d'appui	Dispositif transmettant aux appuis les sollicitations provenant du tablier.
Appui	Partie d'ouvrage transmettant à la fondation les sollicitations provenant du tablier : pile, culée ou pile-culée.
Armature	Élément en acier d'un ouvrage en béton armé ou précontraint participant à la résistance du béton : armature passive pour béton armé, armature de précontrainte ou armature active pour béton précontraint.
Articulation	Dispositif de liaison entre parties d'ouvrage, transmettant des forces mais pas de couple, et permettant une rotation.
Attelage (de travées)	Liaison ayant pour but d'empêcher la translation relative de deux travées adjacentes tout en leur conservant leur caractère isostatique.
Balancement	Rapport des longueurs de deux travées adjacentes d'un ouvrage.
Barbacane	Ouverture pratiquée dans un mur, une dalle, une voûte, pour permettre l'écoulement des eaux.
Barrière de sécurité	Dispositif dont le rôle principal est de maintenir sur la plate-forme un véhicule en perdition.
Batardeau	Ouvrage de protection permettant de travailler à l'abri de l'eau en site terrestre ou aquatique.
Bec	Partie profilée d'une pile en rivière ; côté amont : avant-bec ; côté aval : arrière-bec.
Béquille	Appui vertical ou oblique encastré dans le tablier.
Buse	Ouvrage hydraulique ou routier en béton armé ou en acier, de forme cylindrique, ovale ou en arc.
Caisson	Poutre tubulaire formée d'âmes et de membrures supérieures et inférieures.
Caniveau	Profil servant à l'écoulement des eaux (voir Fil d'eau) - Réserve sous trottoir pour le passage des canalisations.

Chape	1) couche de mortier ou de béton, armé ou non, rapportée et de faible épaisseur ; 2) revêtement d'étanchéité.
Chevêtre	Poutre horizontale reliant des pièces verticales et servant à leur transmettre des efforts verticaux.
Cintre	Ouvrage provisoire permettant de supporter des structures en phase de construction.
Clavage	Action consistant à solidariser deux parties d'ouvrage construites indépendamment.
Clef ou clé	Partie centrale d'un arc ou d'une voûte, ou section médiane d'une poutre.
Connecteur	Élément métallique assurant la liaison entre plaque d'acier et dalle de béton dans une ossature mixte.
Console et encorbellement	Partie d'une structure en porte-à-faux.
Corbeau	Élément en saillie sur une paroi, destiné à soutenir un autre élément.
Corniche	Partie d'ouvrage en saillie le long de l'extrados d'un pont, destinée à éviter le ruissellement sur le parement et servant d'élément décoratif, dans laquelle peut être encastré le garde-corps.
Contre-Flèche	Profil donné à un coffrage en vue de compenser les flèches dues aux charges.
Culée	Appui d'extrémité d'un tablier, d'une voûte ou d'un arc assurant la double fonction de transmission des charges provenant du tablier et de soutien des terres.
Culée creuse	Type de culée permettant d'éviter la poussée des terres sur le mur de front.
Dalle	Pièce dont l'épaisseur est faible par rapport aux autres dimensions.
Dalle de transition	Dalle en béton armé assurant la transition entre le remblai d'accès à l'ouvrage et le tablier. Elle est appuyée à une extrémité à l'arrière du mur garde-grève sur un corbeau d'appui et à l'autre extrémité sur le remblai.
Débouché (linéaire ou superficiel)	Largeur ou surface offerte à l'écoulement de l'eau sous un pont.
Dispositif de retenue	Dispositif destiné à éviter la chute d'un usager depuis un ouvrage. On distingue les garde-corps, destinés à retenir des piétons, des barrières destinées à retenir des véhicules.
Élancement	Rapport de l'épaisseur d'une pièce à sa longueur (ou à sa hauteur). Dans le cas d'un tablier de pont, l'élancement correspond au rapport de la hauteur sur la portée déterminante.
Elastomère	Caoutchouc synthétique obtenu par polymérisation, utilisé notamment dans les joints de chaussée et les appareils d'appui.

Elégissement	Evidement pratiqué dans une structure pour l'alléger ; éléments utilisés pour réaliser ces évidements (tôle, carton, bois, polystyrène, ...).
Encastrement	Liaison entre deux éléments en général sensiblement perpendiculaires, ne permettant ni déplacement ni rotation d'un élément par rapport à l'autre.
Enrochements	Blocs destinés à protéger la base d'ouvrages en mer ou en rivière.
Entretoise	Dans une ossature à poutres ou à caissons, élément transversal rigide destiné à transmettre les charges aux poutres et à répartir et limiter les déformations de flexion et de torsion.
Etalement	Dispositif provisoire destiné à supporter une structure tant qu'elle n'est ni stable, ni autoportante.
Etanchéité (système d')	Système mettant le tablier à l'abri de l'eau provenant de l'extrados.
Extrados	Surface supérieure d'un pont.
Fil d'eau	Forme en creux allongée destinée à collecter sur le bord de la chaussée les eaux pluviales jusqu'à un exutoire.
Flèche	Abaissement d'une poutre sous l'effet des charges.
Fondation	Partie de l'ouvrage assurant la liaison entre l'appui et le sol. On distingue les fondations superficielles (semelles et radier) des fondations profondes (pieux ou puits).
Fruit	Inclinaison du parement d'un mur ou d'un appui de pont par rapport à la verticale. Lorsque l'inclinaison est dirigée vers l'extérieur : fruit négatif ou contre-fruit.
Fût	Partie intermédiaire d'une pile, entre le sommier ou le chevêtre situé à la partie supérieure, et la fondation.
Gabarit	Le gabarit caractérise la hauteur statique maximale d'un véhicule, chargement compris, dont le passage peut être accepté, dans les conditions normales de circulation, sous un ouvrage. Cette grandeur est associée au véhicule.
Garde-corps	Dispositif de protection d'un passage pour piétons. On distingue les garde-corps pour piétons et les garde-corps de service.
Garde-grève	Mur faisant partie de la culée et destiné à protéger les abouts des tabliers du contact des terres en les retenant, à tenir le joint de chaussée et à supporter la dalle de transition le cas échéant.
Gargouille	Dispositif d'évacuation des eaux.
Glissière de sécurité	Ancienne dénomination de barrière de sécurité destinée à retenir des véhicules légers.

Goutte d'eau (ou larmier)	Rainure pratiquée, dans une plinthe ou une corniche, destinée à provoquer la chute des gouttes d'eau et à éviter leur ruissellement sur les parements.
Hourdis	Dalle en béton armé et/ou précontraint appuyée sur la totalité ou la quasi-totalité de son pourtour pouvant (hourdis supérieur) ou non (hourdis inférieur) être soumise à l'action de charges concentrées et mobiles importantes.
Intrados	Surface inférieure d'un pont.
Joint	Vide de construction entre deux parties, ou élément reliant plus ou moins complètement deux parties.
Joint de chaussée	Dispositif placé entre la culée et le tablier, ou entre deux tronçons du tablier, pour permettre les déplacements relatifs, dus principalement aux variations de température, en assurant la continuité de la surface de la chaussée.
Lisse	Barre horizontale d'un garde-corps ou d'une barrière.
Longeron	Petite poutre secondaire parallèle aux poutres principales, appuyée sur une entretoise ou sur une pièce de pont.
Longrine	Pièce reliant d'autres pièces dans le sens de la longueur.
Membrure	Partie extrême d'une poutre en I, en treillis ou en caisson.
Montant	Pièce verticale (exemples : montants d'une échelle, d'une garde-corps, etc.).
Mur de front	Dans une culée, mur portant le tablier et soutenant les terres.
Mur de soutènement	Ouvrage de retenue des terres.
Mur de tête ou d'extrémité	Murs composant une culée et servant avec le mur de front à supporter les charges routières et les remblais.
Mur en aile	Mur de tête formant un angle compris entre 30 et 60 degrés avec l'axe de la voie franchie, voire parallèle à la voie franchie.
Mur en retour	Mur de tête sensiblement parallèle à l'axe de la voie portée.
Ossature	Partie résistante d'un ouvrage.
Ouverture	Distance libre entre les parements de deux appuis successifs (l'ouverture est distincte de la portée).
Ouvrage d'art	Ouvrage de Génie Civil lié à l'établissement et à l'exploitation d'une voie de circulation terrestre, fluviale ou maritime (pont, mur de soutènement, etc.) ou d'une adduction d'eau (aqueduc).
Palée	1) groupe de fûts généralement réunis par un chevêtre ou une traverse ; 2) appui provisoire.

Palpieu	Caisson réalisé par assemblage soudé de deux, trois ou quatre palplanches de même type.
Palplanche	Profilé en bois et plus généralement métallique constituant un élément de rideau, de caisson ou de palpieu.
Parement	Surface d'un ouvrage (parement vu ; parement caché).
Passage inférieur ou PI	Ouvrage qui porte l'infrastructure routière considérée.
Passage supérieur ou PS	Ouvrage qui passe au dessus de l'infrastructure routière considérée.
Patin	Partie avant de la semelle d'un mur de soutènement en béton armé en T renversé.
Perré	Revêtement de talus des culées remblayées.
Pièce de pont	Poutre transversale réunissant les poutres principales du tablier.
Piédroit	Paroi verticale de certains ouvrages : tunnels, cadres, portiques.
Pieu	Élément allongé en bois, béton ou métal, destiné à transmettre des efforts au sol de fondation en profondeur.
Pile	Appui intermédiaire.
Pile-culée	1) palée enterrée sur toute sa hauteur, ou sur une grande partie de sa hauteur, servant d'appui d'extrémité ; 2) pile ayant à supporter une force très inclinée.
Platelage	Couverture en bois dans les anciens ponts ou les passerelles ; par extension, ensemble des éléments destinés à supporter les efforts dus à la circulation et à les transmettre à l'ossature.
Pont	Ouvrage permettant de franchir un obstacle naturel ou une voie de circulation. Suivant la nature de la voie portée : pont-route, pont-rail, pont-canal.
Portée	Distance entre deux appareils d'appui successifs, ou entre les centres de gravité de deux sections d'encastrement successives.
Portique	Structure comportant deux montants verticaux et une traverse supérieure.
Poutre	Pièce allongée porteuse, formant avec d'autres l'ossature d'un ouvrage.
Poutrelle	Petite poutre, poutre de fabrication industrielle, profilé.
Puits	Élément de fondation profonde, exécuté en place, de gros diamètre.
Radier	Fondation superficielle de grande surface.
Renformis	Remplissage destiné à donner à l'extrados de la structure le profil voulu.

Scellement	Liaison définitive d'une pièce métallique dans une pièce de béton. Se dit également de barres d'acier scellées dans le sol ou dans une maçonnerie au moyen d'un mortier ou d'une résine.
Semelle	1) Dalle de béton reportant au sol de fondation les efforts de la structure. 2) Plaque métallique constituant la membrure d'une poutre.
Sommier	Pièce horizontale prismatique renforcée destinée à recevoir des charges concentrées et à les répartir.
Table (de compression) :	Partie supérieure, horizontale, d'une poutre en T.
Tablier	Le tablier comprend la couverture et la partie de l'ossature sensiblement horizontale (poutre, caissons, arcs très surbaissés) située sous la voie portée.
Talon	1) Partie inférieure d'une poutre en béton armé ou précontraint en forme de T ; 2) Partie arrière (côté terres) de la semelle d'un mur de soutènement en béton armé en T renversé.
Travée	Partie d'un tablier entre deux appuis successifs.
Traverse	Pièce reliant d'autres pièces et destinée à maintenir leur écartement (dalle ou poutre).

Nota bene : Une liste plus exhaustive de termes techniques figure dans la "Nomenclature des parties d'ouvrages d'art en béton armé et précontraint, et en maçonnerie" (LCPC/SETRA 1976).

INDEX

A	
Accotement	
section courante.....	39
Actions dues à l'eau	112
Affouillement	110; 154; 180
général.....	111
local.....	111
Altimétrie	
altitudes normales.....	97
altitudes orthométriques	97
carte.....	98
Analyse multi-critères	176; 253
Appareil d'appui	81; 146; 148; 180
changement	139; 184
Appels d'offres.....	24
Architecture	
conception.....	160
données	126
ouvrage courant.....	20
proportions	161
Avant-métré.....	23; 241
Avant-Projet Sommaire.....	12
routier.....	21
Axe du projet	
coupe transversale	33
profil en long.....	36
B	
B.A.U.	
section courante.....	39
sous ouvrage d'art	71
B.D.D.	
dispositif de retenue	60
section courante.....	39
sur ouvrage.....	59
Balancement	208
Bande cyclable	42; 151
section courante.....	42
sous ouvrage d'art	75
Bande médiane	39
Bande multifonctionnelle	42
section courante.....	42
sous ouvrage d'art	75
Barrière	
de niveau N et H.....	44
de sécurité	44
de type 1 ou 2.....	43
Batardeau	180
Béquille	233
Berne	39
BHAB	61; 64
BHO	51; 61; 63; 64
Biais	144
de franchissement.....	34
géométrique.....	33
ouvrage courant.....	15; 20
Bipoutre mixte	218; 239
BN1	51; 60; 63; 64
BN2	51; 60; 63; 64
BN4	51; 61; 63; 64
BN4-16	61; 64
BN5	51; 61; 63; 64
Bordereau des prix	25
Brèche	160; 174
C	
C.C.A.P.....	24
C.C.T.G.....	24
C.C.T.P.....	24
Caillebotis	67
Caractéristiques fonctionnelles	30
Chantier	
accessibilité.....	95
bruit.....	124; 152
circulation	152
emprise.....	152
engins lourds	96
piétons.....	95
riverains	95; 159
sécurité.....	94
Charges d'exploitation	82
civiles routières	83
exceptionnelles.....	85
militaires	84
selon les EUROCODES.....	82; 90
sur les garde-corps	87
sur les passerelles	84
sur les remblais.....	86
sur les trottoirs.....	83
Chaussée	37
Chemin de halage.....	78
Choc de bateau	181
sur pile de pont.....	89
Choc de véhicule	
hors gabarit	73
sur dispositif de retenue	87
sur pile de pont.....	88
sur tablier	90
Choix de la structure	207
Choix des portées	162; 177
Cintre	188
Circulation des piétons	
section courante	41
sous ouvrage d'art.....	75
sur ouvrage d'art	52

Clavage	202; 206
Climat	154
Constructions existantes	181
Contrats entre intervenants	28
Contre-béquille	231
Coordonnateur en matière de sécurité et de protection de la santé.....	9; 94
Corniche	150
architecture.....	168
Corrosion.....	116
Courbure	35; 148
ouvrage courant.....	20
Cours d'eau	179
Coût	78; 143; 184; 208
d'entretien	252
d'objectif.....	12; 241
de projet	12; 242
financement	29
fondations.....	104
maintenance	251
prévisionnel.....	12
transport	192
Crue	110; 112; 154
Culée	161; 220; 231
architecture.....	166
Cuvelage	154
Cyclistes	
gabarit	73
section courante.....	41
sous ouvrage d'art.....	75
sur ouvrage d'art	57

D

D.C.E.	24
Dalle nervurée	218; 229
Délais	
d'études	142
prévision.....	29
Détail estimatif.....	25
Dévers	39
Dispositif de retenue	
ancienne terminologie (tableau).....	44
architecture.....	168
condition d'essais (tableau).....	46
exemples sur ouvrage d'art (tableau)	63
passage de service	55
piétons.....	56
raccordement.....	169
recul.....	62
section courante.....	43
sous ouvrage d'art	73; 74
sur ouvrage d'art	48; 58; 59; 60
terminologie actuelle.....	44
Domianialité	30
Drainage	154

E

Eau	
protection de l'environnement.....	122

recueil et évacuation.....	80
Echafaudage porteur	186
Eclairage	80
Ecran acoustique	151
dispositif de retenue	157
sur ouvrage.....	156
Elancement	143; 212
tableau	211
Enquête publique	141; 155
Entrepreneur.....	9
Entretien	153
facilité	140
Environnement	155
voisinage	29
EPOA.....	13
Equipements	80; 153
architecture.....	169
pérennité.....	139; 150
urbains.....	151
Estimation	241
Etaiements	185
Etanchéité	80
Etude d'impact	155
eau.....	122
environnement.....	121
Etudes d'exécution.....	25
Etudes de faisabilité et d'opportunité.....	10
Etudes préliminaires	
ouvrages courants.....	22
ouvrages non courants.....	22
routières	12

F

Fluage	203
Fondation	153
sol.....	178

G

Gabarit	70; 151
aviation civile.....	79
cours d'eau	109
en site maritime	110
routier.....	72
voie ferrée	77
voie navigable	78
Gamme de portée	
tableau	211
Garde-corps	52; 53; 56; 61; 63; 65
architecture.....	168
GBA/DBA	51; 56; 61; 64
Gel-dégel.....	113; 116
Géotechnique	153
Gestion et maintenance	135
Gestionnaire	9; 153; 173
Giratoires dénivelés	149
Glissière de sécurité	44
GS	51; 63; 64
Guides de conception	15
tableau.....	17

H

Hauteur libre70

I

Implantation des appuis176

Index des prix243

Indice de danger 58; 60

Injection154

Inspection détaillée135

IQOA.....135

J

Joint de chaussée 52; 80

L

Lançage 185; 196

Largeur chargeable48

nouvelle définition.....49

Largeur roulable48

nouvelle définition sur ouvrage d'art.....49

section courante.....39

Largeur utile48

Levage198

Lignes électriques.....79

Limite de paroi49

exemples (tableau)51

Loi sur l'eau 122; 155

Loi sur le bruit.....123

M

Maintenance 136; 173

Maître d'oeuvre 8; 27; 29

Maître d'ouvrage 7; 27; 29

Matériaux215

architecture..... 132; 170

pérennité.....139

Mode de construction185

Monument historique119

Muret VL 51; 56

Murs de tête222

N

Neige113

O

Ouvrage d'art courant 10; 12

ARP13

Ouvrage d'art non courant 10; 13; 14; 199

Ouvrage droit33

Ouvrage non conforme à un modèle type 16; 147

Ouvrage urbain151

Ouvrages hydrauliques

protection de l'environnement.....125

Ouvrages type..... 15; 24

ponts.....17

Ouvrages voûtés195

P

P.B.E.....109

P.B.E.N.....109

P.B.M.M.E.....110

P.B.M.V.E.....110

P.H.E.C.....109

P.H.E.N.78; 109

P.H.M.M.E.....110

P.H.M.V.E.....110

Passage de service 52; 55; 150; 156

voie navigable78

Passage pour la grande faune125; 158

Passages inférieurs voûtés224

Passerelles84

Paysage 120; 128; 133; 134; 160

Pérennité138

architecture.....132

fondation179

matériau.....191

Perrés167

Phasage de construction185; 199

longitudinal200

transversal202

Phasage165

financement.....29

profil en travers39; 67

PI/PS31; 71

PICF 213; 218; 219

Pieux154

Pile

architecture.....165

forme181; 183

marteau.....145

protection74

PIPO 213; 218; 220

Piste cyclable42

section courante42

sur ouvrage d'art57

PIV213

Planimétrie

Nouvelle Triangulation Française98

Réseau Géodésique Français.....99

zones Lambert.....98

POA13; 23

POD 213; 218; 221

Pollution152

eau.....155

Pont à béquilles 164; 218; 231

Pont à nervures213

Pont à poutrelles

ajourées précontraintes234

enrobées234

Pont à poutres218

en béton armé.....193

métalliques ou mixtes.....196

préfabriquées.....213

préfabriquées précontraintes 192; 193; 236

Pont dalle 213; 218; 227

Ponts cadres et portiques 195; 213; 218; 219

ripage	203
Portée	
angulaire.....	35; 148
déterminante.....	207
Poussage	205
PPE	234
PRAD	193; 208; 218; 236
Préfabrication	185; 191
Prix composés	242; 243
Profil en long	36; 143
Profil en travers	37; 150
réduit	47
section courante.....	37
section courante (tableau).....	40
sur ouvrage d'art	47
Programme	8; 27
Programmes de calcul	
tableau.....	17
Projet	
ouvrages courants.....	23
routier.....	12
Proportions	
architecture.....	129
PSBQ	208; 218; 231
PSIBA	218
PSIDA	218
PSIDN	208; 218; 229
PSIDP	208; 213; 218
PSIPAP	198; 218; 234
Q	
Qualité.....	7
R	
Rabattement de nappes	154
Reconnaissance géotechnique	99; 180
coordination avec les études d'ouvrage d'art ..	101
enquête préalable.....	103
reconnaissance normale.....	104
reconnaissance spécifique	109
Règlement de la Consultation.....	24
Remblai	217
Réseaux	30; 81; 150
concessionnaires.....	95
repérage.....	121
Retrait	203
Revanche	71; 151
de construction et d'entretien	72
de protection.....	72
Ripage transversal	203
Rotation	185; 206
S	
Schéma Directeur Routier National	32
Sécurité	153
des tiers	93; 151
des usagers	94; 151
Séisme	117; 154

carte du zonage sismique de la France	117
Sels de déverglaçage	116
Signalisation	80
Site archéologique.....	120
Site classé.....	119
Site inscrit	119
Site maritime	
agressivité du milieu	116
Sondages	
géotechniques.....	100
in situ.....	105
Substitution de sol	154; 190
Surface utile	242
Sur-gabarit	189

T

T.P.C.	156
dispositif de retenue	66; 68
section courante	39
sous ouvrage d'art	71
sur ouvrage.....	59
Tablier monolithique	66; 156; 206
Tabliers indépendants	47; 66; 147
environnement.....	156
Tassements	153; 216
Température	
gradient thermique	115
variation uniforme.....	114
Terrains	
nature	20
Terrassement	183
Tetra® S13	61; 64
Tetra® S16	51; 61; 64
Textes réglementaires	30
Topographie	178
Tracé en plan	33; 144
Travée	
indépendante	208
nombre	208
Trottoir	150
franchissable	54
protection des piétons	56
sur ouvrage d'art	52
Types de route	
textes réglementaires.....	32

V

Variantes	21
choix du parti	21
Vent.....	113
Vide central	47; 66; 156
VIPP	193; 208; 218; 236
Visite des ouvrages	138; 173; 184
Voies navigables	78

Z

Zone militaire.....	80
---------------------	----

TABLE DES MATIERES

PREAMBULE.....	3
SOMMAIRE.....	5
1 - LES OUVRAGES D'ART DANS LES OPERATIONS D'INVESTISSEMENT ROUTIER.....	7
1.1 - LES DIFFERENTS INTERVENANTS.....	7
1.2 - COORDINATION DES ETUDES ROUTIERES ET D'OUVRAGES D'ART	10
1.2.1 - Ordonnancement des études.....	10
1.2.2 - Les ouvrages courants et non courants.....	13
1.2.2.1 - Définition des ouvrages d'art <i>non courants</i>	14
1.2.2.2 - Définition des ouvrages d'art <i>courants</i>	15
1.2.2.3 - Commentaires sur les critères énoncés par la circulaire du 5 mai 1994	18
a) <i>Structures ou ouvrages particuliers</i>	18
b) <i>Seuils géométriques (surface, portée, hauteur)</i>	19
c) <i>Limitations du biais et de la courbure</i>	20
d) <i>Difficultés particulières provenant du terrain</i>	20
e) <i>Recherche architecturale</i>	20
1.2.3 - Les études préliminaires d'ouvrages d'art - EPOA.....	21
1.2.4 - Le projet d'ouvrage d'art - POA	23
1.3 - PHASES POSTERIEURES AU PROJET	24
1.3.1 - Consultation des Entreprises.....	24
1.3.2 - La mise au point du marché et les études d'exécution	25
1.4 - CONCLUSION	26
2 - DONNEES RELATIVES AUX ETUDES D'OUVRAGES D'ART.....	27
2.1 - LES DONNEES ADMINISTRATIVES.....	28
2.1.1 - Organisation et déroulement des études.....	28
2.1.2 - Cadre technico-administratif et réglementaire de l'ouvrage	29

2.2 - LES DONNEES FONCTIONNELLES.....	31
2.2.1 - Données relatives à la voie portée.....	32
2.2.1.1 - Types de routes	32
2.2.1.2 - Tracé en plan.....	33
a) le biais.....	33
b) la courbure.....	34
2.2.1.3 - Profil en long.....	36
2.2.1.4 - Profil en travers en section courante	37
a) Définition des éléments du profil en travers en section courante.....	37
b) Prise en compte des piétons en section courante	41
c) Prise en compte des cyclistes en section courante.....	41
d) Dispositifs de retenue en section courante	43
2.2.1.5 - Profil en travers sur ouvrage	47
a) Définition des éléments du profil en travers sur ouvrage.....	47
b) Prise en compte des piétons sur ouvrage	52
c) Prise en compte des cyclistes sur ouvrage.....	57
d) Dispositifs de retenue sur ouvrage.....	58
2.2.2 - Données relatives à l'obstacle franchi.....	70
2.2.2.1 - Les routes : caractéristiques sous ouvrages	71
a) Les gabarits.....	72
b) Dispositifs de retenue sous ouvrage	73
c) Prise en compte des piétons et des cyclistes	75
2.2.2.2 - Les voies ferrées.....	76
2.2.2.3 - Les voies navigables.....	78
2.2.2.4 - Autres servitudes	79
2.2.3 - Données relatives aux équipements	80
2.2.4 - Données d'exploitation en phase de service.....	82
2.2.4.1 - Charges d'exploitation routières selon la réglementation nationale	82
a) charges civiles routières.....	83
b) charges sur les trottoirs.....	83
c) charges des passerelles pour piétons	84
d) charges militaires.....	84
e) charges exceptionnelles	85
f) charges sur les remblais.....	86
g) charges sur les garde-corps	87
h) actions accidentelles d'origine fonctionnelle.....	87
2.2.4.2 - Charges d'exploitation routières et la réglementation européenne.....	90
2.2.5 - Données d'exploitation en construction.....	93
2.2.5.1 - La sécurité.....	93
2.2.5.2 - La fonctionnalité des réseaux et voies	95
2.2.5.3 - Le confort des riverains.....	95
2.2.5.4 - Charges de chantier	96
2.3 - LES DONNEES NATURELLES	97
2.3.1 - Topographie du terrain naturel.....	97
2.3.1.1 - L'altimétrie.....	97
2.3.1.2 - La planimétrie	98

2.3.2 - Données géologiques et reconnaissance géotechnique	99
2.3.2.1 - L'objectif.....	99
2.3.2.2 - Différents types de sondages, d'essais et d'études	100
2.3.2.3 - Les intervenants et la mise au point du programme.....	101
2.3.2.4 - Coordination entre reconnaissance et études des ouvrages	101
2.3.2.5 - Etapes de la reconnaissance	103
a) <i>L'enquête préalable (1ère étape)</i>	103
b) <i>La reconnaissance "normale" (2ème étape)</i>	104
c) <i>La reconnaissance "spécifique"</i>	109
2.3.3 - Données hydrauliques	109
2.3.3.1 - Topographie du lit du cours d'eau.....	109
2.3.3.2 - Régime du cours d'eau	109
2.3.3.3 - Risques d'affouillement.....	110
2.3.3.4 - Actions dues à l'eau	112
2.3.4 - Données climatiques	113
2.3.4.1 - Le climat.....	113
2.3.4.2 - Le vent.....	113
2.3.4.3 - La température.....	114
a) <i>variation uniforme de température</i>	114
b) <i>gradient thermique</i>	115
2.3.4.4 - Milieu ambiant	116
2.3.5 - Données sismiques	117
2.4 - LES DONNEES D'ENVIRONNEMENT.....	119
2.4.1 - Qualité du site - sites classés - monuments historiques	119
2.4.2 - Vestiges archéologiques	120
2.4.3 - Constructions et réseaux existants	120
2.4.4 - Protection de l'Environnement.....	121
2.4.4.1 - L'eau	122
2.4.4.2 - Le bruit.....	123
2.4.4.3 - La faune et la flore	125
2.5 - LES DONNEES ARCHITECTURALES ET PAYSAGERES	126
2.5.1 - Préambule.....	126
2.5.2 - Les particularités des ponts courants.....	127
2.5.2.1 - Leur place dans le paysage.....	127
2.5.2.2 - Leur perception	128
2.5.2.3 - Leur nombre	128
2.5.3 - Quelques orientations pour une bonne qualité architecturale	129
2.5.3.1 - Le choix d'un parti	129
2.5.3.2 - Le jeu des proportions.....	129
2.5.3.3 - La cohérence entre formes et technique	129
2.5.3.4 - Un volume vu comme une sculpture	130
2.5.3.5 - La notion d'échelle.....	130

2.5.3.6 - Tout dans l'ouvrage est important.....	131
2.5.3.7 - Des matériaux de qualité et une mise en œuvre soignée.....	132
2.5.3.8 - Le souci de la pérennité.....	132
2.5.3.9 - Homogénéité ou diversité.....	133
2.5.4 - La relation avec le site.....	133
2.5.4.1 - L'intégration dans le site.....	133
2.5.4.2 - L'évaluation du site.....	133
2.5.4.3 - La zone d'influence de l'ouvrage.....	134
2.6 - LES DONNEES DE GESTION	135
2.6.1 - Nécessité d'une gestion.....	135
2.6.2 - Incidence de la conception.....	135
2.6.3 - Les critères d'une bonne gestion.....	137
2.6.3.1 - Soins apportés à la conception.....	137
2.6.3.2 - Facilité de visite et de surveillance.....	137
2.6.3.3 - La durabilité des ouvrages.....	138
a) par une structure durable par elle-même.....	138
b) par une structure présentant des réserves de résistance.....	139
c) par des dispositions facilitant la réparation et le renforcement.....	139
d) par des équipements adaptés à l'ouvrage et à son utilisation.....	139
2.6.3.4 - La facilité de visite et d'entretien.....	140
3 - DEMARCHE DE CONCEPTION D'UN PONT	141
3.1 - ANALYSE DES DONNEES ET MARGE DISPONIBLE.....	141
3.1.1 - Les données administratives.....	142
3.1.2 - Les données fonctionnelles.....	143
3.1.2.1 - Mise au point du profil en long.....	143
3.1.2.2 - Mise au point du tracé en plan.....	144
a) adaptation au biais.....	144
b) adaptation à la courbure.....	148
c) giratoires.....	149
3.1.2.3 - Mise au point du profil en travers.....	150
a) cas général.....	150
b) cas des ouvrages urbains.....	151
3.1.2.4 - Voie franchie.....	151
3.1.2.5 - Les données d'exploitation.....	151
a) Pendant les travaux.....	152
b) Ouvrage en service.....	153
3.1.3 - Les données naturelles.....	153
3.1.4 - Les données liées à l'Environnement.....	155
3.1.4.1 - Eau.....	155
3.1.4.2 - Bruit.....	156
3.1.4.3 - La faune et la flore.....	158
3.1.4.4 - Impact du chantier sur l'Environnement.....	159
3.1.5 - La conception architecturale.....	160

3.1.5.1 - Le choix d'un parti architectural	160
a) l'effet de cloison	160
b) le nombre de travées	161
c) les cas particuliers	164
3.1.5.2 - Les composants des ponts courants	165
a) les piles	165
b) les culées	166
c) le tablier	168
d) la corniche	168
e) les garde-corps et protections latérales	168
f) les équipements et accessoires	169
g) les matériaux de parement	170
h) la protection contre les dégradations volontaires	173
3.1.6 - Les données de gestion	173
3.2 - DEFINITION DE LA BRECHE	174
3.3 - POSSIBILITES D'IMPLANTATION DES APPUIS	176
3.3.1 - Principe d'implantation des appuis	176
3.3.2 - Analyse des possibilités d'implantation des appuis	177
3.3.2.1 - Topographie du site	178
3.3.2.2 - Géologie - Géomorphologie - Géotechnique	178
3.3.2.3 - Hydrologie - Hydraulique	179
a) Les paramètres hydrauliques	180
b) Les risques d'affouillement et d'érosion	180
c) Les conditions d'exécution	180
d) Les risques d'événements accidentels	181
3.3.2.4 - Urbanisation - Voiries et réseaux existants	181
a) Présence d'obstacles	181
b) Contraintes d'exécution	182
3.3.2.5 - Forme des appuis	183
3.3.2.6 - Analyse technico-économique	184
3.4 - ANALYSE DU MODE DE CONSTRUCTION ET PHASAGE	185
3.4.1 - Construction sur étalements (échafaudages porteurs ou cintres)	185
3.4.1.1 - Les échafaudages porteurs	186
3.4.1.2 - Les cintres	188
3.4.1.3 - Variantes de construction	189
a) construction en sur-gabarit	189
b) Utilisation de terrains en place comme étalements provisoires	190
3.4.2 - Préfabrication	191
3.4.2.1 - Ponts à poutres préfabriquées en béton armé ou précontraint	193
3.4.2.2 - Ponts cadres, portiques et ouvrages voûtés préfabriqués	195
3.4.3 - Techniques spécifiques aux ponts à poutres métalliques ou mixtes	196
3.4.3.1 - Le lançage	196
3.4.3.2 - Le levage	198
3.4.4 - Autres modes de construction	199
3.4.4.1 - Phasage de construction	199

a) phasage longitudinal seul.....	200
b) phasage transversal.....	202
3.4.4.2 - Mise en place par ripage transversal	203
3.4.4.3 - Mise en place par poussage	205
3.4.4.4 - Mise en place par rotation	206
3.5 - PRINCIPES DE CHOIX DE LA STRUCTURE.....	207
3.5.1 - Choix du nombre de travées.....	208
3.5.2 - Distribution des travées.....	208
3.5.3 - Elancement	212
3.5.4 - Structure longitudinale	213
3.5.5 - Structure transversale	213
3.5.6 - Incidence du choix du matériau.....	215
3.5.7 - Conseils pour le choix de la structure	216
3.6 - LES PRINCIPAUX TYPES DE PONTS COURANTS	218
3.6.1 - Les ponts cadres et portiques en béton armé.....	219
3.6.1.1 - Morphologie des ouvrages	219
3.6.1.2 - Domaine d'emploi.....	223
3.6.2 - Les passages inférieurs voûtés.....	224
3.6.2.1 - Morphologie.....	224
3.6.2.2 - Domaine d'emploi.....	225
3.6.3 - Les ponts dalles armés ou précontraints.....	227
3.6.3.1 - Morphologie.....	227
3.6.3.2 - Domaine d'emploi.....	228
3.6.4 - Les dalles nervurées	229
3.6.4.1 - Morphologie.....	229
3.6.4.2 - Domaine d'emploi.....	230
3.6.5 - Les ponts à béquilles - PSBQ.....	231
3.6.5.1 - Morphologie.....	231
3.6.5.2 - Domaine d'emploi.....	232
3.6.5.3 - Béquilles.....	233
3.6.6 - Ponts à poutrelles enrobées (PPE) et à poutrelles ajourées précontraintes (PSIPAP)	234
3.6.6.1 - Morphologie.....	234
3.6.6.2 - Domaine d'emploi.....	234
3.6.7 - Les ponts à poutres précontraintes	236
3.6.7.1 - Morphologie des ouvrages	237
3.6.7.2 - Domaine d'emploi.....	238

3.6.8 - Les ponts bipoutres mixtes acier-béton	239
3.6.8.1 - Morphologie.....	239
3.6.8.2 - Domaine d'emploi.....	240
3.7 - ESTIMATION DES COUTS DE CONSTRUCTION ET DE MAINTENANCE	241
3.7.1 - Généralités.....	241
3.7.2 - Bases des estimations	241
3.7.3 - Evaluation sommaire du prix d'un ouvrage courant	241
3.7.4 - Prix composés de base.....	243
3.7.5 - Estimation d'un ouvrage courant	250
3.7.6 - Conclusions	251
3.7.7 - Maintenance des ouvrages d'art.....	251
3.8 - ANALYSE MULTI-CRITERES.....	253
3.8.1 - Intérêt de cette analyse	253
3.8.2 - Défauts ou dangers de la méthode.....	253
3.8.3 - Conclusion.....	253
 ANNEXES I	 255
Annexes I -1 - Eléments d'appréciation pour la classification des ouvrages en ouvrages courants types, ouvrages courants non types et ouvrages non courants	257
Annexes I -2 - Tableau récapitulatif des caractéristiques des ouvrages d'art recensés au stade de l'APS d'un projet d'infrastructure routière (à joindre au dossier d'APS)	261
 ANNEXES II	 265
Annexes II - 1 - Les routes, les artères interurbaines et les routes express (A.R.P. 1994) [23]	267
a) Dimensionnement de la chaussée, de la BDG éventuelle et de la BDD (ou BAU)	267
b) Dimensionnement du TPC pour les artères interurbaines.....	268
c) Dévers en section courante	268

Annexes II - 2 - Les autoroutes de liaison (I.C.T.A.A.L. 1985) [21].....	269
a) Dimensionnement de la chaussée, de la BDG et de la BAU	269
b) Dimensionnement du TPC	269
c) Profils en travers spéciaux (voies supplémentaires, bretelles, voies d'insertion et de décélération)	270
Annexes II - 3 - Les voies rapides urbaines (I.C.T.A.V.R.U.) [22]	271
a) Dimensionnement de la chaussée, de la BDG et des bandes d'arrêt (BA)	271
b) Dimensionnement du TPC	271
c) Dimensionnement de l'accotement.....	272
Annexes II - 4 - Données relatives à l'élaboration du programme d'un ouvrage d'art	273
BIBLIOGRAPHIE.....	281
SIGLES	287
LEXIQUE DE TERMES TECHNIQUES	289
INDEX	295

Ce document est propriété de l'Administration,
il ne pourra être utilisé ou reproduit, même partiellement,
sans l'autorisation du SETRA.

Dépôt légal 1999
ISBN 2 - 11085852 4

© 1999 SETRA
Imprimé par Alpha Presses

Page laissée blanche intentionnellement

Page laissée blanche intentionnellement

Ce guide s'adresse à la fois au projeteur ouvrages d'art et au projeteur routier pour les aider à intégrer le projet d'ouvrage d'art au sein du projet général de l'infrastructure routière. Il se limite aux ponts courants, même si de nombreux aspects sont aisément transposables aux ouvrages d'art non courants.

Le guide aborde en premier lieu les procédures d'instruction des projets, dans le cadre de la circulaire du 5 mai 1994. Puis il passe en revue les différentes données du projet dont le recensement constitue le point de départ des études et se matérialise par le programme de l'ouvrage. Enfin, il fournit des éléments techniques et économiques de choix permettant au projeteur d'adapter sa solution aux contraintes spécifiques du projet.



This guide is intended for both the bridge planner and the road planner, to help them integrate a bridge stucture project into a general road infrastructure project. It is limited to standard bridges, even though many aspects can easily be transposed to non-standard bridges.

The guide deals firsly with project appraisal procedures, pursuant to the circular of 5 May 1994. It then reviews all project data which are compiled as a basis for the studies and result in the works programme. Lastly, it provides technical and economic elements of choice to enable the planner to adapt his solution to specific project constraints.



Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes

Document disponible sous la référence F 9850 au bureau de vente du SETRA
46, avenue Aristide Briand - B.P. 100 - 92225 Bagneux Cedex - France
Téléphone : 01 46 11 31 53 et 01 46 11 31 55 - Fax : 01 46 11 33 55
Internet : <http://www.setra.equipement.gouv.fr>

Prix de vente : 300F