

# PONTS ROUTES EN MAÇONNERIE

**Protection contre l'action des eaux**

**Etanchéité, assainissement, drainage ...**



**GUIDE TECHNIQUE**



Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes



# **PONTS ROUTES EN MAÇONNERIE**

**Protection contre l'action des eaux**

**Etanchéité, assainissement, drainage ...**

## **GUIDE TECHNIQUE**

**MAI 1992**

Document réalisé et diffusé par le



---

SERVICE D'ETUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES  
Centre des Techniques d'Ouvrages d'Art - Cellule Equipement des ponts  
46, avenue Aristide Briand - B.P. 100 - 92223 Bagneux Cedex - FRANCE  
Tél. : (1) 46 11 31 31 - Télécopieur : (1) 46 11 31 69 - Telex : 260763 F

---

**Dans la série : Equipements des Ponts**

**Déjà paru :**

GC 77 et mises à jour n° 1, 2 et 3

Ster 81 et mise à jour n° 1

Dalles de transition

Joint de chaussée

Assainissement des ponts routes

Appareils d'appui - Avis techniques

**A paraître :**

Appareils d'appui - Guide

**Abrogé :**

Note d'Info n° 1

# SOMMAIRE

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	5
<b>INTRODUCTION</b> .....	7
<b>CHAPITRE 1 : NECESSITE D'UNE PROTECTION CONTRE L'ACTION DES EAUX</b> .....	11
<b>1.1 - CONSEQUENCES D'UN DEFAUT D'ETANCHEITE SUR UNE VOUTE</b> .....	11
1.1.1 - Dissolution du liant des joints .....	11
1.1.2 - Altération des pierres de la voûte .....	12
1.1.3 - Attaque du remplissage .....	13
1.1.4 - Désordre par humidité permanente .....	13
<b>1.2 - CONCLUSIONS SUR LA NECESSITE D'UN BON ETANCHEMENT</b> .....	13
<b>CHAPITRE 2 : HISTORIQUE : la constitution des chapes et l'assainissement dans l'histoire de la construction des ponts en maçonnerie</b> .....	15
<b>2.1 - LA CONSTITUTION ANCIENNE DES CHAPES</b> .....	15
<b>2.2 - ASSAINISSEMENT</b> .....	15
<b>2.3 - CONCLUSIONS</b> .....	16
<b>CHAPITRE 3 : LE MATERIAU DE REMPLISSAGE</b> .....	17
<b>3.1 - IMPORTANCE DE CE MATERIAU - GENERALITES</b> .....	17
<b>3.2 - NECESSITE D'UNE RECONNAISSANCE DU REMPLISSAGE</b> .....	18
3.2.1 - Pourquoi faire un (ou des) sondage(s)? .....	18
3.2.2 - Le programme de reconnaissance .....	19
3.2.3 - Essais sur les matériaux de remplissage .....	19
<b>3.3 - ENLEVEMENT ET REMPLACEMENT DU REMPLISSAGE</b> .....	19
3.3.1 - Quand enlever? .....	19
3.3.2 - Vérification à faire avant de procéder à un décaissement .....	20
3.3.3 - Comment enlever? .....	20
3.3.4 - Que remettre? .....	20
3.3.5 - Cas particulier du traitement de la zone de clé .....	21
3.3.6 - Mise en œuvre du remplissage .....	22
<b>3.4 - DRAINAGE DES EXTREMITES</b> .....	22
<b>CHAPITRE 4 : LA CHAPE D'ETANCHEITE</b> .....	23
<b>4.1 - LES POSSIBILITES DE PASSAGE DE L'EAU</b> .....	23
<b>4.2 - LES DIFFERENTES POSITIONS DE LA CHAPE D'ETANCHEITE SUR UN PONT EN MAÇONNERIE</b> .....	23

<b>4.3 - LA CHAPE D'ETANCHEITE PLACEE DIRECTEMENT SUR L'EXTRADOS</b> .....	<b>24</b>
4.3.1 - Evaluation .....	24
4.3.2 - Les techniques de chape .....	25
4.3.2.1 - Décaissement total (partiel sur pile) .....	25
4.3.2.2 - Support de la chape .....	25
4.3.2.3 - Mise en œuvre de la couche d'étanchéité .....	25
<b>4.4 - LA CHAPE D'ETANCHEITE EN POSITION INTERMEDIAIRE</b> .....	<b>27</b>
4.4.1 - Evaluation .....	27
4.4.2 - Les solutions techniques .....	28
4.4.2.1 - Présentation générale .....	28
4.4.2.2 - Décaissement .....	28
4.4.2.3 - Mise en œuvre de l'étanchéité .....	28
4.4.2.4 - Le traitement des extrémités, aux abouts du pont .....	31
<b>4.5 - CHAPE D'ETANCHEITE EN POSITION SUPERIEURE</b> .....	<b>33</b>
4.5.1 - Présentation générale .....	33
4.5.2 - Evaluation .....	33
4.5.3 - Les solutions techniques .....	33
4.5.3.1 - Généralités .....	33
4.5.3.2 - Etanchéité sur dalle de béton .....	33
4.5.3.3 - Etanchéité intégrée à la dalle .....	34
4.5.3.4 - Etanchéité sur support raboté .....	35
4.5.3.5 - Etanchéité composite mise en œuvre par M.H.C. ....	35
<b>4.6 - DELAI ENTRE REJOINTOIEMENT ET ETANCHEMENT</b> .....	<b>37</b>
<b>CHAPITRE 5 : ASSAINISSEMENT</b> .....	<b>39</b>
<b>5.1 - INTRODUCTION</b> .....	<b>39</b>
<b>5.2. - COLLECTE DES EAUX DE SURFACE</b> .....	<b>39</b>
<b>5.3 - DRAINAGE DU MATERIAU DE REMPLISSAGE</b> .....	<b>39</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>43</b>
<b>1 - BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>43</b>
<b>2 - ADRESSES UTILES</b> .....	<b>43</b>
<b>3 - GLOSSAIRE SUCCINT</b> .....	<b>44</b>
<b>4 - EXEMPLE D'UN PLAN D'INVESTIGATION D'UN PONT</b> .....	<b>45</b>

ILLUSTRATIONS PHOTOGRAPHIQUES : CETE Sud-Ouest (figures n° 1, 2, 4 et 6), CETE Méditerranée (figures 3 et 9), DDE du Nord (figures n° 18, 19 et 34), DDE de Haute-Saône (figures n° 12, 13, 17 et 30) et SETRA/CTOA.

PHOTO DE COUVERTURE : Pont de Montauban sur le Tarn. Ce pont a été restauré dans les années 1980, avec l'appui du Ministère de la Culture. A noter que c'est le seul franchissement du Tarn autorisé aux convois exceptionnels.

## REMERCIEMENTS

**L** existait déjà des publications sur la protection contre l'action des eaux sur les ponts en maçonnerie. La plus importante est la note d'Information Technique du LCPC de 1985 sur "l'étanchement des ponts en maçonnerie" rédigée par un Groupe Horizontal Réparation des Ouvrages d'Art et dont le rapporteur était M. Peignaud du Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées d'Angers.

On pourrait donc s'étonner de voir publier, sur ce sujet, un guide nouveau qui risquait de faire redondance avec les diverses publications citées en Annexe. Nous avons pris la décision de faire ce travail parce qu'il nous a semblé que cela correspondait à un besoin pour les raisons suivantes :

— Si le document du LCPC était très complet sur les aspects touchant au "remplissage" et au "programme de reconnaissance", certains aspects techniques étaient relativement incomplètement traités. Il semblait nécessaire de faire le point à leur sujet.

— Les techniques en matière d'étanchéité des ponts en maçonnerie ont évolué ces dernières années, avec de nombreuses expérimentations. Là aussi un point technique s'avérait utile.

— Le souhait des utilisateurs, tel que nous l'avons ressenti lors de nos contacts mais aussi par des demandes concrètes, était de disposer d'un guide complet sur le sujet, sans avoir à rechercher les solutions techniques à leur problème dans plusieurs documents.

Ceci explique que le présent document comporte, à côté d'une partie entièrement nouvelle, une partie "compilation" qui reprend, en l'actualisant et en l'adaptant au contexte, l'essentiel de deux documents :

— La note d'Information Technique du LCPC de 1985 sur "l'étanchement des ponts en maçonnerie".

— "Désordres constatés sur les ponts routes en maçonnerie - réparation de ces désordres", exposé en session de formation continue à l'ENPC par D. Cornet, IDTPE, Chef de la DOA du CETE de l'Ouest.

Ces citations sont repérées, en marge, par un trait vertical et l'indication de la référence bibliographique.

**L**e rédacteur de ce guide est M. FRAGNET (SETRA/CTOA, Cellule Equipements des ponts), avec la collaboration de MM. Bastet (Ingénieur, LRPC au CETE Méditerranée), Le Delliou (IPC, quand il était Chef de la DOA du CETE de Lyon), Michotey (Ingénieur de Bureau d'études) et Pérez (Ingénieur à la DOA du CETE Sud-Ouest). Le suivi technique est assuré par M. FRAGNET.

Nous remercions aussi les ingénieurs suivants pour leurs nombreux et précieux conseils et observations : MM. Bertheol (CDOA de la Corrèze), Desgouilles (Sté AXTER), Berthomeu (CDOA de la Vienne), Cornet (Chef de la DOA du CETE de l'Ouest), Jehan (Bureau OA, DDE du Gard), Mme Maréchal (Bureau OA, DDE de l'Indre et Loire), MM. Nicolas (Sté SIPLAST), Numitor (Sté SACAN) et Virally (Sté SOPREMA).



# INTRODUCTION

## 1 - PRESENTATION DU GUIDE

Les ponts en maçonnerie constituent une part importante de notre patrimoine en matière d'ouvrages d'art. En effet, sur les quelques 100 000 ponts de longueur supérieure à 5 m que l'on comptabilise à l'heure actuelle en France, on estime à 60% la population des ouvrages en maçonnerie. Quand on sait que près de la moitié des 100 000 ponts sont de longueur inférieure à 10 m, on peut penser que nombre des ponts en maçonnerie sont surtout des petits ouvrages à côté de quelques grands ouvrages importants.

Cette modestie de la taille alliée, dans l'esprit de nombreuses personnes, à l'aspect massif et robuste, font que l'on s'est peu préoccupé de leur entretien. Cette attitude est regrettable car ces ouvrages constituent bien souvent un patrimoine culturel et esthétique inestimable qu'il est essentiel de transmettre en bon état aux générations futures.

Comme tous les ponts, ces ouvrages sont pour le réseau routier, des points sensibles dont la défaillance peut être brutale. Cette défaillance peut avoir des origines diverses, mais l'une des plus fréquentes, après les désordres liés aux fondations, est la destruction ou l'altération par suite de l'action des eaux de pluie.

Pour les ponts en maçonnerie, comme pour les autres types d'ouvrages, il n'y a pas de solution parfaite s'imposant *a priori* et qui permette de se prémunir contre cette action destructrice de l'eau.

Ce guide ne contient donc pas de recettes miracles, mais donne simplement quelques conseils qui seront à adapter aux caractéristiques de l'ouvrage et aux moyens disponibles, ceci après une étude complète de l'ensemble de la structure.

Un ouvrage en maçonnerie comporte des parties que l'on peut, sommairement dans le cadre de ce qui nous intéresse, résumer comme suit (voir aussi l'annexe 3):

- des appuis (piles et/ou culées),
- une voûte constituant la partie principale résistante,
- un remplissage au-dessus de la voûte, maintenu latéralement par les tympans,
- la chaussée.

La partie "noble", si tant est qu'il y en ait une, est la voûte; or celle-ci peut subir des altérations du fait de l'eau; comme cette eau transite par la chaussée et le remplissage, son passage peut engendrer, et engendre, d'autres phénomènes d'altération qu'il est parfois difficile de distinguer.

Certaines solutions de protection intègrent les éléments au-dessus de la voûte comme données. Aussi, il ne nous a pas paru possible de dissocier l'ensemble voûte/remplissage/chaussée et nous les traiterons comme un élément interactif vis-à-vis de la protection contre l'action des eaux.

De ce fait, le plan du document est donc le suivant.

Après avoir rappelé l'importance de la protection contre les eaux et les conséquences vis-à-vis de la structure, nous traitons du remplissage et de sa qualité.

Les diverses techniques d'étanchéité font l'objet d'un long chapitre avec les conseils et les avantages ou inconvénients de chacune d'entre elles, ce qui permettra ainsi au projeteur de mieux en choisir une en fonction du contexte.

Enfin, comme la meilleure prévention contre l'action de l'eau est encore de l'évacuer le plus rapidement possible de la zone sensible, un chapitre sur l'assainissement du pont termine ce guide.

## 2 - L'ÉTANCHEITE DANS LE CONTEXTE GENERAL DE LA REPARATION DES PONTS EN MAÇONNERIE

Le présent document ne traite que des techniques d'étanchéité adaptées aux ponts en maçonnerie et ne doit surtout pas être considéré comme un guide sur les méthodes de réparation de ces ouvrages.

Le choix de la technique "étanchéité" doit se placer dans un contexte plus large de confortement ou de remise en état de ces ponts. L'objet de ce guide est UNIQUEMENT de donner des conseils sur la (ou les) meilleure(s) technique(s) de protection contre l'action des eaux une fois l'ouvrage remis en état du point de vue structure.

En effet, les travaux de réparation d'un pont en maçonnerie font appel à de nombreuses techniques soit complémentaires, soit indépendantes de la protection de l'ouvrage contre les eaux. Dans tous les cas, les travaux dits d'*étanchéité* sont à programmer en liaison avec les autres interventions.

L'organigramme ci-après vise à aider dans cette démarche et à replacer l'*étanchéité* dans le processus de réparation d'un pont en maçonnerie.

### AIDE A LA REDACTION D'UN DOSSIER D'INTERVENTION POUR DES TRAVAUX DE PROTECTION CONTRE LES EAUX

A L'OCCASION DES ACTIONS PERIODIQUES DE SURVEILLANCE  
(visites annuelles et inspections détaillées)

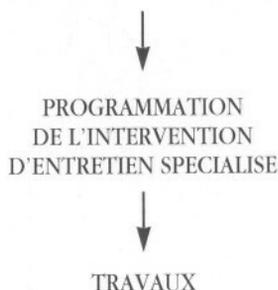
il est rédigé un **RAPPORT** sur l'état de l'ouvrage.

Sur la base de ce rapport, il est possible d'établir un **BILAN** de l'état de l'assainissement et du drainage superficiel de l'ouvrage.

A ce stade, **DEUX OPTIONS** :

Les informations disponibles sont **SUFFISANTES** pour prendre une décision. (L'état de l'ouvrage est particulièrement sain au niveau du remplissage).

L'objectif principal se limite à l'obtention d'une étanchéité satisfaisante.



Traitement de surface par une **ÉTANCHEITE EN POSITION SUPERIEURE** (Cf Chapitre 4.5).

Il est nécessaire de disposer

**D'INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES**

↓  
**ANALYSE  
DU PROGRAMME DE RECONNAISSANCE**  
(Cf Annexe 4).

↓  
Un certain nombre d'éléments (qualité du remplissage, état de la voûte, existence de poussée sur les tympans, ...) laisse penser que l'**INTERVENTION NE DEVRA PAS ETRE LIMITEE A UNE REMISE EN ETAT DE L'ÉTANCHEITE**.

Dans le cas où l'on décide de **conserver l'ouvrage et de le remettre en état**, pour la partie *étanchéité*, il convient d'envisager, sérieusement, **UN TRAITEMENT EN PROFONDEUR**, donc de prévoir une **ÉTANCHEITE EN POSITION BASSE OU INTERMEDIAIRE** (Cf Chapitres 4.3 et 4.4).

↓  
**PROGRAMME D'ETUDES**  
(Voir page ci-après).

## PROGRAMME D'ETUDES

Après une **analyse structurelle de l'ouvrage**, afin de vérifier l'influence de l'intervention sur sa stabilité,

Un **DOSSIER D'INTERVENTION** est préparé, avec l'ordonnancement des travaux et la planification de l'opération (en tenant compte des conditions d'exploitation et des éléments spécifiques au contexte de l'ouvrage, notamment le trafic et les possibilités de déviation).

Dans le cadre de cette préparation, on fera le :

### CHOIX DU TYPE D'ETANCHEITE

#### — BASSE

Toute intervention sur le drainage après exécution de ce type d'étanchéité est à prohiber. C'est au moment de la mise en œuvre de l'étanchéité que l'on procèdera aux divers raccordements des drains à la chape.

#### — INTERMEDIAIRE

Il est possible d'exécuter le drainage du remplissage sous l'étanchéité et après-coup. Par contre, il faut prévoir et mettre en place les systèmes de drainage de la partie du remplissage située au dessus de la chape d'étanchéité.

### CHOIX DU PROFIL EN TRAVERS

C'est à ce stade que sont étudiés les variantes, élargissements, mise en place de dispositifs de retenue, modifications des gabarits,... (L'annexe 4: "analyse du plan de reconnaissance" prend tout son intérêt dans le cas d'un élargissement).

Ainsi que l'analyse des risques de venues d'eau autres que par le dessus (obligatoirement, dans le cas où il est prévu un élargissement). Penser, en particulier, à l'utilisation des tranchées drainantes.



Traitement en profondeur par une **ETANCHEITE EN POSITION BASSE OU INTERMEDIAIRE**  
(Cf Chapitre 4.3 & 4.4).

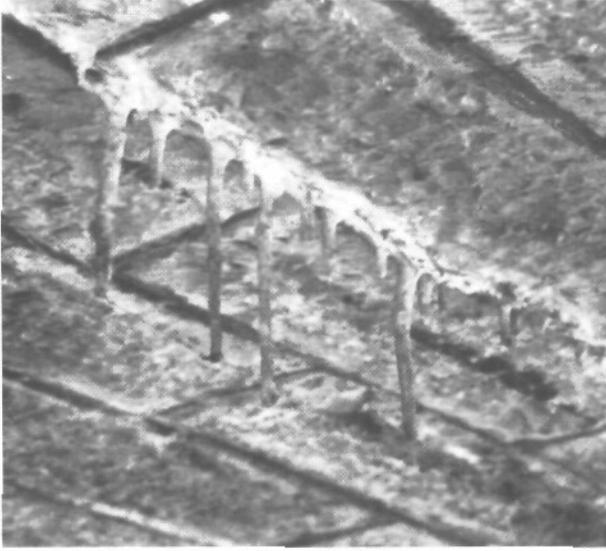


Figure 1  
Stalactites.



Figure 2  
Dissolution des joints entre les pierres.



Figure 3  
Défauts d'évacuation d'un avaloir provoquant un ruissellement sur les tympans avec, comme conséquence, une altération des joints situés dans la partie touchée.



Figure 4  
Conséquences d'une disparition du mortier de jointoiment et descente d'une pierre (à gauche).

## Nécessité d'une protection contre l'action des eaux

*"On peut croire impérissable  
un pont en maçonnerie bien fondé,  
en bons matériaux,  
avec une bonne chape bien protégée"*  
(SEJOURNE 1).

Cette citation résume assez bien l'opinion générale des spécialistes de ce type de structure sur la nécessité d'assurer une protection des ouvrages contre les eaux venant de la chaussée et/ou des trottoirs, ainsi que de la collecte et le drainage du remplissage.

### 1.1 - CONSEQUENCES D'UN DEFAUT D'ETANCHEITE SUR UNE VOUTE

L'action de l'eau sur un pont en maçonnerie peut avoir des conséquences graves sur la stabilité de la voûte, c'est-à-dire de la structure. On notera, cependant, que cette action de l'eau peut se manifester plus ou moins rapidement par des désordres, parfois catastrophiques. On peut distinguer les principaux phénomènes suivants :

- chimique de l'eau de mer, des eaux sulfatées ou, surtout, des eaux chargées en sels de déverglaçage,
- des eaux très pures qui dissolvent la chaux libre libérée pendant la prise,
- des eaux agressives, chargées de gaz carbonique.

#### 1.1.1 - Dissolution du liant des joints

C'est la plus fréquente, compte-tenu de la sensibilité de la plupart des liants anciens à l'action de l'eau. Les conséquences peuvent mettre en jeu A LONG TERME la stabilité de la structure. Voir les figures 1 à 4.

#### a) Action de l'eau

5 La nature des liants utilisés dans les joints des maçonneries a varié au cours de l'histoire de la construction de ces ponts. C'est pourquoi l'action de l'eau peut être différente d'un pont à un autre et être aussi fonction de la nature de l'eau. Ainsi, par exemple, les chaux aériennes se dissolvent dans l'eau pour donner de l'eau de chaux entraînant la dégradation des mortiers de ce type dans l'eau. De même, il y a l'action :

#### b) Conséquences

La décomposition du liant du mortier de jointoiment est la cause du disjointement des pierres, qui provoque :

- une diminution de la cohésion et donc de la rigidité de l'ouvrage et, à la limite, une modification du schéma statique de celui-ci. On peut avoir une dangereuse fragilisation du corps de voûte, notamment sous un trafic de véhicules lourds,
- dans certains endroits, par exemple les zones des douelles comprises entre les reins et la clé, l'appauvrissement de la qualité des joints ou, à la limite, leur absence peut causer la descente de certains voussoirs ou de certaines pierres du corps de la voûte (outre le risque immédiat aux usagers, la stabilité de la voûte peut être mis en cause),
- des affaissements d'ouvrage (modification d'alignement),
- de pressions localisées sur les pierres de la voûte avec des éclatements de ces pierres.

(1) Citation tirée de son œuvre "GRANDES VOUTES".

(2) Les textes repérés en marge par un trait vertical sont des citations extraites de la référence bibliographique citée.

## 1.1.2 - Altération des pierres de la voûte

### a) Origine

Les anciens ont utilisé, pour la construction des ouvrages en maçonnerie, des matériaux locaux ou disponibles à une distance raisonnable du site. Il ne faut pas s'étonner si l'on rencontre parfois des matériaux présentant une sensibilité plus ou moins grande à l'humidité et à l'altération par l'action de cycles de gel/dégel sur des pierres gélives (Fig. 5 et 6). Certaines méthodes d'extraction de la pierre (non-respect du litage géologique<sup>3</sup>,

(3) Les joints de lit de la pierre doivent être perpendiculaires à la courbe des pressions pour éviter une sensibilité à l'altération (Réf. 10, p.37 et 5, p. 19).



Figure 5  
Altération des pierres de la voûte.



Figure 6  
Altération de pierres gélives.

manque de séchage, explosifs,...) peuvent ne pas être étrangères à une susceptibilité du matériau à l'humidité.

### b) Conséquences

Ces altérations ou ces désordres qui affectent la partie résistante de l'ouvrage ont des conséquences similaires à celles provenant de l'altération du mortier : chute de partie de pierre, modification de la géométrie de la voûte par affaissement, etc. Si les pierres sont simplement sensibles à l'humidité, les conséquences seront surtout A LONG TERME; par contre, en cas de pierres gélives, on peut craindre des conséquences A COURT TERME.



Figure 7  
L'humidité entretient une végétation nuisible à la pérennité de l'ouvrage.



Figure 8  
Suintements en intrados  
et éclatement d'une pierre du bandeau de la voûte.

La circulation de l'eau dans les remplissages, par entraînement des fines, modifie la granulométrie du matériau et la répartition des poussées sur les douelles et les tympans.

La stagnation de l'eau dans les remplissages (ou l'altération de ceux-ci) provoque des phénomènes de gonflement/retrait pour les matériaux argileux et, en général, des gonflements sous l'effet du gel. Ces modifications du volume conduisent à des désorganisations des tympans qui, s'ajoutant à d'autres actions, sont la cause de certains déversements (figure 9). La ruine de l'ouvrage en a parfois résulté A COURT TERME.

A noter que les remplissages saturés d'eau transmettent l'intégralité des effets dynamiques sur les tympans, en plus des poussées hydrostatiques, ce qui se manifeste le plus

souvent par des décolllements et des déversements de ces parties d'ouvrages fonctionnant comme des soutènements.

### 1.1.4 - Désordre par humidité permanente

Les suintements au travers des maçonneries maintiennent une humidité quasi-permanente qui va favoriser la présence de la végétation, de lichens ou de moisissures. Le développement de ceux-ci, par les racines ou par les sucres sécrétés, peut être le point de départ de dégradations. En outre, ces suintements, en débouchant, déposent en stalactites les produits solubles entraînés.

En hiver, on peut même observer des stalactites de glace préjudiciables à la sécurité des usagers (chute, limitation du gabarit, ...) et, de toute façon, nuisibles à l'ouvrage (gonflements, pertes de matières, ...). (Fig. 1 & 7).

## 1.2 - CONCLUSIONS SUR LA NECESSITE D'UN BON ETANCHEMENT

Pour protéger correctement les ouvrages en maçonnerie, il apparaît donc nécessaire :

- a) d'évacuer, le plus rapidement possible, les eaux du dessus de la chaussée,
- b) de mettre en place une chape d'étanchéité qui assurera la protection de la voûte et, selon la position de la chape, celle du remplissage,
- c) de prévoir un drainage correct et complet du remplissage, surtout si la chape d'étanchéité est située en dessous (voir ci-après),
- d) de traiter correctement le drainage et l'assainissement des abords et des accès.

Il est bien évident que les ouvrages en maçonnerie peuvent présenter d'autres désordres que ceux cités dans ce chapitre. Citons, par exemple :

- les déversements des tympans, leur déformation en ventre, le décolllement des tympans et des bandeaux, des bandeaux et de la douelle...
- l'existence de fissures ouvertes ou d'écrasement de moellons dans les bandeaux ou dans les douelles.

Les venues d'eau ne peuvent qu'aggraver les conséquences de ces désordres. Les travaux de réparation de ces désordres ne sont pas du ressort du présent guide (voir l'organigramme en Introduction); par contre la mise en place d'une étanchéité peut améliorer sensiblement l'efficacité des réparations.



Figure 9  
On distingue, sur cette photo, un bombement caractéristique consécutif à la poussée d'un remplissage incorrectement drainé.

PONT DE NEUILLI.

pont et à occuper une vingtaine de maçons pour achever de remplir les reins : on a aussi commencé, le 26 du même mois, à déraser le haut des voussoirs et la dernière assise des tympans bien de niveau de chaque côté du pont, ayant cependant observé de donner six lignes de plus de hauteur au sommet des arches, à cause du tassement qu'on prévoyait devoir s'y faire à mesure que le mortier viendrait à sécher.

L'assise du couronnement, qu'on avoit commencé de placer le 27 juin, l'a été entièrement le 20 juillet : on a ensuite posé les parapets (voyez le dessin en perspective, Pl. XII), la maçonnerie et les murs de trottoirs, les socles et recouvrements des pilastres, faits chacun d'une seule pierre, ce qui a été achevé à la fin de la campagne. On a employé deux ateliers de poseurs, dix ouvriers et cinq chevaux au transport de la pierre, vingt-huit maçons, et le nombre de tailleurs de pierre mentionnés ci-devant.

La maçonnerie du dessus des voûtes et des reins a été arrasée entre les trottoirs sur des pentes de 3 et 4 pouces, dirigées de part et d'autre du dessus des piles et du milieu de la largeur du pont vers les quatre ouvertures ou espèces de gargouilles qui avoient été pratiquées sur chaque voûte : ces ouvertures étoient percées dans les voussoirs et leurs prolongements sur 8 pouces de diamètre jusqu'au niveau du pavé, où ces ouvertures étoient réduites à 6 pouces : la moitié de leur circonférence s'est trouvée placée sous les murs des trottoirs.

Le dessus de cette maçonnerie, tant au pont que sur les culées et les arches de halage, a été recouvert d'une chape de ciment et de cailloux de vignes sur 6 pouces d'épaisseur en quatre couches différentes : chacune de ces couches a été frappée en tout sens avec le tranchant d'une espèce de petit battoir, pour la comprimer et en faire sortir l'eau, en fermant les gerçures qui se font ordinairement par la retraite du mortier ; car c'est par ces gerçures, quoiqu'insensibles, que s'introduit l'eau. Chaque couche n'étoit posée qu'après que celle du dessous se

PONT DE NEUILLI.

trouvoit assez dure et sèche, et qu'il n'y paroissoit plus aucune gerçure. La dernière couche a été faite entièrement en mortier de ciment, sur 9 lignes d'épaisseur : elle a été battue et comprimée comme les autres, et le tout s'est trouvé réduit, après cette opération, à-peu-près à 4 pouces : on avoit l'attention de frapper à côté des gerçures pour les mieux fermer. Les vingt-huit maçons mentionnés ci-devant, avec dix-huit manœuvres, ont été tous employés à cette chape de ciment depuis le 4 août jusqu'au 10 septembre.

On trouvera dans le détail du prix des différents ouvrages du pont, celui qui concerne cette chape de ciment.

On a cru devoir entrer dans ce détail, à cause de l'utilité qu'on pourra retirer de ces sortes de chapes en les employant à des terrasses qu'on auroit à faire sur des voûtes, ou pour contenir l'eau dans des bassins, sans qu'on ait à craindre qu'elle puisse pénétrer.

On a fait des ouvertures dans les pierres percées dont on a parlé ci-devant, à la hauteur du dessus de la chape de ciment, pour l'écoulement de l'eau qui s'introduit jusques sur ces chapes après avoir passé dans le sable d'entre les pavés ; et on en reconnoit l'utilité lorsque l'eau de la pluie s'est écoulée du dessus du pavé, parcequ'on la voit ensuite passer par ces ouvertures.

Cette chape a défendu les voûtes de la filtration de l'eau, qui en dissout les mortiers et forme des espèces de stalactites pendantes au droit des joints des voussoirs : il reste cependant quelques parties au pourtour de la pierre des gargouilles qui sont exposées à l'humidité, parceque la chape de ciment n'y a pas pris assez de liaison ; mais il sera aisé de remédier à ce défaut, si cela est trouvé nécessaire par la suite.

On donne, à la Pl. XVIII, fig. 13, 14, 15, 16, 17 et 18, la machine dont on s'est servi pour percer les voussoirs qui servent à l'écoulement des eaux du dessus du pont.

Après avoir achevé toute la maçonnerie et la chape de ciment dont on vient de parler, on s'est occupé à paver les trottoirs en

Figure 10 : Extrait de l'ouvrage "Construire des ponts au XVIIIème siècle" de Peyronnet. Presses de l'ENPC, 1987 (reproduit ici avec l'autorisation des Presses de l'ENPC).

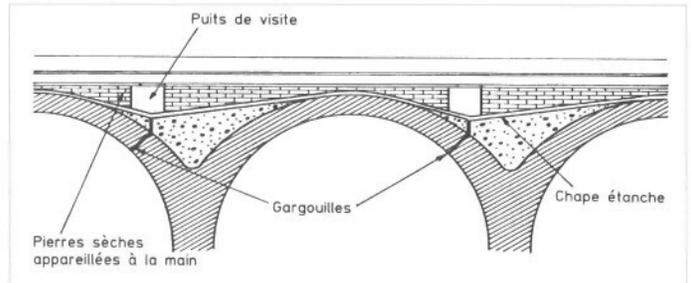
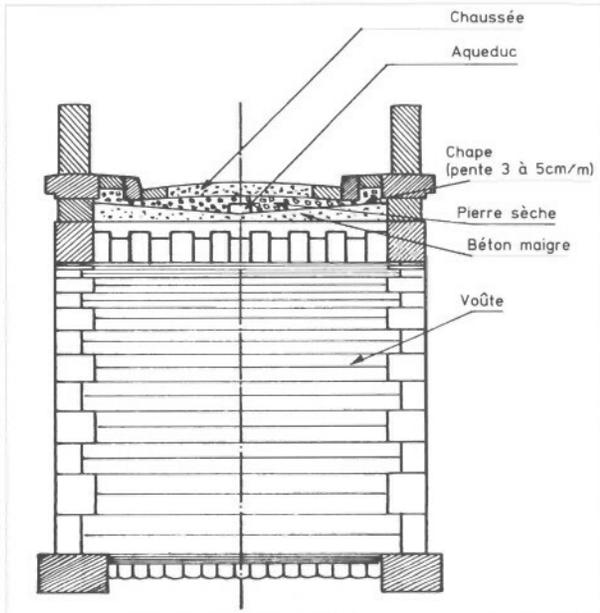


Figure 11 : Exemple de collecte des eaux dans un pont en maçonnerie (d'après Gay, "Ponts en maçonnerie", Paris, 1924).

Figure 11 a ci-contre : coupe transversale.  
Figure 11 b ci-dessus : coupe longitudinale.

## CHAPITRE 2

# Historique :

## la constitution des chapes et de l'assainissement dans l'histoire de la construction des ponts en maçonnerie

### 2.1 - LA CONSTITUTION ANCIENNE DES CHAPES

1 Au XVII et au XVIII ème siècle, la chape était constituée, semble-t-il et à condition qu'elle soit prévue et réellement exécutée, par une chape de "ciment" et de cailloux de vignes fortement comprimée, terminée par une chape de ciment. Le tout constituait une épaisseur totale de 6 + 4 pouces (environ 27 cm). Voir figure 10 (6). Sur certains ponts plus anciens, il est possible de rencontrer une chape faite avec une couche d'argile damée d'environ 5 cm d'épaisseur.

Pour les ouvrages plus récents, les constructeurs se sont orientés vers des chapes en mortier de ciment ou de chaux d'environ 3 à 5 cm et avec des pentes pour l'écoulement. Cette chape est recouverte :

- soit d'un enduit mince de goudron ou de bitume,
- soit d'un revêtement bicouche à base d'asphalte,
- soit, plus simplement, par rien, mais, dans ce cas, on a réalisé une sur-épaisseur de la chape qui passe de 5 à 10 cm

(cas de certains ouvrages anciens construits vers 1850).

Sur certains grands ouvrages, le système suivant a aussi été utilisé :

- une chape en mortier de chaux :  $e = 5$  cm,
- une couche d'asphalte pur :  $e = 7$  à 8 mm,
- une couche d'asphalte sablé :  $e = 17$  à 18 mm,
- une protection en béton poreux :  $e = 5$  à 6 cm.

Vers les années 1945-1950, une étanchéité par une chape en asphalte, type 8 + 15, a parfois été mise en œuvre sur une chape en mortier de chaux.

Ces chapes étaient réalisées directement sur l'extrados de la voûte ; aussi, pour éviter que l'eau ne puisse s'infiltrer sous la chape, cette dernière était relevée sur le parement intérieur du tympan, jusqu'à la plinthe.

Sur cette partie verticale, on a utilisé, assez souvent, du mortier de chaux lissé ( $e = 1$  cm) et une couche d'asphalte pur ( $e = 1$  cm).

### 2.2 - ASSAINISSEMENT

1 Quand un assainissement était à mettre en place les règles de l'art étaient les suivantes :

#### a) Transversalement

Sur un béton maigre ou un mortier, une chape était réglée avec une pente transversale de 3 à 5 cm/m vers l'axe longitudinal central du pont (fig. 11a).

Un remplissage de pierres sèches, avec ou sans aque-

1 duc central, était disposé sur la chape, assurant ainsi le drainage sous la chaussée.

#### b) Longitudinalement

En profil en long, l'eau est envoyée par des pentes vers des gargouilles disposées vers les reins des voûtes (fig. 11 b), ou, si possible, vers la clé pour intervenir plus facilement en cas de colmatage des crépines.

1 Dans certains grands ouvrages, on a parfois collecté les eaux sur pile par une crépine et un tuyau de descente (Voir fig. 18 & 19) débouchant dans une chambre de visite placée à la base de la pile.

Voir aussi le texte de la figure 10 où les dispositifs d'évacuation des eaux infiltrées du pont de Neuilly (XVIIIème siècle) sont décrits. 1

### 2.3 - CONCLUSIONS

1 Ces dispositifs, parfois très élaborés, témoignent du souci des constructeurs de collecter et d'évacuer les eaux percolant au travers de la chaussée pour protéger la maçonnerie des voûtes.

Il reste cependant qu'il s'agit de règles de l'art et que leur application était fonction de l'importance de l'ouvrage et de la compétence du concepteur. Même si

ces dispositions étaient correctement conçues, un entretien défectueux et des interventions humaines mal conduites: fil d'eau au ras du parapet, barbacanes obstruées,... ont pu les modifier profondément.

C'est pourquoi on pourra rencontrer nombre d'ouvrages sans chape et sans dispositif d'assainissement ou avec des dispositions tout à fait originales.

## CHAPITRE 3

# Le matériau de remplissage

### 3.1 - IMPORTANCE DE CE MATERIAU - GENERALITES

Sur les ponts en maçonnerie, compte tenu de la forme de la voûte, il était nécessaire de donner à la chaussée un profil compatible avec les nécessités de la circulation (même de charrettes!). C'est pourquoi on mettait en place entre l'extrados et la chaussée, un **REPLISSAGE** dont le rôle était, en outre, de répartir les charges sur la voûte.

Sur les côtés, ce remplissage est limité par les tympans.

Son absence de rôle structural fait que ce remplissage était souvent constitué de matériaux extrêmement variés (parfois, c'étaient des "résidus" de la construction du pont!).

Seuls quelques grands ouvrages ont été faits avec des matériaux maçonnés à la chaux.

Dans les ouvrages courants, on rencontre, suivant les régions, toute la gamme des matériaux utilisables, allant des sables ou des graves limoneux jusqu'aux argiles très

plastiques, ou, dans les régions minières, des matériaux issus de terrils houillers.

Il semble bien, en outre, que plus les ouvrages étaient modestes, plus les remplissages étaient négligés (Fig. 12 et 13).

D'un point de vue technique, les constructeurs recherchaient des matériaux :

- légers pour ne pas surcharger les voûtes,
- perméables pour éviter les poussées hydrostatiques,
- réduisant la poussée exercée sur les tympans.

De ce fait, les recommandations des auteurs étaient :

- de proscrire l'emploi des "terres",
- d'utiliser des sables ou des graviers lavés,
- de réduire la poussée en utilisant des bétons maigres de chaux (50 à 100 kg/m<sup>3</sup>),
- d'utiliser des pierres cassées ou des moellons bruts.

Figure 13  
Autre aspect d'un remplissage  
sur un ouvrage modeste.

Figure 12  
Exemple d'un remplissage en grave très argileuse sur un petit ouvrage.



## 3.2 - NECESSITE D'UNE RECONNAISSANCE DU REMPLISSAGE

### 3.2.1 - Pourquoi faire un (ou des) sondage(s) ?

Il est bien évident que le programme de reconnaissance va permettre d'acquérir une connaissance de l'ouvrage non limitée au seul remplissage, même si le présent paragraphe ne s'intéresse qu'à cet aspect.

En l'absence du dossier de l'ouvrage, ces sondages aident à établir le dossier technique (Cf Fascicule 30, § 2.2, (2)) et à reconstituer la géométrie interne de l'ouvrage. Par exemple, pour reconnaître l'épaisseur de la voûte, on peut faire appel, dans certains cas, à des perforateurs, type Hilti ou similaire, à foret de diamètre 32 et avec une mèche de 85 cm de long; cette technique a l'avantage d'être peu traumatisante pour l'ouvrage et d'un maniement aisé. Voir annexe 4.

Avant de mettre en place une chape d'étanchéité et un dispositif de collecte des eaux d'infiltration, il est nécessaire de connaître :

- les épaisseurs du matériau de remplissage au-dessus de l'extrados, à la clé et au droit des piles,
- la nature de ce matériau (son homogénéité en particulier),
- et certaines de ses caractéristiques mécaniques.

En effet, il est indispensable de savoir si le matériau situé entre la voûte et les tympans est :

- perméable ou imperméable,
- rigide ou déformable,
- frottant ou cohérent (poussée sur les tympans).

L'étanchement n'est qu'un des aspects du traitement d'un ouvrage d'art. Ces renseignements, que l'on peut considérer comme indispensables, seront également utiles pour la réalisation d'autres travaux de confortation : pose d'une dalle de béton, injection de la voûte ...



Figure 14  
Sur un ouvrage plus important,  
état du remplissage au cours  
d'une opération de dépose.

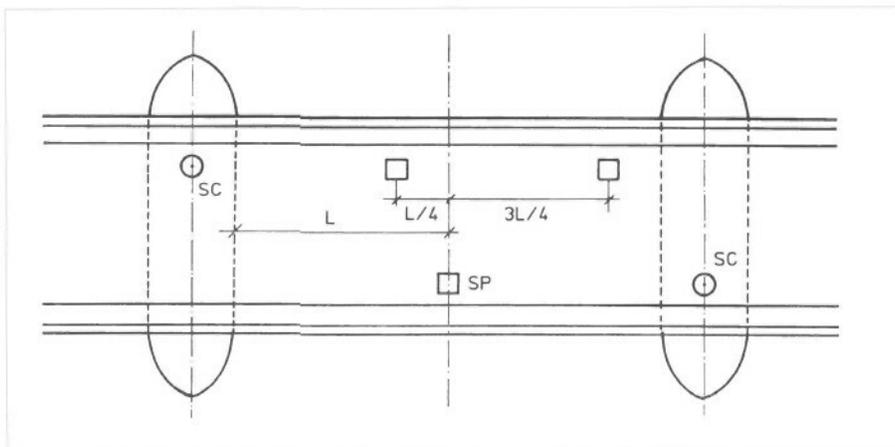


Figure 15  
Implantation de sondages dans un  
pont en maçonnerie  
SC: sondage carotté  
SP: sondage à la pelle.

### 3.2.2 - Le programme de reconnaissance

Un programme d'investigations sera proposé par ailleurs dans le cadre général de la confortation d'un ouvrage. Pour ce qui nous concerne, nous proposons d'intervenir dans trois profils situés :

- à la clé,
- sur pile,
- sur les culées.

Pour les ouvrages importants ayant des arches de grande ouverture, on pourrait ajouter un sondage au 1/4 de la demi-voûte en partant de la clé (et même aux 3/4 si l'on en a les moyens).<sup>4</sup>

A titre d'exemple, on trouvera, en annexe, un plan reproduisant le programme de reconnaissance à mener sur un ouvrage en vue d'établir un dossier technique complet.

#### a) A la clé

Les sondages peuvent être exécutés à la pelle mécanique, au marteau perforateur (et bien sûr à la main).

#### b) Sur pile et culées

Comme il s'agit, bien souvent d'avoir une coupe complète, y compris celle du sol de fondation, on utilisera :

— soit une sondeuse-carotteuse rotative (sondage avec prélèvement de carottes intactes dans la maçonnerie) ; on notera le R.Q.D. (Rock Quality Designation, voir annexe A1 de (1)) ou le taux de carottage,

— soit un waggon-drill (sondage destructif).

Pour recueillir des carottes en bon état, il est recommandé de ne pas carotter dans un diamètre inférieur à 116 mm (carottier double).

Le waggon-drill permet de réaliser du forage économique, mais il ne fournit pas les mêmes renseignements. Il est souhaitable de lui associer un enregistrement de la vitesse d'avancement pour mettre en évidence les niveaux mécaniquement faibles.

La disposition des sondages peut être celle donnée sur la figure 15 et sur le plan en annexe. Le matériau de remplissage sera recueilli pour procéder à des essais d'identification et des essais mécaniques.

### 3.2.3 - Essais sur les matériaux de remplissage

#### a) Matériaux meubles

— Essais d'identification : teneur en eau, granularité, équivalent de sable, limites d'Atterberg si possible.

— Essais mécaniques : essais statiques à la plaque sur le fond de forme (mode opératoire LCPC : Essai à la plaque du 20.12.1972).

#### b) Maçonnerie

On procédera à la vérification des épaisseurs et à l'identification de la maçonnerie.

Naturellement, le type et le nombre d'essais seront à adapter en fonction :

- de l'importance de l'ouvrage,
- de la nature du matériau de remplissage,
- des moyens et du temps dont on dispose.

Le nombre de sondages devra être suffisant pour se faire une idée assez exacte de l'homogénéité du matériau. Dans chaque sondage, on notera soigneusement la cote des différents matériaux rencontrés en les désignant par leur appellation géotechnique (classification LCPC à vue).

## 3.3 - ENLEVEMENT ET REMPLACEMENT DU REMPLISSAGE

### 3.3.1 - Quand enlever ?

Il est posé en préliminaire que si le matériau de remplissage n'a pas de bonnes caractéristiques, il **DOIT ÊTRE TOTALEMENT ELIMINÉ** (par décaissement total). La déci-

sion à prendre ne doit pas, cependant, être liée à des concepts trop simples, car il convient d'avoir présent à l'esprit qu'un remplissage de qualité *a priori* médiocre peut avoir évolué dans le temps en créant une contrevoûte rigide : **il est alors souhaitable de ne pas toucher, sans précautions, à un équilibre somme toute satisfaisant.** Attention, en particulier, à la stabilité des tympans retenus par des tirants transversaux.

Certes, le décaissement est une opération lourde qui impose l'interruption de la circulation sur l'ouvrage ; cette

(4) Pour avoir une meilleure connaissance de l'épaisseur des tympans, on peut effectuer des sondages au perforateur (voir en tête du 3.2.1) ou des sondages obliques.

décision d'enlever doit être prise après une étude préliminaire sérieuse (voir en particulier le § 3.3.2 ci-après).

Cette question sera assez fréquente, car il semble que, pour les ouvrages courants, les constructeurs se soient assez peu préoccupés de la nature et de la qualité du matériau de remplissage.

## IMPORTANT

### 3.3.2 - Vérification à faire avant de procéder à un décaissement

Avant de procéder à une intervention de type décaissement partiel ou total, il est obligatoire, si l'on ne veut pas risquer un accident grave, de procéder à une vérification de la stabilité de la voûte sous l'influence des remblais.

Il est indispensable de consulter des spécialistes (Laboratoires régionaux, Division Ouvrages d'Art des CETE, SETRA, certains bureaux d'études expérimentés) avant de s'engager dans cette voie.

Par ailleurs, des outils de calcul sont à la disposition des services pour juger très rapidement d'une instabilité éventuelle. Il s'agit du programme VOUTE mis au point par le CTOA du SETRA et présenté dans "Les Ponts en Maçonnerie" (5) (voir fascicule 2, § 1.2.7.4 et p. 57 à 62)<sup>5</sup>.

A titre d'illustration, ce document donne un exemple de résultat de calcul où l'on voit qu'il existe des hauteurs minimale et maximales de remblai (dans l'exemple respectivement 0,3 m et 11,9 m) au delà desquelles la voûte est réputée instable.

D'autres critères sont à retenir. Par exemple, le type de voûte (le cas d'une voûte ogivale est flagrant), son état: si elle présente des décompressions, il se peut que le remplissage soit mis en compression et participe à la stabilité.

### 3.3.3 - Comment enlever ?

Pour les ouvrages courants, les volumes de matériaux à déposer ne sont pas considérables.

Les engins couramment utilisés sont donc des pelles mécaniques, des chargeurs, des sauterelles et bien sûr la pelle pour terminer le dégarnissage au droit des piles (Fig. 12 & 14).

Le dégarnissage au voisinage de l'extrados doit être effectué avec beaucoup de précautions en présence d'un représentant qualifié du Maître d'Œuvre, car la transition entre l'extrados de la voûte et le remplissage n'est pas toujours très nette et il faut veiller à ne pas toucher à la voûte.

Le travail s'effectue de façon symétrique en partant de l'axe vers les rives, mais ce n'est pas toujours strictement indispensable et un enlèvement "à reculons" facilite l'évacuation des matériaux, sous réserve d'une justification préalable de la stabilité (§ 3.3.2).

Il faut éviter de piéger l'eau pendant les travaux ; aussi, des dispositifs d'évacuation doivent être mis en place s'il n'en existe pas.

### 3.3.4 - Que remettre ?

Les matériaux doivent satisfaire aux caractéristiques ci-après; ce qui, *a contrario*, signifie que les matériaux de remplissage en place ne satisfaisant pas à ces critères devraient être déposés. Il est cependant conseillé de ne pas s'en tenir qu'à ce seul aspect de la question.

Ces matériaux doivent être :

- drainants : à faible pouvoir de rétention d'eau,
- insensibles à l'eau,
- sans phénomènes de gonflement, ni de retrait,
- faciles à mettre en place avec une faible intensité de compactage,
- non déformables ou peu déformables (capable de protéger les chapes contre le poinçonnement).

La tenue de la chaussée, et, dans la plupart des cas, celle du complexe étanche, est largement conditionnée par la mise en place d'une bonne couche de fondation.

Il faut donc s'orienter vers des matériaux à granularité "ouverte" renfermant peu de fines, tels que les sables ou graves propres.

Si l'on ne veut pas extraire tout le matériau de remplissage et si l'on veut ne procéder qu'à un décaissement partiel dans la zone où il est en forte épaisseur (au voisinage des piles), pour obtenir une bonne plate-forme, il ne faut pas descendre au-dessous de 0,80 m d'épaisseur de substitution.

Les matériaux de remplissage doivent satisfaire aux règles de la RTR<sup>5</sup> relatives aux matériaux classés: B<sub>1</sub> - B<sub>3</sub> - D<sub>1</sub> - D<sub>2</sub>, dont nous donnons ci-après les caractéristiques (Pour plus de détails, voir (1)):

(5) Ce programme est actuellement géré par la DOA du CETE de Lyon.

(6) Recommandations pour les Terrassements Routiers, Ministère de l'Équipement, LCPC - SETRA 1986.

	B <sub>1</sub>	B <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>
D	< 50mm	< 50mm	< 50mm	< 50mm
< 80 μm	5 à 12%	5 à 12%	< 5 %	< 5%
> 2 mm	< 30%	< 30%	< 30%	> 30%
ES	> 35	> 25		

B<sub>1</sub>: Sables silteux  
 B<sub>3</sub>: Graves silteuses  
 D<sub>1</sub>: Sables alluvionnaires propres - sables de dunes  
 D<sub>2</sub>: Graves alluvionnaires propres

#### Remarques:

- Les matériaux recommandés sont donc aptes à être utilisés en couche de forme. Bien entendu, un sable en place dont l'équivalent de sable serait de l'ordre de 30 n'est pas forcément à rejeter. Notamment, on peut admettre un matériau classé B<sub>2</sub> dont l'équivalent de sable serait supérieur à 30

- Ces matériaux, à angle de frottement interne généralement élevé, donneront une poussée faible sur les tympans (problème des tympans qui basculent).

- Dans les grands ouvrages, on rencontre souvent des matériaux maçonnés (à la chaux) qui seront conservés. Une couche-support devra être rapportée pour assurer une certaine homogénéité (béton maigre, béton de chaux).

### 3.3.5 - Cas particulier du traitement de la zone

A la clé, on atteint rarement des épaisseurs dépassant 0,80 m. D'après les renseignements recueillis, les épaisseurs au-dessus de la voûte, chaussée comprise, varient dans les fourchettes suivantes:

- couramment : de 0,20 à 0,50 m,
- parfois : de 0,10 à 0,80 m.

Dans la zone de clé, les spécialistes ont le souci de ne pas mettre un matériau de remplissage trop rigide introduisant un "point dur" et créant une zone de concentration de contrainte.

La solution, souvent envisagée, d'un remplissage en béton maigre (dosé à 4 à 5% en poids de ciment) est une question fort controversée. Si ce type de remplissage présente l'inconvénient de créer un point dur pouvant entraîner des désordres (ce que, pour l'instant, on ne semble pas avoir observés), il présente, aux yeux de certains, l'avantage de diminuer les poussées sur les tympans, de limiter les circulations d'eau et d'être un excellent support de chape. Le débat reste donc ouvert et la décision est affaire de circonstances.

Il est préférable de s'orienter vers une solution du type de celle présentée à la figure 16 et qui comporte :

- l'extraction des mauvais matériaux et leur remplacement dans la zone 1 par un matériau conforme aux caractéristiques données en 3.3.4,
- la mise en place, dans la zone 2, sur la totalité de l'ouvrage, d'une couche de 0,30 à 0,50 m d'épaisseur d'un sable propre de classe B<sub>1</sub> ou D<sub>1</sub>.

Ces matériaux, relativement fins, à granularité resserrée, sont perméables et se mettent en place correctement avec une faible intensité de compactage. Une réserve est cependant à formuler pour les matériaux de classe D1 qui peuvent poser un problème de circulation de chantier.

La poussée sur les tympans est faible :

- angle de frottement interne élevé,
- faible rétention d'eau et disparition de la poussée hydrostatique, si un drainage général est prévu par ailleurs (voir § 5.3).

Naturellement, l'épaisseur à la clé est fonction de la hauteur disponible.

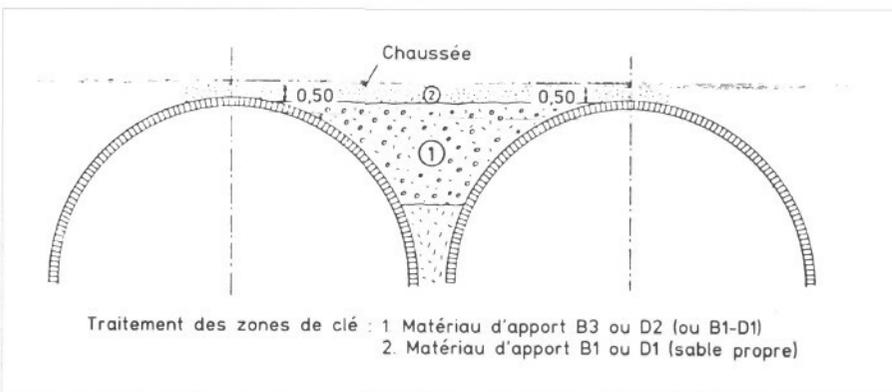


Figure 16: Elimination d'un remplissage défectueux; remplacement par un matériau correct.

### 3.3.6 - Mise en œuvre du remplissage

Pour cette opération on s'inspirera très utilement des conseils donnés dans le document "Buses métalliques,

Recommandations et Règles de l'art" (9); en particulier les paragraphes 6.2.4: "mise en œuvre des matériaux de remblai" (§ 6.2.4.3 - remblais latéraux de butée) et § 6.2.5: "contrôle des matériaux de remblai et de leur mise en œuvre".

### 3.4 - DRAINAGE DES EXTREMITES

L'efficacité d'un remplissage ne sera complète que si l'on traite correctement son drainage, notamment aux

extrémités. Cet aspect fait l'objet du § 5.3 auquel il est fait renvoi ici.

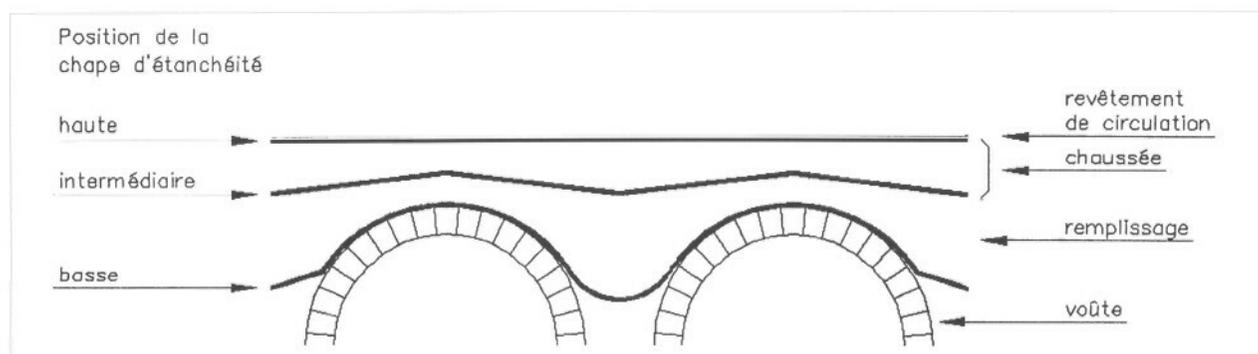


Figure 20: les différentes positions d'une étanchéité.

## CHAPITRE 4

# La chape d'étanchéité

### 4.1 - LES POSSIBILITES DE PASSAGE DE L'EAU

On pourrait croire que les revêtements de chaussée actuels, qui ont une compacité de l'ordre de 90 à 96%, présentent une imperméabilité suffisante pour empêcher le passage de l'eau.

En fait, il y a d'énormes variations de la compacité parce que :

- la dispersion due à la fabrication, au répandage et au compactage, induit des zones de moindre compacité (perte aux endroits les moins denses de 1 à 2 points de compacité absolue),
- le mode de répandage actuel est la cause de gradients de densité au sein de la couche,
- les joints longitudinaux et transversaux sont des points faibles pour la compacité,
- les bords de bande, sur une vingtaine de centimètres, à cause de la présence des bordures ou des parapets, sont quasiment impossibles à compacter correctement.

Enfin, les fissures qui apparaissent, en service, dans le revêtement sont une voie préférentielle de la pénétration de l'eau.

Quand bien même ces revêtements seraient étanches, il y a toutes les possibilités de passages par les discontinuités telles que les bords, les extrémités, les traversées, etc.

Et c'est ce qui fait la différence entre un matériau étanche et une chape d'étanchéité sur un pont.

Très fréquemment, la chaussée des ponts en maçonnerie ne comporte pas de dévers ou est horizontale en profil en long. Comme ces ouvrages sont situés sur des cours d'eau, donc en fond de vallée, la voie portée présente alors un point bas à leur niveau. Ceci ne facilite pas l'évacuation des eaux de ruissellement. Sur les pentes : voir le § 5.2.

Par ailleurs, les trottoirs, s'ils existent, sont souvent constitués de terre ou de pavés mal jointoyés, favorisant le développement de la végétation, les fils d'eaux sont boueux, etc. Les chapes en asphalté parfois appliquées n'assurent qu'imparfaitement leur rôle du fait des difficultés aux bords et de leur retrait.

Pour ces raisons, les eaux de ruissellement s'accumulent sur l'ouvrage, accumulation souvent favorisée par un entretien insuffisant des fossés d'écoulement aux accès à l'ouvrage.

En conclusion, il apparaît peu raisonnable de compter sur le revêtement de la chaussée pour assurer une protection contre l'eau et il est nécessaire de mettre en place une chape d'étanchéité efficace.

Cependant, il n'est pas exclu d'envisager, dans certains cas limites, d'obtenir une nette amélioration en reprenant le revêtement de chaussée jusque et y compris sous trottoir et en revoyant les pentes.

### 4.2 - LES DIFFERENTES POSITIONS DE LA CHAPE D'ETANCHEITE SUR UN PONT EN MAÇONNERIE (voir figure 20)

Les spécialistes qui se préoccupent de l'étanchement de ces ouvrages distinguent trois positions possibles pour le niveau de la chape d'étanchéité.

#### a) Position basse

L'étanchéité est réalisée au niveau de l'extrados de la voûte.

#### b) Position haute (ou de surface)

L'étanchéité ou la couche étanche est immédiatement placée sous la couche de roulement; parfois même, cette dernière assure la double fonction d'étanchéité et de support de trafic.

### c) Position intermédiaire

Dans ce cas, l'étanchéité est réalisée après un décaissement partiel et elle est située sous les couches de la chaussée.

Chacune de ces positions a ses avantages et ses inconvénients et fait appel à des techniques bien spécifiques fonctions de cette position. C'est pourquoi nous développerons dans ce chapitre, les éléments d'appréciation permettant de faire un choix de la position et de la technique de la chape d'étanchéité.

## 4.3 - LA CHAPE D'ETANCHEITE PLACEE DIRECTEMENT SUR L'EXTRADOS

### 4.3.1 - Evaluation

#### a) Avantages

Parce qu'elle est au contact de la partie à protéger, cette disposition donne, en principe, **une bonne efficacité et évite les risques de passage** des éléments agressifs **entre la chape et la structure**. Elle est bien adaptée au cas d'un remplissage douteux ou franchement mauvais, qui doit être remplacé.

Elle permet de refaire le queutage et de sceller les pierres de la voûte. Fig. 17 a et b.



Figure 17 - Quelques aspects de l'état d'une maçonnerie après décaissement complet.

a) Etat des tympan (ci-dessus).

b) Etat de la voûte (ci-dessous).

En cours: remise en état de l'extrados. Un ragréage des joints aurait été souhaitable avant l'exécution de la chape support d'étanchéité. La stabilité de la structure aura été vérifiée au préalable.



#### b) Inconvénients

Parce qu'elle impose un décaissement total, cette disposition entraîne des **travaux de longue durée** dont les délais sont souvent difficiles à concilier avec les exigences de la circulation.

Cependant, si le remplissage est de mauvaise qualité, il faut accepter ce sacrifice pour avoir un ouvrage d'un bon niveau de service.

Le **décaissement rend obligatoire la vérification de la stabilité de la voûte** pendant cette phase. Voir le § 3.3.2 ci-dessus.

En cas de défaillance localisée de la chape, pour une raison ou une autre, il sera **extrêmement difficile**, pour ne pas dire impossible, de revenir à la chape et y effectuer la **réparation ponctuelle nécessaire**.

Elle impose le **relevé de la couche étanche sur une hauteur notable, voire toute la hauteur de la surface verticale des tympan**, ce qui constitue une opération souvent délicate. Ces relevés ont pour but d'éviter les infiltrations d'eau derrière la chape.

Enfin, l'opération d'étanchement de l'ouvrage ne sera complète que si l'on **associe** la mise en œuvre d'une **chape** à celle d'un **remplissage** de bonne qualité et à un bon **drainage** de celui-ci; en effet, le moindre défaut de drainage du matériau de remplissage aura pour conséquence une poussée hydrostatique sur les tympan. On notera, sur ce point, que sa mise en place d'un drainage nécessite des traversées de la chape, selon des dispositions fiables et efficaces (ce qui n'est pas toujours facile à faire). Fig. 19.

#### c) Conclusions sur cette disposition

Cette position de la chape sur l'extrados est la solution la plus intéressante et la plus efficace. Elle doit être la règle dans tous les cas suivants, qui peuvent être concomitants:

- existence d'un remplissage de mauvaise qualité,
- lorsque la voûte reste stable, même décaissée,
- lorsque la réparation de l'ouvrage nécessite des interventions par ailleurs (décaissement, par exemple),



Figure 18 - Etanchéité avec un bicouche asphalte sur papier kraft à trous. Noter l'exécution de pentes vers les avaloirs.

— lorsque le délai de coupure de la circulation n'est pas primordial. Sur ce sujet délicat, il convient de noter qu'il ne s'agit pas d'un critère technique et que, bien souvent, une politique de concertation et d'information auprès des usagers peut faire bien accepter une gêne momentanée.

## 4.3.2 - Les techniques de chape

La succession des opérations et les produits utilisés sont conformes à ce qui suit :

### 4.3.2.1 - Décaissement total (partiel sur pile)

Il doit être suffisant pour assurer l'écoulement des eaux vers les gargouilles. Les matériaux qui ne répondent pas aux recommandations sont enlevés.

### 4.3.2.2 - Support de la chape

On profite de cette occasion exceptionnelle que constitue un décaissement d'ouvrage pour procéder à la reconstitution du corps de voûte (rejointoiement en particulier).

Ensuite, on exécute un support réglé en béton de chaux ou sable-chaux de 0,10 m d'épaisseur sur l'extrados de la voûte.

Sur appui, le béton de propreté aura 0,20 m d'épaisseur.

La chaux hydraulique est recommandée pour diminuer les risques de retrait.

Les sables-chaux utilisés par la SNCF depuis de nombreuses années ont la composition suivante :

- sable propre 0/6,3,
- chaux hydraulique XCH 100 - 5 à 7% (du poids du sable).



Figure 19 - Mise en place des évacuations comportant une platine pour "prise en sandwich" dans la chape.

Une forme de pente sera donnée de l'axe de la pile vers les retombées des voûtes adjacentes où seront établies les gargouilles.

Transversalement, une pente de 1 cm/m des tympans vers l'axe longitudinal de l'ouvrage (voir fig. 11 a) est souhaitable.

### 4.3.2.3 - Mise en œuvre de la couche d'étanchéité

Comme l'importance du marché de chape d'étanchéité sur extrados de ponts en maçonnerie ne justifie pas la mise au point de techniques spécifiques à ce contexte, l'habitude a été prise de reprendre certaines techniques de chapes sur support en béton de ciment conformes au F 67, titre I, du CCTG (4).

Cependant, les sollicitations subies par la chape, principalement celles venant des couches supérieures, étant de nature un peu différentes, il est possible d'admettre des complexes non retenus par le F 67.

Nous déconseillerons les chapes par film mince adhérent au support car, dans l'état actuel de la technique, ces produits s'adaptent mal à des supports irréguliers et ont des performances de tenue à la fissuration insuffisantes dans ce contexte.

On pourra donc prévoir dans les marchés les étanchéités de type suivant :

#### a) Bicouche asphalte

Dénoté "8 + 22" ou "6 + 24". Voir F 67, articles 7.1 et 11.1 et STER 81, sous-dossier E, chapitre II.

Le Fascicule 67 et le STER 81 prévoient que, pour les chapes sur support en béton, la protection de la chape

est assurée par une couche d'asphalte gravillonné de 22 ou 24 mm; mais celle-ci peut être remplacée par une couche de 15 mm d'asphalte sablé, si le matériau venant sur la chape est peu "agressif" (sable ou gravillons roulés par ex.). Fig. 18.

Certains préconisent l'usage d'une contre-chape de protection sur cette couche d'étanchéité; pour notre part, nous ne voyons pas l'utilité de cette contre-chape qui fait double emploi avec la couche d'asphalte gravillonné qui joue ce rôle.

Cependant, si le Maître d'œuvre l'estime utile pour des raisons inhérentes au contexte de l'ouvrage, il appliquera les recommandations du § 8.1.1.4 de la référence bibliographique (1).

La première couche d'étanchéité en mastic d'asphalte doit être relevée verticalement sur les tympans. Cepen-

dant si, techniquement, l'application d'une couche de mastic d'asphalte sur une paroi verticale est possible, elle nécessite un certain doigté que beaucoup d'asphalteurs ne possèdent plus et est longue donc coûteuse. C'est pourquoi on lui préfère celle d'une feuille préfabriquée (voir ci-après).

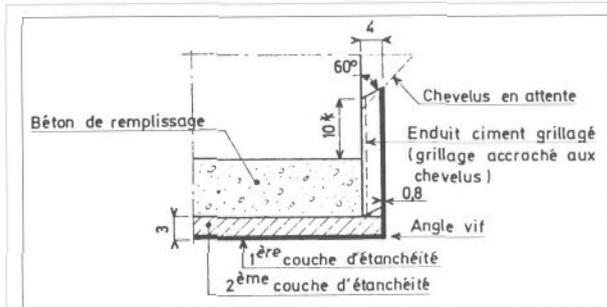
## b) Feuille préfabriquée

On pourra se référer aux prescriptions du F 67, art 7.3 et 11.3 (4) et aux conseils du guide STER 81, dossier E, chapitre IV (3).

Par rapport aux procédés conformes au F 67, il semble possible d'accepter en variante:

— le collage par bitume d'apport (ou EAC: enduit

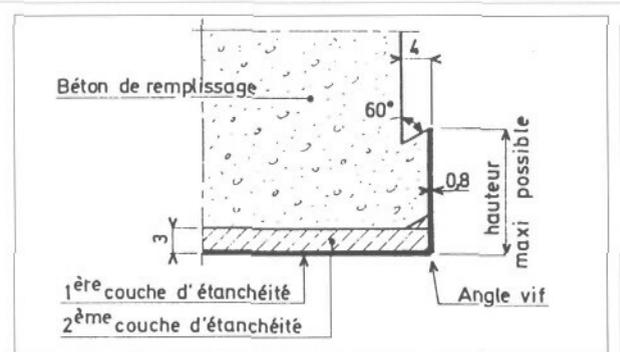
Figure 21 : différentes solutions de relevés d'étanchéité.



Apparente (solution conseillée).

\* Cette cote de 10 cm au dessus du niveau de la chaussée ou des eaux est celle qui permet de mettre la partie supérieure du relevé "bors d'eau".

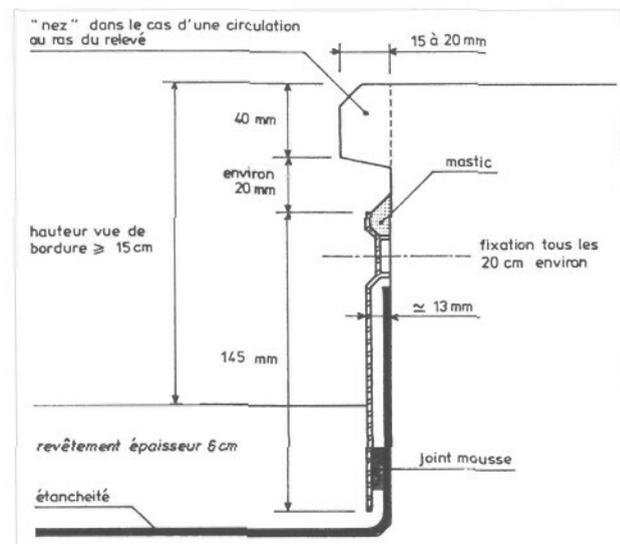
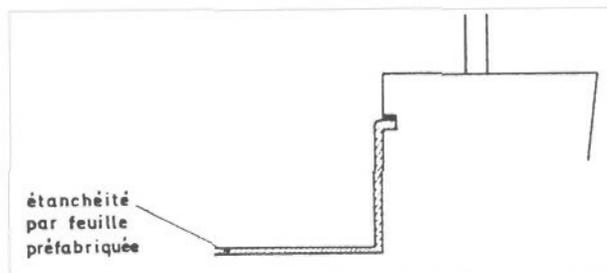
a) dans une engravure (3).



Cachée (à retenir si l'engravure apparente est impossible à réaliser : absence de support, par exemple).

c) dans une bande de solin métallique.

b) dans une saignée (3).



d'application à chaud) si les surfaces d'application ne sont pas trop inclinées (les tympans sont exclus),

— les feuilles recevant une protection par une contre-chape en asphalte gravillonné de 25 mm d'épaisseur.

Les procédés commerciaux sont le B3A de SMAC ACIEROÏD, PARAFORIX A de SIPLAST, SOPRALENE FLAM ANTI ROC ASP de SOPREMA, etc. (liste non limitative).

Ces derniers complexes sont techniquement intéressants, car ils permettent :

— de réaliser la chape horizontalement et verticalement avec des produits identiques, faciles à mettre en œuvre et performants,

— d'incorporer la contre-chape de protection,

— et, comme pour la solution "bicouche asphalte", d'exécuter une contre-chape complémentaire.

Pour éviter un contournement de la chape posée sur les tympans et pour assurer sa tenue, il faut réaliser une "fermeture" des bords. Pour cela, on réalisera un relevé d'étanchéité dans :

— une engravure conforme au F 67, titre I, article 9.1.2.3. (voir aussi les dessins dans le STER 81, sous-dossier E, chapitre I, encart), fig. 21 a,

— une saignée (voir STER 81, réfection, page 20), fig. 21 b,

— un solin métallique. Fig. 21 c, 22 & 23. On doit rejeter l'emploi de produit fabriqué localement, avec une protection contre la corrosion insuffisante (l'acier doit être galvanisé et l'aluminium est, de loin, préférable) (voir figure 23).

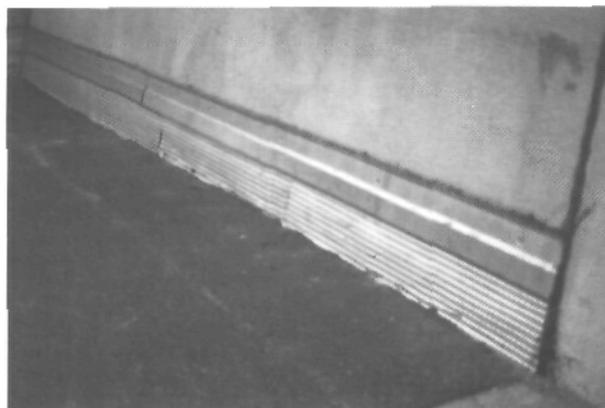


Figure 22  
Aspect fini d'un relevé de chape dans une bande de solin métallique.



Figure 23  
Pose d'une bande de solin métallique inadaptée (voir le profilé sur le muret).

## 4.4 - LA CHAPE D'ETANCHEITE EN POSITION INTERMEDIAIRE

### 4.4.1 - Evaluation

#### a) Avantages

Elle permet de réaliser l'étanchement **relativement rapidement en reprenant** partiellement ou totalement le **corps de la chaussée**, dont, bien souvent, le dimensionnement n'est pas adapté au trafic.

Le **traitement des parties** sous trottoirs et des **relevés** est assez aisé.

Elle évite des décaissements importants sur appui.

De tout ceci, il résulte un **rapport qualité/coût** séduisant.

#### b) Inconvénients

Là encore, le fait de décaisser, même partiellement, oblige à **procéder obligatoirement à une vérification de la stabilité de la voûte** (voir § 3.3.2). Cette précaution est parfois négligée car on estime, souvent à tort, que le décaissement reste d'importance modeste pour sembler mettre en cause la stabilité de l'ouvrage. L'exemple donné dans le dossier "*Ponts en Maçonnerie*" et rappelé au § 3.3.2, montre que cela peut ne pas être le cas.

Bien entendu, le **remplissage**, s'il n'est pas déposé, doit être d'une **qualité aussi proche que possible des spécifications** données au § 3.3.4, sinon on perdra rapidement le bénéfice de l'opération.

Cette solution dans laquelle l'étanchéité n'est pas directement au contact de la partie à protéger fait que le **risque de circulation d'eau entre la voûte et la chape** est loin d'être nul, surtout avec un matériau de remplissage perméable par essence. Ceci oblige :

— à **bien traiter les extrémités** de l'ouvrage pour éviter ou limiter au maximum les venues d'eau venant des remblais d'accès (voir le 4.4.2.4, ci-après),

— à **mettre en œuvre une surface apte** à recevoir, sans désordres pour elle, la couche d'étanchéité,

— à **drainer parfaitement le remplissage**, pour pallier à la *défaillances éventuelle de la chape*.

Enfin, pour éviter toute stagnation d'eau dans le corps de la chaussée, des dispositions constructives devront **faciliter le drainage au dessus de la chape**.

## c) Conclusions

Cette solution d'étanchement paraît bien adaptée au cas d'un ouvrage dont la voûte et le remplissage sont en bon état, mais dont la structure des couches de chaussée et l'étanchéité sont défectueuses.

La relative rapidité d'exécution et la facilité de mise en œuvre constituent aussi un élément d'attrait qui oriente parfois trop rapidement le choix sans tenir compte de l'état général de l'ouvrage.

Cette technique n'est pas adaptée au cas des voûtes en arc surbaissé, car on dispose d'une épaisseur insuffisante à la clé et le décaissement serait trop près de la voûte.

## 4.4.2 - Les solutions techniques

### 4.4.2.1 - Présentation générale

Les produits auxquels il est fait appel sont utilisés dans d'autres domaines du génie civil et leur emploi en étanchéité de ponts est spécifique au cas des ouvrages en maçonnerie. C'est pourquoi nous avons pensé utile de donner quelques conseils pour leur bon usage.

### 4.4.2.2 - Décaissement

On procède à un décaissement partiel (moyennant les *précautions déjà indiquées, voir § 3.3.2) correspondant à une épaisseur supérieure de 10 à 15 cm à l'épaisseur de la chaussée nécessaire (voir Catalogue type des structures de chaussées neuves DRCR - SETRA - LCPC 1977).*

A la clé, il peut arriver que la hauteur disponible soit

insuffisante et que l'on soit sur l'extrados; un examen des hauteurs disponibles est donc à faire avant de lancer la consultation.

Le réglage du remplissage est fait à la cote prévue.

### 4.4.2.3 - Mise en œuvre de l'étanchéité

La couche d'étanchéité peut être réalisée suivant trois techniques :

— les géomembranes (de 2 m ou 4 m de large) en bitume élastomère armé,

— les nappes en PVC ou similaire,

— les bicouches asphalte ou les feuilles préfabriquées.

Chacune de ces techniques a ses précautions d'emploi et est adaptée à un type de support.

#### a) Les géomembranes en bitume élastomère armé

Il s'agit, entre autres, des géomembranes TERANAP 431 TP, commercialisée par SIPLAST et COLETANCHE NTPES commercialisée par COLAS.

La chape est mise en œuvre sur un support constitué par le remplissage correctement réglé et compacté. Selon la granulométrie du support, on interpose une protection par un géotextile anti-poinçonnant non tissé de grammage adapté (200 à 700 g/m<sup>2</sup>). Une couche de sablon de 5 cm d'épaisseur environ et correctement damée constitue aussi une solution alternative.

La mise en œuvre de la nappe est faite conformément aux prescriptions du cahier des charges du produit qui sera obligatoirement rendu contractuel et disponible sur le chantier. La couche support peut aussi être réalisée en grave stabilisée au liant hydraulique ou en grave bitume.

La grave bitume paraît plus intéressante pour les raisons suivantes :

— elle ne nécessite pas de délais d'attente pour la prise,

— elle est souple, donc n'introduit pas d'élément perturbateur dans le fonctionnement de l'ouvrage,

— elle est relativement peu perméable,

— à efficacité égale, elle demande moins d'épaisseur donc un décaissement plus faible.

Pour ces techniques nous ferons, dans l'état actuel de nos connaissances, les observations suivantes.

α) Ces nappes ne peuvent pas recevoir directement une couche de chaussée mise en œuvre à chaud à 140-



Figure 24  
a) La mise en œuvre d'une géomembrane en position haute est DECONSEILLÉE.



b) L'absence d'adhérence au support entraîne la formation de plis préjudiciables à la tenue de l'enrobé. En outre, lors de la mise en œuvre d'un enrobé chaud, on a observé des fusions de la chape.

160° (grave bitume par exemple) car l'apport calorifique provoque une fusion du liant de la chape et une remontée de celui-ci dans le matériau bitumineux dont la conséquence est une forte diminution de l'épaisseur de la chape, voire sa disparition. Plus la couche de chaussée est épaisse et plus la fusion est marquée (fig. 24 b).

C'est pourquoi, dans ce cas, il faut prévoir l'interposition d'un écran thermique entre la membrane et la couche sus-jacente (fig. 27). Ce peut être, par exemple, un non tissé de 200 à 300 g/m<sup>2</sup>.

La figure 26 présente une coupe type d'une chaussée comportant une étanchéité en position intermédiaire.

β) Comme tous les systèmes d'étanchéité, l'efficacité de ces nappes est tributaire des bonnes dispositions techniques prises pour traiter les relevés sur les maçonneries,

Figure 25  
Mise en œuvre manuelle d'une grave bitume sur une géo-membrane protégée par un géotextile non-tissé.



l'arrêt aux extrémités de l'ouvrage (Cf § 4.4.2.4 ci-dessus) ou la liaison avec les traversées (raccordement aux dispositifs d'évacuation des eaux, fig. 19).

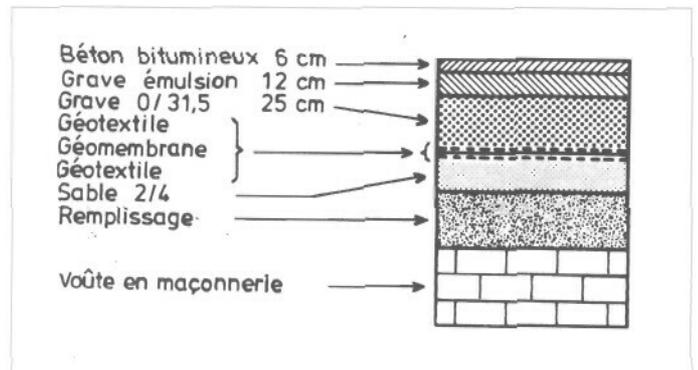
Pour les relevés, certaines documentations présentent des solutions dont l'efficacité dans le temps reste douteuse; aussi nous conseillons de réaliser des relevés d'étanchéité conformes aux conseils donnés à la fin du § 4.3 et sur la figure 21.

### b) Les nappes en PVC (ou similaires)

Il s'agit de produits issus de la technologie de l'étanchéité des cuvelages, passages souterrains et tunnels.

Par rapport aux géomembranes, on notera leur insens-

Figure 26  
Exemple d'une coupe de la chaussée dans le cas d'une étanchéité en position intermédiaire.



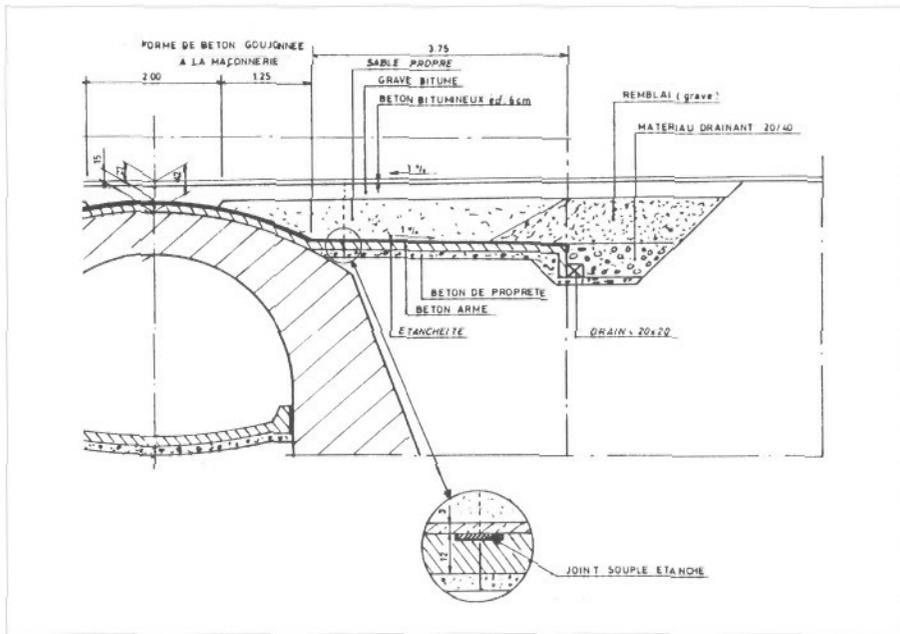


Figure 27  
a) Disposition type d'une étanchéité en position intermédiaire sur une forme en béton armé.

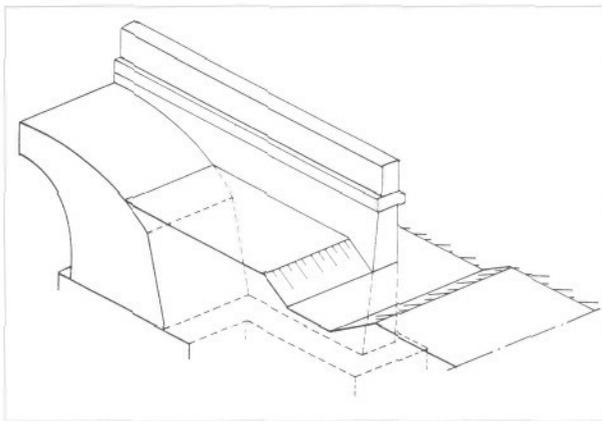


Figure 27  
b) Perspective montrant les terrassements préalables.

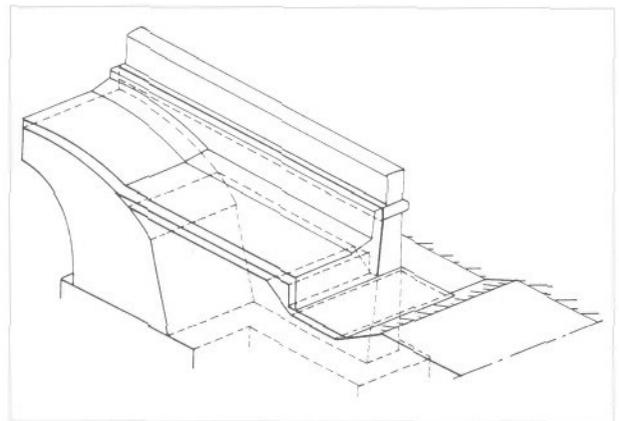


Figure 27  
c) Après exécution de la forme en béton armé et de la chape, avant reconstruction de la chaussée.



Figure 28  
Ce fossé drainant d'extrémité n'est pas assez profond pour être efficace.

bilité (en principe) aux apports calorifiques, mais la réalisation des soudures entre les demande une main d'œuvre très spécialisée et un contrôle rigoureux, car la plupart des échecs ont ce point pour origine. Par ailleurs leur médiocre résistance au poinçonnement n'en font pas le matériau idéal dans ce contexte (en l'état actuel de nos connaissances) Voir CCTG, F 69.

### c) Les étanchéités classiques

Leur emploi est parfaitement possible sous réserve de réaliser un support adapté. Figure 27.

Celui-ci peut être une couche de 12 à 15 cm d'épaisseur de grave bitume, à base de bitume 60/70 avec un dosage de 4 à 5% (poids spécifique du granulat: 26,5 kN/m<sup>3</sup>). On peut envisager aussi une solution à base d'enrobé bitumineux ou de sable enrobé, en fonction de la qualité du remplissage, voire une couche d'asphalte gravillonné de 25 à 30 mm.



Figure 29 - Fossé drainant d'extrémité  
a) Rabattement de la chape dans le fossé.



Figure 29 - Fossé drainant d'extrémité  
b) Le fossé est rempli de son matériau drainant.

Sur ce support, on pourra valablement envisager des solutions d'étanchéité de type "mastic d'asphalte" ou "feuille préfabriquée" conformes au F 67, titre I, du CCTG, ou B3A, PARAFORIX A, ou similaire.

La mise en œuvre ne pose pas de problèmes particuliers comme l'expérience l'a montré (certains considèrent même qu'il y a moins de difficultés que sur un support en béton de ciment!)

Les couches de la chaussée, à base de grave non traitée, de grave traitée ou de grave hydraulique, et le revêtement sont exécutées conformément aux "Directives chaussées". Par contre, par rapport à la section courante, des **précautions sont impérativement à prendre pour le compactage**. On compactera en couches plus faibles pour utiliser des matériels pas trop puissants afin de ne pas entraîner de désordres graves dans la structure par une énergie de compactage trop élevée.

#### 4.4.2.4 - Le traitement des extrémités, aux abouts du pont

Dans le § 4.4.1 b on a précisé l'importance de se prémunir contre le passage de l'eau entre la chape d'étanchéité et l'extrados de la voûte, au travers du remplissage.

Pour cela, on s'efforcera de prolonger la chape d'étanchéité jusqu'au droit de l'extrémité des murs en retour ou jusqu'à la verticale de l'extrémité de l'extrados (mur en aile), voire le plus possible en fonction du site.

Naturellement, l'ensemble doit s'appuyer sur un remblai correct (voir § 3.3.4) et convenablement compacté.

En extrémité, il est conseillé de terminer la chape dans un fossé drainant qui collectera les eaux circulant dans le remblai des abords à l'ouvrage pour les évacuer latéralement. Voir fig. 28, 29 et 30.



Figure 29  
c) Sortie latérale du drain placé en fond du fossé drainant.

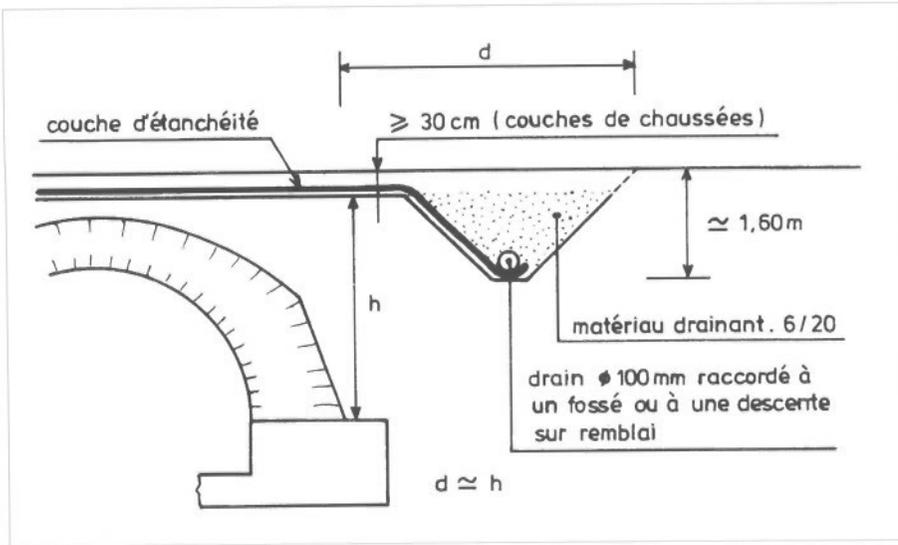


Figure 30  
Arrêt de l'étanchéité aux abouts du pont.



Figure 31  
Dalle en BA sur un béton de propreté.  
Mise en place du ferrillage.

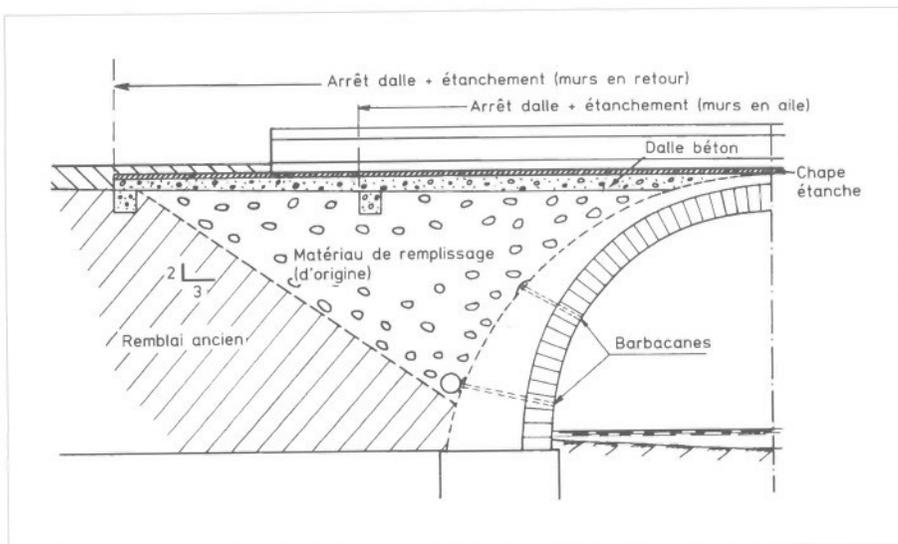


Figure 32  
Arrêt de l'étanchéité sur une dalle en béton, en extrémité.

## 4.5 - LA CHAPE D'ÉTANCHEITE EN POSITION SUPERIEURE

### 4.5.1 - Présentation générale

Dans cette disposition la chape d'étanchéité est directement sous la couche de roulement, en principe un béton bitumineux de 4 à 8/9 cm.

En fonction des circonstances, le support de l'étanchéité est constitué par :

— une dalle en béton armé. C'est le cas, évidemment, quand on procède à un réaménagement du profil en travers avec élargissement. Cependant, certains mettent en œuvre une telle dalle sans élargissement simplement pour disposer d'un support correct pour la chape d'étanchéité.

Cette disposition ramène au cas des ponts en béton.

— la chaussée en place aménagée en conséquence.

Dans les deux cas, on doit procéder à un décaissement limité mais réel qui doit être bien apprécié. Parfois, il est possible de réaliser la chape d'étanchéité directement sur la couche de roulement, sans dépose, mais cela présente l'inconvénient de remonter le niveau de la chaussée.

### 4.5.2 - Evaluation

#### a) Avantages

La faible épaisseur à reprendre permet de travailler dans des **délais très courts**, voire même sans interruption de la circulation en intervenant par demi-chaussée.

En cas de défaillance de la chape, l'**intervention** pour la **réparation** sera limitée et relativement **facile**.

La faible importance du volume des travaux fait que le **coût** reste **limité**.

#### b) Inconvénients

Comme pour la solution "intermédiaire", il y a **risque de passage de l'eau dans le remplissage**, entre la chape et l'extrados de la voûte. Donc l'efficacité n'est pas assurée s'il y a des malfaçons ou des dispositions inadéquates.

La **chape est soumise aux sollicitations du trafic**, donc elle doit être correctement choisie.

#### c) En conclusion

C'est une solution intéressante (techniquement et économiquement) dans le cas où les travaux peuvent être limités à la partie supérieure de la chaussée, et plus particulièrement dans le cas où l'ouvrage supporte un trafic particulièrement difficile à dévier.

### 4.5.3 - Les solutions techniques

#### 4.5.3.1 - Généralités

Plusieurs solutions sont possibles selon le type de chaussée, souple ou rigide; mais les structures de type souple paraissent mieux adaptées.

De toute façon, la compatibilité mécanique avec le comportement normal de la structure doit être vérifiée.

Après contrôle des caractéristiques du matériau de remplissage, il convient d'effectuer les opérations suivantes :

- décaissement partiel sur 0,30 m à 0,50 m,
- ou décaissement profond et purges, si le matériau n'est pas conforme aux recommandations,
- puis, remblaiement et compactage léger avec un matériau correct 7.

Si le matériau de remplissage et la chaussée paraissent, après essais, d'une qualité acceptable, on pourra limiter les opérations à celles strictement nécessaires à la mise en œuvre de la chape.

#### 4.5.3.2 - Etanchéité sur dalle de béton

Pour réaliser une étanchéité de surface directement sous la chaussée, on peut constituer le support de cette dernière par une dalle générale en béton armé.

C'est la solution normale la plus satisfaisante toutes les fois où l'ouvrage devra être élargi grâce à des encorbellements. On peut aussi y recourir quand la nécessité d'élargir le pont ne s'impose pas, comme cela a déjà été fait, mais il faut, dans ce cas, comparer cette solution avec celle d'une assise en grave bitume qui est plus économique. La disposition comportant une dalle béton implique une étude préalable de son comportement et son dimensionnement sera fonction de sa destination et de sa conception. Voir figure 31.

(7) Si, au stade de l'étude, le matériau de remplissage s'avérait présenter des caractéristiques médiocres, il conviendrait de s'interroger sur la technique et le niveau de la chape à prévoir.

A noter qu'en cas d'élargissement, on ne doit pas oublier de traiter l'étanchéité et l'assainissement (tranchée drainante, drain, etc.) qui sont à étudier dans le détail.

L'attention est attirée sur le délai de séchage de la dalle. Le coulage directement sur le remplissage gêne l'aération du béton qui ne peut se faire que par sa face supérieure. L'expérience montre que le délai risque d'être plus grand que pour une dalle coulée en place dans un coffrage sur étaie.

Si des produits de cure ont été utilisés, ceux-ci doivent obligatoirement être enlevés avant l'application de la chape (Cf CCTG : F 65, art 36.6.3 et le F 67).

Aux extrémités, l'arrêt de l'étanchéité s'inspirera du principe décrit sur la figure 31.

L'étanchéité sera choisie parmi les solutions conformes au F 67, titre I (4), ou au STER 81, sous-dossier E (3).

La couche de roulement, en enrobé bitumineux, de 6 à 8 cm, ou plus, d'épaisseur, vient au dessus de la chape.

#### 4.5.3.3 - Etanchéité intégrée à la dalle

Il est possible de réaliser une dalle en béton armé rendu étanche en incorporant au béton une émulsion de latex. Cette technique, d'origine américaine, permet de supprimer la mise en œuvre d'une chape, et éventuellement, d'une couche de roulement. Son intérêt est surtout économique puisque la dalle est étanche et que l'on roule directement sur elle.

Quelques réalisations prototypes ont été faites sur des ponts en maçonnerie et nous en donnons ici les premières conclusions. Fig. 33.



Figure 33  
Mise en œuvre d'une dalle en béton armé comportant une étanchéité intégrée.  
a) Après mise en œuvre d'un béton de propreté, ferrailage de la dalle.

#### a) La formulation

Pour chaque chantier, la formule du béton doit être étudiée en conséquence, mais il est possible d'indiquer ici les proportions (en ordre de grandeur) des adjuvants introduits dans le béton pour obtenir les propriétés recherchées.

On ajoute, au moment du gâchage, une émulsion de latex (concentrée à 46% de latex et 54% d'eau) en proportion de 12 à 15% du polymère sec par rapport au ciment.

L'inconvénient de cette émulsion est sa tendance à mousser.

Pour stabiliser l'air occlus du béton aux 5% maximum fixés en général, on ajoute un anti-mousse de type silicose dosé à 0,3% du poids de latex.

#### b) Les caractéristiques

Le fait d'ajouter cette émulsion de latex modifie les caractéristiques du béton dans un sens favorable à l'objectif fixé:

- le rapport E/C est de l'ordre de 0,3 à 0,4,
- le pourcentage d'air occlus est de 3 à 6%, ce qui est un élément de bonne tenue au gel/dégel,
- le béton voit son adhérence au support accrue, de même que la résistance à la pénétration de l'eau et de la vapeur d'eau,



Figure 33  
b) Bétonnage et surfacage.  
Noter, au premier plan, le striage transversal de la surface.

- la résistance à la compression est améliorée de 23% à 7 j et de 10% à 28 j,
- la résistance à la flexion est améliorée de 45 à 50% à 7 et 28 j.

### c) Les précautions d'emploi et les tours de mains

Cette technique est très "pointue" et la mise au point de la formule pour un chantier donné doit faire l'objet d'une étude très élaborée, en liaison avec le laboratoire des Ponts et Chaussées.

Des quelques réalisations, on retiendra que :

- l'antimousse doit être ajouté au tout dernier moment,
- si la distance entre la centrale et le chantier est un peu grande (plus de 10 km) il est recommandé de faire tourner la toupie à sa vitesse minimale,
- la cure doit être systématique et rapidement faite derrière l'application, sinon la dessiccation du béton provoquera une fissuration préjudiciable à l'étanchéité recherchée, (figures 33 c et d),
- la surface finie du béton constitue le niveau de circulation, aussi son réglage et son uni de surface doivent être obtenus lors de la mise en œuvre du béton frais, car il n'y aura plus de possibilité de reprofilage.

Le mode de répandage, de réglage et de surfacage du béton sera donc à bien étudier avant de lancer l'exécution.

*Nota: on prendra bien évidemment toutes les précautions imaginables, et même plus, pour éviter l'intrusion du public sur le béton frais.*

- les bords doivent être traités avec des joints en mastic silicone.

### d) Conclusion

Cette technique nous vient des Etats-Unis et, d'après nos informations, l'emploi sur des ouvrages en béton armé, n'est pas sans critiques ni sans problèmes.

Cette solution exige des précautions et l'échec est certain, si elles ne sont pas strictement respectées: fissuration, nids de cailloux, etc.

Ce risque, non négligeable, fait que nous conseillons de limiter son emploi au cas des ponts en maçonnerie présentant les caractéristiques suivantes :

- un bon écoulement général des eaux de surface

(dévers et/ou profil en long) Cf figure 33 e,

- un ouvrage de faible importance situé loin des centres de production de produits bitumineux,
- un trafic faible (T2 ou T3 selon le Catalogue des structures de chaussée).

Dans ce contexte le léger risque encouru d'une étanchéité imparfaite et le surcoût de fourniture du béton est nettement compensé par l'économie réalisée sur les postes "étanchéité" et "couches de roulement" (fournitures et déplacement des équipes et du matériel pour de faibles quantités).

#### 4.5.3.4 - Etanchéité sur support raboté

L'intervention est alors limitée à l'enlèvement des couches de l'ancienne chaussée sur une épaisseur permettant de conserver le même niveau de circulation.

Dans le cas de petits ouvrages pour lesquels on ne dispose que d'une faible couverture entre l'extrados de la voûte et la surface de roulement, cette solution est très intéressante.

L'enlèvement des couches par rabotage donne une surface striée ou scarifiée qui est incompatible avec les exigences d'uni nécessaire à la pose d'une chape. On doit exécuter un reprofilage préalable par l'une des techniques suivantes qui ont été mises en œuvre avec des résultats également satisfaisants :

- une couche de béton bitumineux de 5 à 6 cm d'épaisseur,
- un micro enrobé (ou un sable enrobé) de 2 à 3 cm d'épaisseur,
- une couche d'asphalte gravillonné de 2 à 3 cm d'épaisseur.
- un reprofilage en grave bitume de 12 cm d'épaisseur bien dosé en liant et en filler et mis en œuvre dans de bonnes conditions pour obtenir un uni et une compacité compatibles avec la chape.

Sur cette couche de reprofilage, on mettra en place une chape en asphalte ou une feuille préfabriquée conforme au F 67 ou au STER 81.

#### 4.5.3.5 - Etanchéité composite mise en œuvre par moyens à haute cadence (MHC)

Il s'agit des procédés d'étanchéité de type MHC (Etanplast ou similaire). Voir la note de mise à jour n° 1 du STER 81 sur ce sujet. En dessous de 1500 m<sup>2</sup> par intervention, la solution n'est pas intéressante sur le plan économique.



Figure 33  
c) La cure.

Figure 33  
e) L'aspect fini. Noter le profil en long en toit prononcé qui favorise l'écoulement de l'eau.

Figure 33  
d) La cure encore.



Figure 34  
Exemple d'une solution pour le traitement de l'assainissement de surface sur l'ouvrage et aux abords.

## 4.6 - DELAI ENTRE REJOINTOIEMENT ET ETANCHEMENT

1 Le rejointoiment et l'injection de la maçonnerie de la voûte, préalablement aux travaux d'étanchement, ont l'inconvénient de masquer l'efficacité de ces derniers de constituer un véritable cuvelage si l'évacuation de l'eau est mal assurée.

Il est donc souhaitable de ne procéder au rejointoiment et à l'injection de la maçonnerie de la voûte qu'après avoir constaté l'efficacité de l'étanchement. Cer-

tains spécialistes préconisent un **décalé d'un an** entre l'étanchement et les rejointoiments et injections.

Ceci est à programmer au niveau de l'échelonnement des travaux et facilitera la mise en place du financement :

- 1<sup>ère</sup> année : les fondations,
- 2<sup>ème</sup> année : réaménagement des superstructures, étanchéité...
- 3<sup>ème</sup> année : rejointement et injections éventuelles.



Figure 35  
Modèle de crépine pour drainer le remplissage.

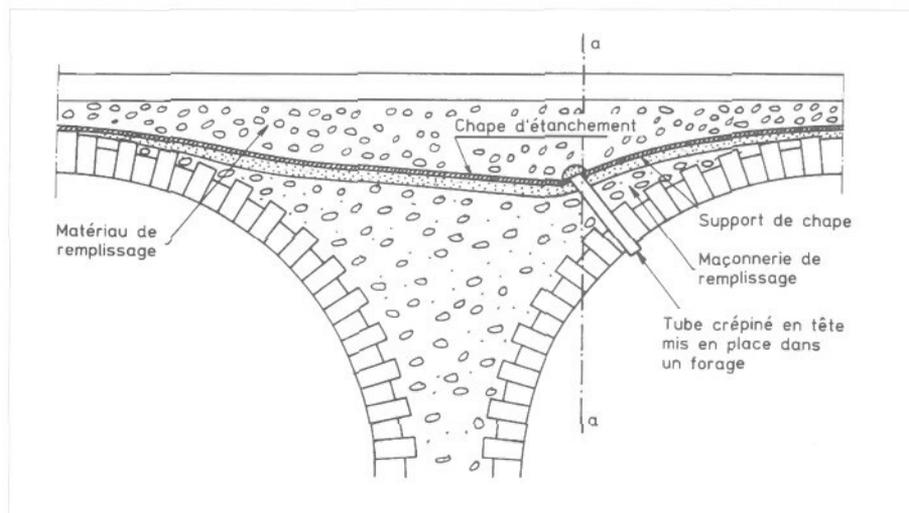


Figure 36  
Drainage du matériau de remplissage. Principe de l'évacuation de l'eau suivant le profil en long.



## CHAPITRE 5

# Assainissement

### 5.1 - INTRODUCTION

La réalisation de l'assainissement constitue le troisième volet, après celle du remplissage et de la chape d'étanchéité, de l'opération d'étanchement d'un pont en maçonnerie.

Ce volet est très important, car plus vite l'eau est évacuée de l'ouvrage, moins il y a risque qu'elle trouve une faille par où elle pénétrera. C'est le choix à faire en priorité si les crédits sont mesurés.

L'assainissement comprend la collecte des eaux de surface et le drainage du matériau de remplissage.

### 5.2 - COLLECTE DES EAUX DE SURFACE

Sur ce point, les ponts en maçonnerie ne sont pas fondamentalement différents des autres ouvrages et nous renvoyons au document publié par le CTOA du SETRA: "Assainissement des ponts route" (Juin 1989). Signalons que ce document donne des méthodes de vérification rapide et sommaire du dimensionnement d'un réseau d'assainissement (voir le guide cité, § 2.6.2 de la 1ère partie).

Parmi les nombreuses dispositions constructives qu'il faut reprendre, il y a celles relatives aux pentes longitudinales et transversales qui sont, bien souvent, faibles sur ces ouvrages (voir le chapitre 2). Dans certains cas, il arrive que des ponts à voûtes multiples en dos d'âne au

droit de chaque voûte ont été rechargés entre les voûtes pour niveler le profil en long (souvent dans le but d'améliorer la circulation et la visibilité). Il ne faut pas hésiter à reprendre ces pentes pour faciliter l'écoulement de l'eau (vers les évacuations ou l'extrémité du pont). Figure 36.

Si la modification de la pente longitudinale s'avère difficile à réaliser, on peut jouer sur la pente du fil d'eau en asphalte gravillonné en lui donnant une pente plus forte entre les avaloirs et en multipliant ces derniers. La mise en place d'un bourrelet en enrobé au ras du parapet est aussi une solution pour éloigner le fil d'eau d'un point de pénétration préférentiel.

### 5.3 - DRAINAGE DU MATERIAU DE REMPLISSAGE

Longitudinalement, une forme de pente sera donnée de l'axe des clés vers la zone des reins des voûtes où seront établies les gargouilles (fig. 11 b, 18 et 19) ou, si possible, vers la clé pour intervenir plus facilement, grâce à l'épaisseur réduite de matériaux, en cas de colmatage des crépines.<sup>8</sup>

L'eau sera collectée dans l'axe de l'ouvrage grâce à une double pente transversale (profil en V) de 3 à 5 cm/m (fig. 11 a) et évacuée par une gargouille centrale.

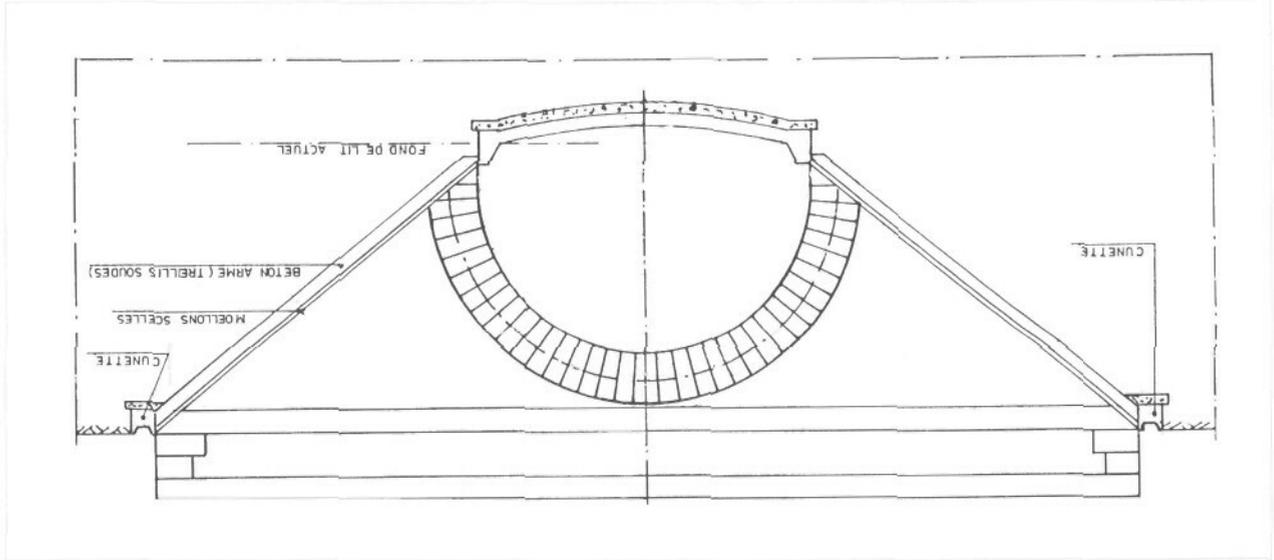
éventuellement les remettre en état. Sinon, il faut implanter de nouvelles gargouilles et les placer en créant un point bas voisin de l'intrados où elles déboucheront. Les collerettes devront être scellées à la nouvelle chape, de manière à éviter des circulations d'eau sous la chape entre la gargouille et la voûte. Figure 19.

Il en résulte que le réseau d'assainissement et de drainage ne doit pas être fait après l'étanchéité qui risquerait d'être percée.

Les drains sont répartis suivant l'importance de l'ouvrage en une ou plusieurs rangées horizontales dans une zone comprise entre les naissances et les reins de la voûte, de préférence au voisinage des naissances. Dans les ouvrages comportant plusieurs voûtes, il faut toujours disposer une rangée de drains de manière à recueillir les eaux au point le plus bas de l'extrados. L'espacement des drains est de 1,50 m environ sur une rangée, les drains

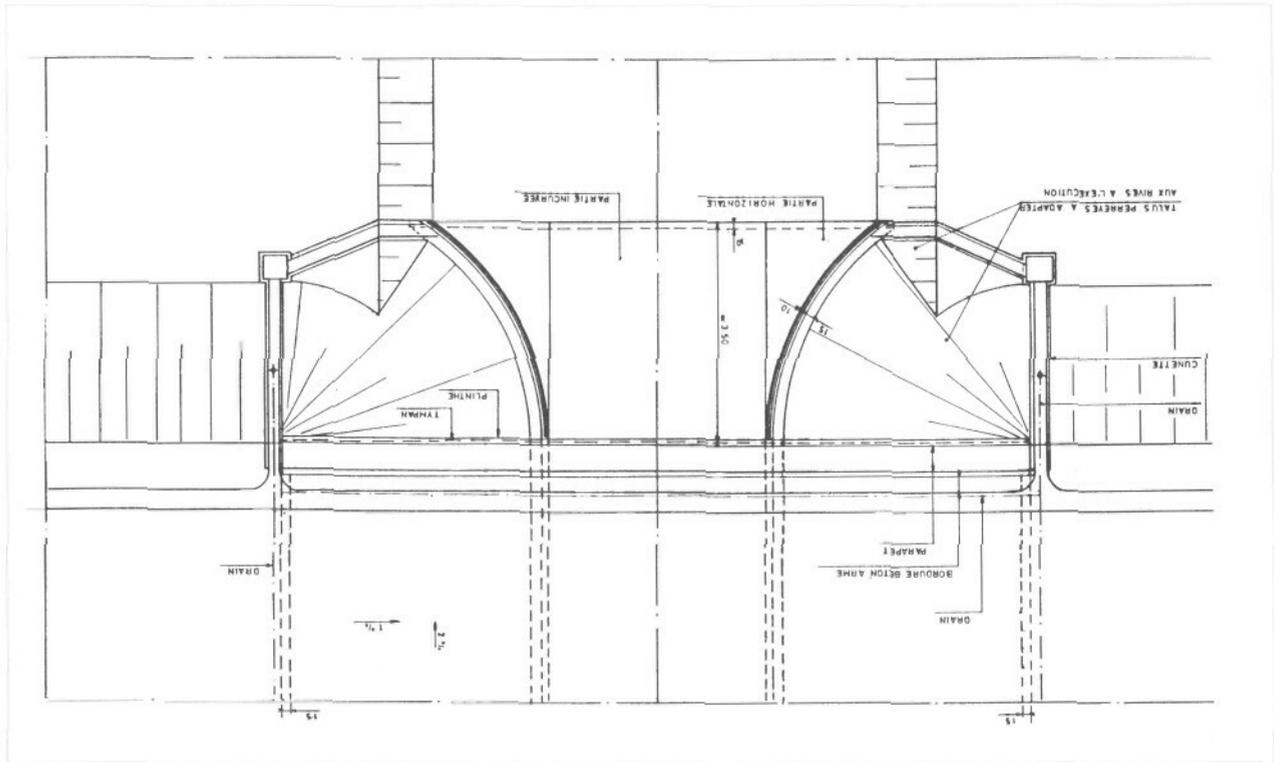
<sup>1</sup> Le bon fonctionnement des gargouilles est fondamental : si elles existent, il faut vérifier leur bon fonctionnement et

(8) On ne prévoit pas de dispositif de drainage pour les ouvrages à une seule arche (l'eau est évacuée de la clef vers les culées et à l'extérieur de l'ouvrage) et pour ceux dont le remplissage est en matériau maçonné.



b) Elevation (ci-dessous)  
 a) Vue en plan (ci-dessus)

Dessin de principe de l'évacuation des drains d'extrémité, cunette et perré.  
 Figure 37



8 | d'une rangée étant disposés en quinconce par rapport aux drains de la rangée voisine.

La succession des opérations de réalisation d'un drain est la suivante :

— exécution soit depuis l'intrados, soit depuis la chaussée d'un forage d'un diamètre de 80 à 90 mm environ. Si le forage est réalisé depuis l'intrados, il sera poursuivi sur 20 (vingt) centimètres environ à l'intérieur du blocage,

— mise en place à l'intérieur du forage d'un tube en fonte ou en PEHD (on évitera le PVC, trop fragile), muni de crépines et dépassant d'une vingtaine de centimètres le parement d'intrados,

— scellement du tube. Ce scellement sera réalisé à l'aide des produits conformes aux normes P 18, 400 et suivantes, choisis dans la catégorie "scellement".

Comme il n'est pas possible de rétablir un massif drainant autour de la crépine, il faut placer, dans le forage, un tuyau perforé en partie haute (figure 34) équipé d'un géotextile. Si le matériau de remplissage n'est pas très perméable, il convient de multiplier les gargouilles, soit 3 ou 4 par profil transversal.

Du point de vue des principes généraux, on retiendra que :

— ces drains doivent être situés en points bas,

— leur conception sera la plus simple et la plus rustique possibles,

— pour leur dimensionnement, les débits à évacuer

n'étant pas énormes et les temps d'équilibre étant relativement grands, on s'attachera à choisir un diamètre suffisant pour éviter leur colmatage. Un diamètre minimal de 80 mm paraît un bon compromis.

On évitera aussi que ces drains ne débouchent sur des parties sensibles de la structure ou gênantes pour l'usage.

Dans le cas d'une chape d'étanchéité située en position intermédiaire (et, si possible, haute), on s'efforcera de créer des points bas pour y évacuer les eaux qui ont percolé. Dans le cas d'un arc surbaissé, on se trouverait près de l'extrados et il serait alors préférable de le dégarnir.

Les dispositions à reprendre sont identiques à celles décrites pour les autres cas.

Les dispositifs d'évacuation de l'eau seront placés dans les reins de la voûte :

— soit une gargouille pour deux demi-voûtes (dispositif rencontré couramment sur les viaducs SNCF),

— soit deux gargouilles pour deux demi-voûtes avec contre-pentes au droit de la pile, dispositif plus difficile à réaliser et plus onéreux.

La pente longitudinale de la forme sera au minimum de 1 cm/m, condition qui sera remplie sans difficulté pour des décaissements sur pile de l'ordre du mètre.

Transversalement, on conservera le profil en toit inversé avec point bas dans l'axe de l'ouvrage (drainage de l'eau des tympons vers l'intérieur) et évacuation par gargouille dans le plan médian de l'ouvrage.



# 1 - Bibliographie

## 1 - ETANCHEMENT DES PONTS EN MAÇONNERIE

Note d'information technique du LCPC - 1985.  
Voir, en particulier, les annexes relatives au dimensionnement des chaussées.

**2 - FASCICULE 30** - Ponts et viaducs en maçonnerie - 2<sup>ème</sup> partie de l'Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art - Juin 1981.

## 2 - STER 81

Surfaçage des Tabliers, Etanchéité, Couches de roulement, publié par le SETRA/CTOA - Juillet 1981 - et sa mise à jour n° 1 de Juillet 1990.

## 4 - F 67 - TITRE I DU CCTG

Etanchéité des ponts routes à support en béton de ciment.

**5 - LES PONTS EN MAÇONNERIE** - Constitution et stabilité - publié par le SETRA/CTOA (juin 1982)

**6 - LES PONTS AU XVIII<sup>ème</sup> SIECLE** de Peyronnet - Presses de l'ENPC - 1987.

## 7 - RECOMMANDATIONS POUR LES TERRASSEMENTS ROUTIERS

Ministère de l'Équipement - LCPC/SETRA - 1976.

**8 - PATHOLOGIE DES OUVRAGES D'ART - DESORDRES CONSTATES SUR LES PONTS ROUTES EN MAÇONNERIE - REPARATIONS DE CES DESORDRES** par D. Cornet, IDTPE, Chef de la DOA du CETE de l'Ouest, (session de formation continue ENPC).

## 9 - BUSES METALLIQUES - RECOMMANDATIONS ET REGLES DE L'ART

LCPC/SETRA - Septembre 1981.

**10 - TECHNOLOGIE DES MAÇONNERIES** par A. Lootvoet (Laboratoire RI des Ponts et Chaussées de Rouen) - LCPC - Septembre 1981.

**11 - RECOMMANDATIONS GENERALES POUR LA REALISATION D'ETANCHEITE PAR GEOMEMBRANES** publiées par l'ITF (tél: 47.31.11.71) - 1991.

# 2 - Adresses utiles

Liste non limitative

## Société COLAS

(Procédé Colétanche, ...)  
7, place René Clair  
92653 BOULOGNE-BILLANCOURT Cedex  
Tél: (1) 47.61.75.00

## Société SIPLAST

(Procédés Teranap 431 TP, Paraforix A,...)  
12, rue Cabanis 75680 PARIS Cedex 14  
Tél: (1) 40.78.35.00

## Société SMAC

(Procédés B3A, Asphalte bicouche, Baryphalte,...)  
BP 6  
1 Av E. Freyssinet - 78062 - St QUENTIN EN YVELINES  
Tél: (1) 30.60.26.19

## Société SOPREMA

(Procédé Sopralène Flam Anti Rock Asp)  
BP 121 - 67025 STRASBOURG Cedex  
Tél: 88.79.99.45

# 3 - Glossaire succinct

Extrait de la référence bibliographique N° 5

**JOINT** : Intervalle qui sépare deux pierres voisines d'un même appareil ou deux assises superposées.

**APPAREIL** : Assemblage de moellons ou de pierres d'une maçonnerie.

**ASSISE** : Rangées de moellons ou de pierres posés horizontalement.

**GARGOUILLE** : Tuyau saillant qui éjecte les eaux de ruissellement à distance des parements.

**BARBACANE** : Tuyau d'évacuation des eaux raccordé à un drain ou à un système de drainage.

**TYMPAN** : Ils ont pour rôle premier d'être un mur de soutènement vis-à-vis des remblais qui transmettent les charges à la voûte. Ce sont donc des murs dont le parement extérieur est généralement vertical, mais dont le parement intérieur présente souvent un fruit et même des redans afin d'améliorer la stabilité.

**REPLISSAGE** : Il est contenu entre les murs de tête et la voûte : son rôle est de répartir les charges sur la voûte. Le remplissage participe à la portance de l'ouvrage par ses effets répartiteurs (dans le sens transversal et longitudinal) amortisseurs des effets dynamiques et, éventuellement, mécaniques lorsqu'il est de très bonne qualité.

Dans les ponts anciens, ce remplissage peut être constitué de matériaux hétérogènes, de qualité plus ou moins bonne, quelquefois argileux et qui poussent sur les tympans. Mais ce jugement ne doit pas être généralisé, d'où l'importance des sondages préalables à toute intervention sur les remplissages.

**VOÛTE** : La voûte se définit généralement par la forme de son intrados, l'extrados étant rarement visible. Elle peut être décomposée en plusieurs parties aux fonctions bien définies et se différenciant par la nature et la qualité des matériaux mis en œuvre. Ceux-ci sont, dans l'ordre de la qualité décroissante des matériaux: le bandeau, la douelle et le queutage.

**BANDEAU** : Surfaces vues des extrémités de la voûte. Ils sont souvent réalisés en moellons d'appareil ou en pierre de taille.

**DOUELLE** : Partie inférieure de la voûte, située entre les bandeaux qui, selon les règles de l'art, devraient être en moellons équarris ou d'appareil.

**QUEUTAGE** : Partie de la voûte surmontant la douelle, dont la constitution doit normalement différer selon qu'il est soumis à des pressions fortes ou faibles.

Dans le cas de faibles pressions, les tassements sont faibles et on peut se contenter de moellons bruts ou équarris ou même de béton. Les moellons sont liaisonnés avec du mortier de chaux ou de ciment.

Dans le cas de fortes pressions, les matériaux doivent être plus résistants et mieux équarris, plus homogènes avec les bandeaux et la douelle. Les joints y sont plus minces et faits de meilleur mortier.

**BAHUT** : Couronnement d'un mur, d'un parapet, de forme bombée.

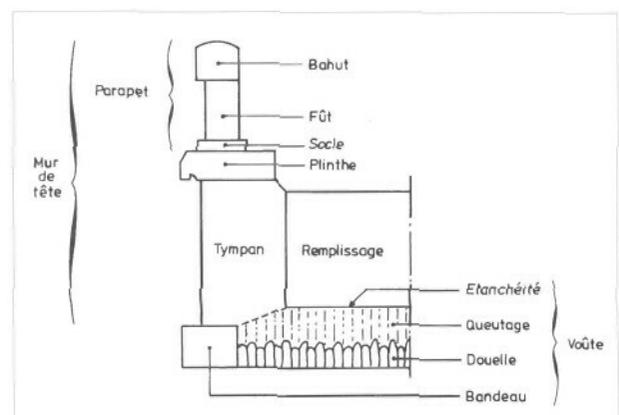
**FUT** : Élément d'un parapet compris entre le couronnement et le socle.

**PLINTHE** : Placée sous le parapet, elle surmonte directement le tympan. Son rôle est de rejeter les eaux de ruissellement au-delà des parements des tympans.

**PILE** : Appui intermédiaire d'un pont à plusieurs arches ou travées. Pour les fûts de ces parties d'ouvrage on distingue une partie résistante et une partie remplissage.

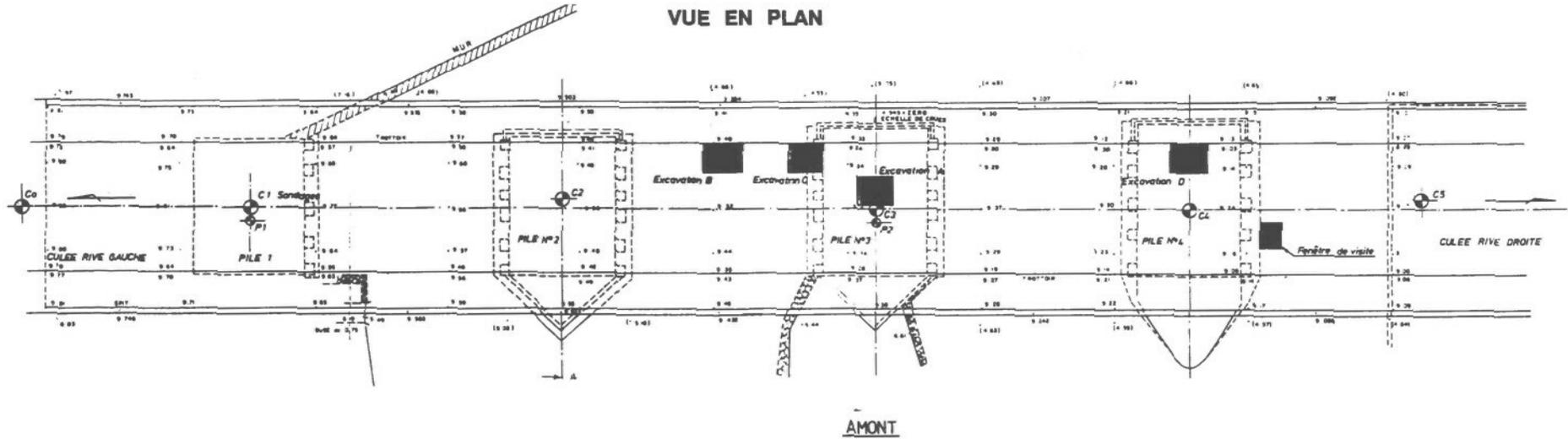
Le parement des fûts (c'est-à-dire la périphérie sur une certaine épaisseur) constitue la partie résistante, réalisée en moellons d'appareil dans les angles et en moellons équarris ou même en moellons bruts pour le reste.

Le remplissage, au cœur de l'appui, est constitué de moellons bruts ou de tout venant lié ou non par du mortier; il n'offre pas de caractéristiques particulières de résistance mécanique et peut même parfois être de qualité très médiocre et/ou hétérogène.

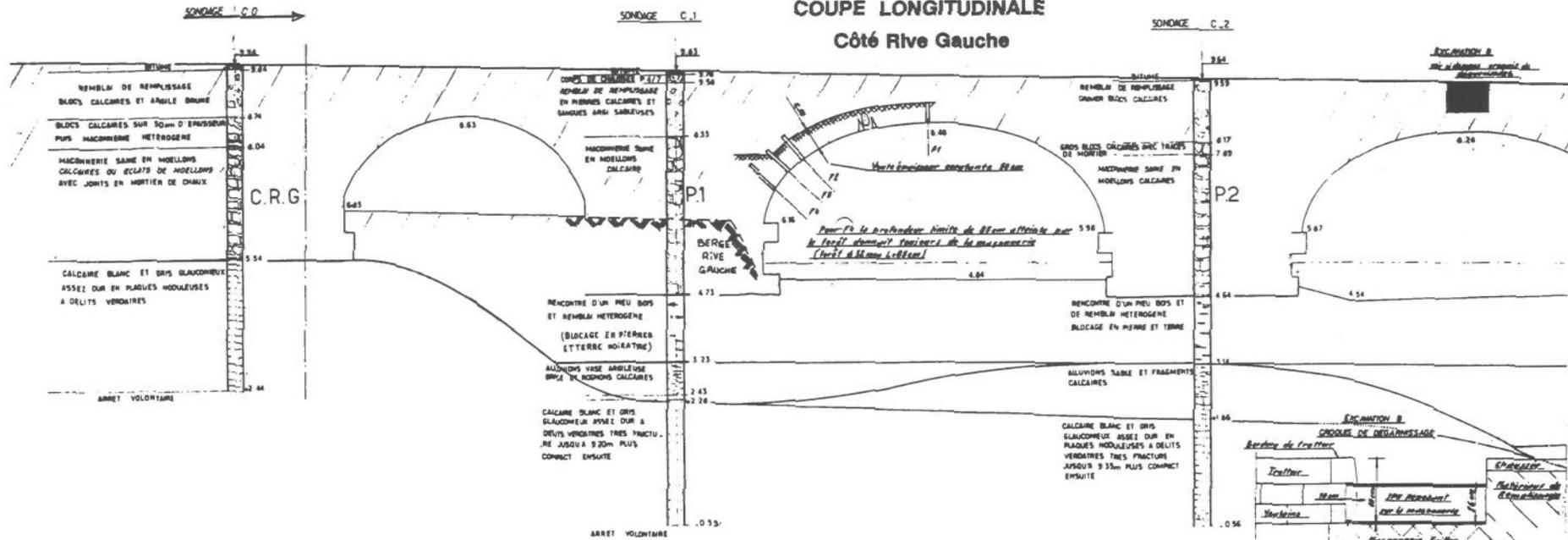


## **4 - Exemple d'un plan d'investigation d'un pont**

# VUE EN PLAN



# COUPE LONGITUDINALE Côté Rive Gauche





Ce document est propriété de l'Administration, il ne pourra être utilisé ou reproduit,  
même partiellement, sans l'autorisation du SETRA

© 1992 SETRA

Conception et fabrication : Jacqueline Thirion

Mise en page : Agence Parisienne d'Édition (1) 43 20 77 80

Photogravure et impression : Pharmapost : 16 38 87 60 00

Dépôt légal 3ème trimestre 1992

ISBN 2-11-085 706 4