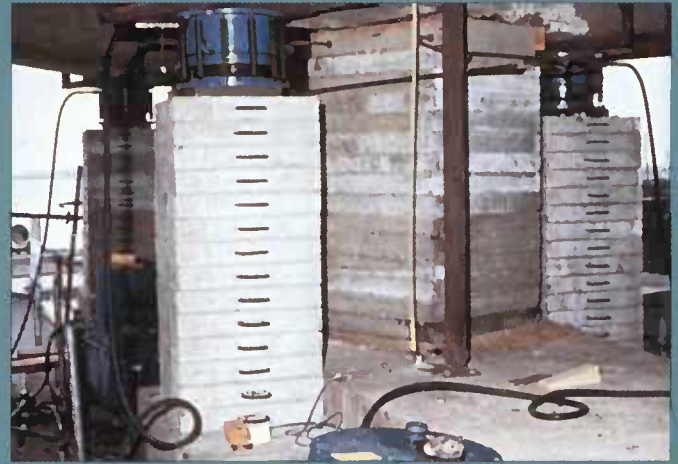


Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art

Deuxième partie

Fascicule 13



Appareils d'appui



Page laissée blanche intentionnellement

Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art

Fascicule 13

Appareils d'appui

Document diffusé par

Le Laboratoire Central
des Ponts et Chaussées
58, boulevard Lefebvre
F-75732 PARIS Cedex 15
Téléphone : 01 40 43 50 20
Télécopie : 01 40 43 54 95
www.lpc.fr

Le Service d'Études Techniques
des Routes et Autoroutes
46, avenue Aristide Briand - BP 100
F- 92225 BAGNEUX Cedex
Téléphone : 01 46 11 31 31
Télécopie : 01 46 11 31 69
www.setra.equipement.gouv.fr

Avertissement

Le présent document est l'un des fascicules dont l'ensemble constitue la deuxième partie de l'Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art du 19 octobre 1979 révisée. La liste de ces fascicules est la suivante :

- Fasc. 01. Dossiers d'ouvrage
- Fasc. 02. Généralités sur la surveillance
- Fasc. 03. Mesures de sécurité - Auscultation - Surveillance renforcée - Haute surveillance
- Fasc. 04. Surveillance topométrique

- Fasc. 10. Fondations en site aquatique
- Fasc. 11. Fondations en site terrestre
- Fasc. 12. Appuis
- Fasc. 13. Appareils d'appui

- Fasc. 20. Zone d'influence - Accès - Abords
- Fasc. 21. Équipements des ouvrages (protection contre les eaux - revêtements - joints de chaussée et de trottoirs - garde-corps - dispositifs de retenue)

- Fasc. 30. Ponts et viaducs en maçonnerie
- Fasc. 31. Ponts en béton non armé et en béton armé
- Fasc. 32. Ponts en béton précontraint
- Fasc. 33. Ponts métalliques (acier, fer, fonte)
- Fasc. 34. Ponts suspendus et ponts à haubans

- Fasc. 35. Ponts de secours
- Fasc. 40. Tunnels, tranchées couvertes, galeries de protection
- Fasc. 50. Buses métalliques

- Fasc. 51. Ouvrages de soutènement
- Fasc. 52. Déblais et remblais
- Fasc. 53. Ouvrages de protection

L'élaboration de ces fascicules est confiée à un groupe de travail placé sous la présidence de M. Claude Bois, Ingénieur général des Ponts et Chaussées, membre de la mission d'inspection spécialisée des ouvrages d'art, dans lequel sont représentés :

- la MISOA,
- les directions départementales de l'Équipement,
- le réseau technique (CETE, SETRA, LCPC, CETU)
- la direction régionale de l'Équipement d'Ile-de-France,
- des maîtres d'ouvrages extérieurs (SNCF, RATP, Concessionnaires d'autoroutes).

Le rapporteur du présent fascicule était : Mme Humbert (DREIF)

Le groupe élaboration était constitué de Messieurs Fragnet (SETRA), Chabert (LCPC), Baneau (Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Bordeaux), Picard (DDE 78, puis DREIF).

Page laissée blanche intentionnellement

Sommaire

Chapitre 1 - Champ d'application	9
Chapitre 2 - Généralités	11
2.1 - Particularité de la surveillance et de l'entretien	11
2.2 - Fonctions des appareils d'appui	11
2.2.1 - Les fonctions habituelles	11
2.2.2 - Les fonctions optionnelles	12
2.2.3 - Les dispositifs complémentaires	13
2.2.4 - Schématisation des appareils d'appui	13
2.3 - Dossier d'ouvrage	14
2.4 - Description des différents types d'appareils d'appui	14
2.4.1 - Les appareils d'appui en caoutchouc fretté	14
2.4.1.1 - Frettage non adhésivé par vulcanisation	14
2.4.1.2 - Les appareils d'appui en caoutchouc fretté adhésivé par vulcanisation	15
2.4.1.3 - Appareils d'appui en caoutchouc fretté avec plan de glissement inox-PTFE	18
2.4.2 - Les appareils d'appui à pot	19
2.4.2.1 - Principe de fonctionnement	19
2.4.2.2 - Différents types de pots	20
2.4.2.3 - Différents types de guidage	21
2.4.2.4 - Équipements	22
2.4.2.5 - Équipements particuliers	22
2.4.3 - Les appareils d'appui métalliques	22
2.4.3.1 - À plaques métalliques	22
2.4.3.2 - À balanciers à contact linéaire	23
2.4.3.3 - À balanciers à rotule axiale	23
2.4.3.4 - À rouleaux	25
2.4.4 - Autres types d'appareils d'appui	25

Chapitre 3 - Notions sur les causes et la nature des désordres	27
3.1 - Généralités	27
3.1.1 - Préambule	27
3.1.2 - Principes généraux	27
3.1.2.1 - Appareils d'appui	28
3.1.2.2 - Structure	28
3.2 - Conditions générales de l'environnement	28
3.2.1 - Visibilité de l'appareil d'appui	28
3.2.2 - État de l'environnement immédiat	30
3.3 - Les appareils d'appui en caoutchouc fretté	32
3.3.1 - Comportement des constituants	32
3.3.1.1 - Comportement du caoutchouc	32
3.3.1.2 - Comportement des frettes en acier	33
3.3.1.3 - Comportement du système de liaison entre les frettes en acier et les feuillets en caoutchouc	33
3.3.2 - Fonctionnement de l'appareil d'appui	34
3.3.2.1 - Répartition de la charge	34
3.3.2.2 - Distorsion	36
3.4 - Les appareils d'appui à pot	38
3.4.1 - Comportement des matériaux	38
3.4.2 - Fonctionnement de l'appareil d'appui	38
3.5 - Les parties glissantes	39
3.5.1 - Comportement des matériaux	39
3.5.2 - La fonction de glissement	41
3.6 - Les appareils d'appui métalliques	42
3.6.1 - Comportement des matériaux	42
3.6.2 - Fonctionnement	43
3.6.2.1 - Dépassement des limites de fonctionnement des rouleaux ou d'inclinaison des balanciers ou des galets	43
3.6.2.2 - Rupture de dents et de dispositif anti-cheminement	44
3.6.2.3 - Défaut d'entretien	44
Chapitre 4 - Surveillance	45
4.1 - Généralités	45
4.2 - Les actions de surveillance organisée	45
4.2.1 - Contrôle annuel	45

4.2.2 - Visite IQOA et visite spécifique	45
4.2.3 - Inspection détaillée	45
4.3 - Constatations	46
4.3.1 - Contrôle annuel	46
4.3.2 - Visite I.Q.O.A	46
4.3.3 - Inspection détaillée	46
4.3.3.1 - Inspection détaillée initiale	46
4.3.3.2 - Inspection détaillée périodique	48

Chapitre 5 - Entretien et réparation 51

5.1 - Entretien	51
5.1.1 - L'entretien courant	51
5.1.2 - L'entretien spécialisé	51
5.2 - Réparation des appareils d'appui et de leur environnement	52
5.2.1 - Vérinage	52
5.2.2 - Recalage des appareils d'appui	55
5.2.3 - Remise en état des appareils d'appui	55
5.2.4 - Remplacement des appareils d'appui	55
5.2.5 - Réfection des bossages	56
5.2.6 - Création de bossages d'appareils d'appui	57

Annexe 1 - Bibliographie 59

Annexe 2 - Représentation graphique des appareils d'appui 60

Annexe 3 - Quelques autres types d'appareils d'appui 61

A.3.1 - Appareils d'appui en béton	61
A.3.1.1 - Les articulations MESNAGER	61
A.3.1.2 - Les articulations CONSIDERE	61
A.3.1.3 - Les sections rétrécies de béton	62
A.3.1.4 - Les articulations type CAQUOT	62
A.3.1.5 - Les articulations doubles	63
A.3.2 - Appareils d'appui en acier	63
A.3.2.1 - Les petits appareils d'appui	63
A.3.2.2 - Les bielles	65
A.3.3 - Appareils d'appui hybrides	65
A.3.3.1 - Exemple d'appareil anti-soulèvement	66
A.3.3.2 - Exemple d'appareil hybride acier-béton	66

Annexe 4 - Liste des sigles utilisés 67

Crédits photographiques

Page laissée blanche intentionnellement

Chapitre 1

Champ d'application

Les dispositions du présent fascicule s'appliquent aux appareils d'appui des ouvrages d'art. Ces appareils d'appui font partie intégrante de la structure de l'ouvrage.

Les appuis de pont et passerelles font l'objet du fascicule 12.

Les ponts en béton armé, en béton précontraint, les ponts métalliques font l'objet de fascicules spécifiques.

L'ensemble des fascicules permet donc de retrouver les dispositions applicables à la surveillance et à l'entretien des différentes parties de l'ouvrage.

Le présent fascicule donne des indications sur les principaux types d'appareils d'appui, les causes et la nature de leurs désordres, leur surveillance, leur entretien et leur réparation.

L'annexe 3 s'attache à donner des informations sur quelques types d'appareils d'appui moins fréquemment rencontrés.

Le présent document n'est cependant pas exhaustif, et pour les cas particuliers, il convient de s'inspirer des recommandations contenues dans le présent fascicule.

Page laissée blanche intentionnellement

Chapitre 2

Généralités

2.1 - Particularité de la surveillance et de l'entretien

Les appareils d'appui ne constituent qu'une partie de l'ouvrage. Les observations faites à l'occasion de leur surveillance doivent donc être rattachées à celles faites sur le reste de l'ouvrage.

À ce titre, tous vices sur les appareils d'appui peuvent faire l'objet d'un recours en responsabilité décennale.

2.2 - Fonctions des appareils d'appui

Un appareil d'appui est une partie de l'ouvrage qui joue un grand rôle dans le fonctionnement de la structure en assurant la transmission des efforts du tablier aux appuis.

La surveillance et l'entretien des appareils d'appui nécessitent donc de connaître le principe du fonctionnement de l'ouvrage. Celui-ci doit figurer dans son document signalétique et être consulté avant toute opération de surveillance des appareils d'appui.

Afin de bien analyser le fonctionnement d'une structure, il est primordial de bien connaître le schéma théorique des possibilités de ses appareils d'appui et ensuite de s'assurer de la fonctionnalité des appareils.

2.2.1 - Les fonctions habituelles

◆ Transmission des forces verticales⁽¹⁾

◆ Rotation

- dans une direction avec ou sans transmission de moments,
- dans toutes les directions avec ou sans transmission de moments⁽²⁾,

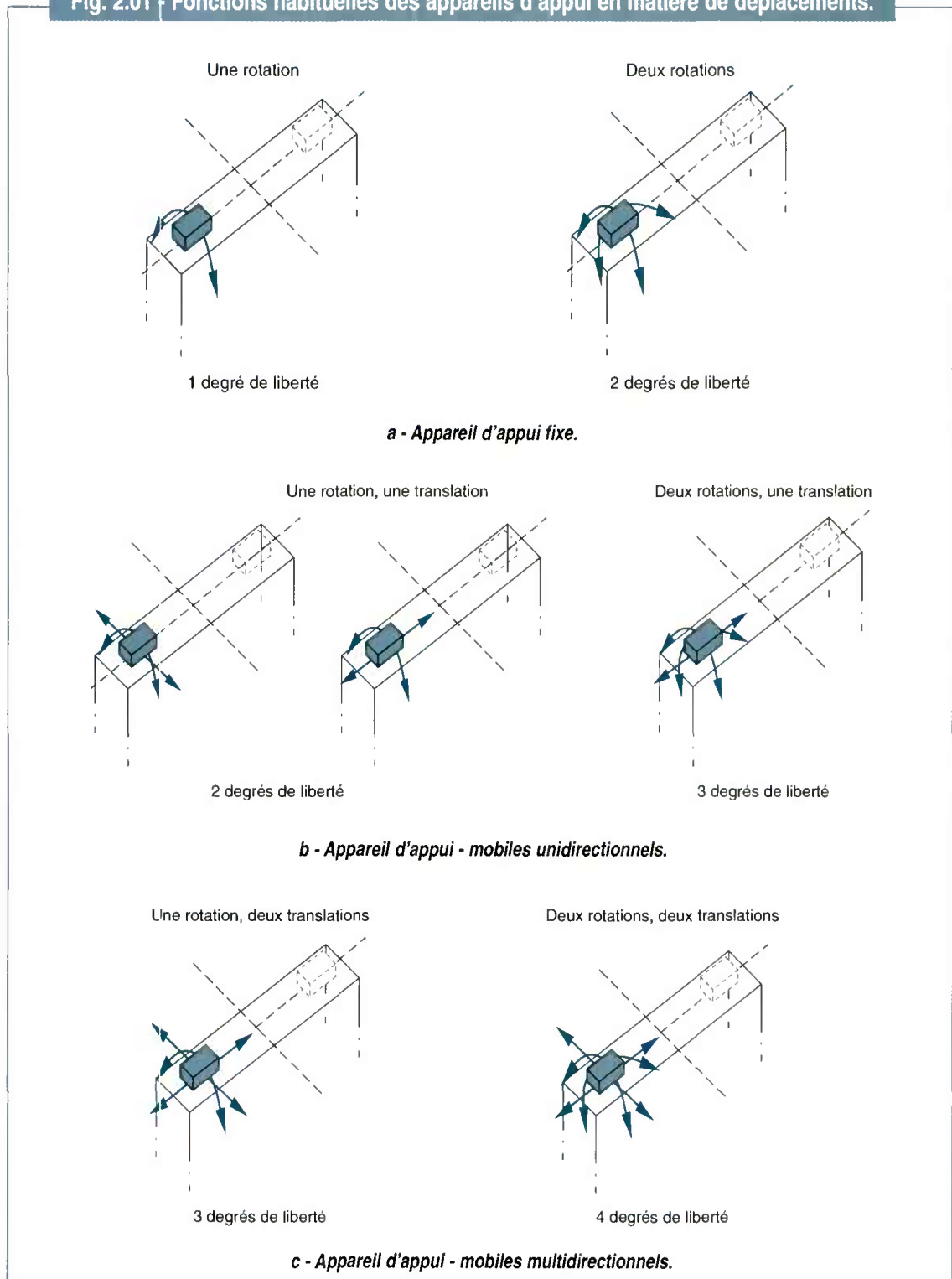
◆ Déplacements (fig. 2.01)

- fixes avec transmission des forces horizontales (déplacement nul) (fig. a),
- unidirectionnels avec transmission des efforts perpendiculaires au sens privilégié de déplacement, ainsi que des efforts dus à la distorsion ou au frottement induits par le déplacement et la variation d'excentrement sur l'appui ou/et le tablier (fig. b),
- multidirectionnels avec transmission des efforts dus à la distorsion ou au frottement et des variations d'excentrement (fig. c).

(1) Il peut s'agir d'efforts pratiquement perpendiculaires au plan de l'appareil d'appui, mais non verticaux, comme par exemple les appareils des ponts en arcs (en pied et en clé) et les appareils spécifiques de guidage.

(2) Cette transmission de moment est une conséquence de l'existence des appareils d'appui mais pas une fonction recherchée de celui-ci.

Fig. 2.01 - Fonctions habituelles des appareils d'appui en matière de déplacements.



2.2.2 - Les fonctions optionnelles

◆ Guidage

Lorsqu'il est souhaitable que l'ouvrage se translate sur ses appuis avec un jeu transversal minime (quelques mm) on fait appel à un dispositif de guidage intégré à l'appareil ou indépendant. Les exemples les plus connus sont les dents ou les rainures de guidage des appareils d'appui métalliques, ainsi que les clavettes ou les plaques de glissement guidées des appareils d'appui à pot unidirectionnel (cf. 2.4.2.3). Les ouvrages courbes possèdent souvent des dispositifs de guidage intégrés à l'appareil ou constitués d'appareils spécifiques.

◆ **Anti-soulèvement**

Cette fonction est recherchée dès qu'une réaction sur un appareil risque d'être négative et d'entraîner un déplacement de la structure. C'est le cas des travées de rive de faible portée d'ouvrages hyperstatiques, de nombreux ponts suspendus, etc.

2.2.3 - Les dispositifs complémentaires

◆ **Anti-cheminement**

Ce sont des dispositifs qui empêchent le déplacement des appareils lorsque ceux-ci ne sont pas assez chargés. Par exemple, ces dispositifs sont nécessaires notamment sur les appareils en caoutchouc fretté d'une travée de rive courte par rapport à sa travée adjacente dans un système de travées continues, ouvrages très biais, dalle large, etc.

◆ **Butée**

Ce sont des dispositifs qui limitent les déplacements sur appui à une valeur donnée. Ils trouvent généralement leur utilisation pour faire face à des situations exceptionnelles telles que les mouvements sismiques, les inondations nécessitant une retenue du tablier et les chocs de bateaux. La butée est en général indépendante de l'appareil d'appui porteur.

◆ **Amortissement**

On utilise parfois les capacités des appareils d'appui en caoutchouc surtout pour des risques sismiques.

Les fonctions butée et amortissement peuvent également être exercées par d'autres éléments que les appareils d'appui.

2.2.4 - Schématisation des appareils d'appui

Compte tenu des fonctions des différents appareils d'appui, un schéma d'ensemble de ceux-ci permet au visiteur de comprendre le fonctionnement global de l'ouvrage et les mouvements attendus sur chaque ligne d'appui.

L'annexe 2 propose une représentation symbolique des différents types d'appareils. Son utilisation permet de créer des schémas d'ensemble tels que les exemples de la figure 2.02.

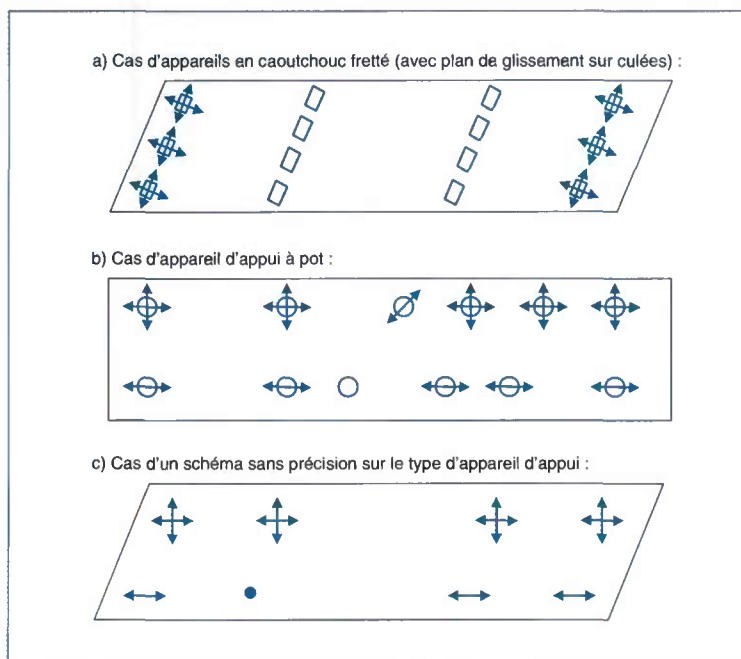


Fig. 2.02 -
Exemple de représentation
schématique des appareils d'appui
(Voir annexe 2 pour la
signification des symboles).

2.3 - Dossier d'ouvrage

Les renseignements relatifs aux appareils d'appui figurent dans le dossier d'ouvrage, notamment dans le document signalétique. Ils sont importants pour connaître le principe de leur fonctionnement. On doit y trouver notamment les valeurs de positions extrêmes des appareils d'appui mises à jour à la fin de la construction ou de la réparation.

Les recalages, les changements d'appareils d'appui et toutes opérations les concernant doivent donner lieu à des documents versés au dossier d'ouvrage.

2.4 - Description des différents types d'appareils d'appui

Seules les conceptions les plus courantes sont traitées dans le présent chapitre. Quelques autres types d'appareils d'appui sont présentés en annexe 3. Compte tenu de la difficulté du classement, la présentation ne tient pas compte des fonctions des divers appareils.

2.4.1 - Les appareils d'appui en caoutchouc fretté (matériau parfois dénommé élastomère)

Les fonctions habituelles (descente de charge, déplacement, rotation) sont assurées par de petits déplacements élastiques (fig. 2.03).

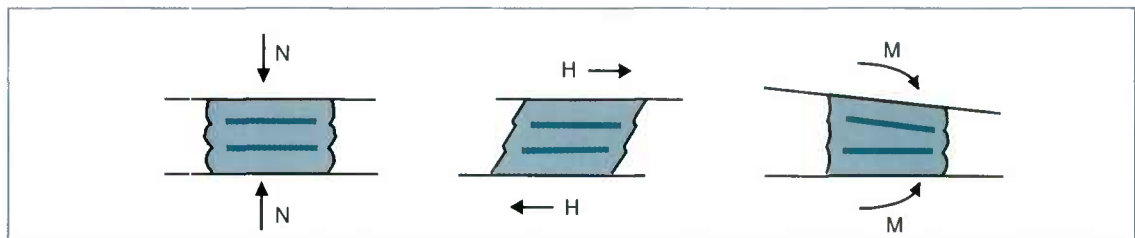


Fig. 2.03 - Déplacements types des appareils d'appui en caoutchouc fretté.

2.4.1.1 - Frettage non adhésivé par vulcanisation

● Grillage (début des années 50)

Des grillages en fils tréfilés et étamés, le plus souvent grillage GANTOIS® à mailles de 4 mm environ, sont disposés entre des plaques de caoutchouc de 5 mm (fig. 2.04).

Sous l'effet de la pression, les fils de grillage s'impriment dans le caoutchouc.

Pour des raisons de commodité (transport, mise en place, etc.), les éléments empilés sont maintenus solidaires aux quatre extrémités de l'appareil d'appui (attaches métalliques).

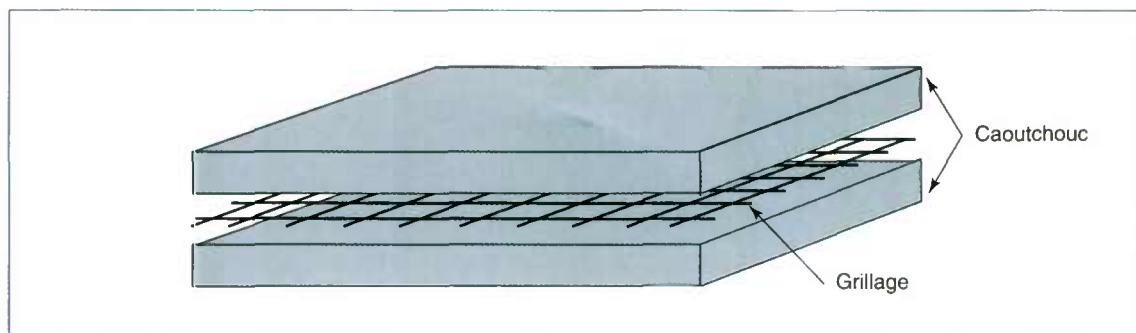


Fig. 2.04 - Schéma d'un appareil d'appui en caoutchouc fretté incluant un grillage.

● **LASTO® - PILE type NF** (première fabrication au début des années 50)

De format rectangulaire, ces appareils d'appui sont constitués par des empilages de plaques de caoutchouc, avec interposition de tôles en acier inoxydable rendues rugueuses par un traitement approprié.

Les tôles intermédiaires de 1 mm d'épaisseur sont de dimensions légèrement supérieures aux plaques de caoutchouc. L'épaisseur totale des appareils d'appui est un multiple de 9, 11 ou 13 mm, conformément à la figure 2.05.

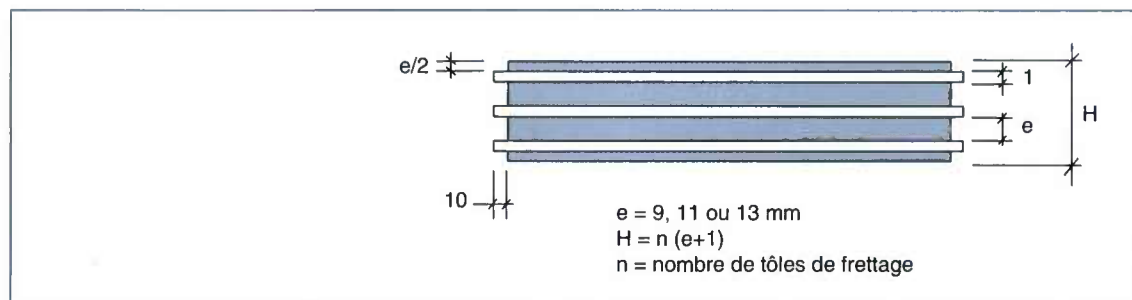


Fig. 2.05 - Schéma d'appareil d'appui de type LASTO® - PILE type NF.

● **CARGO** (~ 1958 à 1964)

Les plaques intermédiaires de caoutchouc et de tôle métallique comportent des nervures en croix s'incrutant les unes dans les autres (fig. 2.06).

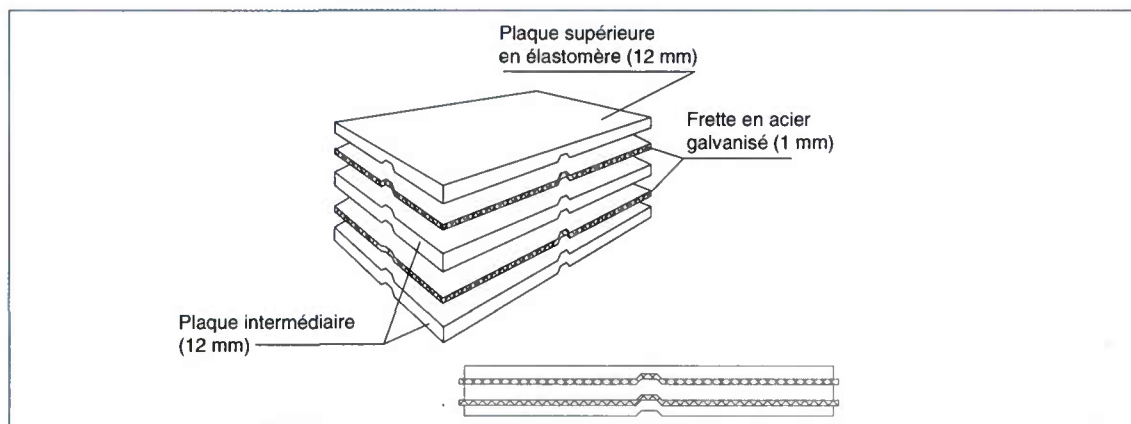


Fig. 2.06 - Schéma d'appareil d'appui de type CARGO.

2.4.1.2 - Les appareils d'appui en caoutchouc fretté adhésivé par vulcanisation

Les premiers appareils datent de 1956.

De par leur fabrication, trois classes d'appareil d'appui existent :

- non enrobé : frettes extérieures, chants métalliques apparents,
- semi-enrobé : absence de frettes extérieures, chants métalliques apparents,
- enrobé : frettes non apparentes.

La conception diffère d'un fabricant à l'autre et d'un pays à l'autre. Pour le fonctionnement, on peut se référer aux documents spécialisés cités en bibliographie.

● **Non enrobé**

Les premières fabrications ont consisté à réaliser des plaques de caoutchouc mono-feuillet adhésivées à deux tôles minces.

Pour constituer un appareil d'appui permettant une déformation en cisaillement et une rotation plus importantes, les mono-feuillets ont été collés les uns sur les autres.

Par la suite, plutôt que de coller les mono-feuillets entre eux, la disposition suivante a été adoptée au début des années 60 (fig. 2.07).

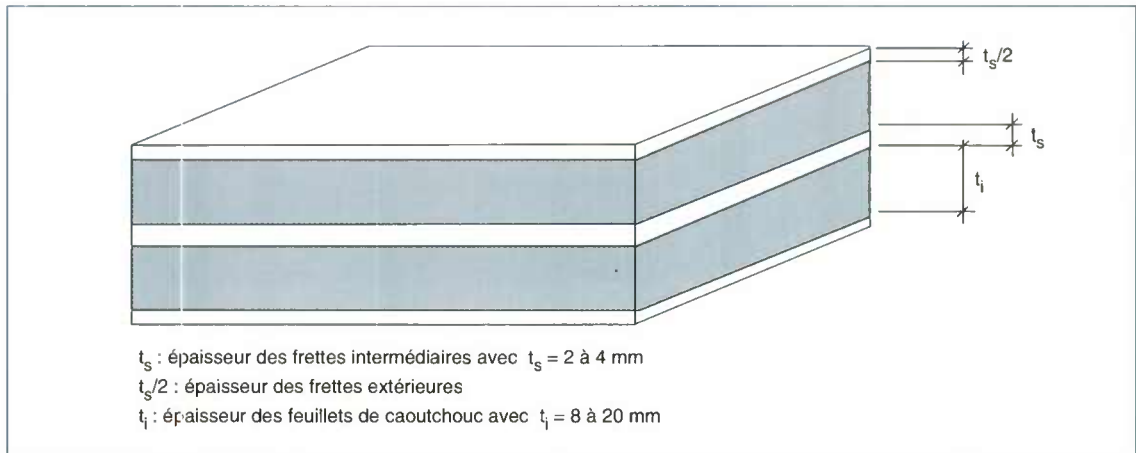


Fig. 2.07 - Schéma d'un appareil d'appui fretté adhésivé par vulcanisation non enrobé.

Les frettes étaient en acier ordinaire ou en acier inoxydable.

Les appareils d'appui unitaires étaient découpés dans une plaque mère d'environ 1 m^2 et sont reconnaissables par la couleur de la peinture de protection :

- rouge : qualité Ponts et Chaussées,
- verte : qualité Ponts Rails,
- grise : frettage en acier inoxydable,
- jaune : qualité Bâtiment.

Les productions ci-dessus ont été distribuées par la société STUP (via son caoutchoutier sous-traitant Pincet-Baratte).

● **Les appareils d'appui semi-enrobés (fig. 2.08)**

Ils ont été introduits peu de temps après les précédents et étaient caractérisés par les dispositions suivantes :

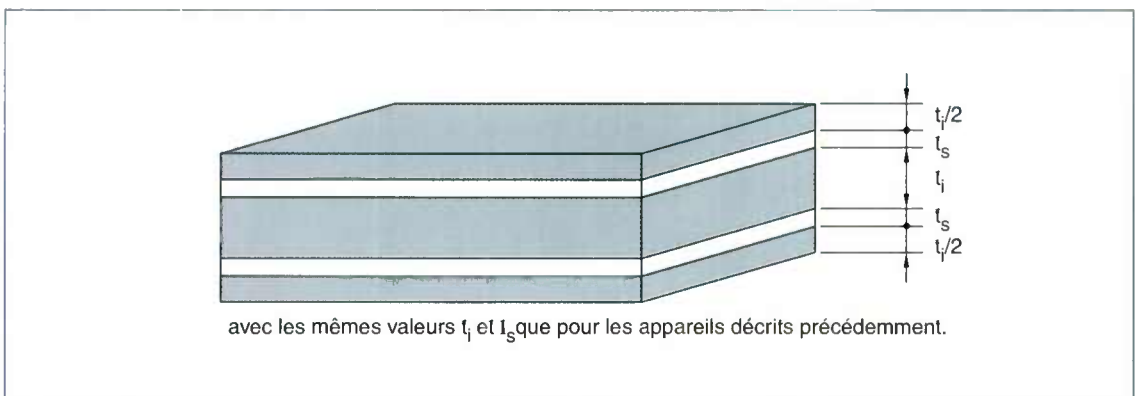


Fig. 2.08 - Schéma d'un appareil d'appui fretté adhésivé par vulcanisation semi-enrobé.

Ces appareils d'appui ont été distribués par la société CIPEC. Le plus souvent, ils étaient de couleur noire, mais ils ont parfois été peints suivant le même code de peinture que ci-dessus.

● **Les appareils d'appui enrobés (fig. 2.09 et 2.10)**

De conception et fabrication étrangère (GUMBA, FIP, etc.), ce type d'appareil d'appui a été parfois utilisé avant 1990.

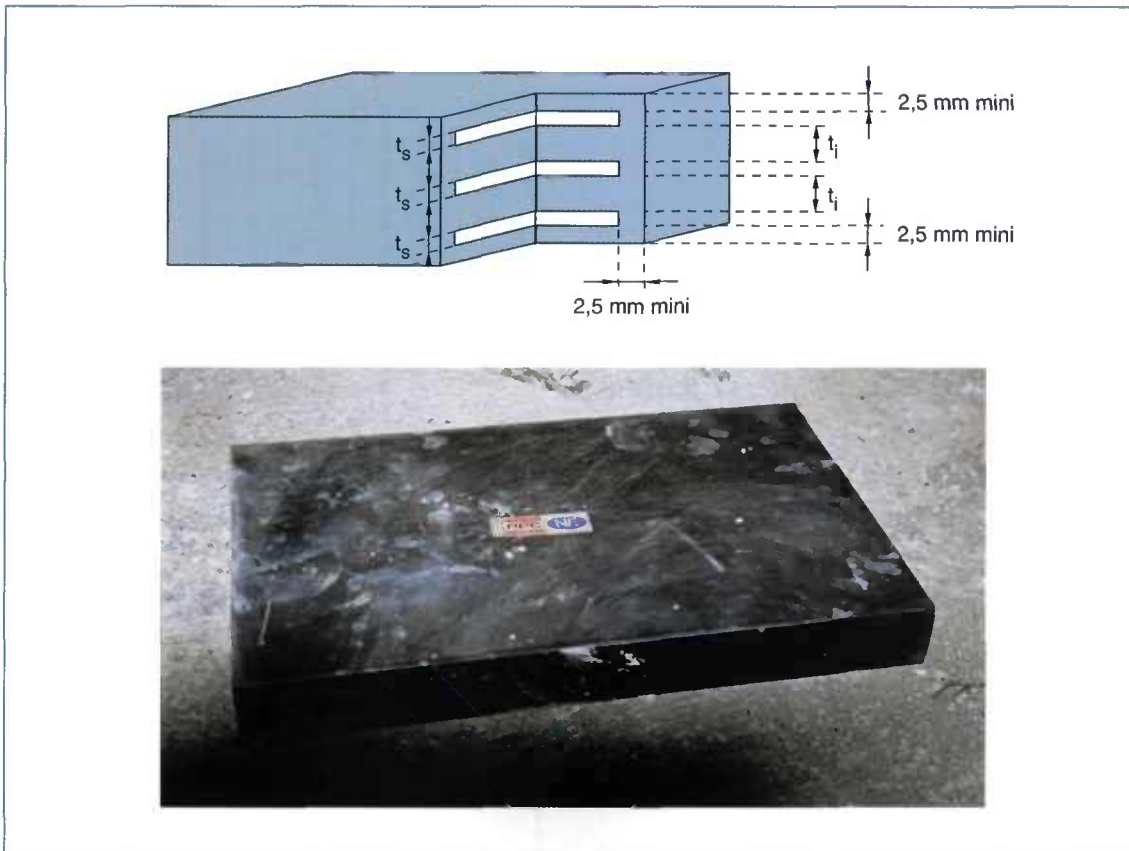


Fig. 2.09 et 2.10 - Appareil d'appui enrobé.

● **Les appareils d'appui enrobés conformes à la norme XP T 47.815**

Cette conformité à la norme peut être éventuellement attestée par un avis technique du SETRA (1991-début 1993) puis la marque NF (à partir de mi 1993).

Ils sont identiques aux appareils d'appui enrobés cités précédemment ; cependant, l'épaisseur d'enrobage latéral a été portée à 5 mm nominal (minimum 4 mm) au lieu de 2,5 mm. La majorité du type B de la norme a des feuilletts extérieurs d'une épaisseur de $\frac{t_i}{2}$.

● **Les appareils d'appui enrobés comprenant des plaques d'acier extérieures épaisses (fig. 2.11)**

liées par vulcanisation à l'appareil d'appui pour assurer un rôle anti-cheminement ou anti-soulèvement correspondent au type C de la norme française (XP T 47.815).

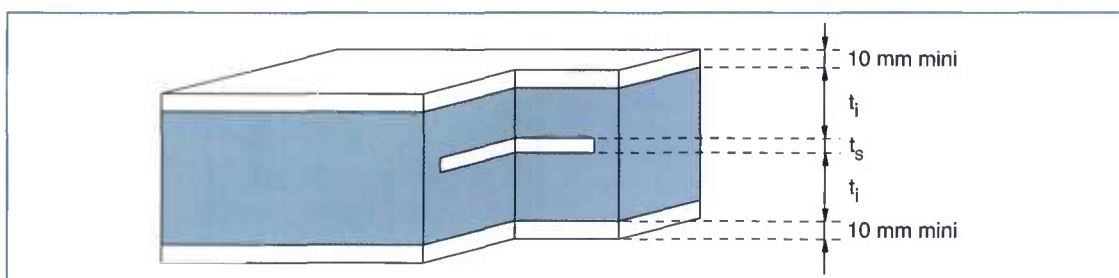


Fig. 2.11 - Schéma d'appareils d'appui enrobés comprenant des plaques d'acier extérieures épaisses.

2.4.1.3 - Appareils d'appui en caoutchouc fretté avec plan de glissement inox-PTFE

Il s'agit d'appareils d'appui en caoutchouc fretté adhésivé par vulcanisation et comportant un plan de glissement inox-polytétrafluoréthylène (PTFE commercialisé le plus souvent sous la marque TÉFLON®).

Le bloc en caoutchouc (correspondant aux configurations A, B, C, ou D du paragraphe précédent) est surmonté d'une feuille de PTFE. Elle est :

- dans le cas d'un feuillet supérieur en caoutchouc adhésivé par vulcanisation ou éventuellement collée.
- dans le cas d'une frette extérieure soit collée, soit collée et encastrée, soit simplement encastrée.

La plaque de glissement est constituée d'une tôle épaisse en acier et sur sa partie inférieure d'une feuille en acier inoxydable avec ou sans interposition d'un feuillet de caoutchouc. Il existe ou pas des dispositifs de protection et de prééclage (fig. 2.12).

Ils sont commercialisés sous les dénominations suivantes : ALVÉOFLON® (CIPEC), NÉOFLON® (STUP), ACIER TÉFLON® (FIP), etc. (fig. 2.13).

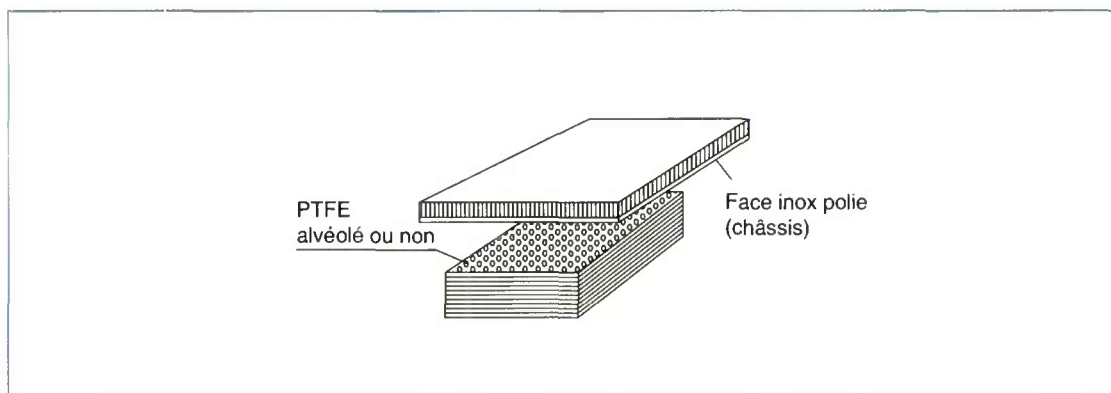


Fig. 2.12 - Plan de glissement inox-PTFE.

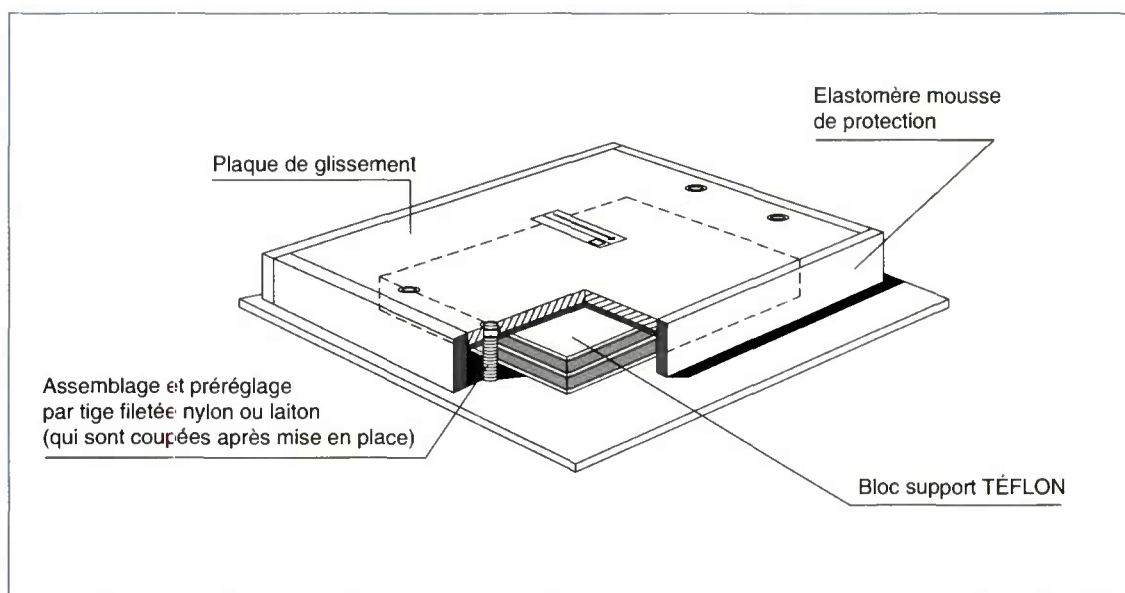


Fig. 2.13 - Appareil d'appui NÉOFLON® et son dispositif de protection et de prééclage.

2.4.2 - Les appareils d'appui à pot

Les premiers appareils d'appui à pot sont apparus au début des années 60. Chaque fabricant identifie ses appareils par divers codes qui indiquent la fonction et éventuellement le type de fabrication et la charge de l'appareil.

2.4.2.1 - Principe de fonctionnement

Ce type d'appareil d'appui est constitué d'une embase métallique en forme de pot cylindrique de faible hauteur (fig. 2.14).

Dans ce cylindre est enserré un coussin en caoutchouc avec un joint périphérique pour assurer l'étanchéité. Le piston (ou couvercle) emboîté avec un très faible jeu dans le pot s'appuie sur le coussin et va transmettre les charges avec possibilité de rotation.

Le coussin, emprisonné entre le piston et le pot, se comporte théoriquement comme un fluide.

La majorité de ces coussins sont en caoutchouc naturel, certains plus anciens sont en polychloroprène. Les joints périphériques sont le plus souvent en laiton ou en acier inoxydable.

Dans cette configuration, la fonction de l'appareil se limite à un rôle d'appui fixe. Pour permettre la fonction de déplacement, on grave dans la partie supérieure du piston un disque de PTFE sur lequel va glisser une plaque en acier dont la surface de contact avec le PTFE alvéolé ou non et graissé est en général en acier inoxydable (acier austénitique). Cette plaque d'acier est fixée sur son support par collage, vissage, soudage, etc.

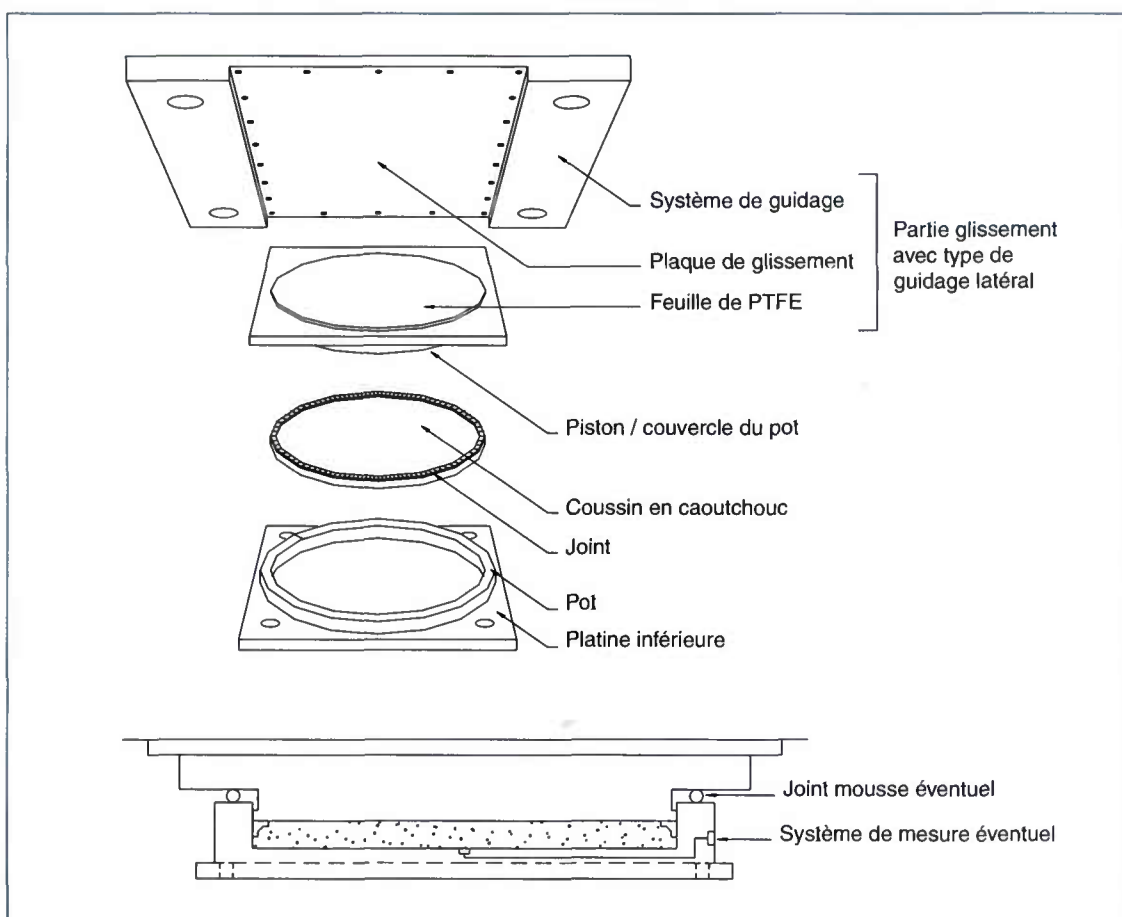


Fig. 2.14 - Composition schématique d'un appareil d'appui à pot.

Le glissement est possible dans toutes les directions (appareil multidirectionnel) ou dans une seule direction (appareil unidirectionnel) si l'appareil possède un dispositif de guidage. Il est toujours souhaitable de minimiser les jeux de guidage et d'orienter le sens du glissement possible vers l'appareil d'appui fixe, par exemple dans le cas des ponts courbes.

Selon l'importance des efforts horizontaux, les appareils sont ancrés soit par simple frottement avec la structure, soit par une boulonnerie et des pattes de scellement (ces ancrages devraient être disposés de manière à permettre, en principe, le démontage de l'appareil).

Nota

- Dans certains cas, le guidage n'est pas dans le sens longitudinal de l'ouvrage ; il peut aussi assurer le rôle de point fixe vis-à-vis des efforts horizontaux longitudinaux.
- La coupe montre un appareil d'appui à pot sans sa partie de glissement.
- Sur les appareils fixes, le piston est parfois situé sur l'appui et le pot sous le tablier.

2.4.2.2 - Différents types de pots

La plupart du matériel en place est constituée par des pots usinés dans une plaque de forte épaisseur formant un ensemble monolithique (fig. 2.15).

Il existe également des modèles avec une virole boulonnée ou soudée (fig. 2.16).

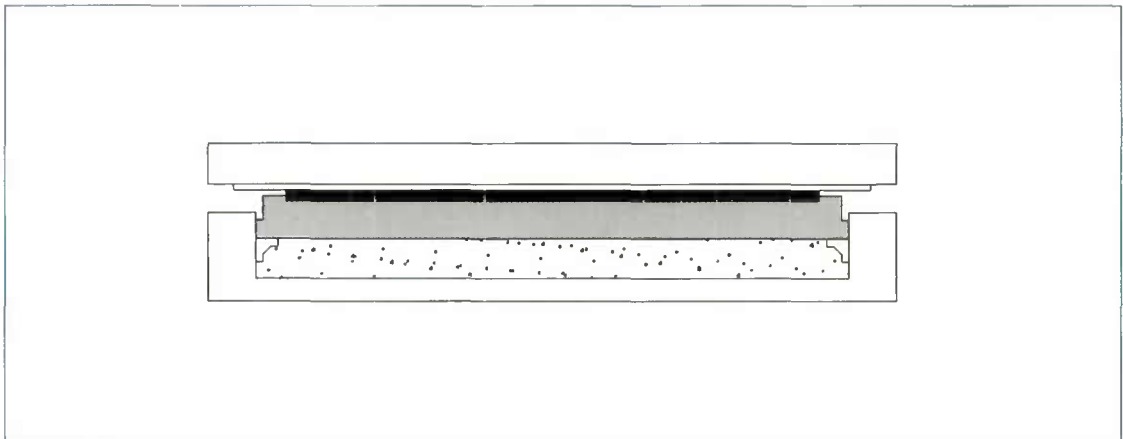


Fig. 2.15 - Appareil d'appui à pot avec plaque de glissement sans guidage (multidirectionnel) en pot monolithique.

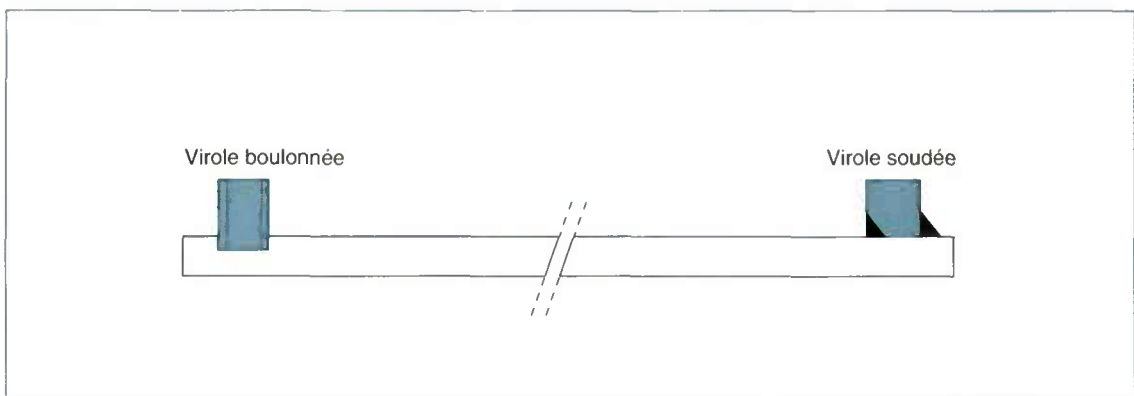


Fig. 2.16 - Modèles de virole boulonnée ou soudée.

2.4.2.3 - Différents types de guidage

2.4.2.3.1 - Guidage central

- guidage par clavette centrale fixée au piston par boulons à serrage contrôlé ou par soudage (fig. 2.17). Dans ce cas, la clavette est parfois en plusieurs éléments.
- guidage central par usinage de la plaque de glissement et engravure dans le piston (fig. 2.18).

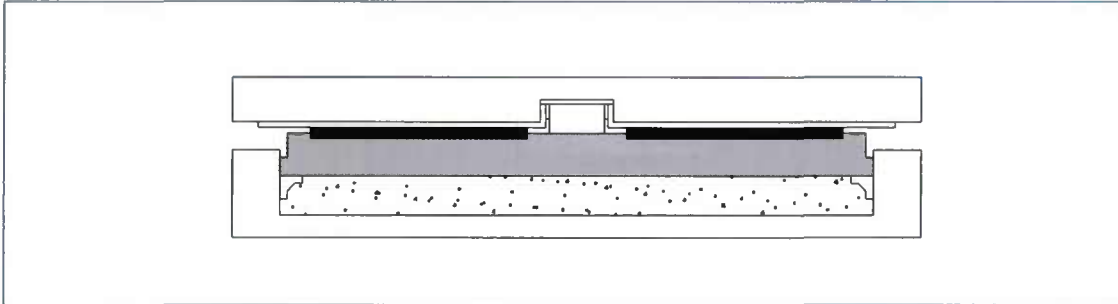


Fig. 2.17 - Appareil d'appui à pot avec plaque de glissement à guidage central.

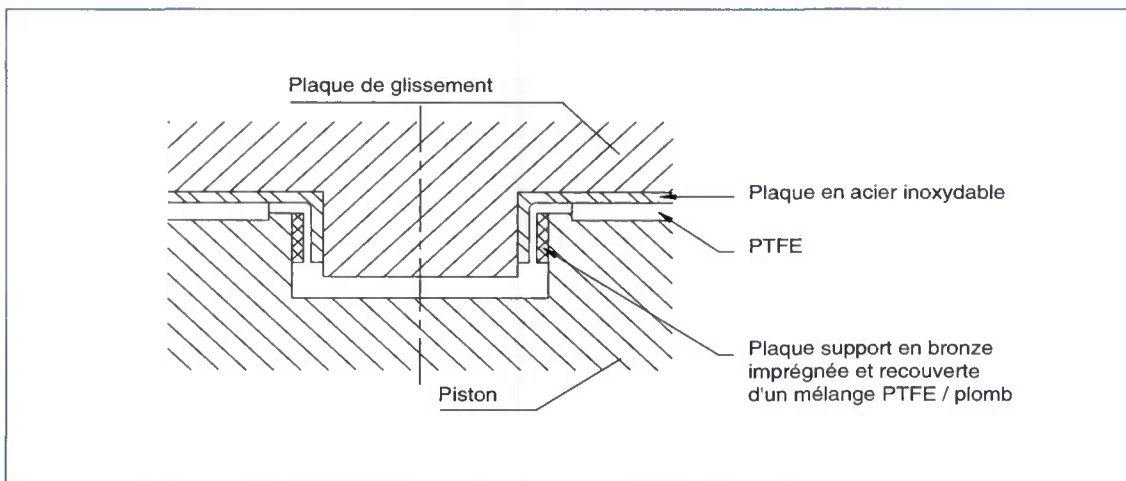


Fig. 2.18 - Exemple détaillé d'un guidage central usiné dans la masse.

2.4.2.3.2 - Guidage latéral (fig. 2.19)

- plaques boulonnées,
- plaques soudées,
- plaque de glissement usinée dans la masse.

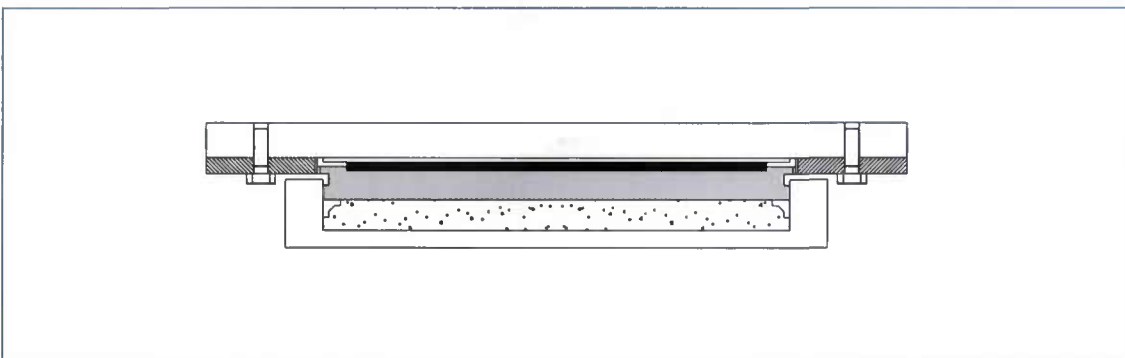


Fig. 2.19 - Appareil d'appui à pot avec plaque de glissement à guidage latéral.

2.4.2.4 - Équipements

- L'interstice entre le pot et le piston est muni d'un joint (en général joint mousse) qui protège les zones de contact piston-virole en acier nu et de faible rugosité.
- Un index de déplacement est maintenant installé sur chaque appareil d'appui non fixe en application, par anticipation, des pr EN 1337.2 et 1337.5.
- Le plus souvent un soufflet ou une jupe protège l'ensemble de l'appareil des poussières, notamment les éléments de glissement.
- Une plaque d'identification.

2.4.2.5 - Équipements particuliers

- Mesure des réactions verticales : un dispositif intégré mesure les variations de pression sur le coussin de caoutchouc.
- Appareil réglable en hauteur pour résoudre certaines difficultés particulières.
- Appareil anti-soulèvement : des dispositifs spéciaux sont prévus par certains constructeurs pour reprendre des efforts verticaux de soulèvement de faible importance. Par exemple, des taquets circulaires bloquant le soulèvement du piston, tout en permettant les rotations de celui-ci par rapport au pot.

2.4.3 - Les appareils d'appui métalliques

2.4.3.1 - À plaques métalliques (fig. 2.20)

Ce sont les plus simples. On les rencontre sur les ouvrages anciens de dimensions modestes avec des longueurs dilatables dépassant rarement 20 m et des descentes de charge réparties sur un assez grand nombre de points.

Ils sont constitués d'une plaque de plomb ou de zinc pour les plus anciens ou de deux plaques glissant les unes sur les autres. En cas de rotation de flexion, la surface de contact se réduit à une ligne.

Plus rarement, ils peuvent être constitués d'un plan et d'une surface cylindrique. Ces appareils d'appui remplissent une fonction d'appui fixe.

Ces plaques métalliques sont constituées, en général, des matériaux suivants :

- plomb,
- zinc,
- acier doux jusqu'à la nuance E 26⁽³⁾,
- acier moulé.

Ces appareils existent soit sous forme d'appui ponctuel ou d'appui en bande.

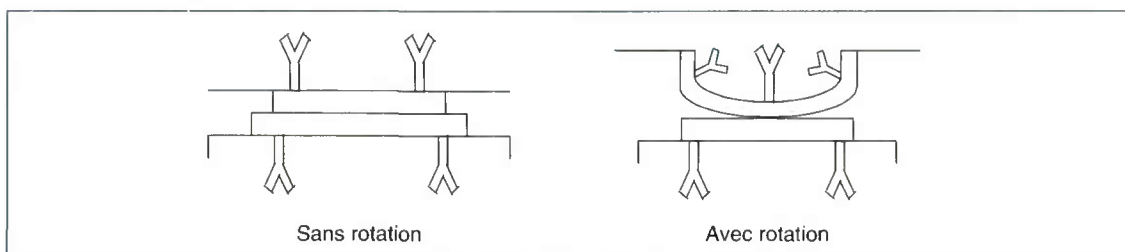


Fig. 2.20 - Appareil d'appui à plaques métalliques.

⁽³⁾Cette dénomination correspond à un acier compris entre les nuances S 235 et S 275.

2.4.3.2 - À balanciers à contact linéaire (fig. 2.21)

Ils sont composés d'une surface cylindre roulant sur une surface plane.

Ils permettent la rotation dans une direction et assurent la fonction d'appui fixe. Le guidage est assuré par des goujons ou des dents.

Ces appareils sont encore fabriqués en France; ils sont actuellement usinés dans des tôles épaisses de nuance S 355.

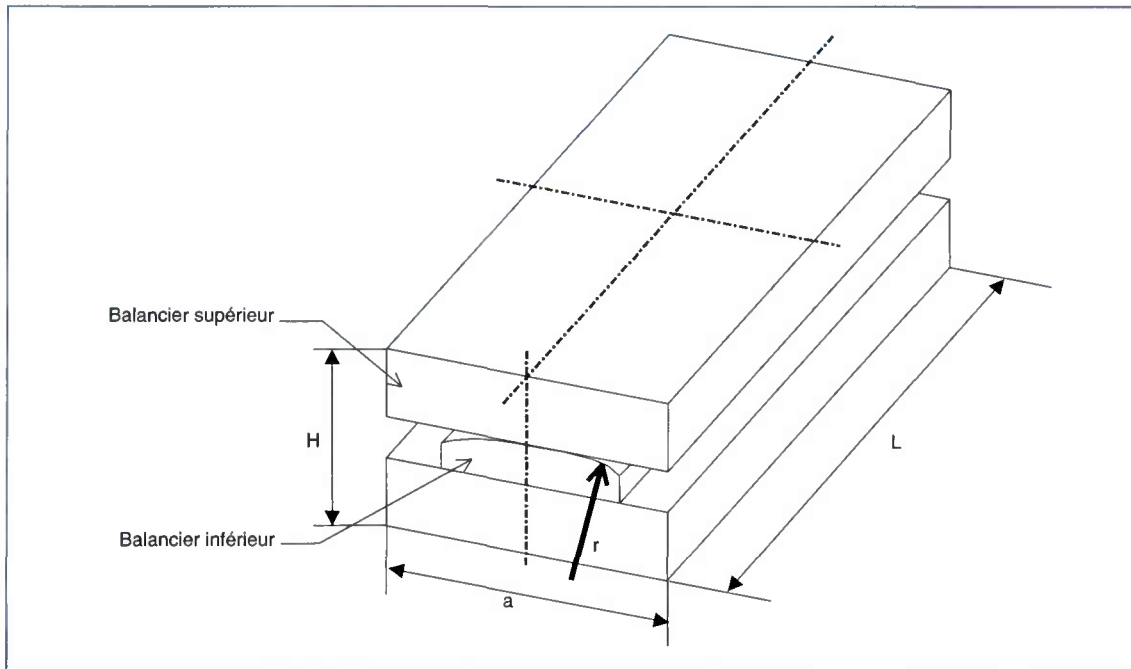


Fig. 2.21 - Appareil d'appui à balanciers à contact linéaire.

2.4.3.3 - À balanciers à rotule axiale (fig. 2.22)

Utilisés seuls, ils jouent le rôle d'appareil d'appui fixe. En général, ils comportent un guidage qui empêche un cheminement de l'axe. On les rencontre conjugués avec un plan de glissement constitué de rouleaux multiples, pour assurer en plus la fonction de déplacement longitudinal (cf. paragraphe 2.4.3.4.D).

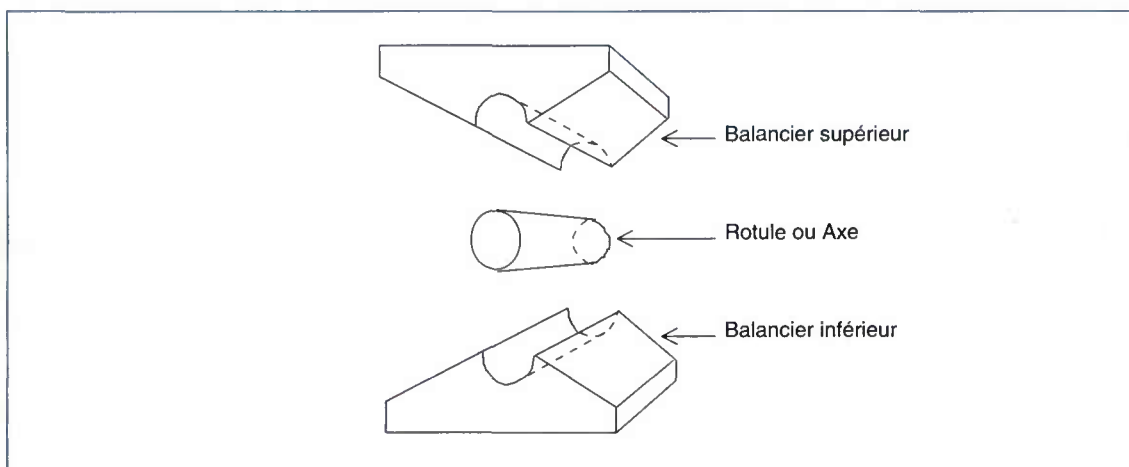
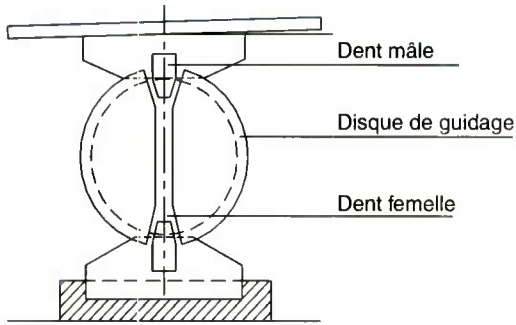
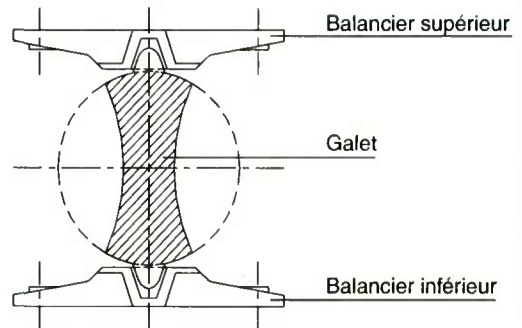


Fig. 2.22 - Appareil d'appui à balanciers à rotule axiale.

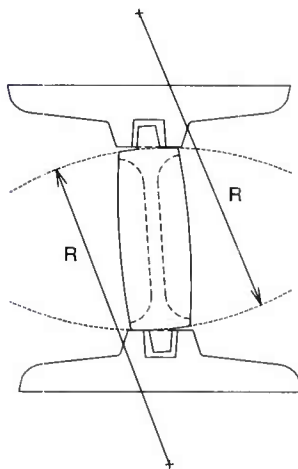
Fig. 2.23 - Appareils d'appui à rouleaux.



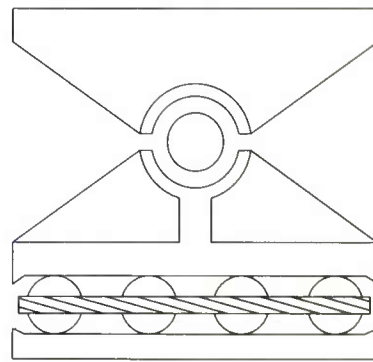
a - Appareil d'appui à rouleau simple.



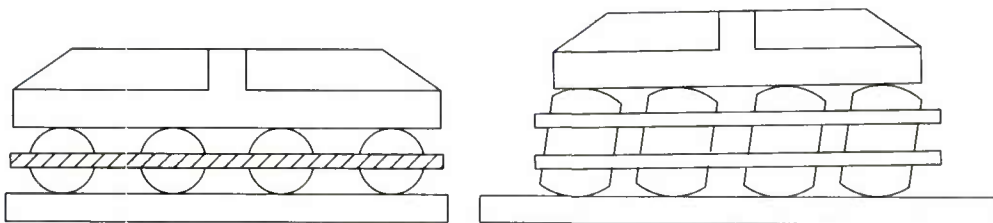
b - Appareil d'appui à rouleau simple tronqué.



c - Appareil d'appui à rouleau à côtés aplatis



d - Rouleaux multiples surmontés de balancier à rotule axiale.



d - Rouleaux multiples reliés par des bielles.

2.4.3.4 - à rouleaux (fig. 2.23)

Ils existent en nombreuses versions. Ils assurent à la fois le déplacement longitudinal et la rotation d'axe transversal dû à la flexion du tablier.

a) rouleau simple, exemple avec système de guidage.

b) rouleau simple tronqué (ou galet)

Il est parfois appelé, à tort, pendule ou balancier.

Le rouleau peut être aussi appelé galet. Ils sont encore utilisés comme appareils d'appui mobile d'ouvrages d'art dont les appareils de l'appui fixe sont constitués de balanciers à contact linéaire ou cylindrique.

c) rouleau à côtés aplatis (ou pendule)

Son intérêt est de diminuer la pression sur la ligne de contact avec la même hauteur. Si la rotation est importante, le tablier subit un léger soulèvement.

Nota

En absence de plan, il est parfois bien difficile de les différencier des rouleaux tronqués.

d) appareils d'appui à rouleaux multiples

Ils sont surmontés d'une rotule ou d'un autre dispositif permettant la rotation. Les inégalités de répartition sur les rouleaux conduisent actuellement à limiter les effets des charges de calculs aux deux tiers de la charge nominale.

Sur certains rouleaux multiples, les rouleaux sont reliés par une bielle centrée ou deux bielles excentrées dans le cas de cylindres tronqués.

2.4.4 - Autres types d'appareils d'appui

Il existe d'autres configurations dont les plus représentatives sont données en annexe 3 telles que les sections rétrécies de béton, les bielles, etc.

Page laissée blanche intentionnellement

Chapitre 3

Notions sur les causes et la nature des désordres

3.1 - Généralités

3.1.1 - Préambule

Le présent chapitre ne traite que des appareils d'appui des types les plus couramment utilisés sur les ponts :

- les appareils d'appui en caoutchouc fretté,
- les appareils d'appui à pot de caoutchouc,
- et les principaux types d'appareils d'appui métalliques.

Les appareils d'appui en béton ne sont pas traités dans ce chapitre compte tenu de leurs particularités et du faible nombre d'ouvrages concernés. On se rapportera à l'annexe 3 qui donne leurs principales pathologies et au fascicule 31 pour les désordres liés à la nature du matériau (béton armé). Par ailleurs, comme beaucoup de ces appareils d'appui en béton ont un fonctionnement similaire à celui des appareils d'appui métalliques, on peut utilement se reporter au paragraphe 3.6 pour la cause et la nature des désordres liés à leur fonctionnement.

3.1.2 - Principes généraux

Un appareil d'appui est une partie de l'ouvrage qui joue un grand rôle dans le fonctionnement de la structure. Mais cette partie d'ouvrage présente la particularité d'être un ensemble mécanique qui a été fabriqué dans une usine suivant des tolérances qui sont celles inhérentes à la mécanique de précision, selon des spécifications propres au produit ou définies dans des normes pour les plus récents. Les appareils d'appui ne sont pas fabriqués en fonction de l'ouvrage mais indépendamment de celui-ci. De ce fait, il y aura une interface à régler entre ce produit manufacturé et la structure réalisée sur site.

Un appareil d'appui doit permettre des mouvements dans différentes directions et ce, dans un environnement sévère et agressif. Pour répondre à cette exigence il existe plusieurs types de conceptions (*cf.* chapitre 2). Les causes et la nature des désordres vont être aussi variables en fonction de ces conceptions et des constitutions.

Il est donc difficile de définir des causes et des natures de désordres pour les appareils d'appui d'une façon générale ; on ne peut le faire qu'au niveau des différents types d'appareils d'appui.

Cependant, quel que soit l'appareil d'appui, les désordres ont pour origine l'une des causes suivantes :

3.1.2.1 - Appareils d'appui

- défaut de conception et/ou de dimensionnement,
- défaut de comportement et/ou durabilité insuffisante du (des) matériau(x) constitutif(s),
- désordres consécutifs à des défauts de pose.

3.1.2.2 - Structure

Des anomalies de fonctionnement de la structure (mouvement de culée, dilatation anormale de l'ouvrage, choc accidentel sur une pile, etc.) peuvent entraîner des désordres sur les appareils d'appui. C'est par un examen attentif de l'état de l'appareil d'appui et de son fonctionnement que l'on peut souvent mettre en évidence ces désordres de fonctionnement, parfois importants, de la structure pouvant être à l'origine de graves problèmes.

3.2 - Conditions générales de l'environnement

Les causes et la nature des désordres sur les appareils d'appui ont très fréquemment une explication au niveau de l'état de l'environnement immédiat autour de l'appareil d'appui. Celui-ci intervient en effet pour les deux raisons ci-après :

- le comportement ou l'état des parties de la structure à proximité immédiate de l'appareil d'appui peut expliquer le comportement et le fonctionnement de l'appareil d'appui,
- l'état de cet environnement peut, à court ou moyen terme, initier certains désordres sur les appareils d'appui.

C'est pourquoi, dans ce chapitre, l'étude des causes et de la nature des désordres a été élargie à l'environnement immédiat de l'appareil d'appui.

3.2.1 - Visibilité de l'appareil d'appui

Pour pouvoir visiter et/ou inspecter les appareils d'appui, il faut pouvoir les voir, or le visiteur est souvent devant des appareils d'appui impossibles à voir, ou inaccessibles, ou difficilement visibles (fig. 3.01).

Cette situation est très souvent le cas des appareils d'appui en caoutchouc fretté mis en œuvre sur des ouvrages conçus avant la publication des règles d'installation incluses dans le document « Environnement des appareils d'appui en caoutchouc fretté »⁽⁴⁾.



Fig. 3.01 -
Absence de bossage.

(4) Cf. Bibliographie.

En principe, la visibilité des appareils d'appui aura été rendue possible d'une part par une conception appropriée de la tête de pile et, d'autre part, par le dégagement autour de l'appareil d'appui à l'achèvement de l'ouvrage. Pour cet état des lieux à la réception : voir le chapitre 4 ci-après.

Cependant, il existe tout un parc d'ouvrages pour lequel ces règles de base ne sont pas respectées, c'est pourquoi il arrive encore que les appareils d'appui soient masqués par des éléments ayant servi à leur mise en place ou par des méthodes de pose inadaptées :

- coffrages en contre-plaqué ou en polystyrène expansé (fig. 3.02),
- sable parfois imprégné de coulis de ciment,
- béton,
- etc.

Il importe, avant tout, de dégager les appareils d'appui de ces éléments qui empêchent toutes observations sérieuses et, si cela n'a pas été fait lors de la réception, l'état des lieux sera mis en conformité une fois pour toutes.

Il existe aussi des habillages ou des parements qui masquent ou empêchent toute accessibilité.

Enfin, certains appareils d'appui comportent des jupes de protection, voire, dans certains cas particuliers, des protections contre le feu, dont le démontage n'a pas été prévu et qui rendent impossible la visite de l'appareil d'appui (cf. chapitre 4).

Des accès sont nécessaires et devront, là aussi, être aménagés pour faciliter le passage (cf. fig. 3.03 et chapitre 4).



Fig. 3.02 -
Coffrage
en polystyrène expansé.



Fig. 3.03 -
Accès aménagé
pour effectuer la visite
des appareils d'appui.

3.2.2 - État de l'environnement immédiat

Cette vérification de l'état de l'environnement immédiat de l'appareil d'appui est à faire systématiquement lors de la réception du pont (cf. chapitre 4).

Si des anomalies sont constatées sur un ouvrage déjà ancien et dont la réception a été prononcée depuis longtemps, il faut vérifier si l'appareil d'appui rend les services qu'on attend et faire une analyse technico-économique mettant en avant le coût de la remise en état par rapport à l'avantage d'un fonctionnement correct et durable de l'appareil d'appui.

Lors des visites ou inspections, les points suivants doivent être notés (en sus des défauts cités au chapitre 4 et détectés lors de l'inspection détaillée initiale) ; le point le plus important porte sur les bossages dont l'état peut avoir une influence sur le bon fonctionnement des appareils d'appui :

- éclat de béton des piles au ras des bossages (fig. 3.04). Ce désordre est consécutif à des défauts de répartition de charge, de frottement insuffisant, etc.,
- détérioration des bossages : fracture, fissuration, épaufrure, etc. Ce désordre est consécutif à des défauts de répartition de charge, de frottement insuffisant, etc.,
- oxydation des tôles de calages (fig. 3.05),
- contamination par des eaux, boues, gravats,
- etc.



Fig. 3.04 -
Éclat du béton
de la pile au ras du bossage.



Fig. 3.05 -
Oxydation
des tôles de calage.

Sauf exception (fig. 3.06), ces désordres ne mettent pas en péril l'ouvrage dans l'immédiat, ils n'ont pas un caractère d'urgence ; cependant, faute de réparation, ils peuvent générer des défauts plus graves, aussi il paraît judicieux de programmer, à court terme, la remise en état des éléments de l'environnement de l'appareil d'appui. En ce qui concerne les contaminations par les venues d'eaux, on recherche les origines de ces venues d'eaux (ou de gravats) : joints de chaussées non étanches, évacuations d'eau défectueuses ou mal conçues (fig. 3.07), etc. pour les traiter.



Fig. 3.06 - Bossage éclaté sous un appareil d'appui à pot nécessitant un traitement d'urgence.



Fig. 3.07 - Évacuation d'eau mal conçue.

3.3 - Les appareils d'appui en caoutchouc fretté

3.3.1 - Comportement des constituants

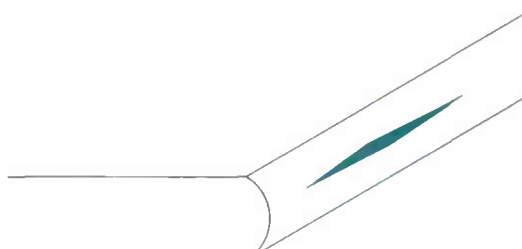
3.3.1.1 - Comportement du caoutchouc

Le principal désordre est l'apparition de fissures ou « gerçures » des bourrelets des feuilletts. L'origine possible de ces fissures est :

- un excès de compression,
- plus rarement, une mauvaise tenue de la formulation aux effets de l'ozone avec une fissuration caractéristique à 45° (fig. 3.08) ; en général, la profondeur de la fissure reste limitée à 1 à 2 cm et on peut laisser en place sous réserve d'un suivi régulier pour noter l'éventuelle évolution anormale du phénomène. Il faut signaler la présence éventuelle de lignes électriques aériennes non gainées (moyenne et haute tension) à proximité qui peuvent entraîner une présence d'ozone qui peut endommager le caoutchouc. On peut envisager de réaliser une protection de l'appareil d'appui à l'aide de mastic souple compatible avec le caoutchouc.
- si la fissure est rectiligne et parallèle au plan de frettage, elle peut provenir soit d'un éclatement de feuilletts par excès de compression (rare), soit d'un problème de fabrication résultant d'une pollution (graisse, etc.) entre deux feuilles de calendres ayant servi à la confection d'un feuillet élémentaire⁽⁵⁾ (fig. 3.09). Comme ce désordre peut affecter toute la surface de la feuille calandree, il peut être grave en entraînant une rupture dans le plan horizontal de l'appareil d'appui. Il se détecte lors du premier chargement et aurait dû donc conduire, en bonne logique, à un rejet du produit avant la réception.



*Fig. 3.08 -
Mauvaise tenue
de la formulation
du caoutchouc
aux effets de l'ozone.*



*Fig. 3.09 -
Fissure d'un feuillet
élémentaire parallèle
au plan de frettage.*

⁽⁵⁾ Pour fabriquer un feuillet d'épaisseur nominale d'un appareil d'appui en caoutchouc fretté, on empile une ou plusieurs feuilles calandrees. Bien souvent, on peut distinguer la trace du polyane de protection.

3.3.1.2 - Comportement des frettes en acier

Ne sont concernés que les appareils d'appui découpés dans une plaque mère (cf. paragraphe 2.4.1.2) ou comportant une frette extérieure (cf. paragraphe 2.4.1.2).

Les désordres portent sur la tenue à la corrosion soit des chants des frettes, soit des frettes extérieures.

À partir d'un certain degré de corrosion, ces appareils doivent être changés (fig. 3.10). Pour protéger le chant des frettes des appareils d'appui à demi-feuillet extérieur, on peut traiter les chants avec une pâte bitumineuse de protection (un mastic copolymère acrylique en émulsion).

Pour éviter une corrosion des chants des frettes, il était mis en œuvre⁽⁶⁾ une peinture de protection dont la tenue sous la formation des bourrelets et la distorsion était particulièrement mauvaise. Son écaillage ou son faïencage n'est pas grave. On peut, si nécessaire, la remplacer par une protection en mastic.

Ce désordre ne devrait plus se voir avec les appareils d'appui complètement enrobés. Cependant, il y a les frettes extérieures des appareils d'appui venant sur des taquets (dispositifs anti-cheminement) qui sont donc non enrobés et sujets à des désordres dus à la corrosion.

3.3.1.3 - Comportement du système de liaison entre les frettes en acier et les feuillets en caoutchouc

On peut relever des glissements relatifs frettes/feuillets des éléments constitutifs de l'empilage (pour les appareils d'appui à frettage non adhérisé par vulcanisation: Lasto®, Gantois®, Cargo®, etc.) ou la rupture du plan d'adhésion (fig. 3.11).

Fig. 3.10 -
Corrosion des frettes en acier.



Fig. 3.11 -
Rupture du plan d'adhésion.

⁽⁶⁾ Rappel : certains fabricants avaient un code couleur sur cette peinture (cf. paragraphe 2.4.1.2).

De tels désordres nécessitent une intervention rapide pour éviter un affaissement au droit de l'appareil d'appui provoquant une dénivellation d'appui néfaste pour la structure.

Dans certains cas d'empilement, on a réalisé des collages d'appareils d'appui unitaires en caoutchouc fretté et on peut avoir des ruptures de ces plans de collages. Il faut bien les distinguer des ruptures d'adhésion. Si le désalignement provient d'un défaut de calage lors du collage et s'il est inférieur à 5 mm, il est tolérable. Ce point doit être vérifié à chaque visite et, en cas d'évolution, il faut impérativement prévoir un changement.

3.3.2 - Fonctionnement de l'appareil d'appui

Ce type d'appareil d'appui est dimensionné pour assurer la descente de charge, la rotation de la structure et les mouvements liés principalement aux variations de longueur du tablier. Dans certains cas, ces appareils comportent des dispositifs complémentaires comme des plaques de glissement inox/PTFE (cf. chapitre 3.5), (pour augmenter les possibilités des variations de longueur de la structure) ou des dispositifs anti-cheminement (pour éviter un glissement non prévu entre l'appui et l'appareil d'appui) ou anti-soulèvement.

Les causes et la nature des désordres sont donc à examiner en relation avec les trois points liés au fonctionnement de ce type d'appareil d'appui. On a ainsi à relever les anomalies portant sur les points suivants.

3.3.2.1 - Répartition de la charge

Une répartition uniforme de la charge se voit nettement par des bourrelets parfaitement formés et semblables entre eux⁽⁷⁾ (fig. 3.12). L'expérience montre que tant que la flèche des bourrelets ne dépasse pas le tiers de l'épaisseur du feuillet, il n'y a pas de risques de dégradations ultérieures due à la compression (fig. 3.13).

Une mesure de l'épaisseur de l'appareil d'appui aux quatre angles doit être faite avec une précision de l'ordre du demi-millimètre.

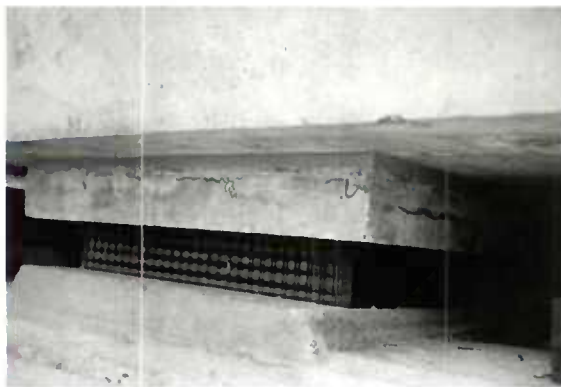


Fig. 3.12 -
Bonne répartition de la charge
au niveau de l'appareil d'appui.

Fig. 3.13 -
Flèche limite
d'un bourrelet égale
au tiers de l'épaisseur du feuillet.



t : épaisseur élémentaire du feuillet
f : flèche du bourrelet

(7) Il est normal que les feuillets de caoutchouc présentent des bourrelets plus prononcés vers le centre des faces que près des angles.

En cas d'anomalie(s), on compare l'état des bourrelets de tous les appareils d'appui sur une même ligne.

L'absence de bourrelet, ponctuellement ou sur tout l'appareil d'appui, signifie :

- une rotation excessive (bourrelet important sur la face opposée),
- ou un défaut de planéité ou de parallélisme de bossage,
- un déchargement (dans un angle aigu d'un pont biais, sur un pont courbe, par exemple), pouvant conduire à un cheminement (fig. 3.14),
- un défaut de réglage des appareils d'appui à la construction,
- une redistribution des réactions d'appui sous l'effet des déformations différées de l'ouvrage (fluage, etc.).

On peut aussi avoir l'extrusion du caoutchouc avec des écrasements ne permettant plus de voir les frettes (fig. 3.15). Il s'agit :

- d'un problème d'appareils d'appui avec frettes non adhérisées [la présence d'humidité sur le plan de frettage annihile l'effet du frettage et chaque feuillet prend la forme d'une galette ronde (fig. 3.16)],
- d'une surface insuffisante provenant d'une erreur de calcul,
- d'une modification de la descente de charge.



*Fig. 3.14 -
Chémissement
de l'appareil d'appui.*



*Fig. 3.15 -
Écrasement d'un appareil d'appui.*



*Fig. 3.16 -
Frettes de l'appareil
d'appui non adhérisées.*

Les défauts de contact entre l'appareil d'appui et la zone d'appui sont souvent la conséquence visible d'une insuffisance de la capacité en rotation de l'appareil d'appui. Si le défaut d'appui paraît avoir cette cause pour origine et si cela concerne moins de 10 % de la surface de l'appareil d'appui sur un ouvrage en service, il ne paraît pas utile de reprendre l'appareil d'appui, mais de suivre l'évolution de ce défaut lors des visites ultérieures (surtout aux températures extrêmes).

3.3.2.2 - Distorsion

La distorsion d'un appareil d'appui en caoutchouc fretté est la déformation de l'ensemble de l'appareil d'appui due au cisaillement. C'est un élément primordial pour bien appréhender le fonctionnement de la structure. La distorsion d'un appareil d'appui en caoutchouc fretté est donnée par la valeur de la tangente γ telle que définie sur la figure 3.17.

Un appareil d'appui en caoutchouc fretté est dimensionné pour une valeur maximale de $\text{tg } \gamma = 0,7$ appelée « capacité de distorsion » et cette valeur maximale correspond aux déplacements relatifs extrêmes entre l'appui et la structure. Dans la plupart des cas le rapport u/T correspond à une bonne approximation.

Or, la température est le paramètre le plus important qui conditionne la longueur du tablier, c'est pourquoi, la mesure de distorsion *in situ* n'a de sens que si elle est faite en fonction de la température du pont.

Cette mesure est délicate et nécessite l'utilisation soit de pâte à modeler pour réaliser un moulage de l'appareil d'appui afin d'effectuer la mesure plus facilement, soit l'utilisation d'un petit instrument similaire à celui décrit sur la figure 3.18. On peut ne faire la mesure que sur l'appareil d'appui présentant la valeur la plus importante sur une ligne d'appui.

Une fois la valeur de $\text{tg } \gamma$ déterminée sur l'ouvrage au jour et à la température (ambiante) de la mesure, on doit calculer la valeur correspondant à la position extrême de l'ouvrage, dans un sens ou dans l'autre.

- γ : angle de distorsion
- u : déformation de l'appareil d'appui
- T : épaisseur totale de l'appareil d'appui
- t_s : épaisseur des frettes
- n : nombre de frettes

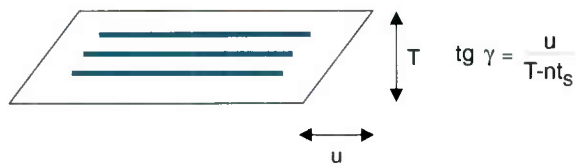


Fig. 3.17 - Définition de la distorsion d'un appareil d'appui en caoutchouc fretté.

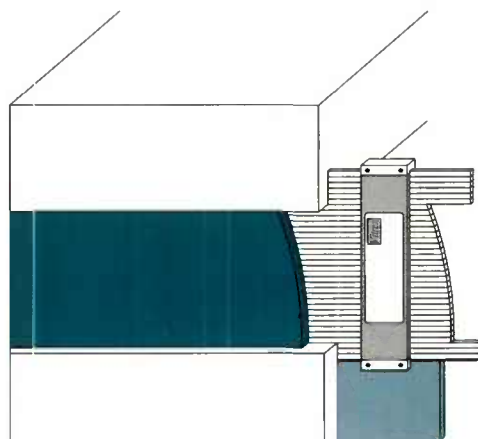


Fig. 3.18 - Appareil de mesure de la distorsion et principe de la mesure.

Nota
Lors du relevé, préciser la direction de la distorsion.

Il est important de noter que la valeur de la distorsion à 10 ou 20 °C n'est pas une information exploitable pour comprendre le fonctionnement de la structure. À partir de la valeur de $\text{tg } \gamma$ mesurée au moment de la visite, on doit en déduire la valeur de $\text{tg } \gamma$ pour des positions extrêmes du tablier aux températures max-mini, en tenant compte des éventuelles déformations différées à venir et de l'effet du freinage, et comparer cette valeur avec celle définie dans la note de calculs.

Dans ces conditions, on doit trouver une valeur de tangente γ inférieure à 0,7.

Cette vérification n'est à faire que lors de la première inspection détaillée (en principe au bout de six ans), c'est-à-dire une fois l'essentiel des déformations différées stabilisées. Au cours des visites suivantes, on se limite, sauf anomalies, à une comparaison, à température équivalente, de la valeur de la distorsion dans les conditions de la visite.

Au-delà de cette valeur de 0,7 on est dans le domaine de fonctionnement anormal de l'appareil d'appui et on s'efforce de déterminer la cause de cette distorsion anormale pour définir les mesures techniques et administratives appropriées. Cela étant, on doit considérer que ces produits peuvent admettre des distorsions allant jusqu'à 1,5 et ce n'est qu'à ce niveau qu'on doit envisager le remplacement de l'appareil d'appui à court terme.

Il faut cependant vérifier si l'effort tangentiel engendré par cette déformation est compatible avec le fonctionnement de l'appui (cas de piles minces, par exemple).

Au-delà de 1,5, il y a le risque d'une déformation dite en S, d'un cheminement ou d'un échappement des appareils d'appui (fig. 3.19).

Les causes de distorsion anormale peuvent être :

- une erreur de calcul ou de positionnement d'un point fixe (la déformation de l'ensemble des appareils d'appui de l'ouvrage doit être reportée sur un plan pour analyser le comportement global de la structure et ne pas rester sur une seule ligne d'appui),
- une sous-évaluation des déformations différées,
- un mouvement de la structure,
- un défaut de réglage en cours de chantier,
- un mouvement d'appui (poussée de remblai, par exemple⁽⁸⁾ ; fig. 3.20, etc.),
- un grippage d'une plaque glissante (voir ci-après),
- etc.

Fig. 3.19 -
Déformation en S
de l'appareil d'appui.

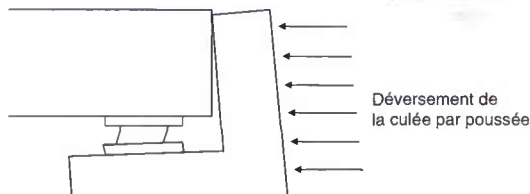


Fig. 3.20 -
Distorsion d'un appareil d'appui
due au déversement de la culée.

⁽⁸⁾ Dans ce cas, la réparation consiste à recaler les appareils d'appui et à reprendre le mur garde-grève en butée, mais ne doit s'envisager que lorsque le mouvement de l'appui est pratiquement stabilisé.

Il faut vérifier que les appareils d'appui peuvent se déformer sans gêne (cf. chapitre 4) et que, pour les appareils d'appui à dispositifs anti-cheminement, les taquets jouent leur rôle et ne sont pas dessoudés ou désolidarisés de leur plaque d'appui.

3.4 - Les appareils d'appui à pot

D'une manière générale, l'interprétation des désordres n'est pas évidente et il peut être nécessaire de faire appel à des spécialistes.

3.4.1 - Comportement des matériaux

Le principal désordre à observer sur la tenue des matériaux de ces appareils est l'état de la protection contre la corrosion du métal. La mesure se fait à l'aide d'appareil adapté (Elcomètre[®] ou similaire). En fonction de l'état de la protection, on peut prévoir, à terme, une réfection de la peinture de protection.

Il a été parfois observé, mais très rarement, une fissuration des parties métalliques ou une rupture des cordons de soudure : il s'agit de désordres très graves.

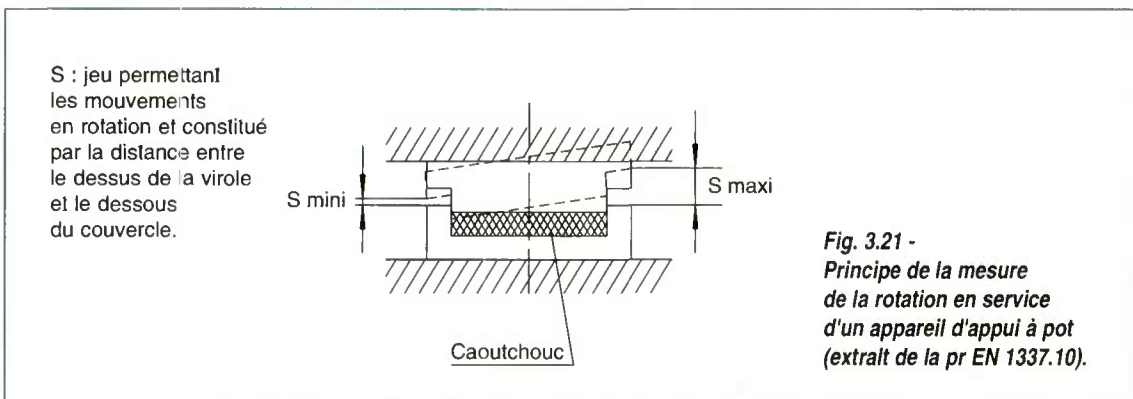
3.4.2 - Fonctionnement de l'appareil d'appui

Lors de chaque inspection détaillée, il est préconisé de vérifier la rotation en service de l'appareil d'appui. Cette vérification d'exécution délicate consiste à mesurer l'intervalle entre le dessus du pot et le dessous du couvercle sous au moins deux points diamétralement opposés situés suivant l'axe longitudinal de l'ouvrage (fig. 3.21)⁽⁹⁾.

Cela donne une estimation de la valeur de la rotation et permet de savoir si l'on reste dans le domaine normal d'utilisation (par rapport à la valeur fixée dans la note de calculs) au-delà duquel, il risque de se produire une extrusion du caoutchouc du pot comme sur les figures 3.22 et 3.23. Une telle situation nécessite la remise en état des appareils d'appui.

Les causes possibles sont :

- la conception du produit (défaut du joint anti-extrusion entre le piston et la virole),
- la pose,
- le choix d'un produit inadapté aux conditions de rotation régnant sur l'ouvrage,
- le fonctionnement de l'ouvrage,
- des mouvements anormaux de la structure,
- l'absence de cale biaise,
- etc.



⁽⁹⁾ Attention à ne pas abîmer l'appareil d'appui ou le joint d'étanchéité entre le piston et la virole.

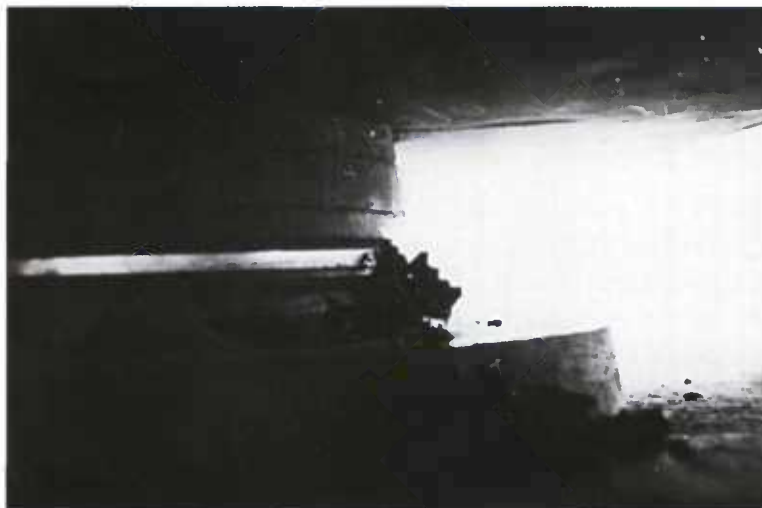


Fig. 3.22 et .3.23 - Extrusion du caoutchouc du pot.



3.5 - Les parties glissantes

Rappel : ces parties glissantes peuvent être associées à tout type d'appareil d'appui (caoutchouc fretté, à pot, etc.). Compte tenu de la spécificité des matériaux et de leur fonctionnement, elles font l'objet d'un chapitre particulier.

3.5.1 - Comportement des matériaux

Les parties glissantes sont constituées par des plaques métalliques polies (en général, en acier inoxydable) glissant sur des plaques en PTFE.

Pour les parties métalliques, le principal point à vérifier est l'état de corrosion de ces constituants.

En principe, la partie sensible est la zone de glissement composée :

- d'une plaque en acier inoxydable ; sa corrosion peut être grave de conséquence au niveau de la valeur réelle du coefficient de glissement. (fig. 3.24).
- de la partie en PTFE ; ce matériau s'use et cela affecte la valeur du coefficient de frottement.

Pour évaluer l'état de cette partie en PTFE dans un appareil d'appui à pot, on vérifiera que la plaque glissante ne vient pas au contact de l'acier du pot.

Le changement de la plaque en acier inoxydable s'impose d'urgence si l'appareil d'appui doit encore permettre des glissements. En effet, il arrive que, pour les appareils d'appui en caoutchouc fretté avec plaque de glissement, l'on ait prévu la partie glissante uniquement pour reprendre les déformations différées et que l'appareil d'appui en caoutchouc suffise en service. Cette décision ne peut être prise qu'après avoir pris contact avec la CDOA et consulté la note de calculs.

On peut aussi relever des décollements de la partie en acier inoxydable ou en PTFE (fig. 3.25). Une intervention d'urgence s'impose.

Cette situation avec des désordres tels que corrosion, décollements, etc. peut être grave de conséquence et peut nécessiter le changement des appareils d'appui.



Fig. 3.24 -
Corrosion
de la plaque de glissement.

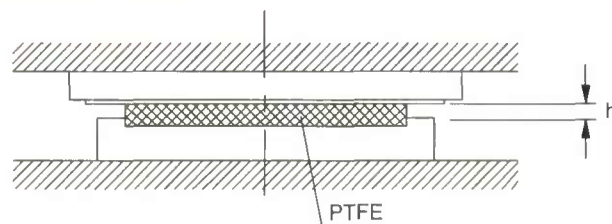


Fig. 3.25 -
Vérification de l'absence
de contact entre la
plaque de glissement
et l'acier du pot.

h : hauteur du PTFE dépassant de son encastrement.



Fig. 3.25a et 3.25b - Décollement de la partie en acier inoxydable.

3.5.2 - La fonction de glissement

On vérifie le bon fonctionnement de la partie glissante visuellement ou au toucher : la zone de déplacement est, en général, nettement perceptible par des traces.

Le mieux est de relever le déplacement sur des réglettes de mesure qui sont maintenant quasi systématiquement installées sur les appareils d'appui à pot⁽¹⁰⁾ (fig. 3.26). Comme pour la mesure de la distorsion (cf. paragraphe 3.3.2.2), la valeur du déplacement horizontal n'a de sens que si on le relie à la température de l'ouvrage (ou, à défaut, ambiante) et si l'on calcule la position relative appui/structure en position extrême de déplacement (basse ou haute température, notamment).

Les défauts de déplacements peuvent provenir, outre les causes énoncées au paragraphe 3.3.2.2 :

- d'un défaut d'implantation,
- d'une mauvaise prise en compte des efforts horizontaux,
- du non-découpage de vis de réglage et de transport,
- de marge de fonctionnement dépassée avec blocage de l'about de la plaque de glissement sur la couche de PTFE,
- d'un défaut de planéité des plaques d'acier inoxydable (fig. 3.27) ou rayure,

*Fig. 3.26 -
Réglette de mesure
du déplacement.*



*Fig. 3.27 -
Défaut de planéité
de la plaque en acier inoxydable.*

(10) S'il n'y en a pas, on peut très facilement en installer pour faciliter les visites ultérieures.

- de la présence de saletés à l'interface plaque acier inoxydable/PTFE (fig. 3.28),
- de la mise en peinture de la plaque d'acier lors de la peinture de l'ossature métallique (fig. 3.29),
- de la disparition de la graisse⁽¹¹⁾,
- de défauts de pose d'un appareil d'appui glissant avec la partie PTFE au contact de la face supérieure du bossage inférieur,
- du cheminement ou extrusion du PTFE (cf. paragraphe 3.5.1, fig. 3.25),
- de corrosion de la plaque d'acier inoxydable (cf. paragraphe 3.5.1, fig. 3.24),
- du sous-dimensionnement de la plaque glissante ou du défaut de centrage ou de pré réglage,
- de la désolidarisation d'éléments de clavette,
- etc.

D'une façon générale, les désordres affectant les plans de glissement doivent faire l'objet d'une analyse détaillée et d'une appréciation urgente du risque pour la structure (fig. 3.30). Les coefficients de frottements n'étant plus ceux prévus par les calculs, il convient d'en évaluer les effets sur l'ouvrage.

Les réparations sont en général nécessaires et urgentes (cf. chapitre 4).



*Fig. 3.28 -
Présence de saletés
à l'interface de la plaque.*



*Fig. 3.29 -
Mise en peinture
de la plaque en acier.*



*Fig. 3.30 -
Le plan de glissement
s'échappe du sommier.*

⁽¹¹⁾ Sauf si des dispositifs adéquats ont été prévus, le graissage des appareils d'appui ne peut se faire qu'en procédant au soulèvement de l'ouvrage. Quelle que soit la solution, le graissage doit se faire exclusivement avec les graisses préconisées par le fabricant de l'appareil d'appui pour un frottement minimum garanti.

3.6 - Les appareils d'appui métalliques

3.6.1 - Comportement des matériaux

Les désordres portent principalement sur la tenue à la corrosion des parties métalliques. Un autre désordre parfois observé est l'apparition d'un feuilletage du métal, surtout sur les rouleaux.

3.6.2 - Fonctionnement

Le cas des appareils d'appui à bielle, comportant des axes ou constituant des ancrages, est traité dans l'annexe 3.

Les appareils d'appui métalliques comportent des balanciers, des pendules, des rouleaux ou des galets (qui sont, en fait, des rouleaux tronqués) complétés fréquemment par des dents d'engrènement. Indépendamment des désordres ayant pour origine l'environnement immédiat (planéité des bossages, calage, etc.) et qui sont à examiner comme pour les autres appareils d'appui, trois natures de désordres découlent de cette conception (fig. 3.31).

3.6.2.1 - Dépassement des limites de fonctionnement des rouleaux ou d'inclinaison des balanciers ou des galets

Cela est un désordre qui peut être grave de conséquence. Des mesures de sauvegarde appropriées doivent être prises (pose de calage de sécurité sous la structure en laissant un espace entre le calage et l'intrados, par exemple). Bien entendu, cette valeur de l'inclinaison doit, comme pour les appareils d'appui en caoutchouc (distorsion, cf. paragraphe 3.3.2.b) ou avec plaque de glissement (déplacement horizontal, cf. paragraphe 3.5.2), être mesurée en fonction de la température ambiante le jour de la mesure et calculée pour une position extrême du pont (basse et haute température).

Les causes de ces défauts d'inclinaison sont d'origines diverses et identiques à celles déjà notées pour les autres types d'appareils d'appui :

- une erreur de calcul ou de positionnement d'un point fixe (la position de l'ensemble des appareils d'appui de l'ouvrage doit être reportée sur un plan pour analyser le comportement global de la structure et ne pas rester sur une seule ligne d'appui) ;
- une sous-évaluation du retrait fluage ;
- un mouvement de la structure ;
- un mouvement d'appui (poussée de remblai, par exemple, etc.) ;
- etc.

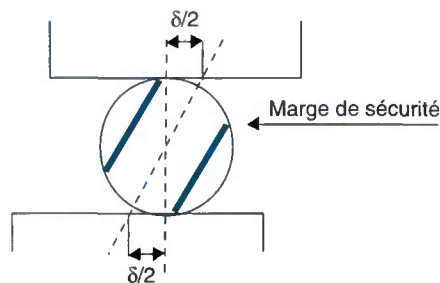


Fig. 3.31 -
Du fait du principe de fonctionnement d'un rouleau ou d'un galet, le déplacement relatif du rouleau par rapport à l'un des bossages est la demi-valeur du déplacement total δ .

3.6.2.2 - Rupture de dents et de dispositif anti-cheminement

Le rôle des dents (boulonnées ou soudées) est d'assurer un roulement sans glissement. Elles ne sont donc pas fondamentalement nécessaires, mais leur rupture est révélatrice d'un problème, soit de dessin (elles sont souvent mal conçues), soit d'un problème de fonctionnement.

Avant de prendre une quelconque décision, il faut bien confirmer l'une des deux options précédentes.

Pour les appareils d'appui fixes, ces dents assurent une reprise d'effort et, dans ce cas, leur rupture est grave.

3.6.2.3 - Défaut d'entretien (fig. 3.32)

On peut aussi rencontrer des désordres de fonctionnement provenant :

- de grippage, par défaut de graissage, corrosion, mise en peinture des parties non prévues peintes dans la conception, etc.,
- par aplatissement des rouleaux et/ou engravement des platines (usure, concentration d'effort, etc.),
- de blocage par accumulation de saletés.

Ces défauts, même s'ils n'entraînent pas de désordres sur l'appareil d'appui, peuvent être à l'origine de graves désordres dans la structure.



Fig. 3.32 - Désordres d'un appareil d'appui au niveau des rouleaux.

Chapitre 4

Surveillance

4.1 - Généralités

La surveillance des appareils d'appui est indissociable de celle des autres parties d'un ouvrage car ils jouent un rôle fondamental dans son fonctionnement.

Les actions de surveillance (contrôle annuel, visite IQOA et visite spécifique) ont pour objet de s'assurer du bon fonctionnement de cet organe et de vérifier l'absence de désordres dont les conséquences pourraient être plus ou moins graves tant sur la structure porteuse (tablier) que sur les éléments porteurs (piles, culées, etc.). Ces actions peuvent aussi permettre de conclure à un fonctionnement anormal de la structure qui peut se détecter par l'apparition de certains désordres au niveau des appareils d'appui.

4.2 - Les actions de surveillance organisée

4.2.1 - Contrôle annuel

Seuls les appareils d'appui accessibles sans moyens spéciaux sont alors examinés directement dans la limite de leur visibilité.

4.2.2 - Visite IQOA et visite spécifique

Les appareils d'appui sont des parties de structures indispensables à visiter. S'ils ne sont pas accessibles lors des visites IQOA, il y a lieu d'inscrire l'ouvrage comportant ces appareils d'appui sur la liste de ceux soumis à des visites spécifiques périodiques.

Pour la préparation de la visite les documents suivants doivent être consultés : dossier d'ouvrage, rapports de visites antérieures, plans d'exécution (de récolement si possible).

Le principe de fonctionnement des appareils à visiter doit être connu.

Les moyens à mettre en œuvre, outre ceux cités par l'IQOA, peuvent être complétés par une lampe, un réglelet, un thermomètre, un appareil photo (avec flash), un niveau, un jeu de cales d'épaisseur, etc.

4.2.3 - Inspection détaillée

L'inspection détaillée doit être préparée de telle sorte que tous les appareils d'appui soient aisément accessibles (nacelle élévatrice, passerelle négative, etc.). La présence d'agents de la subdivision avec quelques outils peut se révéler utile, lors de l'inspection détaillée initiale, pour dégager les éléments qui empêchent l'observation (coffrages, béton, gravats, etc.) cf. fig. 4.01.



Fig. 4.01 -
Environnement d'un appareil d'appui.

Avant l'inspection, il est important de consulter le dossier d'ouvrage qui comporte la description exacte des appareils d'appui de l'ouvrage ainsi que les comptes rendus des diverses actions de surveillance (réception des travaux, inspection détaillée initiale, etc.).

En plus des équipements nécessaires pour la visite IQOA, le matériel suivant peut être utile :

- un miroir avec manche (appareils d'appui difficilement visibles),
- une jauge d'épaisseur, de profondeur,
- un rapporteur,
- un appareillage pour vérifier l'épaisseur des couches protectrices (Elcomètre®, etc.),
- un appareil de mesure de distorsion (cf. paragraphe 3.4.1 b),
- une caméra vidéo.

4.3 - Constatations

4.3.1 - Contrôle annuel

Il s'agit, à partir de la dernière action de surveillance, de vérifier qu'il n'y a pas eu d'évolution manifeste ou d'événement anormal. Dans le cas contraire, il faut prévenir immédiatement le responsable du suivi de l'ouvrage.

4.3.2 - Visite IQOA

La méthodologie de visite est définie dans les documents IQOA, *Les appuis et appareils d'appui : procès-verbal de visite*.

4.3.3 - Inspection détaillée

4.3.3.1 - Inspection détaillée initiale

Elle a pour but de définir l'état de référence auquel les visites et inspections ultérieures doivent se reporter.

Elle permet de vérifier la visibilité des appareils d'appui et de relever ensuite :

- le type d'appareil d'appui,
- la marque (la présence de la marque NF éventuelle pour les appareils d'appui en caoutchouc fretté fournis depuis 1993),
- les caractéristiques dimensionnelles (épaisseur, nombre des feuillettes, frettes, dimensions des plaques de glissement, etc.),
- l'implantation et l'orientation des clavettes de guidages (on vérifiera que l'on n'a pas confondu le sens transversal et le sens longitudinal),
- la représentation symbolique du fonctionnement de la structure (cf. annexe 2) sera vérifiée et le schéma consigné dans le rapport,

- le positionnement y compris la valeur de distorsion,
- ses particularités éventuelles,
- la hauteur de « visite » (entre appuis et intrados) et les dimensions des bossages (cf. fig. 4.02 et 4.03),
- etc.

Les éventuels défauts observés sont consignés au procès-verbal.

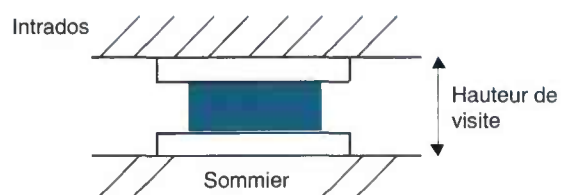
L'examen porte notamment sur les points suivants :

- la présence ou l'absence de bossages (cf. fig.3.01),
- la géométrie des bossages et la position des appareils d'appui par rapport à ceux-ci,
- l'état des bossages,
- l'absence d'encastrement anormal ou de gêne au fonctionnement de l'appareil d'appui,
- pour les appareils d'appui à dispositifs anti-cheminement, le bon fonctionnement des taquets en vérifiant qu'ils ne soient pas dessoudés ou désolidarisés de leur plaque d'appui,
- la présence de zones adaptées pour le vérinage (cf. fig. 3.03), et leur position,
- l'absence de calages divers (tôles métalliques ou autres) (cf. fig. 3.05),
- les défauts de ferrailage ou de bétonnage: fers apparents, nids de cailloux (cf. fig. 3.04),
- les constatations portant sur l'environnement, l'état et le fonctionnement des appareils d'appui (détaillées dans le paragraphe 4.3.3.2),
- les venues d'eau,
- etc.

L'ensemble des observations et remarques est inclus dans le rapport d'inspection versé au dossier d'ouvrage.

Si l'Inspection détaillée initiale est réalisée préalablement à la réception d'un ouvrage, ces conclusions peuvent être utilisées pour procéder à la réception et éviter tous problèmes.

**Fig. 4.02 -
Hauteur de visite
d'un appareil d'appui.**



**Fig. 4.03 -
Relevé de la hauteur libre.**

4.3.3.2 - Inspection détaillée périodique

◆ Dispositions générales

Celles-ci font suite à l'inspection détaillée initiale. Avant l'intervention sur le site, il est donc nécessaire de consulter le dossier d'ouvrage et les rapports d'inspection précédents.

L'inspection porte sur :

- l'environnement immédiat de l'appareil d'appui et les bossages,
- l'état de l'appareil d'appui (du point de vue matériau),
- le fonctionnement de l'appareil.

On vérifie également la conformité des renseignements relevés lors de l'inspection détaillée initiale concernant les caractéristiques des appareils d'appui, en les complétant si besoin est.

Le premier élément à étudier est la valeur de la distorsion des appareils d'appui en fonction de la température ambiante, le moindre doute doit appeler une mesure à une température nettement différente pour procéder à une analyse du phénomène (voir chapitre 3).

Pour obtenir une estimation de la température de la structure on note la température ambiante en début de journée (sur et sous l'ouvrage, à l'intérieur des caissons s'il y a lieu (cf. paragraphe 3.3.2.2).

Les défauts rencontrés sont notés. Les évolutions par rapport aux inspections précédentes permettent de donner un avis plus précis sur les mesures à prendre.

Tout désordre grave de l'appareil d'appui, de son environnement, des distorsions anormales trop importantes (cf. paragraphe 3.3.2.2) ou un blocage de fonctionnement peuvent mettre en péril la structure. Le gestionnaire de l'ouvrage doit être immédiatement alerté.

Il est important, lors de l'exploitation des observations et des mesures, de faire le lien entre les déplacements relatifs tablier-appuis et ceux des appareils d'appui.



Fig. 4.04 -
Position limite des appareils d'appui.

◆ Environnement de l'appareil d'appui

Il s'agit d'observer tout ce qui peut avoir une relation avec l'appareil d'appui :

- l'état de l'appui à proximité des bossages (relevé des fissures, épaufrures, etc.),
- le blocage du tablier contre le mur garde-grève ou contre la travée contiguë,
- la contamination éventuelle de l'environnement pouvant porter atteinte à l'intégrité des bossages et des appareils d'appui (présence d'eau, de végétation, de terre, huiles, etc.).

◆ Bossages

Le relevé concerne leur disposition (parallélisme, planéité) et leur état. Les désordres sont à noter (fissures, épaufrures, frettes apparentes ou absentes, etc.).

◆ État et fonctionnement des appareils d'appui

● Appareil d'appui en caoutchouc fretté

MATÉRIAU

Il faut faire la différence entre les désordres mineurs (gerçures des bourrelets), le vieillissement normal et les signes d'une dégradation pathologique: le début de corrosion des frettes, le faïençage de la peinture de protection, etc. nécessitent de l'entretien spécialisé ; par contre, les glissements relatifs frettes-feuillets, l'extrusion du caoutchouc, les défauts importants de parallélisme entre faces, les ruptures d'adhésion imposent une intervention à court terme.

Dans le cas d'encastrement de l'appareil d'appui à la construction il y a lieu de bien vérifier l'état des bossages.

FONCTIONNEMENT

Une mesure de distorsion est à effectuer (*cf.* paragraphe 3.3.2.2).

La distorsion en S implique une réflexion sur les causes (erreur de conception, de dimensionnement, de pose, etc.).

Si l'appareil d'appui est encasté, la hauteur de distorsion libre est diminuée avec ses conséquences sur son fonctionnement (efforts et déformations transmis sur une hauteur réduite).

Il faut également vérifier la répartition de la charge sur l'appareil d'appui, *cf.* paragraphe 3.3.2.1, fig. 4.05 (notamment les appareils d'appui centraux), la place des appareils d'appui sur les bossages (cheminement, etc.).

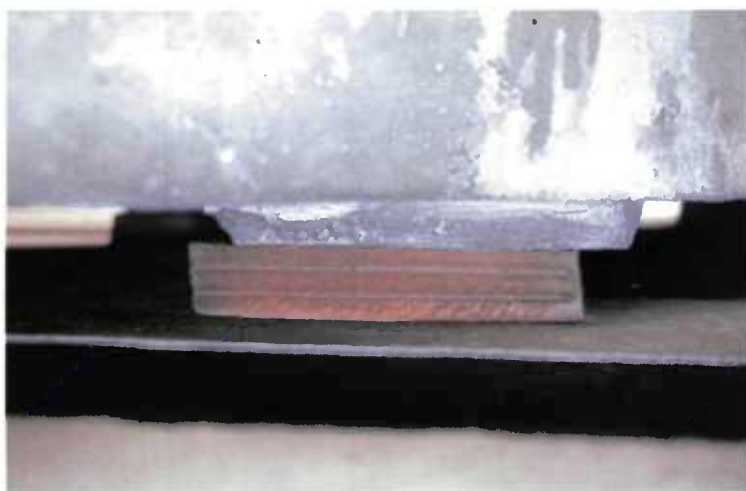


Fig. 4.05 -
Cheminement
d'un appareil d'appui.

● *Appareils d'appui à pot*

MATÉRIAU

Les vérifications portent sur l'état des soudures, des fixations, des clavettes de guidage, de la jupe de protection, etc. Il est également important de mesurer l'état de la protection des matériaux contre la corrosion.

FONCTIONNEMENT

L'inspection comporte la mesure de la rotation (*cf.* fig. 3.21): on mesure l'intervalle entre le dessus du pot et le dessous du couvercle sous deux points diamétralement opposés situés en principe suivant l'axe longitudinal de l'ouvrage.

On vérifie aussi l'absence de désordres particuliers (extrusion d'élastomère, etc.).

● *Parties glissantes*

On vérifie le bon état des parties glissantes (absence de corrosion, de blocage, de décollement de la feuille en acier inoxydable ou de la partie PTFE, etc.), la valeur des déplacements (fonctions de la température ambiante) avec les marges de fonctionnement disponibles; en cas de doute, on procédera à une nouvelle mesure à une température différente pour procéder à une analyse. Pour les appareils d'appui à pot, on vérifiera soigneusement l'absence de contact entre les parties métalliques du piston et la plaque de glissement en inox (si le jeu est inférieur à 1 mm, un suivi plus rapproché s'impose).

La présence d'un défaut sur les parties glissantes nécessite une attention toute particulière, les effets sur l'ouvrage pouvant être très préjudiciables (apparition d'efforts non prévus, importants pour la structure, etc.).

● *Appareils d'appui métalliques*

MATÉRIAU

On vérifie l'état du matériau en faisant la différence entre les désordres liés à un manque d'entretien (grippage, corrosion superficielle, etc.) et ceux risquant de mettre en péril l'intégrité de l'appareil (usure des pièces, fissures, ruptures d'éléments, corrosion importante, etc.).

FONCTIONNEMENT

Les déplacements sont mesurés et notés (*cf.* paragraphe 3.6.2).

D'autres désordres sont à rechercher :

- dépassement des limites de fonctionnement (si on constate que l'inclinaison des pendules risque de provoquer leur échappement, il convient de prendre des mesures conservatoires comme, par exemple, la pose de bastaings à côté des appareils d'appui afin d'éviter une chute importante du tablier),
- blocages qui empêchent le fonctionnement de l'ouvrage,
- etc.

● *Autres types d'appareils d'appui*

L'inspection des autres appareils d'appui est faite en fonction des désordres explicités dans l'annexe 3.

Chapitre 5

Entretien et réparation

5.1 - Entretien

5.1.1 - L'entretien courant

Les opérations d'entretien courant doivent être exécutées chaque année par une équipe de la subdivision, en particulier sur culées et dans toutes les zones où s'accumulent des déchets divers ou propices à la nidification. Cette intervention doit être programmée et elle peut être utilement combinée avec le contrôle annuel à effectuer dans le cadre de la surveillance organisée.

L'entretien courant des appareils d'appui qui s'effectue dans ce cadre peut nécessiter des moyens d'accès à la zone d'appui.

Le maintien de l'état de propreté des appareils d'appui et de leur environnement est un facteur important pour le bon fonctionnement de ceux-ci.

L'entretien courant consiste essentiellement en :

- un nettoyage et le dégagement des dépôts indésirables de la zone d'appui,
- un nettoyage du sommier des piles et culées, un débouchage des barbacanes et autres dispositifs permettant d'éviter des stagnations d'eau.

Hormis quelques cas particuliers comme le graissage de certains appareils d'appui spéciaux, il ne comprend pas d'intervention sur les appareils d'appui proprement dit; celle-ci relève de l'entretien spécialisé.

5.1.2 - L'entretien spécialisé

L'entretien spécialisé des appareils d'appui comprend les travaux d'exécution simple sur les appareils d'appui proprement dit :

- protection des faces latérales des appareils d'appui en caoutchouc fretté contre une fissuration superficielle dû au vieillissement du caoutchouc en atmosphère urbaine ou industrielle ;
- protection antirouille de surfaces métalliques piquées ou oxydées en dehors des plans de glissement ou surfaces de rotation de ces appareils.

Le choix des produits à utiliser et la définition exacte des surfaces à traiter est cependant du ressort du spécialiste ouvrage d'art et ces actions sont donc bien à rattacher à l'entretien spécialisé.

5.2 - La réparation des appareils d'appui et de leur environnement

Le recalage des appareils d'appui ou leur remplacement, la réparation des zones d'appui ou la remise en état des appareils d'appui, peuvent avoir des incidences très importantes sur le fonctionnement de l'ouvrage et sont classés dans le présent chapitre en réparations des appareils d'appui (fig. 5.01).

Ces opérations souvent coûteuses nécessitent:

- des études préalables qui permettent de définir les opérations à effectuer,
- un suivi particulier en cours d'exécution qui demande une bonne technicité.

Elles peuvent provoquer, en outre, une gêne aux usagers non négligeable.

Une attention toute particulière doit donc être portée à ces actions de remise en état du patrimoine. Pour un ouvrage ancien, il faut vérifier si l'appareil d'appui rend les services

qu'on attend et, dans l'affirmative, il est généralement raisonnable de différer l'intervention même si l'appareil d'appui présente des défauts apparents.



Fig. 5.01 -
Éclat d'une poutre au droit de l'appareil d'appui.

5.2.1 - Vérinage

Le vérinage est l'opération qui permet de soulever le tablier d'un ouvrage d'art pour :

- un recalage des appareils d'appui ou une reprise de distorsion,
- des interventions sur la zone d'appui,
- le changement à l'identique ou le remplacement des appareils d'appui.

L'opération doit être conduite par une maîtrise d'œuvre expérimentée s'appuyant sur le réseau technique si nécessaire.

Le vérinage doit faire l'objet d'une étude spécifique par un organisme spécialisé et présentant des références vérifiées avant l'établissement du DCE. Cette étude doit comprendre un certain nombre de points, notamment :

- la vérification de l'absence de liaisons entre appui et tablier (ex : section rétrécie de béton, appareils anti-soulèvement, canalisation),
- le relevé des emplacements possibles pour les vérins et les calages de sécurité,
- la définition des types de vérins utilisables,
- la détermination des efforts à reprendre tant dans la structure que dans les vérins et les capacités de la structure à les supporter compte tenu des emplacements disponibles,
- les dénivellations admissibles entre les différents appuis que ce soit sur une même ligne ou entre lignes d'appui successives (c'est la partie la plus délicate d'une étude),
- les tolérances lors de l'opération de vérinage.

À ce stade de l'étude on apprécie si le vérinage peut se faire hors circulation ou sous circulation et on doit le justifier.

Dans le cas d'un vérinage hors circulation, les efforts à reprendre correspondent aux charges permanentes de l'ouvrage. C'est la répartition transversale des charges sur les appareils d'appui d'une même ligne qui aide à déterminer les précautions à prendre, la répartition théorique sur piles et culées étant connue. Dans la pratique, cette répartition peut être différente, ce qui doit conduire à prendre des dispositions de levage largement dimensionnées.

Dans le cas d'un vérinage avec un maintien, même partiel de la circulation, la descente de charge pendant l'opération de vérinage est moins bien connue et le système de levage devra donc être adapté. À titre d'exemple sur les autoroutes en service, il n'est pas rare d'effectuer un vérinage de nuit avec restriction du nombre de voies de circulation pour limiter l'effet des charges roulantes. Il est conseillé d'interrompre la circulation des poids lourds pendant la courte durée des opérations.

Les précautions à prendre sont alors fonction :

- de la rigidité transversale de l'ouvrage tout comme dans le cas d'un vérinage hors circulation et donc des dénivellées admissibles entre deux appareils d'appui d'une même ligne qui peuvent être extrêmement faibles sur certains ouvrages,
- de la répartition longitudinale des efforts dus à une charge roulante et de la dénivellée admissible entre deux appuis consécutifs.

Préalablement à l'opération de vérinage, il faut desserrer ou déposer les joints de chaussée, libérer les lisses des dispositifs de sécurité, fermer et désolidariser du tablier les réseaux éventuels sur l'ouvrage qui ne supporteraient pas la dénivellation prévue (eau, gaz, etc.).

Les réservations nécessaires à la mise en place de matériels de levage sont maintenant systématiquement prévues au moment de la construction. Il faut cependant les retrouver dans les documents d'exécution et vérifier que l'espace disponible permet bien d'utiliser le matériel disponible. Dans certains cas, il est nécessaire de créer des zones d'appui accessibles. Il faut prévoir l'enlèvement des vérins après la fin des opérations.

Les équipements traditionnellement utilisés pour le levage sont :

- des vérins plats (fig. 5.02) ou des vérins à coins lorsque l'espace disponible pour le levage est très faible en hauteur (prévoir l'enlèvement des vérins après la fin de l'opération),
- des vérins hydrauliques (fig. 5.03) et des vérins corbeaux qui comportent un blocage de sécurité pour le maintien en position haute de vérinage,



Fig. 5.02 - Vérins plats.



Fig. 5.03 - Vérin hydraulique.

- des pompes permettant la mise en pression des vérins (hydrauliques, manuelles ou centrales hydrauliques qui permettent de réguler les efforts ou les déplacements des différents vérins),
- des équipements de contrôle de mesures de déplacements (compensateurs, capteurs de déplacements électroniques) ou des efforts (manomètres de précision, capteurs de pression).

Pour répondre aux soucis de sécurité lors des levages et pour interdire les efforts parasites, des systèmes de levage assisté par ordinateur sont utilisés. Ce sont des systèmes intégrant informatique, automate et hydraulique qui contrôlent en permanence et assurent un fonctionnement coordonné des vérins de levage (fig. 5.04 et 5.05).

C'est particulièrement intéressant lorsque l'ouvrage est sensible aux dénivellations d'appuis, ou en cas de restrictions contraignantes de circulation, car ce système permet de maîtriser, à partir d'une camionnette, l'ensemble de ce qui se passe sur l'ouvrage.

Pendant toute opération de vérinage ou de dévérinage, ainsi que pendant les travaux sur les bossages d'appui, il convient de maintenir un dispositif de sécurité (verrouillage par écrous de sécurité ou calage) qui, en cas d'incident sur un vérin ou un flexible de raccordement, évitera de dépasser les tolérances fixées.

Pendant les phases où l'ouvrage est maintenu sur calage, les variations thermiques peuvent avoir une influence importante.

Toute opération de vérinage est donc une opération délicate qui doit être étudiée et suivie avec la CDOA. Le vérinage ne peut être réalisé que par une entreprise spécialisée présentant des références vérifiées (à prévoir dans le DCE).



Fig. 5.04 -
Vérinage avec chaise sur pile.



Fig. 5.05 -
Vérins corbeaux sur chaise.

5.2.2 - Recalage des appareils d'appui

Un recalage des appareils d'appui peut être nécessaire pour :

- remettre les appareils d'appui dans la position prévue lors des études en fin de travaux,
- annuler les distorsions dues au retrait et au fluage dans les premiers mois de la vie de l'ouvrage,
- améliorer le fonctionnement de l'ouvrage en remettant les appareils d'appui dans leur position théorique au cours de la vie de l'ouvrage.

Cette opération nécessite dans tous les cas un vérinage. C'est donc une opération qui ne doit être prévue que pour des appareils d'appui en bon état.

Par exemple, en cas de doute sur un ouvrage ancien, on ne doit pas hésiter à prévoir le remplacement des appareils d'appui en caoutchouc.

Le recalage est également utilisé dans des opérations plus délicates de rééquilibrage de réactions entre appareils d'appui d'une même ligne.

5.2.3 - Remise en état des appareils d'appui

La remise en état des appareils d'appui concerne essentiellement les appareils d'appui à pot et les appareils d'appui métalliques. Ces interventions sont parfois longues mais pas toujours gênantes pour les usagers.

Pour les appareils d'appui à pot, ce traitement n'est pas courant. Il porte essentiellement sur le remplacement du joint racleur et, éventuellement, des plaques de glissement (plaques en acier inoxydable, PTFE, guide, etc.)¹².

Ces interventions nécessitent la présence sur chantier d'un représentant qualifié du fabricant de l'appareil d'appui.

Les appareils d'appui métalliques peuvent souvent être conservés après reconditionnement. Les travaux les plus courants portent sur la mise en peinture et le graissage après démontage.

Les appareils d'appui en caoutchouc fretté sont le plus souvent remplacés car le coût de fourniture à neuf de ces équipements est marginal par rapport au coût de l'opération globale nécessitant un vérinage, un calage, etc.

5.2.4 - Remplacement des appareils d'appui

Un diagnostic clair et fiable, qui peut parfois nécessiter une durée d'observation supérieure à un an, permet de définir la stratégie de changement des appareils d'appui de l'ouvrage.

Cette opération peut être de diverses natures :

- le remplacement à l'identique si les désordres sont essentiellement dus à des problèmes de vieillissement. Il n'est pas choquant dans ce cas de remplacer à l'identique des appareils d'appui en caoutchouc fretté (même type, même format) même si les calculs montrent qu'ils ne sont pas conformes aux règles actuelles,
- le changement des appareils d'appui :
 - remplacement par des appareils d'appui de même type, mais de dimensions différentes,
 - remplacement de petits appareils à pots par des appareils d'appui en caoutchouc avec plaque de glissement,
 - remplacement d'appareils d'appui métalliques à rouleaux par des appareils d'appui en caoutchouc fretté.

¹² Selon le type de joint de coussin, la reprise du bossage est en général nécessaire, car ce type d'appareil doit être en position de rotation pratiquement nulle lors de sa remise en compression (cf. Norme de pose NF T 47816.3).

Dans tous les cas, cela demande une étude de projet complète avec éventuellement l'aide du réseau technique.

Ce projet doit clairement définir les modalités de changement et aborder les problèmes de réalisation qui ne doivent pas être laissés à l'initiative de l'entreprise.

Tout remplacement d'appareil d'appui demande une reprise des bossages existants, même dans le cas de remplacement à l'identique, pour assurer un bon contact de l'appareil d'appui avec ces bossages et donc une bonne transmission des efforts. En effet, les tolérances de fabrication des appareils font que le nouvel appareil d'appui mis en place ne présente pas une géométrie absolument identique.

5.2.5 - Réfection des bossages

Ces travaux importants ne sont à envisager que si les désordres constatés évoluent et peuvent entraîner une rupture partielle du boudage ou un défaut de contact avec l'appareil d'appui. Ils doivent, dans tous les cas, faire l'objet d'une étude complète avec éventuellement l'aide du réseau technique, et nécessitent un soulèvement de l'ouvrage.

Le contrôle de ces opérations (vérinage et réfection) est impératif. De plus, des épreuves de convenance du matériau de réparation sont indispensables.

Si les bossages sont épaufrés, il convient de démolir les anciens bossages (ou ce qu'il est possible d'éliminer).

Pour les bossages inférieurs, on reconstitue un boudage de taille plus importante avec du micro-béton ou un mortier de calage, fretté ou non, selon les hauteurs. On peut utiliser aussi des bossages préfabriqués ou des plaques métalliques.

Pour les bossages supérieurs, une plaque métallique est posée sur l'appareil d'appui. On peut, soit injecter de la résine, soit mater du mortier (fig. 5.06) entre la plaque et le tablier (surtout jamais au contact d'un appareil d'appui). Une autre solution est de mettre en place du mortier sur la plaque, l'ouvrage est alors descendu sur le mortier non encore durci ; cette solution est difficile à mettre en œuvre.

Dans les cas où cela est possible, on utilise de préférence des bossages inférieurs préfabriqués. L'exécution est en général meilleure, la résistance mécanique satisfaisante et la surface d'appui plane.

Pour les bossages supérieurs, dont la taille le permet, l'utilisation de plaques métalliques avec matage de mortier ou mortier de calage permet une meilleure exécution, plus facile à contrôler.

Pour traiter des défauts de planéité et d'horizontalité, il peut être fait appel au moins à deux procédés :

- la réparation de surface par du mortier ou de la résine pour les bossages inférieurs,
- l'injection de résine ou le matage d'un mortier entre les bossages et les plaques métalliques calées sur l'appareil d'appui.

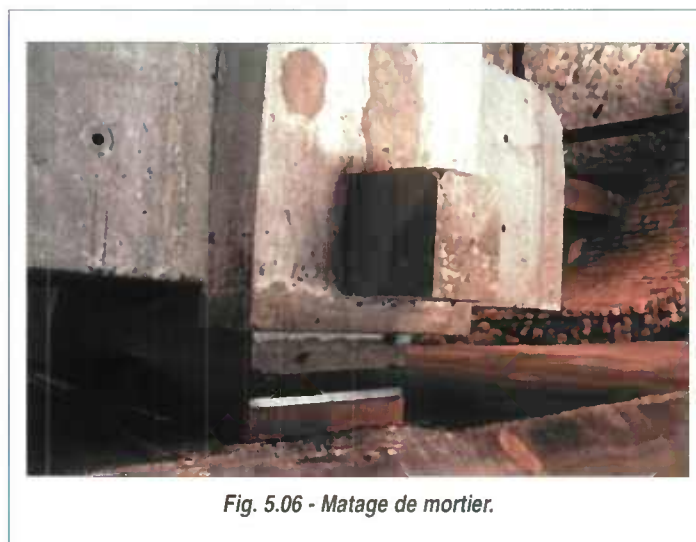


Fig. 5.06 - Matage de mortier.

Les produits de calage utilisés doivent être certifiés conformes aux normes en vigueur suivant une procédure officielle.

5.2.6 - Création de bossages d'appareils d'appui

Certains ouvrages anciens ne présentent pas de bossage ni d'emplacement prévus pour le vérinage. S'ils présentent des désordres dus au mauvais fonctionnement des appareils d'appui, il faut intervenir et créer des bossages. Dans ce cas, il faut réaliser un relevage définitif du tablier. Cela entraîne des travaux au niveau des culées et des abords (joint de chaussée, garde-grève, etc.).

Une étude complète est donc à réaliser incluant ces différents points ainsi que le dimensionnement du frettage, du bossage et leur réalisation.

Page laissée blanche intentionnellement

Annexe 1

Bibliographie

- Bulletin technique n°4 du SETRA
- Guide provisoire du SETRA sur l'utilisation des appareils d'appui à pot ; ce guide est destiné à remplacer le BT4 du SETRA
- Environnement des appareils d'appui en caoutchouc fretté. Réalisée par le LCPC et le SETRA, publication du SETRA, d'octobre 1978 (Réf. F 7810)
- Appareil d'appui en caoutchouc (AFPC juillet 1994)
- Normes et projets de normes
 - Normes XP T 47.801 à 816
 - Pr. EN 1337.1 à 11
- Fiches de recherche du LCPC
 - Recommandations pour le contrôle de la réparation ou le remplacement des dispositifs d'appui d'ouvrages d'art (FAER 2.42.60.1)
 - Méthodologie du contrôle des réparations d'ouvrages d'art - Fascicule 5 - Appareils d'appui sur ouvrages en service (FAER 2.42.62.5)

Annexe 2

Représentation graphique des appareils d'appui (pr. EN 1337.1)

Il est souhaitable d'utiliser pour la représentation des appareils d'appui sur les documents synthétiques les symboles suivants faisant l'objet, entre autres, du projet de norme européenne pr. EN 1337.1.

Symboles	En plan	Pour coupe longitudinale	Pour coupe transversale
(*) Caoutchouc fretté ou élastomère simple			
Avec guidage (rigide transversalement)			
Avec guidage et plan de glissement			
(*) Avec plan de glissement			
Avec plan de glissement guidé (élastique transversalement)			
Fixe (blocage mécanique des translations)			
(*) Appareil d'appui à pot fixe ou calotte sphérique simple			
(*) Pot unidirectionnel ou calotte sphérique avec plan de glissement guidé			
(*) Pot multidirectionnel ou calotte sphérique avec plan de glissement			
(*) Appareil d'appui à balanciers ou rotule axiale simple			
(*) Appareil d'appui à rouleau unique ou rotule axiale avec plan de déplacement guidé			
Rotule axiale sans butée et sans plan de déplacement			
Nous proposerons les symboles suivants pour les articulations béton non prévus dans la norme:			
(*) Articulation simple			
Articulation double, bielle ou pendule			

Annexe 3

Quelques autres types d'appareils d'appui

Dans cette annexe sont décrits des appareils d'appui de conception variée et souvent fabriqués à l'unité. Il n'est pas possible d'en faire une énumération exhaustive.

En cas de problème, il est conseillé de faire appel au réseau technique.

A.3.1 - Appareils d'appui en béton

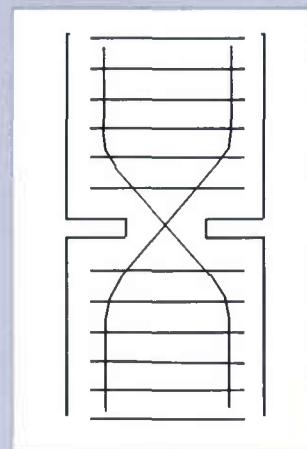
De nombreux ouvrages ou parties d'ouvrages ont simplement été posés sur une bande de mortier maté, qui ne constitue pas réellement un appareil d'appui.

A.3.1.1 - Les articulations MESNAGER (introduites en 1907)

Elles se composent de barres d'acier se croisant en X dans une section rétrécie de béton ménagée entre les pièces à articuler. Les barres sont disposées alternativement dans l'une ou l'autre direction et sont concourantes sur une même droite: l'axe de l'articulation.

La résistance est demandée exclusivement aux barres croisées, à l'exclusion du noyau de béton de la section rétrécie, qui n'a qu'un rôle de protection des armatures.

Le fonctionnement de l'articulation entraîne une fissuration du noyau et les aciers sont donc mal protégés de la corrosion. On trouve donc peu d'articulation MESNAGER sur les ouvrages en service.



Articulation MESNAGER.

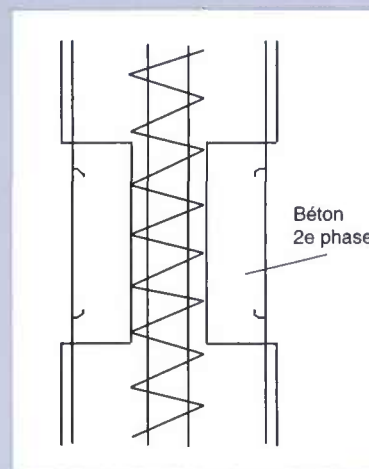
A.3.1.2 - Les articulations CONSIDERE (début du 20e siècle)

On les trouve souvent sur des poteaux.

Ce sont des articulations provisoires qui se composent d'un élément de béton fretté réduit à un noyau.

La présence d'armatures en attente permettait ensuite d'enrober l'articulation et de reconstituer la section du poteau.

De ce fait, elles sont difficilement identifiables même si elles existent encore sur certains ouvrages en service et cela peut expliquer certains désordres sur les poteaux.

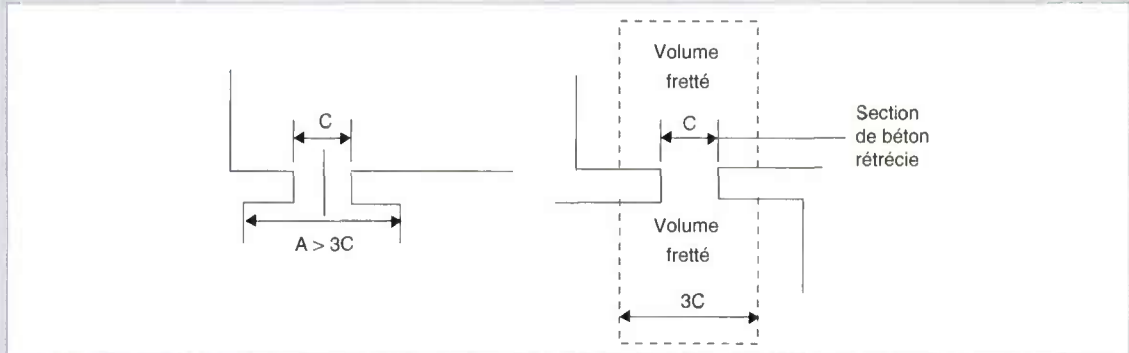


Articulation CONSIDERE.

A.3.1.3 - Les sections rétrécies de béton

(souvent appelées articulations FREYSSINET)

Elles équipent de nombreux ouvrages et selon l'intensité des efforts horizontaux, elles possèdent ou ne possèdent pas d'aciers traversants (goujons).



Articulation FREYSSINET.

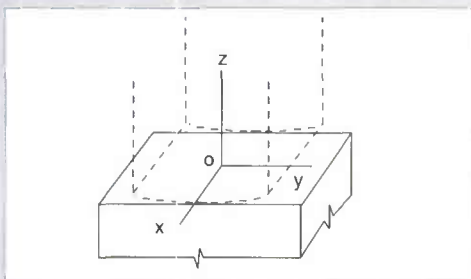
Le dimensionnement se trouve dans les règlements de calculs depuis 1964.

Il est rarement constaté de désordres sur ces appareils d'appui.

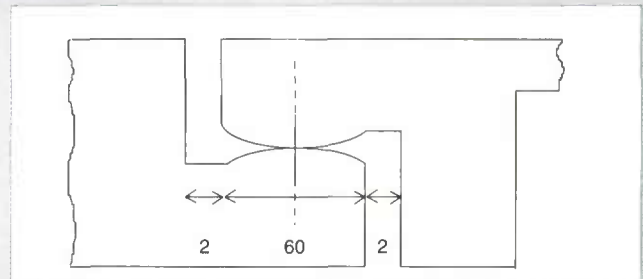
A.3.1.4 - Les articulations type CAQUOT (ou CONSIDERE-CAQUOT)

à roulement de cylindre ou de sphère sur un plan ou un cylindre, dite articulation roulante (introduite vers 1928).

Elles remplissent le rôle d'appareil d'appui fixe.

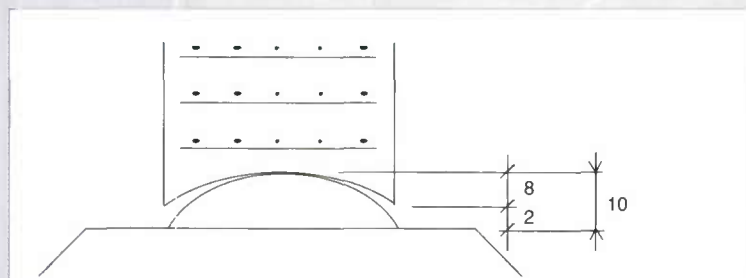


Modèle à rayon convexe roulant sur plan.



Exemple de modèle à deux rayons convexes avec aciers transversaux.

Si les efforts horizontaux sont importants, des aciers traversent perpendiculairement la ligne de contact.



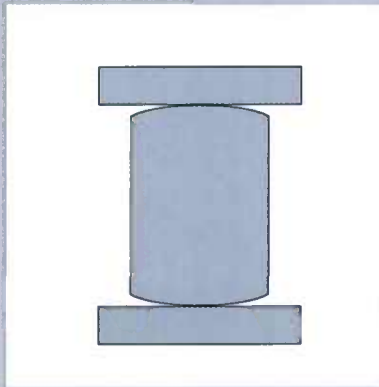
Exemple de modèle avec rayon concave sur surface à rayon convexe, sans aciers traversants.

Nota

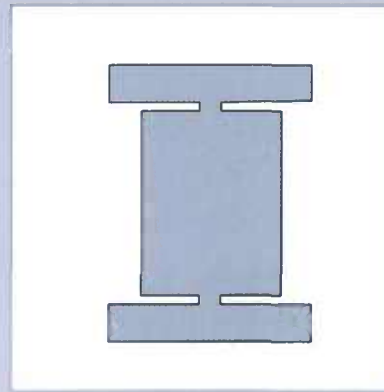
De nos jours, ce type d'appareil d'appui est employé pour les articulations de certains types d'ouvrages utilisant des éléments de voûtes préfabriquées.

A.3.1.5 - Les articulations doubles

Les articulations Caquot ou Freyssinet sont parfois dédoublées pour ajouter une capacité de translation à leur capacité normale de rotation.



Type CAQUOT.



Type FREYSSINET.

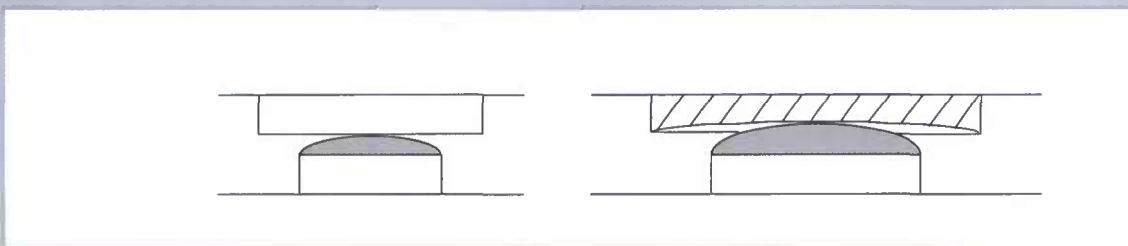
L'articulation double Caquot permet des déplacements de plusieurs centimètres alors que l'articulation double Freyssinet n'autorise que de faibles déplacements. Toute opération de réparation doit veiller à conserver la stabilité de l'ouvrage.

A.3.2 - Appareils d'appui en acier

A.3.2.1 - Les petits appareils d'appui

➤ Les balanciers à contact ponctuel

Ils sont composés d'une surface sphérique convexe sur laquelle se déplace sans glisser, une surface plane ou une surface sphérique concave à grand rayon. Ils permettent les rotations dans toutes les directions, tout en jouant le rôle d'appui fixe.



Balanciers à contact ponctuel.

Nota

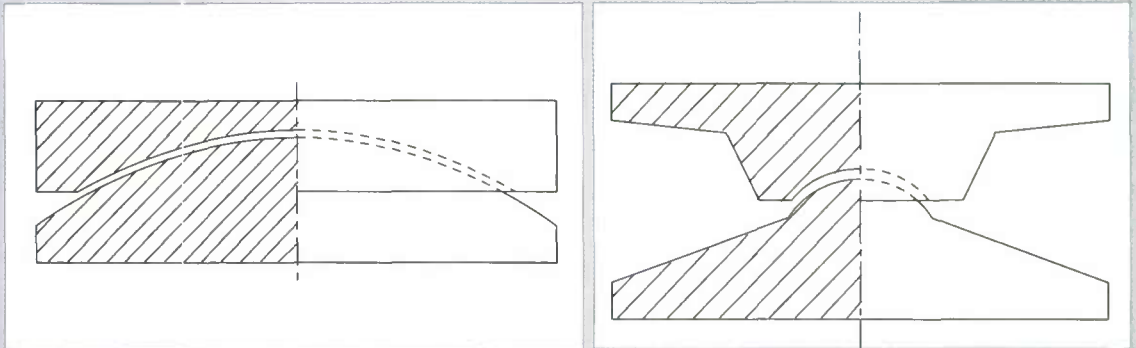
Ils sont aussi parfois dénommés à tort, calottes sphériques.

➤ Les appareils d'appui sphériques et cylindres

Les calottes sphériques sont une variante des appareils précédents. La surface de contact est sphérique, les balanciers supérieurs et inférieurs ayant le même rayon.

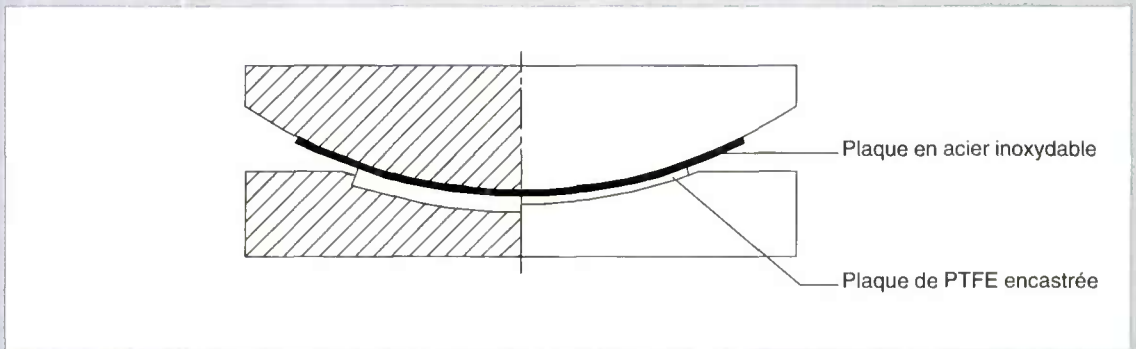
Il existe des calottes cylindriques variantes des balanciers à rotule axiale. Elles sont aussi appelées genouillères.

Il existe aussi des appareils d'appui plus récents dont les surfaces de frottement sont composées de plaques de PTFE sur acier inoxydable, soit sphériques, soit cylindriques. Les désordres éventuels les plus fréquents sont ceux déjà traités au paragraphe 3.5 du présent fascicule.



Calotte sphérique.

Balancier à calotte cylindrique ou genouillère.

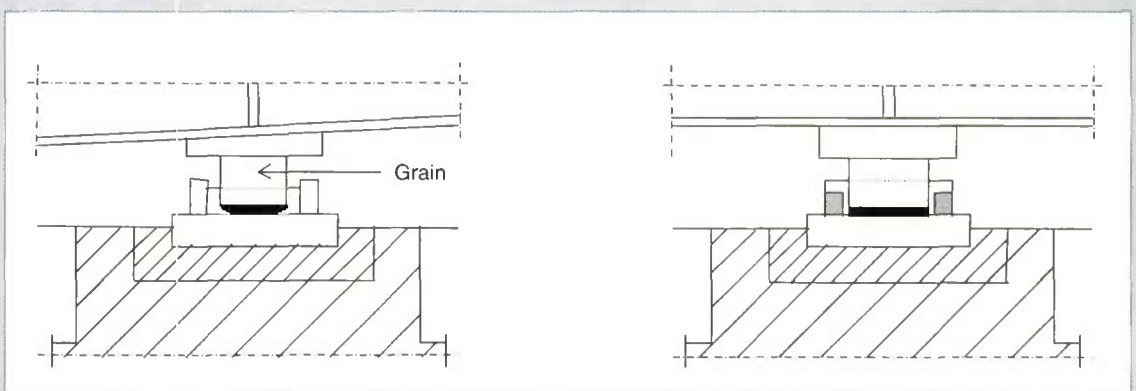


Appareil à plaques de PTFE.

➤ Les grains

Ce sont de petits balanciers supérieurs (cylindriques ou parfois sphériques) qui glissent sur une surface plane avec parfois un système de guidage longitudinal. Le comportement est hybride et ils ne sont utilisés que pour de faibles charges. Ils existent sur certains viaducs métalliques démontables. Ils permettent à la fois les déplacements et les rotations.

Pour tous ces appareils en acier, les désordres que l'on peut rencontrer sont liés à l'usure des pièces métalliques et à leur mauvais fonctionnement qui est dû soit aux problèmes de corrosion, soit à un mauvais dimensionnement.



Balanciers à grains.

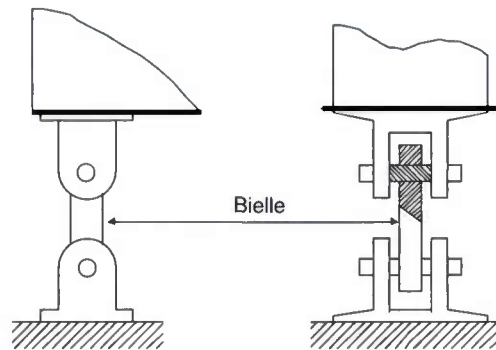
A.3.2.2 - Les bielles

Les bielles permettent une double articulation. Elles sont donc généralement utilisées à la jonction de deux éléments dont les mouvements sont indépendants.

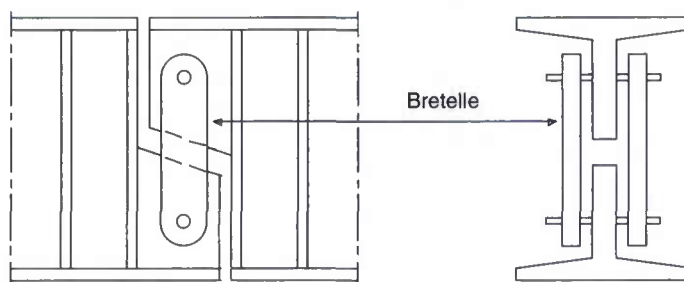
On peut en trouver sur les ponts suspendus, les cantilevers, etc.

De par leur conception, les désordres éventuels sont à rechercher au niveau des surfaces de contact (axes, etc.), ovalisation par usure, jeu anormal, blocage par corrosion, déplacement. En cas de translation importante, les bielles entraînent des dénivellations entre les éléments.

Dans le cas d'usure des articulations, le jeu des pièces va s'accroître en provoquant des claquements bruyants. Cela peut conduire à des ruptures d'axe ou d'ancrages et donc à des risques importants pour l'ouvrage voire à l'effondrement (par exemple dans le cas de bielle de suspension de cantilever).



Bielle à rôle anti-soulèvement.



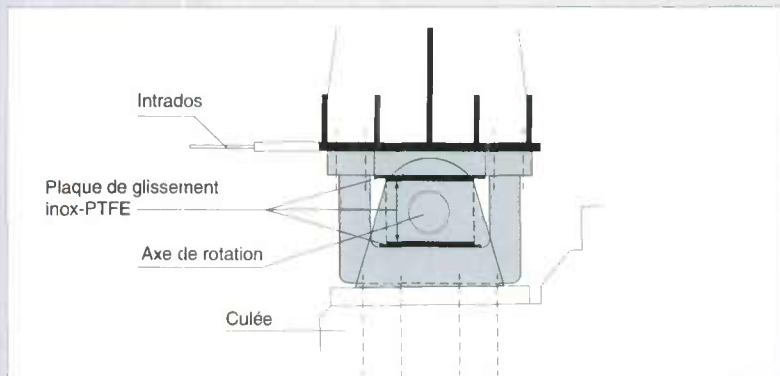
Bielle de suspension d'une articulation cantilever.

A.3.3 - Appareils d'appui hybrides

On rencontre aussi des appareils d'appui alliant le béton et l'acier, ou l'acier et l'acier inoxydable. Ces appareils d'appui sont hybrides et les désordres que l'on peut y rencontrer sont ceux relatifs aux divers matériaux employés.

A.3.3.1 - Exemple d'appareil anti-soulèvement

➤ Avec déplacement sur des plans de glissement inox-PTFE.



Plan de glissement inox-PTFE.

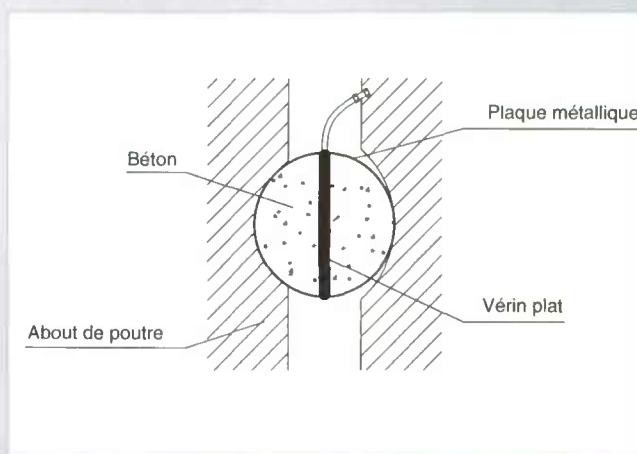
➤ Avec déplacement assuré par deux appareils d'appui en caoutchouc fretté placés entre les parties mâle et femelle du dispositif anti-soulèvement.



Pont de Savines
Articulation à la clé.

A.3.3.2 - Exemple d'appareil hybride acier-béton

Des clavettes cylindriques ont été remplacées par des appareils constitués de deux demi-coquilles, qui ont été conjuguées aux cylindres en béton par injection de résine dans une poche (type vérin plat) située entre ces deux coquilles.



Appareil de clé d'un pont en arc et son croquis.

Annexe 4

Liste des sigles utilisés

CDOA	Cellule départementale des ouvrages d'art
DCE	Dossier de consultation des entreprises
IQOA	Image de la qualité des ouvrages d'art
LRPC	Laboratoire régional des Ponts et Chaussées
pr EN	Projet de norme européenne
PTFE	Polytétrafluoréthylène
SETRA	Service d'études techniques des routes et autoroutes

Document publié par le LCPC
sous le numéro 51123110

Conception et réalisation
LCPC-IST, Ruth Amar

Dessins
LCPC-IST : Philippe Caquelard
DREIF : Nicolas Blanc, Olivier Baudouin

Crédits photographiques

Fig. 3.01, 3.02, 3.03, 3.05, 3.07, 3.08, 3.10, 3.12, 3.16, 3.24, 3.25a, 3.26, 3.28, 3.29	SETRA
Fig. 3.04, 3.11, 3.14, 3.15, 3.19, 3.22, 3.23, 3.25b, 3.27, 3.30,	LRPC ou CETE
Fig. couverture, 2.10, 4.01, 4.04, 4.05, 5.01, 5.02, 5.03, 5.04, 5.05, 5.06, (annexe3, Pont de Savines)	M. ESBRAT
Fig. 3.06, 4.03	M. POINEAU
Fig. 3.32	LCPC
Annexe 3, Appareil de clé d'un pont en arc	DREIF

Impression
BIALEC

Dépôt légal
4e trimestre 2002

ISBN
2-7208-3110-8

Page laissée blanche intentionnellement

