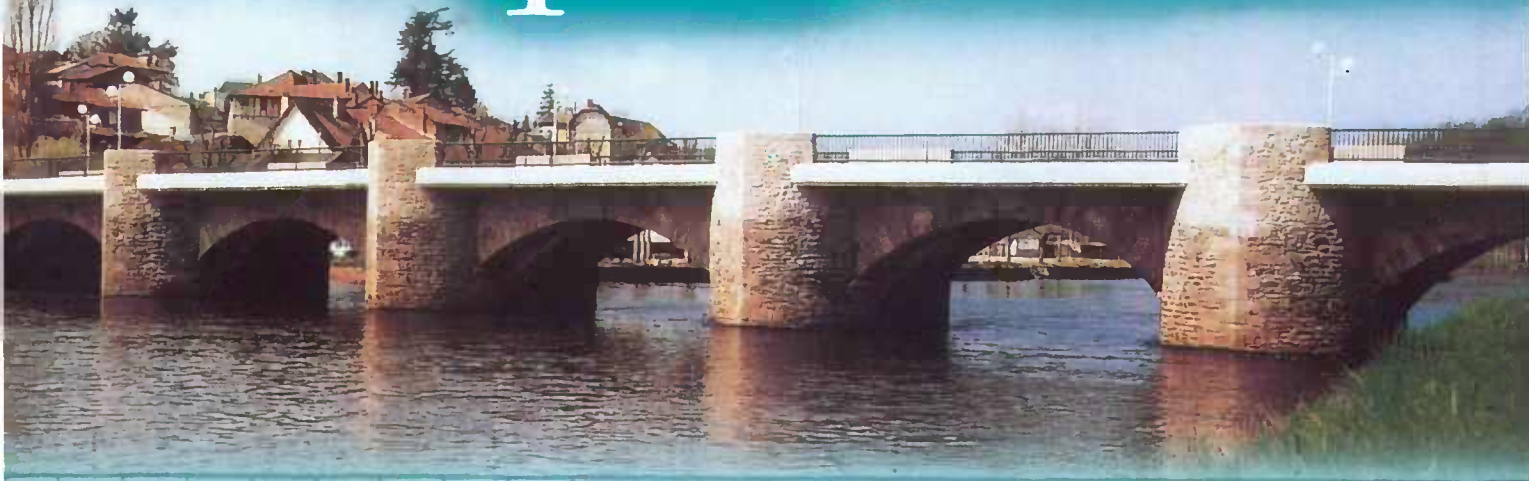




# l'élargissement des PONTS en maçonnerie

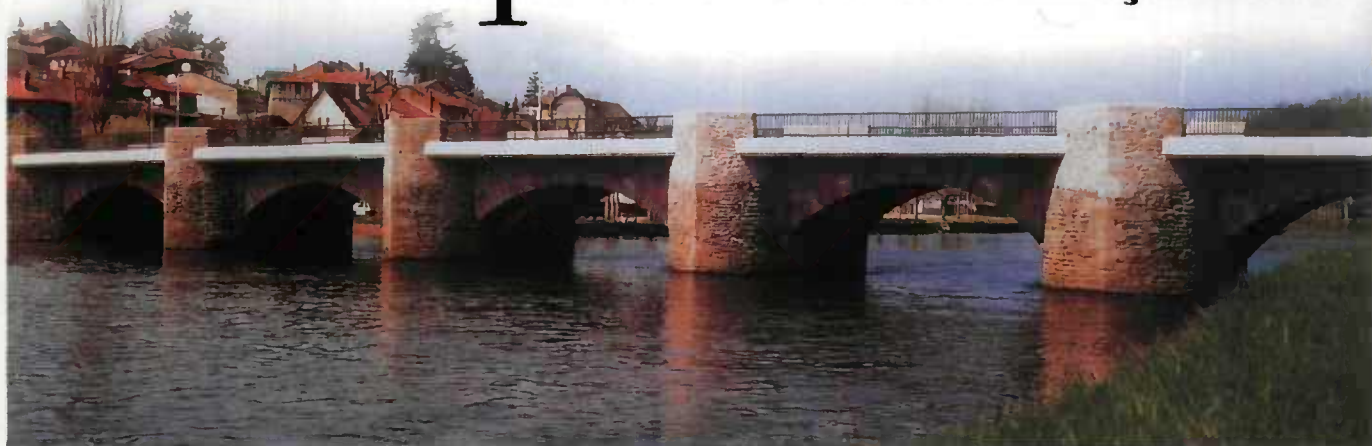


GUIDE TECHNIQUE



**Page laissée blanche intentionnellement**

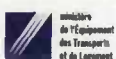
# élargissement des **PONTS** en maçonnerie



**GUIDE TECHNIQUE**

Décembre 2001

**Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes**



Centre des Techniques d'Ouvrages d'Art  
46, avenue Aristide Briand - BP 100 - 92225 Bagneux Cedex - France  
Téléphone : 01 46 11 31 31 - Télécopie : 01 46 11 31 69  
Internet : <http://www.setra.equipement.gouv.fr>

## Avertissement :

Le présent guide technique ne traite que de l'élargissement des ponts en maçonnerie, de nombreux autres problèmes spécifiques étant traités ou restant à traiter par ailleurs. Citons simplement à titre d'exemple le confortement de leurs fondations, les problèmes d'étanchement, les problèmes d'altération des matériaux constitutifs, etc. La bibliographie donnée en annexe 1 donne un aperçu de l'importance du sujet.

## composition du groupe de travail :

Jean-Claude Bastet	LRPC d'Aix-en-Provence
Jean-Michel Lacombe	DREIF
André Massoutier	DDE 17
Jean-Louis Michotey	THALES Engineering & Consulting
Angel Luis Millan	SETRA
Raphaël Ortiz	Conseil Général de la Moselle
Lucien Perderizet	DDE 89
Guy Pérez	CETE du Sud-Ouest
Raymond Rabasa	DDE 33
Jean-Marc Reinhard	CETE de Lyon
Alain Rouby †	SETRA
Alain Spielmann	Architecte
Jean-Pierre Sudret	LRPC d'Autun

## Remerciements :

Le groupe de travail remercie tous ceux qui l'ont aidé par leurs conseils, leurs suggestions, leurs témoignages d'expériences. Nous remercions entre autres :

- Messieurs les IGOA membres de la MISOA, qui nous ont fait part de leurs remarques par l'intermédiaire de M. Marc Thénoz.
- Bruno Andéol (CDOA 05), Nicolas Bourdet (CDOA 16), Gérard Delfosse (SETRA), Philippe Dutilloy (CDOA 38), Michel Fragnet (SETRA), Bernard Grèzes (CETE du Sud-Ouest), Denis Guillon (CDOA 36), Laurent Labourie (CETE Nord-Picardie), Pierre Paillusseau (CETE du Sud-Ouest), G. Phuong (CDOA 76), Daniel Poineau (SETRA), Jean-Claude Prigent (CDOA 50), C. Raulet et A. Zimmermann (CDOA 84).

Photo de couverture : pont d'Aixe-sur-Vienne.

# TABLE DES MATIERES

<b>PRÉFACE</b> .....	5
<b>CHAPITRE 1 : DES PONTS EN MAÇONNERIE</b> .....	7
1.1 - LE PATRIMOINE .....	7
1.2 - CONSTITUTION DES PONTS EN MAÇONNERIE .....	13
1.2.1 - <i>Le vocabulaire</i> .....	13
1.2.2 - <i>Les matériaux</i> .....	13
1.2.3 - <i>La structure</i> .....	18
1.2.4 - <i>Les équipements de l'ouvrage</i> .....	22
1.3 - FONCTIONNEMENT D'UN PONT EN MAÇONNERIE .....	28
1.4 - LES ANCIENS ÉLARGISSEMENTS.....	29
<b>CHAPITRE 2 : LA DÉMARCHE DU PROJET</b> .....	35
2.1 - LES OBJECTIFS.....	35
2.1.1 - <i>Pourquoi élargir ?</i> .....	35
2.1.2 - <i>Comment élargir ?</i> .....	36
2.2 - LES ÉTAPES DU PROJET.....	38
2.3 - L'ÉTUDE PRÉLIMINAIRE.....	38
2.3.1 - <i>Commande du maître d'ouvrage</i> .....	38
2.3.2 - <i>Diagnostic de l'ouvrage existant</i> .....	39
2.3.3 - <i>Les calculs</i> .....	40
2.3.4 - <i>Les données</i> .....	43
2.3.5 - <i>Étude architecturale</i> .....	46
2.3.6 - <i>Le domaine des solutions d'élargissement</i> .....	49
2.3.7 - <i>Estimer le coût des solutions</i> .....	50
2.3.8 - <i>Les reconnaissances</i> .....	51
2.4 - LE PROJET .....	51
2.4.1 - <i>Les pièces techniques</i> .....	52
2.4.2 - <i>L'étude architecturale</i> .....	53
2.4.3 - <i>Les calculs de l'élargissement</i> .....	54
2.4.4 - <i>Les travaux annexes</i> .....	54
2.4.5 - <i>La communication</i> .....	54
2.5 - LA CONSULTATION DES ENTREPRISES .....	54
2.5.1 - <i>Choix de la procédure de consultation</i> .....	54
2.5.2 - <i>Pièces constitutives du D.C.E.</i> .....	55
2.5.3 - <i>Les contraintes de chantier</i> .....	55
2.5.4 - <i>Les moyens</i> .....	56
2.5.5 - <i>Le suivi et le contrôle des travaux</i> .....	56
<b>CHAPITRE 3 : LA TYPOLOGIE DES ÉLARGISSEMENTS</b> .....	57
3.1 - LES STRUCTURES S'APPUYANT DIRECTEMENT SUR L'OUVRAGE EXISTANT .....	58
3.1.1 - <i>Les élargissements par dalle générale</i> .....	58
3.1.2 - <i>Les élargissements par encorbellement avec contrepoids</i> .....	78
3.1.3 - <i>Les élargissements par réseau de poutres transversales</i> .....	84
3.1.4 - <i>Les structures indépendantes portées par l'ouvrage existant</i> .....	87

3.2 - LES STRUCTURES S'APPUYANT SUR LES APPUIS DE L'OUVRAGE EXISTANT.....	87
3.2.1 - Les élargissements par poutres ou dalles latérales reposant sur les appuis.....	88
3.2.2 - Les élargissements par dalle générale reposant sur les appuis.....	91
3.3 - LES STRUCTURES ACCOLÉES À L'OUVRAGE EXISTANT.....	92
3.3.1 - Généralités sur les structures accolées.....	92
3.3.2 - Les élargissements par voûte en béton.....	94
3.3.3 - Les élargissements par cadres au portiques au ponts dalles en béton.....	97
3.3.4 - Les élargissements par structures à poutres préfabriquées.....	98
3.3.5 - Les élargissements par buses métalliques.....	100
3.3.6 - Les élargissements par éléments préfabriqués en béton.....	100
3.3.7 - Les autres types d'élargissements accolés.....	101
3.4 - LES AUTRES TYPES D'ÉLARGISSEMENT.....	101
3.4.1 - Élargissement par prolongation des voûtes.....	101
3.4.2 - Élargissements divers.....	101
3.5 - LE TRAITEMENT DES ABOUTS.....	102
3.5.1 - Le drainage au droit des zones d'about.....	102
3.5.2 - Les extrémités de traitair.....	104
<b>CHAPITRE 4 : LES TRAVAUX.....</b>	<b>105</b>
4.1 - LES TRAVAUX DE RÉPARATION CONNEXES.....	105
4.2 - LES PHASAGES TRANSVERSAUX DE CIRCULATION.....	105
4.2.1 - Les objectifs d'un phasage transversal.....	105
4.2.2 - Les domaines d'emploi.....	106
4.2.3 - Les contraintes d'un phasage transversal.....	107
4.3 - LA PRÉFABRICATION.....	109
4.3.1 - Les objectifs de la préfabrication.....	109
4.3.2 - Les bétons.....	110
4.4 - LES CONTRÔLES - L'ASSURANCE DE LA QUALITÉ.....	111
4.4.1 - Les bétons.....	111
4.4.2 - L'étanchéité.....	111
<b>ANNEXE 1 : RÉFÉRENCES.....</b>	<b>113</b>
<b>ANNEXE 2 : CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX DE REMPLISSAGE.....</b>	<b>115</b>
<b>ANNEXE 3 : EXEMPLE DE CALCUL.....</b>	<b>117</b>
<b>ANNEXE 4 - FICHES TECHNIQUES.....</b>	<b>129</b>

## PRÉFACE

*« Pont » est un mot qui éveille aussitôt en nous, consciemment ou pas, une foule de pensées et d'évocations.*

*Le Pont, c'est le moyen de franchir l'obstacle pour aller plus loin, pour découvrir ce qu'il y a de l'autre côté, pour étendre notre domaine et nous enrichir de nouveautés.*

*Le Pont, c'est l'outil pour communiquer, pour échanger les marchandises, pour aller et venir de lieux qui avant étaient difficiles d'accès en raison des brèches et des obstacles interposés.*

*Le Pont, c'est cet indispensable trait d'union qui permet la mobilité et la découverte : « Il suffit de passer le pont ... »*

*Rien d'étonnant donc que dans notre imaginaire soit enfouie l'histoire de tous les ponts, à commencer par le probable tronc d'arbre jeté en travers de la brèche par nos lointains ancêtres.*

*Aussi y a-t-il la réminiscence des premiers dalots en pierre puis des constructions plus élancées en pierre et en bois.*

*Beaucoup plus proches historiquement et géographiquement de nous, il y a les ponts romains, du moins les rares exemplaires qui nous restent.*

*À cette époque, celui qui faisait des ponts était un « pontifex », un pontife. Le mot a pris d'autres consonances en élargissant son sens, par exemple le « Souverain pontife ».*

*Tant que notre technologie ne nous a pas permis de construire ces magnifiques réalisations que sont les ponts en fer puis en acier, les ponts en béton armé puis en béton précontraint, les ponts suspendus puis les ponts à haubans, l'homme a réalisé des ponts en maçonnerie. Il en est de primitifs avec leur charme rustique, mais il en est aussi d'extraordinairement complexes et raffinés.*

*Notre France, pays de vieille civilisation, est particulièrement riche d'un patrimoine de ponts en maçonnerie dont bon nombre sont remarquables. Ils sont beaux, très beaux. Même s'ils ne servaient à rien, il faudrait les entretenir, les réparer, les consolider pour les conserver comme témoins d'un art, d'une époque, de créateurs géniaux, comme racine d'une haute civilisation dans l'art de construire.*

*Il se trouve de surcroît que ces ponts sont encore parfaitement utilisables pour faire passer nos routes, nos chemins de fer, certains canaux.*

*Comme ils ont été bien conçus et bien réalisés, certains, quoique très vieux, de plusieurs siècles parfois, acceptent de porter des charges de plus en plus fréquentes et de plus en plus lourdes.*

*Pour construire des centrales nucléaires, par exemple, on a pu faire passer sur des ponts en maçonnerie, après les avoir très soigneusement auscultés et parfois consolidés, des convois de plusieurs centaines de tonnes.*

*Pour continuer à les utiliser avec un trafic sans cesse croissant, on en a élargi un grand nombre, d'une manière plus ou moins réussie, plus ou moins heureuse.*

*Le développement qui suit dans ce guide « Élargissement des ponts en maçonnerie » est destiné à sensibiliser les acteurs de ces élargissements, d'abord sur le grand respect qu'il faut avoir pour ces monuments dont certains sont des chefs d'œuvre, même dans le cas de ponts modestes. Aussi sur la nécessité d'établir au préalable un bilan complet de santé afin d'éviter de les solliciter au delà de leur capacité entraînant, dans ce cas, de graves désordres.*

*Enfin, réaliser des élargissements qui, sans dénaturer le style de l'ouvrage ou pire le massacrer esthétiquement, permettent non seulement une restauration mais une amélioration du pont quant à la répartition des charges, à l'étanchéité, etc.*

*Le présent guide bâti à partir de très nombreuses expériences, décantées pour en tirer les leçons de ce qu'il convient de faire ou de ne pas faire, est le fruit d'une équipe choisie pour ses compétences complémentaires, le savoir et le sérieux de chacun de ses membres.*

*Cette équipe a travaillé le sujet avec enthousiasme, avec efficacité, avec persévérance. Cette équipe s'est mise au service du patrimoine « Ponts en maçonnerie » et s'est mise à votre service pour vous aider à bien faire.*

*Nous disons un grand merci à cette équipe et nous vous souhaitons un bon, un sérieux travail.*

Guy Pérez



## CHAPITRE I

# Des ponts en maçonnerie...

### 1.1 - LE PATRIMOINE

En France, la construction des ponts en maçonnerie s'est échelonnée de l'ère romaine jusqu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, mais la technique des voûtes, beaucoup plus ancienne (III<sup>e</sup> millénaire avant J.C.), n'a pratiquement pas évolué jusqu'au milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle.

Avant le XVIII<sup>e</sup> siècle, la conception des ponts relève de l'empirisme et de l'expérience ; elle se caractérise principalement par l'utilisation de piles épaisses (environ 1/5 de la portée) conçues pour reprendre les poussées dissymétriques des arches construites à l'avancement. L'évolution des ouvrages entre le moyen âge et le XVIII<sup>e</sup> siècle est essentiellement d'ordre architectural, chaque région ou chaque époque ayant ses caractères constructifs propres liés à la fois aux matériaux, aux procédés disponibles et aux tendances architectoniques en vigueur.

#### • *L'ère romaine*

Considérés tout d'abord comme des monuments érigés à la gloire de Rome, puis comme de simples ouvrages utilitaires destinés au passage des armées et de leur ravitaillement, les ponts romains sont caractérisés :

- par un style sobre aux lignes régulières,
- par une symétrie parfaite des arches, extradossées parallèlement et construites le plus souvent sur cintre retroussé,
- par des voûtes étroites en plein cintre de faible portée (5 à 15 m) sur des piles épaisses.

La plupart de ces ouvrages ont disparu, généralement par manque d'entretien et surtout à la suite de crues du fait de leurs fondations précaires ou mal conçues.

*Figure 1 - pont Flavier sur la Touloubre*





flamme de Bergerac : création Claire Pérez

Figure 2 - les ponts à travers les timbres



*Figure 3 - pont romain de Ganagobie*

• **Le moyen âge**

Au XIII<sup>e</sup> siècle, l'arc brisé, importé d'Orient, va côtoyer le plein cintre romain. L'époque est caractérisée par une grande variété de formes : arches dissymétriques, dos d'ânes plus ou moins prononcés, tracés en plan parfois sinueux.

*Figure 4 - pont Valentré à Cahors*



*Figure 5 - pont d'Espalion*

Figure 6 - pont vieux de Montauban



Figure 7 - pont de Prévile  
à Moulins-lès-Metz

• **Les XVI<sup>e</sup> et XVII<sup>e</sup> siècles**

La renaissance s'exprime par un retour aux formes régulières caractéristiques de l'époque romaine, ainsi que par une recherche architecturale dans la décoration des ouvrages et surtout dans l'harmonie et l'équilibre des formes. À cette époque s'affirme également la tendance amorcée au siècle précédent, donner aux ponts un profil compatible avec le développement des transports. Les arcs brisés disparaissent au profit de voûtes surbaissées en arc de cercle ou en anse de panier.

Figure 8 - pont neuf de Toulouse





Figure 9 - pont neuf de Paris

• **Le XVIII<sup>e</sup> siècle**

La création du corps des Ingénieurs des Ponts et Chaussées, au début du siècle, va donner une impulsion décisive aux techniques de mise en œuvre et aux procédés de construction (pilotage et recépage des pieux sous l'eau, engins de levage, cintrement et décintrement,...).

Au début du siècle, seul évolue le style architectural qui, sous l'influence du classicisme, retrouve une certaine austérité. Il faut attendre le milieu du siècle pour que Perronnet apporte à la conception des ponts le premier grand progrès depuis l'époque romaine.



Figure 10 - pont de Gignac

Figure 11 - pont des Échavannes





Se basant sur le principe que les poussées de deux voûtes adjacentes s'équilibrent sur la pile commune et donnent une résultante sensiblement verticale, il conclut que l'épaisseur des piles peut être réduite de façon importante sous réserve que toutes les voûtes soient construites sur cintre et décintrées simultanément. Perronet sera également le précurseur pour l'utilisation des arcs tendus à l'extrême et des piles colonnes.

### • **Le XIX<sup>e</sup> siècle et le début du XX<sup>e</sup> siècle**

Avec l'essor industriel, le développement du réseau routier nécessite la construction de nombreux ponts, surtout dans la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> siècle. Les dispositions constructives restent les mêmes qu'au siècle précédent, mais de nombreuses améliorations sont apportées sur le plan technique :

- les méthodes de détermination des voûtes font l'objet de recherches théoriques grâce au développement de la résistance des matériaux, la « Méthode de Mery » est publiée en 1840,
- les techniques de fondation bénéficient de l'évolution générale : les pieux en bois sont remplacés par des pieux métalliques puis en béton, le développement du fonçage à l'air comprimé permet l'exécution des fondations à sec,
- la découverte du ciment au début du siècle, puis sa fabrication industrielle vers 1850, permettent la confection de mortiers de ciment ou bâtards plus résistants.

La seconde moitié du siècle a vu l'extension très rapide du chemin de fer qui a nécessité la réalisation d'ouvrages d'un type particulier que sont les viaducs ferroviaires. Ce sont des ouvrages, souvent réalisés en briques, constitués d'arches en plein cintre de faible portée, sur un ou plusieurs niveaux avec des pentes faibles, permettant le franchissement de vallées profondes et larges. Lorsque la configuration du site l'impose (vallée encaissée), ils sont remplacés par des arcs de grandes portées, souvent élégis par de petites voûtes transversales dont le rôle essentiel est de diminuer la poussée du remplissage et d'alléger les structures.

Dans les voûtes d'ouverture moyenne, on a parfois remplacé les élégissements transversaux par des évidements longitudinaux, ou même utilisé les deux systèmes à la fois.

La construction des ponts routiers en maçonnerie a culminé à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et au début du XX<sup>e</sup> siècle avec Séjourné, ingénieur constructeur, qui a utilisé et perfectionné les techniques et les méthodes de construction (rouleaux et anneaux).



*Inauguré le 25 août 1821, sa longueur totale est de 486,68 mètres. Il est composé de 17 arches en maçonnerie de briques et de pierres de taille d'inégales ouvertures. Ses 16 piles et ses deux culées en pierre reposent sur des platelages bois fondés sur des pieux de pin. Le corps de chaque pile est largement évidé garantissant ainsi la légèreté de la structure nécessaire à la tenue de l'ouvrage sur un terrain constitué de vase d'épaisseur variable sous de minces couches de sables et de graviers.*

*Ce pont a subi en 1954 un élargissement à l'aide d'encorbellements en béton armé destiné à permettre le passage d'une circulation ayant notablement évolué.*

**Figure 12 - pont de pierre à Bordeaux**



*Le pont, symbole de la communication et de l'échange, inspire les monnayeurs et les numismates.*

**Figure 13 - Euro**



**Figure 14 - viaduc de Fontpédrouse**



Soumis à la concurrence des structures métalliques ou en béton, les ponts en maçonnerie ont progressivement été abandonnés en raison de leur coût (main d'œuvre et matériaux).

Un des derniers grands ponts, le pont de La Balme, a été construit de 1942 à 1947.

**Figure 15 - pont de La Balme**

Les ponts en maçonnerie appartiennent à notre histoire culturelle et architecturale, il importe de la connaître pour mieux prendre en compte dans les études les spécificités techniques qui ont prévalu à la construction de ces ouvrages d'art. Tout aménagement ou toute modification de ces ponts ne doit pas être synonyme de défiguration.

## **1.2 - CONSTITUTION DES PONTS EN MAÇONNERIE**

### **1.2.1 - Le vocabulaire**

Les principaux termes décrivant la morphologie d'un pont en maçonnerie sont donnés par les figures 16,a, 16,b, 16,c et 17 ci-après.

### **1.2.2 - Les matériaux**

La maçonnerie est constituée de la juxtaposition d'éléments de dimensions variables liaisonnés ou non entre eux (mortier de jointoiment). Les éléments sont d'origine naturelle (pierres) ou artificielle (briques). La qualité de la maçonnerie dépend beaucoup des origines des blocs, des caractéristiques géométriques des éléments, des propriétés physico-chimiques de la pierre et des caractéristiques mécaniques des matériaux (blocs de pierres ou briques et mortiers).

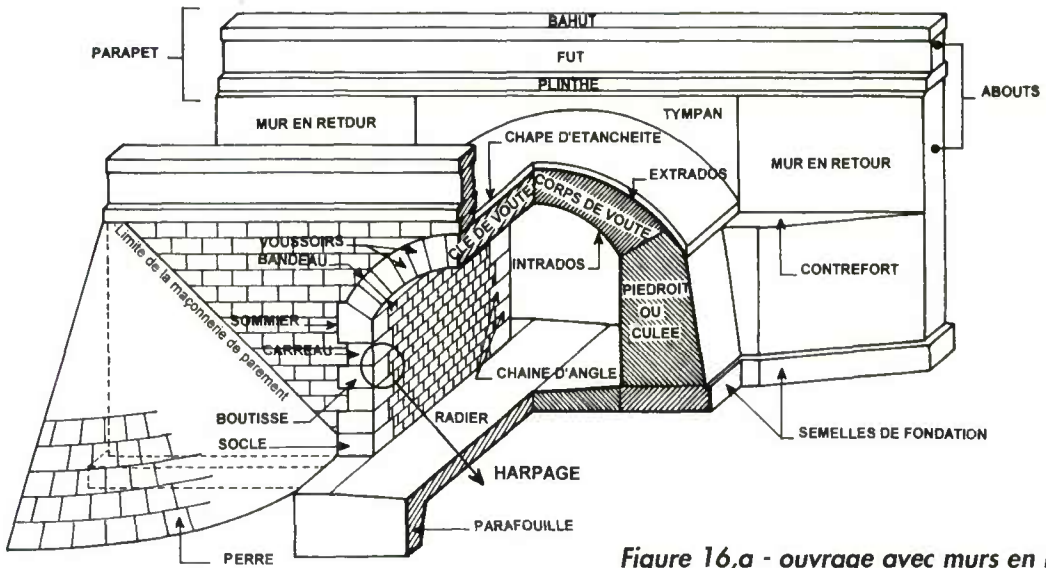


Figure 16,a - ouvrage avec murs en retour

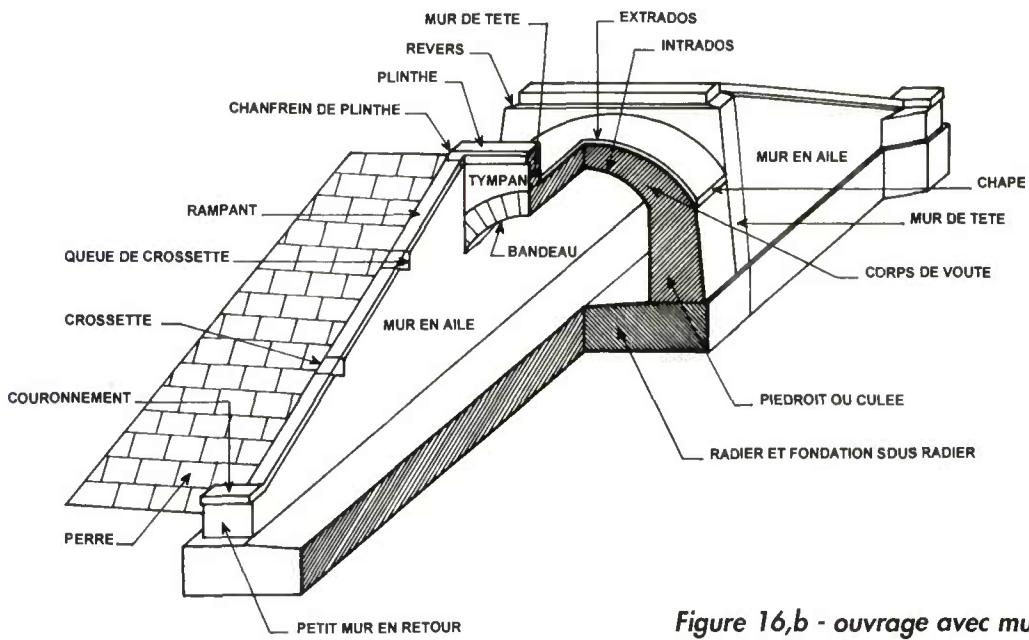


Figure 16,b - ouvrage avec murs en aile

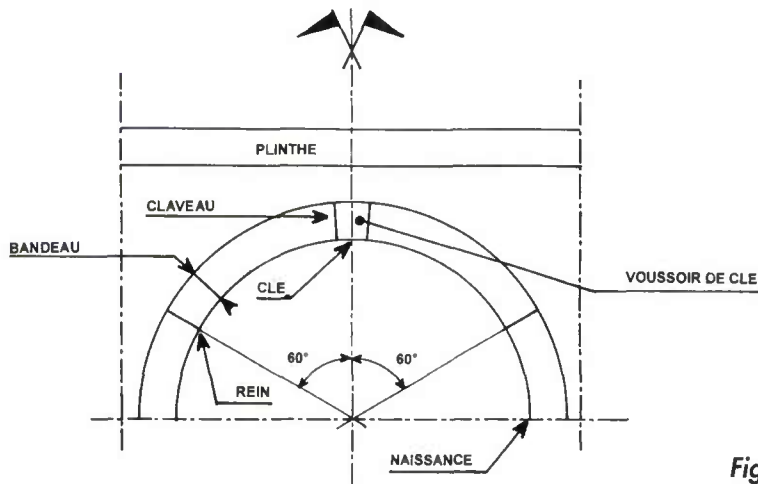


Figure 16,c - détail d'un bandeau



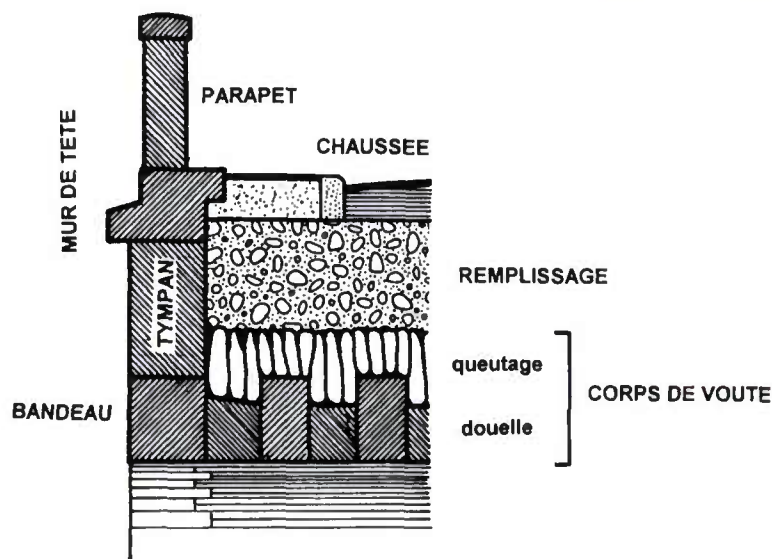


Figure 17 - coupe transversale

Un appareillage en maçonnerie est composite, il est en effet constitué de pierres ou de briques, plus ou moins liaisonnées entre elles par les mortiers de jointoiment, suivant la qualité ou l'état de conservation de ces derniers. Les comportements de la maçonnerie vont dépendre des propriétés des matériaux constitutifs, des propriétés de contact (dites d'interfaces) entre ces matériaux et de la géométrie de l'assemblage. Les deux principales caractéristiques de ce matériau composite sont :

- **La fragilité :**

Les liaisons d'interfaces, entre les joints et les éléments de l'appareillage sont caractérisées par des résistances à la traction faibles (inférieures à 2 MPa), associées le plus souvent à une grande sensibilité aux agressions physico-chimiques, ce qui ne donne pas une grande raideur potentielle aux appareillages en maçonnerie.

- **La durabilité :**

Elle est liée à la grande faculté d'adaptation des appareillages à des mouvements locaux, et à la déformabilité des mortiers de jointoiment.

Par ailleurs, la multiplicité des joints permet à la maçonnerie d'avoir un comportement très tolérant vis-à-vis d'importantes déformations (par exemple sous l'effet des séismes).

Il faut également préciser que la qualité des pierres et des briques intervient très faiblement sur la durabilité des maçonneries. Seuls des matériaux très médiocres (certains calcaires tendres ou les briques crues), associés à des mortiers de jointoiment de mauvaise qualité, peuvent avec le temps s'altérer sous l'effet des intempéries, ou se rompre sous des efforts excessifs.

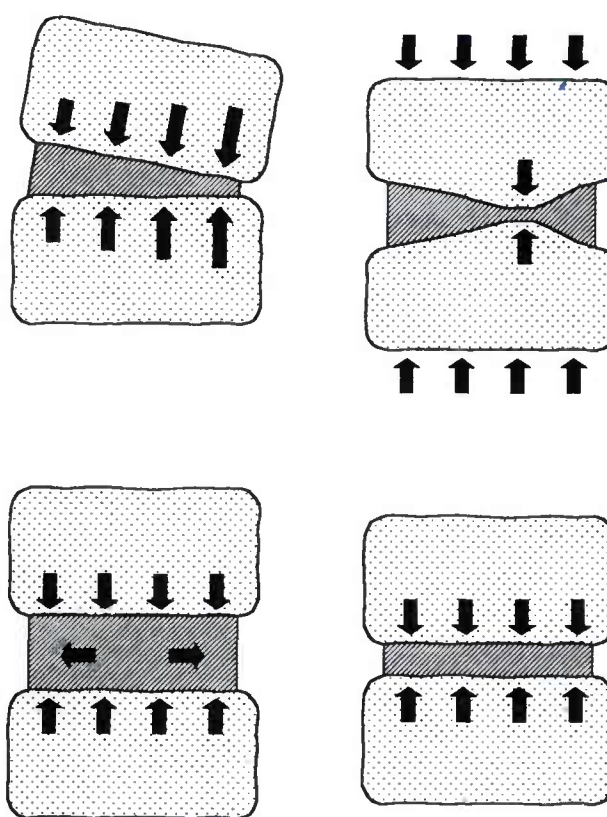


Figure 18- contraintes sur le joint

## a) Les éléments des appareils

La forme, les dimensions et l'arrangement des éléments constituent l'appareillage

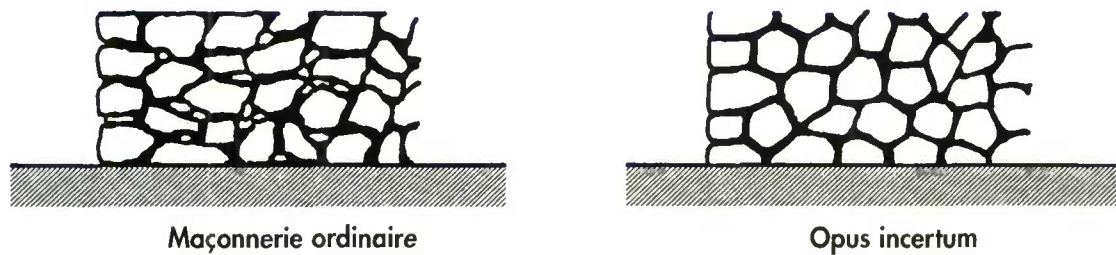


Figure 19 - appareillages de moellons bruts (réf. [8])

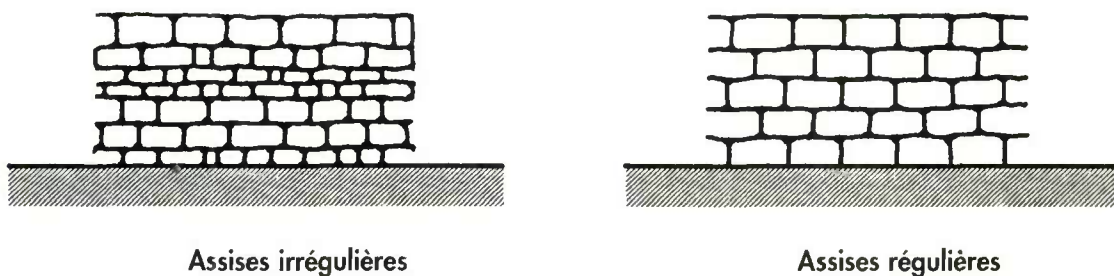


Figure 20 - appareillages de moellons assises

C'est le soin apporté à la taille des blocs et leurs dimensions qui définissent les appellations courantes données aux éléments des appareillages :

- *les pierres de taille* : éléments de grandes dimensions, elles sont utilisées, soit pour l'ensemble de la structure (ouvrages romains) ou les parties résistantes (bandeaux, chaînes d'angle,...), soit pour les parties nobles traitées architecturalement (plinthes, corbeaux, couronnements, chaperons...),
- *les moellons d'appareils et d'assises* : éléments de petites dimensions, ils sont utilisés pour les angles des piles, les douelles de voûtes, les parements vus des tympans ou les bahuts. Ils sont travaillés pour dessiner en parement des assises régulières (moellons piqués, smillés, tétués),
- *les moellons bruts ou ordinaires* : ils servent essentiellement pour le gros œuvre, les massifs de fondation, les remplissages des piles,
- *les libages* : ce sont des quartiers de roches de grandes dimensions et de bonne qualité, grossièrement taillés. Ils sont utilisés dans les zones très sollicitées en compression ou exposées aux chocs (socles de piles, assises de fondation),
- *les briques* : elles sont obtenues à partir de qualités d'argiles durcies naturellement (briques crues) ou artificiellement (briques cuites). Leur utilisation est variable suivant les régions et leurs agencements correspondent à des traditions architecturales locales.

**Les pierres utilisées pour la construction des maçonneries sont classées en deux grandes catégories : les pierres calcaires et les pierres siliceuses**

- les pierres calcaires sont les plus utilisées en maçonnerie, leurs textures et leurs qualités sont à l'origine d'une multitude de variétés (norme NF B 10-301 : « Pierres calcaires - Identification »),
- les pierres siliceuses, moins courantes que les pierres calcaires, ne font pas l'objet d'une norme, mais les principales catégories sont listées dans le document « Technologie des maçonneries » [8].

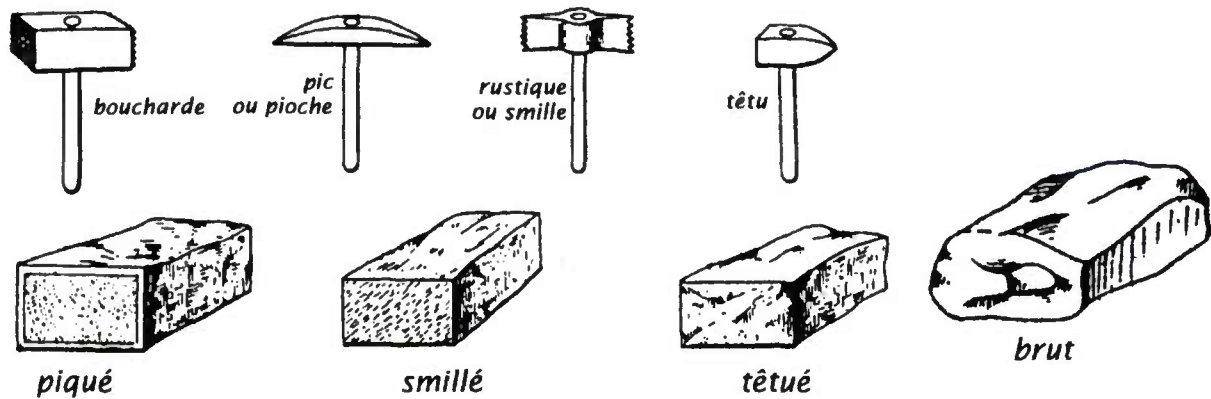


Figure 21 - différents aspects des moellons (réf. [8])

**Les principales qualités recherchées pour les éléments des appareils en maçonnerie sont :**

- une bonne résistance à la compression et à l'abrasion,
- une bonne homogénéité et une bonne compacité de la pierre en évitant les défauts du matériau (bousins, cendrules, filières, moies, ...),
- un bon comportement aux intempéries (porosité, capillarité) et au gel/dégel,
- une bonne adhérence au mortier de jointoiment.

Les principales propriétés physiques et mécaniques des pierres calcaires, sont définies par les normes NFB 10.001 et B 10.502, 10.503, 10.506, 10.508, 10.509 et 10.513.

Les classes de résistance, les caractéristiques géométriques et physico-chimiques des briques font l'objet des normes P 13-304 et P 13-305.

**b) Les joints des appareils**

**Les liants hydrauliques**

• La chaux est un résidu solide résultant directement de la calcination de pierres calcaires et qui se présente sous forme de poudre, contenant plus ou moins d'argile ou de silice. On distingue deux classes générales :

⇒ les chaux aériennes qui proviennent de la calcination des calcaires ne contenant que des matières étrangères inertes. La cuisson produit de la chaux vive, éteinte au contact de l'eau. La réaction d'extinction est fortement exothermique et produit par foisonnement de la chaux en poudre. Lors de l'extinction, il peut arriver que des modules de chaux vive ne soient pas hydratés ; c'est une origine fréquente de la mauvaise qualité, ou de la désagrégation d'un mortier.

Le durcissement des mortiers de chaux aériennes, utilisés jusqu'à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, s'effectue au contact de l'air par carbonatation lente. Ce mortier quand il fut utilisé pour les maçonneries épaisses peut n'avoir durci que partiellement à cœur, là où l'air pénètre difficilement (remplissage des piles par exemple).

⇒ Les chaux hydrauliques proviennent de la cuisson des pierres calcaires contenant des argiles en proportions variables, qui en se combinant à la chaux donnent des sels ayant des propriétés hydrauliques (comme les ciments). Ces chaux foisonnent peu lors de l'extinction, leur prise s'effectue par hydratation des sels hydrauliques résultant de la cuisson. Le temps de prise varie entre 2 jours et 20 jours en fonction de l'indice d'hydraulicité de la chaux.

- Les ciments naturels, liants hydrauliques apparus à partir de 1818 (Vicat) contiennent plus de 20 % d'argile. Les différences essentielles avec la chaux résident dans le fait que d'une part, le ciment naturel doit être broyé, et d'autre part que les temps de prise avec ce liant sont nettement plus intéressants qu'avec la chaux (entre 10 à 20 mn et quelques heures).
- Les ciments artificiels.

### Les mortiers

- Les mortiers de chaux aérienne, essentiellement utilisés sous forme de chaux grasse avec des sables de forte rugosité, durcissent lentement et en présence d'air. Ils ont été utilisés pour les maçonneries épaisses et enterrées. Additionnés de pouzzolane, ils servaient en fondations immergées.
- Les mortiers de chaux hydraulique, additionnés de sables de dimensions moyennes mais peu chargés en fines, étaient utilisés pour toutes les constructions d'appareillages aériens ou sous l'eau.
- Les mortiers de ciment ; dès le milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle et pour toutes les constructions en maçonnerie, ils ont concurrencé et progressivement remplacé les mortiers de chaux.
- Les mortiers bâtards sont élaborés à partir d'un mélange de chaux grasse et de ciment. Leurs principaux avantages viennent de leur onctuosité et d'une prise beaucoup plus rapide que les ciments de chaux. Ils étaient essentiellement utilisés pour les grosses maçonnerie de remplissage.

Désignation du mortier	Quantité de liant par m <sup>3</sup> de sable	Observations - Destination des mortiers
Mortiers de chaux grasse	0,5 m <sup>3</sup>	sable grossier - maçonneries courantes en élévation : habitations, murs de clôture, etc.
Mortiers de chaux grasse, pouzzolane	0,5 à 1 m <sup>3</sup>	on ajoute à la chaux environ la moitié de son volume en pouzzolane : fondations immergées.
Mortiers de chaux hydrauliques	200 à 300 kg 300 à 400 kg 350 à 450 kg	ouvrages courants aériens travaux soignés exposés à l'humidité ou étanches fondations sous l'eau
Ciment romain à prise rapide	0,3 à 1 m <sup>3</sup>	blochage de fuite ou enduits de fosses, de citernes, chapes.
Ciment Portland à prise lente	500 kg 500 kg 450 à 500 kg 350 à 450 kg 300 à 350 kg	rejointoiements travaux à la mer, fondations immergées - enduits étanches construction de voûtes maçonneries ordinaires maçonneries aériennes - remplissages
Mortier bâtard	500 kg	mélange de ciment et de chaux grasse dans une proportion variant de 1/3 à 2/3.

Figure 22 - tableau récapitulatif des dosages des mortiers

### 1.2.3 - La structure

Les ouvrages en maçonnerie de nos réseaux routiers sont des structures anciennes dont l'âge se compte souvent en siècles. Les méthodes qui ont prévalu à leur exécution étaient largement limitées par la technologie de l'époque et il convient de porter une grande attention :

- au type, à la nature et à la profondeur des fondations,
- au mode d'exécution de l'ouvrage (stabilisation partielle des piles),
- à la géométrie des culées (morphologie, présence d'élévissements).

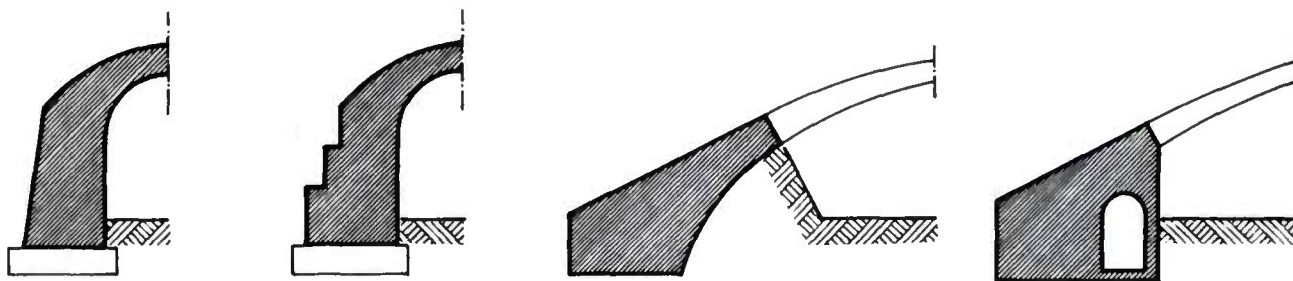


Figure 23 - les différents types de culées (réf. [8])

L'expérience et la connaissance des ouvrages anciens sont souvent nécessaires pour intervenir sur ces structures que l'on ne peut pas toujours facilement traiter suivant nos méthodes et nos techniques modernes.

**Le profil transversal des ouvrages en maçonnerie** est souvent lié à la largeur des chaussées de l'époque (5,00 m) et les modifications apportées à ce profil au cours des temps n'ont pas toujours été faites de façon heureuse (par exemple élargissements à bon compte par suppression des trottoirs et/ou des parapets).

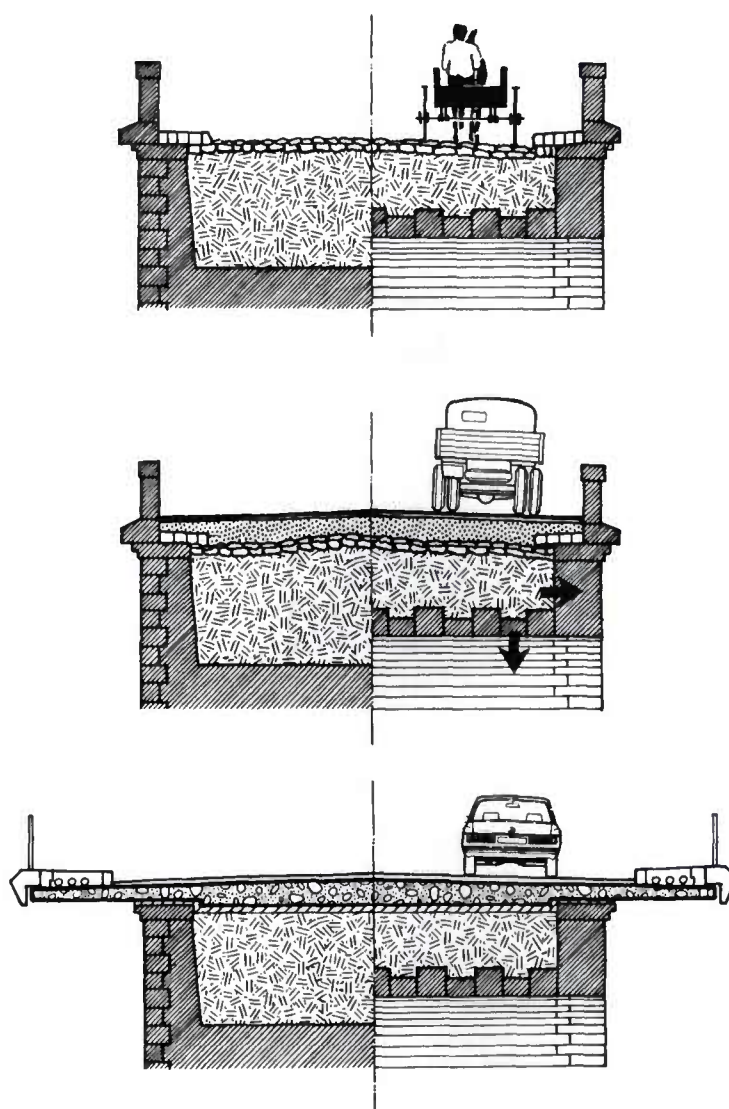


Figure 24 - évolution de la morphologie transversale

## Les ouvrages en maçonnerie sont hétérogènes.

Cette hétérogénéité peut être constitutionnelle, dans le cas par exemple d'un pont dont une ou plusieurs arches ont été reconstruites et dont les matériaux sont fondamentalement différents de ceux utilisés lors de la construction de l'ouvrage (figures 25, 26).

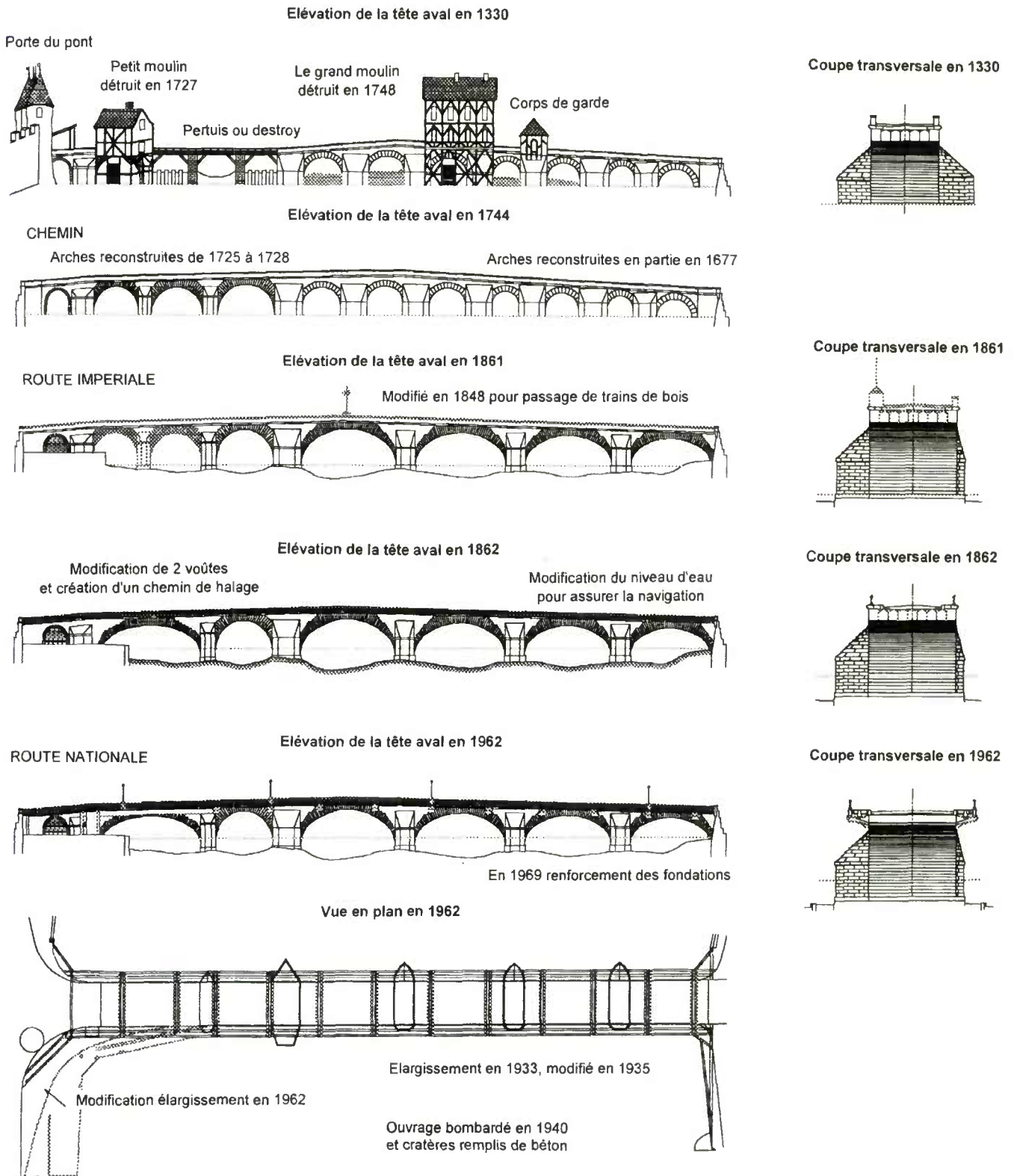


Figure 25 - historique du pont de Joigny, pont construit à l'emplacement d'un gué existant en 1100

Cette hétérogénéité peut être fonctionnelle, c'est-à-dire exister entre des parties en apparence indistinctes mais dont la participation au fonctionnement est différente. Par exemple, ce que l'on désigne par voûte recouvre en fait les bandeaux, la douelle et le queutage (figure 27).

De même les avant-becs et arrière-becs d'un appui paraissent en continuité avec les fûts des appuis alors qu'ils n'ont aucun rôle vis-à-vis de la portance de l'appui. De plus, ils sont souvent désolidarisés du fût et fondés de façon très superficielle.

En outre, les ouvrages en maçonnerie sont intrinsèquement réalisés à l'aide d'un matériau hétérogène. Il s'agit d'un matériau composite, assemblage de blocs rigides, parfois sans liaison mais souvent assemblés à l'aide de mortiers de hourdage. Ces derniers sont, avec le temps, en plus ou moins bon état de conservation. Leurs propriétés mécaniques et leur fonctionnement sont caractéristiques.



Figure 26 - pont de Navech



Figure 27 - pont de Pégayrolles

Ces propriétés, absence de résistance à la traction, bonne résistance à la compression du bloc, confèrent au matériau maçonnerie une grande ductilité et par conséquent des facultés importantes d'adaptation, en particulier à des mouvements d'appuis. Ces qualités ont sans doute contribué à accroître la durée de vie de ces ouvrages. On s'assurera de l'absence « d'adaptations » de la maçonnerie suite à des mouvements avant d'envisager des aménagements du type « élargissements ». Ces « adaptations » se traduisent par des déformations du profil en long visibles au niveau des plinthes et par des fissures caractéristiques.

## Les ponts en maçonnerie sont des structures en arc.

Un arc développe des efforts de poussée horizontaux et des efforts normaux importants, d'où découlent :

- l'importance de la stabilité des appuis et plus particulièrement des culées,
- certaines contraintes d'exécution (emploi de cintre, dimensions des appuis, phasage de construction...),
- la nécessité de prendre en compte les effets de l'effort normal dont le rôle est fondamental pour l'étude du fonctionnement différentiel des différentes parties d'une voûte.

Avant toute opération d'élargissement, il importe donc de retrouver le profil original de l'ouvrage, souvent lié au mode de fonctionnement adopté pour les voûtes. Il arrive quelquefois qu'il soit nécessaire d'entreprendre des travaux de remise à niveau de l'ouvrage et même de démolition d'anciens aménagements, avant d'entreprendre l'élargissement souhaité.

**L'état de conservation des ouvrages dépend de l'attention qui leur a été portée.** Or du fait de leur réputation d'indestructibilité, ils ont souvent été laissés à l'abandon et il en résulte, pour les ouvrages courants et anonymes, des dégradations souvent importantes.

### 1.2.4 - Les équipements de l'ouvrage

#### a) Les dispositifs de retenue

Le dispositif de retenue constitué de la plinthe et du parapet avec ou sans couronnement était dimensionné suivant des règles très précises. Par exemple, la somme de la hauteur et de l'épaisseur du parapet était environ égale à 1,20 mètre ou 1,30 mètre selon les auteurs.

*« Les parapets, destinés à garantir la sécurité des personnes passant sur le pont, ont en France des hauteurs et des épaisseurs telles qu'un homme de taille moyenne, se penchant sur le parapet, ne soit pas exposé à tomber tant que ses pieds touchent le sol : il en résulte que les deux dimensions du parapet sont fonction l'une de l'autre, de la manière suivante :*

Hauteurs :	0m.80	0m.85	0m.90	0m.95	1m.00
Épaisseurs correspondantes :	0m.50	0m.45	0m.40	0m.35	0m.30

*Les types employés de préférence actuellement en France, pour les ouvrages en dehors des villes, sont les suivants (1) à (6) : »*

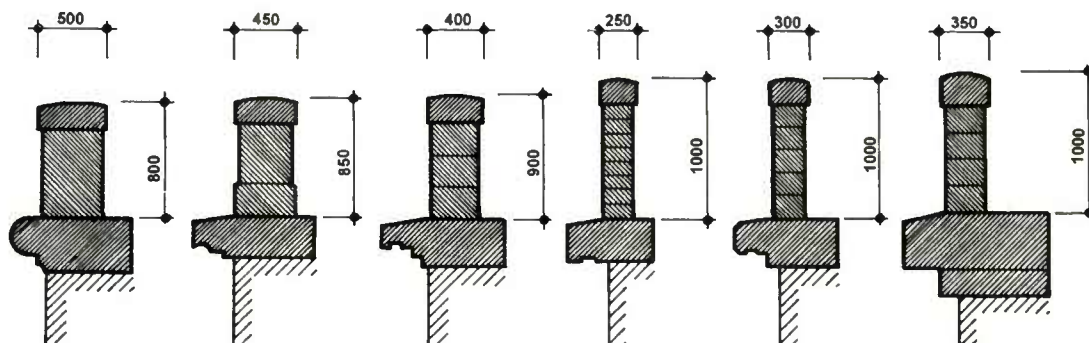


Figure 28 - d'après le « Cours de construction de ponts » Ph. Croizette Desnoyers [16]



La plinthe mise en œuvre avait plusieurs fonctions :

- elle servait de trottoir,
- elle permettait de canaliser les eaux, en servant de bordure de trottoir,
- elle avait une fonction architecturale pour rehausser le tympan (largeur 0,20 à 0,25 m) et devait comporter un larmier,
- elle servait à répartir la charge du parapet sur le mur tympan (souvent réalisé en moellons de faibles caractéristiques mécaniques),
- elle amenait un effort normal supplémentaire dans les tympans. Cet effort était bénéfique vis-à-vis de la stabilité des tympans sollicités par la poussée du matériau de remplissage.

Le parapet n'était jamais fixé à la plinthe. En l'absence de cette dernière, il était simplement posé sur le haut du tympan. Il contribuait également par son poids à la stabilité des tympans.

### b) Les chapes

La trace la plus ancienne que nous ayons de la volonté d'étancher les ponts en maçonnerie est illustrée par un article écrit par M. Henri de Saint-Blanquat publié dans la revue Archeologia :

*« Pour assurer l'étanchéité des aqueducs romains, la recette était toujours la même, on appliquait un cuvelage. Les parois verticales intérieures et le fond étaient d'abord recouverts d'un mortier de tuileau cher aux spécialistes de l'Antiquité romaine : un mélange de chaux et de débris concassés de poteries et de briques auxquels ce « ciment romain » doit sa couleur rose. On en mettait plusieurs couches à grain de plus en plus fin. Les angles des parois et du fond étaient renforcés par un bourrelet, un solin en « quart de rond ». Au-dessus était passé un enduit, le « bol rouge » que les Romains appelaient « malthae ». Ce serait un mélange de chaux, de graisse de porc, de vin et de figues.*

*Si les raisons d'une telle composition font problème, mortier et enduits se retrouvent à l'intérieur de toutes les parties conservées intactes de l'aqueduc de 50 kilomètres reliant la fontaine d'Eure près d'Uzès, au château d'eau de Nîmes, et avec comme fleuron principal sur son parcours le Pont du Gard ».*

Les constructeurs de ponts ont toujours été convaincus que la voûte devait être protégée des eaux d'infiltration par un matériau ayant les trois caractéristiques suivantes :

- être imperméable,
- être assez « élastique » pour suivre les déformations de la maçonnerie sans se fissurer,
- pouvoir résister aux sollicitations mécaniques transmises par le remplissage.

**Figure 29 - extrait du cours de Pontes en maçonnerie de M. Auric (1923-1924)**

*Une bonne chape doit être imperméable. Mais pour qu'elle demeure telle, elle doit être un peu élastique, se prêter sans se fissurer, aux mouvements des voûtes sous les charges, sous les surcharges ou aux changements de température. La meilleure solution consiste à avoir :*

- 1°) Une première épaisseur de 3 cm, en mortier de chaux gâché assez sec : 100 litres d'eau et 300 kilogs de chaux par mètre cube de gravillon, le mortier de ciment ayant un retrait important donnerait des fissures.*
- 2°) Une épaisseur de 1 cm 5 d'asphalte appliquée en deux fois, une première couche constituée par du mastic d'asphalte avec 7% de bitume et une deuxième couche composée de 2 parties de mastic pour une partie de sable.*
- 3°) Une contre-chape de 4 cm d'épaisseur destinée à protéger la chape. Elle est faite en béton très maigre : 100 kg. de ciment par m.c. de gravillon bien lavé, sans sable. Cette contre-chape est très poreuse, (l'eau la traverse immédiatement) et est très résistante. Elle porte sans s'exacerer le remplissage et les surcharges ; sur des surfaces très inclinées, elle empêche l'asphalte de couler.*

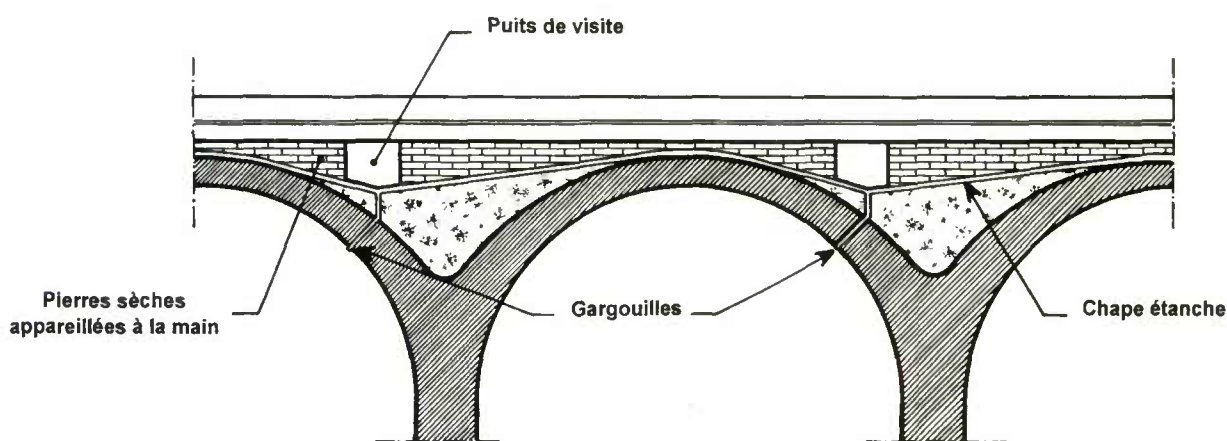
L'asphalte a été durant des décennies le matériau de base répondant à ces exigences. À partir de 1860, les compagnies de chemin de fer en poseront des dizaines de milliers de m<sup>2</sup> sur leurs grands ouvrages.

Sur les ponts courants du XVII<sup>e</sup> et du XVIII<sup>e</sup> siècle, l'étanchement était assuré par une couche damée de 5 centimètres d'épaisseur. On a rencontré également des pierres posées à plat sur l'extrados de la voûte et servant de drain.

Pour les ouvrages du XIX<sup>e</sup> siècle la technique s'est affinée et les constructions se sont orientées vers une chape en mortier de ciment ou de chaux d'environ 3 à 5 centimètres, rattrapant les irrégularités de l'extrados avec des pentes pour l'écoulement, recouverte :

- soit d'un enduit mince de goudron ou de bitume pour les petits ouvrages,
- soit d'un revêtement bicouche à base d'asphalte.

Un certain nombre d'ouvrages anciens (des années 1850) comportent une chape de 5 à 10 cm d'épaisseur en mortier de chaux ou de ciment sans autre protection. En général, des fuites sont constatées au niveau des extrados de ces structures.



**Figure 30 - exemple d'étanchement**

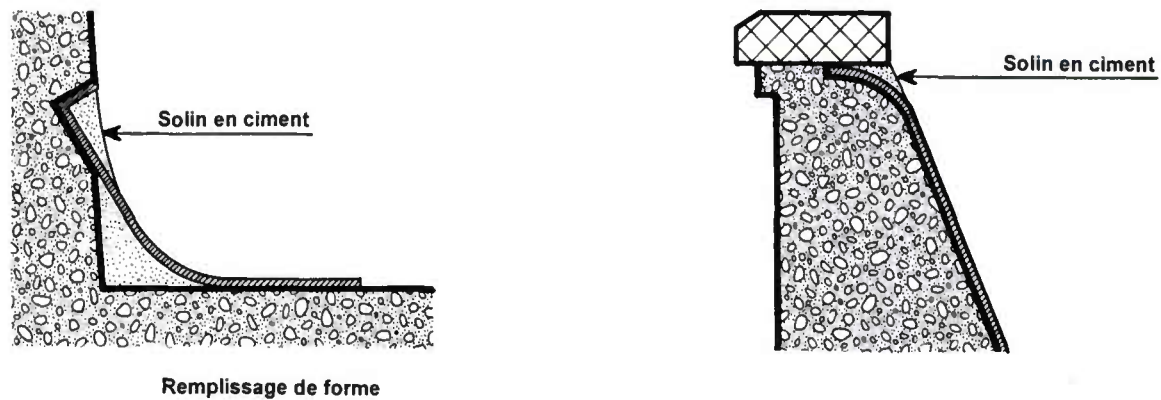
Sur un nombre important de grands ouvrages, on a utilisé le système suivant :

- chape en mortier de chaux (5 centimètres),
- chape d'asphalte pur (7 à 8 millimètres),
- contre chape d'asphalte sablé (7 à 8 millimètres),
- protection en béton poreux (5 à 6 centimètres).

Pour que l'eau ne puisse pas s'infiltrer sous la chape, le dispositif d'étanchement est relevé sur le parement intérieur du tympan jusqu'à la plinthe.

En partie verticale, on a utilisé assez souvent :

- du mortier de chaux lissé (1 centimètre),
- de l'asphalte pur (1 centimètre).



**Remplissage de forme**  
**Comment on arrête la chape dans une paroi très redressée**

**Arrêt sous la plinthe**

**Figure 31 - d'après le cours de Ponts en maçonnerie M. Lang (1946-1947) [18]**

Vers les années 1950, l'étanchement par chape d'asphalte a été utilisé sur chape de mortier de chaux, avec les épaisseurs suivantes :

- 1<sup>ère</sup> couche : étanchement en asphalte pur (5 millimètres),
- 2<sup>ème</sup> couche : protection en asphalte sablé (10 à 15 millimètres).

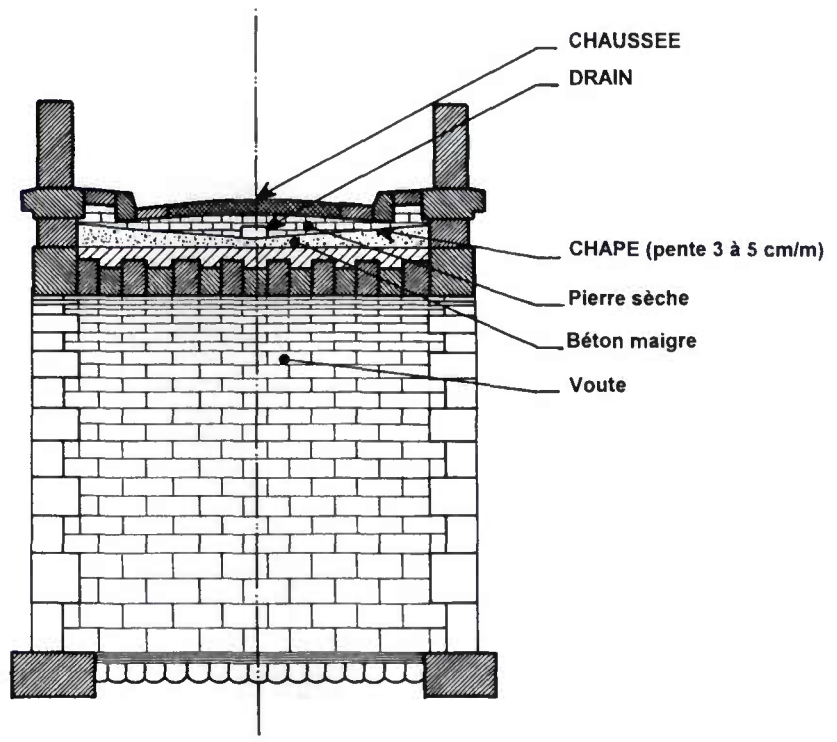
Ce type d'étanchement a été repris sur les ouvrages en béton avec des épaisseurs plus fortes, les contraintes de cisaillement étant plus importantes (couche étanche proche de la couche de roulement).

**c) Les évacuations d'eau et le drainage**

Il ne suffit pas qu'une chape soit imperméable, il faut au plus vite conduire l'eau vers des points bas, puis hors de l'ouvrage.

En profil en travers, il était créé avec de la maçonnerie, ou plus simplement du béton maigre, deux pentes en forme de V de 3 à 5/100 vers un drain central en pierres sèches de 20 x 20.

En long, le profil avait au moins une pente de 5/100, entre l'axe des clés et la zone d'implantation des gargouilles.



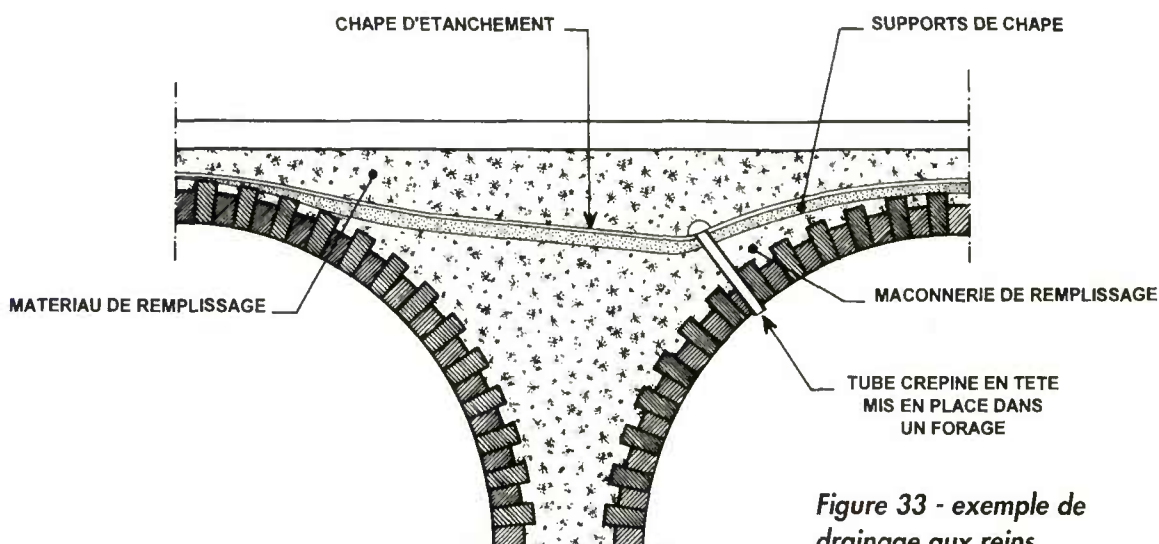
**Figure 32 - exemple de drainage**

Pour faire passer l'eau à travers les voûtes, les gargouilles étaient implantées :

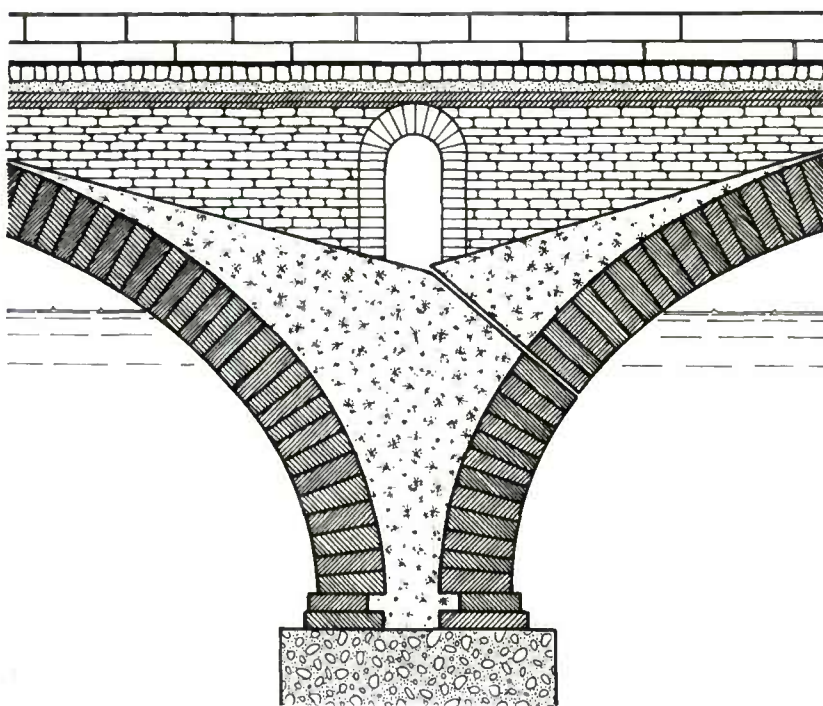
- A la clé, avec des tuyaux aussi courts que possible, les eaux n'étant pas rejetées par le vent sous les douelles. La chape d'étanchement située en partie haute présente alors un système de pentes conduisant à ces gargouilles.
- Aux reins, avec des tuyaux implantés dans les sections formant un angle de 30 à 45° avec celle de clé.

Dans certains cas l'évacuation se faisait par une descente verticale, axée sur la pile et débouchant éventuellement en pied de pile dans une galerie technique.

Les gargouilles sont, le plus couramment, munies d'une crépine et d'un filtre en pierres sèches évitant le colmatage. Dans les viaducs importants elles peuvent être au fond d'un puits de visite permettant leur contrôle et leur entretien.



*Figure 33 - exemple de drainage aux reins*



*Figure 34 - évacuation sur pile, aqueduc transversal.*

*Pont Dumnacus sur la Loire  
1850.*

*Remarque : le point haut de la gargouille est situé au dessus des plus hautes eaux.*

Figure 35 - évacuation aux naissances, une gargouille pour deux demi-voûtes.

Pont de Jauney-Clain sur le Clain  
Pile : 1843 - Voûte : 1915

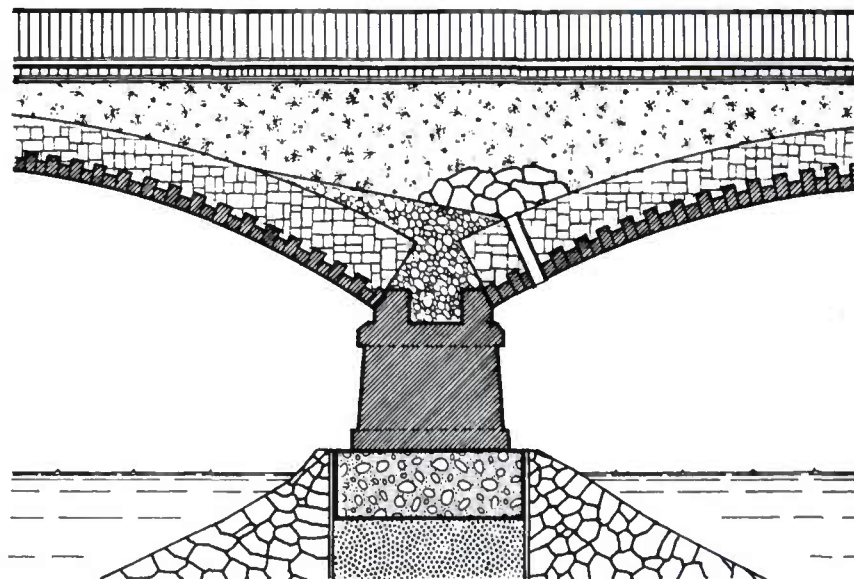
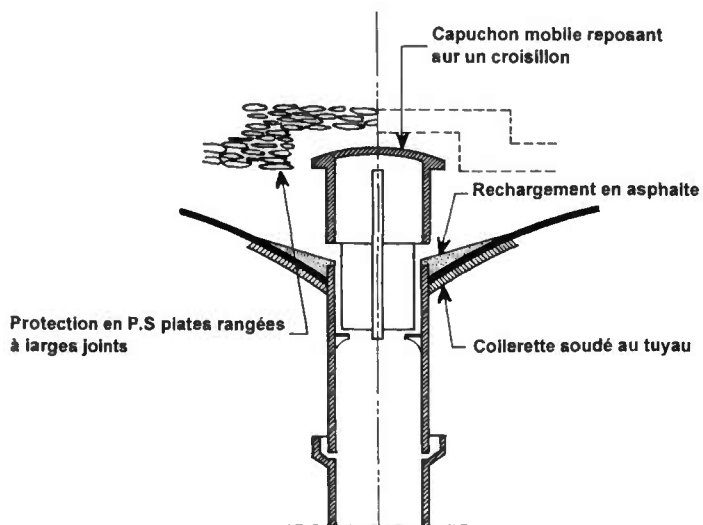
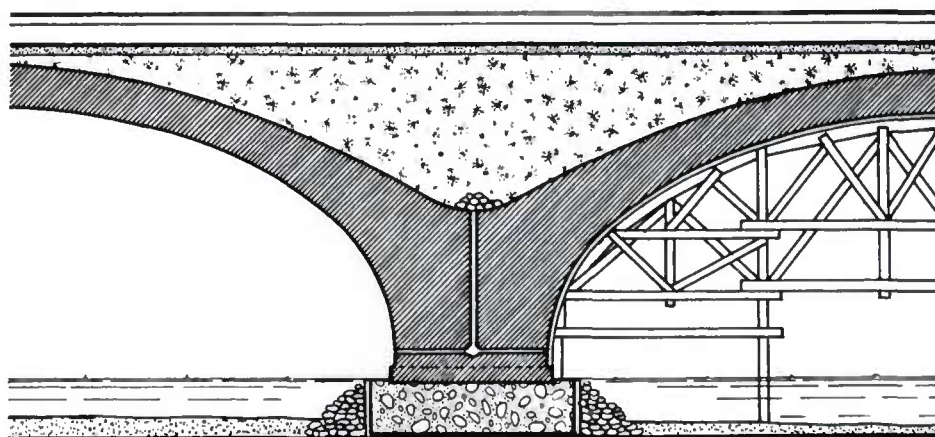
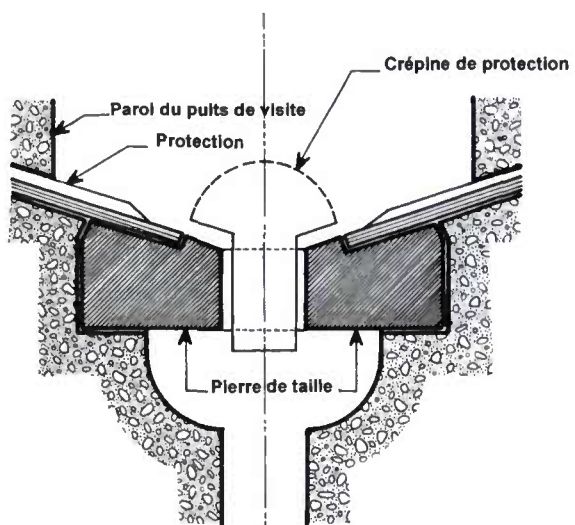


Figure 36 - évacuation sur pile, descente directe et évacuation en pied.

Pont de La Rallerie sur la Vienne - 1877



Entrée d'une gargouille



Autre disposition

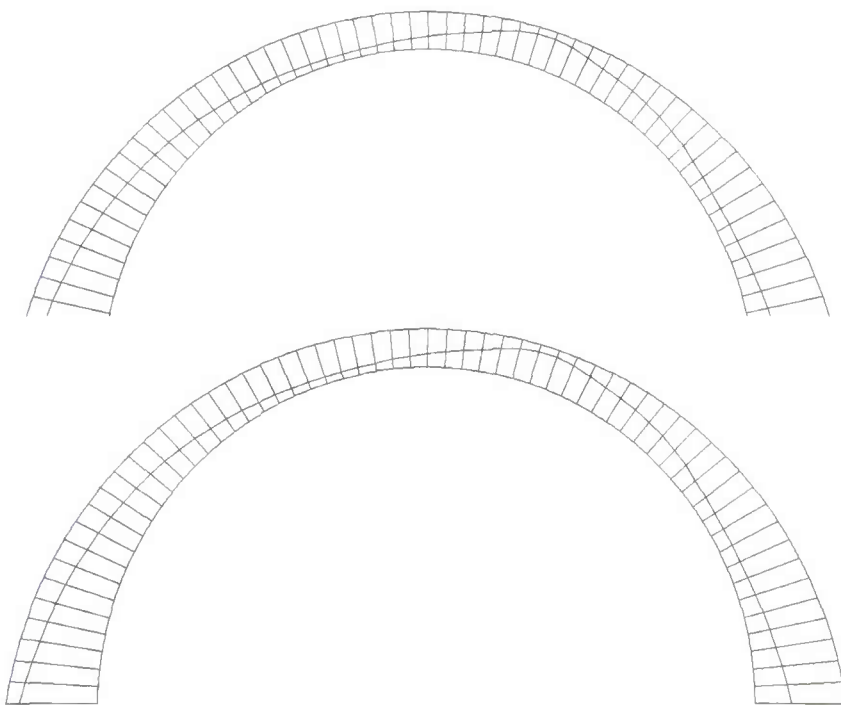
Figure 37 - d'après le cours de Ponts en maçonnerie de M. Lang (1946-1947) [18]

### 1.3 - FONCTIONNEMENT D'UN PONT EN MAÇONNERIE

L'état de fonctionnement normal d'une voûte en maçonnerie est l'état fissuré. Cette affirmation qui se veut caricaturale est fondamentale pour la compréhension de ces ouvrages.

Elle résulte d'une part de l'absence de la résistance à la traction de la maçonnerie et d'autre part des sollicitations auxquelles a été soumis et/ou est encore soumis l'ouvrage : décintrement, cycles thermiques, mouvements d'appui en particulier.

Pour chaque état de sollicitation, l'ouvrage en maçonnerie se déforme, s'adapte pour aboutir à un état d'équilibre. Le phénomène n'est pas nécessairement réversible et le nombre important de paramètres intervenant dans le mécanisme ne nous permet pas d'appréhender rationnellement cet état. Seul le calcul à rupture permet d'approcher avec plus ou moins de précision les cas de charge provoquant la ruine de façon certaine (cf. [1]).



*Figure 38 - dessins du programme Voûte*

L'expérience et la théorie ont cependant permis d'identifier un mécanisme de ruine par blocs.

Lorsque l'intensité des actions augmente la voûte s'adapte grâce à la ductilité apparente de la maçonnerie, mais cette adaptation s'achève à la formation d'un nombre suffisant d'articulations plastiques. La voûte se transforme alors en un « mécanisme ». L'effondrement correspond à la rotation de blocs les uns par rapport aux autres. Leur nombre et les rotations ne sont pas quelconques et il en résulte un schéma de fissuration caractéristique :

- Étant donné le caractère hyperstatique de degré trois d'une voûte, elle ne se transformera en mécanisme qu'après la formation d'au moins quatre articulations en chargement dissymétrique et cinq en chargement symétrique.
- Les centres de rotation sont alternativement situés à l'intrados et à l'extrados.
- Le mécanisme dépend de la position et de l'intensité de la charge appliquée ainsi que de la forme de la voûte. En particulier, on peut démontrer qu'il existe une charge minimale et une charge maximale pour lesquelles les mécanismes de ruine sont inversés, c'est à dire que l'ordre des centres de rotation à l'intrados et à l'extrados est inversé. Par exemple, il en est ainsi dans les cas de rapprochement et écartement d'appuis, du tassement et soulèvement d'appuis, du décaissement et remblaiement d'une voûte ogivale, etc.

L'apparition de fissures n'est donc pas inquiétante, à condition toutefois que leur ouverture ne soit pas exagérée et qu'il n'y ait pas risque de glissement d'un bloc sur l'autre parallèlement au joint.

Parmi les actions ayant un effet significatif sur les voûtes on retiendra :

- Les actions cycliques (de température ou de poussée d'Archimède par exemple) qui provoquent à court terme lorsque les variations sont journalières ou à long terme lorsqu'elles sont saisonnières, des déformations plus ou moins réversibles.
- Les actions d'exploitation dues aux charges routières par exemple.

Ces dernières sont transmises en général par l'intermédiaire du matériau de remplissage à l'extrados de la voûte :

- Longitudinalement, elles modifient les efforts dans la voûte engendrant une modification de la poussée développée par l'arc et des déformations de sa géométrie.
- Transversalement, leur diffusion provoque une augmentation des poussées latérales sur les tympans. Le fonctionnement transversal est mal connu jusqu'ici. Des essais réalisés sur des ouvrages réels montrent que la règle de diffusion à 45° des charges à travers l'épaisseur de remblai à la clé n'est pas absurde. Il est bon de noter que les bandeaux se déforment moins que la douelle.

Les flèches restent faibles même sous des charges importantes, la plupart des ouvrages étant massifs. Les déformations et en particulier les rotations dans les joints de mortier évoluent sous le passage de charges conformément au schéma de rupture exposé précédemment.

Enfin, on n'oubliera pas que les ponts en maçonnerie, ouvrages anciens dont les mortiers de hourdage sont souvent dégradés, sont aussi sensibles aux effets dynamiques.

## 1.4 - LES ANCIENS ELARGISSEMENTS

La préoccupation majeure des bâtisseurs de ponts a toujours été, au long des siècles, la sauvegarde des franchissements. D'abord construits en bois, puis en maçonnerie, ces ouvrages disparaissaient soit à la suite d'incendies, soit le plus souvent du fait des crues, et les anciens, compte-tenu des connaissances techniques de l'époque, étaient essentiellement confrontés à l'obligation de reconstruire pour préserver la continuité du passage de la circulation.

Dès lors, avant le XVIII<sup>e</sup> siècle les chantiers d'élargissement d'ouvrages en maçonnerie furent rarissimes. Quand cette nécessité s'imposait, la méthode la plus couramment employée était celle du doublement de l'ouvrage par une seule arche accolée à la voûte précédente, en général de même géométrie et de même nature (Ponts de Saint-Pons). Quelquefois des aménagements particuliers permettaient de résoudre les problèmes de circulation (Pont du Gard).

L'élargissement des ponts en maçonnerie s'est donc développé suite à l'évolution de l'urbanisation des villes et au développement des échanges économiques à travers le royaume. Sur le plan architectural, il ne faut pas méconnaître que les « ponts-rues » des villes étaient souvent habités et que ce n'est qu'à l'époque de Colbert (1665) que l'État a pris le relais des financements immobiliers privés qui prévalaient pour l'entretien et la construction des ponts.

D'autre part, c'est à la même période que le pont commence à être rendu à la circulation, en particulier quand les ponts habités rendent difficiles les communications et la circulation urbaine (les jours de marché par exemple), et aussi quand le roi a exigé à Paris que la vue de la Seine, en particulier du Louvre, ne soit plus occultée par les habitations et les échoppes sur les ponts.

Figure 39 - pont du relais de Saint-Pons



Jusqu'au début du XVIII<sup>e</sup> siècle, le pont du Gard était utilisé pour le franchissement du Gardon au niveau des appuis des arches du 2<sup>ème</sup> étage, dont les piles avaient été échancrées sur près de la moitié de leur largeur (4,56 m). Bien heureusement, suivant un procédé des architectes de Laurens et d'Arvilliers, les piles furent rempliées en 1702, et un passage à péage de 1,77 m fut maintenu grâce à un élargissement par encorbellement au droit des piles. En 1746, un pont routier à l'aval de l'aqueduc romain, et accolé au premier rang, fut construit.

Figure 40 - pont du Gard

Donc dès le XVIII<sup>e</sup> siècle, en raison essentiellement du développement rapide de la circulation sur les chemins royaux, il est très vite apparu que la largeur des anciens ouvrages était notablement insuffisante et qu'il convenait de trouver des solutions pour élargir les ponts sans être conduit à les reconstruire.

La suite de ce chapitre est inspirée du « cours de construction des ponts » de M. Ph. Croizette Desnoyers (1885).

L'une des premières méthodes visant à élargir un ouvrage pour assurer le passage des piétons, et ainsi libérer une largeur de chaussée supplémentaire pour la circulation des véhicules, était basée sur l'utilisation de consoles en pierres :

⇨ Soit avec des voûtes en briques. Utilisée au pont de Cazères sur la Garonne elle a permis de gagner 0,60 m en encorbellement, plus la largeur de l'ancien parapet ; soit 2,00 m d'augmentation de la largeur totale.

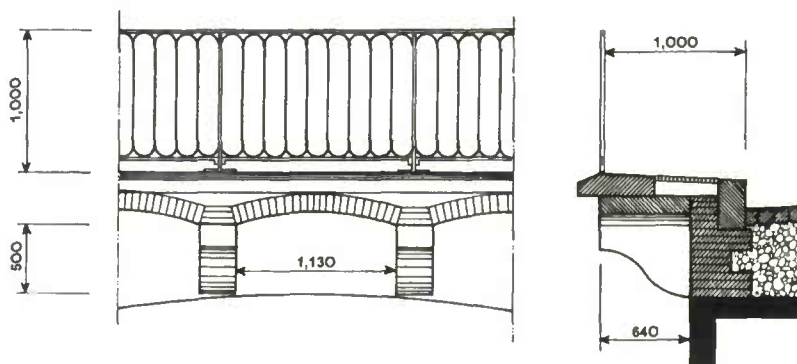


Figure 41 - pont de Cazères



⇒ Soit avec des dalles de répartition. L'encorbellement est également de 0,60 m de chaque côté, avec des trottoirs de 1,10 m de largeur.

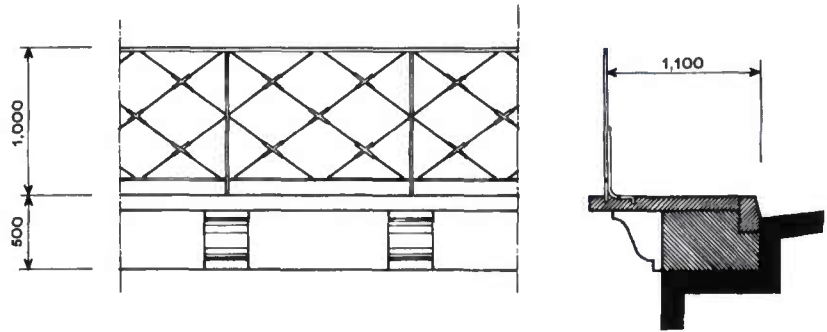


Figure 42 - dalle de répartition

⇒ Soit avec des dalles reposant sur les corniches, elles mêmes soutenues par des consoles en pierres. Pont de Clerval où l'encorbellement a permis de libérer 1,50 m de chaussée en créant deux trottoirs de 0,75 m, le tout avec un très bon rendu architectural.

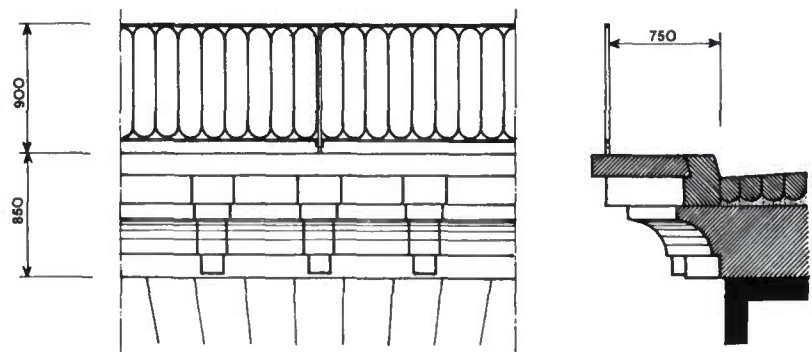


Figure 43 - pont de Clerval

Pour les ouvrages dont la largeur de la chaussée entre parapets était notablement trop faible, certains élargissements étaient conçus pour reprendre les trottoirs, mais également une partie des voies de circulation.

⇒ Pont de Saint-Ambroix : la largeur initiale de la chaussée était de 3,40 m entre parapets, elle a été portée à 4,60 m avec deux trottoirs supplémentaires de 0,70 m de large.

La technique consistait à réaliser des voûtes en briques supportées par des consoles métalliques espacées de 2,17 m entre axes. Ces dernières, reliées entre elles, étaient soutenues par des tirants qui les maintenaient à travers la voûte, de tête à tête.

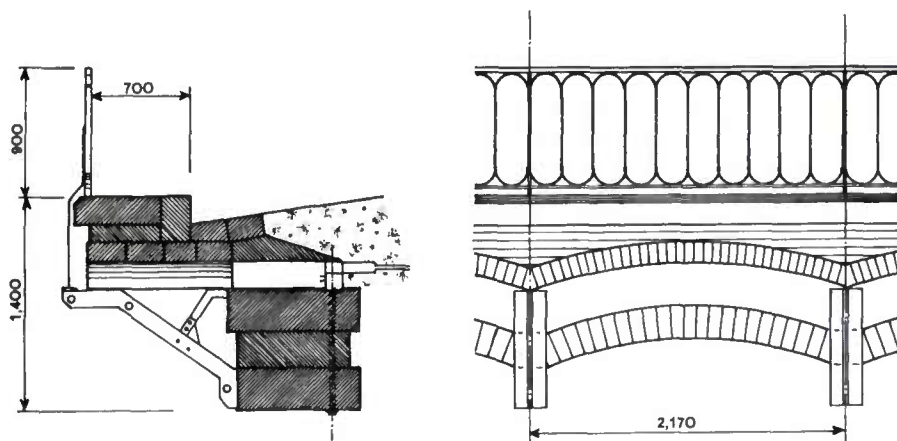
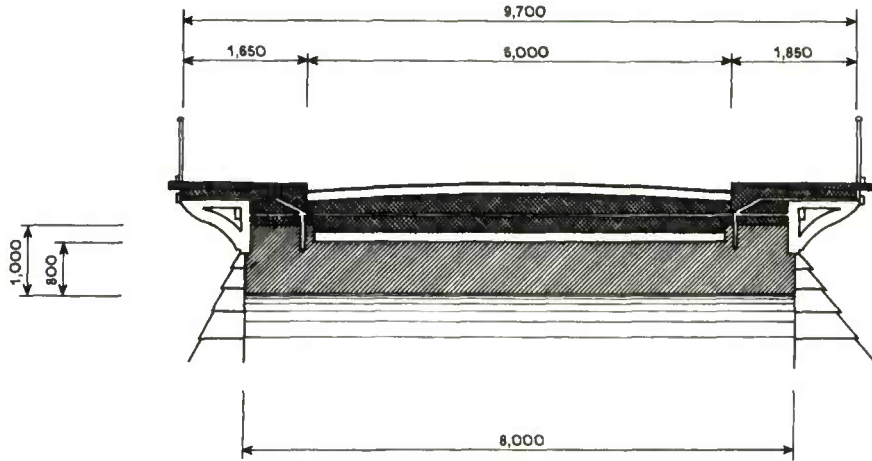


Figure 44 - Pont de Saint-Ambroix

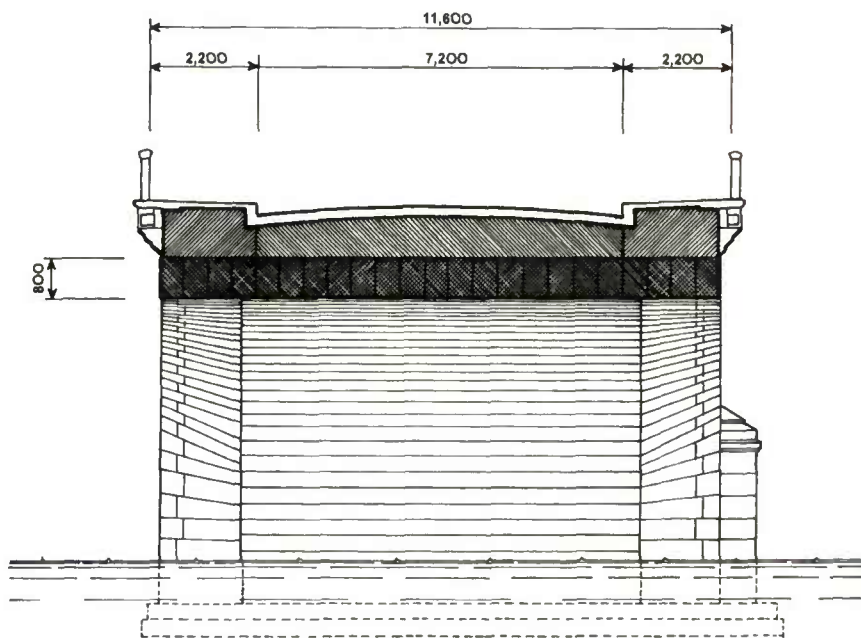
⇨ Pont de Jurançon à Pau : cet ouvrage avait une largeur de 6,00 m entre parapets, il s'est avéré nécessaire de l'élargir une première fois en 1840, pour faire face au développement de la circulation. Cet élargissement a été réalisé au moyen de consoles en fonte, reliées entre elles par des tirants traversant de tête à tête.



*Figure 45 - premier élargissement du pont de Jurançon*

En 1889, il a fallu à nouveau augmenter la largeur de la chaussée, la technique alors utilisée est ingénieuse sur le plan architectural et en parfaite harmonie avec l'ouvrage d'origine.

Cet élargissement a été réalisé par un allongement des arches, dont les nouvelles têtes furent reliées aux anciennes voûtes par des cornes de vache. La largeur a ainsi été portée à 7,20 m et celle des trottoirs à 2,20 m.



*Figure 46 - allongement des arches du pont de Jurançon*

D'après Croizette Desnoyers, il reste admis à l'époque que pour augmenter la largeur des ponts, une des dispositions les meilleures, et parmi les plus élégantes sur le plan architectural, consistait à mettre en œuvre et à accoler, parallèlement aux ouvrages à élargir des arcs plus surbaissés, et moins épais que les voûtes existantes. Aussi souvent que possible ces arcs étaient fondés sur les saillies des avant et arrière-becs des appuis de l'ouvrage.



Figure 47 - pont Notre-Dame à Tonnerre :  
élargissement en pierres



Figure 48 - autre pont de Tonnerre :  
élargissement en briques

Ensuite, jusque dans les années 50 (H. Lang 1947), on préconisa d'élargir les ponts en maçonnerie par la construction d'anneaux séparés. On réalisait des fondations à côté de celles de l'ouvrage à élargir, on exécutait des voûtes en parallèle de celles existantes et on couvrait l'intervalle entre les nouvelles et anciennes voûtes au moyen d'un tablier prenant appui sur l'ancien tympan convenablement arasé.

C'est ainsi, notamment, qu'a été élargi le Pont d'Iéna à Paris, la largeur de cet ouvrage a été portée de 14,00 m à 35,00 m de largeur.

#### ⇒ L'exemple du pont de la Concorde à Paris

Au XVIII<sup>e</sup> siècle, la décision est prise de créer un nouveau pont faubourg Saint-Honoré. En pleine période classique, l'élaboration du projet est confiée à l'architecte ingénieur J. R. Perronnet. Le pont Louis XV sera donc construit au droit de la place homonyme, appelée aujourd'hui place de la Concorde, dans l'alignement du milieu de la rue Royale et dans l'axe de la Madeleine. Rive gauche, le futur pont n'aboutit pas sur un axe, qui aurait pu être la rue de Bourgogne, mais sur le palais Bourbon, mettant en valeur son entrée monumentale.

Ce choix renforce la composition de l'ensemble formé par la rue Royale, la place Louis XV et leurs bâtiments par le truchement de perspectives, d'effets de symétrie, de butoir (statue du roi au centre de la place), etc.

Le pont sera élargi au XIX<sup>e</sup> siècle et doté de candélabres signés Labrouste. Ses nouvelles dimensions ne nuiront pas à la composition.

Nous voyons donc à l'aide de cet exemple datant de l'urbanisme classique à quel point peut être déterminante l'introduction d'un pont dans un ensemble urbain, qu'il soit aussi élaboré ou non. Cette dimension doit impérativement être prise en compte lors de la phase de conception.

*Figure 49 - pont de la Concorde*



## CHAPITRE II

# La démarche du projet

L'évolution de plus en plus rapide de la circulation routière, tant en trafic, qu'en tonnage ou qu'en termes de confort de l'utilisateur, impose une remise en cause permanente du réseau routier et donc des ouvrages d'art qui constituent autant de points sensibles, voire de verrous.

L'élargissement des ponts est donc un problème qui se pose souvent aux projeteurs.

Il est clair que ceux-ci ne trouveront pas ici de réponse universelle, comme toujours en matière d'ouvrages d'art, chaque cas étant spécifique. On peut cependant se livrer à un exercice méthodologique sur l'approche d'un projet d'élargissement, et procéder à une rapide classification des principales solutions possibles, sans perdre de vue ce que Séjourné a écrit [2] :

*« Se préoccuper toujours de l'aspect : de tous les ouvrages - 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, grappiller. Ce que l'on glane sur les ouvrages est misérable, et c'est faire voir bien peu de goût que de gâter pour si peu... On a gâté de vieux ponts pour les élargir...*

*On doit respecter les choses qui ont duré, surtout celles de chez nous. Restons fidèles au passé, soutien du présent et gardons des barbares nos vieux ponts, nos vieilles églises, toute notre vieille France... PROETERITI FIDES, SPES FUTURI (1) »*

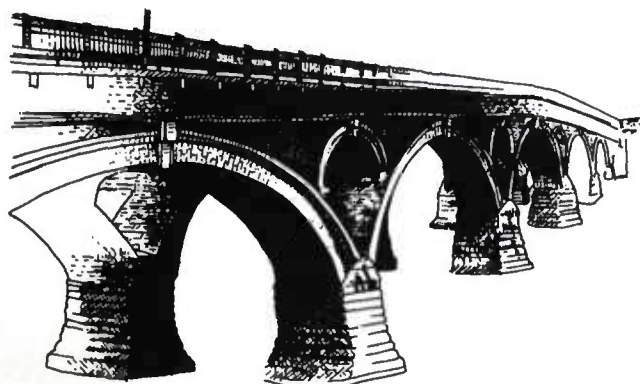


Figure 50 - pont des Catalans à Toulouse de Paul Séjourné, par Ph. Vincent

## 2.1 - LES OBJECTIFS

### 2.1.1 - Pourquoi élargir ?

Cette question d'apparence anodine mérite pourtant une bonne analyse avant de se lancer dans le projet. Sa ou ses réponses conditionnent toute la « philosophie » de l'élargissement qui va suivre. On conçoit bien en effet que l'étude à mener sera fort différente selon les cas suivants.

S'agit-il de créer une voie supplémentaire, par exemple chaussée bidirectionnelle sur ouvrage à voie unique, ou simplement de « régulariser » une situation de deux voies étriquées en une chaussée de largeur correcte. Et, dans ce dernier cas, faut-il s'attendre à une augmentation du trafic, en particulier des poids lourds, liée à un itinéraire plus attractif ?

1) « Fidélité au passé, espoir dans l'avenir »

S'agit-il d'améliorer le confort de l'utilisateur, par exemple en reconstituant pour les piétons des trottoirs souvent « dévorés » par un élargissement sauvage de la chaussée, ou en rectifiant pour les automobilistes un tracé sinueux de part et d'autre de l'ouvrage, ou s'agit-il de répondre réellement à un problème de capacité ?

Chacun de ces cas conduit à une approche très différente et pas seulement au niveau des hypothèses de calcul à prendre en compte. À l'extrême, on peut aboutir à une remise en cause totale de l'élargissement : s'il correspond à une fonction routière complètement nouvelle, pourquoi pas un ouvrage neuf indépendant de l'ancien, s'il s'agit simplement d'améliorer le passage des piétons, pourquoi pas une passerelle piétons ?

D'où l'importance de bien définir les objectifs dès le départ.

### **2.1.2 - COMMENT ÉLARGIR ?**

**L'élargissement d'un ouvrage ancien doit tenir compte de son histoire et de son esthétique originelle.**

L'ouvrage en place a son style propre, son esthétique et se trouve être dans un cadre, un paysage urbain ou rural. Il exprime l'art, les techniques, les savoir-faire, le goût d'une époque. À travers cette émergence d'un passé nous revient la mémoire de l'histoire. Apparaît alors l'idée que l'on peut se faire d'un passé, et cette idée n'est pas assurément celle qu'avaient les hommes qui ont bâti l'ouvrage.

Nous nous voyons donc confrontés à une difficulté : celle de ne pas se tromper dans la connaissance des anciens. Par exemple, il nous arrive de surestimer la valeur de leur construction, la qualité de leurs fondations ou de leurs ossatures, ou au contraire de sous-estimer leur hardiesse ou la vitesse de leurs réalisations. Cette difficulté est aggravée par le fait qu'il existe peu de publications historiques sur la construction ; l'on a écrit plus sur l'esthétique ou sur l'aspect des bâtiments et des ponts que sur la technique elle-même et il est malaisé de se procurer des livres sur l'histoire des savoir-faire ou l'histoire des techniques ou l'histoire des méthodes de construction.

Il nous faut donc reconstituer ce savoir et retrouver dans la littérature technique ancienne les bribes de connaissances qui pourront éclairer notre lanterne. Cette connaissance, qui autrefois se transmettait oralement par le biais des compagnons, était riche et foisonnante comme en attestent les rapports des loges et la vie que les bâtisseurs menaient.

Chaque époque avait ses idées, ses canons de beauté, ses modes et ce sont donc de multiples esthétiques qui doivent être comprises pour analyser avec justesse un ouvrage. Les ouvrages du XII<sup>e</sup> siècle de la période gothique avec leurs voûtes en ogives sont bien différents de ceux du XV<sup>e</sup>, qui voit apparaître l'anse de panier.

Pendant près de quatre siècles dans le domaine de l'architecture civile, du XV<sup>e</sup> au XVIII<sup>e</sup>, le progrès technique n'était quasiment pas à l'ordre du jour et ce sont plus les modes, l'aspect, les proportions et l'harmonie qui étaient recherchés pour produire le meilleur effet pour satisfaire le bon goût.

Cette recherche de la perfection dans l'harmonie des ouvrages a donné des chefs-d'œuvre dans le domaine des ponts, tels que les ponts de Castries, de Gignac dans l'Hérault, Royal à Paris, Gabriel à Blois, Louis XVI à Dôle, de Lavarut sur l'Agout dans le Tarn, de Moulins sur l'Allier, et tant d'autres.

*Figure 51 - pont de Jarnac  
(ruban d'or 1991)*



*Figure 52 - pont de Noyers*

*Deux élargissements récents ayant fait l'objet d'une réflexion architecturale*

#### • **Les ponts urbains**

Les premiers ponts en maçonnerie de ce type apparaissent au moyen âge et de nombreux ponts urbains sont des ponts habités, les plus connus se trouvaient et se trouvent encore en France et en Italie, tel que le Ponte Vecchio.

Les ponts à cette époque sont placés dans des endroits facilement franchissables déterminant l'implantation des grands axes urbains. Cette implantation détermine l'organisation urbaine alentour, berges, places, avenues, etc. A Paris, le pont Notre Dame se trouve par exemple dans le prolongement de la rue Saint Jacques (axe de pèlerinage). La composition urbaine résultante pourrait être analysée selon la méthode mise au point par Camillo Sitte. Bien qu'interdit par la suite par décret, ce type de pont se maintiendra jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle à Paris.

Avec le classicisme, l'implantation des ponts sera désormais déterminée non pas par le site mais par la composition dans laquelle il s'intègre. Il doit en effet s'inscrire dans la perspective d'une grande artère, répondre à des exigences de symétrie, d'axialité, etc. C'est le cas du pont de la Concorde et de la place Louis XV (cf. § 1.4).

Au XIX<sup>e</sup> siècle, les ponts urbains poursuivent cette recherche d'axialité et s'ouvrent devant les grandes avenues et boulevards récemment percés. Le pont d'Arcole à Paris, vient s'implanter au droit de l'Hôtel de Ville.

### • **Les ponts ruraux**

Les ponts en maçonnerie apparaissent dans l'antiquité en milieu rural. Ce sont de petits ouvrages fonctionnels, sobres, rudes, dont le rôle est de relier les grands axes routiers et de faire traverser. Aucune recherche n'est effectuée pour leur implantation hormis la recherche d'un site permettant un franchissement aisé : sol, stabilité des berges, îles, etc. Les points déterminants sont géologiques et non urbains. Leur style varie au cours des âges et les ponts de pierre constituent aujourd'hui de véritables bijoux dans le paysage, d'autant plus qu'ils se trouvent souvent dans des sites remarquables.

Certains ponts ruraux sont devenus, avec l'urbanisation, des ponts des villes. Des ponts défensifs, avec remparts, tours, etc., qui se trouvaient en limite de ville, sont désormais intégrés, tels que, par exemple, le pont Valentré à Cahors.

## **2.2 - LES ETAPES DU PROJET**

Plus encore que pour un projet d'ouvrage neuf, il importe de respecter les différentes étapes d'élaboration du dossier :

- étude préliminaire,
- études de projet,
- consultation des entreprises.

Sauter une étape, par exemple ne pas réaliser les sondages sur les fondations dès l'étude préliminaire, peut provoquer la remise en cause de l'ensemble du projet.

La conduite d'une opération d'élargissement nécessite un maître d'œuvre spécialisé ou conseillé par un spécialiste.

Enfin, il est fortement conseillé de faire effectuer l'étude préliminaire et les études de projet par le même bureau d'études.

## **2.3 - L'ETUDE PRELIMINAIRE**

L'étude préliminaire est la première étape du projet. Elle consiste à en poser les bases, à mener les premières réflexions conduisant au choix d'une ou plusieurs solutions et à en estimer le coût.

C'est au maître d'ouvrage qu'il appartient ensuite de choisir la solution à développer. Elle se traduit par la production d'un document rassemblant les rubriques suivantes.

### **2.3.1 - Commande du maître d'ouvrage**

La commande du maître d'ouvrage doit être claire avant d'entreprendre l'étude, et il sera parfois utile de l'aider à définir sa demande en la matérialisant par écrit. Ce travail n'est pas superflu car il permet en outre de recenser et classer les actions à mener pour apporter une réponse adéquate.

Ainsi, il conviendra de préciser :

- **Le contexte de la demande** : ouvrage concerné, problématique.
- **L'objectif à atteindre** en décrivant l'état de service futur souhaité (s'assurer que l'objectif résout bien le problème posé).
- **Les intervenants**, en précisant leur rôle.



- **La planification du projet** en élaborant un programme qui tient compte des études, des démarches administratives (autorisations), les approbations et des délais d'exécution des travaux.
- **Le financement**, en identifiant clairement le payeur et en élaborant un budget qui distinguera les honoraires de la maîtrise d'œuvre, ceux du bureau d'études et de l'architecte, le financement des investigations à mener et enfin ceux des travaux qu'ils soient directs ou indirects (liés par exemple à l'établissement d'une déviation).
- **Les procédures administratives** nécessaires et autorisations à demander. Par exemple, lorsque l'ouvrage se situe dans le périmètre classé d'un monument historique ou en application de la loi sur l'eau. Ainsi, en application de l'article 10 de la loi n° 92.3 du 3 janvier 1996, l'élargissement d'un pont en maçonnerie est soumis à déclaration dès lors que la largeur de l'ouvrage (en extérieur de dalle) excède 10 mètres.
- **Les critères de choix** entre différentes solutions : le coût, les délais, la minimisation des conséquences indirectes (restriction de circulation, déviation, ...), l'impact esthétique, etc.

Bref, il faut matérialiser le cahier des charges !

### **2.3.2 - Diagnostic de l'ouvrage existant**

Une bonne connaissance de l'état de la structure et en particulier de l'état des fondations est alors primordiale afin de pouvoir vérifier la faisabilité d'une solution d'élargissement.

La première pièce importante de l'étude est le dossier de l'ouvrage et plus particulièrement l'ensemble des plans de récolement, les notes de calculs déjà effectuées, les sondages déjà réalisés et les levés bathymétriques et topométriques du franchissement.

L'étude doit également pouvoir s'appuyer sur une inspection détaillée particulière récente (moins de 3 ans), mettant en évidence les zones présentant des défauts de nature à justifier des investigations particulières, des investigations de confortement ou de réparation préalables à l'élargissement. Cette inspection détaillée doit également permettre d'estimer le coût des études et des travaux d'entretien et de réparation à réaliser.

Une inspection détaillée doit donc être réalisée avant toute étude, sauf si une étude récente est disponible.

Cependant, dans de nombreux cas, une première campagne d'investigations et des calculs devront également être réalisés dès ce niveau des études.

- **La campagne d'investigation porte essentiellement sur l'état des fondations, la géométrie de la voûte et les caractéristiques du matériau la constituant**

En présence de fondations sur pieux en site affouillable, il est impératif de faire procéder à des sondages destinés à s'assurer de leur non précarité. De même, si les appuis comportent des avant et arrière becs, il est nécessaire de définir leur type de fondation si l'on envisage de leur faire supporter l'élargissement. Il est à noter qu'en principe l'inspection détaillée d'un ouvrage en maçonnerie intègre des reconnaissances subaquatiques et, dans certains cas, des sondages.

La nature de ces investigations est à moduler en fonction de la taille des ouvrages et des solutions d'élargissement réalisables. Par exemple, si le tracé en plan impose d'élargir par un ouvrage accolé à la structure, les investigations peuvent être sensiblement réduites.

- **Les calculs concernent essentiellement la résistance des fondations et la stabilité de la voûte (cf. § 2.3.3). Les autres calculs pourront être effectués au niveau de l'étude du projet**

Cependant pour répondre à la commande d'un maître d'ouvrage, soit dans des délais restreints, soit sans investissement préalable, les investigations ou calculs sont parfois différés après l'étude préliminaire. Cette façon de faire est déconseillée. Mais dans ce cas, l'étude préliminaire doit préciser la nature des investigations et calculs qui devront absolument être réalisés avant le démarrage des études de projet. L'étude préliminaire devra également bien préciser les hypothèses prises en compte pour élaborer les solutions, et envisager tous les cas de figure en fonction des résultats des investigations et calculs qui seront effectués ultérieurement.

### **2.3.3 - Les calculs**

#### **a) Nécessité du calcul de stabilité des fondations et des voûtes**

Avant de procéder à un élargissement il est indispensable de **vérifier la stabilité des fondations**.

En revanche, la justification par le calcul de la stabilité des voûtes et des appuis n'est pas toujours indispensable.

Un calcul s'impose si au moins l'une des conditions suivantes est vérifiée :

- la voûte est jugée en mauvais état structurel par une personne qualifiée ;
- les caractéristiques géométriques des éléments reposant sur la voûte augmentent de façon importante : le nombre de voies de circulation augmente, la largeur utile existante augmente de façon significative (plus de 50 % par exemple), etc. ;
- les charges d'exploitation augmentent (convois exceptionnels, etc.) ;
- l'ouvrage a soit une grande portée (supérieure à 10 mètres par exemple), soit un surbaissement important (inférieur à 1/4 par exemple).

Mais il peut s'avérer nécessaire de réaliser un recalcul même si aucune de ces conditions n'est vérifiée. Cette décision incombe au chef de projet qui en assume la responsabilité, éventuellement aidé dans son choix par un spécialiste des calculs susceptible d'apprécier les particularités mécaniques du cas considéré. Nous évoquerons deux exemples pour illustrer ce propos.

#### **⇨ Le cas du pont des Eyzies en Dordogne.**

Cet ouvrage situé au cœur d'une région très visitée en raison de son patrimoine préhistorique a fait l'objet de longues études et d'investigations en vue de son élargissement.

On se reportera à la fiche n° 11 en annexe 4 pour prendre connaissance des problèmes posés et des solutions apportées. En résumé, les voûtes ne posaient aucun problème de stabilité sous les charges accrues tant permanentes que d'exploitation, malgré le passage à deux voies avec croisement de poids lourds et l'adjonction d'une passerelle piétons latérale. Mais le calcul des voûtes conduit jusqu'à la base des fondations des piles montrait que les fûts de piles grêles ne « passaient » pas sous les charges d'exploitation dissymétriques. Une confortation de ces fûts a été réalisée par micropieux disposés en deux lignes par pile. Ces micropieux ancrés de plusieurs mètres dans le substratum, ont par ailleurs permis de lever tout doute sur un risque majeur des fondations lié à la présence éventuelle de karsts sous les semelles de ses piles en rivière.

## ⇨ Le cas du pont Mayou sur la Nive à Bayonne.

Dans ce cas, les voûtes sont très surbaissées avec des culées fondées sur pieux de bois, tous verticaux. Les calculs confirment la grande sensibilité de l'ouvrage aux déplacements horizontaux éventuels de ces culées. L'ouvrage encourt des risques majeurs si, par exemple, suite à des décaissements partiels de remblais derrière les culées pour mettre en place des réseaux divers profonds, ces remblais venaient à être remaniés.

L'étude de la stabilité de la voûte peut même être un élément de choix pour les types d'élargissement envisagés, c'est pourquoi il est souhaitable de la mener dès l'étude préliminaire.

### **b) Définition des données du problème**

Nous rappelons les éléments qu'il est nécessaire de recueillir pour procéder au calcul de la voûte.

- **La géométrie de la structure existante** (intrados, extrados, largeur de la voûte, épaisseur du remplissage, épaisseur des tympans, dimensions des appuis). Si aucun document n'existe, il sera nécessaire d'effectuer des sondages dans plusieurs sections (à la clé, aux reins, aux naissances et sur appuis) pour recueillir ces données. Avant d'effectuer ces investigations, il ne faut pas hésiter à faire des recherches dans les archives départementales, nationales ou auprès d'entreprises qui auraient réalisé des travaux sur l'ouvrage. Même si les archives sont apparemment complètes, des vérifications doivent être faites car des modifications ont pu intervenir au moment de la réalisation ou postérieurement.
- **La définition de la géométrie de l'élargissement.**
- **Les caractéristiques des matériaux :**
  - ⇨ Masse volumique de la maçonnerie et du remplissage,
  - ⇨ Résistance à la compression simple de la maçonnerie (résistance caractéristique). Cette résistance peut être définie par utilisation de tableaux donnés dans le chapitre 2 du sous dossier « Historique et constitution » du document [1], et à partir d'écrasements d'éprouvettes de pierres prélevées sur la voûte. On ne perdra toutefois jamais de vue que la résistance in situ est celle de l'ensemble pierre-joint.
- **Les actions appliquées :**
  - ⇨ actions permanentes : poids propre de la voûte, du remplissage et de la structure de l'élargissement, poids des superstructures, poussée des terres,
  - ⇨ actions variables : charges routières, poussées hydrostatiques.

### **c) Les différents types de calculs de voûte**

Il existe trois principaux types de calculs de voûte en maçonnerie.

#### **• Le calcul élastique linéaire (peut être effectué avec des programmes à barres)**

Ce type de calcul s'est développé au début du XIX<sup>e</sup> siècle, sous l'impulsion de Navier en particulier.

En section non fissurée, il nécessite la connaissance de la loi de comportement du matériau en plus de son critère de résistance. Mais surtout, il nécessite la connaissance des contraintes initiales (dues au mode de construction, aux mouvements d'appuis, aux effets thermiques, ...). Ces données sont évidemment inaccessibles et l'illusion du calcul élastique donnant une solution unique au problème, situation réconfortante pour l'ingénieur, s'envole.

En outre, il est raisonnable de penser que des mouvements d'appui de faible amplitude ne modifient que très peu les chargements supportables par la structure : or, dans les cas des arcs, les calculs élastiques linéaires de mouvements d'appui (ou d'effets thermiques) modifient considérablement les contraintes et les efforts. Enfin, les résultats dépendent étroitement du mode d'appui des voûtes (encastrement, articulation).

• **Le calcul élastoplastique (programmes aux éléments finis)**

En prenant en compte une loi de comportement « parfaitement plastique standard », ce type de calcul permet de résoudre certaines des difficultés mentionnées ci-dessus. Dans ce calcul, la maçonnerie a la possibilité de se fissurer. On n'a plus ainsi à se préoccuper des conditions d'appui de la voûte : on adopte au départ l'encastrement et le calcul modifie cet encastrement en fonction des sollicitations. En outre, on sait que le chargement limite est alors indépendant de l'histoire et en particulier des contraintes initiales : si l'on adopte le même critère de résistance, on retrouve donc les mêmes chargements supportables que ceux obtenus par le calcul à la rupture.

• **Le calcul à la rupture (programme VOÛTE du SETRA)**

La théorie du calcul à la rupture permet de définir, pour une structure de géométrie fixée, à partir du seul critère de résistance du matériau constitutif de l'ouvrage, l'ensemble des chargements qui la rendent certainement instable. Par passage à l'ensemble complémentaire, elle permet de définir un ensemble de chargements dits « potentiellement supportables » qui ne sont pas nécessairement supportés par la structure. De façon très simpliste, on peut dire que si le matériau a un comportement suffisamment ductile, ce qui est le cas de la maçonnerie, alors les chargements « potentiellement supportables » sont effectivement supportés.

L'annexe 3 développe un exemple de calcul par le programme VOÛTE.

**d) Proposition d'une méthode de calcul des voûtes des ponts en maçonnerie**

Rappelons qu'avant l'apparition et le développement de programmes informatiques ; les concepteurs d'ouvrages ont souvent eu recours à des méthodes graphiques, dont la plus connue est « l'épure de Méry ». À l'heure actuelle, on pourra se baser sur les orientations suivantes :

- La méthode de calcul élastique linéaire doit être abandonnée.
- Il n'est pas forcément nécessaire de se lancer dans une approche théorique très compliquée, et le calcul à rupture (programme VOÛTE), relativement simple à effectuer, donne dans la plupart des cas une bonne image de la résistance de l'ouvrage.
- Les calculs doivent prendre en compte la répartition des charges au niveau de l'extrados (transversalement et longitudinalement).
- Lorsqu'il s'agit d'évaluer l'incidence d'actions telles que des mouvements d'appui, les calculs de type élastoplastique peuvent être utilisés malgré le problème lié à l'introduction d'inconnues supplémentaires, en général mal cernées, comme le module d'élasticité.
- Enfin, il est inutile d'introduire dans les calculs des effets thermiques.

**e) Vérifications pendant les phases de travaux**

Il sera nécessaire d'effectuer les vérifications correspondant aux différentes phases provisoires, phases de décaissements ou remblaiements, passages d'engins de chantier sur l'ouvrage (pelles mécaniques, camions, compacteurs, ...). Ces vérifications seront jointes aux documents visés au paragraphe 2.4.1.c.

L'attention est attirée en particulier sur les cas :

- des voûtes ogivales susceptibles de s'effondrer par poussées horizontales des remblais quand elles sont faiblement chargées à la clé ;
- des piles de faible épaisseur qui ne peuvent pas supporter un décaissement dissymétrique sans précautions particulières (butonnage, etc.).

#### **f) L'interprétation des calculs**

Le calcul effectué à l'aide du programme VOÛTE sera un calcul à l'état limite ultime de résistance (D.C. 79).

La voûte pourrait être considérée comme potentiellement stable si le coefficient de rupture est supérieur ou égal à 1, mais le sous dossier « Évaluation de la stabilité » du document « Les Ponts en maçonnerie » [1] propose de retenir un coefficient de 3 (valeur minimale) pour tenir compte des incertitudes qui pèsent sur le calcul des ouvrages en maçonnerie.

Il faut rester prudent quant à l'interprétation des résultats des calculs. Plutôt qu'une réponse mathématique absolue, il convient de considérer qu'ils sont surtout un indicateur qui donne une tendance.

Par exemple, quel que soit le type de calcul effectué, il ne suffit pas de s'intéresser uniquement à la valeur absolue du coefficient de sécurité après élargissement. Il convient également de regarder l'évolution du coefficient de sécurité entre les calculs avant élargissement et après élargissement.

Il est rappelé que le calcul VOÛTE comporte des hypothèses simplificatrices allant dans le sens de la sécurité. Ainsi, les tympans et le matériau de remplissage jouent un rôle dans la résistance de la structure, mais il est prudent de négliger leur effet bénéfique dans les calculs car leur influence est difficile à appréhender et leurs caractéristiques difficiles à déterminer.

Par ailleurs, le gain de précision que l'on peut a priori espérer tirer d'un calcul aux éléments finis peut s'avérer illusoire. Si l'on effectue un calcul aux éléments finis et que l'on souhaite faire participer les tympans et le matériau de remplissage à la résistance, il convient de faire des calculs en fourchette sur leurs caractéristiques.

#### **g) Vérification de la stabilité des appuis**

Elle pourra être effectuée comme indiqué au paragraphe 2.3. du sous dossier 2 du document [1].

Pour cette vérification, la répartition transversale des charges sera différente de celle prise en compte pour la vérification de la voûte : toutes les charges seront réparties dans le sens transversal de façon linéaire sur la largeur totale de la voûte. Cette répartition sera fonction de l'excentricité de chaque charge.

### **2.3.4 - LES DONNÉES**

#### **a) Données naturelles : site, hydraulique, géotechnique**

##### **• Les contraintes liées à la zone d'influence d'un ouvrage**

Le fascicule 20 de la deuxième partie de l'instruction technique du 19 octobre 1979 et 26 décembre 1995 définit précisément aux chapitres 2 et 3 les limites administratives de la zone d'influence d'un ouvrage d'art. Cette zone est volumétrique et elle inclut le sol jouxtant l'ouvrage et ses abords.

Cette zone d'influence doit obligatoirement être prise en compte dans les études, mais cette obligation ne dispense évidemment pas le projecteur d'élargir son champ d'investigation.

Pour un pont en maçonnerie, le texte précise les dimensions des « abords immédiats » qui sont inclus dans cette zone d'influence et sont données par les schémas généraux ci-contre.

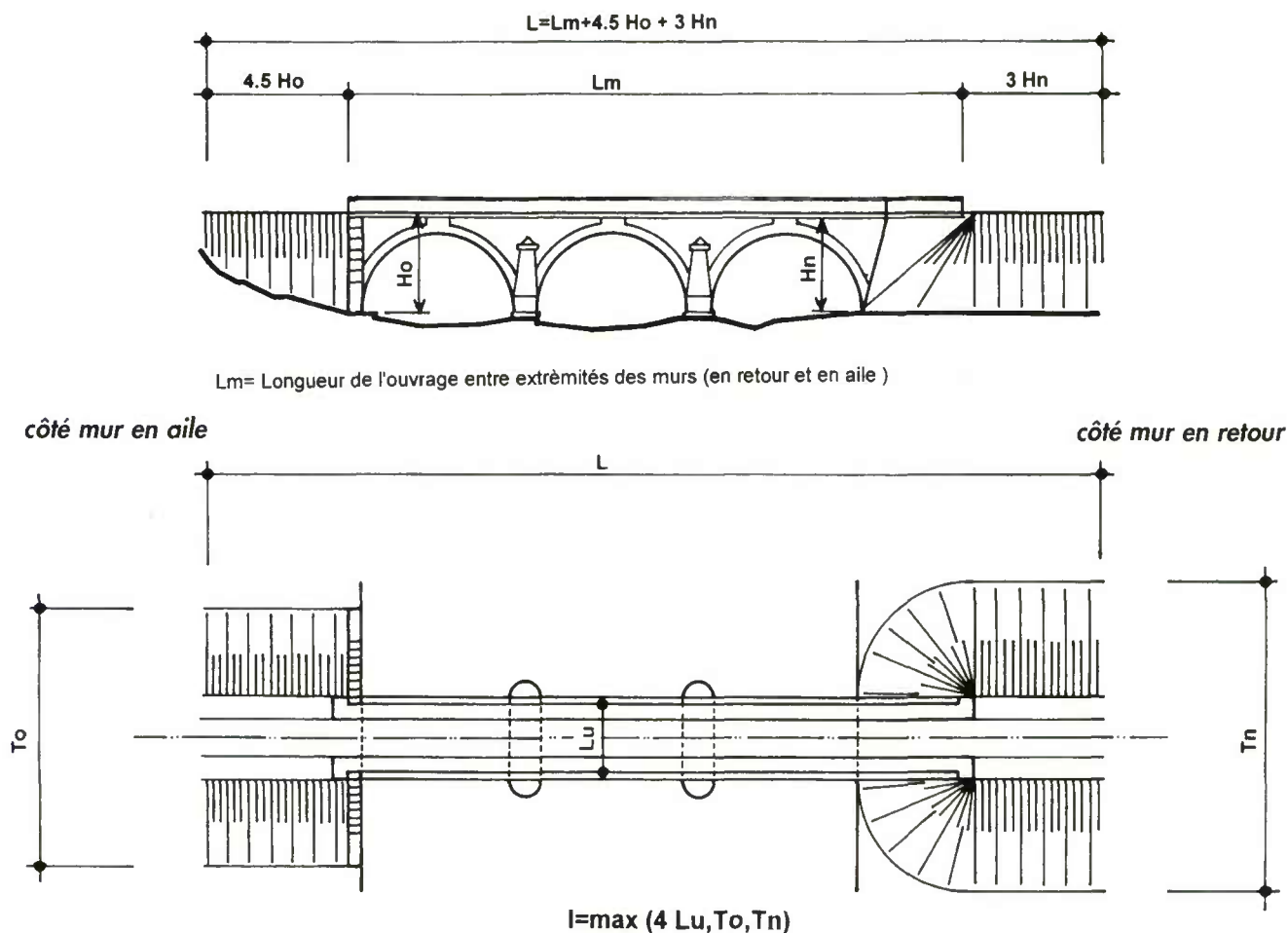


Figure 53 - les abords immédiats

Il est important de noter qu'une intervention dans la zone d'influence doit se faire en toute connaissance de cause. Il est impératif de connaître les caractéristiques du sol de fondation, la nature des matériaux de remplissage, etc., avant toute opération de décaissement.

Les contraintes hydrauliques du site (la variation du cours d'eau en plan et en profondeur, la modification des bassins versants, l'utilisation au cours du temps du lit des rivières), sont autant d'éléments qu'il convient aussi d'examiner.

Il est fondamental de ne pas intervenir sur la zone d'influence sans précautions. Il n'est pas rare que la stabilité des fondations d'un ouvrage en maçonnerie soit précaire, du fait de l'abaissement du lit de la rivière franchie, ou du fait d'assises de fondation superficielles.

L'intervention à leur voisinage doit se faire « à la petite cuillère » et sous un contrôle rigoureux (penser à réaliser les travaux hors période de crues !). La stabilité de certaines culées (par exemple celles fondées sur pieux verticaux) fait intervenir la butée des remblais adjacents.

De la même manière, les ouvrages sont tellement anciens qu'il existe parfois des réseaux implantés de longue date dans la zone d'influence de l'ouvrage, que l'on découvrira lors des travaux de décaissement.

Le maître d'œuvre et l'entreprise doivent être parfaitement avertis de cette probabilité, ainsi que des risques encourus si les travaux sont réalisés sans les précautions nécessaires (rupture de réseaux d'eau ou d'assainissement, sectionnement de câbles électriques).

• **Les contraintes climatiques**

Elles interviendront pour la réalisation du chantier d'élargissement et peuvent ne pas être négligeables (température, précipitations, ensoleillement...).

• **Les contraintes hydrauliques interviendront sous deux formes :**

- le débouché hydraulique superficiel de ces ouvrages, surtout pour ceux antérieurs à l'époque de Perronet, est réduit. Les piles sont épaisses, les voûtes de faible ouverture et de faible hauteur. La mise en place d'échafaudages peut donc être problématique vis-à-vis des crues ou de la navigation ;
- les ouvrages sont souvent fondés superficiellement quand ils sont anciens, quelquefois les protections par enrochements en place sont plus ou moins illusoire. Il importe donc de prendre d'importantes précautions avant de modifier (ou d'influer) sur le lit d'un cours d'eau.

**b) Données fonctionnelles :**

Pour mémoire : tracé en plan, profil en long, profil en travers, charges d'exploitation, équipements, réseaux des concessionnaires de voirie.

L'attention est attirée sur la nécessité de caler le profil en long du projet de telle sorte que les sollicitations sur le pont aménagé ne soient pas préjudiciables à la structure. Par exemple, si le profil en long était rehaussé de manière sensible, il en résulterait des augmentations de poussées sur les murs tympan ainsi que des difficultés importantes au niveau des ouvrages de raccordement.

**c) Conditions de réalisation : Circulation sur ou sous l'ouvrage - Délais -  
Maintenance de la circulation routière ou piétonne - Déplacement de réseaux.**

Ces contraintes sont liées à l'exploitation (circulations routières et piétonnes, trafic, possibilités de déviation, ...) mais aussi à l'utilisation qui est faite de l'ouvrage par le passage des divers réseaux (canalisations, câbles, ...).

Ces difficultés doivent être étudiées et résolues avant le démarrage du projet d'élargissement. Elles peuvent conditionner notablement le type d'élargissement et le phasage des travaux. Une concertation avec toutes les parties prenantes est donc souhaitable à ce niveau des études.

Au premier rang des données se situent les contraintes d'exploitation.

- Pourra-t-on interrompre la circulation pendant les travaux ?
- Dans quelles conditions ?
- À quelle époque ?
- Pour quelle durée ?
- Faut-il assurer une liaison piétonne ?
- Faut-il pouvoir assurer le passage d'un véhicule de sécurité dans un délai déterminé ?
- Quand pourra-t-on physiquement intervenir sur l'ouvrage ? Conditions météorologiques (site montagneux par exemple), régimes de crues, exploitation liée à une activité saisonnière (tourisme, moissons) toutes conditions d'où découle une fenêtre maximum pour la durée du chantier et assez souvent le choix de la technique à utiliser.

### 2.3.5 - Étude architecturale

Pour l'élargissement d'un ouvrage d'art l'intérêt de l'étude architecturale préalable revient à proposer au maître d'ouvrage une analyse du site, de l'histoire du lieu et une première proposition par l'intermédiaire d'une ou plusieurs esquisses qui donnent intuitivement une orientation vers une solution.

Dès le début de l'étude, il faut s'informer pour savoir si l'ouvrage est classé ou situé dans un périmètre inscrit. Si tel est le cas, il faudra associer l'Architecte des Bâtiments de France au projet.

Cette approche permet au delà des réponses fonctionnelles ou techniques d'imaginer d'autres solutions qui expriment un « parti architectural » et un programme d'études, par exemple :

**1 - Pour l'élargissement du pont d'Aixe-sur-Vienne** (cf. fiche n° 3 en annexe 4), une idée de départ fut de reprendre les pierres de l'ouvrage sur l'Aixette, qui étaient disposées sur le tympan et les garde-corps, de les déposer et ensuite de rehausser les avant becs selon les dessins anciens en réutilisant ces pierres.

De la sorte les trottoirs présentent des petits stationnements élargis. Ainsi la dalle en béton est prise entre des maçonneries de pierres qui la coupent. Cette disposition crée un rythme qui cadence la vue amont du pont.

En aval, comme il n'y a pas d'avant bec, des murs bahuts ont été simplement implantés pour rompre la monotonie du barreaudage. À partir de cette esquisse de base, le pont a été redessiné, en pensant que l'ouvrage fut déjà élargi antérieurement.

Les réseaux ont été implantés dans les trottoirs et dans une corniche creuse.

Les luminaires sont venus tout simplement se positionner dans les espaces créés sur les avants becs et contre les murs-bahut. Le choix des luminaires échappe souvent à la maîtrise d'œuvre.

Ce point devrait faire l'objet d'une sensibilisation des services techniques des villes, car ils sont souvent liées par contrat à des sociétés d'éclairage public et ont des contraintes non nécessairement liées aux ponts.

*Figure 54 - pont d'Aixe-sur-Vienne  
ouvrage avant travaux*





Figure 55 - pont d'Aixe-sur-Vienne ouvrage après travaux



2 - Pour l'élargissement du pont de Saint-Léonard des Bois dans la Sarthe, plutôt que de casser les maçonneries du pont existant, datant de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, il a été proposé de faire circuler les voitures et camions sur le corps de la voûte, et de positionner de chaque côté des tympanes des passages piétons s'appuyant sur des consoles et des aisseliers.

Une dissociation des passages piétons/voitures a permis de réaliser un élargissement moins coûteux et très simple.



Figure 56 - pont Saint-Léonard des Bois



Figure 57 - détail

Un parti architectural analogue a été proposé et réalisé pour l'élargissement du pont de Nieul sur la Glane, en Haute-Vienne, devant un château classé (cf. fiche n° 17 en annexe 4).

3 - Pour l'élargissement du pont de Jarnac (cf. fiche n° 1 en annexe 4), l'étude a conservé les tympanes actuels, les a remis en état, et a proposé de créer au bout de la nouvelle dalle en encorbellement une corniche en béton, très découpée, selon les formes inspirées des dessins des traitements des voûtes et archivoltés de Saintonge.

Le plan du pont avec des liaisons à 45° aux quatre angles permet aux trottoirs de s'élargir et de bien lier le pont aux murs de quai. Ces murs de quai ont été redessinés de manière traditionnelle. Des macarons aux effigies de la Ville de Jarnac et de la ville de Gondeville ont été implantés. Un garde corps très sobre et simple, de facture moderne, avec des tubes en acier inoxydable a été réalisé.

**4 - Pour le pont des Eyzies** (cf. fiche n° 11 en annexe 4), sur un ouvrage du XIX<sup>e</sup> siècle à 3 travées, l'élargissement proposé a distingué les piétons de la chaussée réservée aux véhicules légers et poids lourds.

Le passage piétons a été positionné en dehors du tympan sur une ossature indépendante en bois lamellé collé venant se placer sur des consoles métalliques scellées dans le corps de maçonnerie de l'ouvrage.

En profil en long, un dessin assoupli en formes arrondies, souligne les voûtes. Le dessin de la voûte permet de proposer un profil en long légèrement arrondi afin de faciliter le cheminement des personnes à mobilité réduite, et de dégager les deux élégissements circulaires au droit des piles. Pour les piétons, la promenade prend une allure originale.

**5 - Pour l'élargissement du pont de Mailly la Ville dans l'Yonne**, le pont du XVIII<sup>e</sup> siècle a été conservé, et plutôt que de déposer les tympan, un trottoir en platelage bois a été installé en porte-à-faux en avant des maçonneries sur une ossature métallique. De la sorte l'ouvrage d'origine a été préservé et certains détails comme deux « oeils-de-bœuf » situés au droit des appuis, ont été mis en valeur par le plan du cheminement qui, en faisant un léger écart, permet de les regarder.

La simplicité des lignes et des teintes proposées laisse au pont toute sa beauté originelle et permet de créer un ouvrage actuel répondant aux besoins d'aujourd'hui.

*Figure 58 - pont de Mailly la Ville*



**De ces exemples il apparaît :**

- Qu'il est utile de bien connaître et reconnaître le contexte et son site : l'urbanisme et le cadre environnemental de l'ouvrage.
- Que l'esquisse permet de choisir un parti architectural et technique et définit un programme.
- Que l'élargissement d'un pont en maçonnerie peut être lui même en maçonnerie, en béton, en bois, en acier, même si la dalle est en béton.
- Que la réfection du pont existant nécessite une bonne connaissance des maçonneries de pierres, des carrières et des appareillages ; ce savoir est indispensable pour réaliser les reprises des tympan, des murs, des quais, des douelles, etc., afin de pouvoir faire réaliser le projet dans un cadre de prix réaliste.
- Qu'il est utile de bien prendre en compte les méthodes de réalisation et les coûts, de les anticiper afin de pouvoir présenter aux maîtres d'ouvrage les motivations du projet.

Par ailleurs le recours à des matériaux contemporains permet de travailler dans de nouvelles conditions qui autorisent une nouvelle dimension dans la conception. L'esthétique ressort simplement de cette démarche logique.

On n'oubliera pas toutefois que la réutilisation des parapets existants peut être intéressante et esthétiquement appréciée, à condition que leur caractère massif soit en harmonie avec le type d'élargissement adopté.

---

Après la prise de connaissance du site par des visites des lieux, des prises de photographies et de croquis, le recueil des contraintes urbaines, géologiques, hydrologiques, fonctionnelles, de délai, financières, et autres, une première phase architecturale intervient :

- Proposition d'une ou plusieurs esquisses sous forme de croquis généraux, de plans d'implantations et de coupes en travers de principe, de coupes longitudinales avec les niveaux d'implantation des axes.
- Contrôle de ces esquisses par des dessins, des photo-montages dans le site ou des perspectives reprenant l'ouvrage et son élargissement, ou des élévations de l'ouvrage ou d'une partie de l'ouvrage. Ces documents réalisés à des échelles du 1/200<sup>ème</sup> ou 1/100<sup>ème</sup> pour les coupes doivent permettre d'être une présentation aux maîtres d'œuvre et d'ouvrage pour retenir un parti architectural et technique.

Une note architecturale complète le dossier. Cette note présente les partis présentés et les explicite. Elle permet au maître d'ouvrage de comprendre les motivations à la base de la proposition.

Des réunions de concertation doivent être organisées avec les bureaux d'études techniques, pour discuter de ce parti architectural et technique et en vérifier la pertinence.

### **2.3.6 - Le domaine des solutions d'élargissement**

La connaissance des principales techniques est nécessaire pour aborder sainement un projet d'élargissement.

La classification que nous avons adoptée dans la suite de ce document, va de la solution la plus simple à la plus complexe en essayant de reconstituer la réflexion du projecteur.

Ainsi vient, en tout premier lieu, la famille des techniques de dalle générale qui est a priori la solution la plus logique venant à l'esprit lorsque l'on cherche à superposer le profil en travers d'un projet à la coupe transversale d'un ouvrage existant.

Ce sont essentiellement les contraintes de circulation pendant les travaux qui peuvent éliminer ce type de solution. Dans ce cas, on peut alors envisager des dalles en console avec contrepoids pour conserver une partie de l'ouvrage circulaire.

Si l'on n'arrive pas à assurer l'équilibre statique de ces consoles, on aboutit aux techniques de poutres transversales continues soutenant les encorbellements. Cette fonction peut éventuellement être assurée par des poutres longitudinales prenant appui sur les avant et arrière becs - si les fondations de ces parties le permettent - ou sur des appuis complémentaires.

Enfin, si toutes ces techniques se heurtent à des impossibilités, on se retournera vers la réalisation de structures neuves, solidarées ou non à l'ancienne, ou encore, s'il s'agit d'une insuffisance des voûtes ou des appuis, vers des solutions de type dalle reposant directement sur les piles voire sur des pieux forés au travers de celles-ci.

Au besoin, les fondations peuvent être préalablement confortées. Le coût total de l'opération (confortement des fondations et construction de la structure porteuse) devient élevé, et la construction d'un ouvrage neuf peut devenir économiquement compétitive. Il existe cependant des cas où les contraintes sont telles que le tracé est intangible et que l'ouvrage existant doit être conservé.

A l'issue de cette phase le projeteur propose les diverses solutions envisageables au maître d'ouvrage qui en retient une ou plusieurs.

Le projet ne comprend plus alors que l'établissement des notes de calculs et des plans détaillés, et éventuellement la réalisation de quelques études ou investigations complémentaires.

Soulignons enfin que des économies sur les études et les investigations peuvent souvent conduire à de mauvais choix, et donc à des réalisations mal adaptées et au final plus coûteuses pour le maître d'ouvrage. À l'inverse, pour de petits ou très petits ouvrages, il peut être plus économique de recourir à des solutions rustiques fonctionnant dans tous les cas de figure, en s'affranchissant d'investigations coûteuses (cf. fiche technique n° 16).

### **2.3.7 - Estimer le coût des solutions**

L'évaluation du coût des différentes solutions doit être complète et chiffrera le coût :

- des études,
- des investigations à mener sur l'ouvrage : sondages, relevés, essais sur matériaux, ...
- des déviations de circulation ou de réseaux de concessionnaires,
- des démolitions,
- des confortements préalables : renforcement des fondations, ...
- des ouvrages provisoires : cintres, soutènements, ...
- et celui des travaux d'élargissement proprement dits.

Il conviendra d'associer à chacun de ces postes une marge d'incertitude afin de quantifier les « aléas » de chaque solution et de provisionner une somme en conséquence.

Contrairement à l'évaluation du coût des ouvrages neufs, celui de l'élargissement d'ouvrages est difficilement accessible par l'utilisation de « ratios ». Il est nécessaire d'établir successivement le bordereau des prix et l'avant-métré correspondant avant le chiffrage proprement dit. L'examen d'exemples analogues, comme ceux figurant en annexe sous forme de fiches, permettra de recouper certains prix.

Un préalable aux reconnaissances consiste à rechercher les archives pouvant exister. Cette recherche s'apparente à la quête du Graal, mais il ne faut pas se décourager pour autant.

Les sites à explorer avec diplomatie et persévérance sont :

- la subdivision de l'équipement,
- les arrondissements d'études et de gestion,
- les archives départementales,
- les archives municipales,
- les services de la SNCF,
- les archives de l'école nationale des ponts et chaussées,
- les bureaux d'études d'entreprises étant intervenues sur le pont,

- les bureaux d'études ayant expertisé l'ouvrage, sans oublier les laboratoires régionaux et les divisions ouvrages d'art des CETE,
- la direction régionale des actions culturelles,
- des passionnés d'histoire, soit isolés, soit au sein d'associations,
- la littérature spécialisée pour des ouvrages célèbres,
- etc.

### 2.3.8 - Les reconnaissances

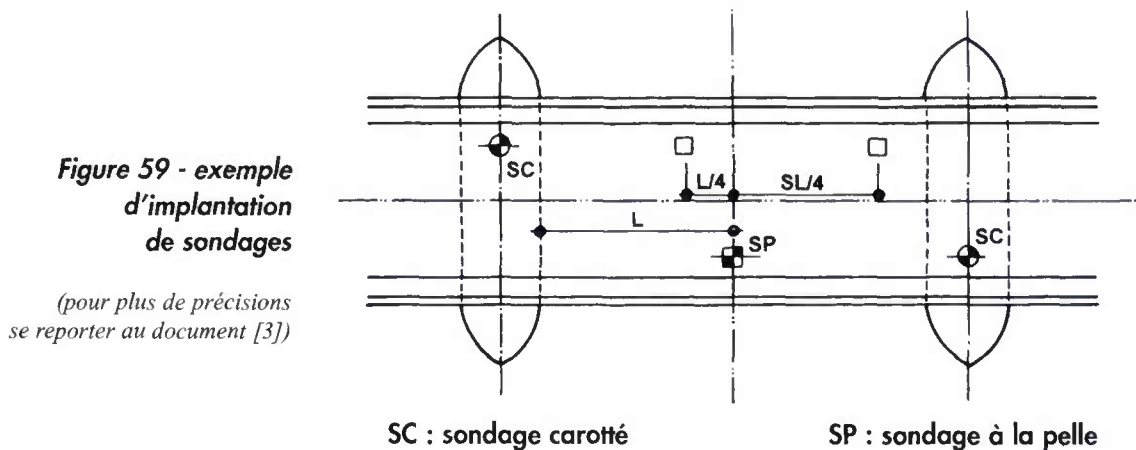
Dans la plupart des cas, des investigations sont à prévoir dès le niveau de l'étude préliminaire (cf. § 2.3.2). Il s'agit principalement de :

- l'épaisseur de la voûte (la partie résistante constituée des bandeaux, de la douelle et du queutage),
- l'épaisseur du remplissage au-dessus de la voûte,
- la géométrie des murs de tête et plus particulièrement des tympan (sur plusieurs niveaux du bandeau à l'arase de la plinthe),
- la profondeur, la nature et l'état des fondations.

A défaut de plans, ces reconnaissances doivent se faire par sondages. Certains de ces sondages sont à entreprendre systématiquement, même en présence de plans de récolement, par exemple les déterminations de l'état des fondations, de l'épaisseur et de la nature de la voûte.

Il est intéressant de profiter de la réalisation de ces sondages pour qualifier la nature et les caractéristiques du matériau de remplissage.

L'attention du lecteur est attirée sur le fait qu'il est préférable de conserver un remblai ancien si celui-ci est très compact. L'annexe 3 indique les caractéristiques souhaitables pour le matériau de remplissage.



## 2.4 - LE PROJET

L'étude préliminaire a permis d'effectuer les études et investigations nécessaires à prouver la faisabilité du projet. Le projet constitue l'étude technique proprement dite.

Lors de cette phase, il convient de définir avec précision le dimensionnement de l'élargissement, de le justifier par le calcul et aussi de fixer toutes les options techniques et architecturales de la solution retenue. Le concepteur doit établir les notes de calculs et les plans correspondants.

Le niveau de précision de ces documents correspond au niveau requis dans les phases P.O.A. (projet d'ouvrage d'art), A.P.R.O.A. (avant-projet de réparation d'ouvrage d'art) pour les projets concernant les routes nationales. Ce niveau est celui de la partie technique du D.C.E. (dossier de consultation des entreprises).

Il convient de ne pas oublier qu'il est souvent nécessaire d'établir un projet des réparations préalables à l'élargissement. Certaines interventions sur la structure ne doivent cependant être réalisées qu'après l'élargissement. Par exemple dans le cas d'un élargissement par dalle générale sur un ouvrage qui doit également être rejointoyé, l'élargissement doit être effectué en premier, afin de ne pas fermer les sorties possibles de l'eau avant d'avoir fermé les entrées.

### **2.4.1 - Les pièces techniques**

Les différentes pièces techniques (mémoire, plans, notes de calculs, avant-métré et bordereau des prix), seront réalisées sur la base de la solution retenue par le maître de l'ouvrage après l'étude préliminaire. Ces études ne peuvent commencer qu'après la réalisation des investigations complémentaires programmées à l'étude préliminaire pour compléter les données existantes, en particulier le relevé topographique complet de l'existant sur la zone d'influence.

Au niveau de l'étude préliminaire la faisabilité de l'élargissement a été démontrée. Dans la plupart des cas, cette démonstration a nécessité :

- des investigations sur les fondations et sur la voûte,
- un calcul de la stabilité des fondations, de la voûte et des appuis.

Les études du projet ont pour objectifs :

- de définir éventuellement les renforcements nécessaires,
- de définir les travaux annexes,
- de dimensionner l'élargissement,
- de définir avec précision le mode d'exécution des travaux et le phasage d'exploitation durant les travaux,
- d'estimer le coût de l'opération à partir d'un avant-métré détaillé.

Les notes de calculs devront définir les hypothèses prises en compte, la description des cas de charge et des phases de construction (cf. § 2.3.3, e).

Les études du projet fixent les options techniques et architecturales et doivent permettre de définir les points qui feront l'objet au D.C.E. de propositions techniques et de variantes.

A ce stade de l'étude, il est impératif d'associer le responsable de l'exploitation et sécurité de la route afin de valider les options retenues pour les différents phasages.

Les pièces techniques d'un projet d'élargissement comprennent les documents suivants :

#### **a) Mémoire technique**

Note de présentation décrivant et justifiant les principales options retenues, notamment en ce qui concerne la réparation éventuelle (ou le renforcement) de l'ouvrage existant, le type d'élargissement, son mode de construction et les phasages d'exécution et d'exploitation de l'ouvrage. Cette note définira également, et avec précision, les propositions techniques et les variantes à admettre au D.C.E. Les rapports de laboratoire et les essais réalisés seront annexés à cette note.

## **b) Plans**

- plan de situation à une échelle adéquate (par exemple 1/25000<sup>ème</sup>) ;
- plans de l'ouvrage existant ;
- vue en plan avec report de l'élargissement projeté, des raccordements à l'existant, des voies ou cours d'eau franchis, des abords et talus et définition de l'implantation (échelles 1/100<sup>ème</sup> à 1/500<sup>ème</sup>) ;
- coupe longitudinale sur l'axe de la chaussée et/ou éventuellement sur un axe des élargissements (échelles 1/100<sup>ème</sup> à 1/500<sup>ème</sup>) ;
- coupes transversales avant élargissement (échelles 1/20<sup>ème</sup> à 1/50<sup>ème</sup>) ;
- coupes transversales à la clé, sur appuis et aux abouts) après élargissement et détails permettant la compréhension du projet (échelles 1/20<sup>ème</sup> à 1/50<sup>ème</sup>) ;
- élévations avant et après travaux (échelles 1/100<sup>ème</sup> à 1/500<sup>ème</sup>) ;
- plans de coffrage pour les éléments préfabriqués (échelles 1/20<sup>ème</sup> à 1/50<sup>ème</sup>) ;
- schémas de principe de ferrailage ;
- détails constructifs principaux ;
- plan des réseaux ;
- détails des équipements ;
- vues en plan et coupes avec report des phases d'exploitation de l'ouvrage et des accès pendant les travaux et report des gabarits sur et sous ouvrage.

## **c) Notes de calculs**

- notes de calcul de stabilité de l'ouvrage et de ses accès avant, pendant et après élargissement ;
- notes de calcul de l'élargissement en phase définitive et pendant les différentes phases d'exécution.

## **d) Avant-métré et estimation**

### **2.4.2 - L'étude architecturale**

Un dossier de projet architectural doit être réalisé le plus en amont possible. Ce dossier peut comprendre les documents suivants :

- plan des appuis et des culées débordant sur les berges ;
- coupes en travers sur pile et sur culée ;
- élévation amont et aval ;
- détails des équipements : corniches, garde-corps, trottoirs, bordures, luminaires ;
- vue perspective d'ensemble et de détail ;
- photomontages.

Une note architecturale complète ce dossier en décrivant :

- le principe général de la conception ;
- les orientations choisies et le parti architectural arrêté ;
- les matériaux préconisés et leur forme ;

- un chapitre traitera des choix concernant :
  - ⇨ les pierres, les carrières, les dimensions, les teintes, l'aspect de finition ;
  - ⇨ l'aspect des bétons, des surfaces de tablier ;
  - ⇨ la nature et l'aspect du garde-corps ;
  - ⇨ la nature des finitions, corniches, culées, etc.

### **2.4.3 - Les calculs de l'élargissement**

Ce paragraphe ne concerne que les parties rajoutées (dalles en béton armé, poutres, etc.).

Les différents éléments constitutifs de l'élargissement seront dimensionnés conformément aux règlements de calculs en vigueur. Les justifications spécifiques à chaque type d'élargissement sont développées dans le chapitre 3.

### **2.4.4 - Les travaux annexes**

Il convient de ne pas oublier de faire figurer au projet tous les travaux annexes qu'il peut être intéressant de réaliser à l'occasion de l'élargissement.

### **2.4.5 - La communication**

Les contraintes fortes de gestion de la voie amenées par la réalisation des travaux d'élargissement (déviation, interruptions de circulation, etc.) nécessitent une parfaite collaboration entre le maître d'œuvre et le service gestionnaire.

D'autre part, les ponts en maçonnerie ont une résonance patrimoniale particulière auprès des usagers. Beaucoup plus que pour les ouvrages récents, leurs modifications suscitent des réactions de grande sensibilité.

Il convient donc préalablement au lancement des travaux, lorsque les études du projet sont suffisamment avancées, d'informer via les médias les usagers et toutes les parties prenantes sur la nature du projet envisagé.

## **2.5 - LA CONSULTATION DES ENTREPRISES**

A l'issue de l'approbation du projet, un dossier de consultation des entreprises (D.C.E.) sera établi en vue de la passation du marché des travaux.

Quelle que soit l'importance des travaux, il est indispensable de mettre au point un dossier précis et détaillé.

Le dossier de projet précédemment approuvé (A.P.R.O.A. ou P.O.A.) sert de base à l'élaboration du dossier de consultation des entreprises. Les pièces purement techniques du D.C.E. sont en pratique assez peu modifiées par rapport au projet.

Ces pièces seront élaborées en collaboration avec le responsable exploitation et sécurité de la route.

### **2.5.1 - Choix de la procédure de consultation**

Si l'élargissement requiert un confortement de l'ouvrage en maçonnerie existant, il est préférable de recourir à la procédure d'appel d'offres restreint pour ne retenir que les candidatures d'entreprises compétentes dont on vérifiera les références.



### **2.5.2 - Pièces constitutives du D.C.E.**

Le dossier de consultation des entreprises est réalisé à partir du projet et de l'étude architecturale visés en 2.4 complétés par les documents suivants :

- principes de calepinage des pierres ;
- principes des détails d'assemblage des éléments de serrurerie ;
- détails de scellement et d'ancrage ;
- dessin des appuis, culées, escaliers, etc. ;
- préconisation des teintes, peintures, finition ;
- pièces devant entrer dans les bordereaux de prix ;
- estimation financière.

Le D.C.E. contient les pièces suivantes :

#### **• Dossier 0 :**

- Règlement de la consultation : Il fixe en particulier, les possibilités de variantes, la définition des propositions techniques et les critères de choix pour le jugement des offres.

#### **• Dossier 1 : Pièces contractuelles**

- Acte d'engagement (A.E.).
- Cahier des clauses administratives particulières (C.C.A.P.) : il fixe les garanties particulières et les textes de référence rendus contractuels ainsi que les contraintes de circulation et de chantier (cf. paragraphe suivant).
- Cahier des clauses techniques particulières (C.C.T.P.) : il définit les caractéristiques de l'élargissement et les travaux à effectuer, fixe les prescriptions concernant les matériaux et composants à mettre en œuvre et fournit les modalités d'exécution des travaux.
- Dossier de plans : ces pièces sont issues du dossier de projet et sont complétées par un plan d'installation de chantier et de signalisation pour les différentes phases de chantier.
- Bordereau des prix unitaires (B.P.U.).
- Détail estimatif (D.E.).

#### **• Dossier 2 : Pièces non contractuelles**

- Extraits du dossier d'ouvrage (descriptif, plans, notes de calculs, rapports d'expertises, études et investigations réalisées sur ouvrage, etc.).
- Étude architecturale.
- Cadre du S.O.P.A.Q.

#### **• Dossier 3 : Pièces réservées à l'administration**

- Estimation, rapport de présentation.

### **2.5.3 - Les contraintes de chantier**

Les contraintes de chantier doivent figurer explicitement dans les pièces du marché.

Elles sont essentiellement de trois ordres :

- Les contraintes d'exploitation de la route si l'ouvrage n'est pas fermé à la circulation, ou celles liées à l'exploitation des voies franchies.

- Les contraintes climatiques (température, précipitations, ensoleillement) qui interviennent surtout sur les conditions de mise en œuvre de certains matériaux ou produits.
- Les contraintes hydrauliques. Même si l'on ne travaille pas sur les fondations, on peut être amené à travailler avec des échafaudages en site aquatique et il faut dans ce cas en tenir compte, notamment en indiquant dans le C.C.A.P. la cote de la crue considérée comme cas de force majeure.

#### • **L'exécution des travaux**

Les travaux doivent être décomposés en tâches élémentaires afin de s'assurer qu'à tout moment la stabilité de l'ouvrage existant et des structures nouvelles n'est pas remise en cause.

L'enchaînement des tâches doit être défini avec précision. L'élaboration du phasage doit être dictée par le souci de limiter les aléas et non par la seule recherche de la cadence.

### **2.5.4 - Les moyens**

Le maître d'œuvre doit veiller à ce que les travaux soient effectués avec un outillage adapté aux problèmes posés. Notamment, on exclura explicitement dans le C.C.T.P. les techniques que l'on aura considérées d'avance comme inadaptées.

Dans tous les cas, le maître d'œuvre doit exiger des entreprises la description précise des moyens et des techniques proposées. En cas de doute sur l'efficacité d'un procédé, des essais de convenance à la charge de l'entreprise sont à prescrire lors de la mise au point du marché.

Il en va de même en ce qui concerne les échafaudages et plates-formes de travail, pour lesquels des propositions techniques doivent être exigées.

### **2.5.5 - Le suivi et le contrôle des travaux**

Des essais et des mesures sont à prévoir dans le C.C.T.P. dans le but de :

- s'assurer de la conformité des matériaux mis en œuvre,
- suivre précisément le déroulement des travaux,
- juger de l'efficacité du confortement éventuel envisagé.

Le dossier de consultation des entreprises doit donc clairement définir :

- La consistance du suivi (certains essais de contrôle intervenant en cours de travaux, il faut intégrer les opérations de suivi dans le phasage général (cf. P.A.Q. et chapitre 4).
- Qui exécute ces essais ?
- Ce que l'on en attend ?
- Qui les interprète ?
- Qui les paye ?

## CHAPITRE III

# La typologie des élargissements

Le présent chapitre présente les différentes techniques d'élargissement.

Les types d'élargissements suivants, présentés selon l'ordre exposé au paragraphe 2.3.6, sont détaillés :

- **les élargissements par structures s'appuyant directement sur l'ouvrage existant :**
  - ⇨ dalle générale (cf. § 3.1.1),
  - ⇨ encorbellement avec contrepoids (cf. § 3.1.2),
  - ⇨ réseau de poutres transversales (cf. § 3.1.3),
  - ⇨ structures indépendantes portées par l'ouvrage existant (cf. § 3.1.4).
  
- **les élargissements par structures s'appuyant sur les appuis de l'ouvrage existant :**
  - ⇨ poutres ou dalles latérales reposant sur les appuis (cf. § 3.2.1),
  - ⇨ dalle générale reposant sur les appuis (cf. § 3.2.2).
  
- **les élargissements par ouvrages accolés à l'ouvrage existant :**
  - ⇨ par voûte en béton (cf. § 3.3.2),
  - ⇨ par cadres ou portiques ou ponts dalles en béton (cf. § 3.3.3),
  - ⇨ par structures à poutres préfabriquées (cf. § 3.3.4),
  - ⇨ par buses métalliques (cf. § 3.3.5),
  - ⇨ par éléments préfabriqués en béton (cf. § 3.3.6),
  - ⇨ par d'autres types d'élargissement accolé (cf. § 3.3.7).
  
- **les autres types d'élargissements :**
  - ⇨ par prolongation des voûtes (cf. § 3.4.1),
  - ⇨ autres types (cf. § 3.4.2).

Pour la plupart des types exposés, le document adopte le plan suivant :

- a) description
- b) avantages
- c) inconvénients
- d) recommandations (domaine d'emploi et dispositions constructives)
- e) calculs - hypothèses particulières

Le problème important des abouts est traité en fin de chapitre.

Ce chapitre aborde également le phasage transversal des travaux et la préfabrication.

### 3.1 - LES STRUCTURES S'APPUYANT DIRECTEMENT SUR L'OUVRAGE EXISTANT

#### 3.1.1 - Les élargissements par dalle générale

##### 3.1.1.1) Généralités

###### a) Description de l'existant

Pour ce type d'élargissement, la dalle générale peut être :

- soit coulée en place avec l'utilisation de cintres et de coffrages traditionnels, ou en utilisant des pré-dalles pour la partie de la dalle en encorbellement. Il est rappelé que ces prédalles peuvent être ou non participantes (pour les dispositions constructives correspondantes, cf. [30] - pages 77 et 78),
- soit constituée d'éléments préfabriqués.

Plusieurs types d'élargissement par dalles générales, correspondant à des fonctionnements mécaniques très différents, ont été réalisés par le passé.

Ces différents types d'élargissement peuvent être classés en trois familles selon les conditions d'appui sur le matériau de remplissage et les tympans. Ces trois familles sont schématisées ci-dessous.

Figure 60 - dalle générale appuyée uniquement sur le remblai

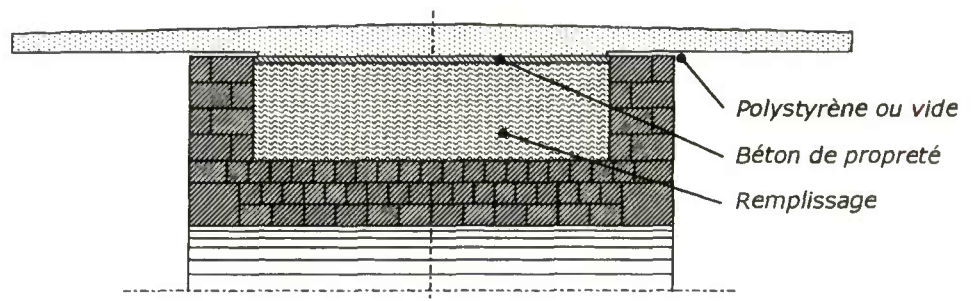


Figure 61 - dalle générale appuyée à la fois sur le remblai et les tympans

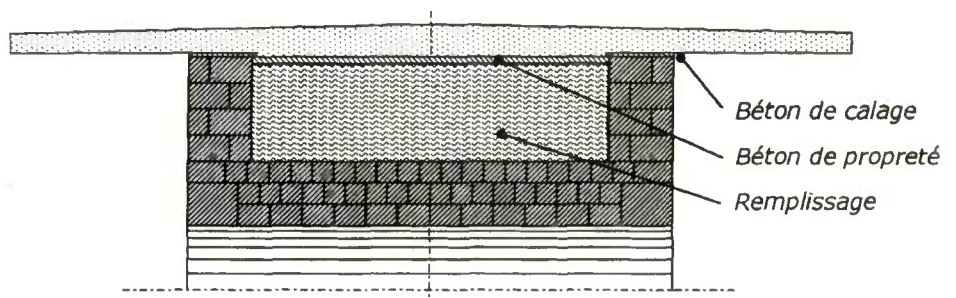
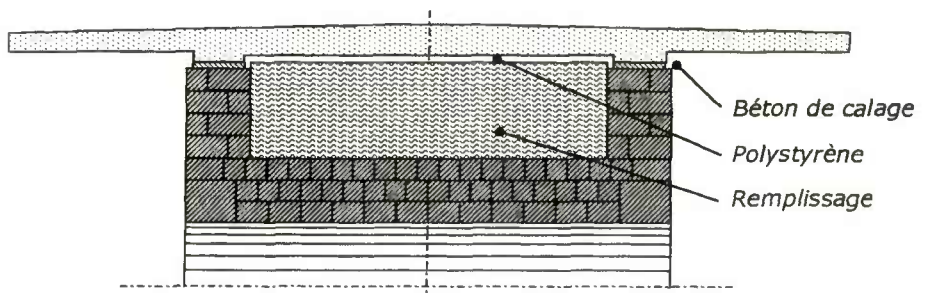


Figure 62 - dalle générale appuyée essentiellement sur les tympans.



### **b) Avantages communs aux trois types d'élargissements par dalle générale**

L'étanchéité de l'ouvrage est assurée par la chape d'étanchéité mise en œuvre sur la dalle générale. Il n'y a plus de circulation d'eau à craindre en provenance de la chaussée et des trottoirs. Il convient cependant d'éviter les infiltrations par les abouts, par la mise en place de barrières drainantes à chaque extrémité de la dalle (cf. § 3.5 et [3]).

Les seules eaux pouvant atteindre les maçonneries proviendront soit de la pluie poussée par le vent et tombant en oblique, ce qui est marginal, soit de la montée des eaux dans le cas d'ouvrages en rivière, soit de la nappe phréatique adjacente. Dans ce dernier cas, en principe, seules les piles sont intéressées quand un débouché hydraulique suffisant est assuré.

### **c) Inconvénients communs aux trois types d'élargissements par dalle générale**

Même dans le cas de dalles en éléments préfabriqués, l'élargissement par dalle générale nécessite des coupures totales de la circulation. Selon la technique utilisée (phasage transversal des travaux, etc.) et la largeur initiale de l'ouvrage, ces coupures peuvent être de courte durée, mais elles sont totales et inévitables (cf. [23]).

Cette technique suppose la démolition préalable des anciens garde-corps et trottoirs, l'arase des tympans et la purge symétrique éventuelle d'une partie du matériau de remplissage si celui-ci est de mauvaise qualité.

D'un point de vue mécanique, sauf dispositions particulières (utilisation de béton léger, remplacement du remblai par un matériau plus léger, etc.), ce type d'élargissement conduit à un alourdissement de l'ouvrage.

### **d) Recommandations communes (domaine d'emploi et dispositions constructives)**

#### **• Domaine d'emploi**

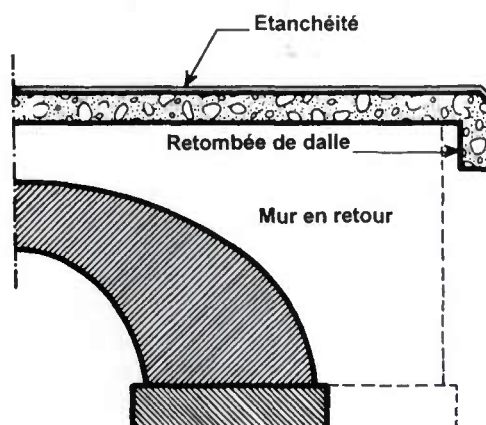
L'utilisation de cette famille de techniques est subordonnée à plusieurs conditions :

- Compatibilité « géométrique » avec l'ouvrage existant servant de support à l'élargissement,
  - ⇒ en évitant les porte-à-faux excessifs,
  - ⇒ en conservant l'axe de l'ouvrage. En effet, les élargissements dissymétriques sont à éviter.
- Compatibilité « mécanique » : il faut que l'ouvrage (y compris les fondations) soit dans un état de conservation suffisant pour supporter l'agression due aux travaux, le supplément de charges permanentes et le supplément de charges d'exploitation.

#### **• Dispositions constructives**

##### ⇒ Étanchéité

L'étanchéité est traitée comme pour le tablier d'un pont dalle, par exemple, au moyen d'une feuille préfabriquée adhérente.



**Figure 63 - étanchéité**

## ⇨ Joint de dilatation

Deux types de joints de chaussée peuvent être utilisés :

- joint de type revêtement amélioré,
- un joint semi lourd de type III, au sens des avis techniques du SETRA.

Dans certains cas d'ouvrages larges à plusieurs arches, il peut être envisagé d'interrompre la dalle d'élargissement au niveau de la culée pour tenir compte de la raideur différentielle du sol support.

Dans ce cas :

- l'élargissement sur la culée sera réalisé soit par une dalle s'appuyant sur le remblai, soit par une poutre latérale avec contrepoids ;
- un joint de dilatation étanche sera placé entre la dalle sur le pont et la dalle ou la poutre d'élargissement sur la culée ;
- l'étanchéité sera traitée sur chaque partie de l'élargissement (dalle et poutre contrepoids) ;
- si l'on craint des rotations entre les deux systèmes d'élargissement, le joint d'étanchéité sera assurée par un joint semi lourd III.

### **3.1.1.2) Dalle appuyée uniquement sur le remblai**

#### **a) Description**

Le fonctionnement mécanique de ce type d'élargissement est le suivant.

##### **• Le fonctionnement de la voûte**

La dalle générale s'appuie uniquement sur le remblai, c'est donc ce dernier qui transmet principalement les efforts à la voûte.

Par la suite nous considérerons que, excepté le poids des tympans, la totalité des efforts verticaux transite par le remblai et sollicite la voûte.

Il s'agit d'une simplification, en effet :

- La dalle générale contribue à ramener une partie difficilement quantifiable des efforts des charges d'exploitation vers les appuis. Cet effet bénéfique est négligé dans les calculs.
- Une partie des efforts peut également passer par frottement dans les tympans. Cet effet qui est bénéfique pour la stabilité des tympans est également difficilement quantifiable et négligé dans les calculs.

**Figure 64 - frottement sur les tympans**



**Le fonctionnement initial de la voûte est donc conservé dans son principe**, mais les efforts sont le plus souvent sensiblement augmentés.

Des précautions particulières doivent être prises pour que la dalle ne s'appuie effectivement pas sur l'arase des tympans. Mais **moyennant la mise en œuvre de ces dispositions, on sait comment fonctionne la structure composite maçonnerie/dalle.**

En particulier, *et contrairement à ce qui se passe lorsque la dalle est appuyée à la fois sur les tympans et sur le remblai*, le mode de fonctionnement est **indépendant** :

#### ⇨ de la qualité et de la connaissance du matériau de remplissage

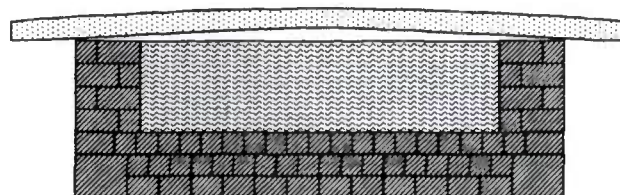
En effet, lorsque l'on s'appuie à la fois sur les tympans et sur le remblai, la proportion d'effort transitant par ces deux éléments dépend directement de leurs rigidités relatives et donc des caractéristiques du matériau de remplissage.

L'annexe 3 présente des calculs transversaux effectués en considérant la dalle appuyée sur un sol élastique correspondant au remblai. Ces calculs ont été effectués pour différentes raideurs du remblai. Dans ce cas, où la dalle est appuyée uniquement sur le remblai, on observe une forte concentration des efforts à proximité des tympans. Cette concentration est due au poids des parties en encorbellement.

Cette concentration serait encore plus forte si l'on rajoutait dans le modèle des points durs correspondant aux tympans. Dans ce cas, même si ce matériau est de bonne qualité, il est difficile d'apprécier la rigidité relative du remblai et du tympan et donc la répartition exacte des efforts. A priori on peut considérer que l'essentiel des efforts passe par les tympans.

#### ⇨ des effets thermiques

Sous l'effet de l'ensoleillement, le dessus de la dalle s'échauffe plus que le dessous. La dalle a alors tendance à se soulever en son milieu et donc à venir charger encore plus les bords. Dans le cas où la dalle s'appuie également sur les tympans, cet effet modifie la répartition des efforts entre tympan et remblai en surchargeant les tympans. Dans le cas où la dalle s'appuie uniquement sur le remblai les efforts continuent à passer uniquement par le remblai.



**Figure 65 - déformation sous gradient thermique**

#### • *Le fonctionnement des tympans*

Au contraire de la voûte, dont le mode de fonctionnement est globalement conservé, les tympans, principalement soumis aux efforts horizontaux dus à la poussée du remblai, voient leur fonctionnement modifié en raison de l'augmentation sensible de ces efforts, qui se produit pour deux raisons :

- Ils sont proportionnels à la contrainte verticale dans le remblai, et ils sont donc augmentés du fait de l'alourdissement de la structure.
- La présence de la plinthe éloignait des tympans les points d'application des charges. Il en résultait une poussée réduite sur les tympans due à la profondeur nécessaire à la diffusion des efforts dans le remblai. La suppression des plinthes permet de charger le remblai à proximité immédiate des tympans, ce qui fait disparaître la profondeur de diffusion, bénéfique vis-à-vis de la poussée horizontale. Les calculs de l'annexe 3 montrent que c'est même dans cette zone que se concentrent les efforts.

Initialement, le tympan recevait directement le poids de la plinthe et du parapet qui le comprimaient. Les tympans étaient ainsi soumis à de la flexion composée et leur stabilité vis-à-vis des efforts horizontaux étaient améliorée. La plinthe retenait également le haut du tympan par frottement sur le remblai.

Les tympans sont également comprimés par le frottement du remblai mais, ainsi que nous l'avons vu, cet apport bénéfique mais difficilement quantifiable est négligé.

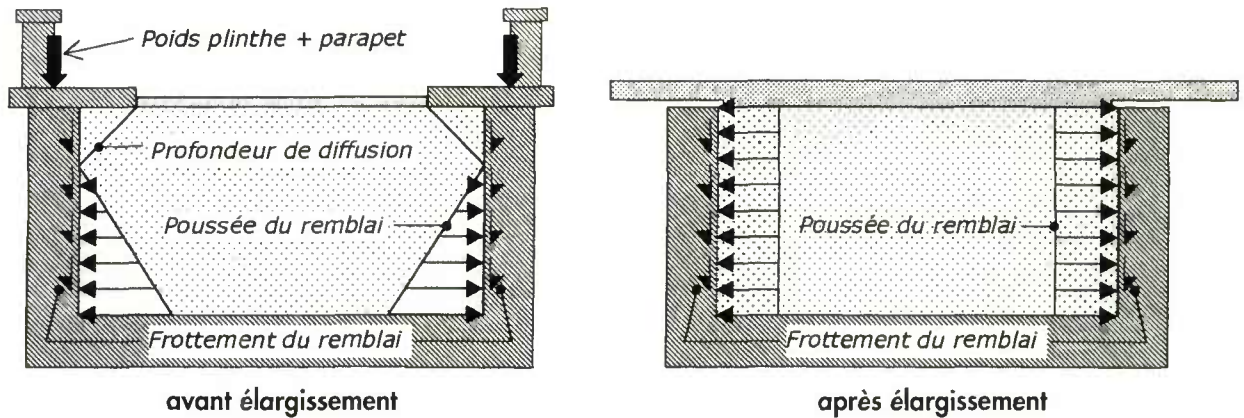


Figure 66 - actions sur les tympans  
(les poussées représentées sont celles dues aux charges routières et au poids de la dalle)

- Avant élargissement, les tympans sont soumis à de la flexion composée.
- Après élargissement, les tympans sont soumis à de la flexion simple pour des efforts qui ont nettement augmenté.

#### • La dilatation de la dalle

La déformation longitudinale différentielle de la dalle sous l'effet du retrait et de la température est gênée par le frottement sur le remblai. Cependant cette déformation est théoriquement moins gênée que pour les solutions où la dalle s'appuie sur le tympan.

Les avantages et inconvénients de cette solution découlent directement du mode de fonctionnement décrit ci-dessus.

#### **b) Avantages**

- Les tympans, dont la fonction première est le soutènement, n'ont pas de fonction porteuse.
- Le mode de fonctionnement initial de la voûte est conservé.
- Le mode de fonctionnement est connu et peut donc être modélisé et calculé.
- Les variations de longueur de la dalle sont théoriquement moins bridées que lorsque la dalle s'appuie sur les tympans.

#### **c) Inconvénients**

- La largeur finale ne doit pas dépasser environ deux fois la largeur entre nus intérieurs des tympans. Ceci limite l'élargissement possible.
- Les tympans sont soumis à des poussées horizontales plus importantes. De plus, ils ne sont pas retenus en tête et ils ne sont pas comprimés. Ceci peut obliger à adopter des dispositions particulières, décrites au paragraphe *d*.
- La flexion dans l'encorbellement est augmentée du fait de l'augmentation du bras de levier.
- La mise en œuvre de polystyrène pour éviter le contact entre le haut du tympan et la dalle simplifie le coffrage, mais il est difficile à enlever.
- On se prive théoriquement de la participation des tympans. En fait ceux-ci participent quand même à la résistance de la structure mais leur effet est négligé dans les calculs.



**d) Recommandations (domaine d'emploi et dispositions constructives)**

• **Domaine d'emploi**

- Largeur utile entre tympans suffisante (lorsque l'élargissement supporte des trottoirs la largeur de la dalle ne doit pas dépasser le double de la largeur entre tympans, lorsqu'il n'y a pas de trottoir la dalle doit être moins large).
- Ponts surbaissés ou en anses de panier avec faible hauteur de tympan à la clé.

• **Dispositions constructives**

⇒ **il faut éviter absolument que la dalle soit au contact du queutage à la clé.**

Dans le cas général, une épaisseur résiduelle minimale de remblai d'une trentaine de centimètres entre la dalle et le queutage est souhaitable pour éviter un poinçonnement.

Cette valeur doit être augmentée dans le cas où un tassement différentiel important de remblai est à craindre. Dans ce cas, pour éviter de poinçonner la clé, on peut recourir à un pontage de celle-ci. Cette dernière solution n'est évidemment pas adaptée au cas des voûtes ogivales.

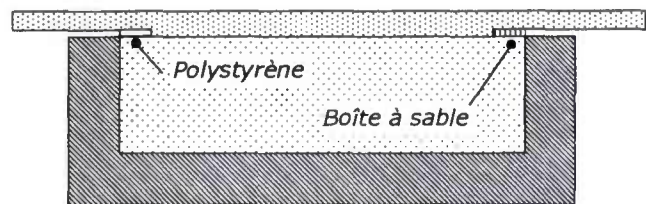
Ce pontage peut être réalisé par une feuille de polystyrène de 2 ou 3 cm sur toute la largeur entre tympans, par exemple sur une longueur de 1 à 2 mètres pour une voûte plein cintre.

Il est également possible, notamment pour les ouvrages de faible ouverture, de renforcer la voûte dans cette zone en remplaçant le remblai de faible épaisseur par un béton maigre.

⇒ **l'utilisation de boîtes à sable est conseillée en tête des tympans.**

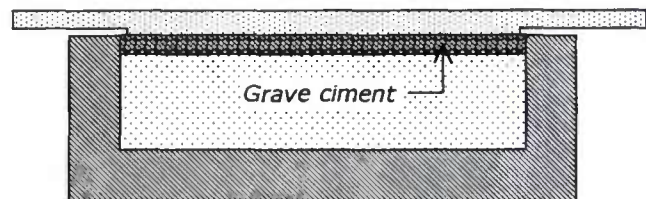
⇒ Afin d'éloigner le point d'application des charges du tympan il est possible de neutraliser la descente de charges sur une cinquantaine de centimètres, ce qui correspond à peu près à la largeur de la plinthe d'origine.

A cet égard, l'utilisation de boîtes à sable présente une meilleure efficacité que l'utilisation de polystyrène. Attention, cette disposition diminue la largeur possible après élargissement.



**Figure 67 - mise en œuvre de boîtes à sable**

⇒ Le matériau de remplissage peut être remplacé par de la grave ciment sur une trentaine de centimètres quand le remplissage est de mauvaise qualité.



**Figure 68 - mise en œuvre de grave ciment**

La mise en œuvre de grave bitume nécessite un compactage déconseillé pour un ouvrage en maçonnerie.

• **Dispositions au droit des murs en retour**

Sous la dalle, la qualité et les caractéristiques mécaniques du sol sont différentes selon que l'on se situe sur les voûtes ou au droit des culées. Un léger tassement de l'about de dalle après les travaux, sur quelques centimètres, n'est pas à exclure.

Dans ce cas, il est proposé de réaliser un joint de dilatation transversal au niveau de la culée et de vérifier la stabilité des murs.

Ce joint entre dalles sera assuré par un joint « semi lourd III » qui est, dans ce cas, à préférer à un joint de type revêtement amélioré en raison des rotations différentielles entre dalles.

**e) Calculs - Hypothèses particulières**

**• Stabilité générale de la voûte**

L'annexe 3 développe l'exemple d'un calcul effectué avec le programme VOÛTE dans le cas d'un élargissement par dalle générale reposant uniquement sur le matériau de remplissage.

On considère qu'aucun effort vertical ne transite par les tympans (excepté leur poids propre), et que les charges sont transmises au dessus du queutage par l'intermédiaire du matériau de remplissage.

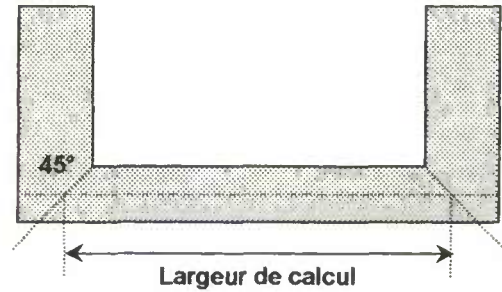


Figure 69 - largeur de hourdis de calcul

En considérant une diffusion à 45° de ces charges, on peut retenir la largeur de voûte du dessin ci-dessus pour le calcul. Elle est définie à la clé.

Cette hypothèse est plus sévère que celle du document [1] qui retient la largeur totale de la voûte dans ce cas.

**• Calcul de stabilité des tympans**

Les tympans d'un ouvrage en maçonnerie s'apparentent à un mur de soutènement dont la fonction première est de maintenir le matériau de remplissage (remblai). À titre de simplification et pour en rester aux errements en vigueur, nous pouvons les assimiler à des murs poids soumis aux actions suivantes :

- Des forces verticales : poids propre du tympan, une part du poids des terres et des surcharges si le parement intérieur du tympan présente un fruit ou des redans.
- Des forces horizontales dues à la poussée des terres et des surcharges. Ces poussées seront évaluées en utilisant la méthode de Coulomb dans sa forme la plus simple (angle de frottement nul entre le tympan et le remblai), qui a le mérite d'être d'un emploi facile et d'apporter un bon coefficient de sécurité. Les valeurs de  $\gamma$  (poids volumique des terres) et  $\phi'$  (angle de frottement interne) doivent être déterminées par un laboratoire.

D'autres efforts doivent être pris en compte pour analyser la stabilité du tympan :

- Les efforts horizontaux en tête des murs dus au choc de véhicule contre le parapet.
- Les charges extérieures appliquées en encorbellement : élargissement, canalisations, ouvrages provisoires, ...
- Lorsque le remblai risque de se saturer en eau, la poussée des terres doit être calculée avec le poids volumique saturé du sol ( $\gamma_{sat}$ ).

Les efforts étant déterminés, la stabilité du tympan doit être justifiée dans le cadre des Directives Communes relatives au calcul des constructions et du fascicule 62, Titre V du C.C.T.G. Il faut envisager, pour différentes sections du mur (à déterminer en fonction de sa géométrie), les cas suivants :

- état limite ultime de renversement (largeur comprimée au moins égale à 10 % de la largeur totale),
- état limite de service de décompression (totalité de la largeur comprimée sous combinaisons quasi permanentes et 75 % sous combinaisons rares),
- état limite ultime de glissement (le coefficient de sécurité étant pris égal à 1,2),
- résistance interne de la structure (en appliquant par exemple les principes du calcul à rupture des voûtes).

L'effet d'un chaînage de la tête de tympan sur la répartition des efforts dans le mur est à apprécier au cas par cas selon sa constitution et son état.

• **Ferrailage longitudinal de la dalle**

Vis-à-vis du ferrailage longitudinal, les sollicitations dans la dalle peuvent être calculées à l'aide d'un modèle de poutre reposant sur un sol élastique.

Les actions appliquées sont :

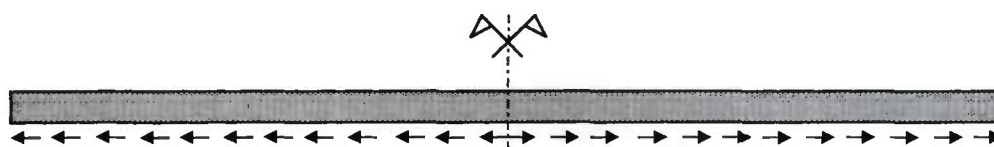
- les charges permanentes de l'élargissement ;
- les charges d'exploitation définies par la réglementation en vigueur (actuellement fascicule 61 titre II du C.P.C.) ;
- un gradient de température entre les 2 faces de la dalle égal à 5°C ;
- l'effet du frottement dalle / matériau de remplissage, induit par des variations de longueur de la dalle (retrait, température) ;
- l'effet de la butée aux extrémités.

La dalle est sollicitée en flexion composée et les armatures sont justifiées en prenant en compte l'effort de traction induit par un raccourcissement de la dalle.

L'importance des moments fléchissants dans la dalle sera fonction du rapport entre la raideur du sol (structure sous dalle comprenant la voûte et le matériau de remplissage) et la rigidité en flexion de la dalle.

• **Frottement de la dalle sur le matériau de remplissage**

Sous l'effet du retrait et d'une diminution de température, le béton de la dalle a tendance à se raccourcir. Ce raccourcissement est gêné par le frottement « f » de la dalle sur le remblai et induit un effort de traction.



Frottement :  $f = p \cdot \tan(\varphi)$   
 Avec :  $p$  = charges permanentes appliquées à la dalle

**Figure 70 - frottement de la dalle en l'absence de butées aux extrémités**

Sous l'effet d'une augmentation de température, le béton de la dalle a tendance à s'allonger. Cet allongement est gêné par le frottement de la dalle sur le remblai et induit un effort de compression.

L'effort normal de traction ou de compression dans la dalle augmente en fonction de la distance de la section considérée à la section d'about. Les droites d'action de l'effort de frottement du sol sont appliquées en sous-face de la dalle et induisent donc des moments dans celle-ci.

Les sollicitations dans la dalle sous l'effet des variations de longueur peuvent donc être calculées à l'aide d'un modèle de poutre reposant sur un sol élastique.

Les actions appliquées seront les forces de frottement uniformément réparties (force répartie :

$$f = p \cdot \tan(\varphi), \text{ et couple réparti : } c = f \cdot \frac{h}{2}.$$

A défaut de précautions spéciales prises pour limiter le frottement, le coefficient de frottement entre sol et dalle sera pris égal à 1 ( $\tan 45^\circ$ ).

Afin de diminuer le frottement, il peut paraître a priori intéressant de couler la dalle sur le remblai de remplissage en intercalant une couche de sable surmontée d'un film polyane. Une instrumentation a été réalisée sur un ouvrage conçu selon cette disposition (cf. [24] et fiche n° 2 en annexe 4).

Ces mesures ont montré que le fonctionnement réel était satisfaisant. Le coefficient de frottement déduit de ces mesures devenait inférieur à 1, mais restait supérieur à la valeur 0,2 préconisée par le fascicule 74 du C.C.T.G.

La feuille de polyane est également intéressante pour la mise en œuvre du béton.

• **Armatures longitudinales**

Le ferrailage minimal longitudinal sera justifié en combinant les sollicitations définies précédemment.

Ce ferrailage respectera la condition de non fragilité des pièces soumises à la traction, définie à

l'article A.4.2,1 des règles B.A.E.L. 91, soit  $\rho_{(\%)}$  >  $100 \frac{f_{tj}}{f_c}$ .

Un exemple de justification du ferrailage longitudinal est donné en annexe 3.

Le ratio minimal d'armatures longitudinales à mettre en place en fonction de la position de la section peut être évalué par la formule suivante :

$$\rho_{(\%)} = \max \left( \frac{f_{tj}}{f_c}; 0,3 + 0,1 \frac{x}{6} \right)$$

avec  $x$  = distance entre la section considérée et l'about de la dalle (cf. courbe ci-après).

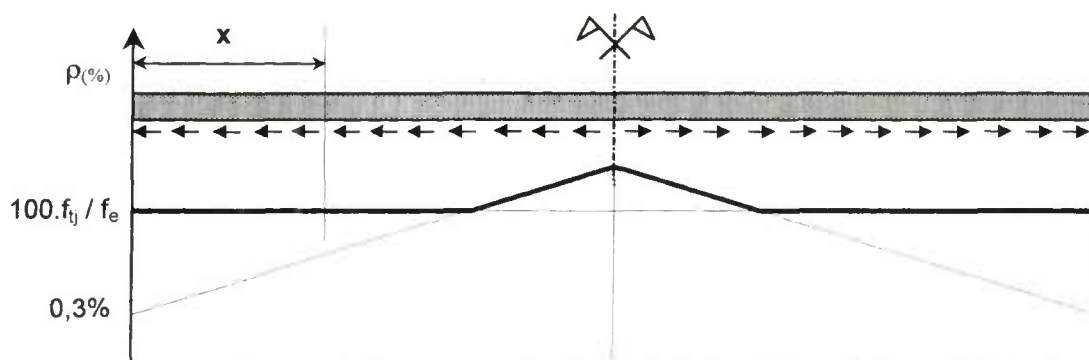


Figure 71 - ratio d'aciers longitudinaux en fonction de la distance à l'extrémité

Pour les dalles très longues, ce ratio sera borné supérieurement à 3%. Ce ferrailage doit être également réparti entre les deux faces de la dalle.

En extrémité de dalle il convient de plus de surferrailer la fibre supérieure de la dalle. En effet, en cas de tassement du remblai à l'extrémité, celle-ci travaille en encorbellement.

#### • *Justification de l'encorbellement*

Les efforts et donc le ferrailage transversal peuvent être justifiés à partir des abaques de l'annexe 3 au guide de calcul du programme PSIDP-EL ou du bulletin technique n°1 du SETRA.

Dans la pratique, et compte tenu de l'appui réparti de la dalle sur la voûte, la section d'encastrement à justifier sera située à une distance égale à «  $d$  » du bord d'appui, la distance «  $d$  » étant égale à l'épaisseur de la dalle.

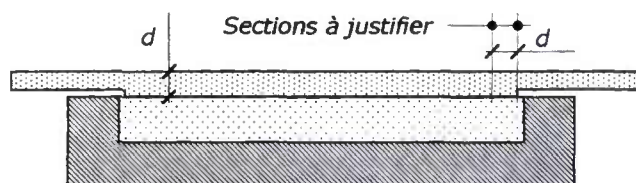


Figure 72 - cas où la dalle s'appuie sur le remblai à proximité immédiate du tympan

Si la dalle est plus épaisse que l'encorbellement, la section d'épaisseur minimale sera également à justifier.

### 3.1.1.3) *Dalle appuyée sur le remblai et sur les tympans*

#### a) *Description*

Dans ce cas la dalle repose à la fois sur les tympans (mais sans liaison particulière) et sur le matériau de remplissage convenablement compacté, voire même injecté ou remplacé par un excellent matériau de remblai ou par du béton maigre ou de la grave ciment.

En effet, **l'appui simultané sur les tympans et le remblai requiert que ce dernier possède de très bonnes caractéristiques mécaniques** : très faible compressibilité, faible sensibilité à l'eau, etc.

#### b) *Avantages*

- La totalité de la largeur de la structure est utilisée.
- Le bras de levier des encorbellements et donc les efforts de flexion transversale sont diminués.
- Les tympans sont retenus en tête par la dalle et sont soumis à un effort de compression, ce qui est favorable pour leur résistance vis-à-vis des efforts horizontaux dus à la poussée des terres sur les tympans.
- La largeur d'élargissement possible est importante (environ 2 fois la largeur entre nus extérieurs des tympans).

#### c) *Inconvénients*

- On ne sait pas exactement quelle est la répartition des efforts entre le remblai et les tympans. En particulier, le gradient thermique en soulageant le remblai augmente la part d'effort passant dans les tympans.
- **Le remblai doit être d'excellente qualité** si l'on ne veut pas que la quasi-totalité des efforts passe par les tympans (cf. § 3.1.1.2,a).
- La représentativité des calculs justificatifs associant le tympan et la voûte est discutable. De même, l'incertitude sur la part d'effort transitant effectivement par les tympans rend les calculs sujets à caution.

- Cette solution ne permet pas les variations différentielles de longueur entre la dalle et les maçonneries. Mais en pratique est-ce que les autres le permettent toujours ?
- La solution ne s'applique plus directement aux extrémités à cause des fondations et de la géométrie des murs en retour. En général, à partir d'un certain point, on est amené à n'appuyer la dalle que sur le remblai ou à changer de type d'élargissement en prévoyant par exemple sur les murs en retour un élargissement avec culasse d'équilibrage.

#### **d) Recommandations (domaine d'emploi et dispositions constructives)**

##### **• Domaine d'emploi**

- ouvrages à tympans épais et en bon état ;
- ouvrages peu tendus avec hauteur de tympan importante à la clef ;
- ouvrages peu ou moyennement larges ;
- ouvrages courts (25 mètres environ). Cependant, il est possible d'élargir de cette manière des ouvrages nettement plus longs à condition de bétonner la dalle par phases longitudinales séparées par des plots de clavage différés.

##### **• Dispositions constructives**

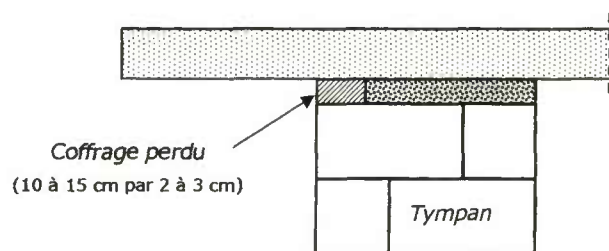
⇒ **Il faut éviter absolument que la dalle soit au contact du queutage à la clé.**

Dans le cas général, une épaisseur résiduelle minimale de remblai d'une trentaine de centimètres entre la dalle et le queutage est souhaitable.

⇒ **Il est impératif de ne pas connecter le tympan à la dalle et de s'appuyer simplement sur du mortier, afin d'éviter de transmettre des moments de flexion aux tympans.**

- Il faut ménager un espace de l'ordre de 10 à 15 cm muni d'un coffrage perdu (ou récupéré) afin d'éviter un appui sur l'arête des pierres susceptible de provoquer des éclatements localisés (cf. article B.6.1.1 du B.A.E.L. 91). Des applications ont été faites en utilisant une bande de néoprène de 3 cm d'épaisseur (pont dans l'Hérault).
- Pour les ouvrages longs (> 25 mètres) prévoir des phases de bétonnage comme indiqué plus haut.

**Figure 73 - coffrage perdu**



#### **e) Calculs - Hypothèses particulières**

##### **• Stabilité générale de la voûte**

Dans ce cas, la largeur de voûte à prendre en compte est la largeur totale, ce qui correspond mieux au fonctionnement réel de la structure car si des « coupures » ne se sont pas réalisées par fissuration ou fracturation, c'est bien l'ensemble de l'ouvrage qui résiste aux sollicitations.

• **Fonctionnement des tympans**

Leur stabilité peut être vérifiée en tenant compte de l'effet stabilisant des charges verticales apportées par la dalle ainsi que de l'effet de « tirant » apporté par la liaison par frottement de la dalle sur la tête de tympan. Les poussées de remblai sont à prendre en compte avec les coefficients de poussée du matériau de bonne ou de très bonne qualité qui constitue le remplissage. Si ce matériau est un béton maigre ou de la grave ciment, la poussée est pratiquement supprimée sur l'ouvrage en service.

• **Justification de l'encorbellement**

Les efforts et donc le ferrailage transversal peuvent être justifiés à partir des abaques de l'annexe 3 au guide de calcul du programme PSIDP-EL. Dans la pratique, et compte tenu de l'appui réparti de la dalle sur la voûte, la section d'encastrement à justifier sera située à une distance égale à « d » du bord du tympan, la distance « d » étant égale à l'épaisseur de la dalle.

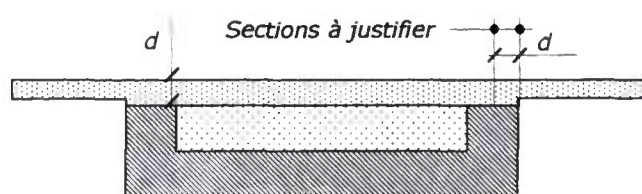


Figure 74 - cas où la dalle s'appuie sur le remblai et sur le tympan

**3.1.1.4) Dalle appuyée essentiellement sur les tympans**

**a) Description**

Dans ce cas la dalle générale est reliée totalement aux tympans et s'appuie théoriquement uniquement sur ceux-ci. En fait, la partie centrale peut éventuellement reposer partiellement sur le matériau de remplissage.

Le fonctionnement mécanique de ce type d'élargissement est le suivant.

• **Le fonctionnement de la voûte**

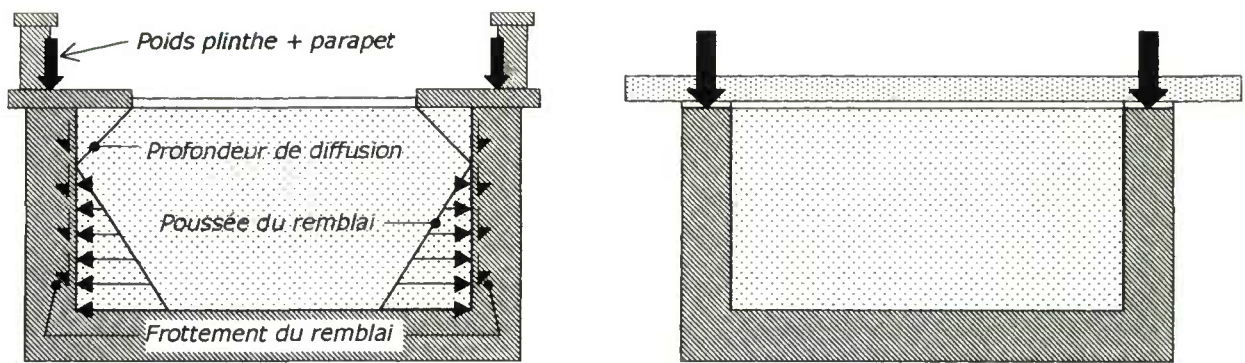
**Le fonctionnement initial de la voûte est complètement modifié dans son principe.**

- la voûte (hors bandeau) ne reprend plus que son poids propre et le poids du remblai,
- les charges verticales provenant de la dalle (poids propre, équipements, enrobés et charges routières) transitent par les tympans et le bandeau.

• **Le fonctionnement des tympans**

Avant et après élargissement, les tympans sont soumis à de la flexion composée. Après élargissement les efforts verticaux ont nettement augmenté et les efforts horizontaux nettement diminué :

- les tympans sont soumis à un nouveau mode de fonctionnement puisqu'ils sont soumis aux efforts verticaux transitant par la dalle,
- les tympans sont également soumis aux efforts horizontaux dus à la poussée du remblai. Mais ces efforts horizontaux sont sensiblement diminués car ils ne correspondent plus qu'au poids propre du remblai.
- les tympans sont tenus en tête par la dalle ce qui assure leur stabilité transversale.



avant élargissement

après élargissement

Figure 75 - actions sur les tympans

### • La dilatation de la dalle

La déformation longitudinale différentielle de la dalle sous l'effet du retrait et de la température est gênée par la liaison avec le tympan.

Les avantages et inconvénients de cette solution découlent directement du mode de fonctionnement décrit ci-dessus.

### b) Avantages

Cette disposition :

- s'affranchit de la qualité du remblai,
- assure la stabilité transversale des tympans car la dalle assure le rôle de tirant en tête.

### c) Inconvénients

- le fonctionnement est complètement différent du comportement initial et **il y a un risque de cisaillement excessif entre la douelle et le bandeau**,
- les fondations des murs au delà des culées ne sont pas forcément suffisantes pour supporter les sollicitations apportées par la dalle,
- les dilatations longitudinale et transversale de la dalle sont gênées par les tympans.

### d) Recommandations (domaine d'emploi et dispositions constructives)

#### • Domaine d'emploi

**Ce type d'élargissement, qui a souvent engendré des désordres, est déconseillé dans le cas général.** Il pourra être envisagé après une étude approfondie dans les cas suivants :

- petits ouvrages,
- tympans de bonne qualité pouvant reprendre la charge tout seuls,
- ouvrages exceptionnels à deux anneaux ou sans remblai, car le fonctionnement initial n'est pas modifié (par exemple : le pont des Catalans à Toulouse - fig. 76).

#### • Dispositions constructives

Dans ce cas, un chaînage en tête de tympan doit être réalisé. Au niveau des culées, il est préférable de s'appuyer sur le remblai et non pas sur les murs en retour, sauf si ces murs sont particulièrement résistants.



### e) Calculs - Hypothèses particulières

Compte tenu de la modification complète du fonctionnement de l'ouvrage, les hypothèses et programmes de calcul à utiliser devront être étudiés au cas par cas. Notamment, le programme VOÛTE n'est plus applicable.

Figure 76 - exemple d'ouvrage sans remblai



### 3.1.1.5) Le phasage transversal de circulation pour les dalles générales

#### a) Les largeurs minimales autorisant un phasage transversal

Il résulte des différentes contraintes exposées au paragraphe 4.3 ci-après, **qu'un phasage transversal n'est raisonnablement envisageable qu'à partir d'une largeur d'ouvrage voisine de 7 mètres** (soit une distance intérieure de 6 mètres environ entre tympanes).

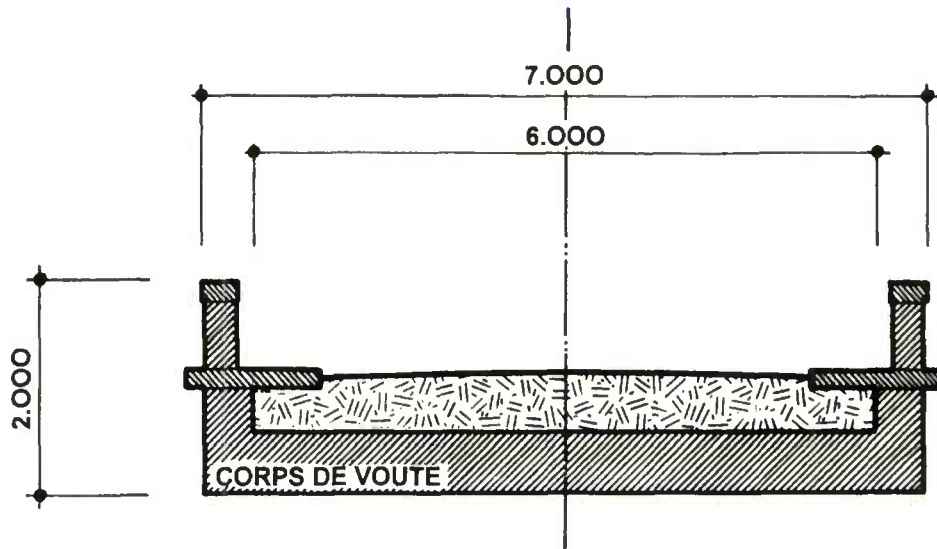
Les dessins des pages suivantes donnent l'exemple d'un phasage dans le cas d'un ouvrage rectiligne de 7 mètres de large élargi à 10,50 mètres (2 trottoirs et 2 voies de circulation) par une dalle générale s'appuyant uniquement sur le remblai. La cinématique est dessinée pour deux cas de figure, suivant que l'on peut ou pas disposer un cintre sous l'encorbellement. Le second cas de figure permet de réduire les durées d'interruption de circulation pour les poids lourds.

A travers cet exemple on peut noter que la réalisation n'est pas forcément symétrique transversalement. Il peut être intéressant de réaliser une première partie moins large que la seconde.

#### b) Les vérifications particulières

Pour chaque phase, la stabilité des parties de dalles déjà coulées et circulées doit être vérifiée. En particulier en deuxième phase, avant le clavage longitudinal la circulation s'effectue en partie sur l'encorbellement. On peut être amené à limiter la largeur des voies pour éviter que les charges ne soient trop excentrées dans cette phase. Enfin la poussée sur les tympanes doit également être vérifiée pour chaque phase.

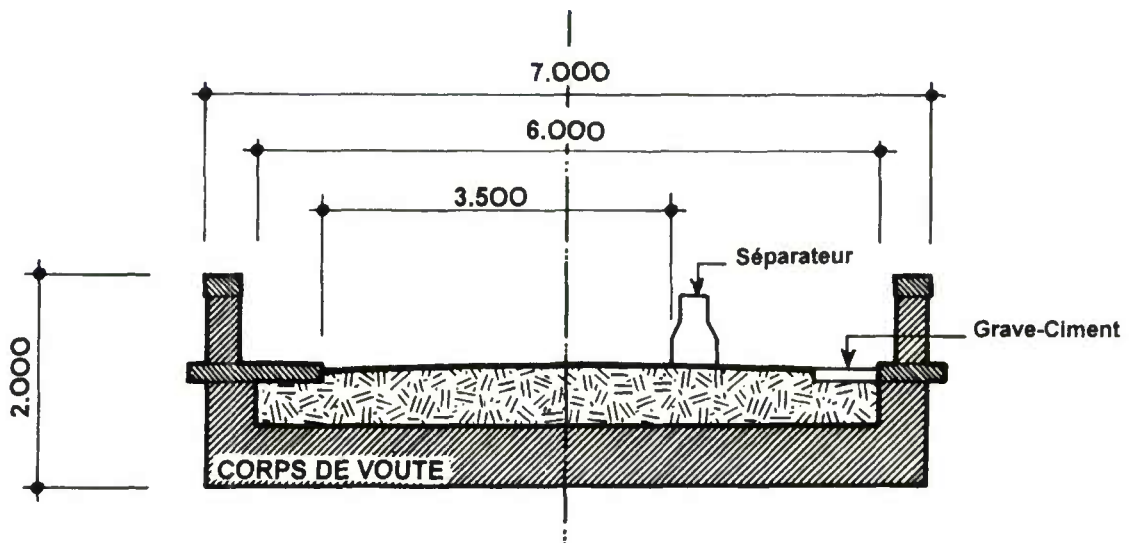
## PHASAGE TRANSVERSAL POUR ELARGISSEMENT DE 7 A 10,50 M DALLE GENERALE COULEE EN PLACE



**PHASE 0 :** État initial (avant travaux)

*Attention :* cette cinématique ne représente pas les éventuels remplacements des tympans dus à l'augmentation des poussées horizontales.

### A - SANS CINTRE SOUS ENCORBELLEMENT



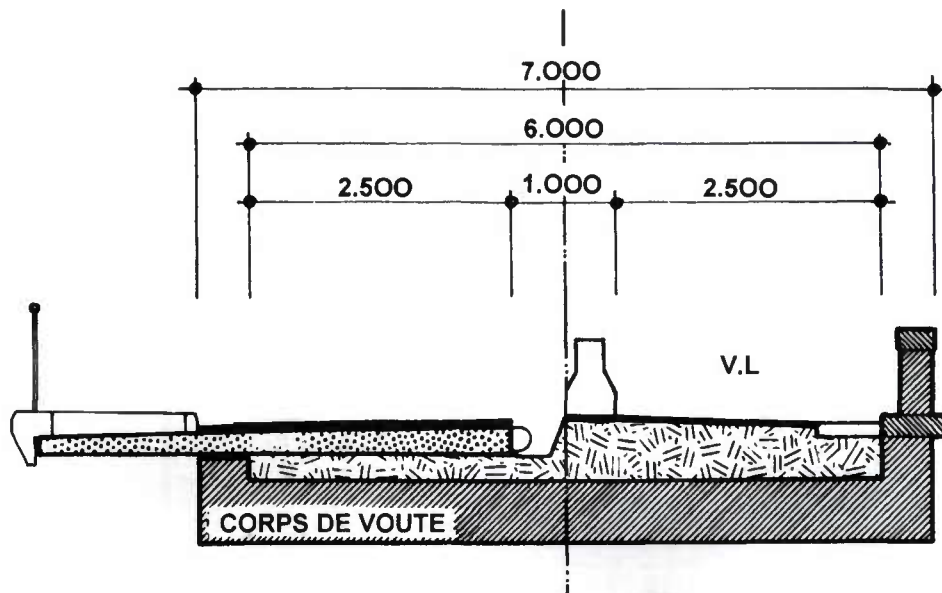
**PHASE 1 :**

- Démolition d'un trottoir.
- Confection d'un remblai provisoire circulaire (grave-ciment par exemple).

**CIRCULATION :**

- VL + PL avec alternat.

Figures 77 a, b

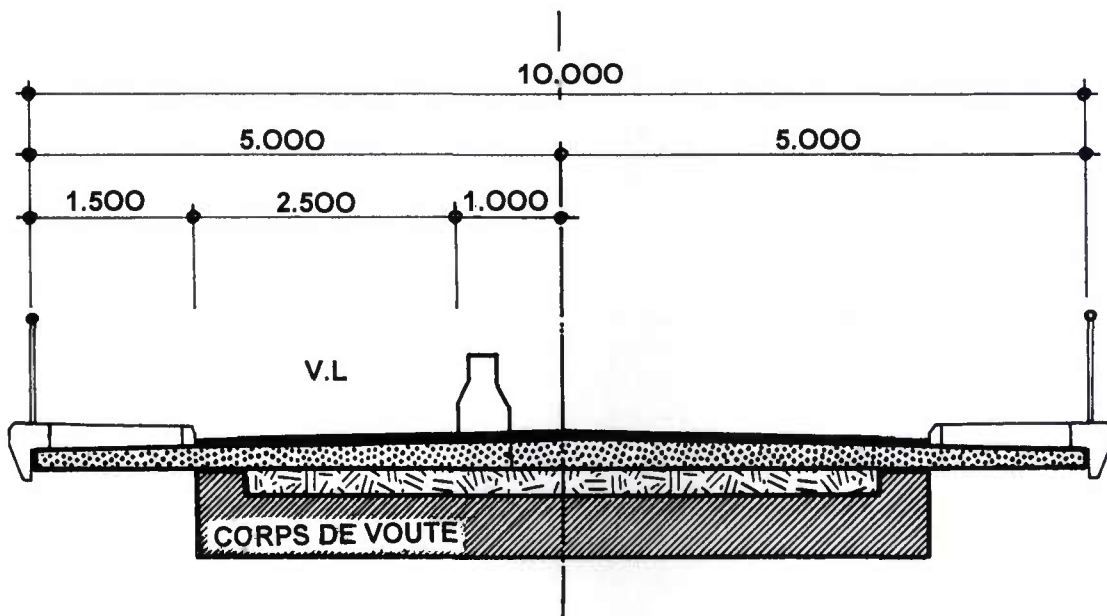


**PHASE 2 :**

- Décaissement d'une demi-chaussée.
- Réalisation de la première partie de la dalle (y compris trottoir, chaussée, équipements).

**CIRCULATION :**

- VL avec alternat.
- Coupure pendant le bétonnage et la prise du béton de la dalle.



**PHASE 3 :**

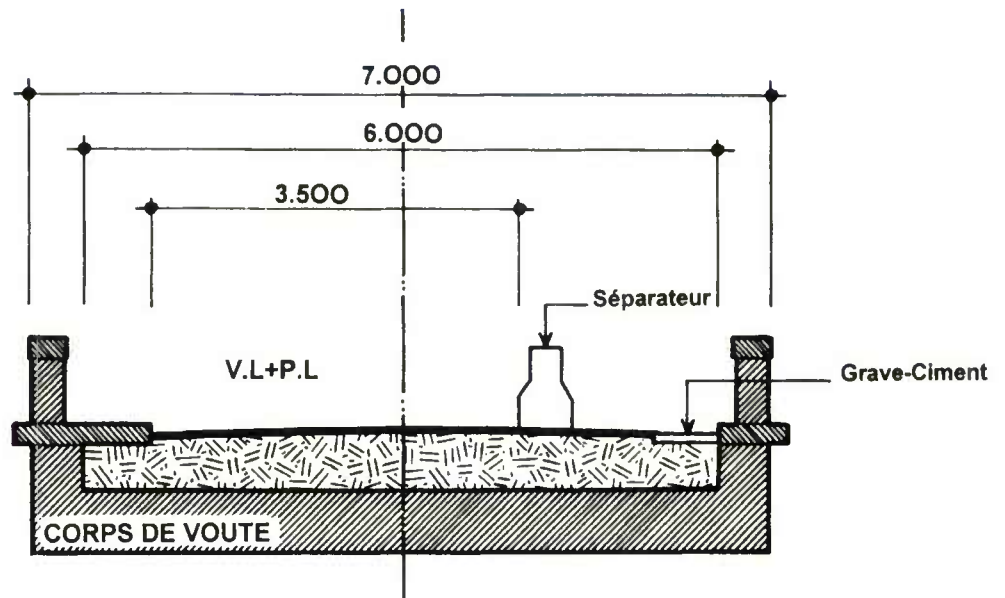
- Basculement de la circulation.
- Réalisation de la deuxième partie de la dalle.

**CIRCULATION :**

- VL avec alternat.
- Coupure pendant le bétonnage et la prise du béton de la dalle.

Figures 77 c, d

## B - AVEC CINTRE SOUS ENCORBELLEMENT

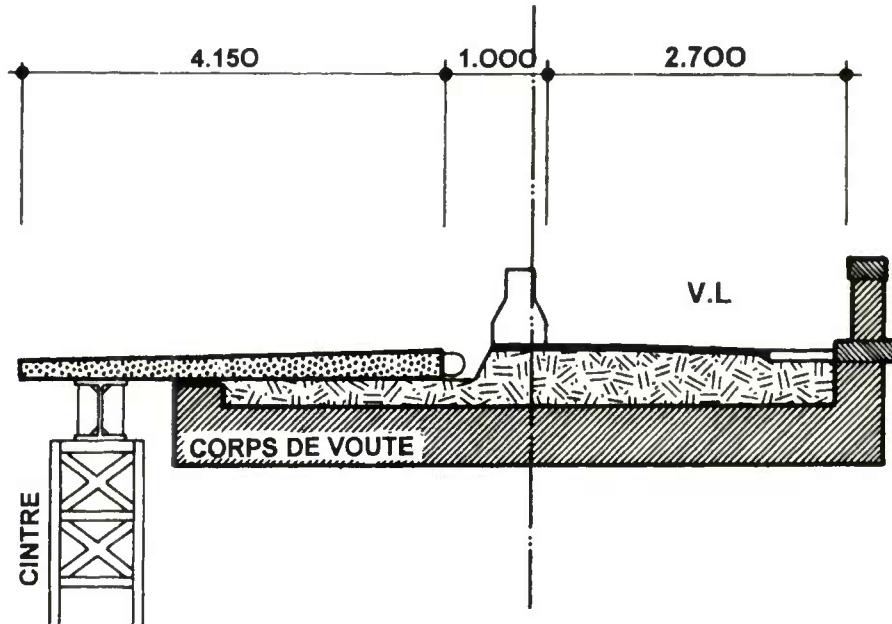


### PHASE 1 :

- Démolition d'un trottoir.
- Confection d'un remblai provisoire circulable (grave-ciment par exemple).

### CIRCULATION :

- VL + PL avec alternat.



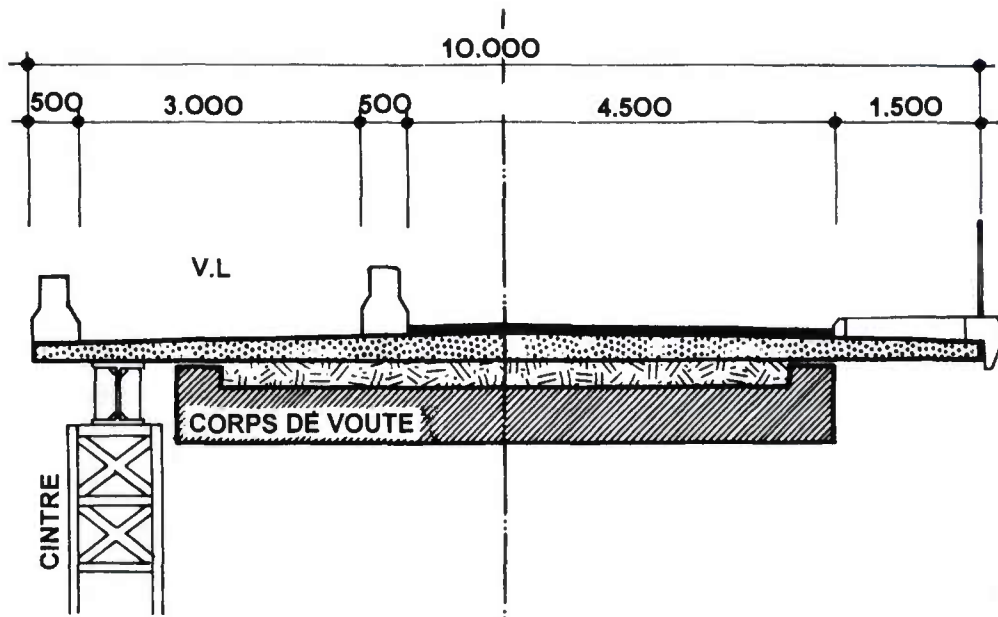
### PHASE 2 :

- Décaissement d'une demi-chaussée.
- Réalisation de la première partie de la dalle (encorbellement sur cintre).

### CIRCULATION :

- VL avec alternat.
- Coupure pendant le bétonnage et la prise du béton de la dalle.

Figures 77 e, f

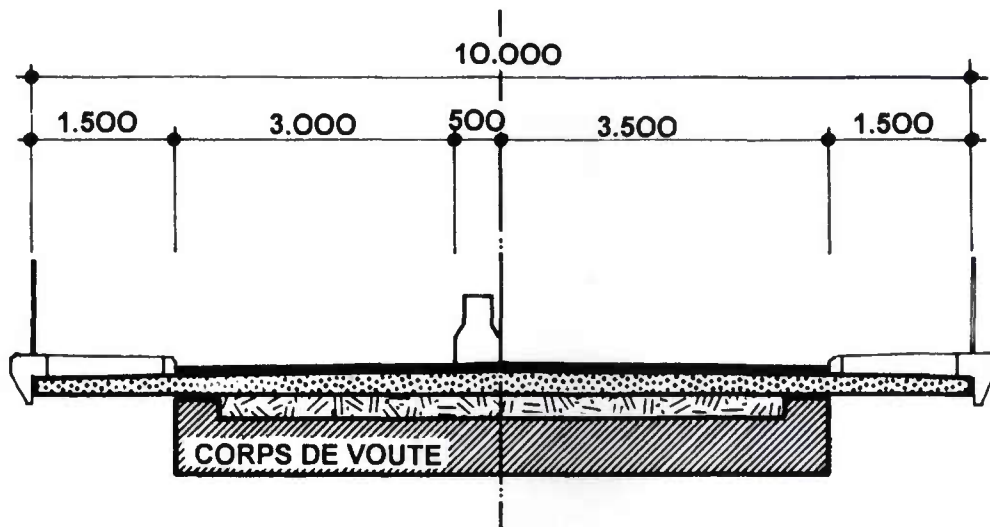


**PHASE 3 :**

- Basculement de la circulation.
- Réalisation de la deuxième partie de la dalle (y compris enrobés, équipements, trottoir).

**CIRCULATION :**

- VL avec alternat.
- Coupure pendant le bétonnage et la prise du béton de la dalle.



**PHASE 4 :**

- Basculement de la circulation.
- Enlèvement du cintre.
- Réalisation des équipements de la première partie de la dalle

**CIRCULATION :**

- VL + PL avec alternat.

Figures 77 g, h

### c) Les délais

- Exemple 1 : pont d'Aixe-sur-Vienne sur la Vienne (R.N. 21) (L = 120 m), cf. fiche n° 3.
  - ⇨ circulation coté amont : 3 mois,
  - ⇨ circulation coté aval : 2 mois.
- Exemple 2 : pont de l'Aiguille (L = 84 m) sur la Vienne (R.D. 46), cf. fiche n° 4.
  - ⇨ circulation alternée pendant 5,5 mois.
- Exemple 3 : pont de Jarnac sur la Charente, cf. fiche n° 1
  - ⇨ Circulation alternée pendant 4 mois
  - ⇨ Durée totale des travaux de 4,5 mois (délai « serré » mais tenu)

### 3.1.1.6) La préfabrication des dalles générales

#### a) L'élargissement par dalle générale partiellement préfabriquée par des éléments latéraux « en touches de piano »

La préfabrication porte dans ce cas sur les éléments latéraux (se reporter au paragraphe 3.1.2 pour les éléments latéraux). L'exécution se termine par les clavages transversaux entre les éléments et le clavage général longitudinal en partie centrale.

Le battement entre deux éléments au niveau de l'encorbellement doit être évité. Outre les dispositions proposées au paragraphe 3.1.2, qui restent applicables, une contre-corniche continue et bien solidarisée aux éléments présente un effet très favorable à cet égard.

Un phasage transversal est envisageable en coulant les clavages transversaux avant le clavage longitudinal. On est alors amené à retenir les dispositions transversales définies au paragraphe 3.1.1.5 ci avant.

#### • Les délais

- Exemple 1 : Pont de La Varogne (L = 18,4 m) sur le Vincou (R.N. 147), cf. fiche n° 5.
  - ⇨ circulation alternée (feux tricolores) pendant 2 mois.
- Exemple 2 : Pont de Gironde (L = 25,8 m) sur le Dropt (R.N. 119)
  - ⇨ coupure totale pendant 1 mois

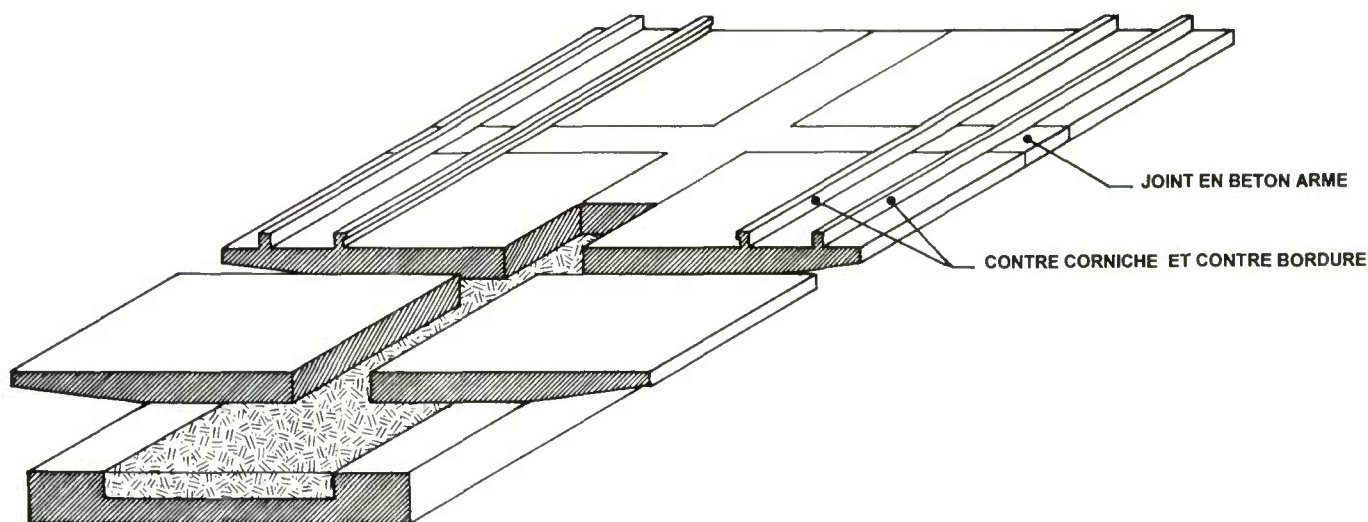


Figure 78 - « touches de piano »

**Figure 79 - mise en place des éléments préfabriqués**



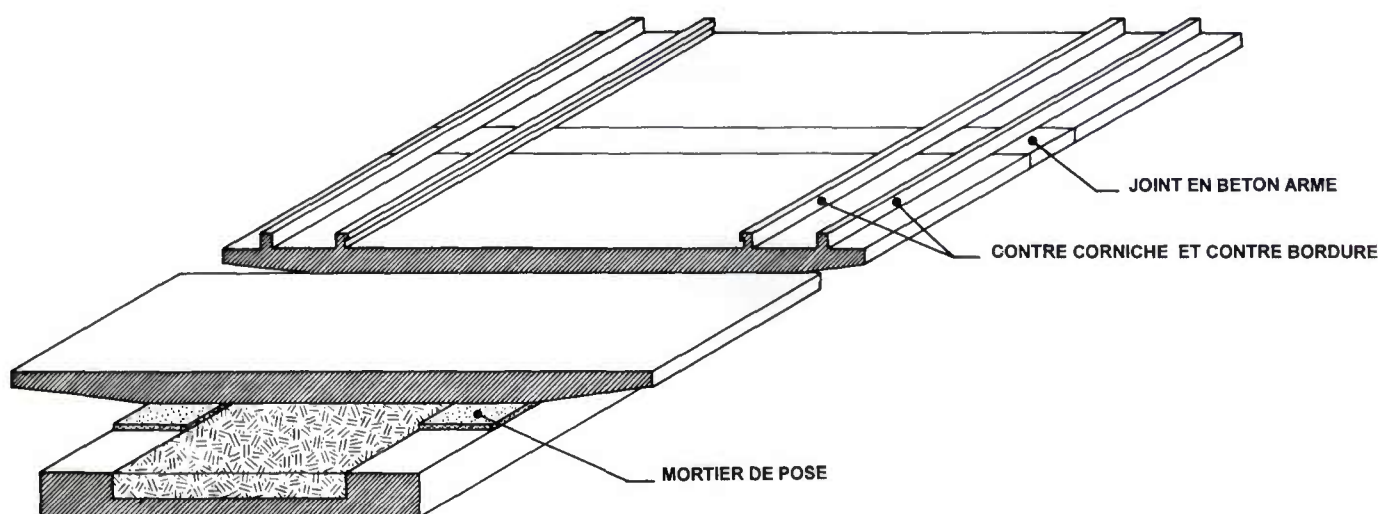
**b) L'élargissement par dalle générale préfabriquée par bandes transversales**

Dans ce cas, les bandes transversales font toute la largeur de l'ouvrage et font 1 à 2 mètres de long. La dalle doit être rendue monolithique dans le sens longitudinal. Deux techniques sont envisageables.

- Joints en béton armé entre les éléments : le battement entre deux éléments au niveau de l'encorbellement doit être évité. Les dispositions proposées au paragraphe 3.1.2 pour éviter ce battement restent applicables.
- Joints conjugués collés avec clés et mise en oeuvre d'une précontrainte longitudinale pour assurer le monolithisme. Il est alors nécessaire de prévoir une feuille de polyane, ou tout autre matériau facilitant le glissement entre la dalle et le mortier de pose.

Il est à noter que les contre bordures et contre corniches viennent renforcer le monolithisme longitudinal.

- *Les délais : voir fiche 5 en annexe 4*



**Figure 80 - joints en béton armé**

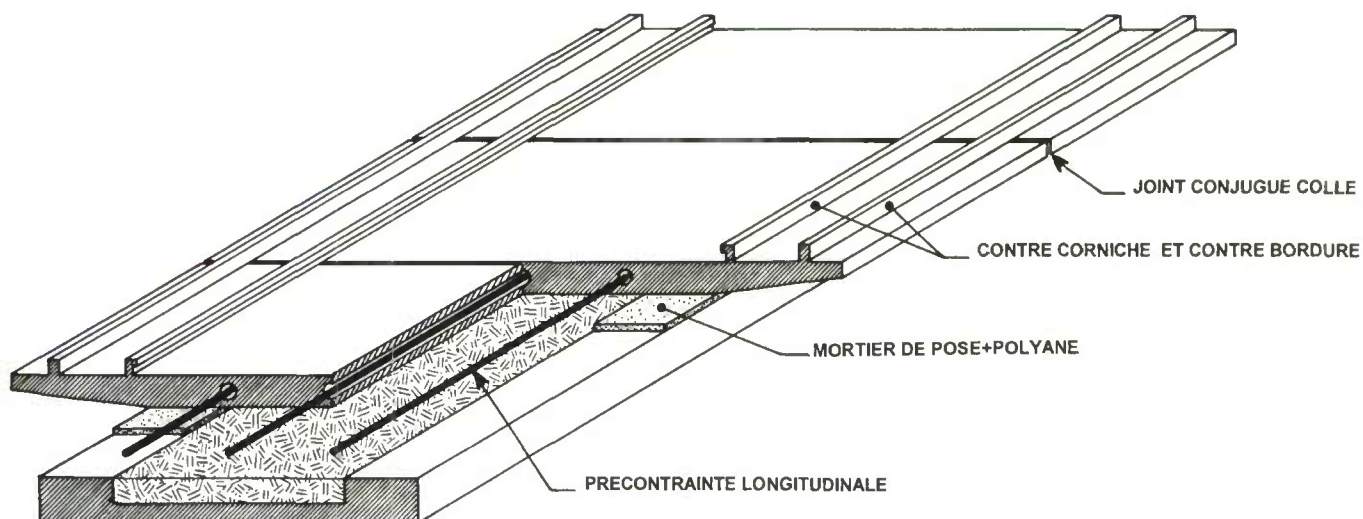


Figure 81 - joints conjugués collés + précontrainte



Figure 82 - ancrage des câbles de précontrainte longitudinale

### 3.1.2 - Les élargissements par encorbellement avec contrepoids

#### 3.1.2.1) Généralités

##### a) Description

L'élargissement est réalisé au moyen d'un encorbellement par dalle dont l'arrière est constitué par un massif d'équilibrage.

Les principaux problèmes que le projeteur devra résoudre se trouvent au niveau de la stabilité de ces éléments et de la transmission des efforts vers la voûte et les tympans (cf. 3.1).

##### b) Avantages

- Cette technique permet selon la largeur initiale de l'ouvrage de réaliser l'élargissement tout en maintenant partiellement la circulation.
- La préfabrication permet de limiter encore plus les interruptions de circulation.

##### c) Inconvénients

- L'étanchéité générale de l'ouvrage n'est plus directement assurée. Les joints longitudinaux et l'évacuation des eaux doivent être traités spécifiquement.
- Risque d'orniérage à la jonction contrepoids-remblai.
- Une épaisseur minimale de remblai est nécessaire à la clé pour loger le contrepoids.



**Figure 83 - pont de Fraré en Ariège  
 élargissement des culées par  
 encorbellements avec contrepoids  
 Mise en place d'un pont  
 provisoire pendant les travaux**



**d) Recommandations (domaine d'emploi et dispositions constructives)**

• **Domaine d'emploi**

- à réserver de préférence aux élargissements qui n'intéressent que les trottoirs,
- ouvrages ayant une épaisseur de remblai suffisante à la clé.

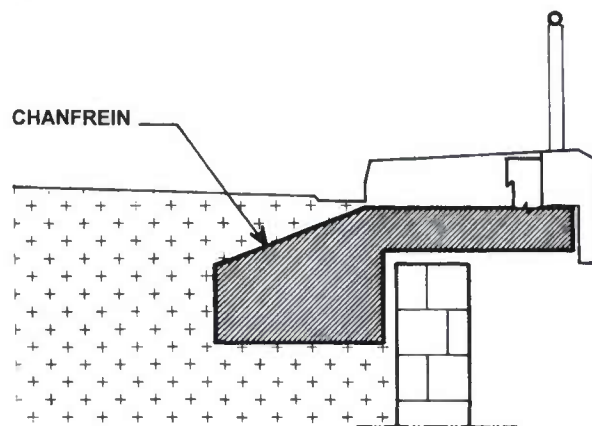
• **Dispositions constructives**

⇨ **les conditions d'appui**

Dans le cas où l'élargissement ne concerne que les trottoirs, il est possible de s'appuyer sur les tympans avec les dispositions constructives du paragraphe 3.1.1.3,d.

⇨ **orniérage :**

Le contrepoids doit être réalisé avec chanfrein pour éviter les points durs longitudinaux et limiter l'orniérage.



**Figure 84 - chanfrein**

⇨ **étanchéité**

Il peut être envisagé de profiter des travaux d'élargissement pour réaliser une étanchéité « haute » entre les poutres d'élargissement au moyen d'une feuille préfabriquée non adhérente. Dans ce cas, le point singulier de l'étanchéité, situé au raccordement entre l'étanchéité de la poutre d'élargissement et celle située entre les poutres, sera traité de la façon suivante :

- la remontée de l'étanchéité intérieure sera soudée sur le bord libre du lé de la retombée (non gravillonnée) de l'étanchéité du contrepoids,
- un drain longitudinal collectera les eaux d'infiltration vers les extrémités de l'ouvrage,
- la compatibilité entre les 2 types de feuille d'étanchéité sera vérifiée au préalable.

Le drain est à positionner en fonction de la pente transversale de la chaussée : soit en rive (dessin ci-après), soit au centre.

Figure 85  
étanchéité

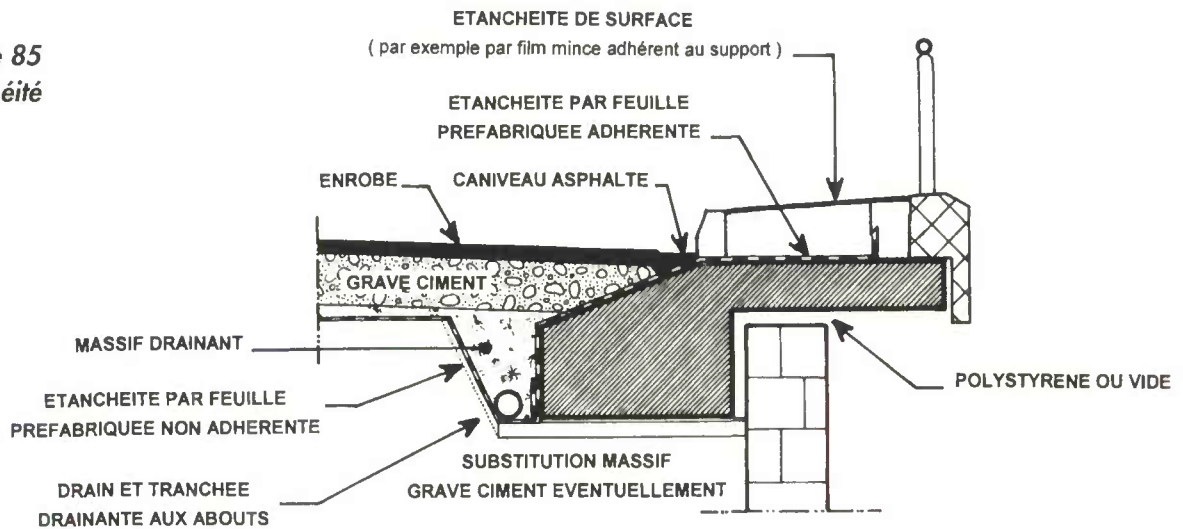
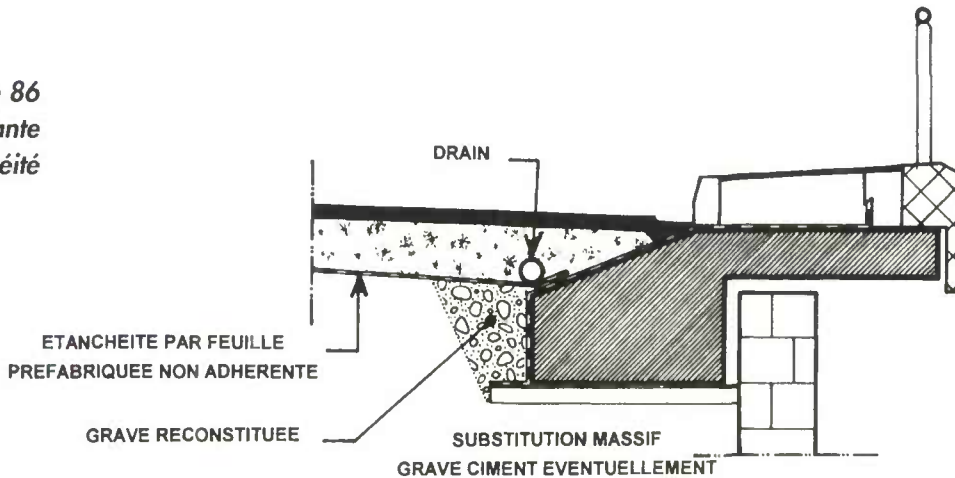


Figure 86  
variante  
d'étanchéité



### e) Calculs - Hypothèses particulières

#### • Équilibre statique

Il doit être vérifié à la pose (pour les éléments préfabriqués) et en service. Le calcul est mené selon l'article 6 des Directives Communes de 1979.

Les charges de chantier à considérer sont celles de l'article 2.3 de l'annexe A1 du fascicule 65-A du C.C.T.G. Le poids de la chaussée doit être négligé dans les actions favorables.

#### • Décollement

A l'E.L.S., sous combinaisons rares, afin de ne pas endommager l'enrobé, tout décollement du contre-poids doit être évité.

#### • Justification de l'encorbellement

Les efforts et donc le ferrailage transversal peuvent être justifiés à partir des abaques de l'annexe 3 au guide de calcul du programme PSIDP-EL. Dans le cas d'éléments préfabriqués, l'appui sur le tympan doit être négligé pour le calcul de l'encorbellement.

### 3.1.2.2) La préfabrication des encorbellements

#### a) Généralités

La préfabrication est la technique de construction généralement utilisée pour ce type d'élargissement. Les éléments préfabriqués sont constitués d'une partie en encorbellement et d'une partie contrepoids. Les éléments doivent être stables sous leurs poids propre à la pose.

La disposition couramment rencontrée représentée figure 87 est déconseillée. En effet, la remontée du trottoir constitue un piège à eau. Une disposition telle que celle représentée figure 88, avec un trottoir non structural, est préférable.

Les éléments peuvent de plus être solidarisés longitudinalement par une longrine générale coulée en place.

Cette longrine joue un rôle de contrepoids complémentaire et contribue à assurer l'équilibre statique de l'élargissement en exploitation.

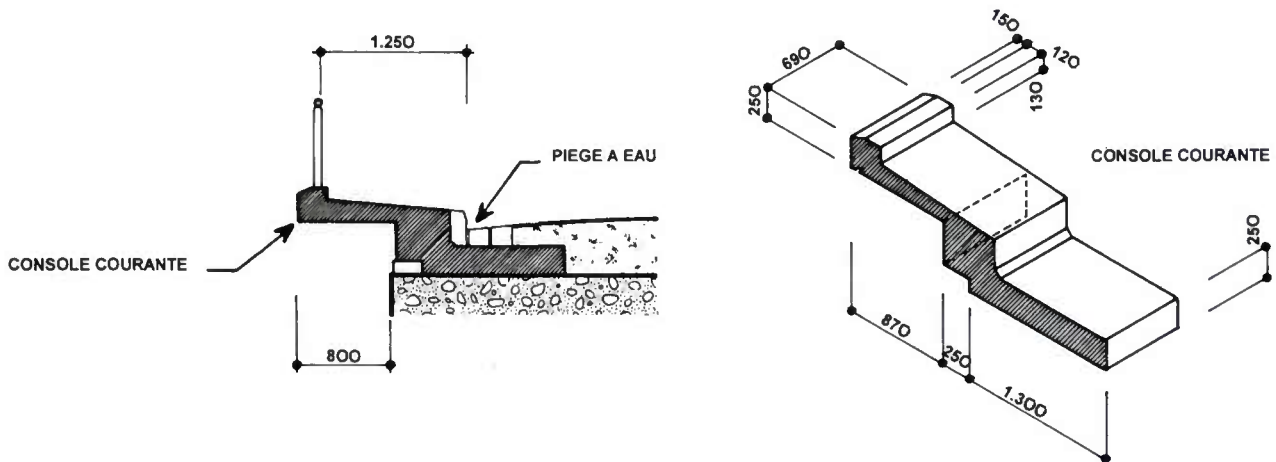


Figure 87 - exemple de contrepoids DÉCONSEILLÉ

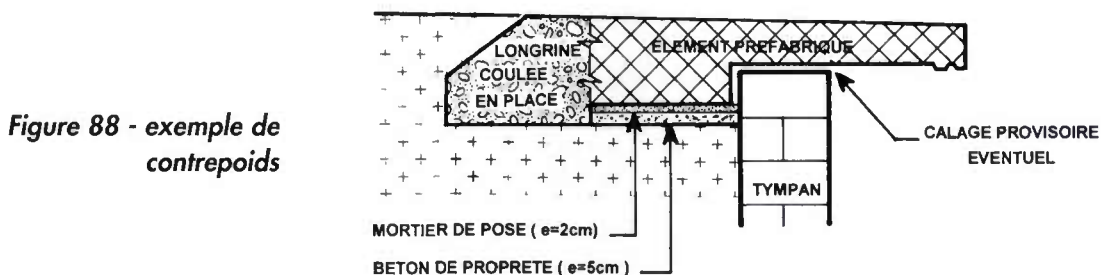


Figure 88 - exemple de contrepoids

Le principal problème mécanique de ce type d'élargissement est le battement entre deux « touches de piano » successives lorsqu'elles supportent des véhicules.

L'intensité de ces battements n'est généralement pas admissible pour la chape d'étanchéité. Il convient donc d'assurer une continuité mécanique par une solidarisation des éléments entre eux comme évoqué dans les pages suivantes.

**b) La conception**

• Pour les parties d'élargissement supportant des véhicules

La conception doit s'attacher à supprimer tout battement entre éléments dans les zones de l'élargissement supportant les véhicules, en assurant la continuité longitudinale des éléments par un clavage transversal ou par une précontrainte longitudinale avec joints conjugués collés.

• Pour les parties d'élargissement ne supportant que des trottoirs

Dans ce cas le problème des battements pourrait a priori être considéré comme moins important. Cependant les dispositions précédentes restent très fortement conseillées, ne serait ce que pour prendre en compte l'effet d'un camion circulant accidentellement sur le trottoir.

• L'étanchéité

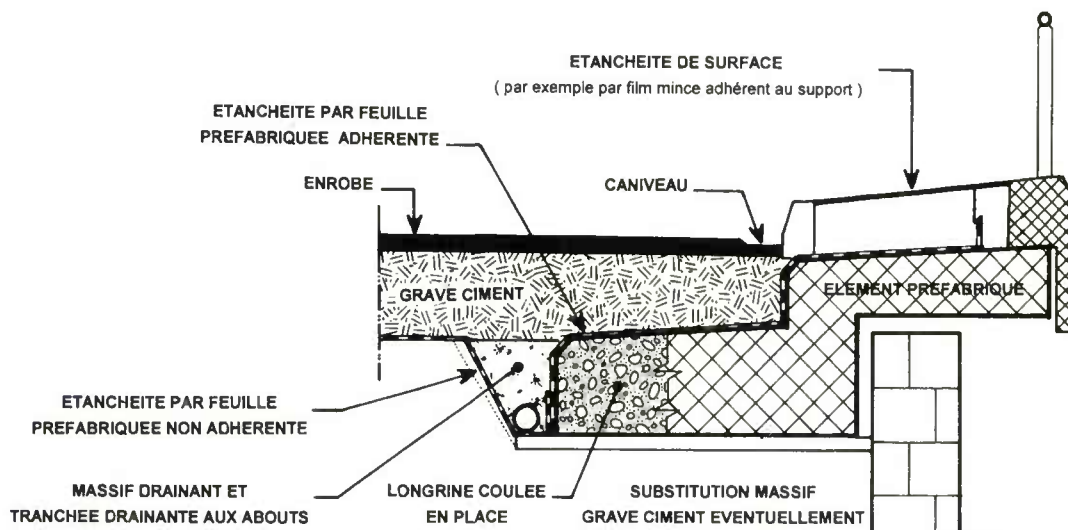


Figure 89 - étanchéité dans le cas des encorbellements contrepoids préfabriqués

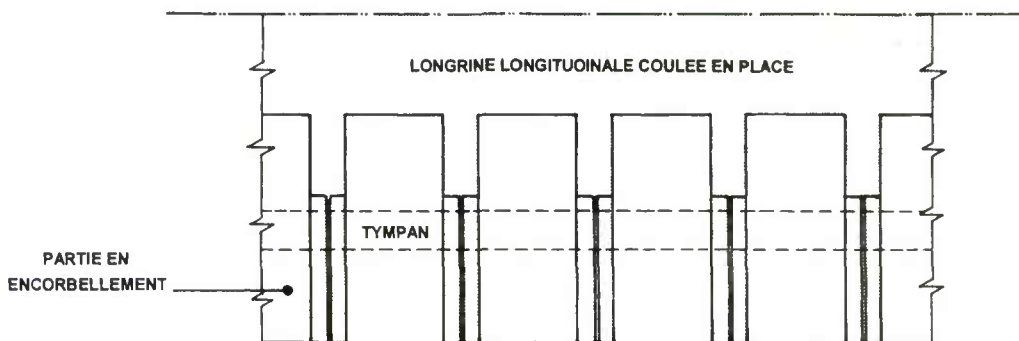


Figure 90 - vue en plan

### c) Le coffrage des joints

A titre d'exemple, les dispositions décrites ci-dessous permettent de réaliser la continuité transversale entre les éléments en s'affranchissant du problème du coffrage du clavage dans la partie en encorbellement.

Dans les parties en encorbellement les éléments préfabriqués forment coffrage du joint de clavage. Pour les parties hors encorbellement la réservation pour le clavage est classique.

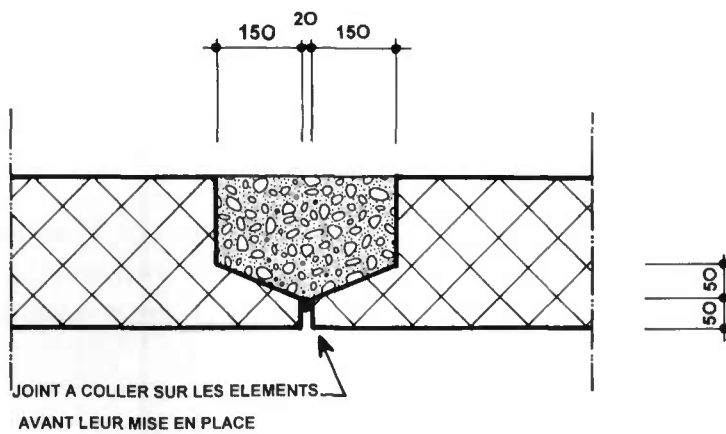


Figure 91 - détail du coffrage du joint pour la partie en encorbellement

### d) Le ferrailage des joints

Pour l'exemple détaillé ci-dessus, les croquis ci-après présentent les ferrillages au droit des joints transversaux.

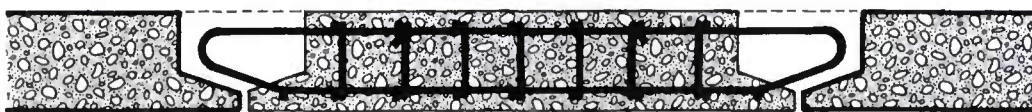


Figure 92 - coupe transversale d'un élément pour la partie en encorbellement (coupe B - B)

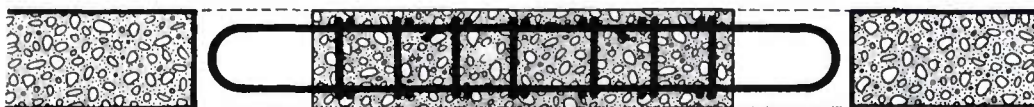


Figure 93 - Coupe transversale d'un élément hors encorbellement (coupe C - C)

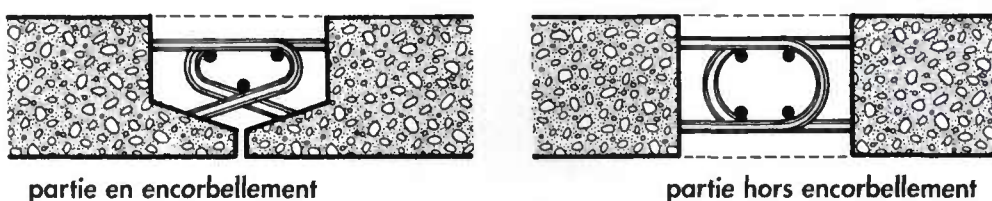


Figure 94 - détail du ferrailage du joint

**e) Les délais**

- ⇨ Exemple : Pont de Pierre de Libourne (L = 208 mètres) sur la Dordogne (R.N. 89), cf. fiche n° 9.
- ⇨ circulation sur 2 voies au lieu de 3 voies pendant 1 an.

**3.1.3 - Les élargissements par réseau de poutres transversales**

**a) Description**

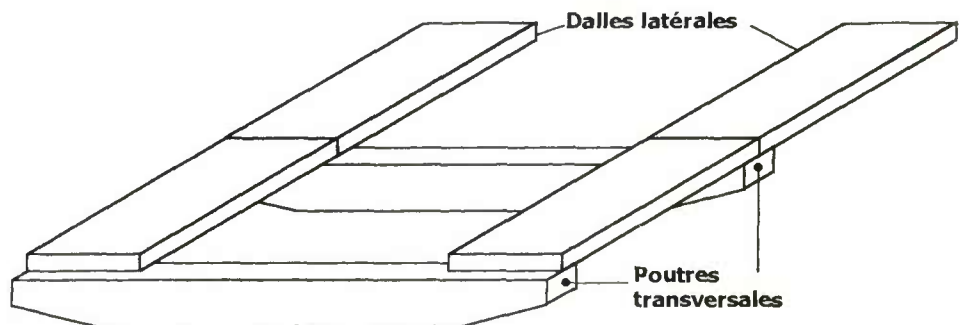
Cette technique d'élargissement consiste à disposer transversalement des poutres préfabriquées ou coulées en place, reposant intégralement sur la structure existante.

Le réseau de poutres transversales traverse l'ouvrage de part en part et présente des porte-à-faux symétriques ou non, éventuellement variables. Ces porte-à-faux supportent l'élargissement qui peut être de deux types :

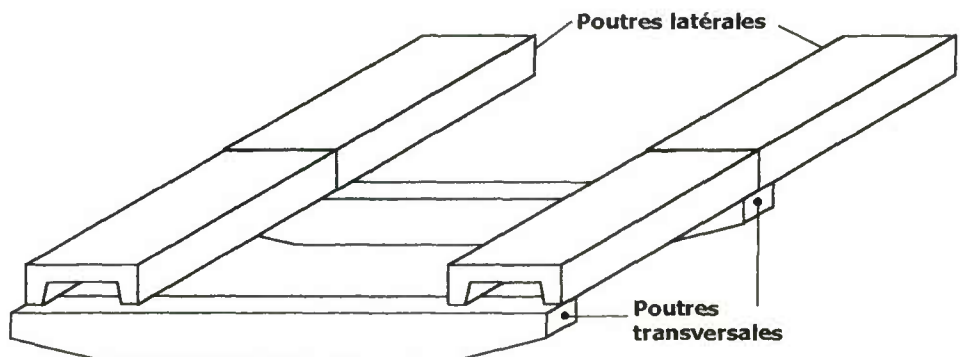
- dalles latérales en béton armé,
- poutres latérales en béton armé préfabriquées.

La première technique présente en fait peu d'intérêt car elle nécessite d'importantes interruptions de circulation et une importante épaisseur de remblai à la clé. Elle est dans les faits peu utilisée et on lui préfère en général un élargissement par dalle générale compte tenu des durées d'interruptions de circulation. La suite du paragraphe portera donc essentiellement sur le second type d'élargissement.

**Figure 95 - dalles latérales en béton armé**



**Figure 96 - poutres latérales en béton armé préfabriquées**



**b) Avantages**

- La préfabrication des poutres latérales et transversales permet de réduire sensiblement la durée de coupure totale de l'ouvrage. Ainsi pour un ouvrage à une seule travée, d'ouverture 7 - 8 mètres, une coupure de la voie sur une semaine est suffisante. Hors étanchéité, les autres phases de travaux (corniches, trottoirs) peuvent s'effectuer sous circulation alternée.

- Les coupures totales de circulation sont ponctuelles et peuvent donc être réalisées dans les créneaux horaires les moins pénalisants.



Figure 97 - pont du Bugue

### c) Inconvénients

- Augmentation de la poussée sur les tympans du fait que les poids lourds circulent plus près de ceux-ci.
- Étanchéité longitudinale entre la nouvelle structure et l'ancienne.
- Coupure totale de circulation pour la mise en œuvre des poutres transversales.
- Points durs au droit des poutres transversales.

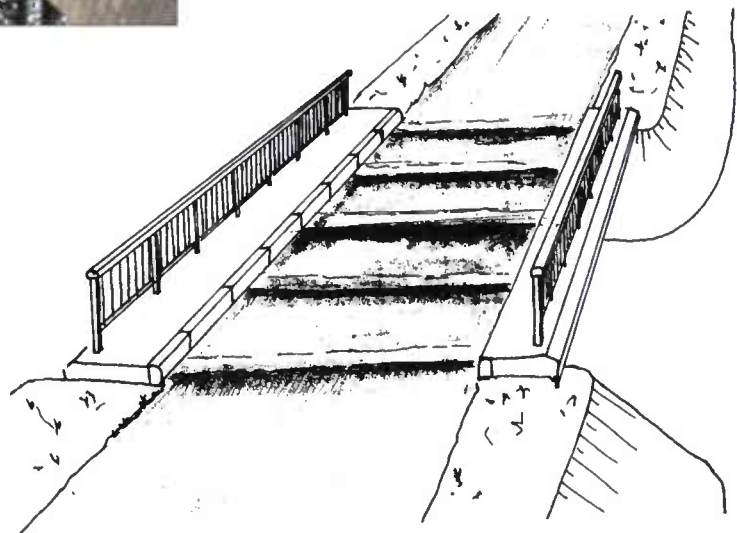


Figure 98 - points durs (dessin IQOA)

### d) Recommandations (domaine d'emploi et dispositions constructives)

#### • Domaine d'emploi

- Élargissement par trottoirs uniquement pour la solution avec poutres latérales préfabriquées.
- Épaisseur de remblai importante à la clé pour la solution avec dalle latérale.

#### • Dispositions constructives

##### ⇒ l'appui des poutres transversales

**Les poutres transversales ne doivent pas s'appuyer sur les tympans.** En effet, dans le cas d'un appui sur le tympan, les poutres amèneraient des efforts concentrés. De plus, même dans le cas où initialement les poutres s'appuieraient à la fois sur le tympan et sur le remblai, les charges concentrées occasionneraient des pressions importantes sous les poutres avec un risque de tassement du remblai. Les poutres ne prendraient plus alors appui que sur le tympan, augmentant alors leur agressivité ponctuelle sur celui-ci.

### ⇨ l'épaisseur de remblai sous les poutres

Une épaisseur de remblai suffisante doit être laissée sous les poutres pour permettre une diffusion correcte et ainsi éviter de poinçonner la voûte. Cette condition pose des problèmes pour la solution par dalle latérale. En effet, dans ce cas l'espacement habituel des poutres, de l'ordre de 2 à 3 mètres, impose de placer des poutres dans la zone de clé, là où l'épaisseur de remblai est minimale.

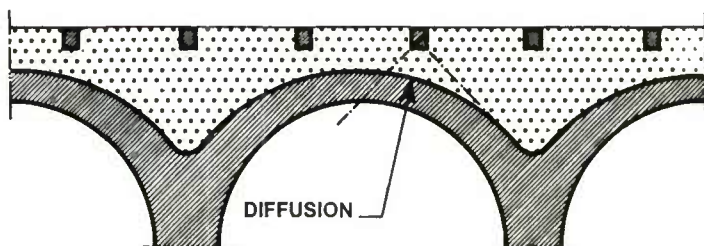


Figure 99 - épaisseur minimale de remblai

Dans le cas général, pour des pierres de dimensions usuelles, l'épaisseur minimale à ménager peut être déterminée en assurant une diffusion des efforts sur au moins 3 pierres de la voûte ou, à défaut d'information, du bandeau.

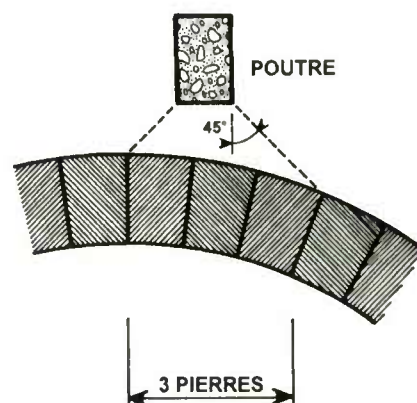


Figure 100 - épaisseur minimale de remblai

### ⇨ l'épaisseur de remblai sur les poutres

Pour limiter le risque d'orniérage transversal, il est recommandé, dans la mesure du possible, de laisser une couverture suffisante sur la partie des poutres traversant la voûte (50 centimètres environ) pour éviter les points durs.

### ⇨ l'augmentation de la largeur roulable

Les dispositions développées au paragraphe 3.1.1.2,d pour pallier l'augmentation de la poussée du remblai restent applicables.

### ⇨ la position longitudinale des poutres transversales

- On veillera dans tous les cas à disposer des poutres transversales à la verticale des piles (transmission plus directe des charges) et à choisir l'entraxe de manière à ce que la section de clé ne reçoive pas de poutre, mais soit « encadrée » par deux poutres (pour permettre une meilleure diffusion des charges par l'épaisseur du remblai).
- On retiendra un espacement des poutres le plus constant possible.



- Au niveau des culées, quand la poutre transversale est appuyée sur le remblai, il est nécessaire de conserver une marge (1,50 m ou plus) entre l'axe de la poutre et le nu du piédroit (meilleure diffusion dans le remblai).

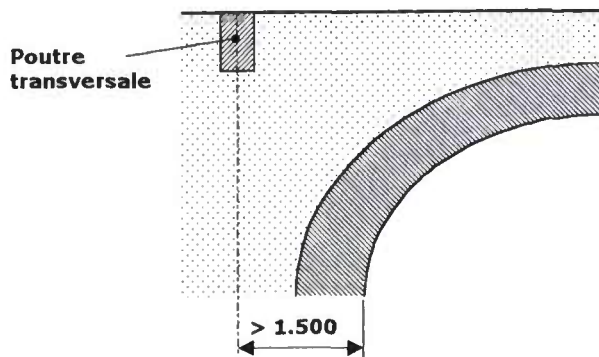


Figure 101 - position de la poutre sur culée

### ⇨ L'étanchéité de l'ouvrage

Voir paragraphe 3.2.1,d.

Quand la réalisation de l'étanchéité n'apparaît pas nécessaire (ouvrage muni d'une étanchéité sur voûte dont le fonctionnement est correct), et notamment dans le cas de petits ouvrages à une arche, chaque poutre doit être protégée par une chape préfabriquée par exemple.

Figure 102 - exemple de poutre transversale non protégée par une étanchéité



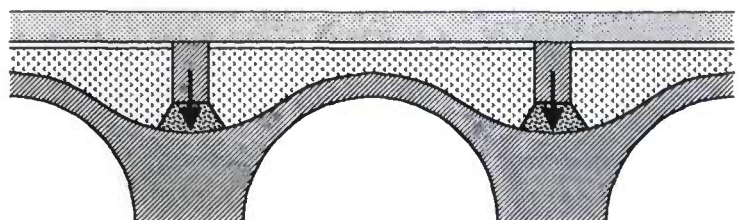
### 3.1.4 - Les structures indépendantes portées par l'ouvrage existant

Voir fiche n° 11 en annexe 4.

### 3.2 - LES STRUCTURES S'APPUYANT SUR LES APPUIS DE L'OUVRAGE EXISTANT

Cette méthode peut être utilisée dans le cas où une voûte est insuffisante pour supporter la totalité de l'élargissement projeté, mais où les fondations sont saines et suffisantes pour supporter la totalité des charges.

Figure 103 - descente des charges



Le problème peut être résolu de deux façons :

- par des poutres ou dalles latérales reposant sur les appuis,
- par une dalle générale reposant sur les appuis.

### 3.2.1 - Les élargissements par poutres ou dalles latérales reposant sur les appuis

#### a) Description

Les dalles ou poutres longitudinales reposent sur des chevêtres s'appuyant sur les appuis existants. La voûte continue à porter le matériau de remplissage et les charges d'exploitation de la partie ancienne, mais toutes les charges dues aux élargissements sont reprises par les fondations indépendamment de la voûte.

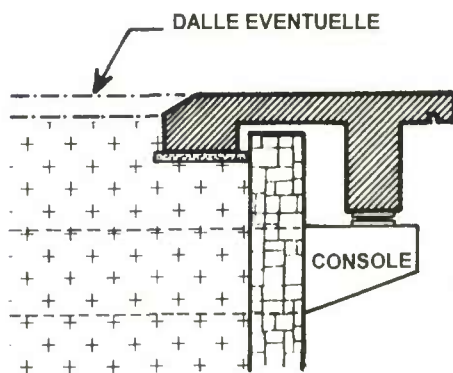
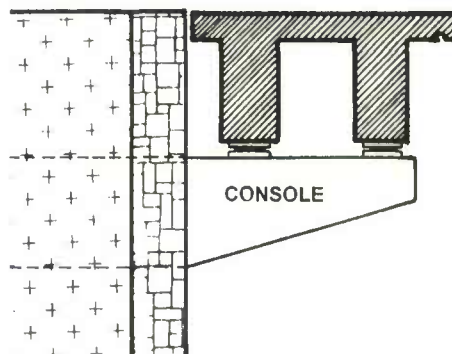
Figure 104 - structure latérale entièrement appuyée sur les poutres transversales

La nouvelle structure peut également s'appuyer en partie sur le remblai de l'ouvrage existant. Dans ce cas une partie des charges dues aux élargissements est reprise par l'ouvrage existant.

Figure 105 - structure latérale partiellement appuyée sur le remblais

Ces types d'élargissement peuvent également être utilisés sans chevêtre en s'appuyant directement sur les avant becs et les murs en aile sur culées, lorsque ceux-ci débordent suffisamment et sont **correctement fondés et reliés au reste de l'ouvrage**.

Figure 106 - désordre d'un avant bec insuffisamment fondé et supportant un élargissement



## b) Avantages

L'avantage principal de ce procédé est qu'il permet de s'affranchir d'une éventuelle insuffisance de la voûte à supporter l'élargissement.

Par ailleurs, excepté la phase de travaux où l'on ouvre une tranchée au-dessus des piles et des culées pour construire le chevêtre support de la poutraison, l'élargissement peut être réalisé avec des interruptions limitées de la circulation.



Figure 107 - pont Colbert à Auxerre

## c) Inconvénients

- l'élargissement est peu satisfaisant au niveau de l'aspect,
- une interruption totale de circulation est nécessaire pendant la réalisation du chevêtre,
- les chevêtres sur appuis constitueront des points durs transversaux vis-à-vis de la chaussée,
- les portées des poutres constituant les élargissements sont relativement grandes (au moins égales aux ouvertures des arches), le problème de la déformabilité va se poser de façon aiguë.

On peut considérer a priori que la voûte ne se déforme pas sous l'effet des charges d'exploitation. Les quelques mesures de flèches réalisées confirment cette hypothèse. Par contre, la structure supportant l'élargissement, constituée de poutres et d'un hourdis, est déformable et peut sous l'effet des charges d'exploitation prendre des flèches de l'ordre d'un ou plusieurs centimètres.

Au préalable, la structure chargée seulement par son poids propre et celui des superstructures aura pris, sous l'effet du fluage, une contre flèche elle aussi de l'ordre d'un ou plusieurs centimètres dans le cas de poutres en béton précontraint.

Dans le cas où la chaussée nouvelle règne à la fois sur la voûte existante et sur l'élargissement, il se pose le problème du raccordement entre les deux structures (étanchéité et point dur).

## d) Recommandations (domaine d'emploi et dispositions constructives)

- le problème des points durs transversaux au droit des chevêtres peut être limité si ceux-ci sont suffisamment enterrés,
- cette technique s'adapte bien aux ponts de largeur variable,
- étanchéité : chanfrein pour la poutre en béton armé reposant sur l'ouvrage existant,
- stabilité des poutres vis-à-vis des chocs,
- étude architecturale nécessaire (poutre de hauteur variable, habillage).

Figure 108 - Élargissement n'ayant pas fait l'objet d'une étude architecturale



Cette solution n'est envisageable que pour des portées modestes en raison :

- de la déformation des poutres longitudinales sous fluage, relaxation, variations thermiques et charges d'exploitation,
- de la tenue du joint sous flèches différentielles des deux structures.

Le joint de dilatation longitudinal doit être placé si possible hors de la bande de roulement.

• **L'étanchéité de l'ouvrage**

La conception de l'étanchéité de l'ouvrage est indissociable de celle du joint entre l'ouvrage voûté et son élargissement.

**Solution 1** : deux types de joints sont envisageables :

- le joint non apparent à revêtement normal : type SEMI LOURD III ;
- le joint non apparent à revêtement amélioré.

L'article de MM. Fragnet et Meuric publié dans la revue Ouvrages d'Art du SETRA [35] indique les solutions acceptables en fonction de la flèche et de la position transversale du joint et précise les dispositions constructives à retenir.

Figure 109 - solution 1

(cas d'un joint de chaussée longitudinal de type non apparent à revêtement amélioré)

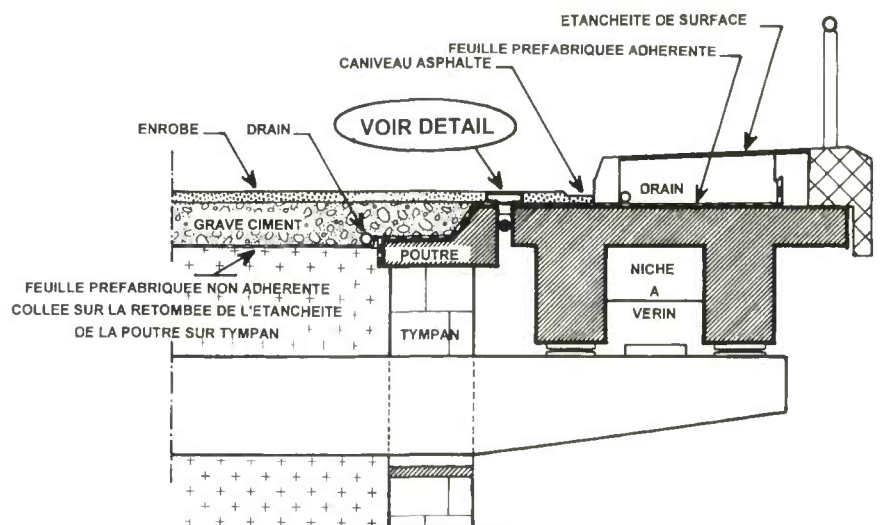
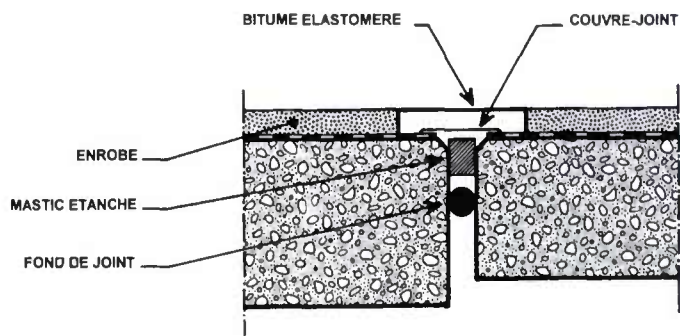
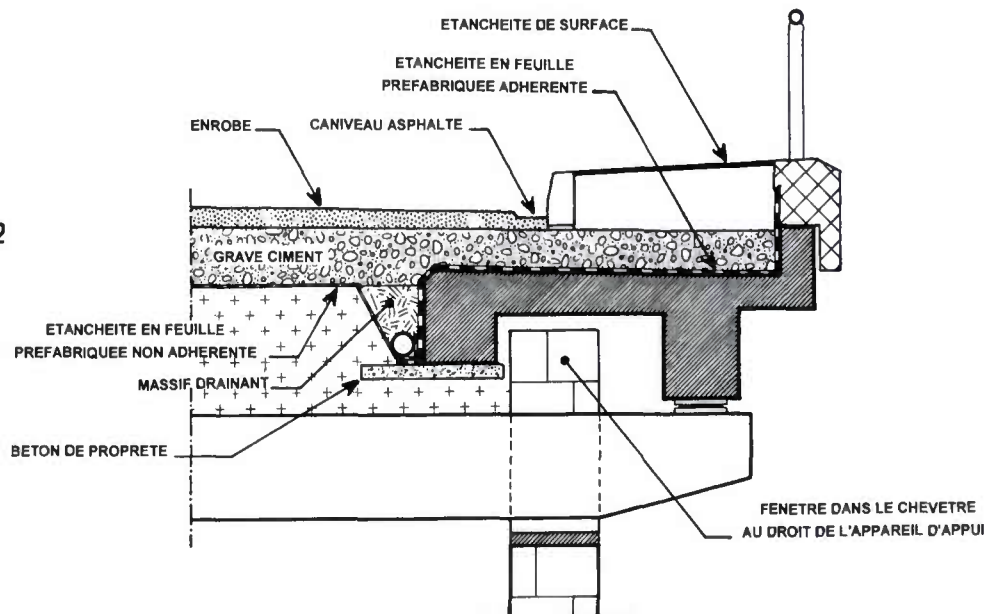


Figure 110 - détail



**Solution n° 2** : à réserver pour des petites portées ( $L < 6$  m) en raison des problèmes mécaniques de flèches différentielles.

Figure 111 - solution 2



### 3.2.2 - Les élargissements par dalle générale reposant sur les appuis

#### a) Description

Une dalle générale est réalisée au-dessus de l'ouvrage existant. Elle s'appuie au droit des piles et des culées sur les appuis existants par l'intermédiaire de massifs additionnels.

Dans ce cas, la voûte continue à porter son poids propre et le matériau de remplissage qui a été laissé en place, mais toutes les autres charges (poids propre et surcharges) sont transmises aux fondations sans faire appel à la résistance de la voûte.

#### b) Avantages

- La voûte existante n'a plus à supporter que son poids propre et le matériau de remplissage.
- On peut concevoir des élargissements de grande largeur par rapport à l'ouvrage existant, les seules contraintes limitant l'ampleur des élargissements résidant dans la force portante des fondations (et appuis), et des possibilités de la nouvelle structure porteuse. On peut envisager de réaliser de nouvelles fondations au travers des appuis existants.
- Il n'y a pas de problème de déformabilité différentielle, ni d'étanchéité.

#### c) Inconvénients

- Alourdissement important de l'ouvrage. La question de la portance des fondations se pose avec plus d'acuité.
- La coupure de circulation est totale pendant toute la durée des travaux.

### 3.3 - LES STRUCTURES ACCOLEES A L'OUVRAGE EXISTANT

#### 3.3.1 - Généralités sur les structures accolées

##### a) Description générale

Il s'agit de réaliser un second ouvrage accolé à l'ouvrage existant et ayant une structure porteuse, des appuis et des fondations propres. Plusieurs solutions sont envisageables, en fonction des contraintes diverses de fondation, de géométrie, d'esthétique, d'économie.

Parmi les solutions déjà réalisées, on peut citer notamment :

- les voûtes en maçonnerie (pont de la Concorde),
- les voûtes en béton armé ou non armé,
- les cadres et portiques, simples ou multiples,
- les buses préfabriquées en métal ou en béton,
- les ponts dalles,
- les structures à poutres préfabriquées.

##### b) Avantages communs

- L'élargissement est indépendant de l'ouvrage existant et peut donc avoir une géométrie et des dimensions tout à fait quelconques (pour autant que la largeur ajoutée soit suffisante). En particulier l'élargissement peut être dissymétrique, voire ne régner que d'un seul côté.
- Les travaux se font quasiment sans gêne à la circulation.
- Les élargissements peuvent être conçus et dimensionnés pour les charges les plus lourdes, sans limitation. On peut ainsi concevoir un ouvrage élargi comportant une partie ancienne, de capacité moindre et un élargissement qui pourra supporter le passage de convois exceptionnels. Il convient naturellement dans ce cas de bien savoir quelle partie de l'ouvrage élargi pourra supporter ces charges exceptionnelles, toute confusion pouvant avoir des conséquences graves.
- La gestion des réseaux est facilitée du fait qu'ils peuvent être déplacés sur le nouvel ouvrage.

##### c) Inconvénients communs

- La réalisation des fondations des élargissements est délicate. Qu'elles soient profondes ou superficielles elles doivent être réalisées sans porter atteinte aux fondations de l'ouvrage existant.
- La différence de déformabilité entre les structures existante et nouvelle pose des problèmes, notamment vis-à-vis de l'étanchéité.
- L'aspect esthétique est également très délicat à traiter dans le cas d'un élargissement unilatéral, car l'on aura un ouvrage qui présentera deux faces très différentes. Il convient qu'elles ne soient pas antagonistes, même si elles peuvent être d'aspects très différents. Ainsi pour les ouvrages en site urbain, présentant une certaine importance et un certain « cachet », il est souhaitable que, même si les matériaux employés pour l'élargissement sont « modernes » (béton brut, teinté, désactivé, etc.) la géométrie soit en harmonie avec celle de l'ouvrage existant, par exemple :
  - ⇨ pour le tablier : adopter des structures comportant un intrados en voûte, de type voûte en béton armé ou de type caisson en béton armé à inertie variable présentant une courbure identique ou un peu plus tendue que l'existant ;
  - ⇨ pour les appuis : respecter l'aspect des appuis existants et leur espacement, même si cela conduit à des surcoûts (piles épaisses et portées faibles).

#### **d) Recommandations communes (domaine d'emploi et dispositions constructives)**

##### **• Domaine d'emploi**

Plusieurs raisons peuvent amener à retenir des élargissements de ce type :

- grande largeur d'élargissement,
- élargissement dissymétrique, en particulier ces solutions peuvent s'adapter à un tracé en plan ne suivant pas l'axe de l'ouvrage existant,
- capacité des voûtes existantes douteuses, ou reconnue insuffisante pour porter un élargissement,
- nécessité de ne pas restreindre la circulation sur l'ouvrage existant,
- volonté esthétique et/ou fonctionnelle vis-à-vis d'un nouvel usage de l'ouvrage.

Le choix de l'une ou l'autre de ces structures dépend de nombreux critères. À l'expérience, les structures faisant appel à des poutres préfabriquées précontraintes par adhérence, reposant sur des appuis indépendants, semblent les plus utilisées, mais elles ne constituent pas pour autant la solution la plus satisfaisante.

En fonction des portées de l'ouvrage à réaliser on s'orientera de préférence vers les structures suivantes :

- en dessous de 10 mètres : buses,
- de 5 à 15 mètres : cadres et portiques,
- de 15 à 25 mètres : ponts dalles,
- au-delà de 25 mètres : poutres.

Compte tenu de la difficulté d'exécution des fondations, une étude géotechnique, incluant la reconnaissance des fondations de l'ouvrage existant, est impérative.

##### **• Dispositions constructives**

- Réalisation des fondations : il convient soit de reporter les fondations plus loin que les fondations existantes, avec augmentation de l'ouverture (cas d'une arche unique), soit de travailler par petits volumes, soit de procéder au préalable à la vérification du bon état et le cas échéant au confortement des fondations existantes.
- Les sujétions d'accès pour la réalisation des fondations en rivière sont un point crucial dans tout dossier d'élargissement par ouvrage accolé, et conditionnent bien souvent l'économie de l'opération. Ainsi parmi les paramètres à considérer, on peut citer :
  - ⇨ la présence d'un radier au niveau des futurs appuis,
  - ⇨ la hauteur d'eau prévisible lors des travaux,
  - ⇨ le nombre d'arches qu'il est possible de barrer pendant les travaux,
  - ⇨ la nécessité d'accès sous l'ouvrage existant pour réparations éventuelles,
  - ⇨ l'état des fondations existantes.
- En fonction des paramètres listés ci-dessus, les solutions envisageables sont par exemple :
  - ⇨ un batardeau en palplanches pile par pile (appuis existants en bon état) ;
  - ⇨ un batardeau général amont et aval (rideau de palplanches, berlinoise, digues en enrochement protégées par un revêtement argileux ou une membrane) ;

- ⇒ batardeau en béton préfabriqué reprenant la forme de la pile et posé sur le débord du radier (posé à la grue depuis l'ouvrage existant, étanchement par béton immergé, puis forage de pieux depuis l'ouvrage existant).
- Liaison avec la structure existante : ce point doit être étudié avec beaucoup d'attention vis-à-vis de :
  - ⇒ la liaison mécanique : le tablier de la nouvelle structure doit être mécaniquement indépendant de l'ouvrage existant, cependant, au niveau des appuis, on peut être amené à les solidariser localement pour faciliter le chantier et pour assurer une meilleure stabilité transversale ;
  - ⇒ l'étanchéité (cf. § 3.2.1.d pour les joints de chaussée longitudinaux) ;
  - ⇒ il convient d'éviter autant que possible les joints circulés en retenant par exemple une disposition selon le schéma de la figure 112.

Un plan spécifique doit figurer au marché.

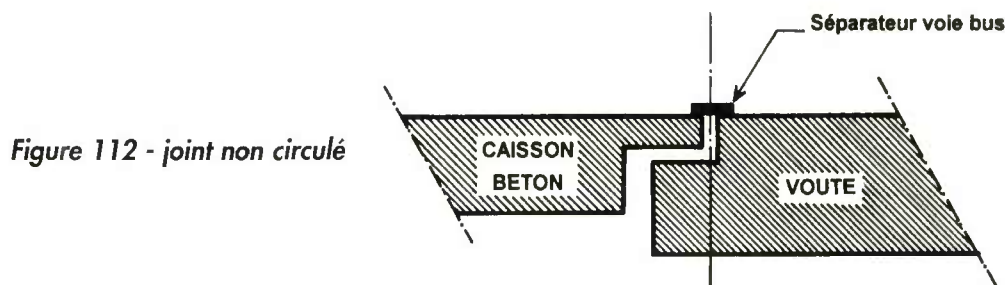


Figure 112 - joint non circulé

### 3.3.2 - Les élargissements par voûte en béton

#### a) Description

Ce paragraphe concerne les élargissements par voûte béton au sens mécanique du mot voûte et n'évoque donc pas les ponts-dalle ou ponts-caisson comportant un tablier béton régnant sur une ou plusieurs travées et dont l'intrados a été coulé avec une forme de voûte.

Il n'évoque pas non plus :

- les voûtes élargies par simple prolongation de la voûte existante (soit en béton, soit en maçonnerie), qui sont traitées au paragraphe 3.4.1,
- les voûtes élargies par buses préfabriquées en béton, traitées au paragraphe 3.3.6.

Il s'agit donc de structures porteuses en béton coulé en place et fonctionnant en arc, comportant un tympan intérieur qui sépare l'ouvrage neuf de la voûte existante (évitant ainsi des travaux importants sur l'ouvrage élargi, ainsi que les difficultés liées aux déformations différentielles).

La coupe transversale adoptera une forme en « U », avec remplissage par remblais de bonnes caractéristiques, à l'instar d'une voûte en maçonnerie traditionnelle.

On peut dans certains cas (nécessité d'une galerie pour réseaux, forte hauteur sur piles ou à la clé) prévoir une structure de type caisson avec traverse supérieure, qui est nettement plus complexe (problème des joints sous chaussée, difficultés de coffrage).

#### • b) Avantages

- Ce type de structure permet d'adopter une travure et une géométrie de l'intrados des voûtes quasi identiques à ceux de l'ouvrage originel, ce qui constitue un très fort bénéfice sur le plan de l'aspect architectural.



- Le fonctionnement en voûte minimise fortement l'importance et l'impact des déformations différentielles par rapport à d'autres procédés d'élargissement (ponts à poutres notamment), tout en conservant les bénéfices d'une structure totalement indépendante (cf. § 3.3.1,b).

### **c) Inconvénients**

- Ce type d'élargissement est coûteux. En effet le respect de la géométrie originelle implique un ouvrage « peu optimisé » en termes de résistance des matériaux (par exemple piles très épaisses), avec souvent un souci architectural marqué au niveau des nouveaux parements, qui s'accompagne parfois de reprises sur le parement toujours visible de l'ouvrage ancien élargi, dans un but d'homogénéité d'aspect. Il en est souvent de même pour les équipements que l'on peut souhaiter identiques sur l'ouvrage et son élargissement (corniches, garde-corps, candélabres, etc.). À cela doit s'ajouter le coût ou les difficultés de réalisation de cintres.
- Il s'agit d'un type d'ouvrage assez peu courant et de réalisation délicate, qui nécessite donc des bureaux d'études et des entreprises qualifiés.

### **d) Recommandations (domaine d'emploi et dispositions constructives)**

#### **• Domaine d'emploi**

En raison de son coût élevé, cette technique d'élargissement est à privilégier quand il existe une forte volonté esthétique sur l'aspect du nouvel ouvrage par rapport à l'ancien et que, parallèlement, l'importance de l'élargissement ou l'impossibilité de couper la circulation interdisent d'envisager une solution « élargissement par dalle générale ».

#### **• Dispositions constructives**

##### **⇨ Fondations :**

En plus des recommandations générales du paragraphe 3.3.1,d, il convient de considérer la poussée horizontale due aux voûtes béton ; on sera donc amené à porter une attention particulière à la qualité des sols de fondation et, le cas échéant, à privilégier des fondations permettant la meilleure reprise des efforts horizontaux, en particulier au niveau des culées : barrettes, par exemple. Dans le cas de fondations par pieux forés, il est souhaitable d'éloigner latéralement les pieux pour ne pas porter atteinte aux appuis existants (sur piles) : cependant on ne doit pas avoir un trop grand éloignement entre l'axe du tablier et celui des fondations. L'arasement des avant-becs de l'ouvrage originel, avec les précautions qui s'imposent, peut être une solution.

##### **⇨ Appuis :**

On peut faire la même remarque que pour les fondations en ce qui concerne l'excentrement vis-à-vis du tablier et l'arasement éventuel des arrière-becs. Par ailleurs les nouvelles piles, pour respecter la géométrie des anciennes, seront généralement très massives. Elles représentent donc une part importante du béton armé de l'ouvrage. On peut alors envisager :

- un élargissement des piles pour économiser du béton,
- des parements rapportés préfabriqués pour économiser du béton teinté dans la masse, voire pour améliorer l'aspect final (cette réflexion vaut également pour le tablier).

Une étude économique comparative est souvent nécessaire pour trancher.

⇨ **Tablier :**

En premier lieu un relevé précis de la géométrie des voûtes de l'ouvrage ancien est indispensable avant les études d'exécution.

Le corps de voûte, coulé sur cintre, comportera deux articulations au reins (avec éventuellement une autre à la clé). Ces articulations seront de type « Freyssinet » (section rétrécie de béton).

En ce qui concerne la coupe transversale en « U », le tympan intérieur devra ménager un espace suffisant avec le tympan de l'ouvrage ancien pour compenser ses irrégularités. On peut, en fonction de la hauteur des tympan, envisager de les tirer (tirants métalliques gainés).

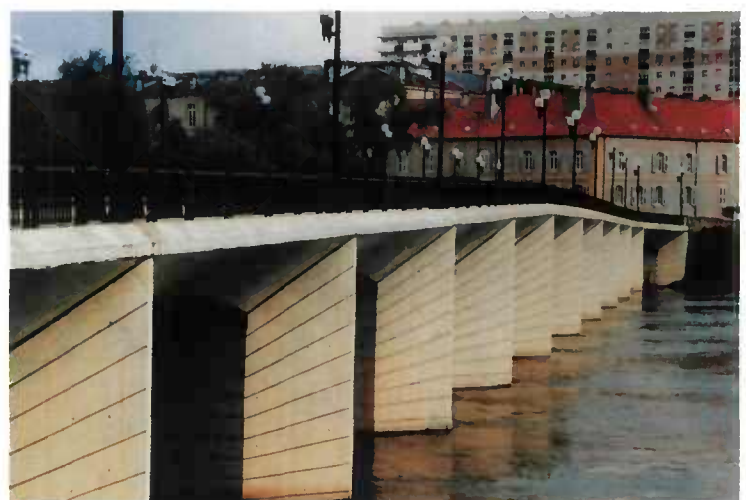
Par ailleurs le joint longitudinal entre les deux ouvrages sera dans la mesure du possible situé au point haut du profil en travers de la chaussée (profil en toit) et non circulaire.

Le bétonnage de la voûte sera conduit symétriquement des naissances à la clé, avec un béton « ferme » pour éviter au maximum de coffrer le dessus de la voûte.



*Figure 113 a - pont de Thionville à Metz*

*vue amont*



*Figure 113 b - pont de Thionville à Metz*

*vue aval*

L'étanchéité sera disposée bien sûr en extrados de la voûte avec des sujétions particulières au niveau des articulations Freyssinet (profilés métalliques, etc.). On mettra a priori en œuvre des feuilles préfabriquées en raison de l'inclinaison de la voûte. Enfin le remplissage des voûtes devra se faire en chargeant symétriquement chaque travée avec un matériau de bonne qualité (calcaire 0/50 par exemple), avec protection de la chape d'étanchéité par sable et géotextiles.

### 3.3.3 - Les élargissements par cadres ou portiques ou ponts dalles en béton

#### a) Description

Figure 114 - élargissement par portique



Figure 115 - élargissement par pont dalle

Figure 116 - élargissement par portique sur piliers en palplanches



### **b) Avantages**

- Ces structures sont simples et robustes. En particulier, les cadres fermés en béton armé s'accommodent de sols de fondation médiocres.
- Pour les cadres et portiques le problème des déformations différentielles est moins aigu. En effet, les cadres et portiques étant plusieurs fois hyperstatiques ont une traverse supérieure peu déformable.

### **c) Inconvénients**

- Ces élargissements sont souvent très décevants sur le plan de l'aspect.
- Un autre inconvénient réside dans le coût du cintre, ou dans la difficulté de construire un cintre au-dessus d'un cours d'eau ou d'une route en circulation.
- Il est nécessaire de créer un radier général dans le cas des cadres, ce qui impose une mise à sec.

### **d) Recommandations (domaine d'emploi et dispositions constructives)**

- **Fondations** : un élargissement par pont cadre, dûment muni de parafoilles amont et aval dans le cas d'ouvrage en rivière, peut être fondé plus haut que la voûte existante, qui n'est donc pas mise en péril. Les parafoilles doivent encadrer les fondations de l'ouvrage neuf et de l'ouvrage existant. Dans le cas de portique, on peut recourir aux fondations sur pieux si le terrain en place en surface est trop mauvais, et si la construction d'un cadre pose trop de problèmes.
- **Flèches différentielles** : Ne pas hésiter à légèrement surdimensionner la traverse supérieure pour la rigidifier. Une surépaisseur de 5 ou 10 cm ne coûte pas bien cher, et même peut s'avérer plus économique, par gain sur les aciers, que le strict usage de l'épaisseur minimale.

## **3.3.4 - Les élargissements par structures à poutres préfabriquées**

### **a) Description**

L'élargissement est réalisé par des poutres préfabriquées coiffées d'un hourdis coulé en place. Ces poutres peuvent être en béton armé, en béton précontraint (PRAD ou VIPP), ou encore métalliques.

Le cas le plus courant est celui de poutres préfabriquées précontraintes par adhérence pour les portées rencontrées (inférieures à 30 mètres).

Les poutres peuvent être disposées parallèlement à l'ouvrage ou en éventail pour former un élargissement de largeur variable.

### **b) Avantages (voir également § 3.2.1.b)**

- L'emploi de poutres préfabriquées permet de se dispenser de cintre, ce qui est favorable vis-à-vis de la faisabilité et du délai.
- Cette technique autorise des élargissements de largeur variable.
- Les portées possibles permettent de reculer et donc de simplifier les appuis d'extrémité. On peut les placer dans des zones non préjudiciables aux murs de l'ouvrage existant.

### **c) Inconvénients (voir également § 3.2.1.c)**

- Pour les poutres en béton précontraint, la flèche vers le haut due au fluage peut atteindre plusieurs centimètres, ce qui complique le problème de la jonction avec la structure existante.
- Ces élargissements sont souvent très décevants sur le plan de l'aspect.

**d) Recommandations (domaine d'emploi et dispositions constructives)**

- Ne pas hésiter à légèrement surdimensionner les élargissements pour les rigidifier.
- Joint de chaussée : cf. 3.2.1.d

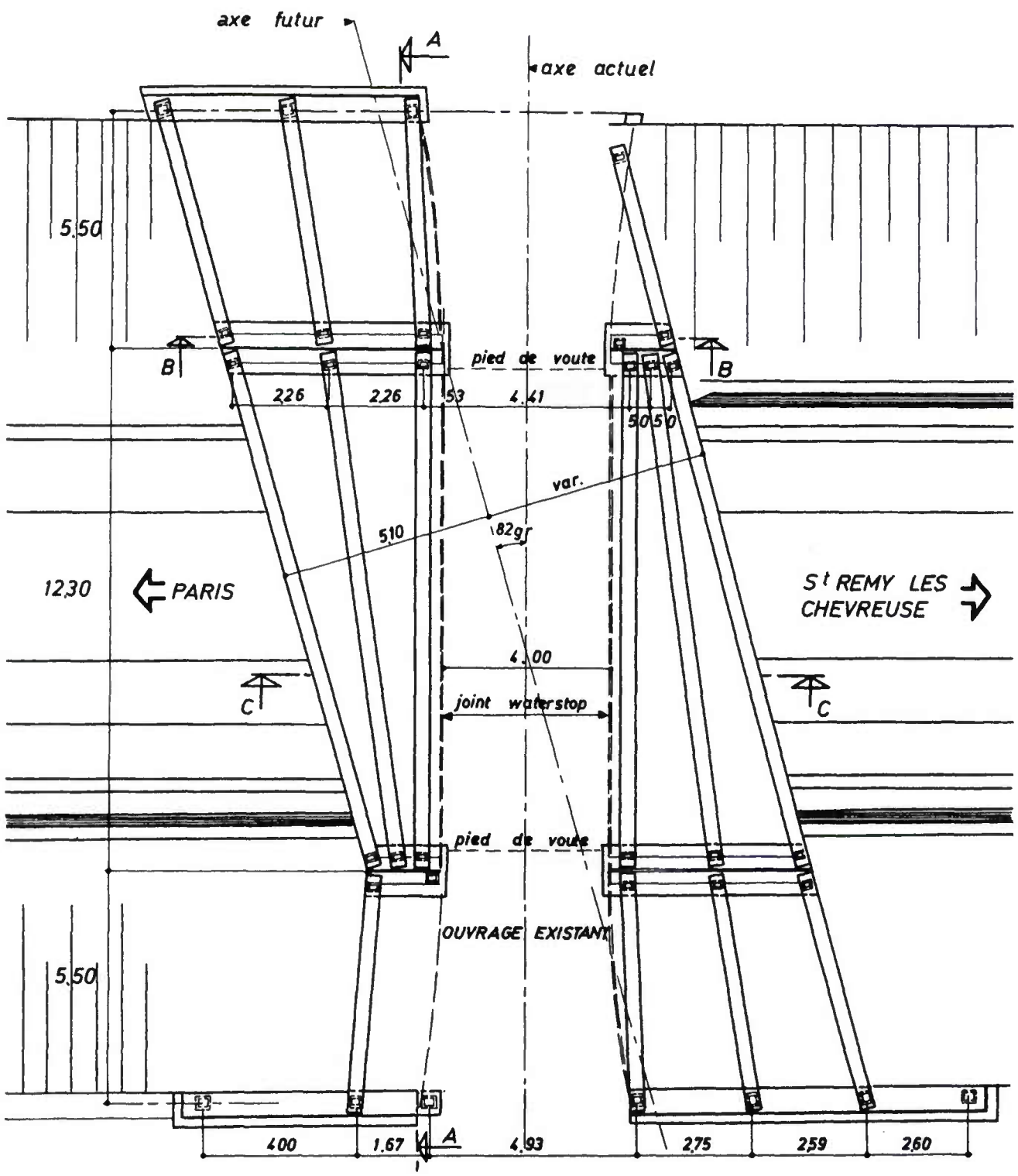


Figure 117 - pont d'Orsay  
Plan de la poutraison

### 3.3.5 - Les élargissements par buses métalliques

Ce type d'élargissement, qui a donné lieu dans le passé à un nombre relativement élevé de réalisations, est de nos jours pratiquement abandonné.

En effet les réalisations passées sont souvent très décevantes sur le plan de l'esthétique, du fonctionnement (déformabilité différentielle) et de la durabilité. De nombreuses et importantes pathologies, difficiles à traiter, sont apparues après quelques décennies, voire quel-ques années.



Figure 118 - buse métallique

### 3.3.6 - Les élargissements par éléments préfabriqués en béton

#### a) Description

Il existe plusieurs types de buses préfabriquées en béton :

- les tubes circulaires en un seul morceau (jusqu'à 4 mètres environ),
- les cadres préfabriqués,
- les arches composées de plusieurs éléments préfabriqués.

#### b) Avantages (voir également § 3.2.1,b)

- ces structures sont simples et robustes si elles sont correctement mises en œuvre,
- la durée du chantier est courte,
- un cintre n'est pas nécessaire.

#### c) Inconvénients (voir également § 3.2.1.c)

- il s'agit de produit « sur catalogue » dont les dimensions ne s'adaptent pas forcément exactement à l'ouvrage existant,
- les arches composées de plusieurs éléments nécessitent un décaissement et une substitution du sol importants à proximité immédiate de l'ouvrage existant,
- s'il s'agit d'un ouvrage hydraulique, il est nécessaire de créer un radier général ce qui impose une mise à sec.

#### d) Recommandations (domaine d'emploi et dispositions constructives)

- le projet d'ouvrage doit être global et intégrer le comportement du sol et de la structure,
- éviter les tassements différentiels.

#### • Domaine d'emploi

- culées de l'ouvrage existant avec murs en retour,
- petites portées.

### 3.3.7 - Autre type d'élargissement accolé

Figure 119 - pont de Bercy



## 3.4 - LES AUTRES TYPES D'ÉLARGISSEMENT

L'imagination des projeteurs a eu libre cours dans ce domaine, et de nombreux types d'élargissement existent et donnent plus ou moins satisfaction.

### 3.4.1 - Élargissement par prolongation des voûtes

L'élargissement se fait par démontage du tympan et construction d'une nouvelle voûte solidaire de l'ancienne, de forme identique. Les appuis et les fondations sont prolongés de la même façon. Le tympan d'origine est alors remonté dans sa nouvelle position.

Cette technique est limitée aux ponceaux de moins de 3 mètres d'ouverture.



Figure 120 - pont d'Estavar

### 3.4.2 - Élargissements divers

Parmi les élargissements divers, nous développons ci-après le cas des ouvrages en maçonnerie élargis (ou pas d'ailleurs) par un « pontage » qui supprime tout report de charge sur le pont en maçonnerie pour le reporter de part et d'autre sur des fondations indépendantes. Ce type de modification radicale de l'ouvrage; souvent réalisé à l'aide d'une dalle en béton armé ou en béton précontraint encastrée sur des chevêtres - eux-mêmes encastrés sur des puits en béton armé - permet d'envisager le passage de

charges extrêmement lourdes, quelque soit l'état du pont en maçonnerie, situé en dessous. Cette technique a été employée pour permettre le passage de convois exceptionnels super-lourds destinés à la construction de centrales nucléaires, notamment celle de Golfech en 1982 (itinéraire traversant le Gers) et également la centrale de Civaux en 1993.

La fiche n° 16 de l'annexe 4, qui concerne le pont de Lhommaizé sur la Dive (R.N. 147), illustre cette technique.

Au final l'ouvrage conserve son aspect de pont en maçonnerie, et si l'aménagement est soigné sur le plan esthétique, le promeneur ne pourra pas soupçonner qu'il s'agit d'un ouvrage qui « fonctionne » de manière tout à fait différente. Dans le cas, du pont de Lhommaizé, un faux radier général avec parafouilles amont et aval protège l'ensemble des affouillements en cas de crue importante de la rivière.

### 3.5 - LE TRAITEMENT DES ABOUTS

#### 3.5.1 - Le drainage au droit des zones d'about

##### a) Cas de l'élargissement par dalle générale

Il convient de prévoir une retombée de dalle aux abouts sur l'ensemble de la largeur :

- pour augmenter la résistance en flexion transversale, plus importante près des abouts,
- pour contenir le talus d'élargissement de la plate-forme routière.

En about de dalle un massif drainant assurera l'évacuation des eaux d'infiltration et empêchera ainsi qu'elles n'affectent les remblais.

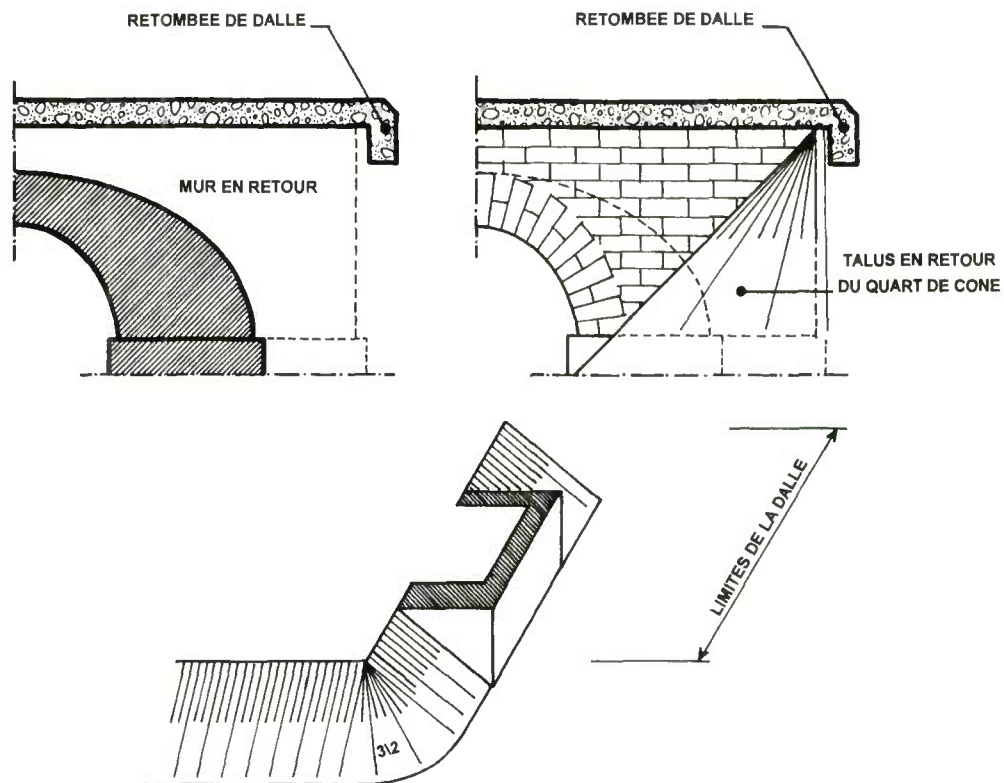
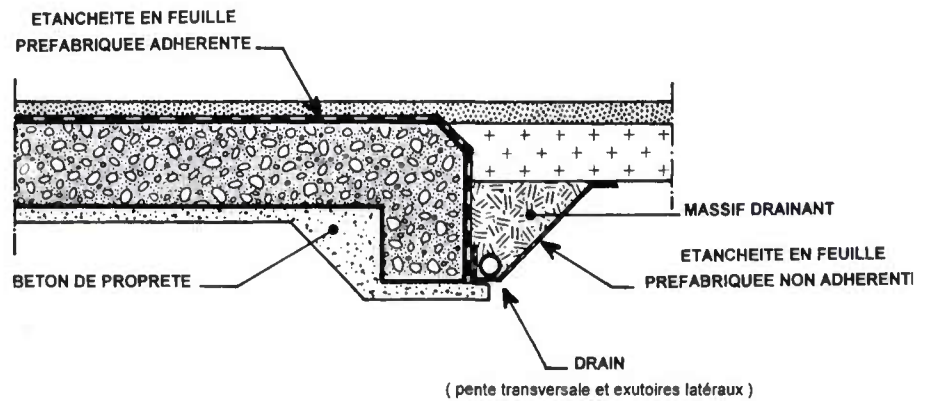


Figure 121 - drainage aux abouts, dalle générale



Figure 122 - drainage aux abords, dalle générale, détail



### b) Cas de l'élargissement par encorbellement avec contrepoids

Comme pour l'élargissement par dalle générale, il convient de prévoir une retombée en extrémité d'encorbellement pour contenir le talus d'élargissement de la plate-forme routière.

En about de dalle, le dispositif de drainage sera évacué latéralement.

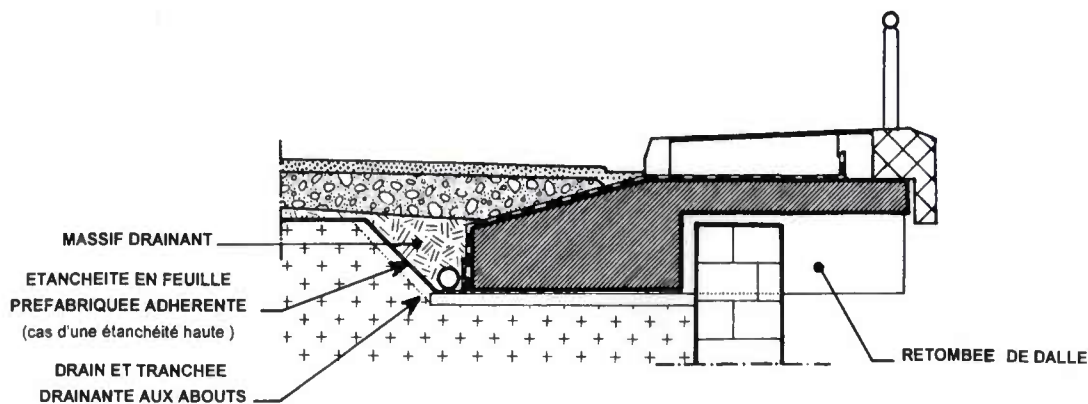


Figure 123 - drainage aux abords, contrepoids, détail

### c) Cas de l'élargissement par poutres latérales

Deux solutions sont envisageables :

- La poutre transversale d'about supportant l'élargissement est située à l'extrémité des bipoutres :
  - ⇨ une retombée d'about du tablier est possible mais elle posera problème en cas de vérinage pour changer les appareils d'appui. En outre, pour que cette retombée soit efficace et peu visible, la poutre transversale d'about devra être placée près de l'extrémité du mur en retour.
- La poutre transversale d'about supportant l'élargissement n'est pas située à l'extrémité des bipoutres :
  - ⇨ une retombée d'about est possible. Elle posera également problème en cas de vérinage pour changer les appareils d'appui.
  - ⇨ une variante peut consister à réaliser un muret garde-grève indépendant. Ici aussi, le muret d'about posera problème en cas de vérinage pour changer les appareils d'appui.

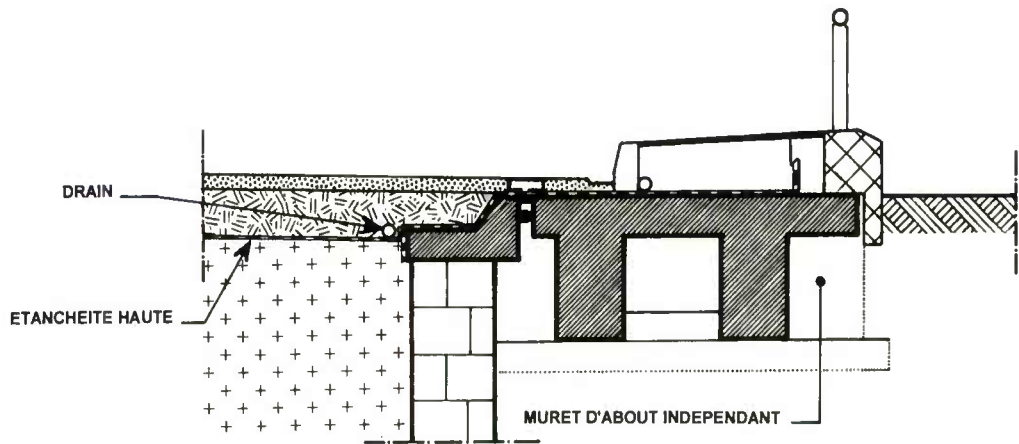


Figure 124 - drainage aux abouts, poutres latérales, détail

### 3.5.2 - Les extrémités de trottoir

On veillera à ce que les extrémités de trottoir soient traitées « en doucine » afin d'éviter un dangereux effet de tremlin.

Des descentes d'eau le long des talus seront aménagées afin d'éviter que les eaux n'aillent sur l'ouvrage, avec les risques de pénétration dans les remblais au-dessus de la voûte.

## CHAPITRE IV

# Les travaux

### 4.1 - LES TRAVAUX DE REPARATION CONNEXES

S'assurer en amont des stabilités respectives des fondations, des appuis et de la structure d'un ouvrage en maçonnerie est la condition nécessaire à la faisabilité d'un élargissement.

Si une ou plusieurs de ces stabilités sont douteuses, il faut les étudier en amont et réaliser les travaux de réparation, voire de renforcement nécessaires à la remise en état de service des parties de l'ouvrage affectées par ces désordres.

Pour résoudre ces problèmes, se reporter aux documents qui traitent des techniques de réparation et de renforcement des ponts en maçonnerie (notamment [11], [17], [31], [33]).

Dans ce chapitre ne sont traités que les travaux d'entretien et de réparation qui peuvent être normalement associés à un élargissement. Il est logique de compléter les travaux d'élargissement par des travaux de revalorisation des maçonneries de l'ouvrage si cela est nécessaire.

Toute végétation doit être enlevée sur l'ouvrage et à ses abords (talus, perrés, quarts de cônes, murs en ailes, murs en retour, ...).

Les maçonneries pourront être reconstituées localement :

- par réfection ou remplacement de moellons,
- par réfection des joints par rejointoiement manuel ou mécanique.

Enfin dans des cas extrêmes, on pourra être amené à protéger tout ou partie des maçonneries altérées par un enduit ou un béton projeté. Une étude technique et architecturale est nécessaire.

### 4.2 - LES PHASAGES TRANSVERSAUX DE CIRCULATION

#### 4.2.1 - Les objectifs d'un phasage transversal

Techniquement il est préférable de réaliser les travaux d'élargissement hors circulation, soit par mise en place d'une déviation, soit par mise en oeuvre d'un franchissement provisoire (pont type Bailey, buse béton pour les cours d'eau à faible débit, etc.).

Mais il est souvent nécessaire de maintenir, au moins partiellement, le franchissement assuré par l'ouvrage pendant les travaux.

Il s'agit de permettre le passage de la totalité des véhicules (hors convois exceptionnels évidemment), ou bien seulement des véhicules légers.

Le maintien d'un passage pour les piétons peut également s'avérer indispensable, notamment en zone urbaine.

Un phasage transversal des opérations est alors nécessaire.

Si l'objectif d'un phasage transversal est le maintien d'un niveau de service minimum, il est en général illusoire d'espérer éviter toute coupure de circulation. En effet, certaines opérations (la prise du béton par exemple) ne sont pas compatibles avec la circulation de véhicules sur l'ouvrage.

En conséquence, sauf dans les cas d'élargissement par une structure indépendante juxtaposée à l'ouvrage existant, il est inévitable de couper la circulation pendant certaines phases que l'on peut cependant réduire à quelques heures, notamment en ayant recours à la préfabrication.

Le phasage transversal doit aussi tenir compte des réseaux dont l'incidence doit être examinée très en amont.

#### **4.2.2 - Les domaines d'emploi**

La nécessité de maintenir un niveau de service minimal pendant les travaux est une contrainte forte du projet qui conditionne le choix de la technique d'élargissement. En effet certaines techniques ne sont pas compatibles avec un phasage transversal.

Cependant on ne perdra jamais de vue qu'il faut comparer les avantages des solutions moins adaptées à un phasage transversal avec une gêne passagère de quelques heures ou de quelques jours. Cet inconvénient sera vite oublié alors que la réalisation est appelée à durer plusieurs décennies.

Le choix d'une réalisation par phasage transversal est un élément clé du projet qui doit être explicité en détail dans les pièces techniques, tant pour la partie courante que pour les abouts.

Pour chaque typologie d'élargissement le chapitre 3 précise si elle est compatible avec un phasage transversal.

- Techniques d'élargissement difficilement compatibles avec un phasage transversal :
  - ⇨ Structures s'appuyant sur les appuis existants (réseau de poutres ou dalle) : de façon générale, si un décaissement général ou très important est prévu soit dans le cadre de l'élargissement, soit en complément de celui-ci, le maintien de la circulation pendant le décaissement est à exclure. Un phasage transversal ne peut donc pas éviter une longue coupure de circulation, il ne peut permettre que de réduire celle-ci.
  - ⇨ Structures s'appuyant sur la voûte existante de type réseau de poutres transversales : l'exécution nécessite l'interruption du trafic durant les phases de creusement des tranchées. Ensuite un phasage transversal est envisageable pour la réalisation des encorbellements.
- Techniques d'élargissement compatibles avec un phasage transversal :
  - ⇨ Ouvrages juxtaposés à l'ouvrage existant : par leur principe même, ces solutions se prêtent particulièrement bien à un phasage transversal. En général, la totalité des voies de circulation peut même être maintenue pendant les travaux. Toutefois dans le cas déconseillé où il y aurait solidarisation entre les structures ancienne et nouvelle, la circulation doit être interrompue pendant la prise du béton assurant le clavage. La question de l'interface pour ce type d'élargissement est traitée au chapitre 3.
- Structures s'appuyant sur la voûte existante, de type :
  - ⇨ dalle générale,
  - ⇨ encorbellement avec contrepoids.

Pour ces deux techniques un phasage transversal est possible mais en général une seule voie reste utilisable pendant la plus grande partie des travaux, ce qui conduit à mettre en œuvre un alternat de circulation.

### 4.2.3 - Les contraintes d'un phasage transversal

#### a) Conditions de circulation

Pour les ouvrages de largeur courante et pour la plupart des techniques d'élargissement, le phasage transversal impose de réduire sensiblement les largeurs des voies de circulation pendant certaines phases.

Les largeurs de chaussée disponibles conduisent alors le plus souvent à la mise en oeuvre d'un alternat de circulation.

Bien évidemment une limitation de vitesse est instaurée sur le chantier pendant les travaux.

Cette limitation de vitesse doit être adaptée en fonction des dispositifs de retenue provisoires utilisés et des particularités du chantier.

#### b) Largeurs minimales des voies de circulation

Le tableau ci-dessous propose différentes largeurs minimales des voies selon les conditions de circulation.

<i>Largeurs minimales</i>	<i>Avec alternat</i>	<i>Sans alternat</i>
Véhicules légers uniquement	2,50 <sup>(1)</sup>	2,80 <sup>(2)</sup>
Véhicules légers et poids lourds	3,00 <sup>(1)</sup>	3,20 <sup>(2)</sup>

(1) valeurs tirées du document [25], pages 15, 22 et 30

(2) valeurs tirées du document [26], page 55

Ces valeurs sont à moduler en fonction des particularités du projet (durées des différentes phases de travaux, longueur de l'ouvrage, trafic, limitation de vitesse, courbure, effet de paroi, etc.).

L'attention est attirée sur les risques d'une circulation lourde trop proche des murs tympan, qui peut entraîner un basculement de ceux-ci ou le décollement du bandeau.

#### c) Les dispositifs limitant les gabarits des véhicules



Figure 125 - exemple de signalisation (non réglementaire)



Figure 126 - exemple de gabarit rigide (en largeur)

Dans le cas où la circulation est interdite aux poids lourds, des gabarits de circulation rigides et très résistants doivent être mis en place aux extrémités pour empêcher effectivement leur accès à l'ouvrage, les plus efficaces étant les gabarits en largeur.

Une signalisation très conséquente et dissuasive doit être prévue en amont (gabarit d'alerte activant des feux routiers, etc.).

#### **d) Les dispositifs de séparation provisoires**

Il est rappelé que le D.C.E. doit détailler le plan de signalisation et de protection du chantier établi en collaboration avec le responsable de la sécurité.

Le choix du type de séparateur provisoire dépend également des particularités du projet, notamment des durées des différentes phases et de la longueur de l'ouvrage.

Pour séparer la partie circulée de la partie en travaux, il est recommandé de mettre en place des séparateurs modulaires de voies de façon à assurer une séparation continue.

Ces séparateurs peuvent être :

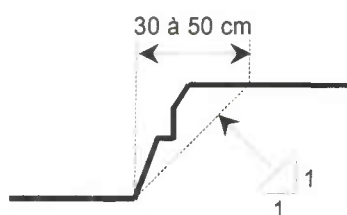
- des séparateurs transposables en béton qui, outre la fonction balisage, assurent une fonction de retenue des véhicules améliorant ainsi la protection des ouvriers. Ils présentent toutefois l'inconvénient d'être lourds et nécessitent des moyens spécifiques pour leur mise en place. Ces séparateurs peuvent éventuellement être rehaussés de parois cache.
- des séparateurs modulaires de type K16 (cf. [26]) constitués d'éléments en polyéthylène ou autre matière plastique et liés entre eux. Ils présentent l'avantage d'être facilement déplaçables, mais n'assurent pas la fonction retenue des véhicules. Dans le cas où ils sont lestés d'eau, il convient de les vidanger en dehors de l'ouvrage.

Exceptionnellement, dans le cas où l'on a une bonne maîtrise de la circulation et que la sécurité des usagers et des ouvriers est acceptable (faible longueur, courte durée, alternat avec feux tricolores, forte limitation de vitesse, bon éclairage, surveillance continue, ...) des dispositifs plus légers peuvent être utilisés, comme par exemple des cônes de type K5a ou balises de type K5c (cf. [27], page 47).

#### **e) Les décaissements sous circulation**

Les décaissements doivent rester de faible importance. Une distance minimale correspondant à une pente à 1/1 environ doit être raisonnablement maintenue entre le fond du décaissement et le dispositif de sécurité provisoire.

Dans les cas courants cela conduit à neutraliser une largeur d'une cinquantaine de centimètres



**Figure 127 - largeur neutralisée**

Dans le cas de décaissement plus important, le phasage transversal doit faire l'objet d'une étude particulière sur ce point pour s'assurer de la stabilité de la partie de matériau de remplissage conservé.

Si des engins lourds sont amenés à circuler sur des parties d'ouvrage préalablement décaissées, il pourra s'avérer nécessaire de réaliser une couche de béton légèrement armé pour répartir les charges et éviter les poinçonnements.

#### **f) Les interruptions de circulation pendant la prise du béton**

**Pendant la prise du béton la circulation doit être interrompue sur l'ouvrage (cf. [23]).**

La durée des coupures de circulation dépend également d'autres paramètres, type de béton, type de véhicules, partie d'ouvrage en cours de prise, etc. Il n'est donc pas possible de donner des valeurs de durées de coupure valables pour tous les cas de figure. **Une coupure de 24 heures après chaque bétonnage est un ordre de grandeur souhaitable à prescrire au marché.**

Si nécessaire, cette valeur peut être affinée :

- s'il s'agit de la prise du béton d'une partie qui n'est pas mécaniquement reliée à la partie circulée, on peut se contenter d'interdire la circulation aux poids lourds pendant une douzaine d'heures ; c'est par exemple le cas du bétonnage de la première moitié d'une dalle générale lorsque la circulation se fait sur la moitié de l'ancienne chaussée ;
- s'il s'agit de la prise du béton d'une partie qui est mécaniquement reliée à la partie circulée, la circulation des véhicules légers peut être rétablie quelques heures avant celle des poids lourds ; c'est par exemple le cas du bétonnage de la seconde moitié d'une dalle générale lorsque la circulation se fait sur la première moitié de dalle déjà durcie ;
- si le béton utilisé est à prise très rapide (par exemple à base de ciment alumineux fondu) les durées peuvent être réduites, mais, en contrepartie, avec un retrait augmenté.

Des épreuves d'études peuvent être réalisées pour déterminer la durée de prise des bétons.

### **4.3 - LA PREFABRICATION**

#### **4.3.1 - Les objectifs de la préfabrication**

La situation géographique de certains ouvrages (éloignement d'une centrale, site difficile d'accès, etc.) impose de recourir à la préfabrication.

La préfabrication peut également être envisagée pour réduire sensiblement les délais de réalisation (elle simplifie en particulier le problème du coffrage des parties en encorbellement), mais aussi pour limiter le nombre des interruptions de circulation pendant la prise du béton. Dans ce cas, la circulation ne doit plus être interrompue que lors du coulage des bétons des clavages.

**Il est cependant recommandé de toujours étudier les deux solutions, béton coulé en place et préfabrication, pour s'assurer que le gain de temps est réel.**

La préfabrication conduit en principe à une réalisation plus rigoureuse et plus soignée. Des contrôles doivent être effectués en usine (cf. § 4.4).

La fissuration de la dalle doit être maîtrisée. Il convient pour cela de chercher à réduire au maximum :

- l'intensité de la fissuration par un choix judicieux de la formulation des bétons et par une mise en œuvre correcte (cure, etc.),
- l'ouverture des fissures par la mise en place d'un ferrailage suffisant.

### 4.3.2 - Les bétons

Ce paragraphe concerne les bétons pour des élargissements par dalle générale ou par encorbellements avec contrepoids rendus continus.

#### a) Le béton des éléments préfabriqués

##### • Les données du problème

Après pose des éléments, le retrait résiduel de ces éléments doit être le plus faible possible car le raccourcissement du béton est plus ou moins gêné selon les techniques d'élargissement.

##### • Les recommandations

Il est donc intéressant d'utiliser un béton dont le retrait à long terme est faible. Au contraire, les retraits au jeune âge (retrait thermique et retrait endogène) peuvent être importants sans que cela ait de conséquence. On peut par exemple appliquer les recommandations relatives à la formulation du béton des dalles préfabriquées préconisées page 48 dans le document « Ponts Mixtes - Recommandations pour maîtriser la fissuration des dalles » [28].

#### b) Le béton des parties coulées en place

##### • Les données du problème

Deux aspects sont à prendre en compte :

- Le raccourcissement du béton gêné. Pour les parties coulées en place c'est le retrait total (retrait thermique + retrait endogène + retrait de dessiccation) qui doit être minimal pour limiter l'intensité de la fissuration dans les joints de clavage.
- La montée en résistance doit être rapide si l'on souhaite minimiser les interruptions de circulation.

Ces deux aspects sont en fait antagonistes, un béton montant rapidement en résistance ayant un retrait thermique important dû à la chaleur d'hydratation. En particulier, le béton à base de ciment alumineux fondu (cf. [29]) est à utiliser avec précaution. En effet, s'il durcit très rapidement il a en contrepartie une chaleur d'hydratation élevée.

##### • Les recommandations

Les recommandations relatives à la formulation du béton de clavage des dalles préfabriquées préconisées page 49 dans le document [28] sont applicables.

Ces recommandations sont rappelées ci-dessous :

« Béton de clavage : pour ce matériau c'est le retrait total qu'il faut réduire le plus possible. Sur la base d'expérimentations faites pour le compte d'une entreprise, on préconisera les dispositions suivantes :

- utiliser un ciment CPA prise mer (à faible teneur en aluminates) à un dosage maximum de  $350 \text{ kg/m}^3$ ,
- compléter la granulométrie du béton en utilisant un filler calcaire fin (taille moyenne  $< 5/10 \mu\text{m}$ ),



- optimiser le squelette du béton en milieu confiné (pour tenir compte des faibles dimensions des joints de clavage); pour ce faire, on utilisera par exemple le logiciel RENÉ-LCPC diffusé dans le réseau technique de l'Équipement. Ceci se traduit par des teneurs en petits gravillons et en sable plus importantes que dans du béton standard,
- vérifier que la viscosité du béton ne dépasse pas 200 Pa.s (viscosité mesurée avec le rhéomètre LCPC).

La teneur en eau efficace de ce béton ne devrait pas dépasser 140/150 l/m<sup>3</sup>. L'eau efficace est l'eau totale (y compris eau de l'adjuvant) moins l'eau adsorbée par les granulats. »

## 4.4 - LES CONTROLES - L'ASSURANCE DE LA QUALITE

L'assurance de la qualité concerne principalement deux points : les bétons et l'étanchéité.

### 4.4.1 - Les bétons

Les élargissements des ouvrages en maçonnerie sont essentiellement réalisés en béton, le plus souvent en béton armé. Le béton peut être soit coulé en place, soit réalisé en usine dans le cas d'éléments préfabriqués.

Le processus de l'assurance de la qualité est identique à celui de la construction des ouvrages d'art neufs en béton.

Nous retrouverons donc les notions de contrôle intérieur (interne et externe) et de contrôle extérieur. Le contrôle intérieur est du ressort de l'entreprise et sera concrétisé par un ou des plans d'assurance de la qualité (P.A.Q.) qui devront comprendre les procédures d'exécution afférentes aux différentes phases du chantier liées à des points critiques ou des points d'arrêts.

Simultanément, le maître d'œuvre appliquera son contrôle extérieur pour :

- la validation, le suivi et la vie des P.A.Q.,
- la validation de l'épreuve d'étude des bétons,
- les épreuves de convenance des bétons pour la fabrication et la mise en œuvre,
- les épreuves de contrôle des bétons pour s'assurer de leur conformité aux exigences du C.C.T.P.

La fabrication des bétons est généralement assurée par des centrales à béton prêt à l'emploi. Ces centrales doivent être soit titulaires de la marque NF, soit inscrites sur la liste d'aptitude. S'il s'agit de la centrale d'une usine de préfabrication ne répondant pas à l'une des conditions ci-dessus, un audit de la centrale par un technicien qualifié est obligatoire.

### 4.4.2 - L'étanchéité

Le type d'étanchéité appliqué est fonction du support rencontré (cf. [3]). Dans tous les cas, une attention particulière sera portée à la réalisation des relevés d'étanchéité (engravures, solins métalliques ou rainures).

Avant mise en œuvre de l'étanchéité, le support devra faire l'objet d'une préparation soignée visant notamment à éliminer les produits de cure.

Comme pour les bétons, l'assurance de la qualité sera assurée par le contrôle intérieur (P.A.Q.) et le contrôle extérieur.

Le contrôle extérieur du maître d'œuvre portera notamment sur :

- la validation, le suivi et la vie du P.A.Q.,
- la vérification de la qualité des produits utilisés,
- la réception contradictoire du support,
- la vérification de l'adhérence au support pour les chapes adhérentes,
- la vérification de l'étanchéité du complexe pour les moyens à haute cadence.

## Références

### 1 - LA BIBLIOGRAPHIE

- [1] Les ponts en maçonnerie - Constitution et stabilité - J. M. Delbecq - SETRA - Juin 1982.  
 1) Historique et constitution  
 2) Évaluation de la stabilité  
 3) Guide pour l'utilisation du programme Voûte
- [2] Grandes Voûtes - Paul Séjourné (6 tomes) - Bourges (1913).
- [3] Ponts route en maçonnerie - Protection contre l'action des eaux - Étanchéité, assainissement, drainage. M. Fragnet - Guide technique SETRA - Mai 1992.
- [4] Étanchement des ponts en maçonnerie - M. Peignaud - LCPC - Note d'information technique - 1985.
- [5] Fondations de ponts en site aquatique en état précaire - LCPC / SETRA - Décembre 1980.
- [6] Fondations en site aquatique - instruction technique de 1979 - fascicule 10 - LCPC / SETRA. Mars 1981.
- [7] Ponts et viaducs en maçonnerie - instruction technique de 1979 - fascicule 30 - LCPC / SETRA. Juin 1981.
- [8] Technologie des maçonneries - Lootvoet - LCPC - Septembre 1981.
- [9] Élargissements d'ouvrages - ODE 77 - Sous dossier 6 (31 fiches) - SETRA - Novembre 1981.
- [10] Défauts apparents des ouvrages d'art en maçonnerie - LCPC / SETRA - 1982.
- [11] Les pierres - Altérations - Traitements - Rapport des laboratoires Série Ouvrages d'art OA -1. Lootvoet - LCPC - Février 1986.
- [12] Voûte - Logiciel de calcul des voûtes en maçonnerie - SETRA - Version 1.0 - Septembre 1993.
- [13] Répertoire des ponts routiers antérieurs à 1750 (2 tomes) - J. Mesqui - SETRA.
- [14] Restauration des ouvrages d'art et des structures - sous la direction de J. M. Delbecq et G. Sacchi. Presses de l'ENPC - Juin 1983.
- [15] I.Q.O.A. - Catalogue des désordres et procès verbal de visite - 1996 - pont en maçonnerie, pont en maçonnerie avec élargissement, pile en maçonnerie, culée en maçonnerie.
- [16] Ph. Croizette-Desnoyers - Cours de construction des ponts - 1885 - Dunod.
- [17] Calcul, désordres, réparation et modernisation des ponts en maçonnerie  
 J. M. Delbecq, J. L. Michatey, P. T. Simonet - Décembre 1981 - Revue Travaux.
- [18] Cours de ponts en maçonnerie. M. Lang (1946 - 1947).
- [19] Cours de ponts en maçonnerie de l'ENPC. M. Seméac (1951 - 1952).
- [20] Cours de ponts en maçonnerie - J. Bourcy - E.N.S.M. - 1954.
- [21] Technologie de la pierre de taille - P. Noël - 1968 - Société de diffusion des techniques du bâtiment et des travaux publics.
- [22] Techniques de l'architecture ancienne - Y. M. Froidevaux - 1985 - Pierre Mardaga éditeur.

### 2 - LES AUTRES TEXTES

- [23] Effets de vibrations dues à des tirs de mines sur des bétons au jeune âge  
 Thèse soutenue par Anne Denoyelle à l'École Supérieure des Mines de Paris le 28 juin 1996.
- [24] Le viaduc de Belle-Feuille à Joinville (R.N. 67) en Haute-Marne - Novembre 1993 - Revue Travaux.
- [25] Signalisation temporaire - Les alternats - Guide technique du SETRA - 2000.

- [26] Signalisation temporaire - Manuel du chef de chantier - Routes à chaussées séparées  
Guide technique du SETRA - 1994.
- [27] Signalisation temporaire - Manuel du chef de chantier - Routes bidirectionnelles  
Guide technique du SETRA - 1994.
- [28] Ponts Mixtes - Recammandations pour maîtriser la fissuration des dalles - SETRA, septembre 1995.
- [29] Norme P15-316 - Emploi du ciment alumineux fondu en éléments de structure, avril 1991.
- [30] Guide de conception des P.R.A.D. - Guide technique du SETRA, septembre 1996.
- [31] Le pant de Jarnac - Connaissance des Ouvrages d'art.
- [32] Le pant de Jarnac - Bulletin CETE 80.
- [33] Le pont de Pierre à Bordeaux - Revue générale des routes et aérodromes - numéro spécial juin 1997.
- [34] Instruction interministérielle sur la signalisation routière - Livre 1 - 8<sup>me</sup> partie
- [35] Revue « Ouvrages d'art » n° 33, décembre 1999, SETRA.
- [36] Revue Travaux (septembre 2000) : le pant des Eyzies sur la Vézère.

### **3 - LES NORMES RELATIVES À LA MAÇONNERIE**

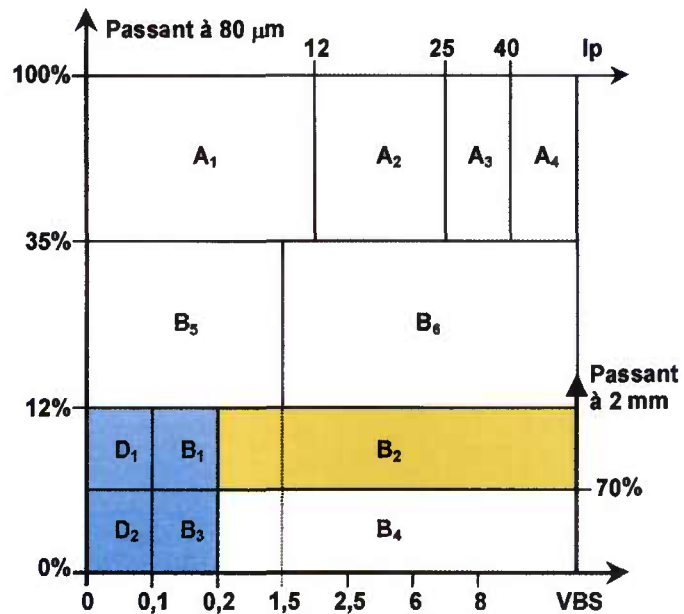
NF B 10.001	Avril 1975	Matériaux - Pierres Calcaires
NF B 10.101	Juillet 1978	Pierres calcaires - Vocabulaire
NF B 10.301	Avril 1975	Pierres calcaires - Identification
NF B 10.401	Mars 1981	Pierres calcaires - Caractéristiques géométriques
NF B 10.502	Mai 1980	Pierres calcaires - Mesure de l'absorption d'eau par capillarité
NF B 10.503	Avril 1973	Pierres calcaires - Mesure de la porosité de la masse volumique réelle et de la masse volumique apparente
NF B 10.504	Août 1973	Pierres calcaires - Mesure du coefficient d'absorption d'eau
NF B 10.506	Août 1973	Pierres calcaires - Mesure de la dureté superficielle (largeur de la rayure)
NF B 10.507	Août 1973	Pierres calcaires - Mesure de la dureté Vickers
NF B 10.508	Août 1973	Pierres calcaires - Essai d'usure au disque métallique
NF B 10.509	Août 1973	Pierres calcaires - Essai de compression
NF B 10.510	Août 1973	Pierres calcaires - Essai de flexion
NF B 10.511	Avril 1975	Pierres calcaires - Mesure du module d'élasticité
NF B 10.512	Avril 1975	Pierres calcaires - Mesure de la teneur en eau critique
NF B 10.513	Avril 1975	Pierres calcaires - Essai de gélivité
NF B 10.514	Juillet 1981	Pierres calcaires - Essai de résistance aux attaches
NF P 95.102	Juin 1992	Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie, béton projeté
NF P 95.107	Août 1994	Réparation et renforcement des maçonneries

## Caractéristiques des matériaux de remplissage

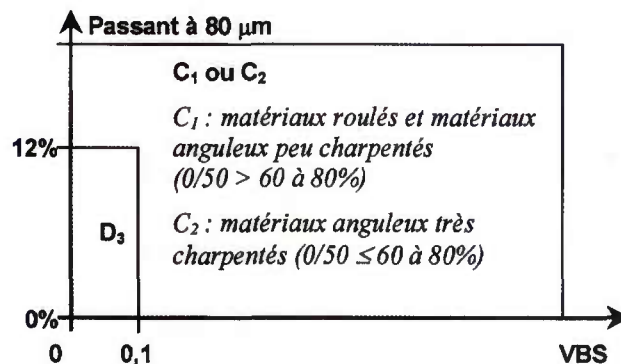
**TABLEAU SYNOPTIQUE DE CLASSIFICATION DES MATÉRIAUX SELON LEUR NATURE**  
(D'APRÈS LE GUIDE POUR LES TERRASSEMENTS ROUTIERS DE 1992)

■ Recommandé      ■ Admissible

*Sols*  
*D<sub>max</sub> ≤ 50 mm*



*Sols*  
*D<sub>max</sub> > 50 mm*



*Matériaux rocheux*

Roches sédimentaires	Roches carbonatées	Craies	R <sub>1</sub>
		Calcaires	R <sub>2</sub>
	Roches argileuses	Marnes, argilites, pélites...	R <sub>3</sub>
	Roches siliceuses	Grès, poudingues, brèches...	R <sub>4</sub>
	Roches salines	Sel gemme, gypse	R <sub>5</sub>
Roches magmatiques et métamorphiques	Granites, basaltes, andésites, gneiss, schistes métamorphiques et ardoisiers ...		R <sub>6</sub>

*Matériaux Particuliers*

	F
--	---

## DÉTERMINATION DE LA CATÉGORIE DES VOIES

VRS : Autoroutes et voies express

VRNS : Autres routes (ponceaux en maçonnerie se rencontrant le plus souvent).

On étudiera néanmoins les deux cas.

### CLASSE DE PLATE-FORME PFi (voir GTR 92)

La classe de plate-forme obtenue est le résultat de l'association de la PST + couche de forme. Les matériaux de PST peuvent être sélectionnés (faible quantité) insensibles à l'eau. Il n'est pas illusoire de viser les performances ci-après :

	<b>VRS</b>	<b>VRNS</b>
Classes de plate-forme	PF3	PF2
	PF4	PF3

### CLASSE DE TRAFIC TCi 20 ou 30

Il est fait référence au tableau 1 de la page 5 de la notice d'utilisation du catalogue des structures 98 reproduit ci-après :

<b>VRS</b>	TC1 <sub>30</sub>	TC2 <sub>30</sub>	TC3 <sub>30</sub>	TC4 <sub>30</sub>	TC5 <sub>30</sub>	TC6 <sub>30</sub>	TC7 <sub>30</sub>	TC8 <sub>30</sub>
	0,5	1	3	6	14	38	94	
<b>VRNS</b>	TC1 <sub>20</sub>	TC2 <sub>20</sub>	TC3 <sub>20</sub>	TC4 <sub>20</sub>	TC5 <sub>20</sub>	TC6 <sub>20</sub>	TC7 <sub>20</sub>	TC8 <sub>20</sub>
	0,2	0,5	1,5	2,5	6,5	17,5	43,5	

**Tableau 1- Bornes supérieures des classes de trafic cumulé pour les VRS et les VRNS (exprimées en millions de poids lourds)**

Les classes TCi relatives au trafic cumulé sur la durée de vie de la chaussée sont calculées à partir de la formule figurant au début de la page 6 de la notice d'utilisation du catalogue.

### STRUCTURE « TOUT BITUME » (fiches 2 : GB3/GB3)

VRS			VRNS		
Trafic	PF3	PF4	Trafic	PF2	PF3
TC8 <sub>30</sub>	35 + 8	32 + 8	TC6 <sub>20</sub>	26 + 8	21 + 8
TC7 <sub>30</sub>	31 + 8	28 + 8	TC5 <sub>20</sub>	21 + 8	16 + 8
TC6 <sub>30</sub>	26 + 8	23 + 8	TC4 <sub>20</sub>	19 + 8	14 + 6
TC5 <sub>30</sub>	21 + 8	18 + 8	TC3 <sub>20</sub>	16 + 6	11 + 6
TC4 <sub>30</sub>	18 + 6,5	16 + 6,5	TC2 <sub>20</sub>	12 + 6	8 + 6

### STRUCTURE « MIXTE » Sable ciment + GB + BB (fiches 17 : GB3/GB3)

VRS			VRNS		
Trafic	PF3	PF4	Trafic	PF2	PF3
TC8 <sub>30</sub>	24 + 16 + 8	22 + 14 + 8	TC6 <sub>20</sub>	22 + 14 + 8	19 + 11 + 8
TC7 <sub>30</sub>	22 + 14 + 8	21 + 13 + 8	TC5 <sub>20</sub>	20 + 12 + 8	-
TC6 <sub>30</sub>	21 + 13 + 8	19 + 11 + 8	TC4 <sub>20</sub>	-	-
TC5 <sub>30</sub>	18 + 10 + 8	-	TC3 <sub>20</sub>	-	-

## Exemple de calcul

### A - STABILITÉ DE LA VOÛTE APRÈS ÉLARGISSEMENT

#### **Généralités**

Cette évaluation est effectuée en considérant une partie active et résistante de voûte de largeur unité (souvent prise égale à 1 mètre), située dans un plan et soumise aux différentes actions permanentes et variables.

Le programme VOÛTE ne tient pas compte automatiquement des effets de la répartition transversale des charges. Ces effets sont pris en compte de façon simplifiée et par excès en diffusant les charges appliquées :

- dans le matériau de remplissage ;
- puis à la clef, dans la voûte (et éventuellement dans une partie des bandeaux) conformément aux règles de calcul proposées dans ce document en fonction des conditions d'appui de la dalle.

Le calcul effectué à l'aide du programme VOÛTE sera un calcul à l'état limite ultime de résistance (D.C. 79).

La voûte pourrait être considérée comme potentiellement stable si le coefficient de rupture est supérieur ou égal à 1, mais le sous dossier « Évaluation de la stabilité » du document « Les ponts en maçonnerie » [1] propose de porter ce coefficient à 3 pour tenir compte des incertitudes qui pèsent sur le calcul des ouvrages en maçonnerie.

Le calcul ci-après concerne uniquement la stabilité de la voûte après élargissement. Il conviendrait de plus d'effectuer un calcul de stabilité avant élargissement afin de pouvoir apprécier l'évolution du coefficient de sécurité.

#### **1 - Géométrie de l'ouvrage**

Aucun dossier concernant la géométrie de l'ouvrage n'a pu être retrouvé.

L'ouvrage est constitué de plusieurs voûtes en anse de panier de 18,70 m d'ouverture. Le tracé de l'intrados de la voûte a été reconstitué après relevés géométriques.

L'épaisseur de la voûte a pu être mesurée à la clé par sondages et est égale à 1,30 m. Pour les besoins de l'exemple, le tracé de l'extrados est défini de façon défavorable en supposant que la courbe d'extrados est constituée d'un cercle concentrique au cercle de grand rayon d'intrados jusqu'à l'appui.

Avant travaux, l'épaisseur du remplissage à la clé est égale à 0,80 m.

Le modèle de calcul est représenté ci-après.

#### **2 - Caractéristiques des matériaux**

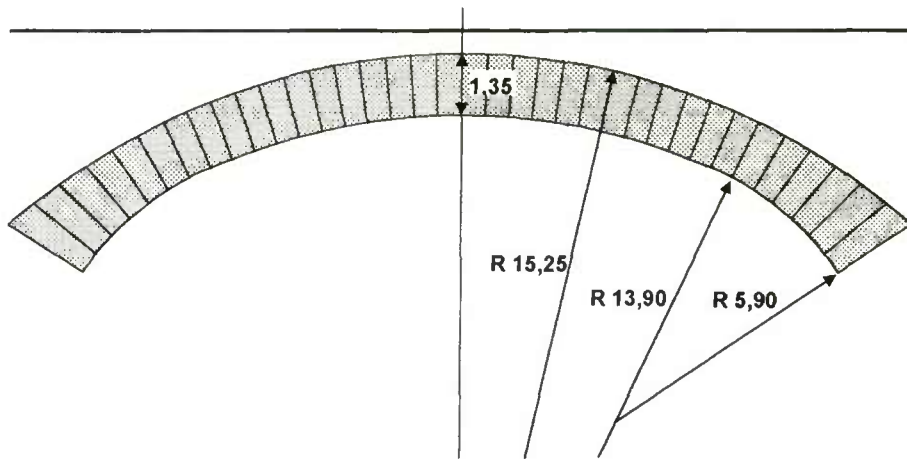
Poids volumique de la maçonnerie : 2,4 t/m<sup>3</sup>.

Poids volumique du remplissage : 2,0 t/m<sup>3</sup>.

**Résistance caractéristique de la maçonnerie.**

La résistance moyenne à la compression simple de la pierre, mesurée sur éprouvettes est égale à environ 40 MPa. Les joints de mortier étant dans un état de conservation moyen à médiocre, le tableau extrait des « Recommandations internationales pour les structures en maçonneries » et reproduit dans le sous dossier « Historique et constitution » du document « Les ponts en maçonnerie » [1], nous donne une résistance caractéristique à la compression simple de la maçonnerie égale à environ 8,6 MPa.

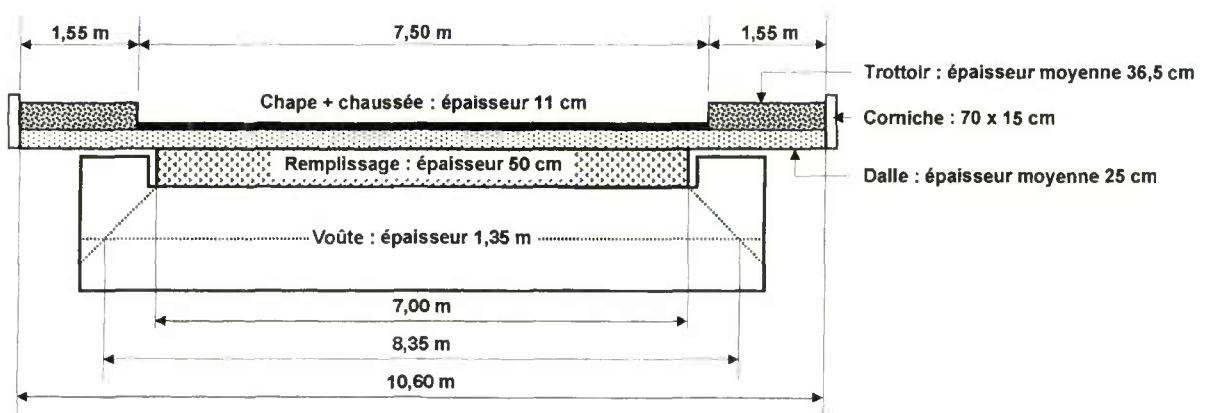
L'évaluation de la stabilité avec le programme VOÛTE sera effectué avec une résistance égale à 900 t/m<sup>2</sup>.



Données pour le programme VOÛTE

**3 - Élargissement**

**3.1 - Section à la clé après élargissement**



**3.2 - Répartition transversale**

Pour tenir compte de la répartition transversale des charges, on effectuera un calcul avec une poutre transversale de 1 mètre de largeur et d'épaisseur moyenne égale à 25 cm, reposant sur un complexe (remplissage + douelle) pouvant être modélisé de façon élastique.

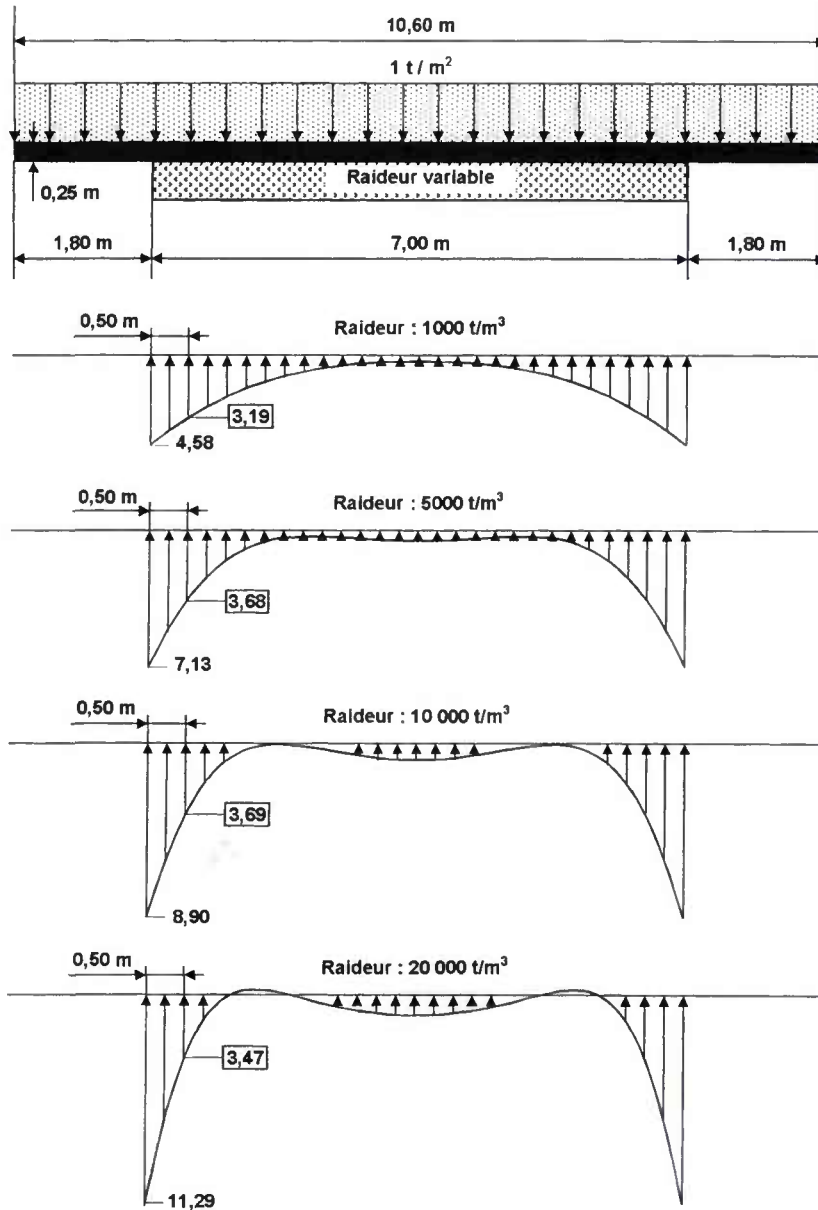
La raideur de ce complexe (remplissage + douelle) est difficile à appréhender.

Dans un premier temps, un calcul en fourchette a été effectué avec une valeur différée de la raideur  $k_v$  variable de 1000 t/m<sup>3</sup> à 20000 t/m<sup>3</sup> ( $k_v = 20000 \text{ t/m}^3 \Rightarrow$  charge répartie de 20 t/m<sup>2</sup> entraîne un déplacement vertical de 1 millimètre).



**Modèle de calcul :**

- Inertie de la poutre transversale :  $I = 0,0013 \text{ m}^4$ .
- Module d'élasticité différé du béton :  $E_v = 1,3.106 \text{ t/m}^2$



**Répartition des pressions en fonction de la raideur (programme ST1 du SETRA)**

	$k_v$	1000 t/m <sup>3</sup>	5000 t/m <sup>3</sup>	10000 t/m <sup>3</sup>	20000 t/m <sup>3</sup>
Pression à 0,50 m du bord du remplissage		3,19 t/m <sup>2</sup>	3,68 t/m <sup>2</sup>	3,69 t/m <sup>2</sup>	3,47 t/m <sup>2</sup>
Pression maximale sur l'extérieur de la voûte		4,58 t/m <sup>2</sup>	7,13 t/m <sup>2</sup>	8,90 t/m <sup>2</sup>	11,29 t/m <sup>2</sup>

Le tableau récapitulatif montre que le rapport entre raideur de la dalle et raideur du matériau sous la poutre n'influe que peu sur la pression régnant à environ 50 cm du bord du remplissage, qui peut être considérée comme représentative de la pression moyenne se diffusant jusqu'à la voûte.

Pour la suite, les justifications de répartition transversale seront effectuées avec  $k_v = 5000 \text{ t/m}^3$  pour les actions permanentes et  $k_i = 10000 \text{ t/m}^3$  pour les actions variables, la contrainte à 0,50 m du bord du remplissage étant considérée comme « contrainte de référence ».

### 3.3 - Largeur participante

L'élargissement étant effectué avec une dalle générale qui ne repose pas sur les tympans, conformément au paragraphe 3.1.1.2,e du présent document, on prendra une largeur résistante de voûte égale à 8,35 m (7 m de voûte + diffusion à 45° dans les bandeaux jusqu'au feuillet moyen de la voûte).

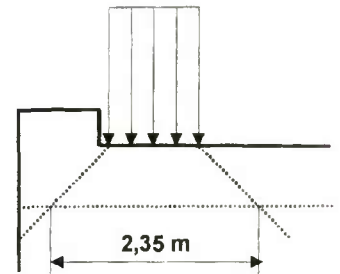
Concrètement, les calculs de répartition transversale sur les matériaux seront effectués avec une largeur de 7 mètres correspondant à la largeur de remplissage et les pressions ainsi obtenues seront pondérées par un coefficient (7/8,35) avant d'être introduites dans le programme VOÛTE.

Cette hypothèse est largement du côté de la sécurité. Ainsi, si l'on avait considéré au paragraphe 3.2 ci-dessus que l'ensemble de la charge se transmet à la voûte sur deux bandes de 1 m de largeur aux extrémités du remplissage, on aurait obtenu au niveau du feuillet moyen :

- $p = (10,60 / 2) \times (1,00 / 2,35) = 2,26 \text{ t/m}^2$ .

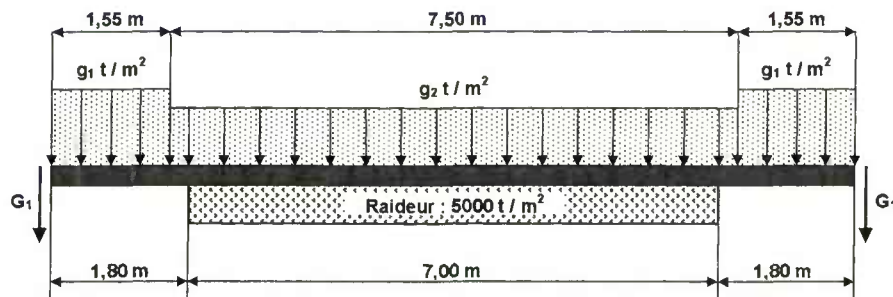
Au lieu de :

- $p = 3,68 \times (7,00 / 8,35) = 3,08 \text{ t/m}^2$ .



## 4 - Actions permanentes dues à l'élargissement

### 4.1 - Charges appliquées



- Trottoir + dalle :  $g_1 = 0,365 \times 2,4 + 0,25 \times 2,5 = 1,50 \text{ t/m}^2$ .
- Chaussée (\*) + dalle :  $g_2 = 1,4 \times 0,11 \times 2,4 + 0,25 \times 2,5 = 1,00 \text{ t/m}^2$ .
- Corniche + garde corps :  $G_1 = 0,040 + 0,15 \times 0,70 \times 2,5 = 0,30 \text{ t/m}$ .

### 4.2 - Répartition de la pression sur la voûte

Les calculs sont menés avec les modules différés du béton et du remplissage pour une tranche de dalle de 1 mètre, soit  $E_v = 1,3 \cdot 10^6 \text{ t/m}^2$  et  $K_v = 5000 \text{ t/m}^3 \times 1 \text{ m} = 5000 \text{ t/m}^2$ .



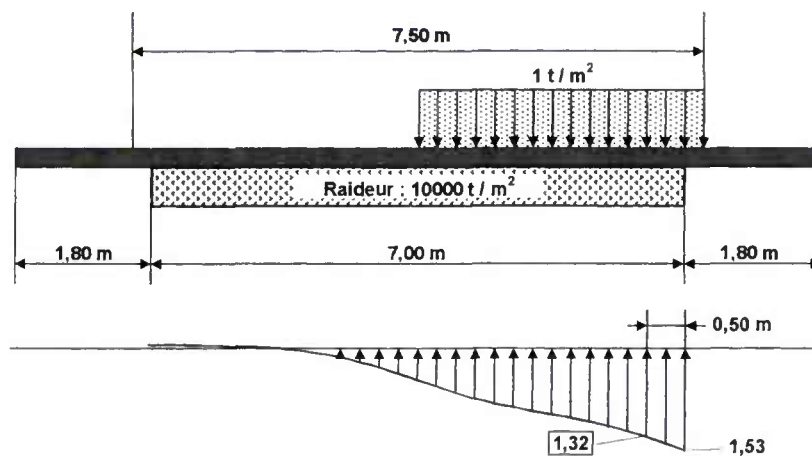
La « contrainte de référence » (cf. § 3.2) est égale à 5,45 t/m<sup>2</sup>.

(\*) Le coefficient 1,4 tient compte des incertitudes sur l'épaisseur des enrobés au cours de la vie de l'ouvrage.

## 5 - Charges d'exploitation A(L)

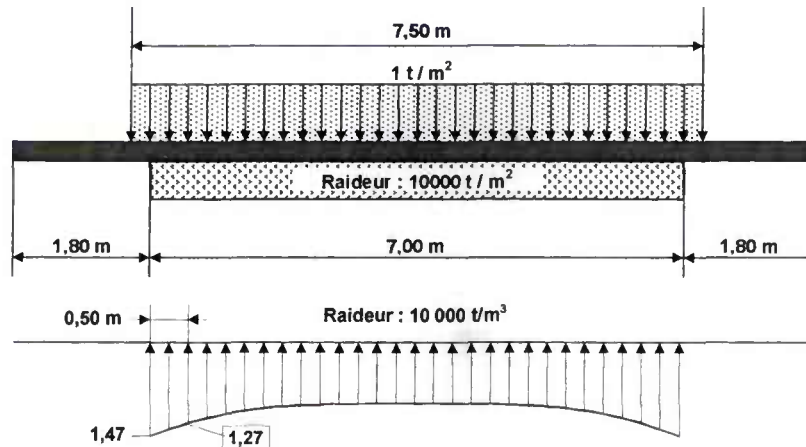
Nota : Pour toutes les charges d'exploitation, les calculs sont menés avec les modules instantanés du béton et du remplissage pour une tranche de dalle de 1 mètre, soit  $E_i = 3,9.10^6 \text{ t/m}^2$  et  $K_v = 10000 \text{ t/m}^3 \times 1 \text{ m} = 10000 \text{ t/m}^2$ .

### 5.1 - Répartition transversale pour 1 voie chargée



La « contrainte de référence » (cf. § 3.2) est égale à  $1,32 \text{ t/m}^2$ .

### 5.2 - Répartition transversale pour 2 voies chargées



La « contrainte de référence » (cf. § 3.2) est égale à  $1,27 \text{ t/m}^2$ .

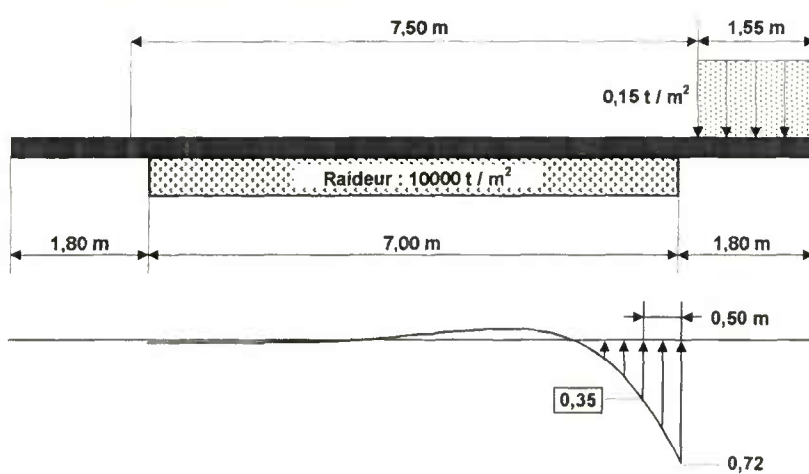
### 5.3 - Valeurs introduites dans le programme VOÛTE

- Coefficient de répartition transversale sur le remplissage : 1,32 (1 voie chargée).
- $a_1 = 1,00$  ;  $a_2 = 3,50/3,75 = 0,933$ .
- Voûte entièrement chargée longitudinalement :  $A(20) = 1,355 \text{ t/m}^2$ .
- Valeur résultant des calculs précédents :  $1,355 \times 1,32 \times 0,933 = 1,67 \text{ t/m}$
- 1/2 voûte chargée longitudinalement :  $A(10) = 1,866 \text{ t/m}^2$ .
- Valeur résultant des calculs précédents :  $1,866 \times 1,32 \times 0,933 = 2,30 \text{ t/m}$

Ces valeurs sont introduites dans le programme VOÛTE après pondération par le coefficient  $7,00/8,35$  (cf. § 3.3).

## 6 - Charges d'exploitation sur trottoirs

### Répartition transversale pour 1 trottoir chargé :



La « contrainte de référence » (cf. § 3.2) est égale à  $0,35 \text{ t/m}^2$ .

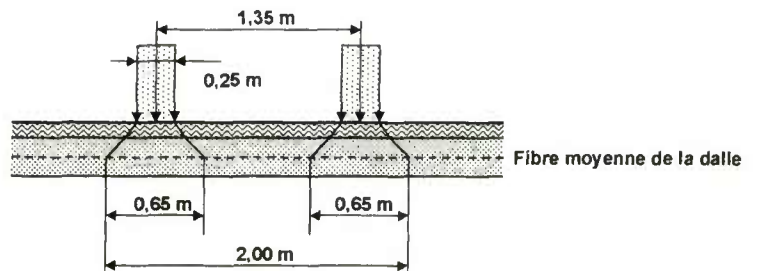
## 7 - Charges d'exploitation de type Bt

Impact d'une roue sur la fibre moyenne de la dalle :

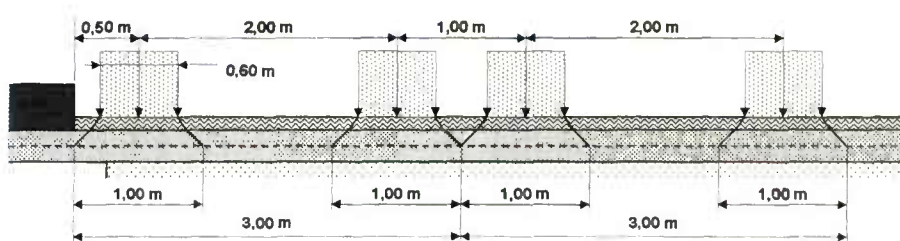
- Longitudinalement :  $0,25 + 2 \times (3/4 \times 0,11 + 0,25/2) = 0,665 \text{ m}$  arrondi à  $0,65 \text{ m}$ .
- Transversalement :  $0,60 + 2 \times (3/4 \times 0,11 + 0,25/2) = 1,015 \text{ m}$  arrondi à  $1,00 \text{ m}$ .

### 7.1 - Répartition longitudinale

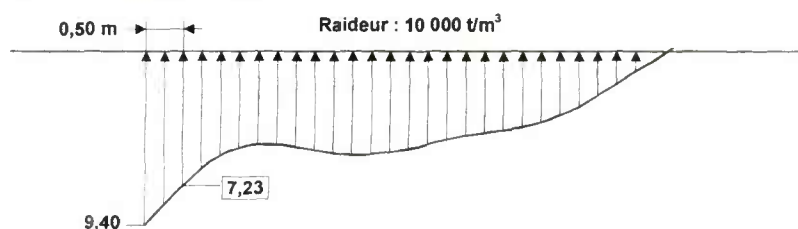
Sur une bande transversale de dalle de 1 mètre de largeur, on place 1 rangée d'essieux.



### 7.2 - Répartition transversale pour 2 voies chargées



Charge linéique répartie sur chaque impact :  $8 \text{ t} / 1 \text{ m} = 8 \text{ t/m}$ .



La « contrainte de référence » (cf. § 3.2) est égale à  $7,23 \text{ t/m}^2$ .

### 7.3 - Valeurs introduites dans le programme VOÛTE

Coefficient de majoration dynamique :  $d = 1,10$ . Pour un impact :  $p = 7,23 \times 1,10 = 7,96$  t/m.

Cette valeur est introduite dans le programme VOÛTE après pondération par le coefficient 7,00/8,35 (cf. § 3.3).

## 8 - RÉSULTATS

### 8.1 - Coefficient de rupture

EXEMPLE DE CALCUL D'UNE VOÛTE		- 1 - 24-09-97 - PAGE 251				
RAPPEL GENERAL DES RESULTATS						
CHARGE	TITRE	COEFFICIENT	REAC.HORI.DR.	REAC.VERT.DR.	REAC.HORI.GA.	REAC.VERT.GA.
1	A VIDE	.5819D+01	.180D+03	.166D+03		
2	A(L) SUR VOÛTE ENTIERE	.4723D+01	.220D+03	.198D+03		
3	A(L) SUR DEMI VOÛTE	.4790D+01	.209D+03	.202D+03	-.209D+03	.178D+03
4	BT CENTRE.4412D+01	.226D+03	.186D+03			
5	BT E=1M175	.4401D+01	.223D+03	.188D+03	-.223D+03	.183D+03
6	BT E=2M525	.4409D+01	.217D+03	.191D+03	-.217D+03	.180D+03
7	BT E=3M875	.4556D+01	.214D+03	.193D+03	-.214D+03	.178D+03

LE CAS DE CHARGE NUMERO 5 EST LE PLUS DEFAVORABLE  
SON COEFFICIENT DE RUPTURE VAUT : .4401D+01

Sous charges pondérées (par 1,35 pour les charges permanentes et par 1,6 pour les charges d'exploitation), le coefficient de sécurité à rupture minimal est atteint pour le tandem  $B_t$  placé près de la clé de la voûte. Pour ce cas de charge, le coefficient de rupture est égal à 4,4.

Compte tenu des critères énoncés en introduction à la présente partie A (coefficient supérieur à 3), la stabilité de la voûte peut être considérée comme assurée.

### 8.2 - Glissement

Les coefficients de glissement maximum (ou inclinaison de la résultante des efforts) sur l'ensemble des joints de la voûte sont égaux à 0,3 environ.

Le coefficient de glissement limite à ne pas dépasser habituellement est de l'ordre de 0,5 (angle de frottement égal à 27°). L'ensemble des joints de la voûte ne présente donc pas de risque de glissement.

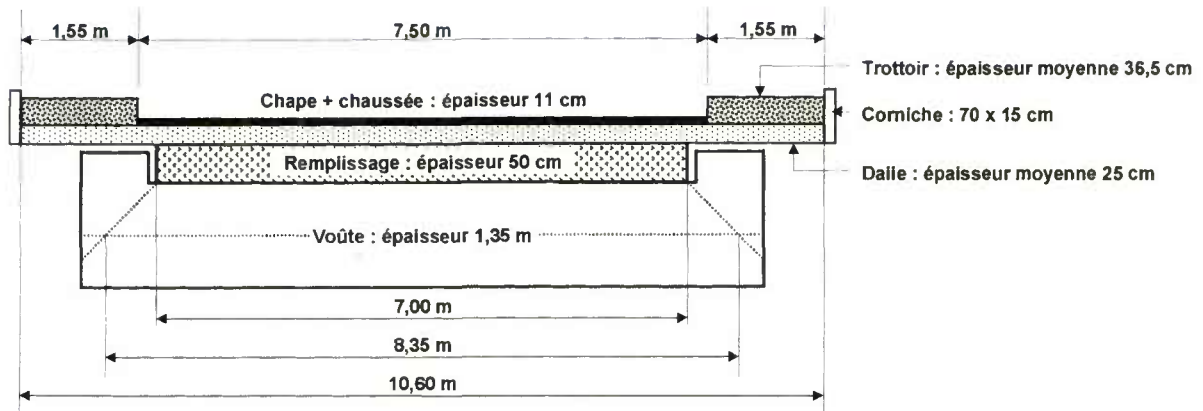
### 8.3 - Conclusions

Les calculs précédents montrent que la voûte est stable après élargissement.

Ces conclusions supposent que la voûte est en bon état, et que la résistance de la maçonnerie estimée et prise en compte dans les calculs correspond aux matériaux en place.

## B - CALCUL DU FERRAILLAGE LONGITUDINAL DE LA DALLE

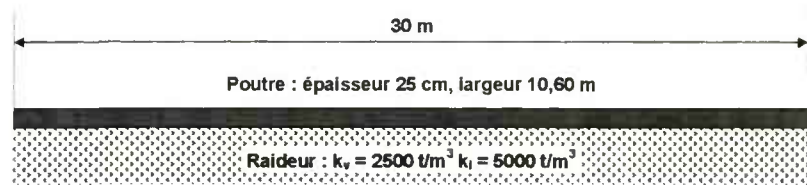
### 1 - Rappel de la section après élargissement



L'élargissement est réalisé avec une dalle générale de 30 mètres de longueur. La largeur d'appui de la dalle sur le remblai est supposée égale à 7 mètres.

On effectue un calcul avec une poutre longitudinale de 10,60 mètres de largeur et d'épaisseur moyenne égale à 25 cm, reposant sur le complexe (remplissage + douelle).

#### Modèle de calcul :



Comme il a été dit au paragraphe 3.2, la raideur de ce complexe (remplissage + douelle) est difficile à appréhender. Des calculs comparatifs ont montré qu'il était un peu plus pénalisant d'adopter  $k_v = 2500 \text{ t/m}^3$  et  $k_i = 5000 \text{ t/m}^3$ , soit des raideurs moitiés de celles du paragraphe 3.2.

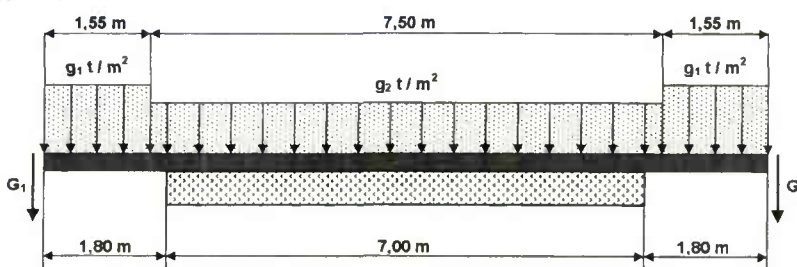
On aboutit donc au modèle de calcul suivant :

- Inertie de la poutre :  $0,0013 \times 10,60 = 0,0138 \text{ m}^4$ .
- Modules d'élasticité du béton :  $E_v = 1,3 \cdot 10^6 \text{ t/m}^2$ ,  $E_i = 3,9 \cdot 10^6 \text{ t/m}^2$ .
- Raideur du matériau sous la poutre :  $K_v = 2500 \times 7,00 = 17500 \text{ t/m}^2$ ,  $K_i = 35000 \text{ t/m}^2$ .

L'ensemble des calculs est mené à l'aide du programme ST1 du SETRA, qui permet notamment de prendre en compte automatiquement un gradient thermique et les charges d'exploitation réglementaires.

## 2 - Actions appliquées à la poutre

### 2.1 - Charges permanentes



Les charges par mètre linéaire de poutre se déduisent du paragraphe 4.1 :

- $p = 1,50 \times 3,10 + 1,00 \times 7,50 + 2 \times 0,30 = 12,75$  t/m de poutre longitudinale.

## 2.2 - Effet des variations de longueur

- Coefficient de frottement : 1,00.

### a) Raccourcissement

Efforts appliqués à la poutre :

- Traction :  $F_x = -12,75 \times 1,0 = -12,75$  t/m entre 0 et 15 m  
 $F_x = +12,75 \times 1,0 = +12,75$  t/m entre 15 et 30 m
- Moment :  $M_z = -12,75 \times 1,0 \times 0,125 = -1,59$  t.m/m entre 0 et 15 m  
 $M_z = +12,75 \times 1,0 \times 0,125 = -1,59$  t.m/m entre 15 et 30 m

### b) Dilatation

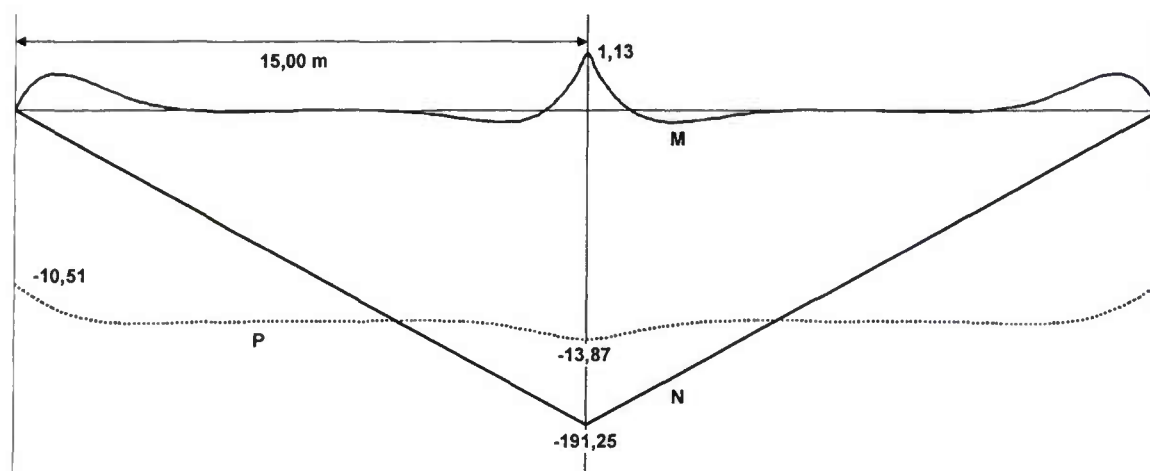
La dilatation de la dalle n'est pas dimensionnante car elle introduit une compression bénéfique.

## 2.3 - Résultats pour les actions de longue durée

Le graphique ci-après représente les sollicitations sur la longueur de la dalle dues aux charges permanentes et au raccourcissement. Sachant que les charges permanentes se traduisent par  $M = 0$  et  $p = 12,75$ , on constate que le raccourcissement de la dalle n'introduit que peu de moments fléchissants et qu'il ne perturbe que très faiblement la pression d'appui.

En revanche, il provoque une forte traction dans la dalle, dont il est facile de retrouver la valeur :

- $N = 12,75 \times 1,00 \times 15,00 = 191,25$  t.



## 2.4 - Gradient thermique

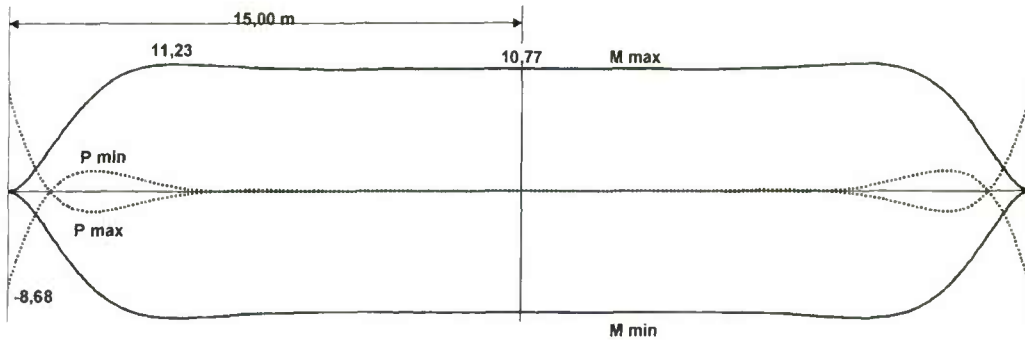
Un gradient thermique de  $\pm 5$  degrés entre face supérieure et face inférieure de la dalle est pris en compte avec les modules instantanés du béton et du remplissage.

Le graphique ci-après représente les sollicitations correspondantes sur la longueur de la dalle. On constate d'une part que les moments fléchissants sont importants et d'autre part que, sous gradient négatif, les extrémités de la dalle ne sont pas loin de se décoller du remplissage :

- $p = (10,51 - 8,68)/10,60 = 0,17$  t/m<sup>2</sup>.

La valeur du moment en section courante peut être retrouvée facilement :

- Contrainte sur les fibres extrêmes :  $\sigma = \pm 2,5 \times 1.10^{-5} \times 3,9.10^6 = \pm 97,50 \text{ t/m}^2$ .
- Moment correspondant :  $M = 1/6 \sigma b h^2 = 1/6 \times 97,50 \times 10,60 \times 0,25^2 = 10,77 \text{ t.m.}$



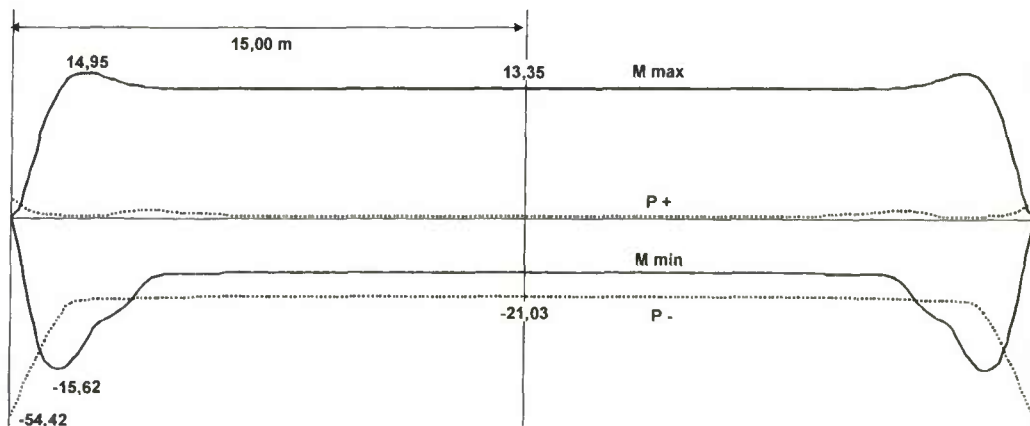
### 2.5 - Charges d'exploitation :

On prend en compte les charges civiles  $B_c$  et  $B_t$  et les charges militaires  $M_c$  120 et  $M_e$  120.

Le graphique ci-après représente les sollicitations enveloppes correspondantes sur la longueur de la dalle. En tous points, il s'avère que ce sont les charges  $1,2 \times B_t$  qui sont prépondérantes.

Plusieurs points peuvent être signalés :

- dès que l'on s'éloigne des extrémités, tous les points de la dalle sont également sollicités du fait que l'on se trouve dans une situation proche d'une poutre infinie sur sol élastique ;
- près des extrémités, on constate des pics de moments négatifs et de pressions, qui proviennent de l'effet de « console » introduit par l'arrêt de la dalle (cf. § 3,1.1.2,e) ;
- enfin, on constate que les moments fléchissants restent modérés et sont du même ordre de grandeur que ceux engendrés par le gradient thermique.



## 3 - Résultats globaux

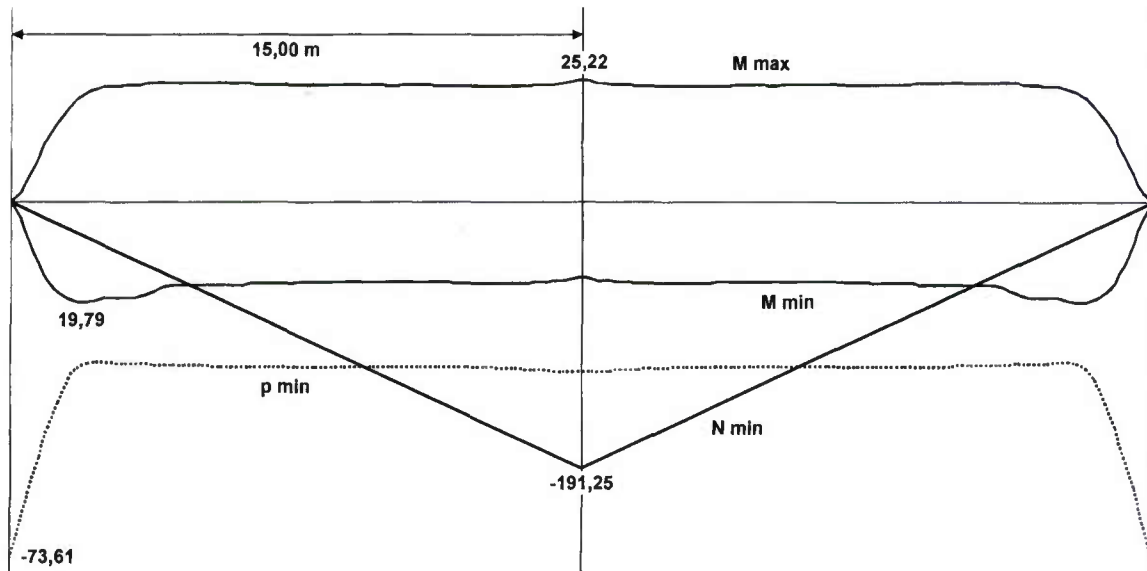
### 3.1 - Sollicitations

Le graphique ci-après représente pour toutes les actions cumulées les enveloppes sur la longueur de la dalle :

- du moment fléchissant ;
- de l'effort normal de traction ;



- de la pression appliquée au matériau de remplissage.



### 3.2 - Hypothèses pour le calcul du ferrailage

- Béton : B35  $\Leftrightarrow f_{cj} = 35 \text{ MPa}$  ;  $f_{tj} = 2,7 \text{ MPa}$
- Armatures :  $\Leftrightarrow f_e = 500 \text{ MPa}$ , fissuration préjudiciable  
 $\xi = \min \left\{ \frac{2}{3} f_c ; \max (0,5 \cdot f_c ; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{tj}}) \right\} = 250,0 \text{ MPa}$

### 3.3 - Ferrailage

Le ferrailage longitudinal en milieu de dalle est calculé suivant les indications du paragraphe 3.1.2 :

- Condition de non fragilité :

$$\Leftrightarrow \rho (\%) > 100 \frac{f_{tj}}{f_c} = 0,54 \% \Leftrightarrow A_{\min} > 13,50 \text{ cm}^2/\text{m de largeur de dalle.}$$

- Milieu de dalle (moment maximum et traction maximum) :

$$\Leftrightarrow N = -191,25 \times 9,81/10,60 = -177,0 \text{ kN/m.}$$

$$\Leftrightarrow M = \pm 25,22 \times 9,81/10,60 = 23,34 \text{ kN.m/m (afin d'obtenir un ferrailage symétrique).}$$

$$\Leftrightarrow \text{Avec une distance parement-axe de 4 cm on obtient } A_{\min} > 17,40 \text{ cm}^2/\text{m de largeur de dalle.}$$

- Comparaison avec la formule donnée au paragraphe 3.1.1 :

$$\Leftrightarrow \rho (\%) > 0,3 + 0,15/6 = 0,55 \% \Leftrightarrow A_{\min} > 13,75 \text{ cm}^2/\text{m de largeur de dalle.}$$

La dalle peut être armée longitudinalement avec 2 nappes de 5 HA 16 par mètre de largeur, représentant  $20,1 \text{ cm}^2$ .

Le ferrailage transversal, non étudié ici, sera déduit :

- de l'étude des moments d'encorbellement ;
- de la condition de non-fragilité (ici  $13,50 \text{ cm}^2/\text{m}$ ).



## Fiches techniques

### **DALLES GENERALES S'APPUYANT SUR L'OUVRAGE EXISTANT**

FICHE N° 1 : PONT DE JARNAC SUR LA CHARENTE	130
FICHE N° 2 : VIADUC DE BELLE-FEUILLE SUR LA MARNE	132
FICHE N° 3 : PONT D'AIXE-SUR-VIENNE SUR LA VIENNE	134
FICHE N° 4 : PONT DE L'AIGUILLE SUR LA VIENNE	136
FICHE N° 5 : PONT DE LA VAROGNE SUR LE VINCOU	138
FICHE N° 6 : PONT DU 14 JUILLET SUR LE GAVE DE PAU	140
FICHE N° 7 : PONT SUR LE DRAC ENTRE CLAIX ET PONT DE CLAIX	142

### **ENCORBELLEMENTS AVEC CONTREPOIDS**

FICHE N° 8 : PONT DE PIERRE DE BORDEAUX SUR LA GARONNE	144
FICHE N° 9 : PONT DE PIERRE DE LIBOURNE SUR LA DORDOGNE	146

### **RESEAU DE POUTRES TRANSVERSALES**

FICHE N° 10 : PONT DE GAVISSE SUR LA BOLER	148
--	-----

### **STRUCTURE INDEPENDANTE PORTEE PAR L'OUVRAGE EXISTANT**

FICHE N° 11 : PONT DES EYZIES DE TAYAC SUR LA VEZERE	150
--	-----

### **DALLE GENERALE REPOSANT SUR LES APPUIS**

FICHE N° 12 : PONT DE LA GRANDE RAVINE	152
--	-----

### **VOUTE EN BETON ACCOLEE A L'OUVRAGE EXISTANT**

FICHE N° 13 : PONT DES GRILLES A METZ	154
---------------------------------------	-----

### **POUTRES PREFABRIQUEES ACCOLEES A L'OUVRAGE EXISTANT**

FICHE N° 14 : PONT NEUF SUR LE CLAIN A POITIERS	156
---	-----

### **AUTRES TYPES D'ELARGISSEMENT**

FICHE N° 15 : PONT DE MAZERAS SUR LA GARTEMPE	158
FICHE N° 16 : PONT DE LHOMMAIZE SUR LA DIVE	160
FICHE N° 17 : PONT DU CHATEAU DE NIEUL SUR LA GLANE	162

## ÉLARGISSEMENT PAR DALLE GÉNÉRALE COULÉE EN PLACE

Département de la Charente

R.N. 141

Pont de Jarnac  
sur la Charente



### I. Historique

- Ouvrage de 80 mètres de longueur totale, construit en 1875, comportant 5 arches en arc surbaissé de 13,83 mètres d'ouverture chacune.
- Élargi en 1911 par des encorbellements en béton armé sous trottoirs.
- Supportait une chaussée de 7,60 mètres de largeur et deux trottoirs de 1,50 mètre chacun.

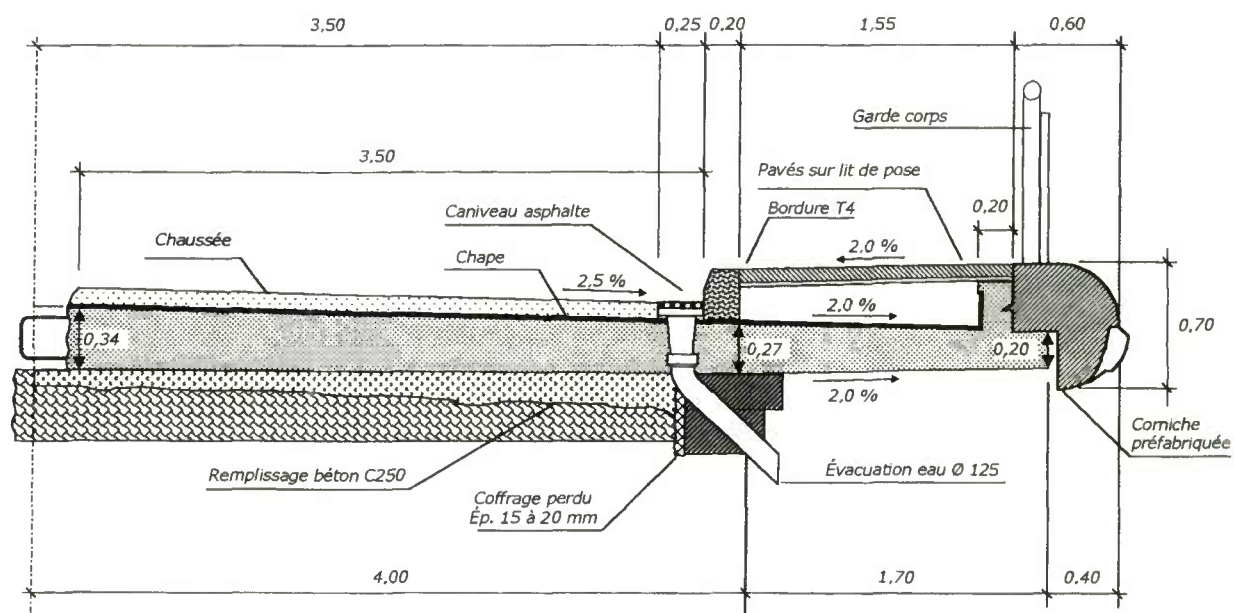
### II. Les raisons de son élargissement

- Caractère dangereux des trottoirs (risque d'effondrement au passage des poids lourds).
- Absence d'étanchéité de l'ouvrage entraînant des disjoints importants.
- Trottoirs de largeur insuffisante, laids et fortement dégradés.

### III. Le projet

Cf. coupe transversale 1/2 tablier ci-après.

- Même largeur de chaussée mais trottoirs de 1,80 mètre de largeur chacun.
- Étanchéité asphalte.



### IV. Ses particularités

- Confortement des fondations en 1986 (réalisation de micropieux, encagement des appuis, injection des massifs, réalisation d'un radier général, ...).
- Raccordement à pans coupés aux abouts avec caniveaux techniques plongeants.
- Revêtement des trottoirs par pavage en pierres appareillées.
- Garde-corps et lampadaires architectoniques en acier galvanisé.

### V. Les travaux

Réalisés sous circulation alternée avec feux tricolores. Du 1<sup>er</sup> avril au 13 août 1987 (quatre mois et demi).

#### Coût (prix T.T.C. 1987) :

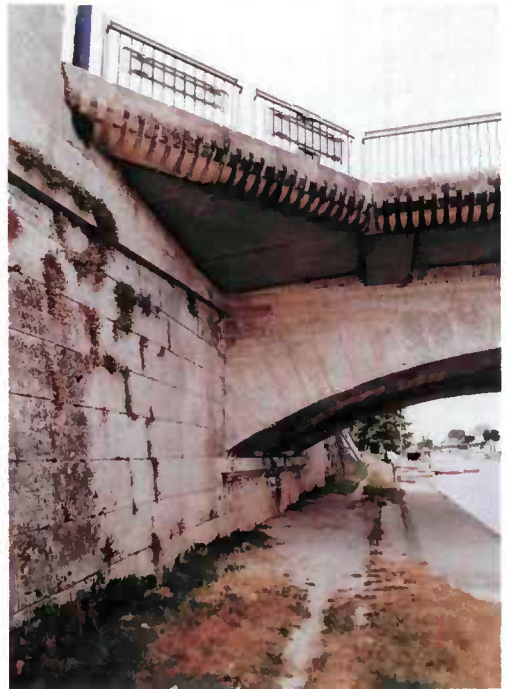
⇒ Études, investigations :	170.000 F
⇒ Interventions architecte :	52.000 F
⇒ Marché :	3.675.000 F
⇒ Travaux annexes :	450.000 F
⇒ Soit :	4900 F /m <sup>2</sup> - S. U.

#### Principaux intervenants :

- Maître d'ouvrage : État (DDE de la Charente)
- Maître d'œuvre : DDE de la Charente (CDOA et subdivision de Jarnac). Projet et suivi de chantier : CETE du Sud-Ouest.
- Entreprises : Chantiers Modernes et Balineau.
- Architecte : A. Spielmann
- Principaux fournisseurs :
  - Rocamat (pierres de taille)
  - Serel (garde-corps)
  - Léonard (corniches)



### VI. Ouvrage après travaux



## ÉLARGISSEMENT PAR DALLE GÉNÉRALE COULÉE EN PLACE

Département de la Haute-Marne

R.N. 67

Viaduc de Belle-Feuille  
sur la Marne

### I. Historique

- Ancien pont ferroviaire à deux voies de 146 mètres de longueur totale construit en 1892, comportant 4 voûtes elliptiques de 25 mètres d'ouverture. Ouvrage courbe (rayons de 2800 m et de 400 m) et biais (85 grades).
- La largeur avant élargissement était de 9 mètres environ pour une épaisseur à la clef de 1,15 mètre.
- Ouvrage présentant un bon état mécanique avant travaux excepté quelques épaufrures de pierres et quelques dégradations dues à des infiltrations d'eau.



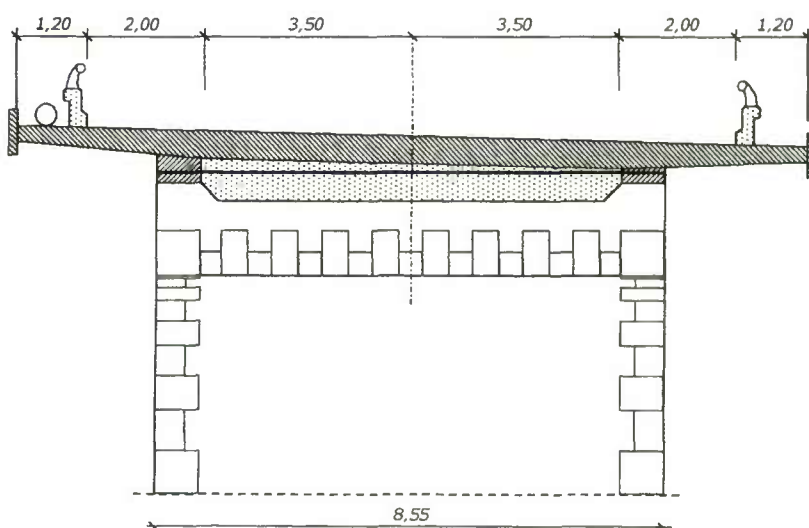
### II. Les raisons de son élargissement

- Ouvrage déclassé en 1989 par la SNCF, coïncidant avec l'étude de la déviation de la Route Nationale 67 à Joinville.
- L'emprise se trouvant à proximité immédiate du projet de tracé a été réutilisée pour supporter cette déviation, avec le double avantage de ne pas créer d'infrastructure nouvelle sur plusieurs kilomètres, et de conserver un ouvrage d'art faisant partie du patrimoine architectural local.

### III. Le projet

Cf. coupe transversale ci-contre.

- L'ouvrage a été entièrement décaissé puis remblayé avec un matériau de bonne qualité.
- Pour reprendre l'effet des poussées du remblai sur les tympans, des tirants ont été mis en œuvre, 3 lits pour les piles et 4 lits pour les culées.
- L'ouvrage a été élargi par une dalle générale coulée en place, de largeur 11,9 mètres et d'épaisseur variant de 45 centimètres sur le remblai à 25 centimètres en extrémité d'encorbellement.
- La dalle ne s'appuie pas sur les tympans. L'ouvrage est continu sur toute sa longueur.



**IV. Ses particularités**

- La dalle repose sur le remblai de remplissage par l'intermédiaire d'une couche de sable surmontée de polyéthylène.
- Cette technique permet théoriquement de réduire le coefficient de frottement de la dalle sur son support, limitant ainsi les efforts de traction (cf. annexe 3).
- Une instrumentation a été réalisée en 1997 pour constater le fonctionnement réel de l'ouvrage. Il ressort de ces mesures que les raccourcissements mesurés de la dalle sont nettement inférieurs à ceux prédits par le calcul.



**V. Les travaux**

- Les tirants ont été mis en œuvre depuis l'intérieur de l'ouvrage après décaissement total. Les plaques d'ancrage étaient cachées dans des engravures de 10 centimètres de profondeur creusées dans la pierre des tympans. Le cachetage a été réalisé avec un micro béton de même couleur que la pierre, armé d'un treillis soudé fixé par des épingles en acier inoxydable de 10 millimètres de diamètres elles-mêmes scellées dans les pierres.
- Les travaux ont été réalisés sur une durée de 8 mois.



**Quantités :**

- ⇒ 780 m<sup>3</sup> de béton B 30.
- ⇒ 135 kg/m<sup>3</sup> d'aciers passifs.

**Coût (prix T.T.C. année 1992) :**

- ⇒ Décompte Général et Définitif : 10.000.000 F
- ⇒ Soit : 5800 F /m<sup>2</sup> - S. U.

**Principaux intervenants :**

- Maître d'ouvrage : Contrat de plan État - Région - Département
- Maître d'œuvre : DDE de la Haute-Marne
- Projet de base et contrôle des études d'exécution : CETE de l'Est
- Entreprise : Pertuy
- Architecte : B. Mikaelian
- Études d'exécution : INGC

**VI. Ouvrage après travaux**



ÉLARGISSEMENT PAR DALLE GÉNÉRALE COULÉE EN PLACE

Département de la Haute-Vienne

R.N. 21

Pont d'Aixe-sur-Vienne sur la Vienne



I. Historique

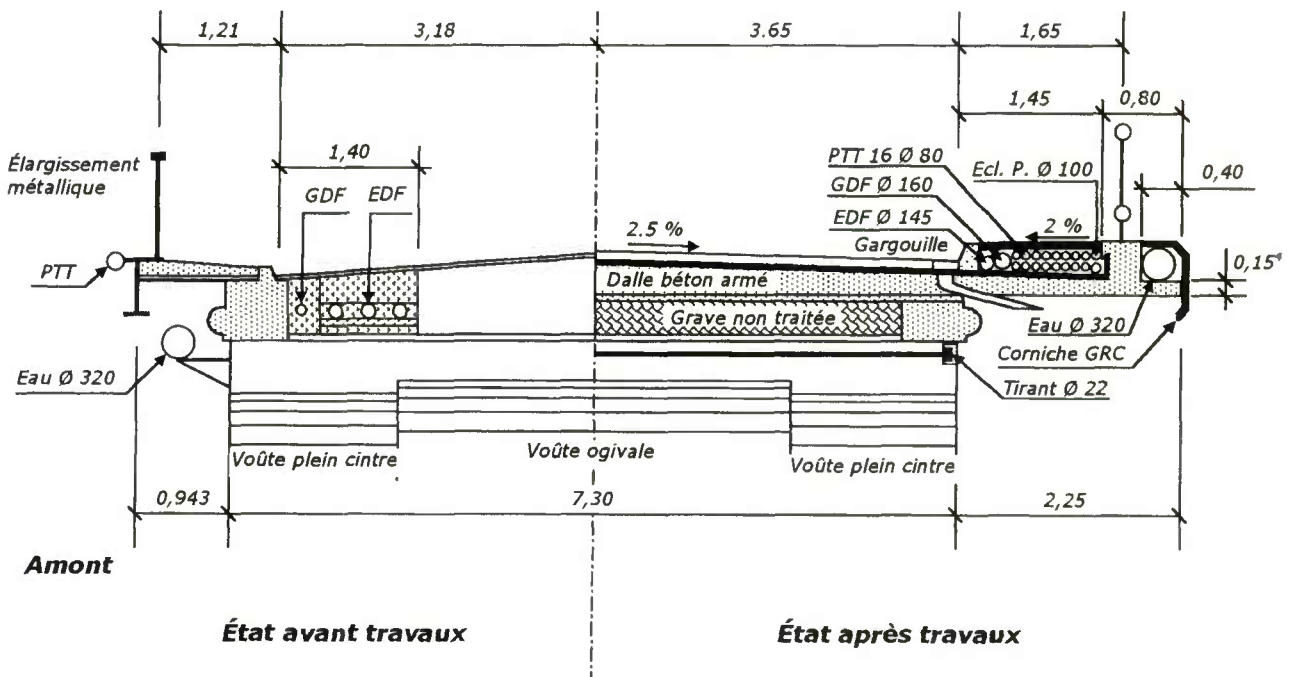
- Ouvrage du XVI<sup>e</sup> siècle de 126 mètres de longueur, comportant 8 arches de forme ogivale.
- Élargi une première fois en 1827 par accollement de voûtes plein cintre (maçonneries).
- Élargi de nouveau en 1885 par des poutrelles métalliques avec voûtains en briques creuses.
- Supportait une chaussée de 6,36 mètres de largeur et deux trottoirs de 1,21 mètre chacun.

II. Les raisons de son élargissement

- Caractère dangereux des trottoirs (passages fréquents de poids lourds, garde-corps vétustes).
- Galerie technique sous chaussée (arrachage du revêtement, mauvaise étanchéité).
- Largeur insuffisante de la chaussée et des trottoirs.
- Amélioration du tracé côté rive gauche (pont sur l'Aixette).

III. Le projet

Cf. coupe transversale ci-dessous.





### IV. Ses particularités

- Traitement architectural soigné (avant-becs aménagés, lampadaires et garde-corps spéciaux en alternance avec de la maçonnerie, corniches GRC, ...).
- Nombreuses canalisations sous trottoirs et dans les corniches (eau potable).
- Réparations : tirants passifs traversants, rejointoiement, injections.
- Solutions comparatives : dalle coulée en place ou dalles préfabriquées.

### V. Les travaux

Réalisés sous circulation alternée (avec feux tricolores couplés avec le trafic SNCF). Du 13 juin 1983 au 9 décembre 1983 (soit 8 mois dont 16 semaines et demie sous circulation alternée).

#### Coût (prix T.T.C. 1984) :

- ⇒ 3.300.000 F
- ⇒ Dont marché : 3.140.000 F
- ⇒ Soit : 2500 F /m<sup>2</sup> - S. U.

#### Principaux intervenants :

- Maître d'ouvrage : État (DDE de la Haute-Vienne)
- Maître d'œuvre : DDE de la Haute-Vienne (CDOA et subdivision de Limoges)
- Conseils pour investigations préliminaires : CETE du Sud-Ouest
- Entreprises : S.A. Cofex
- Architecte : A. Spielmann



### VI. Ouvrage après travaux



ÉLARGISSEMENT PAR DALLE GÉNÉRALE COULÉE EN PLACE

Département de la Haute-Vienne

R.D. 46

Pont de l'Aiguille sur la Vienne



I. Historique

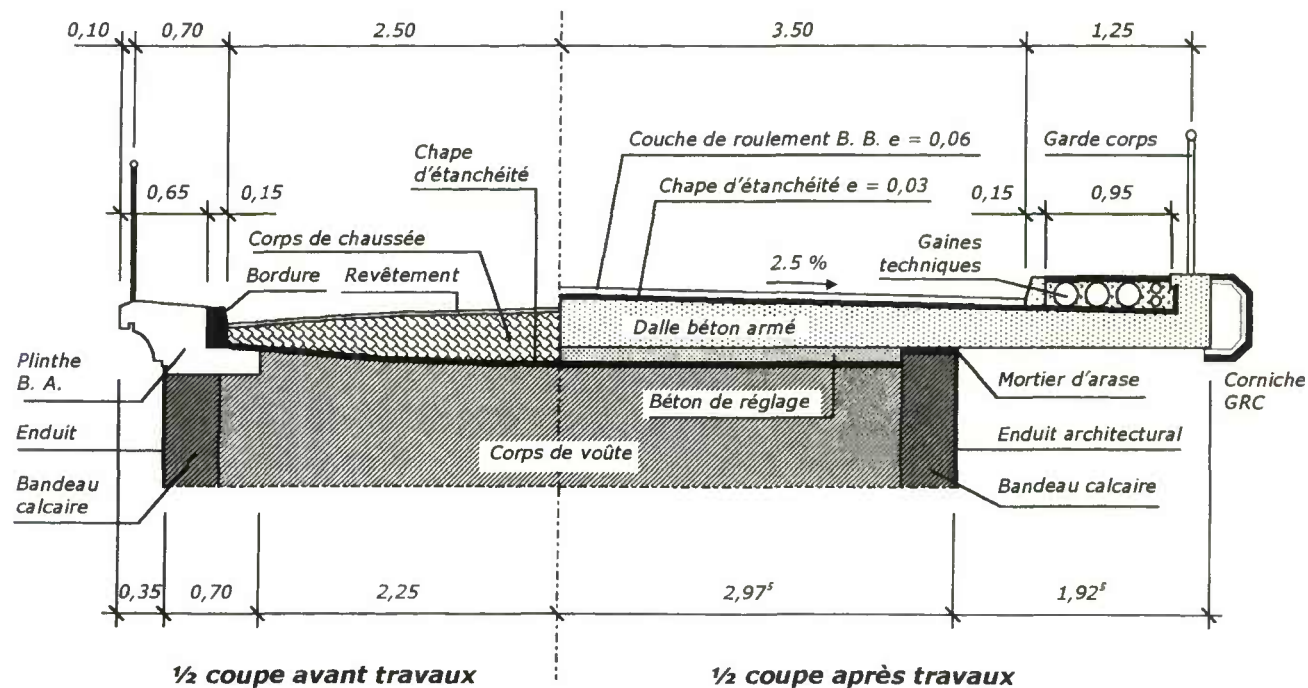
- Ouvrage de 79 mètres de longueur, construit en 1869 comportant 5 arches en anse de panier de 13,50 m d'ouverture environ.
- Édifié en lieu et place d'un ouvrage en bois reposant sur des culées en maçonnerie conservées à la construction du pont en maçonnerie.
- Supportait une chaussée de 4 mètres de largeur avec deux trottoirs de 0,55 mètre ; l'ensemble porté, en 1930, à 5 mètres et à 0,70 mètre respectivement.

II. Les raisons de son élargissement

- Nécessité d'élargir la chaussée et les trottoirs et d'améliorer le débouché routier au croisement avec la R.N. 21 (Limoges - Périgueux), située rive droite.
- Reprendre l'étanchéité générale et l'enduit des tympan et des bandeaux, dégradés en raison de l'étanchement défectueux (de nombreuses traces de calcite sous les voûtes).

III. Le projet

Cf. coupe transversale ci-dessous.



#### **IV. Ses particularités**

- Dalle générale coulée en place en deux fois avec clavage longitudinal, les parties en encorbellement étant réalisées à l'aide d'un échafaudage qui reposait sur les appuis.
- Réalisation à l'abri d'un batardeau des murs en retour côté rive droite afin de porter les rayons de giration de 5 et 8 mètres à 12 mètres.
- Traitement architectural particulièrement soigné.
- Garde-corps à plats verticaux encadrés d'une lisse de section circulaire.
  - ⇒ Corniches en GRC ocre à texture nervurée.
  - ⇒ Candélabres disposés en alternat.
  - ⇒ Projection d'un enduit perméable sur les parements (enduit CODIPRAL qui n'a pas bougé à ce jour).

#### **V. Les travaux**

Réalisés sous circulation alternée avec feux tricolores de décembre 1985 à octobre 1986 (soit 11 mois dont 5 mois et demi sous circulation à sens unique).

**Coût (prix T.T.C. 1985) :**

- ⇒ 4.200.000 F
- ⇒ Soit : 5600 F / m<sup>2</sup> - S. U.

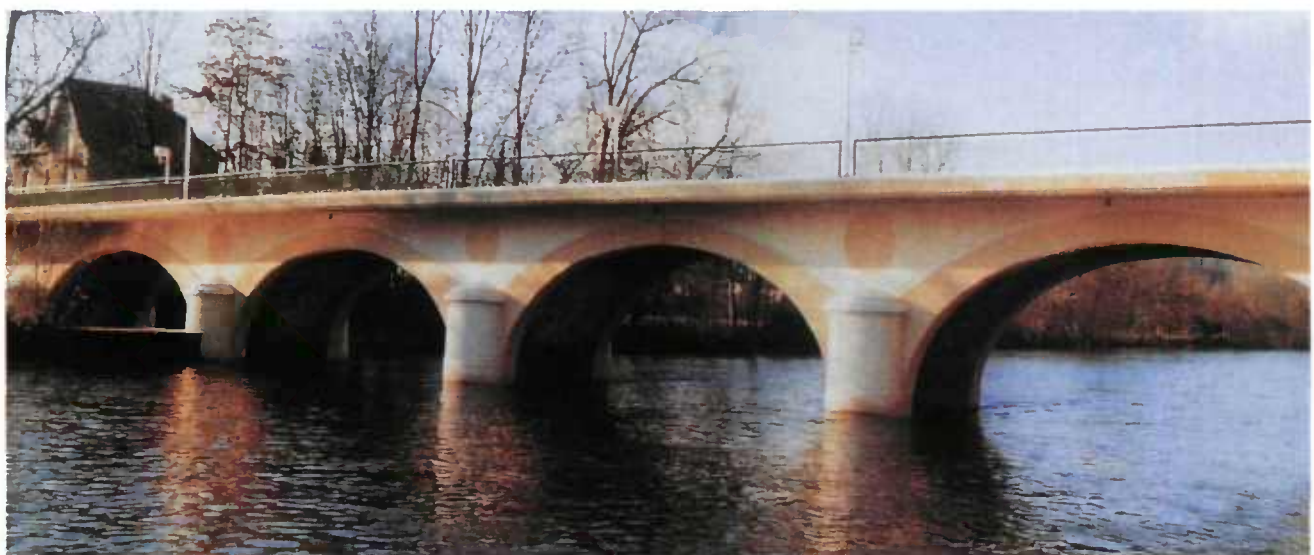


#### **Principaux intervenants :**

- Maître d'ouvrage : Département de la Haute-Vienne.
- Maître d'œuvre : DDE de la Haute-Vienne (CDOA et subdivision de Limoges)
- Conseils pour études et travaux : CETE du Sud-Ouest
- Entreprise : Sté Trarieux et Rogard
- Architecte : A. Spielmann



#### **VI. Vue générale de l'ouvrage (amont)**



ÉLARGISSEMENT PAR DALLES PRÉFABRIQUÉES

Département de la Haute-Vienne

R.N. 147

Pont de la Varogne sur le Vincou



I. Historique

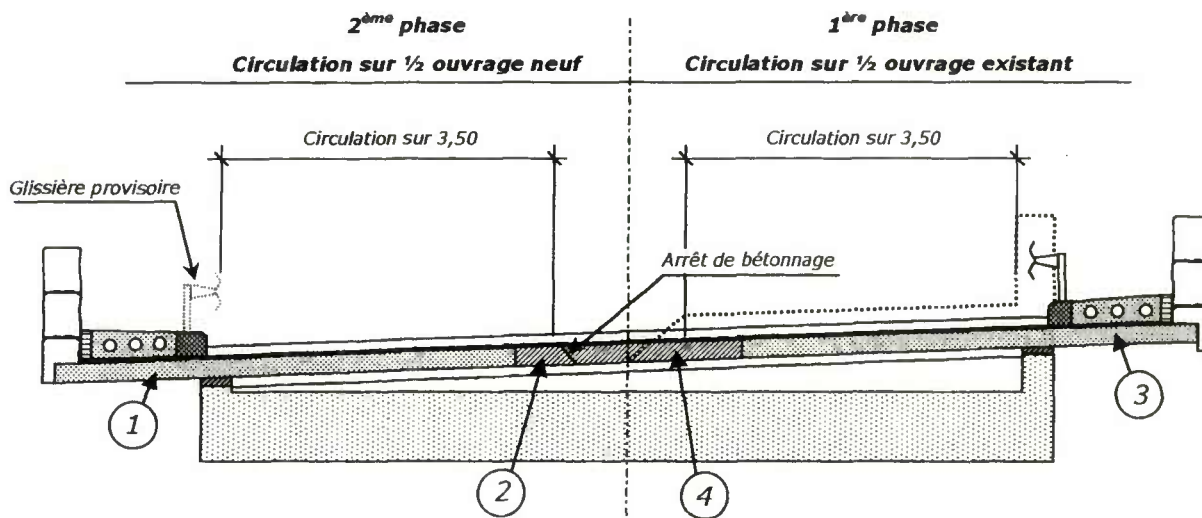
- Pont voûte plein cintre de 8 mètres d'ouverture, de 9 mètres de largeur entre nus extérieurs des tympans (hauteur 9 mètres environ).
- En partie supérieure : 8,20 mètres de largeur entre nus intérieurs des parapets en maçonnerie dont 7,00 mètres de largeur roulable (6 mètres de chaussée et deux trottoirs de 0,50 mètre) avant élargissement.

II. Les raisons de son élargissement

- Améliorer les caractéristiques de la chaussée en la portant de 6 à 7 mètres avec 2 bandes dérasées de 0,75 mètre et deux accotements de 1,50 mètre moyen.
- Améliorer l'étanchéité de la voûte (présence de nombreuses concrétions blanchâtres sur la totalité de l'intrados).
- Trottoirs laids, fortement dégradés et de largeur insuffisante.

III. Le projet

Cf. coupe transversale ci-dessous.



Exécution des travaux dans l'ordre de 1 à 4

#### **IV. Ses particularités**

- Dalles préfabriquées de 4,85 mètres de longueur pour 1,40 mètre de largeur chacune, clavées entre elles transversalement et longitudinalement de façon à réaliser une dalle générale de 18,40 mètres de longueur sur 12,36 mètres de largeur.

#### **V. Les travaux**

Réalisés sous circulation alternée avec feux tricolores du 1<sup>er</sup> décembre 1980 au 3 février 1981 (2 mois).

*Remarque : ce même type d'élargissement, sur un ouvrage de surface comparable, a été exécuté en Gironde (pont de Gironde sur le Dropt), hors circulation, en un mois seulement.*

**Coût (prix T.T.C. 1987) :**

⇨ 604.800 F

⇨ Soit : 2700 F /m<sup>2</sup> - S. U.

Tranche conditionnelle d'un marché général comprenant en tranche ferme l'injection des murs attenants avec pose de tirants d'enserrement.



#### **Principaux intervenants :**

- Maître d'ouvrage : État (DDE de la Haute-Vienne)
- Maître d'œuvre : DDE de la Haute-Vienne (CDOA et subdivision de Nantiat)
- Études et suivi des travaux : CETE du Sud-Ouest
- Entreprise : Sté Trarieux et Rogard

#### **VI. Informations complémentaires**

- Problèmes liés à ce type d'élargissement par dalles préfabriquées, à savoir :

⇨ Au stockage : risque de fléchissement des dalles si les planches d'appui sont en nombre insuffisant.

⇨ A la pose : réalisé sur lit de pose fluide encadré par des lignes d'appuis rigides (nécessité de prévoir des trous d'injection pour remplir tous les vides éventuels).

- Dalles munies, aux joints, d'avant-becs pour exécuter le clavage entre éléments préfabriqués dans les zones en encorbellement.

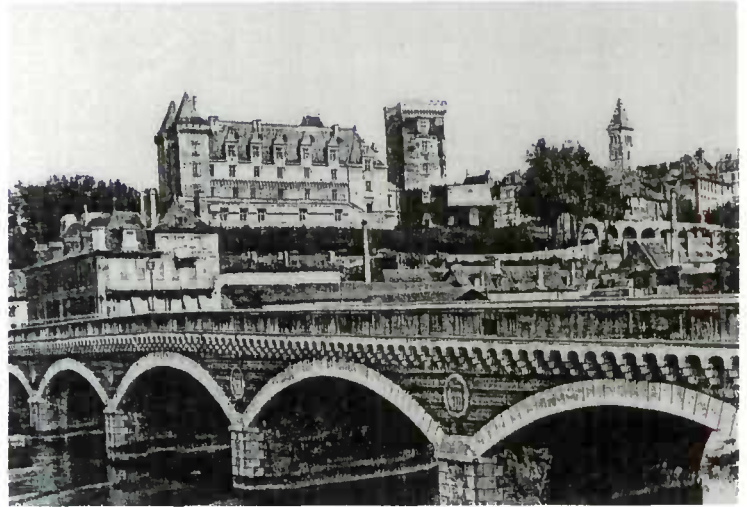


**ÉLARGISSEMENT PAR DALLE GÉNÉRALE COULÉE EN PLACE ET ENCORBELLEMENT PRÉFABRIQUÉ**

**Département des Pyrénées Atlantiques**

**R.N. 134**

**Pont du 14 juillet à Pau sur le Gave de Pau**



**I. Historique**

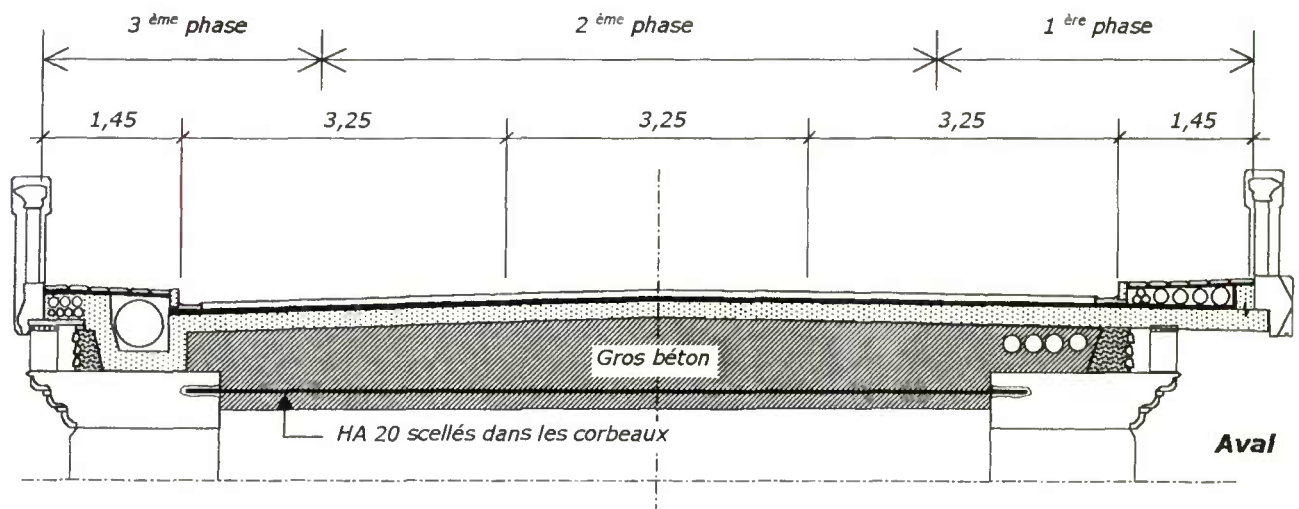
- Pont en maçonnerie de pierre de taille de 105 mètres de longueur, comportant 6 arches en anse de panier de 14,00 à 20,00 mètres d'ouverture, construit en 1739.
- Élargi de chaque côté en 1873 par encorbellement de voûtes en arc de cercle en maçonnerie de pierre de taille, de largeur égale à 1,50 mètre, comportant un encorbellement de 0,50 mètre de largeur constitué de pierre de taille formant des mâchicoulis.
- Supportait une chaussée de 8,80 mètres de largeur à 3 voies et deux trottoirs de 1,40 mètre chacun.

**II. Les raisons de son élargissement**

- Largeur insuffisante des voies de circulation.
- Absence d'étanchéité et de dispositif d'évacuation des eaux entraînant des disjoints importants.
- Trottoirs et parapets défectueux et dangereux.
- Nombreux réseaux existants délabrés et place insuffisante pour de nouveaux.

**III. Le projet**

Cf. coupe transversale ci-dessous.



#### **IV. Ses particularités**

- Élargissement de 1,05 mètre uniquement du côté aval de l'ouvrage. L'élargissement côté amont (côté château) a été refusé par M. l'Architecte des Bâtiments de France, l'ouvrage se situant dans la zone sensible du château d'Henri IV.
- Épaisseur de la dalle coulée en place : 20 cm.
- Encorbellement de la dalle réalisé par mise en place d'éléments préfabriqués en béton armé.
- Longueur = 3,50 m, largeur = 2,37 m, épaisseur = 20 cm.
- Préfabrication en béton armé des murs bahut et conservation de l'ancien couronnement en pierre de taille.
- Tirants passifs noyés dans le gros béton de substitution au corps de l'ancienne chaussée, (HA 20, ie = 2,37 m) scellés dans les corbeaux en pierre de taille.
- Rejointoiements systématiques.

#### **V. Les travaux**

Réalisés sous la circulation maintenue sur 2 voies et coupure totale pendant 3 semaines pour réalisation de la deuxième phase. Du 15 juillet 1989 au 1<sup>er</sup> octobre 1989, soit 2 mois 1/2.

#### **Coût (prix T.T.C. 1989) :**

- ⇨ 4.500.000 F
- ⇨ Soit : 3400 F / m<sup>2</sup> - S. U.

#### **Principaux intervenants :**

- Maître d'ouvrage : État (DDE des Pyrénées Atlantiques)
- Maître d'œuvre : DDE des Pyrénées Atlantiques (CDOA)
- Projet et assistance : CETE du Sud-Ouest

#### **VI. Informations complémentaires**

Une partie des réseaux (EDF, PTT) est enfouie sous la dalle générale. La conduite d'eau a été placée dans une réservation sous trottoirs, au-dessus des dalles.



**ÉLARGISSEMENT PAR DALLE GÉNÉRALE COULÉE EN PLACE  
 ET ENCORBELLEMENTS PARTIELLEMENT PRÉFABRIQUÉS**

**Département de  
 L'Isère**

**R.N. 75**

**Pont sur le Drac entre  
 Claix et Pont de Claix**



**I. Historique**

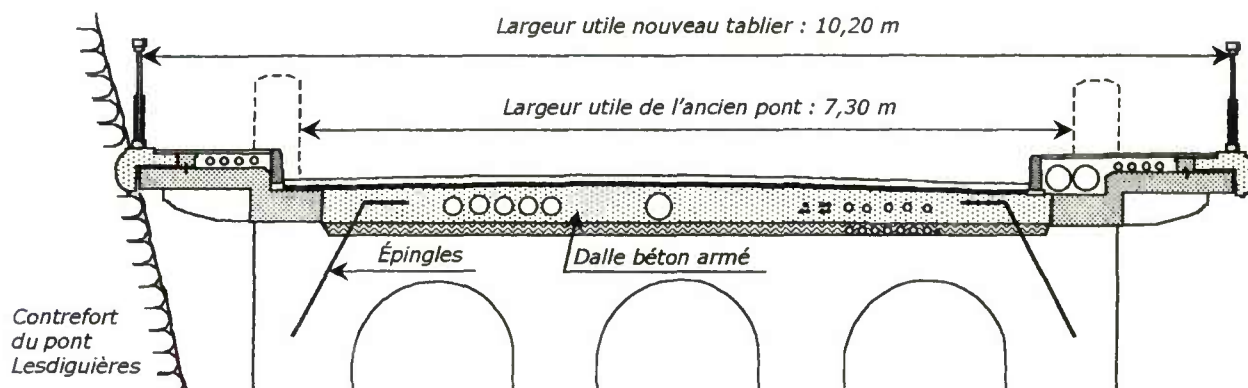
- Ouvrage mis en service en 1875 comportant une seule arche en arc de cercle de 52 m d'ouverture (considérée à l'époque comme la plus grande arche surbaissée en pierre de taille).
- Largeur de 7,30 m comportant une chaussée de 5,50 m et deux trottoirs de 0,90 m chacun.
- Les tympans pleins donnent à cet ouvrage une ligne très sobre. La structure interne des culées, élégies dans les deux directions, est par contre complexe et originale.
- Ce pont supportant la route nationale est parallèle à un ouvrage situé quelques mètres à l'amont et classé monument historique depuis 1898 (le pont de Lesdiguières). Ces deux ponts forment ainsi une paire indissociable

**II. Les raisons de son élargissement**

- Ouvrage souffrant d'un défaut général d'étanchéité, particulièrement pénalisant pour la pérennité des voûtelettes internes des culées.
- Réparation envisagée en liaison avec un élargissement.
- Largeur de chaussée insuffisante (passage d'une importante ligne de transport en commun) et sécurité des piétons précaire compte tenu de l'étroitesse des trottoirs et de leur quasi absence de dénivellation par rapport à la chaussée.

**III. Le projet**

Cf. coupe transversale ci-dessous.





### IV. Ses particularités

- Présence quasi accolée du pont de Lesdiguières, classé monument historique.
- Pour des raisons techniques et esthétiques, en liaison avec l'Architecte des Bâtiments de France, l'élargissement est symétrique, avec un traitement et soigné des sous-faces d'encorbellement.
- La présence d'un contrefort du pont de Lesdiguières limite l'élargissement possible (largeur utile maximale portée à 10,20 m).
- De très nombreux réseaux à réintégrer dans le pont, dont deux tuyaux d'assainissement d'un diamètre de 250 mm (au total, un quarantaine de fourreaux ont été mis en place lors des travaux).
- Dalle générale de 76 m de longueur réalisée avec un redan sous chaque encorbellement.
- Dans la zone des voûtelettes, connexion de la dalle sur les tympans par l'intermédiaire d'armatures scellées dans la maçonnerie.
- Modillons préfabriqués positionnés dans l'épaisseur du redan de la dalle. Lors des travaux, ils sont mis en place sur des consoles provisoires ancrées aux tympans et sont liés à la dalle principale. Ils sont utilisés ensuite comme support de prédalles pour la réalisation des encorbellements.
- Réalisation d'équipements spécifiques (garde-corps intégrant un éclairage des trottoirs ; bordures de trottoirs, caniveaux et dés d'about en pierre).
- Sablage général de la maçonnerie, y compris en intrados de voûte.

### V. Les travaux

Travaux réalisés sur 4 mois, du 5/06/99 au 15/09/99, se décomposant comme suit :

- Deux semaines sous alternat de circulation lors de la déviation des réseaux.
- Deux mois de coupure totale (juillet et août).
- Un mois et demi sous alternat pour la remise en place des réseaux, les travaux sur les maçonneries et les finitions.

**Coût (prix T.T.C. 1999) :**

⇒ 3.750.000 F

**Principaux intervenants :**

- Maître d'ouvrage : État (DDE de l'Isère)
- Maître d'œuvre : DDE de l'Isère (CDOA et subdivision Grenoble Routes)
- Entreprise : Campenon Bernard Régions
- Architecte : E. Ritz

### VI. Ouvrage après travaux



## ÉLARGISSEMENT PAR PORTIQUE REPOSANT SUR L'OUVRAGE

Département de la Gironde

Ex R.N. 10

Pont de Pierre de Bordeaux sur la Garonne



### I. Historique

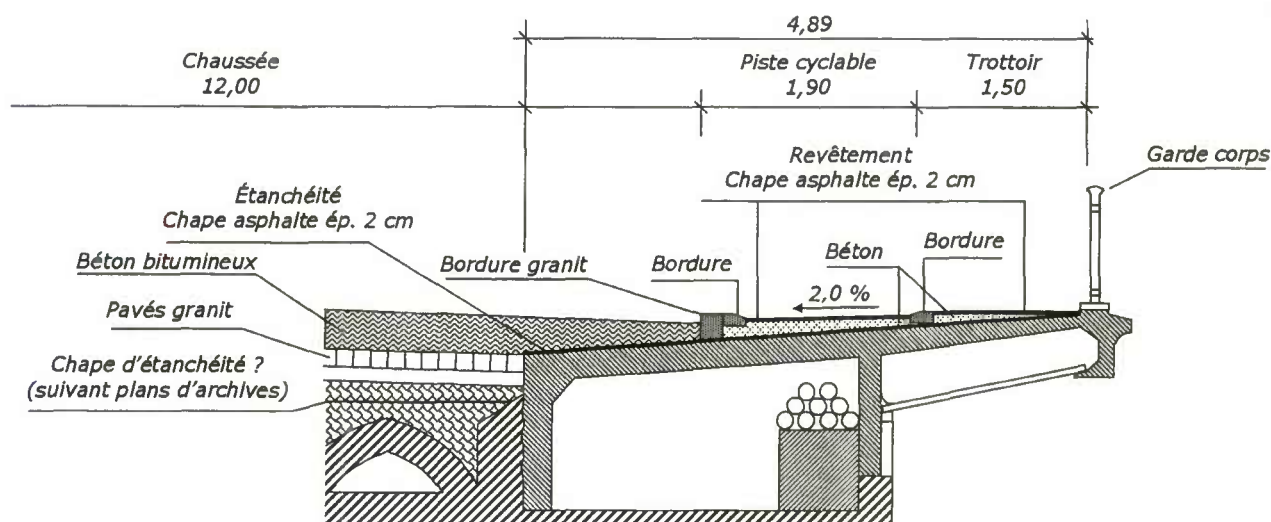
- Construit en 1820, cet ouvrage comporte 17 arches d'inégales ouvertures (de 20,84 mètres pour les travées de rive à 26,50 mètres pour la travée centrale), sa longueur totale étant de 486 mètres.
- Supportait à l'origine une chaussée de 6,00 mètres de largeur avec deux trottoirs de 2,50 mètres chacun.
- Élargi une première fois au début du XX<sup>e</sup> siècle, pour porter la chaussée à 10,40 mètres de largeur uniquement par réduction des trottoirs.
- Élargi une dernière fois en 1954, pour porter la chaussée à 12,00 mètres (4 voies) avec deux pistes cyclables et deux trottoirs de 1,90 mètre et 1,50 mètre respectivement chacun.

### II. Les raisons de son élargissement

- Largeur de chaussée nettement insuffisante pour le trafic : route nationale très circulée (Paris - Espagne via Hendaye) située en pleine zone urbaine (centre de Bordeaux).
- Nécessité de créer deux pistes cyclables et de larges trottoirs tout en redonnant à l'ouvrage un caractère architectural majestueux.

### III. Le projet

Cf. coupe transversale partielle ci-dessous.



#### IV. Ses particularités

- Ouvrage fondé sur des pieux bois (250 pieux de pin) ancrés dans les vases pour les quatre premières piles et en partie dans les graves pour les autres.
- Les fûts de piles, les bandeaux et les chaînages des voûtes sont réalisés en pierres de taille ; le reste de l'ouvrage est constitué de briquettes pleines.
- Ouvrage présentant d'importants désordres dans ses fondations (tassements, fractures, affouillements, ...) placé sous haute surveillance, ayant nécessité d'importantes réparations (enrochements, pose de micro-pieux, cerclages, ...).

#### V. Les travaux

Travaux réalisés sous circulation (2 voies) du 5/10/1953 au 15/06/1955 (réception) dont 6 mois de travaux d'élargissement proprement dits (de décembre 1953 à mai 1954).

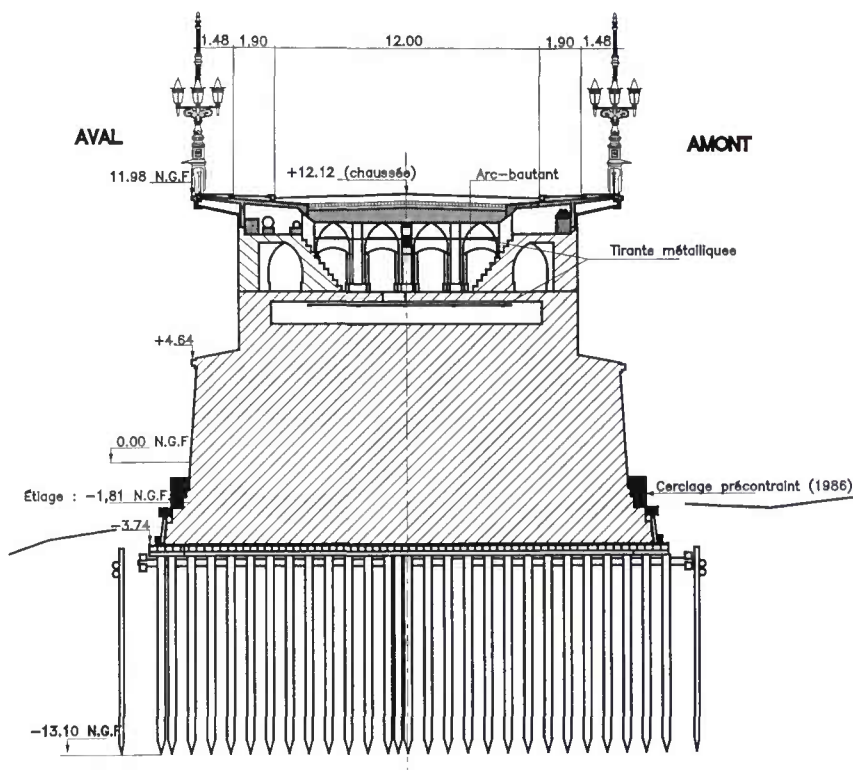
Coût (prix T.T.C. 1953) :

⇨ 71.300 F

Principaux intervenants :

- Maître d'ouvrage : État
- Maître d'œuvre : DDE de la Gironde (Arrondissement Ouest)
- Entreprise : SAEETP

#### VI. Vue de l'ouvrage (aval)



Coupe transversale pile 4

## ÉLARGISSEMENT PAR DALLES EN ENCORBELLEMENT AVEC CONTREPOIDS

Département de  
la Gironde

R.N. 89

Pont de pierre de  
Libourne sur la  
Dordogne



### I. Historique

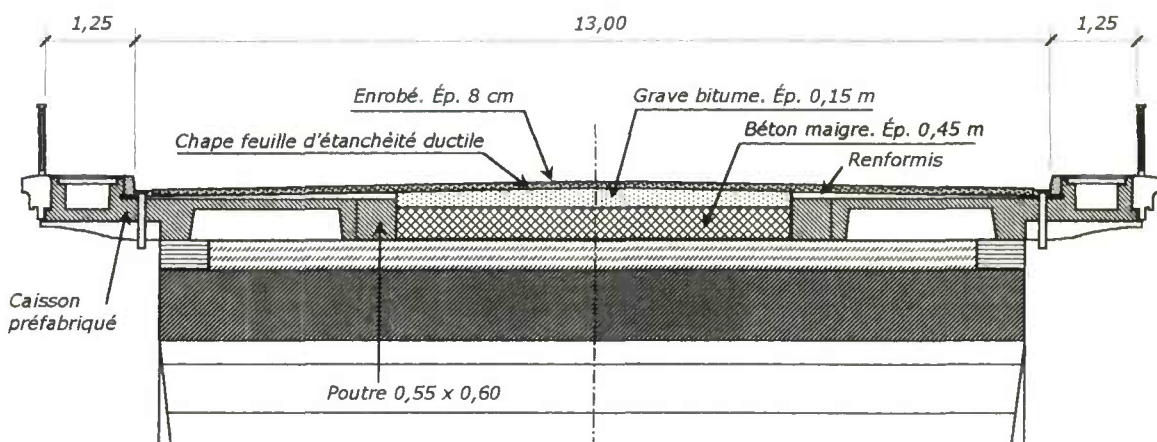
- Ce pont en maçonnerie de briques et pierre est dû en grande partie à l'ingénieur général Deschamps (comme le pont de pierre de Bordeaux) construit de 1820 à 1824. Cet ouvrage comporte neuf arches de 19,25 m d'ouverture plein cintre.
- En août 1944, deux piles et trois arches ont été détruites par fait de guerre et reconstruites « à l'identique » en 1947 et 1948.
- L'ouvrage a été élargi en 1975.
- Nombreuses investigations et études de 1978 à 1998.
- Importants travaux d'étanchement et de restauration des maçonneries en 1999 et 2000.

### II. Les raisons de son élargissement

- Ce pont constituait le seul franchissement de la Dordogne à Libourne.
- Il porte la route nationale 89 : Bordeaux - Périgueux - Lyon.
- La largeur de la chaussée était insuffisante (3 voies).

### III. Le projet

La coupe transversale ci-dessous illustre le projet réalisé en 1975. La chaussée a été portée à 13 mètres, soit 4 voies. Les trottoirs qui l'encadrent ont 1,25 m de largeur chacun. L'élargissement est constitué de consoles nervurées en béton armé. Ces consoles sont équilibrées par une culasse contrepoids.



#### **IV. Ses particularités**

- L'ouvrage est fondé sur pieux bois traversant des sols de très mauvaises caractéristiques.
- Les destructions de deux piles et trois arches en 1944 l'ont ébranlé.
- L'élargissement de 1975 a alourdi l'ouvrage.
- Des désordres (tassements d'appuis et fissures dans les voûtes) ont donné lieu à de très nombreuses investigations et interventions entre 1978 et 1998 (nivellements, bathymétrie, micropieux repères pour suivre les tassements, équipement de fissures, études de portance, sondages, injections sous platelage, cerclage des piles, etc.).
- Un dossier de synthèse a été établi par le CETE (DOA) en 1998.
- Des travaux lourds d'étanchement et de restauration de maçonneries ont été engagés après un APROA en 1999.

#### **V. Les travaux**

**Coût (prix T.T.C. 1974) :**

⇨ 2.250.000 F

**Principaux intervenants :**

- Maître d'ouvrage : État
- Maître d'œuvre : DDE de la Gironde
- Entreprise : Fayat



#### **VI. Ouvrage après travaux**



#### **VII. Informations complémentaires**

De nouveaux travaux ont été réalisés en 1999 pour remédier aux inconvénients de l'élargissement de 1975 (pas d'étanchéité dans la zone centrale de l'ouvrage).

**ÉLARGISSEMENT PAR RÉSEAU DE POUTRES TRANSVERSALES**

**Département de  
la Moselle**

**R.D. 62**

**Pont de Gavisse  
sur la Boler**



**I. Historique**

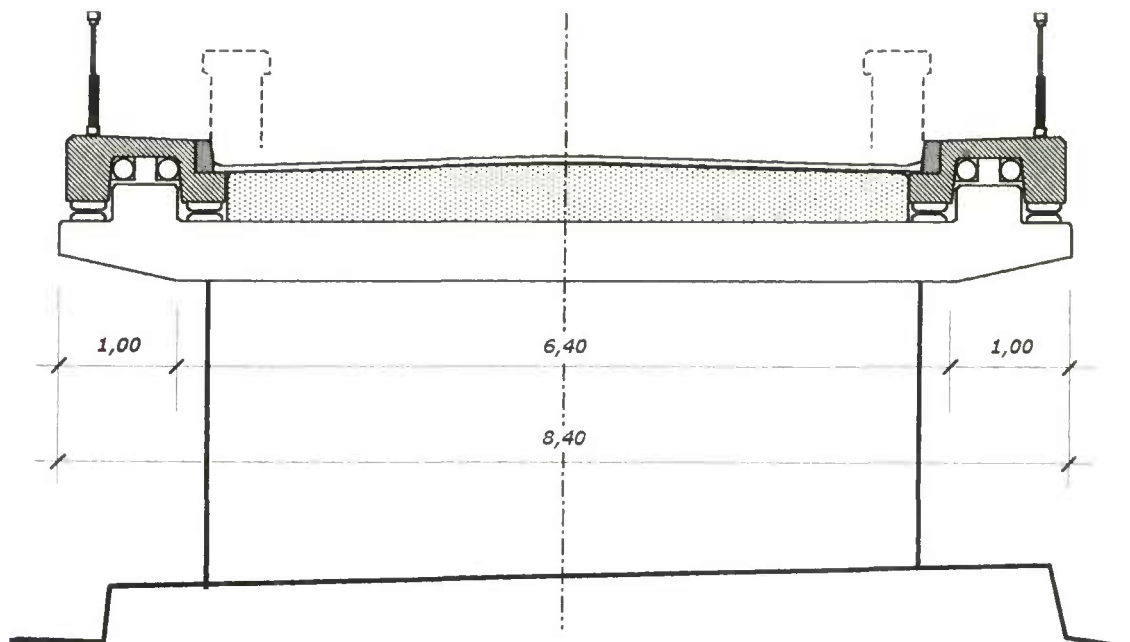
- Ouvrage de 19,60 m de longueur totale comportant deux arches approximativement plein-cintre de 6,00 m d'ouverture.
- Supportait une chaussée de 5,20 m de largeur entre parapets, sans trottoirs pour les piétons.

**II. Les raisons de son élargissement**

- Assurer une continuité des cheminements piétons fréquents dans le secteur (pêcheurs, base de loisirs) par création de deux trottoirs de 1 m de large.

**III. Le projet**

Cf. coupe transversale ci-dessous.



#### **IV. Ses particularités**

- Les trois poutres chevêtres sont munies d'une butée en béton armé à chaque extrémité destinée à maintenir la poutre trottoir en cas de choc de véhicules sur l'élargissement.
- Les quatre poutres trottoirs de 9,80 m de longueur présentent une coupe en U renversé, chaque poutre étant calculée pour la roue de 6 t. Ces poutres trottoirs reposent sur 4 appareils d'appui en caoutchouc fretté.
- L'ensemble de ces éléments préfabriqués en béton a été mis en place à la grue.

#### **V. Les travaux**

Réalisés en 1989 dans un délai de 2 mois.

**Coût (prix T.T.C. 1989) :**

⇒ Montant du marché : 470.000 F

**Principaux intervenants :**

- Maître d'ouvrage : Conseil Général de la Moselle.
- Maître d'œuvre : DDE de la Moselle (CDOA et Subdivision de Thionville Est).
- Entreprise : S.A. Lorraine T.P.

#### **VI. Informations complémentaires**

- L'étanchéité longitudinale, aspect important de ce type d'élargissement peut être traitée avec des joints spéciaux à soufflet de type bâtiment (Alpadil ou similaire) surmontés d'un joint léger de type III du SETRA.



**ÉLARGISSEMENT PAR DALLE GÉNÉRALE COULÉE EN PLACE ET PASSERELLE BOIS SÉPARÉE POUR LES PIÉTONS**

**Département de la Dordogne**

**R.D. 47**

**Pont des Eyzies de Tayac sur la Vézère**



**I Historique**

- Ouvrage de 78,40 mètres de longueur totale comportant trois arches en maçonnerie appareillée de 20 mètres d'ouverture chacune.
- Élargi par des encorbellements en béton armé sous trottoirs.
- Supportait une chaussée de 4,50 mètres de largeur et deux trottoirs de 0,80 mètre chacun.
- Ouvrage présentant des voûtes intérieures d'élargissement.

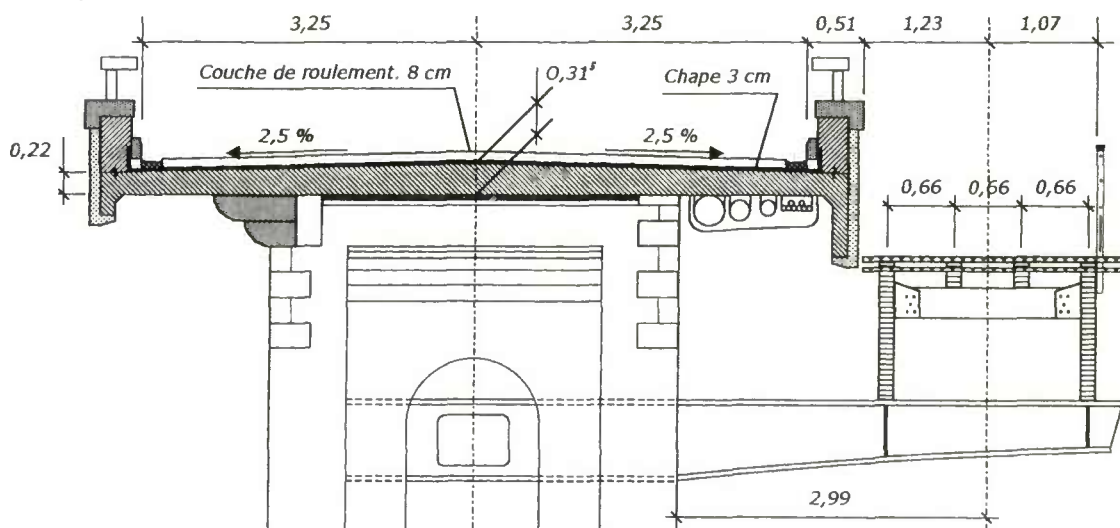
**II. Les raisons de son élargissement**

- Caractère dangereux des trottoirs du fait de leur étroitesse et du nombre important de touristes en période estivale.
- Largeur insuffisante de la chaussée.
- Pénétration des eaux au travers de la structure entraînant des dégradations des joints des pierres.

**III. Le projet**

Cf. coupe transversale ci-après.

- Dissociation de la circulation VL/PL et piétonnière.
- Pour ce faire, l'ouvrage en maçonnerie est arasé puis recouvert d'une dalle générale en béton armé avec étanchéité.
- Une passerelle piétons implantée à l'aval est accolée à l'ouvrage principal. Cette passerelle en bois à poutres porteuses en lamellé collé repose sur des consoles métalliques situées au niveau des culées et au droit des piles.





### IV. Ses particularités

- Confortation des deux fûts de piles par dix micropieux par fût et réfection d'un socle de pile en 1996 préalablement aux travaux d'élargissement débutés en 1997.
- Retombées des rives corbeaux et couronnement de l'ouvrage principal en pierres de taille de Masaugis, Roche Jaune de Rocamat, Carrière de l'Yonne.
- Murs de soutènement des culées pour la passerelle, plaqués des mêmes pierres.
- Passerelle bois poutres porteuses en lamellé collé sapin, platelage sapin/zinc/iroko.
- Culées de la passerelle fondées sur pieux HP.

### V. Les travaux

Réalisés pour l'ouvrage principal après interruption totale de la circulation.

Maintien néanmoins d'un couloir pour scolaires.

Passerelle réalisée sous alternat (lancement).

**Coût (prix T.T.C. 1997) :**

⇨ 5 590 000 F

⇨ Soit : 8100 F /m<sup>2</sup> - S. U.

*Ce coût sera dépassé en raison d'interruptions de chantier imposées par des actions d'associations de défense diverses (handicapés<sup>(\*)</sup>, commerçants, etc.).*



### Principaux intervenants :

- Maître d'ouvrage : Conseil Général de la Dordogne.
- Maître d'œuvre : ST du C.G. 24 et DDE 24 (Subdivision du Bugue).
- Projet et suivi des travaux : CETE du Sud-Ouest
- Entreprise : S.A. Laurière
- Architecte: A. Spielmann
- Principaux fournisseurs:
  - Rocamat (pierres de taille)
  - Goubie (passerelle bois)

### VI. Ouvrage après travaux



(\*) Il est important de noter l'existence d'une norme concernant la circulation des personnes à mobilité réduite, à savoir la norme P 98.350 de février 1988.

**ÉLARGISSEMENT PAR DALLE GÉNÉRALE EN BÉTON ARMÉ  
POUSSÉE SUR UN VIADUC EN MAÇONNERIE**

**Département de la  
Réunion**

**R.N. 1**

**Pont de la Grande  
Ravine**



**I. Historique**

- Viaduc en maçonnerie de 55 m de long, constitué de quatre arches en plein cintre.
- Le franchissement routier initial, construit en 1925, a été réaménagé en 1930 en ouvrage mixte (routier et ferré) et utilisé comme tel jusqu'en 1953.
- A cette date, la structure supportant la voie ferrée a été démolie et l'ouvrage rendu à la seule circulation routière, avec une chaussée de 6,02 m de largeur bordée de deux mini-trottoirs de 0,50 m.

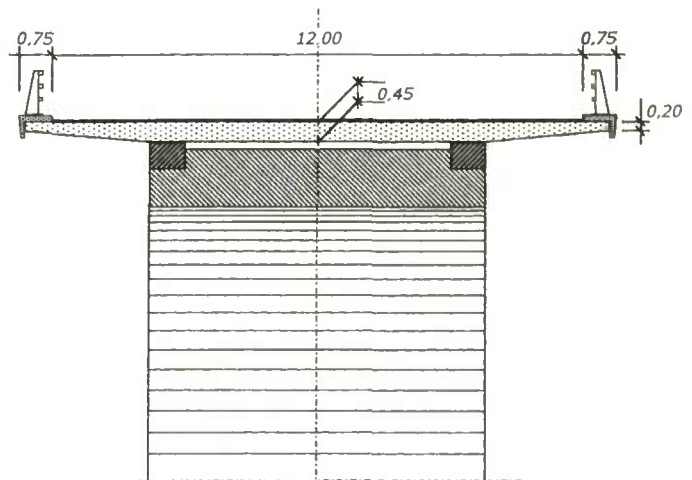
**II. Les raisons de son élargissement**

- La R.N. 1, en amont et en aval de l'ouvrage a une largeur de 7,00 m, bordée de deux bandes d'arrêt d'urgence de 2,50 m de largeur.
- L'élargissement réalisé supporte une chaussée de 7,00 m bordée de deux bandes d'arrêt d'urgence de 2,50 m. En phase ultérieure, l'ouvrage est prévu élargissable à 4 voies de 3,00 m.
- L'ouvrage ne possédant pas de déviation courte, une solution traditionnelle d'élargissement par demi-chaussée aurait occasionné une gêne trop longue et trop importante pour les usagers.

**III. Le projet**

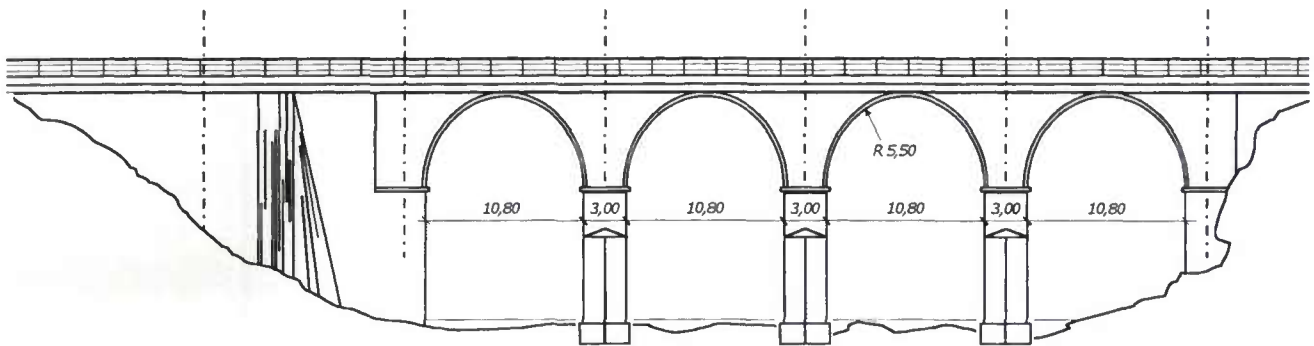
Cf. coupe transversale ci-contre.

- Construction sous circulation d'une structure porteuse en béton armé (longrines) intégrée à l'ouvrage actuel.
- Aménagement d'une aire de préfabrication en rive droite, au voisinage immédiat du franchissement.
- Construction sur l'aire de préfabrication d'un tablier continu en dalle en béton armé à larges encorbellements de 85 m de longueur.
- Poussage du tablier sur l'ouvrage sous interruption totale de circulation.
- Réalisation de la chaussée et des accès avec amélioration du profil en long initial.



#### IV. Ses particularités

- La structure poussée, de 1.300 tonnes et 85 m de longueur, a été lancée avec ses équipements et sa chaussée.
- Les dispositifs de retenue sont des BN 4 adaptées pour piétons (barreaudage vertical en arrière des lisses horizontales).
- La gêne sous circulation alternée fut de courte durée et la coupure totale pour la mise en place du tablier limitée à 54 heures en fin de semaine.



#### V. Les travaux

Réalisés en 1986 - 1987 (11 mois).

Coût (prix T.T.C. 1987) :

⇨ 10.800.000 F

⇨ Soit : 10.000 F /m<sup>2</sup> - S. U.

Principaux intervenants :

- Maître d'ouvrage : Conseil Régional 974.
- Maître d'œuvre : DDE 974 (AFO et CDOA).
- Entreprise générale : GTOI (Grands Travaux De L'océan Indien)



#### VI. Informations complémentaires

Le principe du poussage proposé par GTOI-CIPEC avait les caractéristiques suivantes :

- Le chemin de glissement a été réalisé à l'aide de deux longrines continues implantées dans le remplissage de l'ouvrage et appuyées au droit des piles et culées sur des massifs d'appui en maçonnerie régénérée et stabilisée par injection.
- Simplement posées sur les longrines, les plaques de glissement étaient constituées d'une plaque en acier inoxydable de 15 mm d'épaisseur collée sur une feuille en acier doux de dimensions 2 x 0,16 x 0,08.
- Les 47 patins de glissement de dimensions 300 x 130 x [2(8+2)+1] situés sous la dalle d'élargissement étaient des appuis néoprène, frettés et glissants, équipés d'une feuille d'alvéoflon de 1 mm d'épaisseur.
- Le système de poussage comprenait 4 câbles 4T15, ancrés de part et d'autre des longrines, et dont l'avalement était assuré par 4 vérins appuyés sur des consoles à l'arrière de l'ouvrage.
- L'opération de poussage s'est effectuée à une vitesse moyenne de 3 m/h. Compte tenu des reprises d'ancrages nécessaires, des quelques blocages des patins de glissement, l'opération de poussage proprement dite a duré 48 heures.

**ÉLARGISSEMENT PAR OUVRAGE ACCOLÉ**

**Département de la Moselle**

**R.N. 3**

**Pont des Grilles sur le petit bras de la Moselle**



**I. Historique**

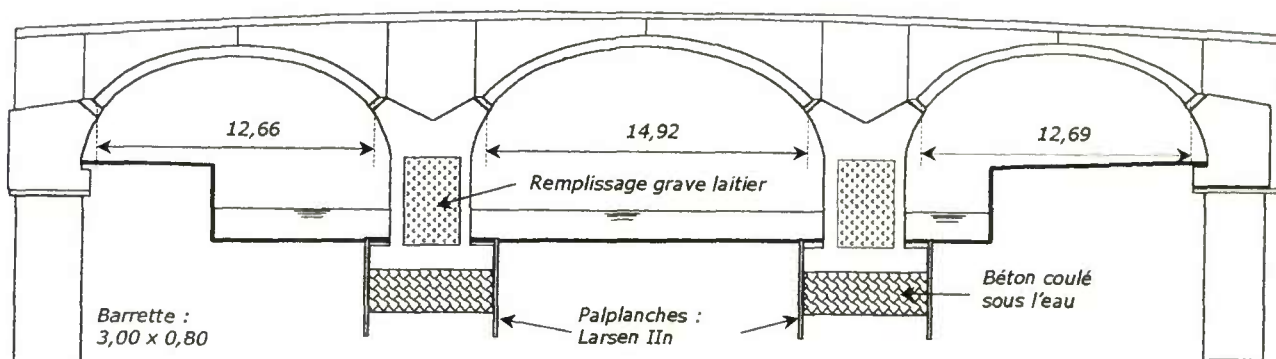
- Ouvrage de 58 m de longueur totale construit en 1745-1750 et comportant 3 arches en anse de panier de 13,60 m, 16,00 m et 13,60 m d'ouverture. L'arche centrale a été détruite pendant la seconde guerre mondiale et reconstruite en béton selon la même géométrie.
- Ce pont comportait des grilles de défense du cours de la Moselle, d'où son nom.
- Il supportait une chaussée de 9 m de largeur avec un trottoir de 2,80 m et un trottoir de 1,20 m.

**II. Les raisons de son élargissement**

- Mise à 2 x 2 voies de la rocade des boulevards de Metz (actuelle R.N. 3). L'importance de l'élargissement imposait une solution par ouvrage accolé.

**III. Le projet**

Cf. coupe longitudinale ci-dessous.



**IV. Ses particularités**

- La structure portante de l'ouvrage est un « U » en béton armé dont la partie inférieure constitue la voûte, les parties latérales jouant le rôle de tympans. Ces tympans sont reliés entre eux par des tirants métalliques de 42 mm de diamètre.
- Chaque voûte est articulée aux reins et en clé par des articulations de type « Freyssinet », l'étanchéité étant assurée par des joints mastic Néoprène revêtus par la chape en feuilles préfabriquées. Les piles en rivière sont fondées superficiellement sur un béton de substitution coulé dans un batardeau en palplanches. Les culées sont quant à elles fondées sur des barrettes destinées à reprendre les efforts horizontaux de poussée des voûtes.
- Il est à noter que les nouvelles piles respectent les proportions des anciennes et notamment leur forte épaisseur (4 m). Pour leur mise en oeuvre, l'arrière-bec des piles existantes a été arasé.

### **V. Les travaux**

Travaux réalisés en 1987-1988 sans gêne à la circulation, délai d'exécution 7 mois.

**Coût (prix T.T.C. 1987) :**

⇒ Montant du marché : 6.100.000 F (avec 100 mètres de raccordement de voirie)

**Principaux intervenants :**

- Maître d'ouvrage : État.
- Financement État, Ville de Metz, Département
- Maître d'œuvre : DDE de la Moselle (CDOA, Grands Travaux)
- Entreprise : Demathieu & Bard
- Architecte : J. L. Jolin

### **VI. Informations complémentaires**

En raison des souhaits de l'architecte pour le parement de cet ouvrage (béton coloré, teinté en jaune « Pierre de Jaumont », avec gravillons lavés et cannelures cassées), les parements architecturaux ont été mis en œuvre avec une technique de préfabrication. Les panneaux, d'un calepinage complexe, ont été bétonnés en une fois.

Après obtention de l'aspect cannelé cassé et gravillons apparents, ils ont été fixés par rails Halfen et scellés au béton.

### **VII. Ouvrage après travaux**

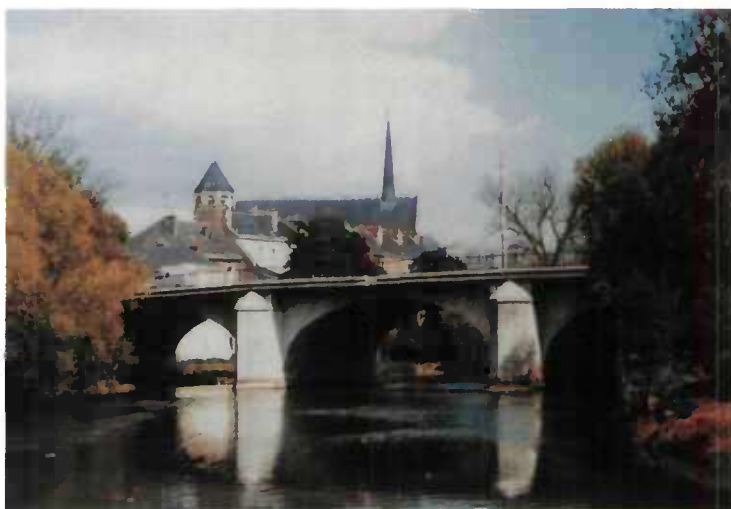


**ÉLARGISSEMENT PAR POUTRES LATÉRALES EN BÉTON ARMÉ**

**Département de la Vienne**

**Ex. R.N. 147**

**Pont Neuf sur le Clain à Poitiers**



**I. Historique**

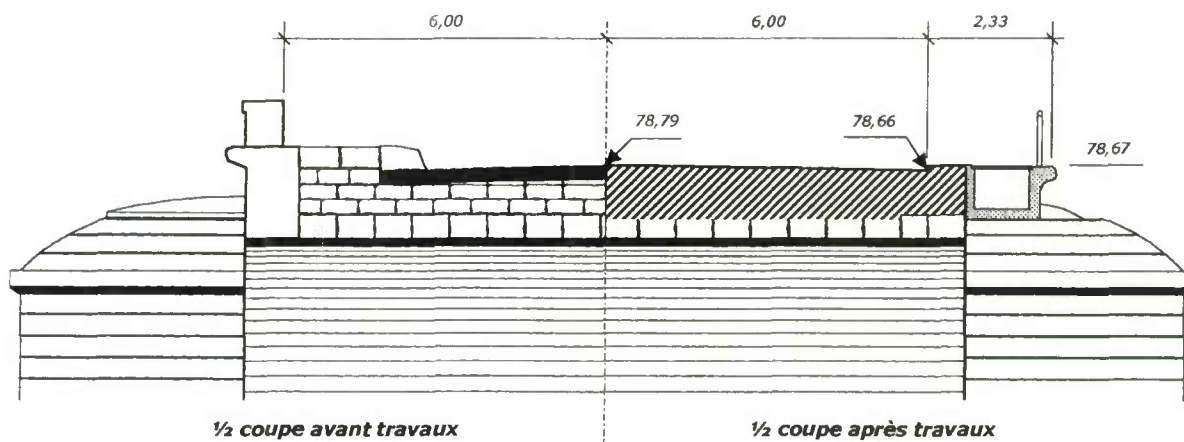
- Ouvrage du XVIII<sup>e</sup> siècle (la première pierre est posée en 1778) de 78,40 mètres de longueur comportant trois arches surbaissées de 19,40 mètres d'ouverture chacune.
- D'importants travaux de réparation furent réalisés en 1843 (remplacement des vieilles maçonneries par des pierres de taille neuves, chape, rejointoiement, empierrement de la chaussée, ...).
- Supportait une chaussée de 8 mètres environ avec des trottoirs de 2 mètres de largeur.

**II. Les raisons de son élargissement**

- En plus de son intérêt propre, l'élargissement de la chaussée à 12,20 mètres permet d'aménager un tourne à gauche avec file de droite afin de faciliter le contournement du centre ville.
- Permet encore d'aménager les trottoirs (sans grand changement de largeur), pour un accès plus agréable des piétons au centre ville.
- Assure par des galeries techniques importantes le passage des réseaux (assainissement, eau pluviale, électricité, téléphone, ...).

**III. Le projet**

Cf. coupe transversale ci-dessous.



#### **IV. Ses particularités**

- Poutres-caissons en béton armé en appuis fixes sur culées (abouts fixés à la maçonnerie des murs en ailes) et en appuis mobiles sur les piles (appuis Freyssinet sur quatre bossages béton par poutre).
- Extrémités des poutres en encorbellements en travée centrale avec joint de dilatation au milieu de l'ouvrage.
- Joints d'étanchéité entre la poutre et la maçonnerie de l'ouvrage.



#### **V. Les travaux**

- Réalisés de novembre 1960 à avril 1961 (soit 6 mois).
- Poutres coulées en place sur poutres IPN appuyées sur piles et culées.

**Coût (prix T.T.C. 1960) :**

⇒ 133.800 F

**Principaux intervenants :**

- Maître d'ouvrage : État (DDE 86).
- Maître d'œuvre : DDE 86 (Service ordinaire de l'arrondissement Ouest).
- Entreprise : Muzzolini et fils (Poitiers)

#### **VI. Informations complémentaires**

- Ce système d'élargissement présente de nombreux inconvénients dans sa liaison avec l'ouvrage principal :
  - ⇒ Mauvaise étanchéité dans le plan de contact.
  - ⇒ Glissement longitudinal de l'enrobé sur trottoirs de part et d'autre de chaque joint de clé devenant une coupure franche au droit du joint (reprise des revêtements des trottoirs et des joints longitudinaux en 1996).



**ÉLARGISSEMENT PAR VOÛTE SOUS DALLE GÉNÉRALE**

**Département de la Haute-Vienne**

**R.D. 28 A**

**Pont de Mazeras sur la Gartempe**



**I. Historique**

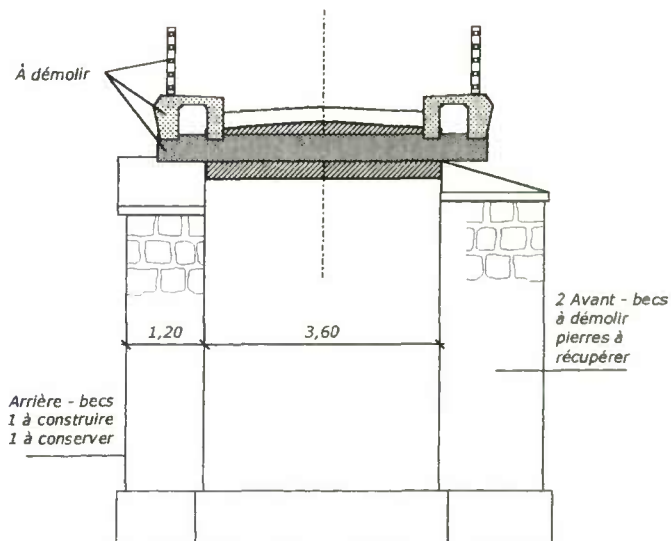
- Pont en maçonnerie de 52 mètres de longueur et de 4,80 mètres de largeur entre nus intérieurs des garde-corps avec quatre arches plein cintre.
- Élargi en 1960 par construction d'encorbellements en béton armé de 0,95 mètre de largeur autorisant une chaussée de 3,30 mètres entre bordures et deux trottoirs de 0,75 mètre de largeur.

**II. Les raisons de son élargissement**

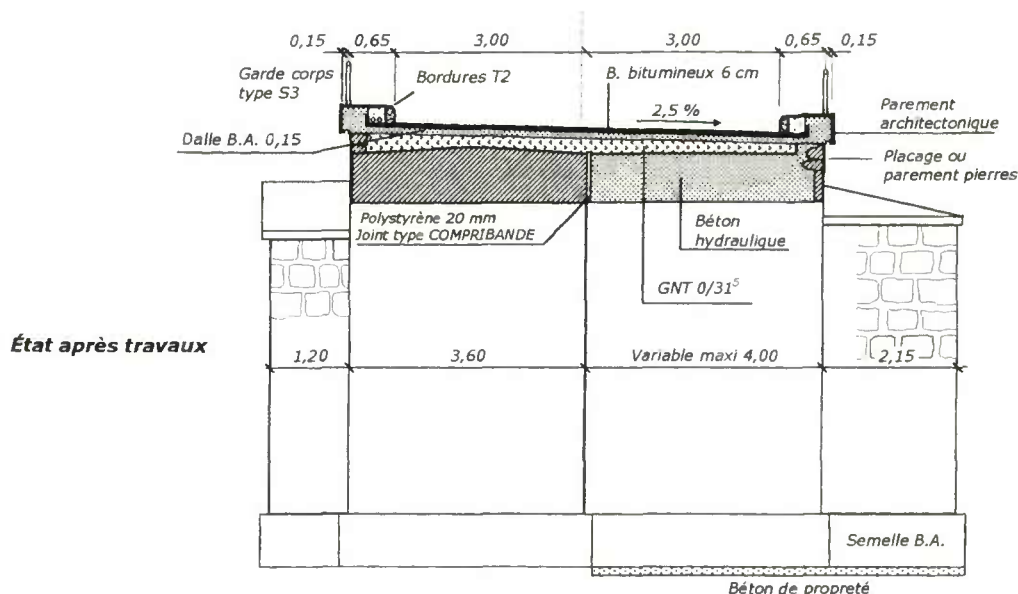
Ouvrage très étroit (chaussée de 3,30 mètres) présentant par ailleurs une courbure en plan dangereuse avec un point haut important en milieu d'ouvrage, alors qu'il est fréquenté par de nombreux poids lourds (carrière juste à côté).

**III. Le projet**

Cf. coupes transversales ci-contre et ci-dessous.



**État avant travaux**



**État après travaux**



### IV. Ses particularités

- Prolongement côté amont des voûtes sur 4,00 mètres environ avec reconstruction à l'identique des avant-becs et chapeutage de l'ensemble par une dalle en béton armé de 15 mètres de longueur.
- Voûtes en béton réalisées à l'aide de cintres en bois reposant sur les semelles des piles ou le substratum rocheux.
- Avant-becs en maçonnerie sur semelles béton avec, à l'intérieur, un béton de remplissage légèrement ferraillé, lié à la structure par 13 H.A. 8 filants (e = 25 cm environ).

### V. Les travaux

Réalisés en 1988 (sept mois) sous circulation alternée.

#### Coût (prix T.T.C. 1987) :

- ⇒ 1.600.000 F
- ⇒ Soit : 4300 F /m<sup>2</sup>- S. U.

#### Principaux intervenants :

- Maître d'ouvrage : Conseil Général (la Haute-Vienne).
- Maître d'œuvre : DDE 16 (CDOA et subdivision de Bessines).
- Entreprise : Travaux Publics du Centre.



### VI. Informations complémentaires

- Alors que toutes les piles reposent directement sur le substratum rocheux, la culée rive gauche fait suite à une faille au-delà de laquelle le niveau du rocher est abaissé de 10 mètres : cette anomalie est apparue grâce aux sondages carottés exécutés sur chaque appui.
- S'agissant pour la travée rive gauche d'une petite arche de décharge hors service, il a été décidé de la supprimer, de curer et de reprofiler le lit de la rivière.



**ÉLARGISSEMENT PAR DALLE PRÉCONTRAÎNTE « ENJAMBANT » L'OUVRAGE**

**Département de la Vienne**

**RN n°147**

**Pont de Lhommaizé sur la Dive**



**I. Historique**

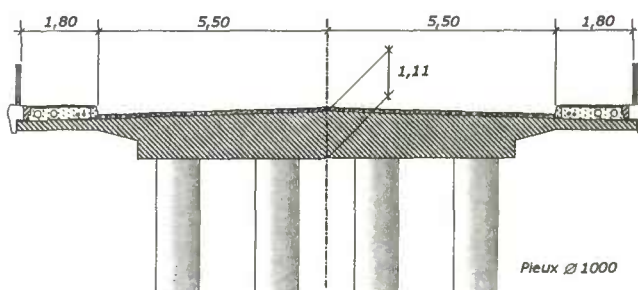
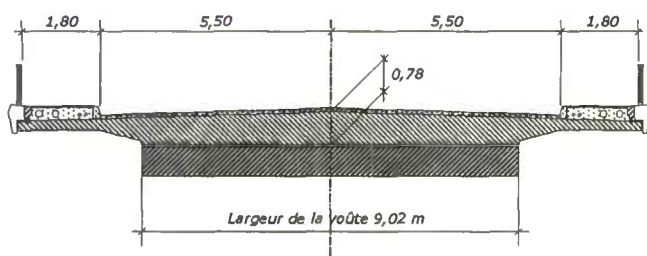
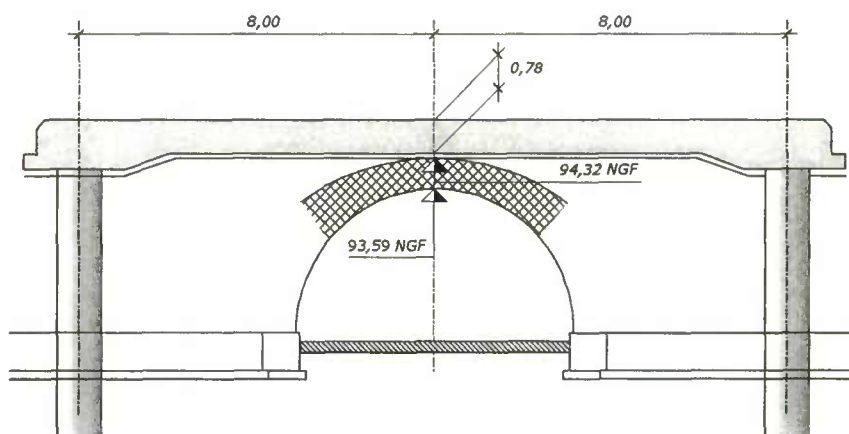
- Aucune archive n'ayant été retrouvée, il a été nécessaire de reconstituer des plans à partir de relevés de géomètre, de sondages à travers les maçonneries, d'inspections diverses.

**II. Les raisons de son élargissement**

- L'ouvrage fondé sur pieux bois à travers plusieurs mètres de sols compressibles supportait le trafic du code de la route en ne présentant que des désordres limités.
- La construction de la centrale nucléaire de Civaux (deux tranches de 1400 mégawatts) nécessitait de passer sur cet ouvrage avec des convois de plus de 500 tonnes (maxi : 582 t, 3,84 t/m<sup>2</sup>) en nombre important.

**III. Le projet**

Cf. coupes longitudinale et transversales ci-dessous.



#### **IV. Ses particularités**

- L'ouvrage était un pont en maçonnerie plein cintre de 6,50 m d'ouverture et de 9 m de largeur dans la partie centrale.
- Il a été « enjambé » par une dalle précontrainte de 16 m de portée entre axes (18 m de longueur totale) d'une largeur totale de 14,60 m.
- Cette dalle traitée en dalle nervurée avec deux encorbellements forme chevêtre aux extrémités et s'encastre sur 4 pieux de 1,00 m de diamètre à chaque extrémité.

#### **V. Les travaux**

Les travaux ont été réalisés avec un phasage (5 phases au total).

Les travaux avaient été estimés dans l'APROA à 2,7 M. F. y compris 10 % de somme à valoir.

#### **Coût (prix T.T.C. 1993) :**

⇨ 1 600 000 F pour les travaux de l'ouvrage seul.

Les études et travaux ont été financés par EDF.

#### **Principaux intervenants :**

- Maître d'ouvrage : État
- Maître d'œuvre : DDE de la Vienne
- Projet de base et contrôle des études d'exécution : CETE du Sud Ouest (DOA)
- Études des fondations : Fondaconcept
- Reconstitution des plans : J.Y. Chambaudie, géomètre
- Entreprises :
  - Muzzolini : Entreprise Générale
  - Girault : fondations
  - Bergeret : étanchéité
  - Cetel : bureau d'études

#### **VI. Informations complémentaires**

L'ouvrage élargi comporte une chaussée de 11 m (3 voies possibles dans le futur) et deux trottoirs de 1,80 m chacun.

Quoique le pont en maçonnerie ne supporte que son propre poids, il a été restauré et protégé par un faux radier et des parafouilles.

Les superstructures ont été traitées en tenant compte des avis de l'architecte des Bâtiments de France.



ÉLARGISSEMENT PAR OUVRAGES ACCOLÉS

Département de la Haute-Vienne

R.D. 28

Pont du château de Nieul sur la Glane



I. Historique

- Pont en maçonnerie plein cintre de 5,50 mètres d'ouverture pour 7 mètres de longueur transversale.
- Comportait une chaussée de 5 mètres avec deux trottoirs de 0,60 mètre environ, alors qu'en partie courante (hors ouvrage), la chaussée est de 6 mètres de largeur avec des trottoirs de 3 mètres et plus de largeur.

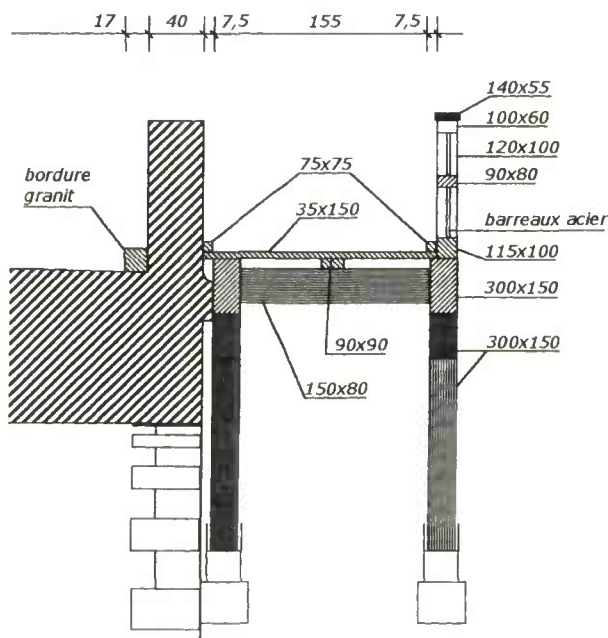
II. Les raisons de son élargissement

- Donner à la chaussée et aux trottoirs des largeurs compatibles avec celles qui existent de part et d'autre de l'ouvrage.
- Donner à l'ouvrage un caractère architectural marqué (près d'un château classé monument historique).

III. Le projet

Cf. coupe transversale ci-après.

- A consisté à faire reposer sur des corbeaux en pierre ancrés dans les murs en aile deux passerelles en bois.
- Chaque passerelle étant constituée d'un double jambage prenant appui sur les corbeaux par l'intermédiaire de sabots métalliques.



### **IV. Ses particularités**

- Le matériau retenu était en bois exotique (du banbgiäi), les garde-corps en chêne avec montants en acier.
- Le bois a été traité avec une peinture lasure (3 couches).

### **V. Les travaux**

Réalisés en 1990 sans gêne pour la circulation., dans un délai de 3 mois.

**Coût (prix T.T.C. 1990) :**

⇒ 377.433 F  
(478.500 F avec travaux supplémentaires sur les maçonneries).

**Principaux intervenants :**

- Maître d'ouvrage : Conseil Général de la Haute-Vienne.
- Maître d'œuvre : DDE 87 (CDOA et subdivision de Nantiat).
- Architecte : A. Spielmann.
- Entreprise : S.A. Jourget.

### **VI. Informations complémentaires**

Le parapet en maçonnerie conservé le long de la bordure, ne présente pas ici un caractère particulièrement dangereux puisque l'ouvrage se trouve en site urbain : il est limité d'un côté par un passage à niveau et de l'autre par une place publique. Si besoin, il pourrait être arasé au niveau des trottoirs (mais à ce jour aucun accident n'est à signaler).





**Crédits photos :**

- *J. Baneau* : fiche 9 : 2, 3.
- *J. C. Bastet* : 1 ; 3 ; 39 ; 40 ; 82
- *J. C. Bertomeu* : fiche 14 ; fiche 16.
- *N. Bourdet* : 102.
- *Conseil général de la Dordogne* : fiche 11 : 2, 4.
- *DDE 33* : 79 ; 115 ; fiche 8 : 2 ; fiche 9 : 1, 4.
- *DDE 38* : fiche 7.
- *DDE 52* : fiche 2.
- *DDE 64* : fiche 6.
- *DDE 87* : couverture ; 54 ; 55 ; fiche 3 ; fiche 4 ; fiche 5 ; fiche 15.
- *DDE 974* : fiche 12.
- *J. M. Delbecq* : 76.
- *Elcécolor* : fiche 8 : 1.
- *G. Forquet* : 4 ; 5 ; 6 ; 9 ; 10 ; 49 ; 51 ; 114 ; 119 ; fiche 1.
- *J. M. Lacombe* : 27.
- *J. L. Michotey* : 11 ; 15 ; 26 ; 97 ; 120.
- *R. Ortiz* : 7 ; 113,a ; 113,b ; fiche 10.
- *L. Perderizet* : 47 ; 48 ; 52 ; 58 ; 107.
- *G. Pérez* : 13 ; 83, fiche 11 : 1, 3.
- *D. Poineau* : 14 ; 125 ; 126.
- *R. Rabasa* : 12 ; 116 ; 118.
- *Service Technique de la ville de Toulouse* : 8.
- *A. Spielmann* : 57, fiche 17.

**Page laissée blanche intentionnellement**





01 64 70 50 20

Ce document est propriété de l'Administration, il ne pourra être utilisé ou reproduit,  
même partiellement, sans l'autorisation du SETRA

© 2001 SETRA - Dépôt légal 3<sup>ème</sup> trimestre 2001 - ISBN 2-11-091790-3

**Page laissée blanche intentionnellement**

**Page laissée blanche intentionnellement**

46, avenue  
Aristide Briand  
BP 100  
92225 Bagneux  
Cedex - France  
Téléphone :  
01 46 11 31 53  
Télécopie :  
01 46 11 33 55  
Internet :  
[http://www.setra.  
equipement.gouv.fr](http://www.setra.equipement.gouv.fr)

**Le problème de l'élargissement de ponts existants afin de les adapter à l'évolution du trafic s'est posé dès le XVIII<sup>e</sup> siècle, et reste encore largement d'actualité, notamment pour les plus anciens d'entre eux, les ponts en maçonnerie.**

**Le présent document est plus particulièrement destiné aux maîtres d'œuvre ayant à élaborer et à réaliser un projet d'élargissement de ce type, mais il s'adresse également aux bureaux d'études, architectes et entreprises participant au projet.**

**Après un bref rappel de l'historique des ponts en maçonnerie, de leur constitution et de leur fonctionnement, on y aborde les principales étapes à respecter dans un projet d'élargissement, les différentes solutions envisageables en fonction du problème posé, ainsi que certains aspects particuliers relatifs aux travaux proprement dits.**

**L'ensemble est complété par une importante bibliographie, un exemple de calcul complet et 17 fiches techniques décrivant des élargissements effectivement réalisés.**