

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS

Centre Régional Associé de Limoges

SUP'REHA

Unité externe du C.F.A. Supérieur du Limousin

Etudes suivies dans le Cadre de la Formation Ingénieur en Réhabilitation et
Management de Projet par la voie de l'apprentissage

MEMOIRE

Présenté en vue d'obtenir

LE DIPLOME D'INGENIEUR C.N.A.M.

EN BATIMENT

Présenté par

David CHARDONNIERAS

**PATHOLOGIE, MAINTENANCE ET REPARATION
DES APPAREILS D'APPUI DES PONTS ET VIADUCS**

Soutenu le 21 juin 2004

Jury :

Président : **M. BLANCHARD**

Membres : **M. ESB RAT**

M. GANICHAUD

M. MARBOUTY

M. THOUVENIN

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS

Centre Régional Associé de Limoges

ECOLE SUPERIEURE DE REHABILITATION DE L'HABITAT ET DU CADRE DE VIE

Unité externe du C.F.A. Supérieur du Limousin

Etudes suivies dans le Cadre de la Formation Ingénieur en Réhabilitation et
Management de Projet par la voie de l'apprentissage

MEMOIRE

Présenté en vue d'obtenir

LE DIPLOME D'INGENIEUR C.N.A.M.

EN BATIMENT

Présenté par

David CHARDONNIERAS

PATHOLOGIE, MAINTENANCE ET REPARATION DES APPAREILS D'APPUI DES PONTS ET VIADUCS

Soutenu le 21 juin 2004

Les Fondateurs du CFA Sup sont :

- Le Conseil Régional du Limousin
- L'Université de Limoges

Une association pour le Développement de l'Apprentissage dans l'Enseignement Supérieur en Limousin est constituée pour favoriser les contacts entre les milieux socio-économiques et l'Université.

La Fédération du Bâtiment de la région Limousin est un des membres fondateurs.

Le cursus d'ingénieur CNAM (Conservatoire National des Arts et Métiers) fait partie d'une Formation Ingénieur Réhabilitation et Management de projets (FIR) créée en 1990 sur l'initiative de l'AREF-BTP Limousin (Association Régionale pour la Formation Continue dans le Bâtiment et les travaux Publics). Il est piloté par le CNAM Dépt FIR du CRA CNAM de Limoges.

En plus des enseignements et travaux personnels de la filière ingénieur CNAM Techniques de Construction option Bâtiment, cette formation intègre des enseignements spécifiques sur la réhabilitation et le management de projets.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier d'une part ceux qui ont créé et contribuent à assurer la formation d'Ingénieur CNAM Technique de Construction, spécialité Réhabilitation :

- Le C.N.A.M et son Centre Régional Associé de Limoges, et tout particulièrement Monsieur MARBOUTY, le Directeur des Etudes.
- SUP-REHA, son Directeur Monsieur THEILLET.
- L'AREF Limousin.
- Le CFA Supérieur du Limousin.
- Les différents intervenants : formateurs et conférenciers.

Je remercie d'autre part l'entreprise SOTRACO de Bergerac qui m'a accueilli voilà déjà plus de sept ans et qui m'a permis de réaliser plusieurs formations par alternance, dont la formation d'Ingénieur FIR représente l'aboutissement.

Je remercie plus particulièrement le PDG de SOTRACO Jean Paul GOUBIE, et le Directeur d'Exploitation Guillaume THOUVENIN.

Remerciements également pour toutes les personnes qui de part leur aide m'ont permis de réaliser ce mémoire :

- Monsieur FRAGNET, du S.E.T.R.A.
- Madame MENISSIER-LEBORGNE, du C.E.T.E du Sud Ouest.
- Monsieur MEYNARDIE, de FREYSSINET INTERNATIONAL.
- Monsieur ADRIAN, de GETEC Toulouse.
- Et plus particulièrement Monsieur ESBRAT qui a dirigé mon travail et dont les conseils et certains documents ont permis la rédaction de ce mémoire.

Enfin remerciements aux membres du jury pour me permettre de soutenir ce mémoire.

LISTE DES ABREVIATIONS

ORGANISMES et ENTREPRISES

- A.F.N.O.R :** Association Française de Normalisation.
- C.E.T.E :** Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement.
- C.D.O.A :** Cellule Départementale d'Ouvrages d'Art.
- D.D.E :** Direction Départementale de l'Equipement.
- O.R.E :** Office de Recherche et d'Essais de l'Union Internationale des Chemins de Fer.
- S.E.T.R.A :** Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes.
- S.T.U.P :** Société Technique pour l'Utilisation de la Précontrainte (devenu FREYSSINET INTERNATIONAL).

ABREVIATIONS COURANTES

- B.A.E.L :** Béton Armé aux Etats Limites.
- B.T.4 :** Bulletin Technique Numéro 4.
- E.L.S :** Etats Limites de Service.
- E.L.U :** Etats Limites Ultimes.
- I.Q.O.A :** Image Qualité des Ouvrages d'Art.

I.T 79 : Instruction Technique du 10 octobre 1979.

P.V : Procès Verbal.

V.I.P.P : Viaduc à travées Indépendantes à poutres Précontraintes par Post-tension.

GLOSSAIRE

Chevêtre : pièce généralement prismatique, reliant les dispositifs de descente de charge d'un appui (pile, culée) en tête. Sa face supérieure est appelée sommier, et présente généralement un dévers arrière de 2 %.

Culée : appui d'extrémité d'un tablier de pont, possédant une double fonction de transmission des charges aux fondations et de retenue des terres (voir figure 3).

Extrados : surface supérieure du tablier d'un pont (voir figure 3).

Intrados : surface inférieure du tablier d'un pont (voir figure 3).

Ligne d'appui : ligne passant par le centre de gravité des différents appareils d'appui posés sur un même appui (voir figures 1 et 3).

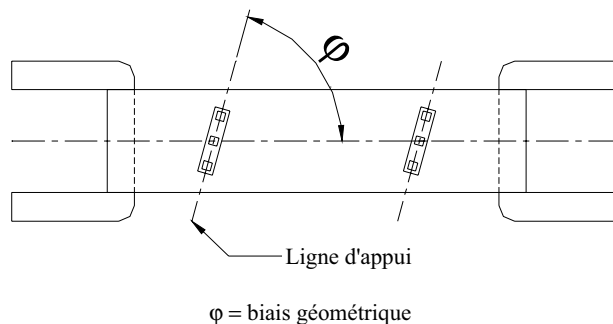


Figure 1 – Ligne d'appui

Pile : appui intermédiaire d'un pont (voir figure 3).

Pile-culée : appui intermédiaire ne retenant pas de terres, et servant d'appui à deux structures différentes.

Pont cantilever : pont constitué d'une structure principale en consoles sur lesquelles s'appuie une structure secondaire (voir figure 2).



Figure 2 – Principe d'un pont cantilever multi-travées

Portée d'une travée : partie d'ouvrage comprise entre deux appareils d'appui successifs, sauf pour les travées de rives qui commencent à l'about du tablier (voir figure 3).

Sommier : face supérieure du chevêtre d'une culée, généralement renforcée, qui reçoit les dispositifs d'appui.

Tablier : structure porteuse de l'ouvrage (voir figure 3).

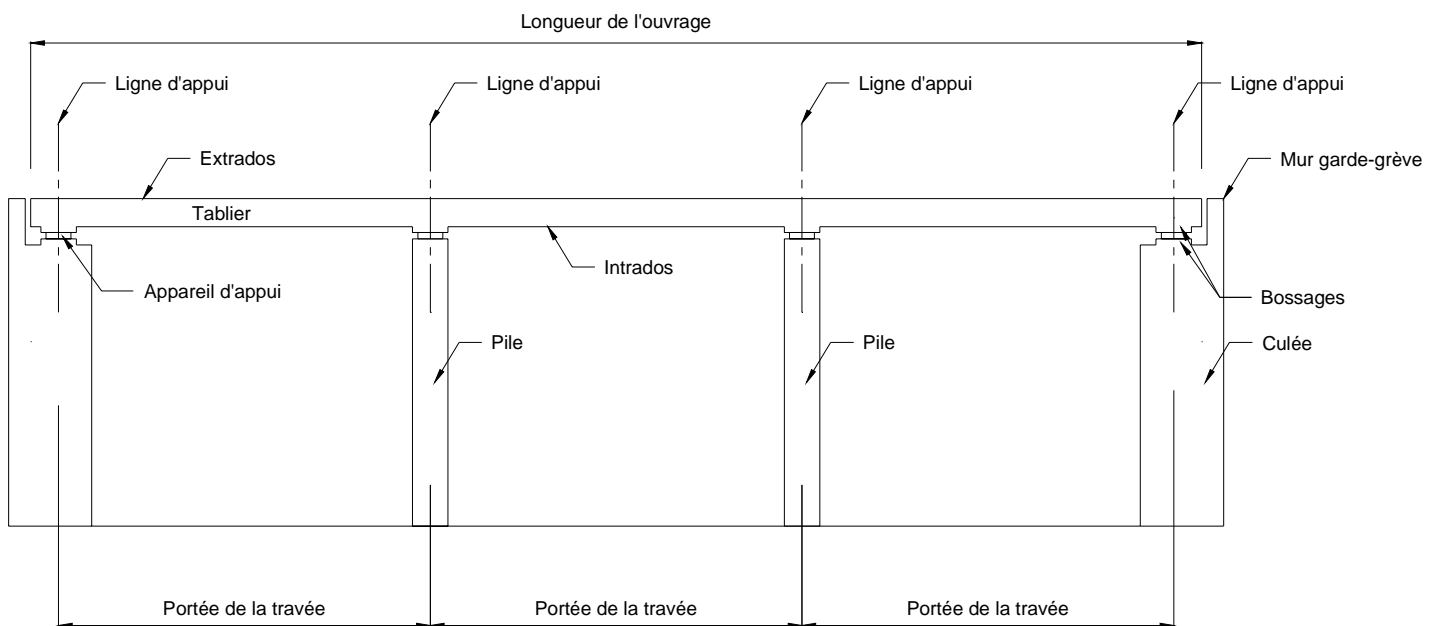


Figure 3 – Terminologie liée aux ponts

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	3
LISTE DES ABREVIATIONS	4
GLOSSAIRE	6
1 – INTRODUCTION	11
2 - GENERALITES	12
2.1 - DES PONTS AUX APPAREILS D'APPUI DE PONTS	12
2.1.1) <i>DEFINITION D'UN OUVRAGE D'ART</i>	13
2.1.2) <i>DEFINITION D'UN PONT</i>	13
2.1.3) <i>DIFFERENTES CATEGORIES DE PONTS</i>	14
2.1.4) <i>APPUIS DE PONTS</i>	15
2.1.5) <i>APPAREILS D'APPUI</i>	15
3 - PREMIERE PARTIE - FONCTIONS DANS LES OUVRAGES - DESCRIPTION DES DIFFERENTS APPAREILS D'APPUI ET DE LEUR ENVIRONNEMENT	16
3.1 – FONCTIONS	16
3.1.1) <i>PRINCIPE</i>	16
3.1.2) <i>FONCTIONS PRINCIPALES</i>	18
3.1.3) <i>DISPOSITIFS SPECIAUX</i>	19
3.1.4) <i>ORIGINE DES EFFORTS</i>	19
3.2 - L'ENVIRONNEMENT DES D'APPAREILS D'APPUI ET L'IMPORTANCE DE LA MISE EN ŒUVRE	20
3.2.1) <i>LES BOSSAGES D'APPAREILS D'APPUI</i>	20
3.3 - LES DIFFERENTS TYPES D'APPAREILS D'APPUI.....	23
3.3.1) <i>LES APPAREILS D'APPUI EN CAOUTCHOUC FRETTE</i>	23
3.3.2) <i>LES APPAREILS D'APPUI A POT (DEBUT DES ANNEES 1960)</i>	30
3.3.3) <i>LES APPAREILS D'APPUI METALLIQUES</i>	32
3.3.4) <i>LES APPAREILS D'APPUI EN BETON</i>	37
3.3.5) <i>AUTRES TYPES D'APPAREILS D'APPUI</i>	40
3.4) <i>ASPECT REGLEMENTAIRE ET NORMATIF</i>	45
3.4.1) <i>LES APPAREILS D'APPUI EN CAOUTCHOUC FRETTE</i>	45
3.4.2) <i>LES APPAREILS D'APPUI A POT</i>	45

3.4.3) <i>LES SECTIONS RETRECIES DE BETON</i>	46
3.4.4) <i>LES APPAREILS D'APPUI METALLIQUES</i>	46

4 - SECONDE PARTIE - LES PATHOLOGIES DES APPAREILS D'APPUI ET LEUR DIAGNOSTIC 47

4.1 SURVEILLANCE DES OUVRAGES	47
4.1.1) <i>LA SURVEILLANCE CONTINUE</i>	47
4.1.2) <i>LA SURVEILLANCE ORGANISEE</i>	47
4.2 PATHOLOGIES ET CRITERES D'ACTION	50
4.3 INVENTAIRE DES PATHOLOGIES RELATIVES A L'ENVIRONNEMENT DES APPAREILS D'APPUI	52
4.3.1) <i>VISIBILITE DE L'APPAREIL D'APPUI</i>	52
4.3.2) <i>ETAT DE L'ENVIRONNEMENT</i>	52
4.4 INVENTAIRE DES PATHOLOGIES RELATIVES AUX BOSSAGES D'APPAREILS D'APPUI	54
4.4.1) <i>VISIBILITE DE L'APPAREIL D'APPUI</i>	54
4.4.2) <i>NON CONFORMITE DES BOSSAGES</i>	54
4.4.3) <i>DETERIORATION DES BOSSAGES</i>	58
4.5 INVENTAIRE DES PATHOLOGIES RELATIVES AUX APPAREILS D'APPUI EN CAOUTCHOUC FRETTE	60
4.6 INVENTAIRE DES PATHOLOGIES RELATIVES AUX APPAREILS D'APPUI A POT.....	67
4.6.3) <i>AUTRES CAS DE PATHOLOGIES</i>	69
4.7 INVENTAIRE DES PATHOLOGIES RELATIVES AUX APPAREILS D'APPUI GLISSANTS.....	70
4.8 INVENTAIRE DES PATHOLOGIES RELATIVES AUX APPAREILS D'APPUI METALLIQUES	75
4.9 INVENTAIRE DES PATHOLOGIES RELATIVES AUX APPAREILS D'APPUI EN BETON.....	80

5 - TROISIEME PARTIE - ENTRETIEN ET REPARATION DES APPAREILS D'APPUI 83

5.1 L'ENTRETIEN DES APPAREILS D'APPUI.....	83
5.1.1) <i>L'ENTRETIEN COURANT</i>	83
5.1.2) <i>L'ENTRETIEN SPECIALISE</i>	84
5.2 LA REPARATION DES APPAREILS D'APPUI.....	84
5.2.1) <i>LE VERINAGE</i>	84
5.2.2) <i>LES ACTIONS DE REPARATIONS</i>	96

6 - CONCLUSION	101
ANNEXES	102
LISTE DES ANNEXES	103
LISTE DES FIGURES	129
LISTE DES PHOTOS	133

1 – INTRODUCTION

Les descentes de charge du tablier d'un ouvrage sont transmises aux appuis de l'ouvrage (ou aux travées adjacentes dans certains ouvrages particuliers) par l'intermédiaire des dispositifs d'appui, constitués par des **appareils d'appui** disposés entre des éléments appelés bossages. Ils constituent pour la plupart des ensembles de taille insignifiante à l'échelle de la structure, mais néanmoins indispensables au bon comportement de celle-ci dans le temps. Considérés dès l'origine de leur utilisation comme des équipements, les appareils d'appui font désormais partie des éléments de structure depuis la modification, en 1995, de l'Instruction Technique de 1979.

La première partie aborde des généralités sur les ouvrages et les appareils d'appui. Pour ces derniers, après avoir rappelé leurs rôles, nous rendrons compte de leur diversité à travers une présentation des principaux types, accompagnée de leurs périodes de mise en œuvre sur les ouvrages d'art.

Nous examinerons ensuite la réglementation et les documents normatifs actuels concernant les appareils d'appui, sachant qu'à ce jour, ces documents sont en évolution dans le cadre d'une harmonisation européenne.

Nous pourrions alors examiner les différentes pathologies rencontrées sur les appareils d'appui, mais aussi sur leur environnement, en explicitant les relations de cause à effet, ceci après avoir défini les différents niveaux de surveillance.

Puis nous entrerons dans le domaine de l'entretien et de la réparation et verrons comment on peut éviter ou remédier aux pathologies rencontrées, en évoquant les incidences financières qu'elles entraînent.

2 - GENERALITES

2.1 - DES PONTS AUX APPAREILS D'APPUI DE PONTS

Le pont est l'ouvrage d'art par excellence. Il est un vecteur du progrès de l'humanité, symbole de la conquête des obstacles par l'homme, qu'il ne soit simplement constitué d'une modeste voûte en maçonnerie au-dessus d'un ru, ou de multiples travées tel l'impressionnant viaduc de Millau, ouvrage aux multiples records.

Comme tous les éléments entraînés par le progrès, la construction des ponts a connu une grande évolution technologique, avec la maîtrise de nouveaux matériaux comme le béton, armé ou précontraint, et grâce au talent d'hommes, d'ingénieurs, qui ont su, et osé repousser les limites jusqu'alors atteintes, pour aboutir aux ouvrages contemporains d'une technicité toujours accrue.

C'est ainsi que les appareils d'appui sont absents de bon nombre d'ouvrages anciens. On peut situer l'apparition des premiers modèles, très rudimentaires, que sont les semelles de plomb vers la fin du XVIIIe siècle, avec l'essor des ponts en fonte et en fer.



Photo 1 - Pont en dalle de pierre : aucun appareil d'appui



Photo 2 - Passage Inférieur (RN 106 à Florac) : 8 appareils d'appui



Photo 3 - Le pont Vasco de Gama : 160 appareils d'appui

2.1.1) DEFINITION D'UN OUVRAGE D'ART

Selon l'Instruction Technique du 19 Octobre 1979, font partie des ouvrages d'art :

- **Les ouvrages de franchissement, provisoires ou définitifs :**
 - Ponts, viaducs et aqueducs d'une ouverture minimale de 2,00 m.
 - Passerelles piétonnes ou cyclables.
 - Buses préfabriquées ou métalliques d'une ouverture minimale de 2,00 m.

- **Tunnels et tranchées couvertes.**
 - Toutes longueurs et toutes ouvertures.

- **Ouvrages d'art dont la stabilité assure la sécurité d'une voie :**
 - Murs de soutènement d'une hauteur minimale de 2,00 m.
 - Galeries de protection contre les chutes de pierres.
 - Déblais et remblais de grande hauteur.

Dans le cadre du présent mémoire, nous nous intéressons donc aux **ponts et viaducs**.

Afin de mener à bien l'étude des appareils d'appui, nous allons dans un premier temps définir les ouvrages qui en sont équipés.

2.1.2) DEFINITION D'UN PONT

Un pont permet à une voie de circulation de franchir un obstacle. Le **franchissement** ou **brèche** provient de :

- Contraintes naturelles :
 - Cours d'eau.
 - Gorges.
 - Bras de mer.
 - Thalweg.
 - Etc...

- Contraintes fonctionnelles (naturelles ou artificielles) :
 - Voie de circulation routière, ferroviaire, fluviale, aéroportuaire
 - Maintien d'une communication adaptée à la faune sauvage.
 - Etc...

Le terme exact de **pont** s'applique à un ouvrage ne franchissant qu'un seul obstacle, tandis que celui le **viaduc** est employé pour un ouvrage franchissant plusieurs obstacles.

Cependant couramment, et même dans des ouvrages s'adressant à des professionnels, c'est le mot « pont » qui est généralement employé pour désigner l'ensemble de ces constructions. Dans le présent mémoire, nous parlerons d'appareil d'appui de ponts tout en sachant que son contenu est évidemment transposable aux appareils d'appui équipant les viaducs et les ouvrages similaires.

2.1.3) DIFFERENTES CATEGORIES DE PONTS

On peut proposer de multiples classements pour les ponts et viaducs : selon leur mode de fonctionnement, leurs matériaux constitutifs, la nature de la voie portée, etc...

Le classement qui suit est effectué selon la présence d'appareils d'appui :

- **Principaux ouvrages ne comportant pas d'appareils d'appui :**
Pont-voûte, pont-cadre, pont-portique, dalots, conduits Matière.
- **Ouvrages comportant une seule ligne d'appui pour laquelle les appareils d'appui sont des articulations :**
Portiques doubles,...
- **Ouvrages comportant une ou plusieurs ligne d'appui pour laquelle les appareils d'appui sont des articulations :**
La majorité des tabliers à travées continues (dalles ou poutres) antérieurs à 1965.
- **Ouvrages comportant des dispositifs d'appui de toute nature :**
La plupart des structures courantes.

- **Ouvrages comportant des dispositifs d'appui particuliers :**

Pont suspendu, pont tournant, pont hissant, pont levant,...

2.1.4) APPUIS DE PONTS

L'appui est ce qui sert de soutien.

Dans le cas des ponts, nous rencontrons :

- L'élément à soutenir : tablier de l'ouvrage.
- Les appuis :
 - culées.
 - piles.
 - consoles (pont cantilever).
- Le support : sol d'assise.

2.1.5) APPAREILS D'APPUI

L'appareil d'appui est **l'interface** entre le tablier et les appuis. Il remplit diverses fonctions essentielles au bon fonctionnement et à la pérennité de la structure.

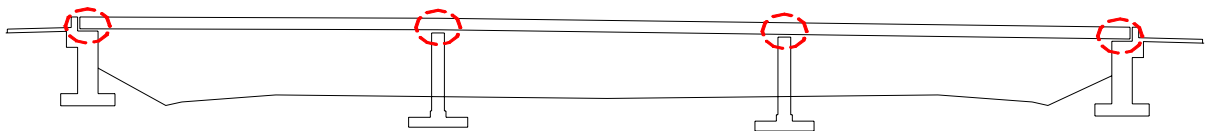


Figure 4 – Localisation des appareils d'appui

3 - PREMIERE PARTIE
FONCTIONS DANS LES OUVRAGES
DESCRIPTION DES DIFFERENTS APPAREILS D'APPUI ET
DE LEUR ENVIRONNEMENT

3.1 – FONCTIONS

D'une manière générale, les appareils d'appui assurent une transmission d'efforts du tablier aux appuis.

3.1.1) PRINCIPE

Une liaison entre deux solides comporte six degrés de liberté dans l'espace : trois déplacements et trois rotations.

Les appareils d'appui caractérisent, par définition, l'existence :

- d'au moins un déplacement bloqué (sur l'axe Z).
- d'au moins une rotation libre.

Un encastrement n'est pas un appareil d'appui.

On distingue, selon les degrés de liberté autorisés :

LES APPAREILS D'APPUI FIXES

Seule la rotation suivant l'axe de la ligne d'appui est autorisée.

Cas général :

Cas particulier d'un
élastomère fretté ou d'un
appareil d'appui à pot :

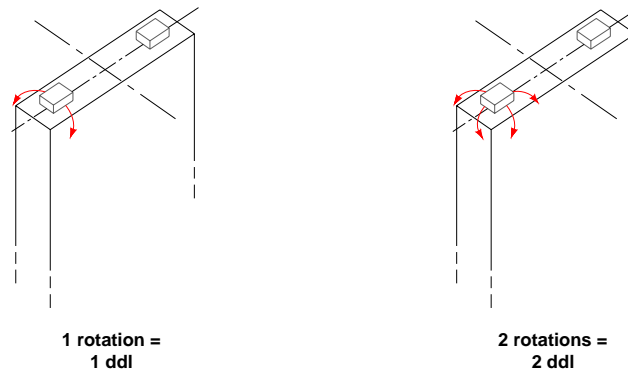


Figure 5 – Principe de fonctionnement des appareils d'appui fixes

LES APPAREILS D'APPUI UNIDIRECTIONNELS

La rotation suivant l'axe de la ligne d'appui est autorisée, ainsi que les déplacements dans la direction normale à la ligne d'appui.

En général, ces appareils d'appui comportent deux « étages », chacun d'eux assurant une fonction.

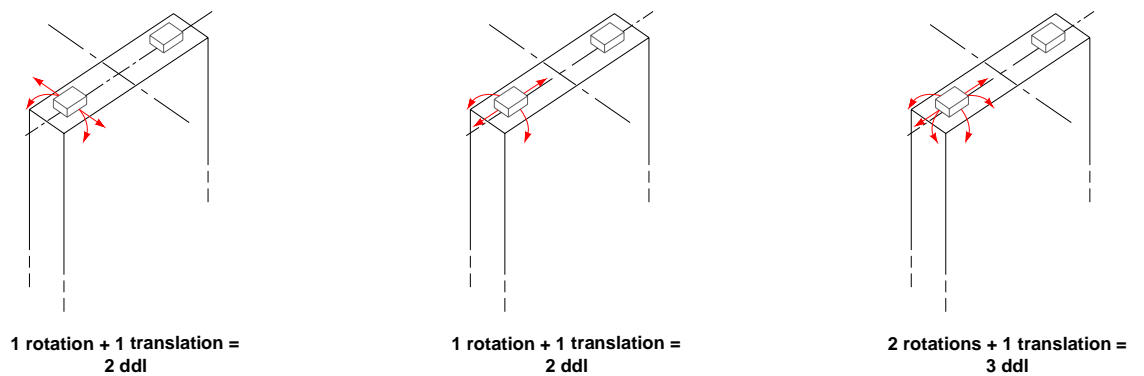


Figure 6 – Principe de fonctionnement des appareils d'appui mobiles unidirectionnels

LES APPAREILS D'APPUI MOBILES MULTIDIRECTIONNELS

La rotation suivant l'axe de la ligne d'appui est autorisée, ainsi que les déplacements dans le plan de l'appareil d'appui.

En général, ces appareils d'appui comportent deux « étages », chacun d'eux assurant une fonction.

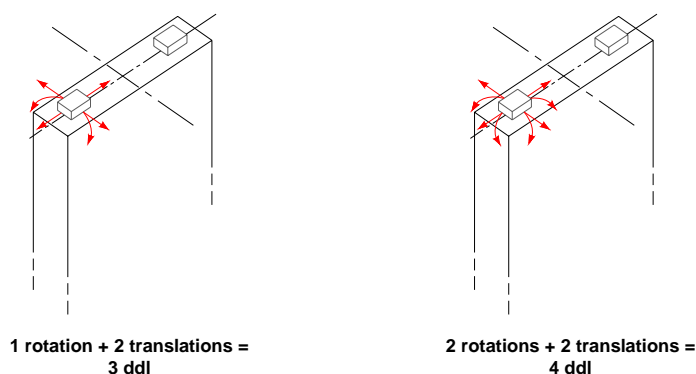


Figure 7 – Principe de fonctionnement des appareils d'appui mobiles multidirectionnels

3.1.2) FONCTIONS PRINCIPALES

Elles sont au nombre de trois :

- La transmission de la descente de charge sur des emplacements précis.
- La rotation sur la ligne d'appui considérée du tablier, provoquée par les charges d'exploitation.
- Déplacements du tablier ayant pour origine
 - o Des effets irréversibles:
 - Le retrait (tabliers en béton armé).
 - Le fluage (tabliers en béton précontraint).
 - La relaxation (structures en acier).
 - o Des effets réversibles :
 - Les effets thermiques sur le tablier.
 - Les effets dynamiques (accélérations et freinage des véhicules en particulier).

Les appareils d'appui, en permettant les rotations et les déplacements, évitent le développement de contraintes indésirables dans les différentes parties de la structure d'un pont. On constate fréquemment que les dysfonctionnements des appareils d'appui ont des conséquences néfastes et conduisent à l'apparition de désordres sur les ouvrages.

3.1.3) DISPOSITIFS SPECIAUX

- Dispositifs parasismiques.

3.1.4) ORIGINE DES EFFORTS

Actions permanentes : -poids propre des structures.

-poids des superstructures.

-poids des chaussées (ponts-routes).

- poids des ballasts (ponts-rails).

-poids de l'eau (pont-canaux).

-effets dus au retrait et au fluage des matériaux.

Actions variables : - charges d'exploitation.

-effets dynamiques : accélération, force centrifuge, freinage.

-effets climatiques : gradient thermique, neige, vent.

-marnage.

Actions accidentelles : -chocs sur le tablier ou sur les appuis.

-tassement différentiel des appuis, principalement pour les structures hyperstatiques.

-actions sismiques.

-crues.

3.2 - L'ENVIRONNEMENT DES D'APPAREILS D'APPUI ET L'IMPORTANCE DE LA MISE EN ŒUVRE

L'environnement des appareils d'appui regroupe les parties d'ouvrage à proximité immédiate ou en contact avec eux. Il doit satisfaire :

- au bon fonctionnement de ces derniers.
- à une préservation de leur durabilité.
- à une visite des appareils d'appui aisée.
- à une réparation ou un changement d'appareil d'appui facilité.

Les différentes conditions évoquées ci-dessus sont obtenues par :

- une conception intelligente de l'ouvrage, qui facilite en outre les opérations ultérieures : réalisation de bossages et de plots de vérinage correctement frettés, espaces suffisants, position des évacuations des eaux correctes, escaliers incorporés aux perrés des culées pour la visite des appareils d'appui, etc...
- un entretien régulier, afin éviter la présence d'humidité, l'accumulation de débris et gravats divers, et le développement de végétation.

La *planche n°1* en *Annexe 2* présente des dispositions correctes d'environnement d'appareils d'appui.

3.2.1) LES BOSSAGES D'APPAREILS D'APPUI

Les différentes conditions évoquées ci-dessus sont obtenues par la réalisation de bossages supérieurs et inférieurs, réalisés en béton fretté (préfabriqués ou coulés en place) ou en acier (platines). Ils permettent :

- d'obtenir des surfaces de contact planes et parallèles, les plus horizontales possibles.
- d'assurer une mise hors d'eau des appareils d'appui.
- de réaliser le vérinage par l'aménagement d'une hauteur libre.
- une visite aisée des appareils d'appui.

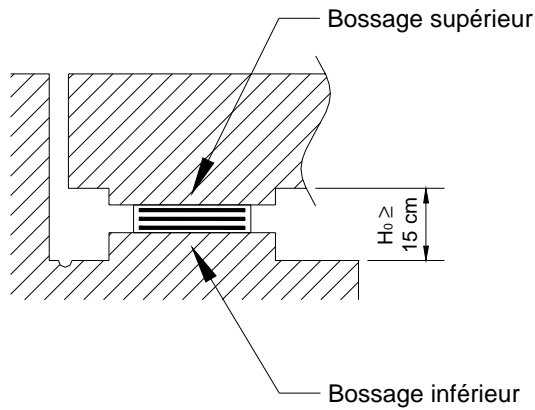


Figure 8- Principe de bossages en béton



Photo 4 – Appareil d'appui en caoutchouc fretté et bossages béton

Les dimensions des bossages des appareils d'appui ne sont pas normalisées. Cependant, le document *Environnement des appareils d'appui en élastomère fretté* d'octobre 1978 réalisé conjointement par le *LCPC* et le *SETRA* constitue un recueil des règles de l'art en la matière et donne les dispositions constructives minimales nécessaires à la pérennité des appareils d'appui et donc de la structure. Parmi celles-ci, on retiendra :

A) L'IMPLANTATION DES BOSSAGES

La distance minimale entre l'arête extérieure du bossage et les parties verticales des appuis est de 50 mm.

B) LES DIMENSIONS EN PLAN MINIMALES

Les bossages inférieurs et supérieurs doivent présenter un débordement supérieur ou égal à l'épaisseur de l'appareil d'appui, sans descendre en dessous de 50 mm, ce qui permet :

- d'éviter les épaufrures des bossages provoquées par les efforts transmis par les appareils d'appui.
- Le calage des frettes extérieures et des dispositifs anti-cheminement éventuels.
- De rattraper les différences d'alignement.

C) LES HAUTEURS DE BOSSAGES

Si on appelle H_0 la distance mesurée entre le sommier de l'appui et l'intrados du tablier, les bossages doivent permettre d'obtenir $H_0 \geq 15$ cm. C'est la condition minimale pour permettre une visite des appareils d'appui et un relevage du tablier aisés.

D) L'ÉPAISSEUR DES BOSSAGES

Généralement, les bossages inférieurs et supérieurs en béton fretté ont une épaisseur minimale de 5 cm. Celle-ci peut se trouver augmentée en fonction de l'épaisseur des appareils d'appui.

3.3 - LES DIFFERENTS TYPES D'APPAREILS D'APPUI

3.3.1) LES APPAREILS D'APPUI EN CAOUTCHOUC FRETTE

Ce sont les modèles les plus utilisés aujourd'hui en France, ils sont mis en oeuvre sur la majorité des ponts courants. Les premiers modèles modernes ont fait leur apparition en 1952.

Ces appareils d'appui comportent des frettes en tôle d'acier disposées entre des feuillets de caoutchouc. Ces frettages leur procurent une résistance à la compression beaucoup plus élevée que celle admise sur des épaisseurs de feuillets identiques non frettés. Ils supportent alors des charges verticales maximales de l'ordre de 7 MN.

Leur principe de fonctionnement est l'utilisation des propriétés du caoutchouc pour reprendre, par des déplacements élastiques, des charges verticales, des efforts horizontaux et des rotations.

Ces déplacements engendrent des contraintes de cisaillement dans les feuillets qui, si elles sont trop importantes, provoquent des déchirures du caoutchouc et/ou la désadhésion entre les feuillets et les frettes.

Le premier ingénieur qui a proposé et publié une théorie de dimensionnement de ces types d'appareils d'appui pour le Génie Civil est Monsieur **Conversy**, en 1957.

Les bases en étaient l'incompressibilité volumétrique du caoutchouc et la théorie de l'élasticité linéaire. Quelque peu contesté, il modifia ses calculs en tenant compte de la compressibilité du caoutchouc qui n'est plus négligeable lorsque le rapport surface/épaisseur devient important.

Ce sont ses études qui servent de références à la réglementation actuellement en vigueur, confirmées par les recherches de l'ORE au début des années 1960.

A) PARTIES CONSTITUTIVES

A1) Le matériau caoutchouc

Le caoutchouc utilisé peut être soit d'origine naturelle, il provient alors du traitement du latex de certains végétaux comme l'*Hévéa* et c'est un polymère de l'isoprène, soit d'origine artificielle, il est dans ce cas élaboré à partir d'hydrocarbures diéthyléniques ou éthyléniques, c'est alors un polymère du chloroprène.

Le caoutchouc est un **élastomère**, c'est à dire un polymère possédant des propriétés élastiques. Ses qualités sont une bonne résistance à la traction, un très bon allongement à la rupture (les valeurs courantes d'allongement sont de l'ordre de 500 %, et 1200 % en laboratoire, pour des contraintes de résistance à la traction respectives de 10 à 20 MPa et de 40 MPa), un bon comportement aux sollicitations dynamiques.

A2) Les frettes en acier

La nuance de l'acier actuellement utilisé est Fe 360 (norme NF EN10025). Les frettes sont découpées à la cisaille, dégraissées et grenillées. Un agent d'adhérisation leur est ensuite appliqué.

B) SCHEMAS DE FONCTIONNEMENT

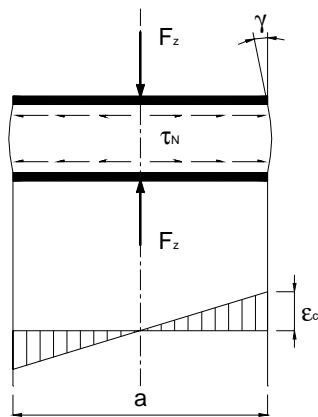


Figure 9 – Déformation d'un appareil d'appui en caoutchouc fretté sous effort normal (poids du tablier, des équipements, des charges d'exploitation,...)

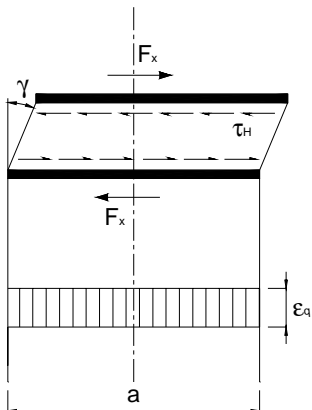


Figure 10 – Déformation d'un appareil d'appui en caoutchouc fretté sous effort horizontal (distorsion) (dilatation du tablier, retrait du béton, effort de freinage des véhicules,...)

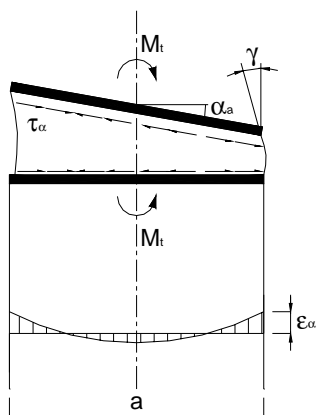


Figure 11 – Déformation d'un appareil d'appui en caoutchouc fretté sous rotation d'axe horizontal (charges d'exploitation,...)

C) LES MODELES A FRETTAGES AVEC ADHERENCE DE FORME

Ces modèles ne sont plus utilisés aujourd'hui. Il est cependant possible d'en rencontrer sur des ouvrages en service.

C1) Système Gantois® (1940)

Les frettes sont réalisées en grillage (fils tréfilés et étamés) d'acier à maille carrée de 4 mm environ, incorporées entre des feuillets de caoutchouc d'une épaisseur de 5 mm, mais non adhérentes.

L'adhérence est obtenue lors de la mise en charge, lorsque les fils s'incrudent dans les feuillets.

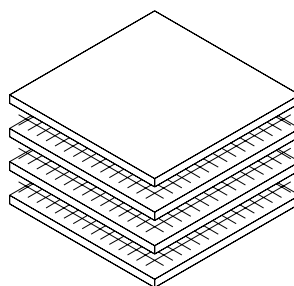


Figure 12 - Principe du système Gantois®

C2) Système Lasto®-Pile type NF (1950)

Les frettes sont des tôles en acier inoxydable, leur surface est rendue rugueuse par un traitement spécifique afin de mobiliser du frottement avec les feuillets de caoutchouc. Ceux-ci possèdent des dimensions en plans inférieures à celles des frettes.

Les épaisseurs sont de 1 mm pour les tôles, et 9,11 ou 13 mm pour les feuillets.

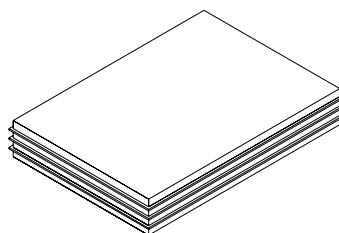


Figure 13 - Principe du système Lasto®-Pile type NF

C3) Système Cargo® (1958-1964)

Les frettes sont constituées de plaques métalliques nervurées en croix, épaisses de 1 mm, qui s'incrudent dans les feuillets d'élastomère de 12 mm, s'opposant ainsi au cheminement de ceux-ci.

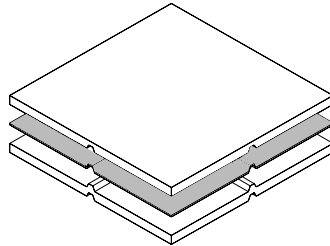


Figure 14 - Principe du système Cargo®

Pour tous ces appareils d'appui (Gantois®, Lasto-Pile®, Cargo®), afin d'éviter la dispersion des frettes et des feuillets durant les opérations de stockage, transports, mise en œuvre, les éléments sont maintenus solidaires par des bandes de ruban adhésif, visibles lors des visites, et qui peuvent permettre leur identification par un visiteur averti.

D) LES MODELES A FRETTAGES ADHERISES PAR VULCANISATION

D1) La vulcanisation

C'est la transformation du caoutchouc effectuée en traitant ce dernier par le soufre, à une température comprise entre 150 et 200 °C, et sous une pression de 5 à 10 MPa. Le but est d'améliorer sa résistance tout en conservant son élasticité. En effet, les élastomères non vulcanisés possèdent une structure moléculaire composée de fibres qui, lors d'une déformation, s'orientent suivant l'axe principal des déformations, puis reprennent leur position initiale lorsque l'effort est interrompu. C'est donc une phase élastique, qui va tendre vers une phase plastique lorsque les déplacements deviennent trop importants : les fibres glissent les unes par rapport aux autres.

La vulcanisation, découverte par Charles Goodyear en 1839, crée des liaisons pontales transversales entre les chaînes moléculaires, ce qui permet à la structure de retrouver sa forme initiale après un allongement.

L'opération de vulcanisation permet également d'améliorer d'autres aspects des élastomères, notamment :

- Augmenter les qualités physiques par l'adjonction de charges renforçantes ou semi-renforçantes.
- Diminuer le prix de revient (ajout de charges inertes).
- Faciliter les opérations de fabrication (incorporation de plastifiants,..)
- Augmenter la durabilité à l'aide d'antioxygènes et d'antiozones.
- Améliorer l'adhérence frettes/feuilletts.

D2) Les modèles non enrobés

Ils comportent des demi-frettes extérieures, et les chants métalliques sont apparents. Inventés par Eugène Freyssinet en 1952, ils ont été développés par la STUP dans les années 1960. La méthode de fabrication était le découpage à la demande des appareils d'appui dans une plaque mère de dimensions maximales 1000 x 1200 mm, suivi d'une mise en peinture dont la couleur permet de les identifier comme suit :

- rouge : qualité Ponts et Chaussées.
- vert : qualité Ponts Rails.
- gris: frettes en acier inoxydable.
- jaune : qualité Bâtiment.

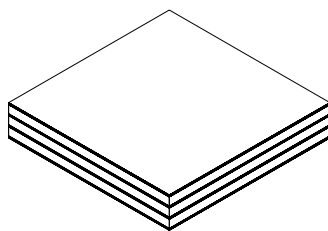


Figure 15 – Principe d'un appareil d'appui fretté non enrobé

D3) Les modèles semi-enrobés

Sur ces modèles, exclusivement de marque CIPEC, seuls les chants métalliques des frettes sont visibles, des demi-feuilletts extérieurs les recouvrant.

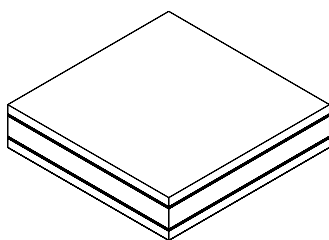


Figure 16 – Principe d'un appareil d'appui fretté semi-enrobé

D4) Les modèles enrobés (avant 1990)

Ces modèles ne sont plus découpés dans des plaques mères, mais sont moulés aux dimensions exactes avec enrobage complet des frettes, ce qui procure à celles-ci une parfaite protection contre la corrosion.

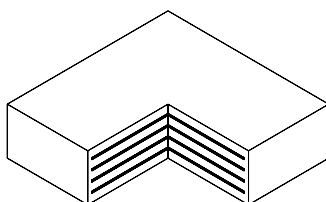


Figure 17 – Principe d'un appareil d'appui fretté enrobé

D5) Les appareils d'appui en caoutchouc fretté adhésés par vulcanisation actuels

Ils sont conformes à la norme XP T 47.815 attestée par la marque NF ; et sont répartis en 6 types (A à F, voir *Annexe 1*). Seules les classes B et E concernent les ouvrages d'art.



Photo 5 – Appareil d'appui fretté enrobé NF

D6) Les appareils d'appui en caoutchouc fretté avec plan de glissement

Afin de permettre des déplacements relatifs horizontaux plus importants (les efforts horizontaux sont limités à 6 à 8 % des efforts verticaux), ces appareils d'appui frettés adhésifs par vulcanisation sont fixés sur une tôle d'acier de 15 mm et reçoivent sur leur face supérieure une couche de **polytétrafluoréthylène** (PTFE), sur laquelle vient prendre appui une plaque polie en acier inoxydable, également fixée sur une tôle d'acier de 15 mm qui sera ensuite solidarisée au bossage supérieur. La couche de PTFE (plus connu sous l'appellation commerciale **TEFLON®**) est, en général, munie d'alvéoles remplies de graisse pour améliorer les capacités de glissement.

Du fait des propriétés du caoutchouc, ce sont des appareils d'appui multidirectionnels ; cependant le plan de glissement favorise généralement la direction longitudinale du tablier.

D7) Les dispositifs complémentaires

- Platines à taquets

Les taquets suppriment le degré de liberté en déplacement du bloc de caoutchouc fretté et le transforment en rotule souple.

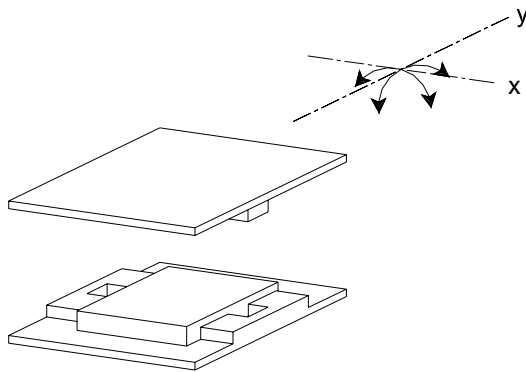


Figure 18 – Principe d'une platine à taquet avec bloc de caoutchouc fretté



Photo 6 – Platines à taquets

- Anti-cheminement

Lorsque lors d'une justification d'un appareil d'appui en caoutchouc fretté, on ne peut satisfaire à la condition de non-glissement, on peut équiper l'appareil d'appui de butées anti-cheminement. A la différence des platines à taquets du dispositif précédent, la distorsion est autorisée. Cependant la surépaisseur de l'appareil d'appui engendrée peut causer son flambement.

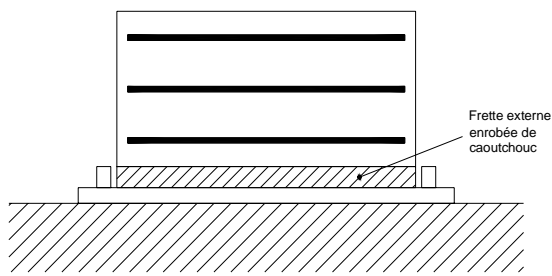


Figure 19 – Principe d'un dispositif anti-cheminement

- Anti-soulèvement

Leur utilisation peut être requise sur des ponts rails, pour éviter le battement sous les charges roulantes, ou sur des ouvrages submersibles.

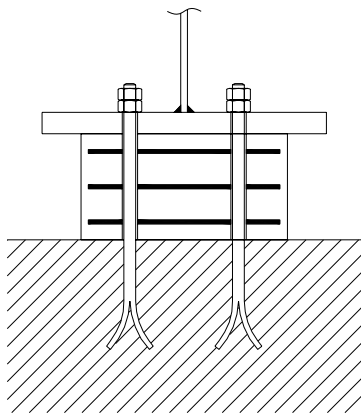


Figure 20 – Principe d'un dispositif anti-soulèvement

3.3.2) LES APPAREILS D'APPUI A POT (DEBUT DES ANNEES

1960)

Ce sont désormais les systèmes les plus utilisés après ceux en caoutchouc fretté enrobés. Leur emploi commence là où celui de ces derniers s'arrête : ils acceptent des charges verticales supérieures à 8 MN pour lesquelles les caoutchoucs frettés demandent une surface trop importante qui sort des gammes standard.

Ils sont constitués d'un récipient cylindrique en acier (pot), recevant un piston comprimant un disque de caoutchouc avec une contrainte de l'ordre de 25 MPa. Le coussin d'élastomère ainsi confiné adopte un comportement comparable à celui d'un liquide : son volume ne varie pas et il permet la rotation dans toutes les directions.

Comme les caoutchoucs frettés, ils peuvent être complétés de dispositifs de glissement.

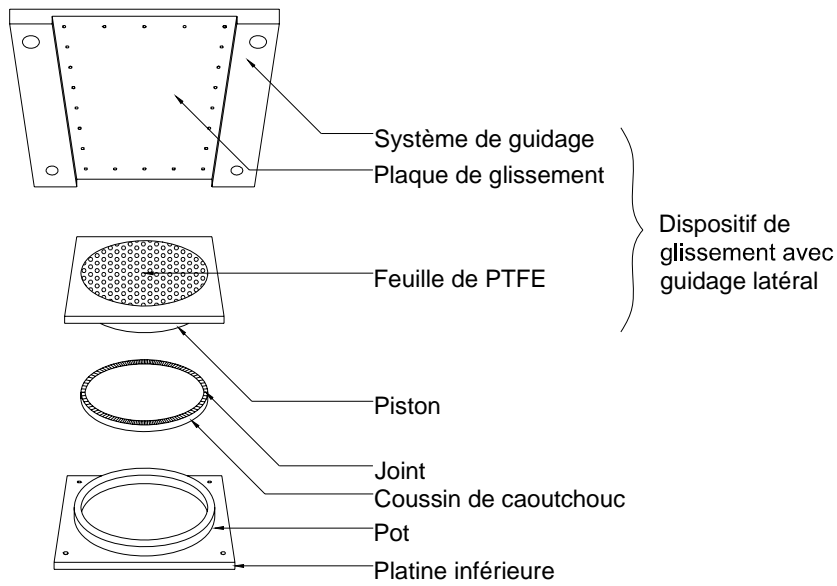


Figure 21 – Constitution d'un appareil d'appui à pot unidirectionnel



Photo 7 – Appareil d'appui à pot glissant unidirectionnel et bossage inférieur en béton



Photo 8 – Appareil d'appui à pot avec dispositif de glissement, bossage inférieur en béton et jupe de protection. Cette dernière est nécessaire pour tous les appareils d'appui glissants et est destinée à assurer l'intégrité de l'interface plaque de glissement/P.T.F.E face aux salissures.

3.3.3) LES APPAREILS D'APPUI METALLIQUES

Ils sont généralement, mais pas systématiquement, associés aux ponts métalliques. Leur dimensionnement s'effectue selon les principes de la résistance des matériaux.

A) LES APPAREILS D'APPUI A PLAQUES

Leur utilisation est plus courante sur des ouvrages en béton. Ils sont composés de 2 plaques de friction en plomb, zinc ou acier, avec dans certains cas interposition de poudre de graphite destinée à réduire le coefficient de frottement.

Dans le cas d'une transmission de rotation la partie supérieure comporte une surface cylindrique.

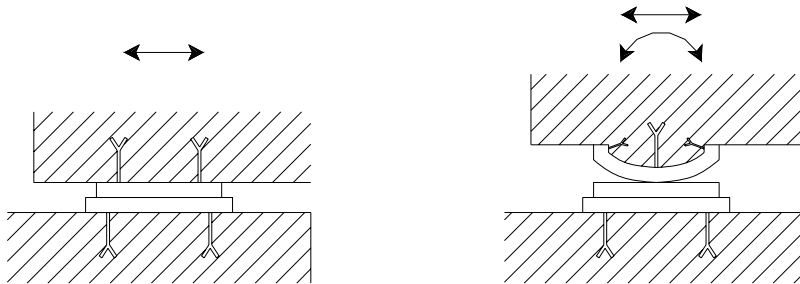


Figure 22 – Principe des appareils d'appui à plaque

B) LES APPAREILS D'APPUI A BALANCIER A CONTACT LINEAIRE

Ce type d'appareil d'appui est encore fabriqué en France et très répandu en Italie.

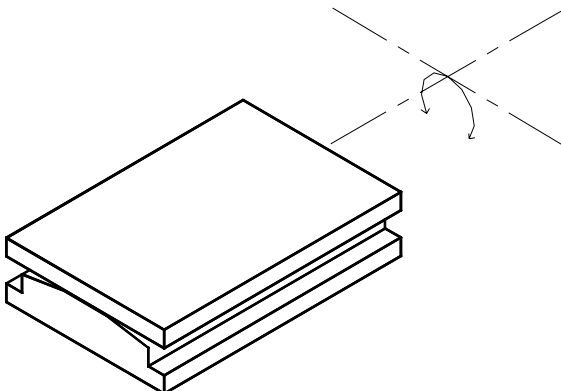


Figure 23 – Principe d'un appareil d'appui linéaire

C) LES APPAREILS D'APPUI A ROTULE AXIALE

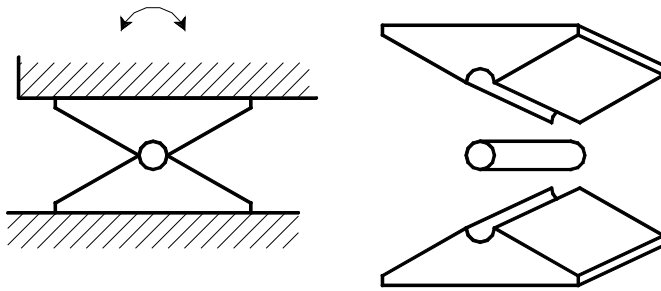


Figure 24 – Principe des rotules axiales



Photo 9 – Les rotules d'une des piles en rivièrre du pont ferroviaire Kitchener à Lyon



Photo 10 – Rotules axiales d'un pont en arc

D) LES APPAREILS D'APPUI A ROULEAUX

Ces appareils d'appui à rouleau ne furent pas utilisés uniquement sur les ouvrages métalliques, mais aussi sur des ponts en béton armé ou béton précontraint. De même, des modèles à rouleau en béton fretté ont été employés.

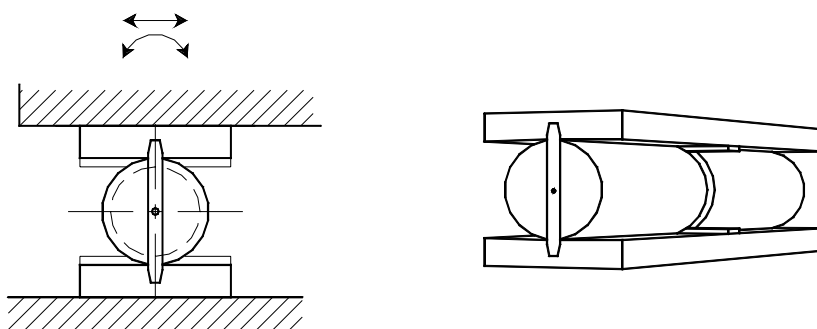


Figure 25 – Principe des rouleaux



Photo 11 – Rouleau métallique avec tenon de guidage axiale sur les bossages

E) LES APPAREILS D'APPUI A ROULEAUX MULTIPLES OU CHARIOTS

Ils sont généralement surmontés d'un autre dispositif permettant la rotation (rotule).

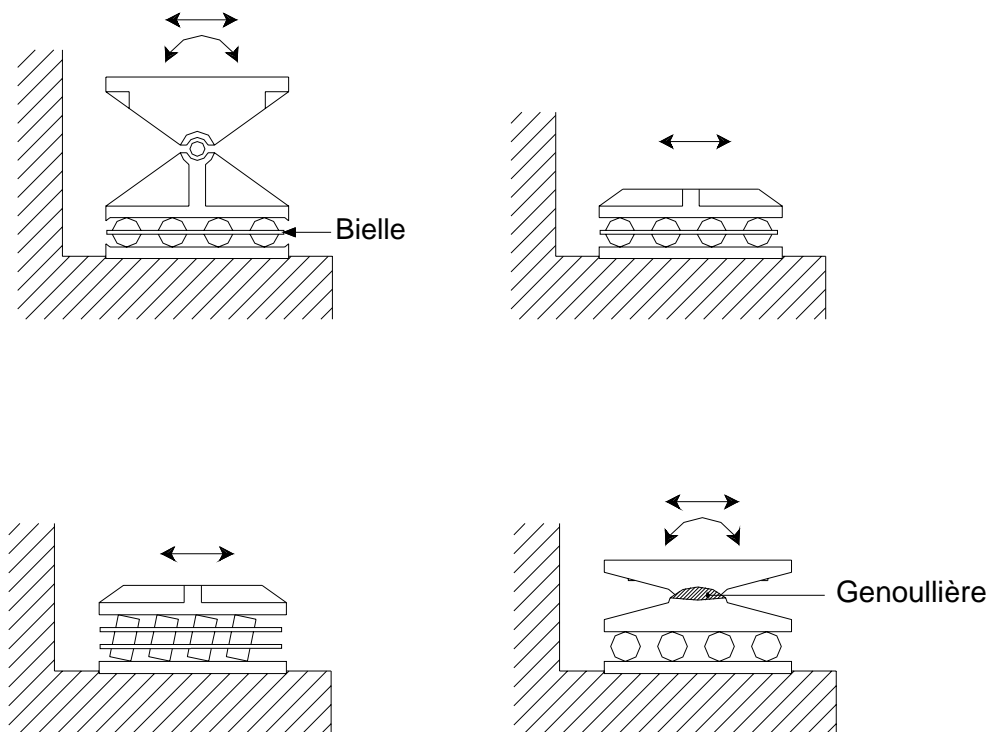


Figure 26 – Principe des rouleaux multiples, avec ou sans bielles



Photo 12 – Chariots conjugués avec une rotule axiale

F) LES ROULEAUX TRONQUES OU GALETS - LES ROULEAUX A COTES APLATIS OU PENDULES

Ils sont assimilables à des rouleaux de grand diamètre dont on a supprimé les zones non sollicitées.

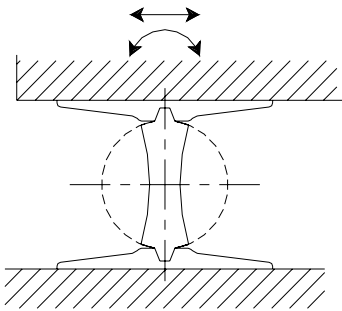


Figure 27 – Galet métallique

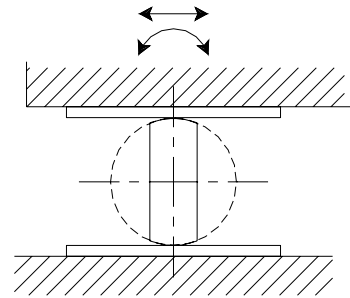


Figure 28 – Pendule métallique



Photo 13 – Pendule métallique équipant un pont mixte



Photo 14 – Pendule métallique + rotule

G) LES BALANCIERS A CONTACT PONCTUEL

Leur embase supporte une surface sphérique convexe (calotte sphérique) sur laquelle prend appui et se déplace :

- soit une surface plane.
- soit une surface sphérique concave à grand rayon.

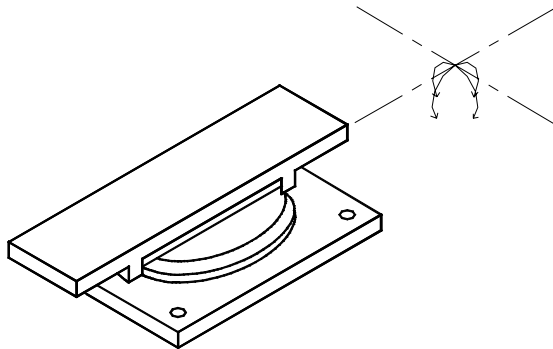


Figure 29 – Calotte sphérique

H) LES APPAREILS D'APPUI SPHERIQUES ET CYLINDRIQUES

Ils se distinguent des modèles précédents par un rayon identique des surfaces de contact sphériques inférieures et supérieures.

Les genouillères (voir fig.23) font parti de ce type d'appareil d'appui.

I) LES APPAREILS D'APPUI A GRAIN

La surface de contact supérieure est cylindrique ou sphérique et prend appui sur une surface plane.

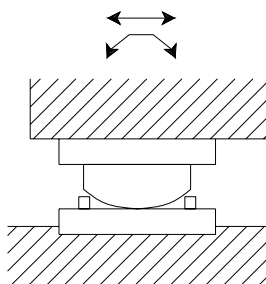


Figure 30 – Principe d'un appareil d'appui à grain avec taquets latéraux

J) LES BIELLES

Ce sont les dispositifs de guidage des ponts suspendus, qui sont spécifiques à chaque ouvrage. Elles permettent une double articulation.

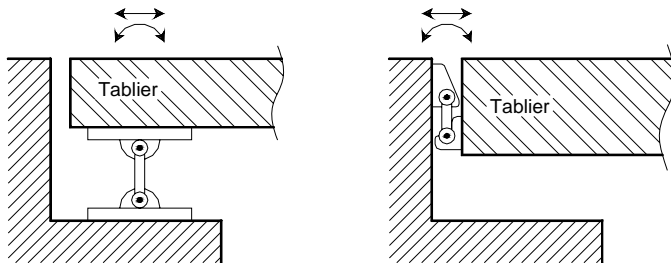


Figure 31 – Principe de bielles



Photos 15 et 16 – Bielles

3.3.4) LES APPAREILS D'APPUI EN BETON

A) L'ARTICULATION MESNAGER (1907)

Des barres d'acier se croisent en X dans une section rétrécie de béton, celui-ci ayant pour seul rôle d'assurer leur protection vis-à-vis des risques de corrosion. Le point d'intersection des barres forme l'axe de l'articulation.

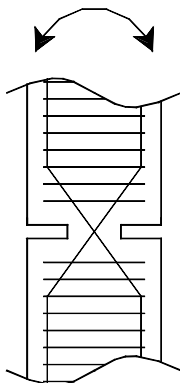


Figure 32 - Principe de l'articulation Mesnager

B) L'ARTICULATION CONSIDERE (DEBUT XX° SIECLE)

C'est une articulation provisoire constituée d'une section rétrécie frettée qui est par la suite enrobée de béton. La liaison est assurée par les armatures en attente.

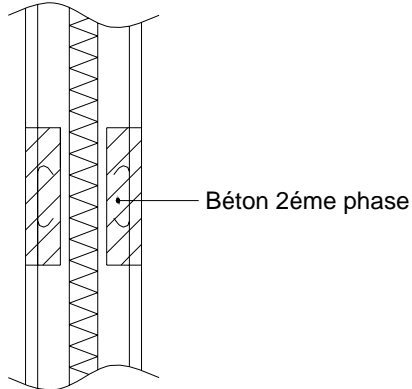


Figure 33 - Principe de l'articulation Considère

C) L'ARTICULATION CONSIDERE -CAQUOT

Cette articulation dite roulante est constituée par une portion de béton cylindrique ou sphérique transmettant les efforts sur un plan ou sur un cylindre. La partie supérieure peut être concave ou convexe.

Afin d'introduire un degré de liberté supplémentaire en déplacement, ces articulations peuvent être dédoublées, leur capacité de translation est de l'ordre de quelques centimètres.

Dans le cas d'efforts horizontaux importants, des aciers passifs traversant jouent le rôle de goujons.

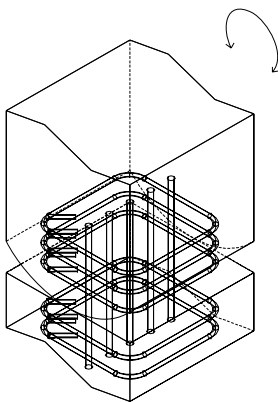


Figure 34 – Vue éclatée d'une articulation Considère-Caquot simple, à rayon convexe roulant sur un plan

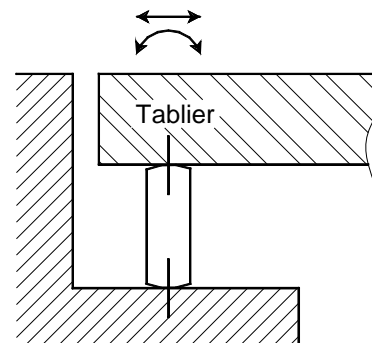


Figure 35 - Principe d'une articulation Considère-Caquot double

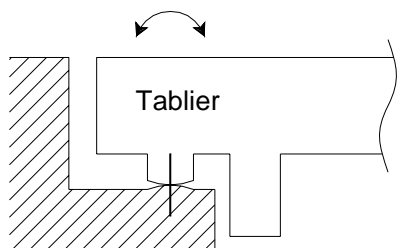


Figure 36 - Principe d'une articulation Considère-Caquot simple, à parties convexes supérieures et inférieures

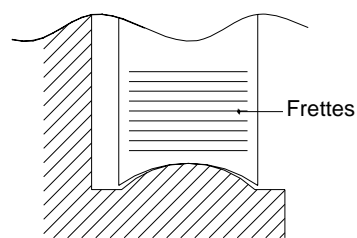


Figure 37 - Principe d'une articulation Considère-Caquot simple, à parties concave sur partie convexe



Photo 17– Articulation Considère Caquot double

D) L'ARTICULATION FREYSSINET

Ce système, inventé par Eugène Freyssinet, est toujours utilisé sur des ouvrages en béton de faible importance ; il est constitué par une section rétrécie de béton dont la faible hauteur (de l'ordre de 20 mm) empêche son flambement. Ces sections sont généralement traversées par des aciers passifs jouant le rôle de goujons.

Sous les charges permanentes, la zone réduite est soumise à une contrainte de compression de l'ordre de 25 MPa qui provoque la plastification du béton. Des rotations limitées à 0,05 radians lors de l'application des charges d'exploitation sont alors possibles.

Ce système permet également de ne pas charger l'arête du sommet et d'éviter ainsi son éclatement lors de la rotation. Des armatures jouent le rôle de frettes dans la zone de béton proche des goujons (zone soumise à une forte compression).

Son dimensionnement est formalisé par des règles de calcul depuis 1964 et se trouve aujourd'hui dans le BAEL 91 modifié 99 (article A.8.4).

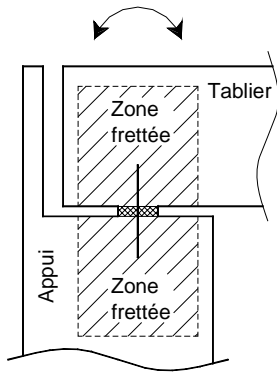


Figure 38 - Principe de l'articulation Freyssinet

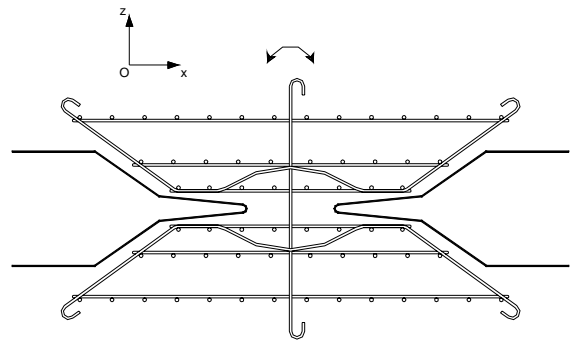


Figure 39 – Schéma de ferrailage d'une articulation Freyssinet

E) LES BIELLES EN BETON

Ce sont des articulations Freyssinet dédoublées qui permettent d'obtenir un degré de liberté supplémentaire en déplacement. La valeur du déplacement est de l'ordre du cm à ± 5 mm.



Figure 40 - Principe des bielles de béton

3.3.5) AUTRES TYPES D'APPAREILS D'APPUI

A) LES SEMELLES DE PLOMB (FIN XVIII^E SIECLE)

C'est probablement la forme la plus rustique d'appareil d'appui métallique. En effet, à cette époque, des semelles de plomb de 5 à 10 mm d'épaisseur servent d'appareil d'appui aux tabliers des ponts en fonte ou en fer (ponts des Compagnies de Chemin de Fer

principalement). Leur déformation permet une réduction des irrégularités des pierres des sommiers et permet ainsi au plan d'appui du tablier métallique une portée régulière sur la culée.

Cependant leur écrasement rapide neutralise leur capacité d'absorption des chocs, ce qui conduit à une dislocation des culées en maçonnerie. Elles ont été peu à peu remplacées par les semelles de caoutchouc.



Photos 18 et 19 – Semelle de plomb sous poutre métallique

B) LES SEMELLES EPAISSES DE CAOUTCHOUC (1932)

Contrairement au plomb qui, lors de déformations, entre rapidement dans une phase ductile, le caoutchouc reste dans une phase de déformation élastique, il reprend donc sa forme initiale après chaque surcharge à laquelle il a été soumis. Le problème d'écrasement est donc éliminé, les chocs dus aux charges (passage des trains) sont absorbés et ainsi la déconsolidation des culées n'a plus lieu.

Ils sont encore utilisés dans le domaine du bâtiment, dans des versions améliorées.

Dans le même esprit d'appareils d'appui sommaires, il faut également citer les feuilles de zinc, l'Isorel mou, les bandes bitumées, et même l'utilisation de cales en bois dur.

C) LES APPUIS BROCHES (DEBUTS DES PONTS EN BETON)

Une broche verticale en acier relie le tablier au sommier béton. L'interface sommier / tablier est réalisée par une feuille de zinc ou une feuille bitumineuse, parfois même par un simple contact béton / béton.

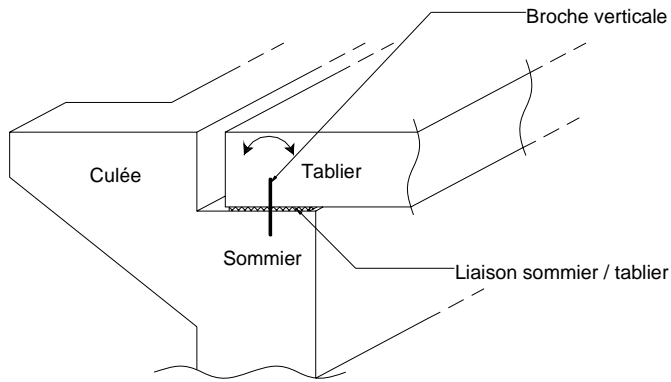


Figure 41 - Principe d'un appui broché

D) LE SYSTEME COURTOT

Développé par l'ingénieur du même nom pour les besoins spécifiques du pont N°10 à Orly en 1950, cette version originale d'appareil d'appui en caoutchouc fretté est constituée par un enrobage en feuillets cylindriques de caoutchouc, recouvrant un noyau en béton armé, ce qui procure une très grande souplesse en rotation.

Ce système a été réutilisé sur un nombre restreint d'ouvrages (appui arrière de la culée rive gauche du pont de Tancarville en 1959 en particulier).

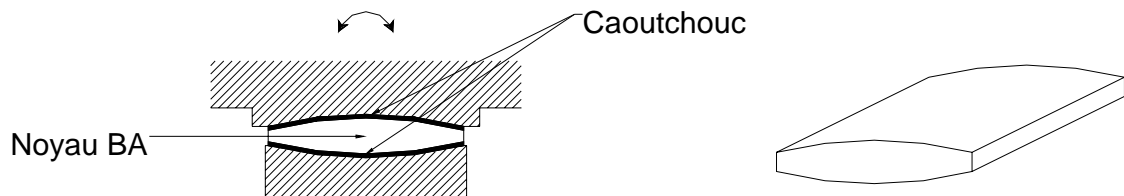


Figure 42 - Principe de l'articulation Courtot

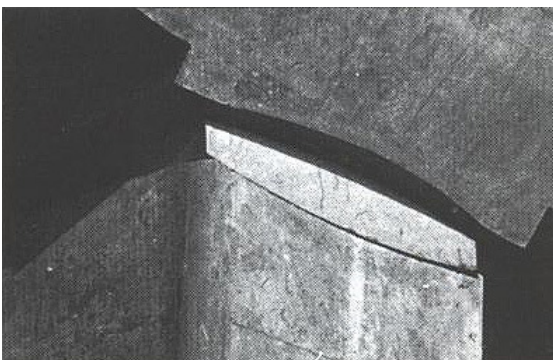


Photo 20 – Articulation Courtot d'une des piles du pont n° 10 à Orly (ouvrage conçu par Eugène FREYSSINET)

E) LES APPAREILS D'APPUI AVEC SYSTEMES DE MESURES INCORPORES

Les appareils d'appui occupent l'emplacement idéal dans la structure d'un pont pour permettre la mesure des descentes de charges. C'est ainsi que plusieurs fabricants proposent des modèles instrumentés, permettant des mesures de pression, mais également de déformations. Ainsi équipés, les appareils d'appui deviennent un des instruments modernes de surveillance et de gestion des ouvrages d'art.

Parmi les différents modèles, encore peu répandu, on retiendra :

- Les appareils d'appui en caoutchouc fretté à jauges de déformation

Celles-ci sont mises en places sur les frettes métalliques.

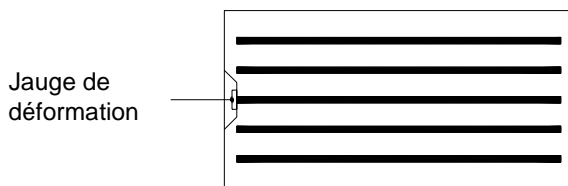


Figure 43 - Principe d'un appareil d'appui à jauge de déformation

- Les appareils d'appui en caoutchouc fretté et à pot avec vérin plat incorporé

Le vérin plat, relié à un dispositif de mesure permet le pesage des descentes de charges sur les appuis.



Figure 44 - Principe d'un appareil d'appui à vérin plat

- Les appareils d'appui en caoutchouc fretté avec fibres optique

Ces modèles expérimentaux permettent une mesure des descentes de charges et la fourniture d'informations sur les sollicitations en cisaillement et en rotation.

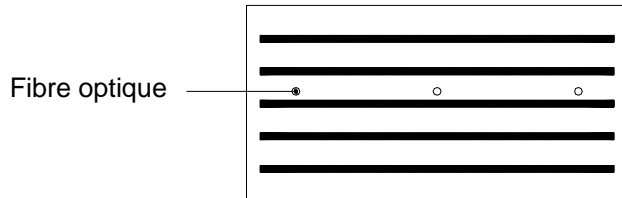


Figure 45 - Principe d'un appareil d'appui à fibres optiques

F) LES APPAREILS D'APPUI DES PONTS MOBILES

Ils constituent des dispositifs d'appui particulier, qui doivent assurer des fonctions complémentaires liées au mécanisme de l'ouvrage.



Photo 21 – Pont tournant – Vue générale de la pile avec appareil d'appui rotatif

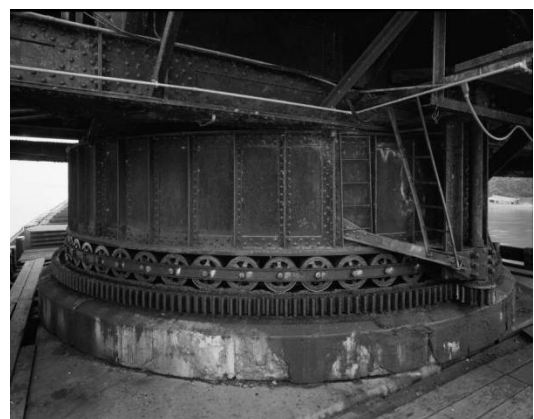


Photo 22 – Pont tournant – Détail de l'appareil d'appui rotatif

3.4) ASPECT REGLEMENTAIRE ET NORMATIF

En matière d'appareils d'appui de ponts et viaducs, il existe différents règlements et normes selon le type d'appareil d'appui mis en oeuvre.

3.4.1) LES APPAREILS D'APPUI EN CAOUTCHOUC FRETTEES

Les normes applicables sont :

- Norme française expérimentale XP-T-47815 et les normes d'essai.
- La norme européenne En.1337.3 et le marquage CE qui viendra remplacer la norme XP-T-47815 et la marque NF, après une période de coexistence démarrant aux alentours de juillet 2004.

Le document de référence pour leur dimensionnement a été de 1967 à 2000 le *Bulletin Technique N°4 (B.T 4)*, mis à jour en 1974, et remplacé par le *Guide Technique du S.E.T.R.A pour les appareils d'appui en caoutchouc fretté utilisés sur les ponts, viaducs ou similaires* daté de septembre 2000. Ce dernier intègre certains éléments provenant des futures normes européennes précitées, et prend en compte les théories de calculs dits aux états limites introduites par le B.A.E.L en 1980.

3.4.2) LES APPAREILS D'APPUI A POT

Ils sont soumis :

- aux prescriptions des fabricants car il s'agit de produits brevetés.
- à la norme européenne 1337-5 dès que celle-ci sera applicable.
- la norme française *XP T 47-816-1* fixe des modalités de mise en oeuvre.

Il est bon de noter que l'ancien *B.T 4* en donnait les principales caractéristiques. La refonte de ce document en 2000 a nécessité la création du *Guide Technique du S.E.T.R.A pour les appareils d'appui à pot de caoutchouc utilisés sur les ponts, viaducs ou similaires*, en même temps que celui concernant les caoutchoucs frettés.

3.4.3) LES SECTIONS RETRECIES DE BETON

Leur dimensionnement fait l'objet de l'article A.8.4 du règlement *Béton Armé aux Etats Limites (B.A.E.L)*.

3.4.4) LES APPAREILS D'APPUI METALLIQUES

Ils font référence aux normes EN 1337.4, 1337.5 et 1337.6, et sont dimensionnés selon les principes de la résistance des matériaux.

4 - SECONDE PARTIE **LES PATHOLOGIES DES APPAREILS D'APPUI** **ET LEUR DIAGNOSTIC**

4.1 SURVEILLANCE DES OUVRAGES

4.1.1) LA SURVEILLANCE CONTINUE

C'est une surveillance quotidienne effectuée par tout agent d'un service gestionnaire d'un parc d'ouvrages d'art (D.D.E, Services Départementaux, S.N.C.F, Sociétés d'Autoroutes) lors de ses déplacements, et qui doit faire le rapport de toutes les anomalies observées au gestionnaire direct de l'ouvrage.

Cette surveillance n'est pas formalisée.

4.1.2) LA SURVEILLANCE ORGANISEE

A) LE CONTROLE ANNUEL

Applicable pour tous les ponts, il permet de déceler l'apparition ou l'évolution de désordres depuis la dernière action de surveillance. Etant réalisé sans moyens particuliers, seuls les appareils d'appui facilement accessibles sont examinés, dans la limite de leur visibilité.

Ce contrôle est de la responsabilité du gestionnaire direct de l'ouvrage.

B) LES VISITES D'EVALUATION IQOA

Les ouvrages concernés sont tous les ponts courants et non courants pour lesquels l'I.T 79 est applicable. Les ouvrages sont triés en deux classes à l'initiative du responsable départemental des ouvrages d'art, avec le conseil de ses services compétents.

Pour tous les ouvrages courant de la classe 1, le réseau technique de l'Etat (S.E.T.R.A et C.E.T.E) a mis au point un procès-verbal pré-établi qu'il suffit de remplir avec une notation codifiée.

Pour la classe 2 ces documents ne concernent que certaines parties d'ouvrage.

Les visites sont assurées, pour les ouvrages de la classe 1, par les agents du service gestionnaire direct ; pour ceux de la classe 2, un niveau de compétences spécifiques est requis

et ces visites peuvent être sous-traitées à des organismes extérieurs compétents ou, pour l'Etat, par son réseau technique.

Les moyens employés restent modestes, mais les investigations sont plus approfondies que lors du contrôle annuel : les documents tels que plans de recollement, rapports de visites antérieures doivent être préalablement consultés. Le principe de fonctionnement des appareils d'appui doit être connu, les pathologies éventuellement constatées seront relevés.

C) LES VISITES SPECIFIQUES

Elles sont réalisées lorsque les visites I.Q.O.A ou les Inspections Détaillées Périodiques n'ont pas permis l'examen complet de l'ouvrage et qu'il subsiste donc des doutes sur certaines parties d'ouvrage.

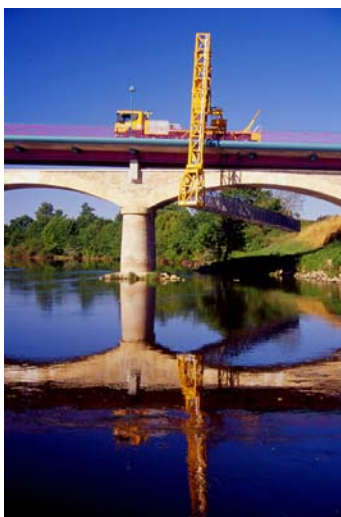


Photo 23 – Passerelle négative pour l'examen des intrados d'ouvrages, des têtes d'appui et des appareils d'appui. Ici nous sommes dans le cas d'une structure en maçonnerie recouverte d'une dalle générale.

D) L'INSPECTION DETAILLEE INITIALE

Cette inspection est réalisée soit :

- à l'issue de la construction d'un ouvrage neuf.
- à la remise en service d'un ouvrage existant réparé ou modifié.
- avant rétrocession d'un ouvrage ne possédant pas un P.V d'inspection récent.

Ce diagnostic constitue un état initial qui servira au suivi futur de cet ouvrage.

Pour les appareils d'appui, seront relevés :

- le type, la marque, les caractéristiques dimensionnelles, l'implantation et le centrage sur les bossages inférieurs, l'orientation des éventuels éléments de guidage, les hauteurs de visite, les caractéristiques des bossages, les venues d'eau, les emplacements de vérinage, etc.



Photo 24 – Mesure de la hauteur de visite d'un appareil d'appui en caoutchouc fretté

E) LA VISITE DE FIN DE GARANTIE CONTRACTUELLE

Elle est constituée par une Visite Spécifique ou une I.D.P définie ci-après, et doit avoir lieu avant l'expiration de chaque délai de garantie ou de responsabilité. L'état des ouvrages ou parties d'ouvrages sous garantie est vérifié.

F) L'INSPECTION DETAILLEE PERIODIQUE (I.D.P)

Elle constitue un véritable bilan de santé de l'ouvrage et est du ressort de personnel hautement qualifié.

Au niveau des appareils d'appui, l'inspection mettra l'accent sur :

- L'ensemble du dispositif d'appui.
- Les dégradations des matériaux constitutifs des appareils d'appui.
- Leur fonctionnement.

G) L'INSPECTION DETAILLEE EXCEPTIONNELLE

Celle-ci est déclenchée suite à des événements particuliers tels que crues, accident, etc. susceptibles de causer des dommages à l'ouvrage.

La visite des dispositifs d'appui est toujours nécessaire.

H) LA SURVEILLANCE RENFORCEE

Elle est provoquée lorsque l'état d'un ouvrage le justifie, ou en cas d'incertitude quant à l'existence de désordres.

Son contenu très complet comporte généralement la réalisation et l'exploitation d'auscultations complémentaires.

I) LA HAUTE SURVEILLANCE

Elle est mise en œuvre sur des ouvrages comportant des désordres mettant en cause la tenue de l'ouvrage et donc la sécurité. Les dispositifs mis en place ont généralement pour objet de conduire à la fermeture immédiate de l'ouvrage à la circulation.

4.2 PATHOLOGIES ET CRITERES D'ACTION

En matière d'appareil d'appui, il convient de considérer :

- les pathologies de l'appareil d'appui lui-même.
- les pathologies portant sur les dispositifs d'appui.

De plus, on peut dès à présent préciser que pour tous les types d'appareil d'appui, les désordres trouvent toujours leur origine dans une des causes suivantes, liées aux appareils d'appui eux-mêmes ou à la structure :

Pour les appareils d'appui :

- Erreur de dimensionnement.
- Défaut de fabrication.
- Défauts de mise en œuvre sur chantier.

Pour les dispositifs d'appui :

- Erreur de dimensionnement des bossages.
- Défaut de frettage.
- Défauts de mise en œuvre sur chantier (engravement des appareils d'appui, défaut de planéité, de parallélisme).
- Défaut d'alignement des bossages entre eux.

Pour la structure :

- Fonctionnement anormal de celle-ci.

Le LCPC propose un classement des pathologies selon des **indices de gravité**, notés IG, et classés de 1 à 5 par ordre d'importance croissante :

«

- **IG1** : défauts d'aspect n'ayant aucune incidence autre qu'esthétique, sans influence sur le fonctionnement.
- **IG2** : situation qui préfigure une évolution anormale du fonctionnement prévu.
- **IG3** : situation évolutive vers un état limite de service qui nécessite une mise sous surveillance et des investigations complémentaires.
- **IG4** : situation à l'état limite de service anormale pour le fonctionnement de l'ouvrage et qui impose des mesures conservatoire immédiates.
- **IG5** : situation qui peut compromettre la sécurité ou le niveau de service. »

Ce classement des pathologies conduit ensuite aux **décisions (D)** suivantes :

«

- **D1** : mise sous surveillance avec investigations complémentaires d'informations.
- **D2** : maintenance et connexes.
- **D3** : remplacement ou changement. »

Ce classement est repris dans les pages suivantes pour caractériser les différentes pathologies présentées.

4.3 INVENTAIRE DES PATHOLOGIES RELATIVES A L'ENVIRONNEMENT DES APPAREILS D'APPUI

Photos consultables en Annexe 2 , planches 3 et 3-bis.

4.3.1) VISIBILITE DE L'APPAREIL D'APPUI

4.3.1.1) DEVELOPPEMENT DE VEGETATION

Cause(s) :

- Entretien courant mal réalisé ou absent.

Conséquence(s) :

- Difficultés d'examen lors des visites.
- La végétation favorise un milieu humide néfaste aux appareils d'appui.

Indice de gravité – Décision finale

- IG1 - D2 (opérations d'entretien courant à prévoir).

4.3.2) ETAT DE L'ENVIRONNEMENT

4.3.2.1) DEVELOPPEMENT DE VEGETATION

Voir 4.3.1.1 ci-dessus.

4.3.2.2) ACCUMULATION DE DEBRIS

Cause(s) :

- Mauvaise conception de l'ouvrage favorisant l'accumulation de gravats divers.
- Entretien courant mal réalisé ou absent.
- Absence de nettoyage en fin de chantier.

Conséquence(s) :

- Risque de blocage mécanique.

- Stagnation d'eau.

Indice de gravité – Décision finale

- IG2– D2.

4.3.2.3) STAGNATION D'EAU - MARNAGE

Cause(s) :

- Mauvaise conception des exutoires de l'ouvrage.
- Débris retenant l'eau.

Conséquence(s) :

- Détérioration des appareils d'appui.

Indice de gravité – Décision finale

- IG2– D2.

4.3.2.4) DETERIORATIONS VOLONTAIRES OU INVOLONTAIRES

Cause(s) :

- Mauvaise protection des abords de l'ouvrage.
- Vandalisme.
- Incendie au pied d'un appui.

Conséquence(s) :

- Détérioration des appareils d'appui.

Indice de gravité – Décision finale

- IG2– D2 ou D3.

4.4 INVENTAIRE DES PATHOLOGIES RELATIVES AUX BOSSAGES D'APPAREILS D'APPUI

Photos consultables en Annexe 2 , planches 2, 4 et 4 Bis.

4.4.1) VISIBILITE DE L'APPAREIL D'APPUI

4.4.1.1) ABSENCE TOTALE DE BOSSAGES

Cause(s) :

- Cette absence de dispositif d'appui est plutôt caractéristique des ouvrages réalisés avant la publication des règles sur l'environnement des appareils d'appui précitées.

Conséquence(s) :

- Les appareils d'appui ne sont pas mis hors d'eau.
- Leur visite n'est pas aisée.
- Leur remplacement pose des difficultés.

Indice de gravité – Décision finale

- L'indice de gravité et la décision finale dépendent du fonctionnement de l'appareil d'appui dans ces conditions.

4.4.2) NON CONFORMITE DES BOSSAGES

4.4.2.1) MAUVAISE IMPLANTATION DU BOSSAGE SUR L'APPUI

Cause(s) :

- Erreur ou mauvais plans d'exécution de la part du bureau d'étude.
- Erreur ou négligence sur chantier.

Conséquence(s) :

- Mauvaise répartition des efforts sur la zone d'appui.
- Fissuration possible sur la zone d'appui.

Indice de gravité – Décision finale

- IG3 – D1.

4.4.2.2) MAUVAISE ORIENTATION DU BOSSAGE

Cause(s) :

- Erreur ou mauvais plans d'exécution de la part du bureau d'étude.
- Erreur d'implantation sur chantier.

Conséquence(s) :

- Risque de mauvaise répartition des efforts sur l'appui.
- Risque de disposer l'appareil d'appui avec une orientation non conforme au fonctionnement du tablier.

Indice de gravité – Décision finale

- IG4 – D1 ou D3.

4.4.2.3) SOUS-DIMENSIONNEMENT EN PLAN DES BOSSAGES

Cause(s) :

- Ouvrages réalisés avant la publication des règles sur l'environnement des appareils d'appui.
- Erreur ou mauvais plans d'exécution de la part du bureau d'étude.
- Erreur ou négligence sur chantier.

Conséquence(s) :

- Epaufrure du bossage.
- Lors d'un cheminement de l'appareil d'appui, celui-ci risque de ne plus être en contact total avec ses bossages ce qui augmente les contraintes de compression (risque d'éclatement).
- Déformation excessive de l'appareil d'appui en élastomère fretté si les dimensions en plan de celui-ci sont supérieures à celles du bossage.

- Recalage de l'appareil d'appui impossible sans réfection du bossage.

Indice de gravité – Décision finale

- IG4 – D3 (réparation ou changement).

4.4.2.4) SOUS-DIMENSIONNEMENT EN HAUTEUR DES BOSSAGES

Cause(s) :

- Ouvrages réalisés avant la publication des règles sur l'environnement des appareils d'appui.
- Erreur ou mauvais plans d'exécution de la part du bureau d'étude.
- Erreur ou négligence sur chantier.

Conséquence(s) :

- Leur visite n'est pas aisée.
- Leur remplacement ou changement pose des difficultés supplémentaires.

Indice de gravité – Décision finale

- IG4 – D3 (réparation ou changement).

4.4.2.5) DEFAUT DE PLANEITE

Cause(s) :

- Ouvrages réalisés avant la publication des règles sur l'environnement des appareils d'appui.
- Manque de soin apporté à la mise en œuvre.

Conséquence(s) :

- Défaut de portance de l'appareil d'appui.
- Mauvaise répartition des efforts sur le bossage.

Indice de gravité – Décision finale

- IG2 – D1.

4.4.2.6) DEFAUT DE PARALLELISME DES BOSSAGES

Cause(s) :

- Ouvrages réalisés avant la publication des règles sur l'environnement des appareils d'appui.
- Manque de soin apporté à la mise en œuvre.

Conséquence(s) :

- Défaut de portance de l'appareil d'appui pouvant conduire à un pincement exagéré.
- Mauvaise répartition des efforts sur le bossage.

Indice de gravité – Décision finale

- IG2 – D1.

4.4.2.7) CALAGES DE FORTUNE REALISES AVEC DES PLAQUES D'ACIER

Cause(s) :

- Négligence sur chantier et défaut de surveillance.

Conséquence(s) :

- Expansion du métal sous l'effet de la corrosion, entraînant des contraintes supplémentaires indésirables dans l'appareil d'appui ou dans la structure.

Indice de gravité – Décision finale

- IG3 – D3 (remplacement).

4.5.2.8) BLOCAGE MECANIQUE DE L'APPAREIL D'APPUI

Cause(s) :

- Encastrement par engravure (mauvaise réalisation sur chantier).
- Coulures de béton (négligence sur chantier).

- Dispositifs anti-cheminement rapportés sans prise en compte dans la hauteur des feuillets.

Conséquence(s) :

- Risque de mauvais fonctionnement de la structure (déplacements limités), et apparition de désordres tels que le fendage de talons de poutres.
- Transfert des efforts horizontaux sur une autre ligne d'appui pouvant entraîner d'autres désordres sur cette ligne.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 4 – D2.

4.4.3) DETERIORATION DES BOSSAGES

4.4.3.1) ECLATEMENT DES BOSSAGES

Cause(s) :

- Sous-dimensionnement en plan des bossages.
- Frettage insuffisant.
- Mauvaise portance des bossages préfabriqués.
- Augmentation de la descente de charges.
- Mauvaise réalisation sur chantier (qualité du béton et de la mise en œuvre).

Conséquence(s) :

- Mauvaise répartition des efforts sur l'appui.
- Corrosion des armatures mises à nu.
- Le bon fonctionnement de l'appareil d'appui peut être altéré.

Indice de gravité – Décision finale

- IG3 à IG4 – D1 à D3.

4.4.3.2) FRETTAGE DES BOSSAGES APPARENT ET CORRODE

Cause(s) :

- Manque de soin apporté à la mise en œuvre (enrobage).
- Eclatement du bossage.
- Présence d'eau sur la ligne d'appui.

Conséquence(s) :

- Fissuration et détérioration du béton.

Indice de gravité – Décision finale

- IG2 – D2.

4.4.3.3) DEGRADATION PAR LE GEL

Cause(s) :

- Formulation du béton non adaptée à l'environnement.
- Manque de soin apporté à la mise en œuvre du béton.

Conséquence(s) :

- Fissuration et détérioration du béton.
- Le bon fonctionnement de l'appareil d'appui peut être altéré.

Indice de gravité – Décision finale

- IG3 à IG4 – D3 (réparation).

4.4.3.4) ALCALI-REACTION

Cause(s) :

- Présence d'un élément réactif dans les composants du béton.

Conséquence(s) :

- Fissuration et détérioration du béton.
- Le bon fonctionnement de l'appareil d'appui peut être altéré.

Indice de gravité – Décision finale

- IG3 à IG4 – D3 (remplacement).

4.5 INVENTAIRE DES PATHOLOGIES RELATIVES AUX APPAREILS D'APPUI EN CAOUTCHOUC FRETTE

Photos consultables en Annexe 2 , planches 5 à 5-quarte

4.5.1) COMPORTEMENT DES CONSTITUANTS

4.5.1.1) FISSURATION HORIZONTALE DANS L'ÉPAISSEUR DES FEUILLETS

Cause(s) :

- Pollution entre deux feuillets de calandre lors de la fabrication.

Conséquence(s) :

- Fissures rectilignes parallèles au plan de frettage.

Indice de gravité – Décision finale

- L'indice de gravité ainsi que la décision finale sont fonction de la profondeur des fissures observées. En effet, celles-ci peuvent se révéler n'être que superficielles et donc sans conséquences sur le fonctionnement de l'appareil d'appui. En revanche, si les fissures atteignent les frettes, elles peuvent favoriser la corrosion de celles-ci.

4.5.1.2) GERÇURES

Cause(s) :

- Mauvaise tenue de la formulation du caoutchouc aux effets de l'ozone.
- Pollution entre deux feuillets de calandre lors de la fabrication.

Conséquence(s) :

- Détérioration de l'appareil d'appui.

Indice de gravité – Décision finale

- Dito 4.5.1.1.

4.5.1.3) CORROSION DES FRETTES

Cette pathologie concerne principalement les appareils d'appui anciens découpés dans des plaques mères et appareils d'appui comportant une frette extérieure.

Cause(s) :

- Absence d'enrobage.
- Ecaillage de la peinture de protection.
- Fissures dans le caoutchouc d'enrobage (pour les appareils d'appui enrobés).
- Ambiance humide.

Conséquence(s) :

- Destruction progressive des frettes.
- Destruction de l'adhérence par cheminement de l'humidité.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 3 – D2 à D3.

4.5.1.4) DESADHERISATION FRETTE / FEUILLETS.

Cause(s) :

- Défaut d'adhérence lors de la fabrication.
- Rupture des plans de collage dans le cas d'empilement d'appareils d'appui unitaires. Dans ce cas il convient de vérifier si le désalignement est dû à une erreur lors du collage, ou à un dysfonctionnement au niveau de la structure.
- Efforts horizontaux excessifs.

Conséquence(s) :

- Risque d'affaissement provoquant une dénivellée d'appui préjudiciable pour la structure dans le cas d'un glissement des parties désadhérisées de l'appareil d'appui.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 2 à IG5 – D1 ou D3.

4.5.2) DESCENTE DE CHARGE

4.5.2.1) ECRASEMENT

Cause(s) :

- Descente de charge excessive due à une erreur de dimensionnement.
- Modification de la descente de charge conduisant à une compression excessive.

Conséquence(s) :

- Détérioration de l'appareil d'appui.
- Extrusion du caoutchouc.

Indice de gravité – Décision finale

- IG3 – D3 (réparation).

Observation

• Une répartition uniforme de la charge est confirmée par la présence de bourrelets de forme correcte et semblables entre eux. Dans le cas contraire (absence totale ou partielle de bourrelets), la répartition n'est pas uniforme ce qui traduit une rotation excessive, un défaut de planéité des bossages, un déchargement de l'appui ou un défaut de réglage. Dans le cas où les bourrelets sont bien présents, mais possèdent une flèche supérieure à 1/3 de l'épaisseur du feuillet, l'appareil d'appui subi une compression excessive qui entraîne son écrasement.

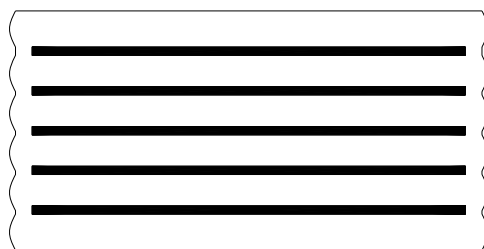


Figure 46 – Bourrelets réguliers révélateurs de la bonne répartition des charges sur l'appareil d'appui



Figure 47 – Flèche limite d'un bourrelet élémentaire.

4.5.2.2) GERÇURES

Cause(s) :

- Excès de compression (erreur de dimensionnement ou modification de la descente de charge).

Conséquence(s) :

- Détérioration de l'appareil d'appui.

Indice de gravité – Décision finale

- IG2 – D1.

4.5.3) DISTORSION

IMPORTANT :

Note sur la mesure et l'interprétation de la valeur de distorsion

La tangente γ correspondant à la distorsion d'un appareil d'appui est donnée avec une bonne approximation par le quotient de la valeur de déformation u sur l'épaisseur des feuilletts T :



Figure 48 – Mesure de la tangente γ

$$tg\gamma = \frac{u}{T - nts} \quad \text{avec } ts = \text{épaisseur des frettes et } n = \text{nombre de frettes.}$$

Une des actions provoquant la distorsion des appareils d'appui est la variation de longueur du tablier provoquée par les gradients thermiques, c'est pourquoi la valeur de $tg\gamma$ à l'instant T n'est pas exploitable sans avoir effectué des estimations de $tg\gamma$ extrêmes, c'est-à-

dire aux températures minimales et maximales, en tenant compte des déformations différées (retrait, fluage) et des efforts de freinage.

4.5.3.1) DISTORSION AVEC $TG \gamma < 0.7$

La distorsion des appareils d'appui en caoutchouc fretté est la conséquence du cisaillement du aux efforts horizontaux. Une valeur de distorsion inférieure à 0.7 n'est pas à considérer comme une pathologie car elle est du domaine de fonctionnement normal de l'appareil d'appui.

4.5.3.2) DISTORSION AVEC $0.7 < TG \gamma < 1.5$

Cause(s) :

- Erreur de dimensionnement.
- Positionnement du point de dilatation nulle variable.
- Sous estimation des déformations différées du tablier.
- Mouvement des appuis.
- Défaut de réglage sur chantier.
- Absence de vérinage de relaxation en fin de travaux, nécessaire suivant la période des travaux.
- Grippage d'une plaque de glissement dans le cas d'un appareil d'appui en caoutchouc fretté avec plan de glissement.

Conséquence(s) :

- Risque de dépassement de la valeur de distorsion ultime de 1.5.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 2 – D1.

4.5.3.3) DISTORSION AVEC TG $\gamma > 1.5$

Cause(s) :

- Ce sont en général les causes mentionnées en 4.5.3.2, aggravées.

Conséquence(s) :

- Déformation en « S ».
- Risque de cheminement.
- Risque de désadhésion du plan frettes / feuillets.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 3 – D1.

4.5.3.4) CHEMINEMENT DE L'APPAREIL D'APPUI

Cause(s) :

- Distorsion trop importante.
- Compression trop faible.
- Non polymérisation de la colle (cas des appareils d'appui glissant collés au bossage inférieur).

Conséquence(s) :

- Risque d'affaissement provoquant une dénivelée d'appui préjudiciable pour la structure, entraînant souvent la coupure de l'ouvrage à la circulation.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 4 – D3.

4.5.4) ROTATION

4.5.4.1) PINCEMENT ET BAILLEMENT

Cause(s) :

- Rotation excessive due à une erreur de dimensionnement ou à un fonctionnement anormal de la structure.
- Défaut de réglage lors de la construction.
- Défaut de planéité des bossages.

Conséquence(s) :

- Risque de désordres localisés par compression excessive.

Indice de gravité – Décision finale

- Cette pathologie est généralement révélatrice d'un dysfonctionnement de la structure elle-même ou de ses appuis, et très rarement de l'appareil d'appui. Il est alors conseillé de mettre l'ouvrage sous surveillance renforcée.

4.5.5) AUTRES CAS DE PATHOLOGIES

4.5.5.1) DEFAUT D'ORIENTATION

Cause(s) :

- Erreur ou mauvais plans d'exécution de la part du bureau d'étude.
- Erreur ou négligence sur chantier.

Conséquence(s) :

- Risque de mauvais fonctionnement de la structure ou de détérioration de l'appareil d'appui.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 2 à IG 3 – D3 (réparation).

4.6 INVENTAIRE DES PATHOLOGIES RELATIVES AUX APPAREILS D'APPUI A POT

Photos consultables en Annexe 2 , planche 6

4.6.1) COMPORTEMENT DES CONSTITUANTS

4.6.1.1) DEGRADATION DE LA PROTECTION CONTRE LA CORROSION

Cause(s) :

- Venues d'eau.
- Système de protection contre la corrosion inadapté.

Conséquence(s) :

- Corrosion, à terme, de l'appareil d'appui.

Indice de gravité – Décision finale

- IG1 puis IG 2– D2.

4.6.1.2) CORROSION DE L'ANCRAGE

Cause(s) :

- Venues d'eau.
- Système de protection contre la corrosion inadapté (boulonnerie non protégée).

Conséquence(s) :

- Difficultés de démontage de l'appareil d'appui.
- Eclatement du bossage.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 2 à IG 3 – D2.

4.6.2) FONCTIONNEMENT DE L'APPAREIL D'APPUI (OU DE LA STRUCTURE)

4.6.2.1) EXTRUSION DU CAOUTCHOUC

Cause(s) :

- Rotation excessive.
- Défaut du joint anti-extrusion.
- Fonctionnement anormal de la structure.
- Défaut de pose.

Conséquence(s) :

- Appareils d'appui hors d'usage.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 4 ou IG5.

4.6.2.2) RUPTURE D'ANCRAGE

Cause(s) :

- Défaut de pose.
- Fonctionnement anormal de la structure.

Conséquence(s) :

- Appareils d'appui n'assurant plus l'intégralité de ses fonctions.
- Risque de cheminement de l'appareil d'appui.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 4 – D3.

4.6.2.3) DEFORMATIONS OU FISSURES

Cause(s) :

- Erreur de dimensionnement et/ou de conception de l'appareil d'appui.
- Fonctionnement anormal de la structure (augmentation de la descente de charge).
- Mauvaise libération des contraintes en usine après soudure du pot sur la semelle.

Conséquence(s) :

- Apparition de désordres dans la structure.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 5 – D3.

4.6.3) AUTRES CAS DE PATHOLOGIES

4.6.3.1) DEFAUT DE SERRAGE DES ANCRAGES

Cause(s) :

- Négligence sur chantier.

Conséquence(s) :

- Appareils d'appui n'assurant plus l'intégralité de ses fonctions.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 2 – D2.

4.7 INVENTAIRE DES PATHOLOGIES RELATIVES AUX APPAREILS D'APPUI GLISSANTS

Photos consultables en Annexe 2 , planche 7

Les parties glissantes peuvent être associées à la majorités des types d'appareils d'appui. On pourra donc rencontrer sur les ouvrages des appareils d'appui présentant des pathologies qui leurs sont particulières, en plus des pathologies développées dans ce paragraphe.

4.7.1) COMPORTEMENT DES CONSTITUANTS

4.7.1.1) CORROSION DE LA PLAQUE DE GLISSEMENT

Cause(s) :

- La nuance de l'acier inoxydable n'est pas adaptée.

Conséquence(s) :

- Diminution préjudiciable du coefficient de glissement entraînant une répartition d'efforts horizontaux sur l'appui non prévus.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 3 à IG 4– D3 (réparation).

4.7.1.2) DECOLLEMENT DE LA PLAQUE DE GLISSEMENT EN ACIER INOXYDABLE OU DU P.T.F.E.

Cause(s) :

- Mauvaise qualité ou défaut de fabrication de l'appareil d'appui.
- Défaut de conception de la fixation.

Conséquence(s) :

- Risque de cheminement de la plaque de glissement.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 1 à IG 4– D3.

4.7.2) FONCTION DE GLISSEMENT

4.7.2.1) DEPLACEMENTS EXCESSIFS EN PLAN

Cause(s) :

- Sous-dimensionnement de la plaque.
- Sous estimation des déformations différées du tablier (retrait, fluage).
- Défaut de réglage ou de sens de pose (les appareils d'appui glissant comportent une flèche indiquant le sens de pose).
- Fonctionnement anormal de la structure.
- Position du point fixe.

Conséquence(s) :

- Apparition de désordres dans la structure entraînant une répartition d'efforts horizontaux sur l'appui non prévus.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 5 – D3.

4.7.2.2) BLOCAGE PHYSIQUE

Cause(s) :

- Dépassement de la marge de fonctionnement du à une erreur de dimensionnement ou une mauvaise prise en compte des efforts horizontaux.
- Défaut de fabrication (planéité de la plaque de glissement).
- Mise en peinture des éléments de glissement.
- Disparition de la graisse à l'interface plaque inox / P.T.F.E.
- Cheminement ou extrusion du P.T.F.E.
- Plaques de glissement de longueur insuffisante.
- Problèmes de chantier : non parallélisme des surfaces de contact, coulis de ciment, etc...

Conséquence(s) :

- Défaut de glissement pouvant être préjudiciable pour la structure.
- Transfert des efforts horizontaux sur une autre ligne d'appui pouvant entraîner d'autres désordres sur cette ligne.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 4 – D2.

4.7.2.3) RUPTURE DE FIXATION DES GUIDES

Cause(s) :

- Erreur de dimensionnement.
- Sous estimation des déformations différées du tablier.
- Défaut de pose.
- Fonctionnement anormal de la structure.

Conséquence(s) :

- Apparition de désordres dans la structure.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 5 – D3.

4.7.3) AUTRES CAS DE PATHOLOGIES

4.7.3.1) ABSENCE DE DISPOSITIF DE PROTECTION

Cause(s) :

- Erreur ou mauvais plans d'exécution de la part du bureau d'étude.
- Erreur ou négligence sur chantier.
- Vandalisme.
- Non remise en place après une action de surveillance.

Conséquence(s) :

- Risque d'apparition de salissures à l'interface plaque acier inoxydable / P.T.F.E provoquant des défauts de glissement.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 1– D2 .

4.7.3.2) DISPOSITIF DE PROTECTION INADAPTEE

Cause(s) :

- Erreur ou mauvais plans d'exécution de la part du bureau d'étude.
- Erreur ou négligence sur chantier.

Conséquence(s) :

- Visite de l'appareil d'appui impossible.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 1– D2 .

4.7.3.3) DETERIORATION DU DISPOSITIF DE PROTECTION

Cause(s) :

- Vandalisme.
- Déchirure au cours d'une action de surveillance.

Conséquence(s) :

- Risque d'apparition de souillures à l'interface plaque acier inoxydable / P.T.F.E provoquant des rayures de la plaque inox et par la suite des défauts de glissement.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 1– D2 .

4.7.3.4) RAYURES INOX / P.T.F.E.

Cause(s) :

- Présence de souillures à l'interface plaque acier inoxydable / P.T.F.E due à l'absence ou à la détérioration de la jupe de protection.

Conséquence(s) :

- Diminution préjudiciable du coefficient de glissement.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 3 – D2.

4.7.3.5) SENS DE POSE NON RESPECTE

Cause(s) :

- Erreur ou négligence sur chantier.

Conséquence(s) :

- Défaut de glissement pouvant être préjudiciable pour la structure.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 5 – D3.

4.7.3.6) ABSENCE DE REGLLET DE MESURE

Cause(s) :

- Négligence sur chantier.
- Vandalisme.

Conséquence(s) :

- Difficultés de mesures des déplacements lors des visites.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 1 – D2.

4.8 INVENTAIRE DES PATHOLOGIES RELATIVES AUX APPAREILS D'APPUI METALLIQUES

Photos consultables en Annexe 2 , planches 8, 8Bis et 8Ter

4.8.1) COMPORTEMENT DES CONSTITUANTS

4.8.1.1) CORROSION GENERALISEE

Cause(s) :

- Défaut d'entretien.
- Venues d'eau.
- Système de protection inadapté ou en fin de vie.

Conséquence(s) :

- Pas de conséquences immédiates sur le fonctionnement autres qu'esthétiques, mais nécessité d'entretien afin d'éviter l'apparition de problèmes sérieux.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 1 – D2.

4.8.2) DESCENTE DE CHARGE

4.8.2.1) APLATISSEMENT DE ROULEAUX

Cause(s) :

- Défaut de conception.
- Usure.
- Compression excessive.
- Nuance d'acier inadaptée.

Conséquence(s) :

- Limitation des degrés de liberté en déplacement initialement prévus.

- Risque d'apparition de contraintes préjudiciables dans la structure.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 3 – D2.

4.8.3) TRANSLATION

4.8.3.1) RUPTURE DE DENTS DE ROULEAUX

Cause(s) :

- Défaut de conception des dents.
- Problème de fonctionnement de l'appareil d'appui ou de la structure.
- Interposition de corps étrangers (liée à un problème de joints de chaussée).

Conséquence(s) :

- Risque de glissement des rouleaux.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 3 – D3.
-

4.8.3.2) RUPTURE DE TAQUETS D'APPAREILS D'APPUI FIXES

Cause(s) :

- Défaut de conception.
- Défaut de soudage.
- Problème de fonctionnement de l'appareil d'appui ou de la structure.

Conséquence(s) :

- Risque de glissement.
- Mauvaise reprise des efforts.
- Risque d'apparition de contraintes préjudiciables dans la structure.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 5 – D3.

4.8.3.3) DEPASSEMENT DES LIMITES DE FONCTIONNEMENT DE ROULEAUX

Cause(s) :

- Défaut de conception.
- Positionnement du point fixe variable.
- Sous estimation des déformations différées du tablier (retrait, fluage).
- Mouvement anormal de la structure ou des appuis.

Conséquence(s) :

- Mauvaise reprise des efforts.
- Risque d'apparition de contraintes préjudiciables dans la structure.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 5 – D3.

4.8.3.4) INCLINAISON EXCESSIVE DE PENDULE OU DE GALETS

Cause(s) :

- Défaut de conception.
- Positionnement du point fixe variable.
- Sous estimation des déformations différées du tablier (fluage).
- Mouvement anormal de la structure ou des appuis.
- Mauvais calage initial.

Conséquence(s) :

- Instabilité du tablier dont l'équilibre peut être brutalement rompu par un effort horizontal entraînant la rupture par cisaillement des ancrages de l'appareil d'appui.
- Mauvaise reprise des efforts.
- Risque d'apparition de contraintes préjudiciables dans la structure.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 5 – D3.
- Mesures conservatoires à prévoir pour assurer la sécurité de l'ouvrage.

4.8.3.5) FISSURATION OU RUPTURE DE PIÈCES

Cause(s) :

- Défaut de conception.
- Positionnement du point fixe variable.
- Mouvement anormal de la structure ou des appuis.
- Nuance d'acier inadaptée.
- Usure.
- Absence de surveillance.

Conséquence(s) :

- Appareils d'appui n'assurant plus l'intégralité de ses fonctions.
- Risque d'apparition de contraintes préjudiciables dans la structure.
- Risque d'effondrement de la structure.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 5 – D3.

4.8.4) AUTRES PATHOLOGIES

4.8.4.1) GRIPPAGE

Cause(s) :

- Défaut d'entretien.
- Venues d'eau.
- Défaut de graissage.
- Mise en peintures de parties non destinées à être peintes.

Conséquence(s) :

- Limitation des degrés de liberté initialement prévus.
- Risque d'apparition de contraintes préjudiciables dans la structure.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 3 – D2.

4.8.4.2) BLOCAGE PAR ACCUMULATION DE DEBRIS

Cause(s) :

- Défaut de conception favorisant l'accumulation des débris.
- Défaut d'entretien.
- Venues d'eau.

Conséquence(s) :

- Corrosion favorisée par l'humidité permanente.
- Limitation des degrés de liberté initialement prévus.
- Risque d'apparition de contraintes préjudiciables dans la structure.
- Risque de mauvais fonctionnement de la structure (déplacements limités), et apparition de désordres tels que le fendage de talons de poutres.
- Transfert des efforts horizontaux sur une autre ligne d'appui pouvant entraîner d'autres désordres sur cette ligne.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 3 – D2.

4.8.4.3) RUPTURE D'ANCRAGE

Cause(s) :

- Défaut de pose.
- Fonctionnement anormal de la structure.
- Tassement d'appui.

Conséquence(s) :

- Appareils d'appui n'assurant plus l'intégralité de ses fonctions.
- Risque d'affaissement de la structure.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 5 – D3.

4.9 INVENTAIRE DES PATHOLOGIES RELATIVES AUX APPAREILS D'APPUI EN BETON

Photos consultables en Annexe 2 , planche 9

Ces appareils d'appui peuvent présenter, en plus des pathologies particulières décrites ci-après, les pathologies propres au béton armé.

4.9.1) COMPORTEMENT DES CONSTITUANTS

4.9.1.1) FISSURATION

Cause(s) :

- Défauts inhérents à ce type d'appareil d'appui. Invisible dans 99 % des cas.

Conséquence(s) :

- Risque de corrosion des armatures si leur ouverture ou leur nombre est trop élevé.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 2 – D2.

4.9.1.2) PLASTIFICATION DU BETON

Cause(s) :

- Compression excessive.

Conséquence(s) :

- Dépend de la conception de l'appareil d'appui.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 5 – D2.

4.9.1.3) RUPTURE DES FRETTES

Cause(s) :

- Corrosion des frettes due à une insuffisance d'enrobage ou à une carbonatation du béton.
- Défaut de conception.

Conséquence(s) :

- Risque d'éclatement du béton.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 3 – D2.

4.9.2) FONCTIONNEMENT DE L'APPAREIL D'APPUI (DESCENTE DE CHARGE, ROTATION, TRANSLATION)

4.9.2.1) ECLATEMENT DU BETON

Cause(s) :

- Rotation d'un appareil d'appui MESNAGER ou FREYSSINET ou de bielles.
- Compression excessive.

Conséquence(s) :

- Risque de corrosion des armatures.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 2 – D2.

4.9.2.2) FENDAGE

- **FENDAGE.**

Cause(s) :

- Compression excessive.

Conséquence(s) :

- Risque d'éclatement généralisé.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 4 – D2.

4.9.2.3) RUPTURE DES FRETTES

Cause(s) :

- Effort excessif.
- Sous- dimensionnement.

Conséquence(s) :

- Risque d'éclatement du béton.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 4 – D2.

4.9.2.4) INCLINAISON EXCESSIVE DE PENDULE

Cause(s) :

- Défaut de conception.
- Positionnement du point fixe variable.
- Sous estimation des déformations différées du tablier (retrait, fluage).
- Mouvement anormal de la structure ou des appuis.

Conséquence(s) :

- Instabilité du tablier dont l'équilibre peut être brutalement rompu par un effort horizontal entraînant la rupture par cisaillement des ancrages de l'appareil d'appui.
- Mauvaise reprise des efforts.
- Risque d'apparition de contraintes préjudiciables dans la structure.

Indice de gravité – Décision finale

- IG 5 – D3.
- Mesures conservatoires à prévoir pour assurer la sécurité de l'ouvrage.

5 - TROISIEME PARTIE **ENTRETIEN ET REPARATION** **DES APPAREILS D'APPUI**

5.1 L'ENTRETIEN DES APPAREILS D'APPUI

5.1.1) L'ENTRETIEN COURANT

L'entretien courant des ouvrages est réalisé de façon régulière, idéalement combiné avec le contrôle annuel si possible. Il comporte des actions simples ne demandant que peu de moyens et de technicité, et donc réalisable avec un personnel moyennement qualifié.

Parmi les différentes interventions sur les différentes parties de l'ouvrage, celles intéressant les appareils d'appui sont :

- Le nettoyage des déchets et débris sur les sommiers des appuis.
- L'élimination de la végétation nuisible se développant sur l'ouvrage en général et près des appareil d'appui en particulier.
- Le nettoyage des dispositifs d'évacuation des eaux qui permet d'éviter la stagnation d'eaux de ruissellement sur les sommiers des appuis.
- Pour les appareils d'appui spéciaux (métalliques et / ou glissant), le rétablissement localisé de la protection anti-corrosion, ainsi que le graissage courant.

Cet entretien donne lieu à un rapport mentionnant l'identification de l'ouvrage, la date d'intervention et les opérations d'entretien effectuées, qui doit être conservé dans le dossier d'ouvrage du gestionnaire.

Il est réalisable simplement et peu coûteux, mais est un facteur important du bon fonctionnement et de la pérennité des appareils d'appui, directement liée au maintien en état de propreté des appareils et de leur environnement.

5.1.2) L'ENTRETIEN SPECIALISE

A la différence de l'entretien courant, il fait appel à des techniques spéciales, ou nécessite des besoins matériels spécifiques sans lesquels l'intervention relèverait de l'entretien courant.

Réalisé par des entreprises spécialisées, il fait l'objet d'une pré-étude par un spécialiste (réseau technique par exemple) et donne lieu à un appel d'offre.

Cet entretien peut être, au niveau des appareils d'appui :

- Un recalage (explicité en 5.2.2.A, cette opération peut selon le cas être classée dans l'entretien ou la réparation).
- Une protection des armatures apparentes du béton armé dans le cas d'appareils d'appui en béton.
- Une réfection des dispositifs d'évacuation des eaux.
- Une réfection des dispositifs anti-corrosion.

Comme pour l'entretien courant, l'ensemble des actions donne lieux à la rédaction d'un rapport qui devient partie intégrante du dossier d'ouvrage.

5.2 LA REPARATION DES APPAREILS D'APPUI

Il faut en premier lieu bien établir la différence entre le remplacement qui consiste en la substitution de l'appareil d'appui défectueux par un modèle identique, et le changement qui induit la mise en œuvre d'un appareil d'appui différent.

5.2.1) LE VERINAGE

Certaines des opérations décrites dans les chapitres suivants nécessitent une opération lourde, faisant appel à des entreprises spécialisées : le **verinage**.

A) DEFINITION

Le vérinage consiste à libérer les appareils d'appui de leur charge au moyen de vérins, afin de permettre différents types d'interventions.

Le plus souvent, le vérinage entraîne une élévation en altimétrie du tablier de l'ouvrage ; il est donc couramment appelé **levage** ou **relevage**.

B) DIFFERENTS TYPES DE VERINAGE

B1) Vérinage avec retour à la position initiale

Il est utilisé pour le recalage des appareils d'appui (vérinage de relaxation en fin de travaux de construction d'un pont), ou le remplacement par un appareil d'appui identique. La hauteur de relevage est faible, de l'ordre de quelques millimètres, et le tablier retrouve sa côte altimétrique initiale en fin d'opération.

B2) Vérinage sans retour à la position initiale

Employé pour différentes opérations sur les ouvrages d'art (relevage de tabliers pour augmenter la hauteur libre, etc...), celle intéressant les appareils d'appui consiste principalement en la création de bossages pour les ouvrages relativement anciens, ou la mise en place d'un appareil d'appui de hauteur supérieure à celui initialement posé.

Dans ce cas, le tablier se retrouve, en phase finale, à une altimétrie supérieure à la phase initiale.

B3) Vérinage sans modification de la position initiale (vérinage à « tablier zéro »)

Certains ouvrages possèdent des contraintes telles qu'il est impossible de modifier, même provisoirement, l'altimétrie de leur tablier. C'est en particulier le cas :

- De ponts faisant partie d'un échangeur.
- De ponts imbriqués dans des constructions, etc ...

Le poids du tablier est alors transféré sur les vérins, sans le déplacer. Les appareils d'appui ne sont alors plus chargés; les appuis peuvent être recépés de la hauteur nécessaire à la création de bossages et la mise en place de nouveaux appareils d'appui.

Cette opération impose la mise en œuvre de frettages au niveau de la tête d'appui dont certaines armatures ont été détruites lors du recépage.

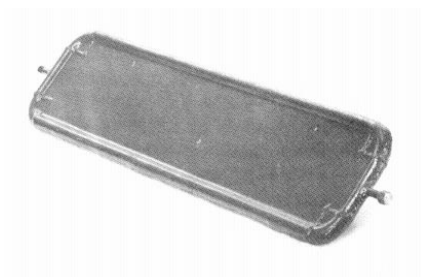
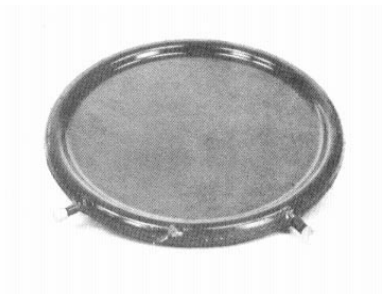
C) LE MATERIEL DE VERINAGE

C1) Les vérins hydrauliques

- Les vérins plats

De forme ronde, rectangulaire, circulaire ou oblongue, ils sont de faible encombrement (de 15 à 35 mm d'épaisseur). Pour des hauteurs de relevage supérieures à leur épaisseur, il est possible de les superposer avec interposition de cales servant à rattraper le creux entre les bourrelets.

Ils sont cependant réservés aux vérinages de faible amplitude (vérinage de relaxation par exemple).



Photos 25 à 28 – Vérins plats

- Les vérins à pot

Ils possèdent une course plus importante que les vérins plats, cependant celle-ci est directement proportionnelle à leur encombrement. Sur la plupart de ces vérins, une bague de sécurité en cours de vérinage est incorporée, ainsi qu'une rotule permettant le rattrapage limité d'un défaut de parallélisme entre le tablier et la surface de l'appui.



Photo 29 – Vérin à pot avec rotule et bague de sécurité sur bloc d'ancrage

- Les vérins corbeau

Ils possèdent une course importante (de l'ordre de 50 cm) et se fixent par clouage sur la face verticale de l'appui, en tête d'une tour métallique ou sur des chandelles.

C2) Le calage

Il est constitué de cales métalliques, ou béton armé, ou de cales à vis, et est nécessaire :

- à la répartition des contraintes normales dans les appuis et le tablier lors du vérinage.
- à l'obtention de la hauteur de relevage souhaitée, lorsque celle-ci est importante et nécessite un vérinage avec reprises.



Photo 30 – Déverinage– calage sous vérin à pot de grande course sans rotule

C3) La centrale de vérinage

Elle se compose de :

- Une pompe haute pression alimentant les vérins. Cette pompe est de préférence à faible débit afin d'éviter le dépassement des tolérances des dénivelées d'appui lors du levage, en particulier dans le cas d'un décollement soudain du tablier bétonné sur l'appui lui-même.
- Des flexibles d'alimentation entre la pompe et les vérins.
- Des électrovannes pilotant l'alimentation des vérins.
- Un pupitre de commande et de contrôle alimenté électriquement, permettant la visualisation des pressions et des dénivellations. Selon le degré de sophistication de l'appareillage, ces informations sont données par lecture directe ou peuvent être enregistrées et imprimées.



Photo 31 – Pompes hydrauliques alimentant chacune un vérin



Photo 32 – Batterie de pompes hydrauliques alimentant chacune un groupe de vérin

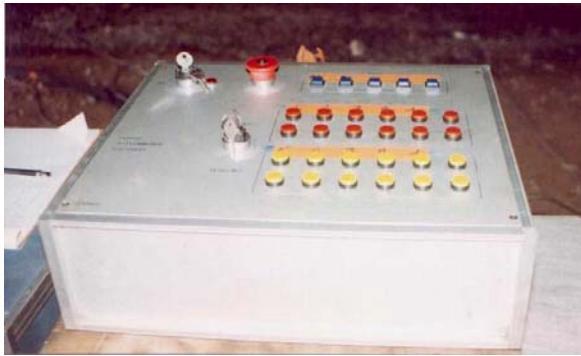


Photo 33 – Pupitre de commande alimentant les pompes hydrauliques

C4) Le levage assisté par ordinateur (L.A.O)

C'est l'ultime évolution des centrales de vérinage qui permet une maîtrise en temps réels des pressions et des dénivellations, et un enregistrement en continu des données.



Photo 34 – Installation de L.A.O



Photo 35 – Centrale de levage GTM

C5) Les capteurs supplémentaires

Afin de recouper les informations et de s'affranchir des pannes des capteurs de la centrale de vérinage, on dispose des comparateurs sur l'ouvrage.



Photo 36 – Comparateur devant 2 vérins plats

D) AMENAGEMENT DES STRUCTURES

D1) Prévus lors de la conception de l'ouvrage

Afin de minimiser l'importance, et donc le coût des opérations de vérinage, les ponts récents sont équipés, dès les études de conception de l'ouvrage, de dispositifs permettant la mise en place des vérins. Ces dispositifs peuvent être :

- des réservations dans les appuis :

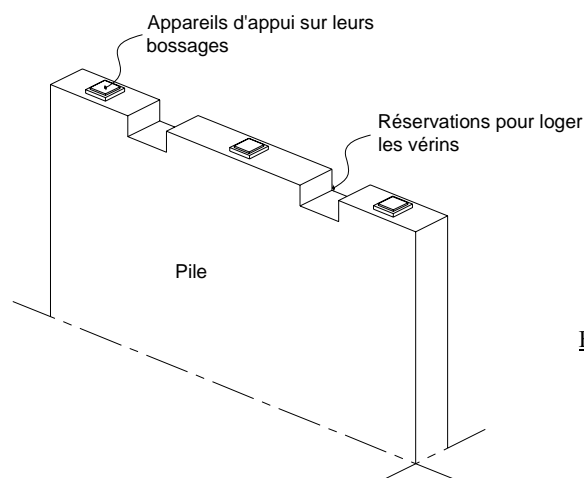


Figure 49 – Principe des réservations niches à vérins

- des bossages recevant les vérins. Ces bossages ont surtout pour fonction de matérialiser la zone de béton frettée, le frettage étant rendu obligatoire pour supporter la contrainte lors du vérinage :

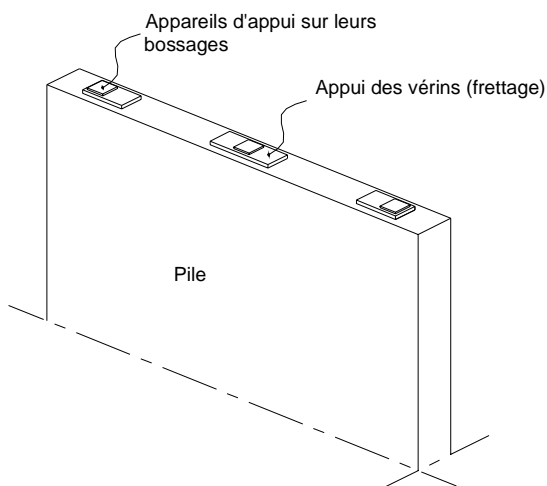


Figure 50 – Principe des bossages de vérins

D2) Non prévus (sur ouvrages « anciens »)

Dans ce cas il est nécessaire d'aménager des zones d'appui des vérins sur les appuis du tablier. Quatre cas peuvent se présenter :

- Disposition des vérins sur l'appui, près des appareils d'appui :

Si la hauteur de visite est suffisante, l'aménagement de l'ouvrage est limité à la mise en place d'un calage de répartition qui remplace le frettage du béton au niveau des vérins, frettage douteux ou inexistant sur beaucoup d'ouvrages anciens.

Dans le cas contraire, où la hauteur est insuffisante pour le passage des vérins préconisés, on peut procéder à la création de réservations pour se retrouver dans la configuration évoquée au paragraphe précédent (voir figure 49).



Photo 37 – Vérins à pot près de l'appareil d'appui et cales à vis

- Disposition des vérins sur la face latérale de l'appui :

Lorsque les dispositions précédentes ne peuvent être envisagées, il est possible d'utiliser des vérins corbeaux cloués sur la face latérale de l'appui, ou des vérins à pot posés sur des blocs d'ancrage en béton armé ou métalliques, brêlés sur la pile ou sur le mur de front de la culée. L'ancrage est assuré par des barres de précontrainte qui nécessitent un carottage du mur, carottage entraînant une augmentation du coût de l'opération et pouvant poser des problèmes dans le cas de lignes d'appui fortement biaisées où les barres se positionnent dans la partie en angle aigu du biais.



Photo 38 – Bloc d'ancrage latéral préfabriqué et vérin à pot pour vérinage d'une poutre de VIPP

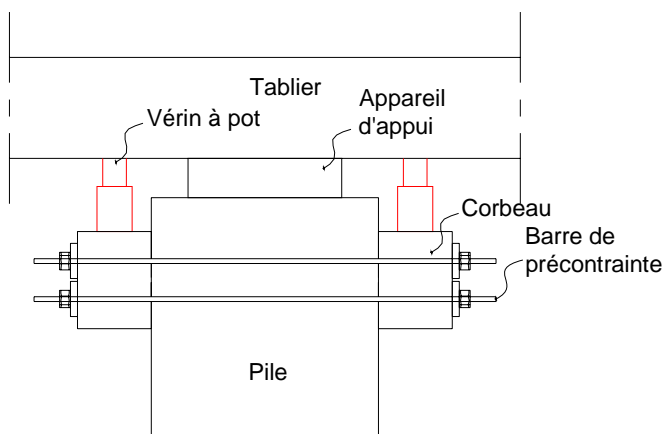


Figure 51 – Principe des blocs d'ancrage

- Disposition des vérins sur chandelles :

Des chandelles constituées de profilés métalliques prennent appui sur le sol et reçoivent les vérins. Ce dispositif nécessite des brêlages sur l'ouvrage existant afin de résoudre les problèmes de flambement.



Photo 39 – Vérins sur chandelles constituées de tours métalliques



Photo 40 – Vérins corbeaux sur chandelles

- Disposition des vérins sur chaises :

Utilisée principalement dans le vérinage sur appuis intermédiaires des structures à poutres multiples sous chaussées (type VIPP). Les 2 lignes d'appuis d'une même pile sont relevées simultanément.



Photo 41 – Chaise métallique sur appui (pile)



Photo 42 – Disposition des vérins à pot sur chaises métalliques

E) CONCEPTION DU VERINAGE

Le vérinage doit faire l'objet d'une étude réalisée par un spécialiste avec l'appui éventuel du réseau technique (C.E T.E).

La première opération à réaliser est une visite spécifique qui permettra :

- d'apprécier les conditions in situ.
- de vérifier la concordance entre les plans de recollement et les dimensions réelles de l'ouvrage.
- d'effectuer un relevé précis des hauteurs de visites des appareils d'appui qui seront décisionnelles du type de vérin à utiliser.
- de recenser les emplacements possibles pour les vérins et les calages de sécurité.
- de vérifier l'absence de liaisons entre le tablier et les appuis telles que des articulations Freyssinet ou des dispositifs anti-soulèvement.
- de mesurer l'épaisseur réelle du revêtement de chaussée qui peut être largement supérieure à l'épaisseur théorique.
- de repérer d'éventuelles contraintes telles que difficultés de démontage des équipements, abouts de tabliers bloqués,...

Le projeteur en possession de ces renseignements peut alors effectuer un choix justifié du type ou des types de vérins à utiliser, et déterminer leurs emplacements, ainsi que les éventuels aménagements nécessaires.

Il convient alors d'effectuer les calculs (selon le type de vérinage) :

- de descentes de charges (hors et sous exploitation).
- de dénivelées d'appuis entre les lignes d'appuis ainsi qu'entre les appareils d'appui d'une même ligne.
- de détermination des efforts dans les vérins et dans la structure pour laquelle des renforcements peuvent s'avérer nécessaires.
- de conditions thermiques influant essentiellement sur la longueur du tablier.
- les tolérances admissibles lors du vérinage.

Fort de ces éléments le projeteur doit alors choisir si le vérinage se fera hors ou sous circulation et justifier son choix. Celui-ci peut être fonction :

- de la nature de la voie portée et des difficultés de mise en place de déviations.
- des charges roulantes.

F) DEROULEMENT DU VERINAGE

Réception et vérification du matériel et des produits

Ces éléments doivent être conformes aux spécifications du marché ainsi qu'aux exigences du mode opératoire retenu.

Libération du tablier

Le tablier de l'ouvrage doit être complètement désolidarisé de tous les éléments fixes qui pourraient s'opposer au vérinage, en particulier les équipements en place.

Les opérations de libération du tablier comprennent :

- desserrage ou dépose des joints de chaussée et de trottoirs.
- démanchonnage des lisses des barrières métalliques à lisses horizontales (type BN4 ou autres).
- sciage de la chaussée entre deux travées indépendantes.
- découplage des appuis fixes.
- traitement des réseaux divers pouvant être situés dans les trottoirs, sous le tablier, ou en encorbellement contre une poutre de rive.
- suppression des excroissances de béton du tablier ou des murs garde-grève.

Mise en place des appuis provisoires

Des appuis provisoires sont nécessaires lorsque les aménagements de structures tels que présentés sur les figures 49 et 50 pages 89 et 90 n'ont pas été réalisés à la construction de l'ouvrage. Ils sont constitués par les chaises, consoles ou chandelles décrits page 92. De plus, dans le cas d'appui des vérins sur les sommiers de l'ouvrage, il convient de s'assurer que les surfaces d'appui concernées offrent des caractéristiques de résistance, d'horizontalité et de planéité suffisantes. Un calage est nécessaire.

Vérinage – calage

Pendant toute l'opération de vérinage, il doit être effectué un calage de sécurité (serrage des bagues de vérins, cales à vis,...). Il a pour but d'éviter le dépassement des tolérances admises en cas d'incident sur un vérin ou un flexible, dépassement qui pourrait entraîner des désordres structurels.

Le suivi et contrôle des déplacements doit être continu et enregistré.

Dévérinage

Cette opération est d'une importance identique au levage, et requiert les mêmes précautions.

Lors de cette phase, la température est primordiale et doit être comprise dans les limites définies lors de l'étude de vérinage, tenant compte de l'allongement du tablier et de l'effet de mémoire des appareils d'appui.

5.2.2) LES ACTIONS DE REPARATIONS

Selon la gravité des dégâts et le type d'appareil d'appui, on rencontre les actions suivantes :

A) LE RECALAGE DES APPAREILS D'APPUI

Le but est de remettre des appareils d'appui en caoutchouc fretté, à pot ou glissants, dans la position dans laquelle ils sont initialement prévus lors des études d'exécution. Les différences de position sont principalement dues à :

- Distorsions dues au phasage des travaux, et particulièrement aux mises en tension successives d'un pont en béton à tablier en béton précontraint.
- Distorsions dues aux déformations différées (retrait et fluage) particulièrement importantes lors des premiers mois de la vie de l'ouvrage.
- Déformations répétées de l'ouvrage au cours de ses années de service.

L'opération de recalage n'est effectuée uniquement sur des appareils d'appui en bon état car elle nécessite un vérinage qui, comme évoqué en 4.2.1, est particulièrement coûteux. Dans le cas contraire, ou en cas de doute, les appareils seront remplacés afin d'éviter le surcoût d'un second vérinage qui deviendrait nécessaire peu de temps après le premier.

B) LA REMISE EN ETAT DES APPAREILS D'APPUI

Ces opérations sont très rares, on leur préfère généralement un remplacement ou un changement, le coût des appareils d'appui étant négligeable devant celui du vérinage. De surcroît, les travaux de remise en état nécessitent une durée supérieure à celles des travaux de changement.

Les opérations de remise en état peuvent porter sur :

- pour les appareils d'appui métalliques :
 - Graissage après démontage.
 - Remise en peinture.
 - Remplacement d'une pièce.

C) LE REMPLACEMENT DES APPAREILS D'APPUI

Le remplacement concerne uniquement des appareils d'appui récents, qui présentent des dégradations liées à un défaut de fabrication en usine. Dans ce cas l'appareil d'appui est de même type et de mêmes dimensions.

Dans le cas de désordres essentiellement provoqués par le vieillissement, et en l'absence de pathologies représentatives d'un mauvais fonctionnement, on procédera à un changement car la mise en conformité des appareils d'appui en caoutchouc fretté entraîne de façon quasi-systématique l'ajout d'un feuillet.

D) LE CHANGEMENT DES APPAREILS D'APPUI

Le nouvel appareil d'appui est alors d'un type différent ou ne possède pas la même géométrie que l'appareil d'appui initial.

Le changement peut être :

- La mise en place d'un appareil d'appui de même type, mais de dimensions différentes, par exemple dans le cas d'une erreur de dimensionnement lors de l'étude d'exécution initiale, ou de l'évolution des normes de calcul (B.T 4 remplacé par le G.T 2000 par exemple).
- La mise en place d'un appareil d'appui de type différent, par exemple pour des appareils d'appui anciens n'étant plus réalisés (exemple : caoutchouc fretté remplaçant un appareil d'appui métallique).

Tout remplacement ou changement nécessite un contrôle et un traitement adapté des bossages afin de garantir une surface de contact optimale au nouvel appareil d'appui.

E) LA CREATION DE BOSSAGES

Nous avons vu que sur certains ouvrages anciens, les appareils d'appui, s'ils existent, reposent à même l'appui, sans bossage inférieur. Si ces ouvrages présentent des désordres liés au mauvais fonctionnement des appareils d'appui, et que l'on envisage de remplacer ceux-ci, on sera amené à créer des bossages, ce qui généralement a pour effet d'augmenter l'altimétrie du tablier.

Lorsque ce relevage sans retour à la position initiale n'est pas possible, on procède, après implantation, à un carottage de la tête d'appui à l'emplacement des bossages et de l'appareil d'appui, puis le bossage inférieur est réalisé par collage d'un bossage préfabriqué, ce dernier assurant une surface d'appui plane). L'appareil d'appui est alors mis en place. Ensuite, un matage au mortier de résine est réalisé en utilisant une plaque d'acier inoxydable ou galvanisé, posée sur l'appareil d'appui et servant de coffrage perdu.



Photo 43 – Plaques d'inox en "coffrage perdu" – nuance Z2 CND 17/12



Photo 44 – Matage sous tablier de pont-dalle



Photo 45 – Matage sous talon de poutre de V.I.P.P



Photo 46 – Appareil d’appui sur culée après vérinage à tablier zéro : niche carottée, bossage inférieur préfabriqué collé + AA + matage sur plaque en acier inoxydable perdue

F) LA REFECTION DES BOSSAGES

Ce sont des travaux lourds au même titre que la création de bossages et ils nécessitent un vérinage de l’ouvrage. Ils sont entrepris lorsque les pathologies observées sont évolutives et peuvent compromettre la pérennité de la structure et/ou des appareils d’appui (exemple : défaut de contact entre le bossage et l’appareil d’appui).

Comme pour la création, la réfection doit faire l’objet d’une étude spécifique.

Parmi les opérations de réfection, on distingue :

- **Les réparations** qui consistent généralement à remédier à un défaut de planéité et/ou de parallélisme en effectuant un traitement de surface du bossage inférieur au mortier ou à la résine, et en réalisant un matage entre le bossage supérieur et une plaque métallique posée sur l’appareil d’appui.
- **Les remplacements** qui résident dans la démolition du bossage existant (béton épaufré ou éclaté, mauvaise implantation, sous-dimensionnement) et en son remplacement par un nouveau bossage, soit préfabriqués, soit réalisés en place. Le bossage supérieur est réalisé par matage.

6 - CONCLUSION

Il faut tout d'abord rappeler que les dispositifs d'appui sont désormais des éléments de la structure et non des équipements, comme le spécifie la modification de l'I.T 79 en date du 26 décembre 1995. Ils doivent être considérés comme tels par les différents acteurs de la construction d'un pont.

Les trois fonctions principales des appareils d'appui sont d'assurer :

- la transmission de la descente de charge.
- les rotation sur appuis imposées par la déformation du tablier sous les charges roulantes.
- les déplacements horizontaux provoqués par les variations dimensionnelles du tablier et les efforts engendrés par les véhicules.

Depuis l'apparition des premiers modèles à la fin du XVIII^e siècle, de nombreux types d'appareils d'appui ont été développés, mais c'est surtout depuis le début des années cinquante que sont apparus ceux qui sont passés d'une réalisation qualifiable « d'artisanale » à une fabrication industrielle, et qui sont les caoutchoucs frettés, utilisés majoritairement en France aujourd'hui, après cinquante années d'améliorations.

Ces améliorations, sur tous les modèles confondus, on conduit à une diminution des pathologies qui, selon une étude conduite par le S.E.T.R.A, voient leurs causes se répartir également entre les défauts de qualité des produits eux-mêmes, les erreurs de dimensionnement et les défauts de pose sur chantier. Les opérations de réparation ou de changement d'appareils d'appui altérés nécessitent le vérinage du tablier, opération lourde s'il en est, et sont d'un coût sans commune mesure avec la valeur marchande des appareils d'appui. Un rapport de coût de 1 à 75 peut être envisagé comme étant un minimum, ce qui nous ramène une fois encore à insister sur les soins à apporter, de leur fabrication à leur mise en œuvre, mais aussi à leur entretien.

Force est de constater que pour les appareils d'appui en élastomère fretté, il est très rare que les altérations entraînent des ruptures brutales ; elles laissent en général la possibilité de réagir pour prévenir une aggravation quelconque, ce qui constitue un élément parfois trop sécurisant pour le gestionnaire, mais qui souligne l'importance de la surveillance des ouvrages.

ANNEXES

LISTE DES ANNEXES

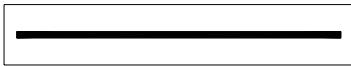
Annexe 1 : Classement des différents appareils d'appui en caoutchouc fretté selon EN 1337.3 et XP T 47.815.

Annexe 2 : Planches de photos sur les appareils d'appui et leur environnement

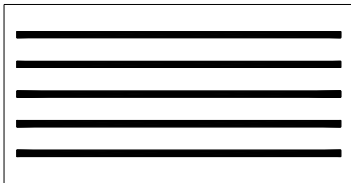
ANNEXE 1

Classement des différents appareils d'appui en caoutchouc fretté selon EN 1337.3 et XP T 47.815

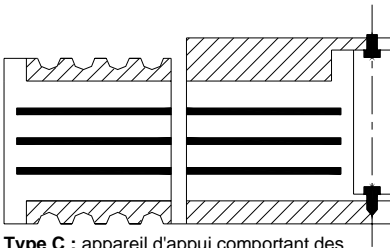
TYPES SELON LA NORME EN 1337.3



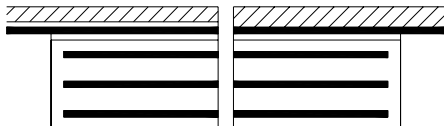
Type A : appareil d'appui à une seule frette enrobée



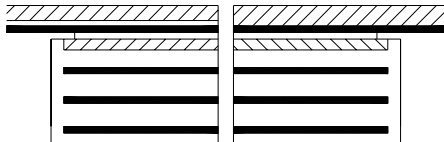
Type B : appareil d'appui comportant au moins deux frettes et entièrement enrobé



Type C : appareil d'appui comportant des plaques métalliques extérieures



Type D : appareil d'appui glissant comportant en surface une feuille de PTFE

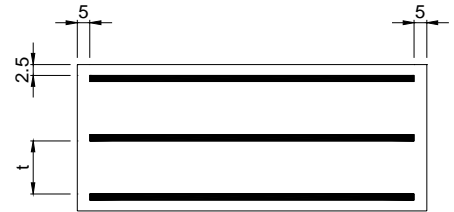


Type E : appareil d'appui glissant comportant une plaque métallique en contact avec la feuille de PTFE d'un plan de glissement

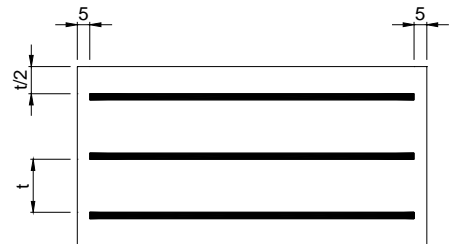


Type F : appareil d'appui non fretté et appareil d'appui en bande

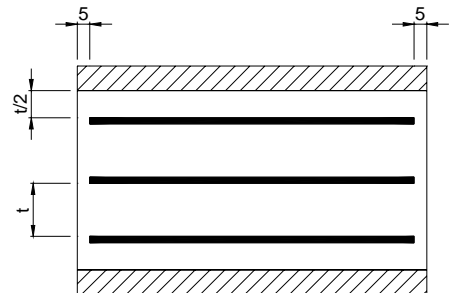
TYPES SELON LA NORME EN XP T 47.815



Type A : appareil d'appui enrobé à feuillets externes en caoutchouc de 2.5 mm



Type B : appareil d'appui enrobé à feuillets externes



Type C : appareil d'appui à frettes métalliques extérieures

ANNEXE 2

Planches de photos sur les appareils d'appui et leur environnement

PLANCHE N°1
ENVIRONNEMENT CORRECT D'APPAREILS D'APPUI



1-a



1-b



1-c



1-d



1-e



1-f

1-a à 1-f :

- ⇒ Accès aisés pour la visite et le vérinage.
- ⇒ Absence de végétation « débordante ».
- ⇒ Absence apparente d'infiltrations d'eau.
- ⇒ Environnement propre.

--- 1-a à 1-f : photos personnelles ---

PLANCHE N°2

ABSENCE OU PRESENCE DIFFICILEMENT DECELABLE D'APPAREILS D'APPUI



2-a



2-b



2-c



2-d



2-e



2-f

2-a : absence d'appareil d'appui sous les poutres du tablier.
2-b : contrairement aux apparences, il existe un appareil d'appui entre le bossage inférieur et le talon de poutre.
2-c et 2-d : absence d'appareils d'appui.
2-e : appareil d'appui masqué par du mortier
2-f : absence d'appareil d'appui

--- 2-a ; 2-c et 2-d : photos personnelles ---

--- 2-b, 2-e, 2-f : photos D.ESBRAT ---

PLANCHE N°3

MAUVAIS ENVIRONNEMENTS D'APPAREILS D'APPUI



3-a



3-b



3-c



3-d



3-e



3-f

3-a à 3-f :

- ⇒ Végétation débordante.
- ⇒ Détritus, débris divers.

--- 3-a à 3-e : photos personnelles ---

--- 3-f : photo GETEC ---

PLANCHE N°3-BIS

MAUVAIS ENVIRONNEMENTS D'APPAREILS D'APPUI



3-g



3-h



3-i



3-j



3-k



3-l

3-g à 3-l :

- ⇒ Venues d'eau.
- ⇒ Dégradations volontaires.
- ⇒ Marnage.
- ⇒ Végétation envahissant les appuis.

--- 3-g : photo Jacques Mossot ---

--- 3-h : photo CIFP ---

--- 3-i et 3-j : photos D.ESBRAT ---

--- 3-k et 3-l : photos personnelles ---

PLANCHE N°4
PATHOLOGIES DE BOSSAGES D'APPREILS D'APPUI



4-a



4-b



4-c



4-d



4-e



4-f

4-a : éclatement de la tête de pile en l'absence de bossage inférieur et d'armatures en tête d'appui.
4-b, 4-c : absence de bossage inférieur.
4-d, 4-e : bossage inférieur sur-dimensionné (+
4-e : AA invisible)
4-f : engravure dans le bossage bloquant l'appareil d'appui

PLANCHE N°4-BIS
PATHOLOGIES DE BOSSAGES D'APPREILS D'APPUI



4-g



4-h



4-i



4-j



4-l



4-l

4-g : mauvaise réalisation, feuillets bloqués.
4-h à 4-j : absence de bossages.
4-k : absence de bossage, talon de poutre en appui.
4-l : l'appareil d'appui ne porte pas sur le bossage inférieur

PLANCHE N°4-TER
PATHOLOGIES DE BOSSAGES D'APPREILS D'APPUI



4-m



4-n



4-o



4-p



4-q



4-r

4-m : absence de bossage inférieur +
éclatement bossage supérieur + marnage
4-n : bossage inférieur sous-dimensionné.
4-o : total manque de soins dans la réalisation
des bossages
4-p à 4-r : bossages supérieurs sous-
dimensionnés.

PLANCHE N°5
PATHOLOGIES D'APPAREILS D'APPUI EN ELASTOMERE
FRETTE



5-a



5-b



5-c



5-d



5-e



5-f

5-a à 5-d : distorsion.
4-h à 4-j : absence de bossages.
5-e : distorsion + déchirure des feuillets.
5-f : défaut de portance + déchirure des feuillets.

--- 5-a : photo personnelle ---
--- 5-b à 5-d, 5-f : photos D.ESBRAT ---
--- 5-e : photo GETEC ---

PLANCHE N°5-BIS

PATHOLOGIES D'APPAREILS D'APPUI EN ELASTOMERE

FRETTE



5-g



5-h



5-i



5-j



5-k



5-l

5-g : déchirure des feuillets + positionnement limite.
5-h : déchirure des feuillets + distorsion.
5-i : déchirure des feuillets due à l'action de l'ozone.
5-j : défaut de centrage.
5-k : défaut de portance.
5-l : aucune portance.

--- 5-g, 5-j à 5-l : photos D.ESBRAT ---

--- 5-h : photo GETEC ---

--- 5-i : photo SETRA ---

PLANCHE N°5-TER
PATHOLOGIES D'APPAREILS D'APPUI EN ELASTOMERE

FRETTE



5-m



5-n



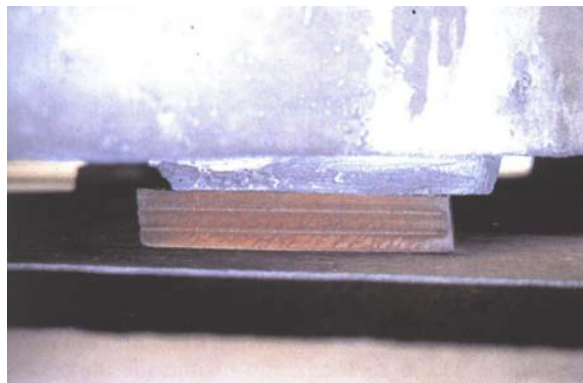
5-o



5-p



5-q



5-r

5-m : distorsion + défaut de portance.
5-n : déformation en « S » (+ bossage sup. sous-dimensionné).
5-o : distorsion + déchirure des feuillets.
5-p : cheminement des feuillets entre eux.
5-q : corrosion des frettes.
5-r : cheminement de l'appareil d'appui.

--- 5-m : photo GETEC ---
--- 5-n, 5-o, 5-r : photos D.ESBRAT ---
--- 5-p : photo CETE ---
--- 5-q : photo SETRA ---

PLANCHE N°5-QUARTE
PATHOLOGIES D'APPAREILS D'APPUI EN CAOUTCHOUC
FRETTE NON ADHERISES



5-s



5-t



5-u



5-v



5-w

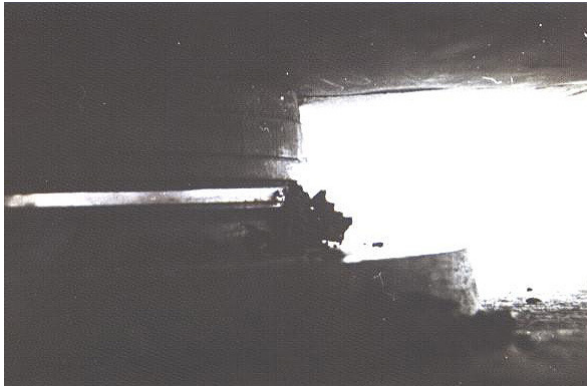


5-x

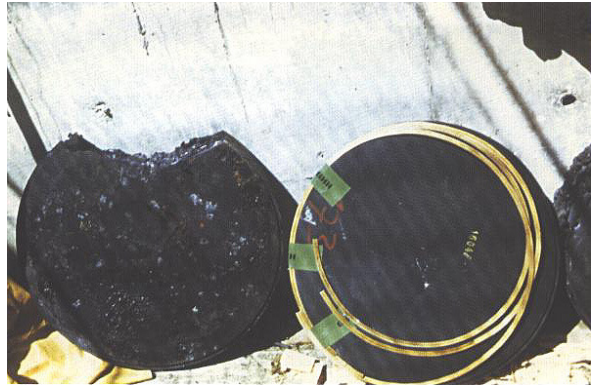
5-s , 5-t, 5-x : déformation des feuillets.
5-u, 5-v, 5-w : état des frettes extérieures.

--- 5-s à 5-v : photos D.ESBRAT ---
--- 5-w et 5-x : photos SETRA / CTOA ---

PLANCHE N°6
PATHOLOGIES D'APPAREILS D'APPUI A POT



6-b



6-b



6-c

6-a et 6-b : extrusion du caoutchouc.
6-c : corrosion de la vis d'ancrage supérieure
et de la rondelle inférieure.

--- 6-a et 6-b: photos SETRA ---

--- 6-c : photo D.ESBRAT ---

PLANCHE N°7

PATHOLOGIES D'APPAREILS D'APPUI GLISSANT



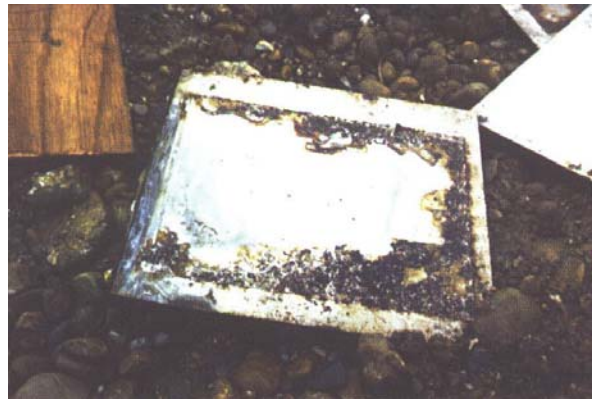
7-a



7-b



7-c



7-d



7-e



7-f

7-a et 7-b : jupe de protection indémontable ou détériorée.
7-c : absence de jupe de protection, souillures de la plaque de glissement.
7-d : corrosion d'une plaque de glissement.
7-e : mise en peinture de la partie glissante.
7-f : cheminement du plan de glissement.

--- 7-a et 7-b: photos personnelles ---

--- 7-c : photo GETEC ---

--- 7-c à 7-e : photos SETRA ---

--- 7-f : photo CETE ---

PLANCHE N°8
PATHOLOGIES D'APPAREILS D'APPUI METALLIQUES



8-a



8-b



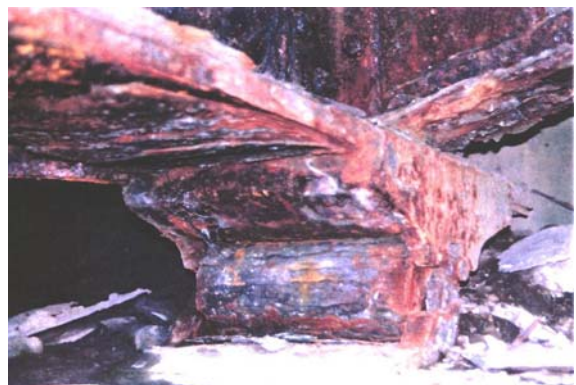
8-c



8-d



8-e



8-f

8-a, 8-b : corrosion généralisée.
8-c et 8-d : dégradation / blocage des
rouleaux par la corrosion.
8-e : « soudure » d'un appareil d'appui à
plaques par la corrosion.
8-f : état ultime de corrosion d'un rouleau.

--- 8-a à 8-d : photos personnelles ---

--- 8-e : photo CETE Bordeaux ---

--- 8-f : photo CIFP ---

PLANCHE N°8-BIS
PATHOLOGIES D'APPAREILS D'APPUI METALLIQUES



8-g



8-h



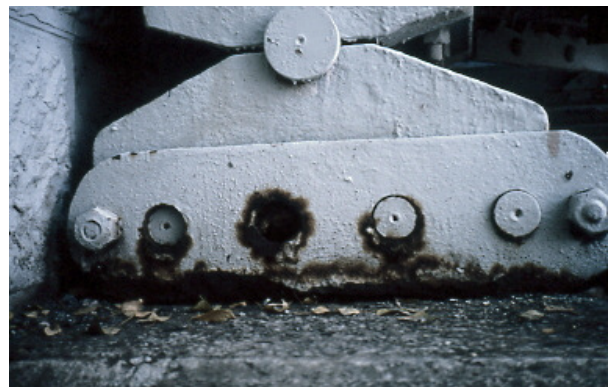
8-i



8-j



8-k



8-l

8-g : corrosion d'un balancier.
8-h : remplacement d'un appareil d'appui
métallique
8-i : corrosion généralisée, zone de marnage.
8-j et 8-k : fracture, corrosion généralisée,
rouleaux libres.
8-l : rouleaux hors service.

--- 8-g à 8-l: photos D.ESBRAT---

PLANCHE N°8-TER
PATHOLOGIES D'APPAREILS D'APPUI METALLIQUES



8-m



8-n



8-o



8-p



8-q



8-r

8-m et 8-n : corrosion importante de l'appareil d'appui et du talon de poutre.
8-o à 8-r : corrosion généralisée, végétation

--- 8-m et 8-n : photos GETEC ---
--- 8-o à 8-r : photos personnelles ---

PLANCHE N°9
PATHOLOGIES D'APPAREILS D'APPUI EN BETON



9-a



9-b

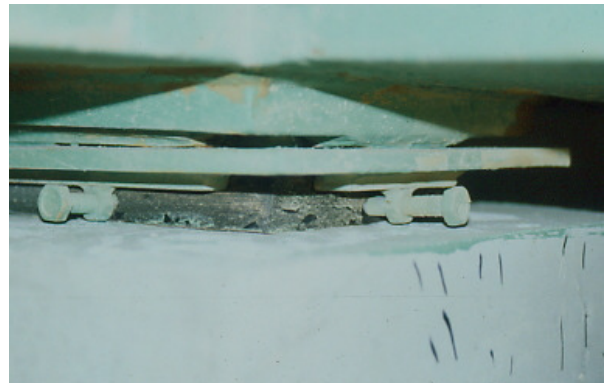
9-a : fissuration de l'articulation en béton.
9-b : fissuration, désordres sur culée.

--- 9-a et 9-b: photos D.ESBRAT ---

PLANCHE N°10
PATHOLOGIES D'APPAREILS D'APPUI DIVERS



10-a



10-b



10-c

10-a : appareil d'appui en contreplaqué.
10-b et 10-c : dispositifs anti-cheminement
fantaisistes.

--- 10-a à 10-c: photos D.ESBRAT ---

BIBLIOGRAPHIE

A.F.P.C, 1994, In *Appareils d'appui en caoutchouc*, Documents scientifiques et techniques, A.F.P.C, Bagnaux, 72 p.

S.E.T.R.A, 2000, In *Appareils d'appui en caoutchouc fretté – Utilisation sur les ponts, viaducs et structures similaires - Guide technique*, S.E.T.R.A, Bagnaux, 90 p.

S.E.T.R.A, 2000, In *Appareils d'appui à pot de caoutchouc – Utilisation sur les ponts, viaducs et structures similaires - Guide technique*, S.E.T.R.A , Bagnaux, 58 p.

COURBON J., CONVERSY F., 1967, In *Appareils d'appui en caoutchouc fretté pour ouvrages d'art*, Annales des Ponts et Chaussées, 342-361.

S.E.T.R.A, 1978, In *Environnement des appareils d'appui en élastomère fretté – Recueil des règles de l'art*, S.E.T.R.A/L.C.P.C , Bagnaux, 51 p.

VALETTE M., 1936, In *Etude sur les vieux tabliers en fer*, Annales des Ponts et Chaussées, 9 p.

S.E.T.R.A, 1999, In *Guide du projeteur ouvrages d'art – Ponts courants*, S.E.T.R.A , Bagnaux, 306 p.

S.E.T.R.A, 1996, In *Image de la qualité des ouvrages d'art – Culées en béton armé*, S.E.T.R.A , Bagnaux, 65 p.

S.E.T.R.A, 1996, In *Image de la qualité des ouvrages d'art – Piles en béton armé*, S.E.T.R.A , Bagnaux, 43 p.

S.E.T.R.A, 1996, In *Image de la qualité des ouvrages d'art – Piles en maçonnerie*, S.E.T.R.A , Bagneux, 41 p.

CALGARO J.A, 2000, In *Projet et construction des ponts*, Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 238-249.

CALGARO J.A, 1997, In *Maintenance et réparation des ponts*, Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 565-595.

Direction des Routes, 2002, *Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art -Fascicule 13 – Appareils d'appui*, S.E.T.R.A / L.C.P.C, Paris, 67 p.

Sites Internet :

www.structurae.de

LISTE DES FIGURES
ET DES PHOTOS

LISTE DES FIGURES

Fig. 1 :	Ligne d'appui	<i>Page 06</i>
Fig. 2 :	Principe d'un pont cantilever	<i>Page 07</i>
Fig. 3 :	Terminologie liée aux ponts	<i>Page 07</i>
Fig. 4 :	Localisation des appareils d'appui	<i>Page 15</i>
Fig. 5 :	Principe de fonctionnement des appareils d'appui fixes	<i>Page 17</i>
Fig. 6 :	Principe de fonctionnement des appareils d'appui mobiles unidirectionnels	<i>Page 17</i>
Fig. 7 :	Principe de fonctionnement des appareils d'appui mobiles multidirectionnels	<i>Page 18</i>
Fig. 8 :	Principe de bossages en béton	<i>Page 21</i>
Fig. 9 :	Déformation d'un appareil d'appui en caoutchouc fretté sous effort normal	<i>Page 24</i>
Fig. 10 :	Déformation d'un appareil d'appui en caoutchouc fretté sous effort horizontal (distorsion)	<i>Page 24</i>
Fig. 11 :	Déformation d'un appareil d'appui en caoutchouc fretté sous rotation d'axe horizontal	<i>Page 24</i>
Fig. 12 :	Principe du système Gantois	<i>Page 25</i>
Fig. 13 :	Principe du système Lasto-Pile type NF	<i>Page 25</i>
Fig. 14 :	Principe du système Cargo	<i>Page 26</i>

Fig. 15 :	Principe d'un appareil d'appui fretté non enrobé	Page 27
Fig. 16 :	Principe d'un appareil d'appui fretté semi-enrobé	Page 28
Fig. 17 :	Principe d'un appareil d'appui fretté enrobé	Page 28
Fig. 18 :	Principe d'une platine à taquet avec bloc de caoutchouc fretté	Page 29
Fig. 19 :	Principe d'un dispositif anti-cheminement	Page 30
Fig. 20 :	Principe d'un dispositif anti-soulèvement	Page 30
Fig. 21 :	Constitution d'un appareil d'appui à pot	Page 31
Fig. 22 :	Principe des appareils d'appui à plaque	Page 32
Fig. 23 :	Principe d'un appareil d'appui linéaire	Page 32
Fig. 24 :	Principe des rotules axiales	Page 33
Fig. 25 :	Principe des rouleaux	Page 33
Fig. 26 :	Principe des rouleaux multiples, avec ou sans bielles	Page 34
Fig. 27 :	Galet métallique	Page 35
Fig. 28 :	Pendule métallique	Page 35
Fig. 29 :	Calotte sphérique	Page 36
Fig. 30 :	Principe d'un appareil d'appui à grain	Page 36
Fig. 31 :	Principe de bielles	Page 37
Fig. 32 :	Principe de l'articulation Mesnager	Page 37

Fig. 33 :	Principe de l'articulation Considère	<i>Page 38</i>
Fig. 34 :	Principe d'une articulation Considère-Caquot simple, à rayon convexe roulant sur un plan	<i>Page 38</i>
Fig. 35 :	Principe d'une articulation Considère-Caquot double	<i>Page 38</i>
Fig. 36 :	Principe d'une articulation Considère-Caquot simple, à parties convexes supérieures et inférieures	<i>Page 39</i>
Fig. 37 :	Principe d'une articulation Considère-Caquot simple, à parties concave sur partie convexe	<i>Page 39</i>
Fig. 38 :	Principe de l'articulation Freyssinet	<i>Page 40</i>
Fig. 39 :	Schéma de ferrailage d'une articulation Freyssinet	<i>Page 40</i>
Fig. 40 :	Principe des bielles de béton	<i>Page 40</i>
Fig. 41 :	Principe d'un appui broché	<i>Page 42</i>
Fig. 42 :	Principe de l'articulation Courtot	<i>Page 42</i>
Fig. 43 :	Principe d'un appareil d'appui à jauge de déformation	<i>Page 43</i>
Fig. 44 :	Principe d'un appareil d'appui à vérin plat	<i>Page 43</i>
Fig. 45 :	Principe d'un appareil d'appui à fibres optiques	<i>Page 44</i>
Fig. 46 :	Bourrelets réguliers révélateurs de la bonne répartition des charges sur l'appareil d'appui	<i>Page 62</i>
Fig. 47 :	Flèche limite d'un bourrelet élémentaire	<i>Page 62</i>

Fig. 48 :	Mesure de tangente γ	<i>Page 63</i>
Fig. 49 :	Principe des réservations niches à vérins	<i>Page 90</i>
Fig. 50 :	Principe des bossages de vérins	<i>Page 91</i>
Fig. 51 :	Principe des blocs d'ancrage	<i>Page 92</i>

LISTE DES PHOTOS

- Photo 1 :** Pont en dalle de pierre, *photo provenant d'Internet.* **Page 12**
- Photo 2 :** Passage supérieur d'autoroute, *photo Daniel Esbrat.* **Page 12**
- Photo 3 :** Pont Vasco de Gama ; *photo Jean-Marc Morand ; source <http://www.structurae.info/fr/photos/img5360.php>* **Page 12**
- Photo 4 :** Appareil d'appui en caoutchouc fretté et bossages béton ; *photo personnelle.* **Page 21**
- Photo 5 :** Appareil d'appui fretté enrobé NF ; *photo SETRA.* **Page 28**
- Photo 6 :** Platines à taquet ; *photo Daniel Esbrat.* **Page 29**
- Photo 7 :** Appareil d'appui à pot glissant unidirectionnel et bossage inférieur béton ; *photo Daniel Esbrat* **Page 31**
- Photo 8 :** Appareil d'appui à pot avec dispositif de glissement ; *photo Daniel Esbrat.* **Page 31**
- Photo 9 :** Les rotules d'une des piles du pont ferroviaire Kitchener à Lyon ; *photo Jacques Mossot ; source <http://www.structurae.info/fr/photos/img1723.php>* **Page 33**
- Photo 10 :** Rotules axiales d'un pont en arc; *photo HAER ; source <http://www.structurae.de/fr/photos/img6622.php>* **Page 33**
- Photo 11 :** Rouleau métallique avec tenon de guidage axiale sur les bossages; *source CIFP.* **Page 34**
- Photo 12 :** Chariots conjugués avec rotule axiale ; *Pont ferroviaire d'Eauplet sur la Seine à Rouen ; photo Jacques Mossot ; source <http://www.structurae.info/fr/photos/img2921.php>* **Page 35**

- Photo 13 :** Pendule métallique équipant un pont mixte ; *Pont sur la Vézère (Autoroute A20) ; photo Jacques Mossot ; source <http://www.structurae.de/fr/photos/img4429.php>* **Page 35**
- Photo 14 :** Pendule métallique + rotule ; *Pont SNCF sur le Riou-Bourdou (Retenue EDF de Serre-Ponçon); photo Daniel Esbrat.* **Page 35**
- Photo 15 :** Bielle de pont suspendu ; *Rheinbrücke Krefeld-Uerdingen ; Photo Nicolas Janberg ; source <http://www.structurae.info/fr/photos/img8367.php>* **Page 37**
- Photo 16 :** Bielle; *source <http://is-beton.epfl.ch/photos/PlancheContact.asp?I&I10&I10-09.jpg>* **Page 37**
- Photo 17 :** Articulation Considère Caquot ; *Pont de Saint-Sylvestre-sur-Lot ; photo Jacques Mossot ; source <http://www.structurae.de/fr/photos/img10879.php>* **Page 39**
- Photo 18 :** Semelle de plomb sous poutre métallique (1); *photo Daniel Esbrat.* **Page 41**
- Photo 19 :** Semelle de plomb sous poutre métallique (2); *photo Daniel Esbrat.* **Page 41**
- Photo 20 :** Articulation Courtot d'une des piles du pont n° 10 à Orly; *photo S.E.T.R.A.* **Page 42**
- Photo 21 :** Pont tournant – Vue générale de la pile avec appareil d'appui rotatif; *photo HAER, source <http://www.structurae.de/fr/photos/img15131.php>* **Page 44**
- Photo 22 :** Pont tournant – Détail de l'appareil d'appui rotatif ; *photo HAER, source*

http://www.structurae.de/fr/photos/img5201.php	Page 44
Photo 23 : Passerelle négative pour examen des intrados d'ouvrages et des appuis et appareils d'appui ; <i>photo GETEC.</i>	Page 48
Photo 24 : Mesure de la hauteur de visite d'un appareil d'appui en caoutchouc fretté ; <i>photo personnelle.</i>	Page 49
Photo 25 : Vérins plats (1) ; <i>photo Daniel Esbrat.</i>	Page 86
Photo 26 : Vérins plats (2) ; <i>photo Daniel Esbrat.</i>	Page 86
Photo 27 : Vérins plats (3) ; <i>photo Daniel Esbrat.</i>	Page 86
Photo 28 : Vérins plats (4) ; <i>photo Daniel Esbrat.</i>	Page 86
Photo 29 : Vérin à pot avec rotule et bague de sécurité sur bloc d'ancrage; <i>photo Daniel Esbrat.</i>	Page 87
Photo 30 : Déverinage – calage sous vérin à pot de grande course sans rotule; <i>photo Daniel Esbrat.</i>	Page 87
Photo 31 : Pompes hydrauliques alimentant chacune un vérin ; <i>photo Daniel Esbrat.</i>	Page 88
Photo 32 : Batterie de pompes hydrauliques alimentant chacune un groupe de vérin; <i>photo Daniel Esbrat.</i>	Page 88
Photo 33 : Pupitre de comande alimentant les pompes hydrauliques ; <i>photo Daniel Esbrat.</i>	Page 89
Photo 34 : Installation de L.A.O ; <i>photo Daniel Esbrat.</i>	Page 89
Photo 35 : Centrale de lavage G.T.M ; <i>photo Daniel Esbrat.</i>	Page 89

- Photo 36 :** Comparsateur devant 2 vérins plats; *photo Daniel Esbrat.* **Page 90**
- Photo 37 :** Vérins à pot près de l'appareil d'appui et cales à vis;
photo Daniel Esbrat. **Page 92**
- Photo 38 :** Bloc d'ancrage latéral préfabriqué et vérin à pot
pour vérinage d'une poutre de VIPP; *photo Daniel Esbrat.* **Page 92**
- Photo 39 :** Vérins sur chandelles constituées de tours métalliques;
photo Daniel Esbrat. **Page 93**
- Photo 40 :** Vérins corbeaux sur chandelles; *photo Daniel Esbrat.* **Page 93**
- Photo 41 :** Chaise métallique sur appui (pile); *photo Daniel Esbrat.* **Page 93**
- Photo 42 :** Plaques d'inox en "coffrage perdu" – nuance Z2 CND 17/12;
photo Daniel Esbrat. **Page 99**
- Photo 44 :** Matage sous tablier de pont-dalle; *photo Daniel Esbrat.* **Page 99**
- Photo 45 :** Matage sous talon de poutre de V.I.P.P ;
photo Daniel Esbrat. **Page 99**
- Photo 46 :** Appareil d'appui sur culée après vérinage à tablier zéro ;
photo Daniel Esbrat. **Page 100**

Pathologie, entretien et réparation des appareils d'appui des ponts et viaducs.

Mémoire d'Ingénieur CNAM, Centre Régional Associé de Limoges, 2004.

RESUME

Les ponts et viaducs comportent des appareils d'appui qui assurent les transmissions de charges, les rotations et les déplacements indispensables au bon fonctionnement de ces ouvrages.

Ces éléments de structure développent des pathologies liées aux matériaux ou au fonctionnement structurel. Ils peuvent alors cesser d'assurer certains de leurs rôles fondamentaux et compromettre ainsi la durabilité ou la sécurité des ouvrages.

Alors que certaines pathologies dues au vieillissement peuvent être évitées par un entretien courant, d'autres exigent la mise en œuvre de moyens importants pour relever le tablier de l'ouvrage d'art défaillant, et procéder aux réparations ou aux changements d'appareils d'appui : c'est le vérinage.

Le présent mémoire présente les différents types d'appareils d'appui recensés, leur principe de fonctionnement et leurs pathologies principales avec les critères d'action qui en découlent. Le vérinage, réparation qui est un travail de spécialistes, est décrit dans ses trois types principaux. Le document est illustré par de nombreuses photos de provenance variée.

L'ensemble doit attirer l'attention du lecteur sur l'importance de la surveillance, tant à la construction et à la mise en œuvre des dispositifs d'appui, que durant leur exploitation en service.

Mot-clés : pathologie, appareil d'appui, pont, surveillance, vérinage, réparation, caoutchouc fretté.

SUMMARY

Bridges and viaducts comprise bearings which ensure the transmissions of loads, rotations and displacements essential with the correct working of the construction work.

This elements of structure have pathologies linked to the materials or the operation. They can become not able to ensure their principal functions. Then durability and security of the bridges are compromised.

Some pathologies can be avoided by general maintenance. But when bearings must be repaired or be changed the bridge deck must be lifted by jacks. This is called the verinage.

This thesis shows different models of bearings and explain their principles of operation, their principal pathologies and the decisions of monitoring or repairs which are necessary. The vérinage is a repair which is a work of specialists. It is described in its three principal types. The document is illustrated by many photographs from varied sources. The thesis as a whole must catch the eye of the reader on the importance of the monitoring, as well at the construction of the bearings, as during their exploitation.

Key-words : pathology, bearing, bridge, monitoring, vérinage, repair, laminated elastomeric bearing.