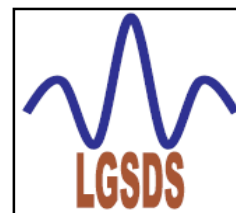


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique
Département Génie Civil



Mémoire de Master
en Génie Civil

Intitulé

***Etude sur les appareils d'appui
en élastomère fretté***

Proposé et dirigé par :

Mr. S. LAKEHAL

Présenté par :

ARROUDJ Nour El Houda

Soutenu publiquement le (28/06/2015) devant le jury composé de

Présidente :

Pr. R. KETTAB

Professeur à l'ENP

Encadreur :

Mr. S. LAKEHAL

MAA à l'ENP

Examineurs :

Mme. CHERID

MAA à l'ENP

Mme. MOHABEDDINE

MAA à l'ENP

Mr. S. BELKACEMI

Professeur à l'ENP

Promotion Juin 2015

ENP : 10, avenue Hacén Badi, El Harrach, Alger

Tel : 213 21 52 53 01/03 – Fax : 213 21 59 7973

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier Dieu clément et miséricordieux de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à remercier Mr. Saadi LAKEHAL mon encadreur pour sa patience et sa coopération le long de cette période.

A tous les enseignants de l'ENP sans exception qui ont contribué à ma formation avec beaucoup de compétence et de dévouement.

Mes remerciements s'adressent, également, aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail.

Enfin, mes plus vifs remerciements s'adressent aussi à tous ceux qui m'ont aidé, encourager et m'ont soutenu.

ARROUDJ Nour Ehouda

DEDICACE

Je dédie ce mémoire à

*Mon père et ma mère que, sans leur encouragement, ce travail
n'aurait pas pu se faire,*

*Mes frères et sœurs dont je suis fière et qui m'ont transmis le goût des
aventures ainsi que leur ouverture d'esprit,*

Ma grande famille, grands et petits,

A toutes mes chères copines

Nour Elhouda

ملخص

الغرض من هذا العمل هو تحديد أنواع مختلفة من المحامل، و كيفية اشتغالها ومختلف المفاهيم حول أسباب وطبيعة اضطرابها. كما يهدف إلى دراسة المحامل المرنة و تحديد مختلف أبعادها.

كلمات مفتاحية : محامل، أنواع المحامل، محامل مرنة.

Résumé

Le but de ce travail est de définir les différents types des appareils d'appui , leurs fonctionnements et les notions sur les causes et la nature des désordres. Il permet aussi d'étudier, en particularité, les appareils d'appui en élastomère fretté et les dimensionner.

Mots clef : appareil d'appui, types d'appareils d'appui, élastomère fretté.

Abstract

The purpose of this work is to define the different types of bearings, their operation and notions about the causes and nature of the disorder. It also allows to study, in feature, the bearings laminated elastomeric and dimensioning.

Keywords : bearings, types of bearings, elastomeric bearings.

LISTE DE FIGURES

Figure I.1: fonction d'un appareil d'appui.....	4
Figure I.2 : Les différents types d'appareils d'appui considérés sous l'angle du déplacement.....	5
Figure I.3 : appareil d'appui à plaques métalliques.....	6
Figure I.4 : appareil d'appui à balanciers à contact linéaire.....	7
Figure I.5 : Appareil d'appui à balanciers à rotule axiale.....	7
Figure I.6 : Exemples d'un appareil d'appui à rouleau.....	7
Figure I.7 : déplacements types des appareils d'appui en caoutchouc fretté.....	8
Figure I.8 : différents types d'appareils d'appui en élastomère fretté.....	8
Figure I.9 : composition schématique d'un appareil d'appui à pot.....	9
Figure I.10 : différents types d'appareils d'appui à pot.....	10
Figure I.11 : principe d'une section rétrécie de béton.....	10
Figure I.12 : appareil d'appui en béton armé à pendule cylindrique.....	11
Figure I.13 : Accès aménagé pour effectuer la visite des appareils d'appui.....	12
Figure I.14 : oxydation des tôles de calage.....	13
Figure I.15 : bossage éclaté sous un appareil d'appui à pot nécessitant un traitement d'urgence.....	13
Figure I.16 : évacuation d'eau mal conçue.....	13
Figure II.1 : différents types d'appareils d'appui en élastomère fretté.....	15
Figure II.2 : Mauvaise tenue de la formulation du caoutchouc aux effets de l'ozone.....	16
Figure II.3 : corrosion des frettes en acier.....	17
Figure II.4 : rupture du plan d'adhésion.....	17
Figure II.5 : bonne répartition de la charge au niveau.....	18
Figure II.6 : écrasement d'un appareil d'appui.....	19
Figure II.7 : - Définition de la distorsion d'un appareil d'appui en caoutchouc fretté.....	19
Figure II.8 : appareil de mesure de la distorsion et principe de la mesure.....	20
Figure II.9 : déformation en S de l'appareil d'appui.....	21
Figure II.10 : Distorsion d'un appareil d'appui due au déversement de la culée.....	21
Figure II.11 : vue en plan d'un dé d'appui.....	24

TABLE DES MATIERES

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur les appareils d'appui	
Introduction	3
I.1 Définition.....	3
I.2 Fonctions des appareils d'appui.....	3
I.2.1 Les fonctions habituelles.....	3
I.2.2 Les fonctions optionnelles.....	4
I.3 Différents type d'appareils d'appui.....	4
I.3.1 Classement selon le critère de déplacement.....	4
I.3.2 Classement sur la base du concept.....	6
I.4 Notions sur les causes et la nature des désordres.....	11
I.4.1 Principes généraux.....	11
I.4.2 Conditions générales de l'environnement.....	12
Conclusion	13
Chapitre II : Appareils d'appui en élastomère fretté	
Introduction	15
II.1 Définition.....	15
II.2 Causes et nature des désordres.....	16
II.2.1 Comportement des constituants.....	16
II.2.1.1 Comportement du caoutchouc.....	16
II.2.1.2 Comportement des frettes en acier.....	16
II.2.1.3 Comportement du système de liaison entre les frettes en acier et les feuillettes en caoutchouc.....	17
II.2.2 Fonctionnement de l'appareil d'appui.....	18
II.2.2.1 Répartition de la charge.....	18
II.2.2.2 Distorsion.....	19
II.3 Dimensionnement des appareils d'appui.....	22
II.3.1 Aire de l'appareil d'appui.....	22
II.3.2 Détermination de la hauteur nette de l'élastomère.....	22
II.3.3 Dimensionnement en plan de l'appareil.....	22
II.3.4 Répartition des efforts horizontaux sur l'infrastructure.....	23
II.4 Répartition des efforts horizontaux.....	23
II.4.1 Charge A(L).....	23
II.4.2 Système Bc.....	23
II.4.3 Effet du vent.....	23
II.4.4 Effort dû au séisme.....	23
II.4.5 Dimensionnement des frettes.....	24
II.4.6 Dimensionnement de dés d'appuis.....	24
II.4.7 Ferrailage du dé d'appuis.....	24
Conclusion	25
Conclusion générale	26
Références bibliographiques	27

Introduction générale

Les appareils d'appui sont des éléments importants de la structure et non des équipements pour lesquels il existe une notion d'usure et de durabilité inférieure à celle de l'ouvrage et que l'on considère alors comme de la matière consommable. A ce titre, on se doit d'apporter tout le soin nécessaire à leur choix, leur qualité, leur conception et leur mise en œuvre. D'autant que le coût du produit lui-même est sans commune mesure avec celui des opérations d'interventions pour soulever la structure, remplacer un appareil déficient et/ou réparer des bossages. Une étude menée par le SETRA, il y a une dizaine d'années, sur les causes d'intervention sur les ouvrages pour la remise en état des appareils d'appui (tous types d'appareils d'appui confondus) a permis de mettre en évidence que les raisons de ces interventions étaient la conséquence des trois facteurs suivant, d'importance (en nombre) globalement équivalente :

- Des défauts consécutifs à une qualité des produits défectueuse (corrosion, dés-adhésion,...) ;
- Des défauts de pose ;
- Des désordres consécutifs à un dimensionnement erroné (plaque de glissement trop courte, insuffisance de feuillets d'élastomère, dimensions en plan insuffisantes, ...).

CHAPITRE I

Généralités sur les appareils d'appui

Introduction

Ce présent chapitre a pour but de définir qu'est qu'un appareil d'appui, leur fonctionnement et ses différents types ainsi que les différentes causes de désordres.

I.1 Définition

Le tablier de pont repose sur leurs appuis par l'intermédiaire d'appareils d'appui, qui sont des équipements de l'ouvrage placés entre les poutres et les dés d'appuis, et conçus pour transmettre les efforts essentiellement verticaux ou accompagnés d'efforts horizontaux.

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.

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

I.2 Fonctions des appareils d'appui

Les appareils d'appui sont des éléments utilisés pour permettre la rotation entre deux parties d'une structure et transmettre les charges définies dans les spécifications appropriées ainsi que pour éviter les déplacements, permettre des déplacements dans une seule direction ou dans toutes les directions d'un plan.

Ainsi, principalement, il va :

- a) transmettre les actions verticales dues à la charge permanente et aux charges d'exploitation routière,
- b) permettre les mouvements de rotation (effets des charges et des déformations différées du béton),
- c) permettre les déplacements relatifs entre les deux parties suite aux effets de variations de longueurs de l'ouvrage (effet thermique, retrait, fluage, freinage, ...).

La structure n'étant pas parfaitement rigide et étant soumise aux éléments extérieurs comme : vent, dilatation thermique, freinage, ..., les appareils d'appui doivent laisser la structure se déplacer tout en la dirigeant.

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.

I.2.1 Les fonctions habituelles

- a) Transmission des forces verticales
- b) Rotation

- dans une direction avec ou sans transmission de moments,
- dans toutes les directions avec ou sans transmission de moments.

c) Déplacements

- fixes avec transmission des forces horizontales (déplacement nul),
- 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,
- multidirectionnels avec transmission des efforts dus à la distorsion ou au frottement et des variations d'excentrement.

I.2.2 Les fonctions optionnelles

a) 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. Les ouvrages courbes possèdent souvent des dispositifs de guidage intégrés à l'appareil ou constitués d'appareils spécifiques.

b) 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.

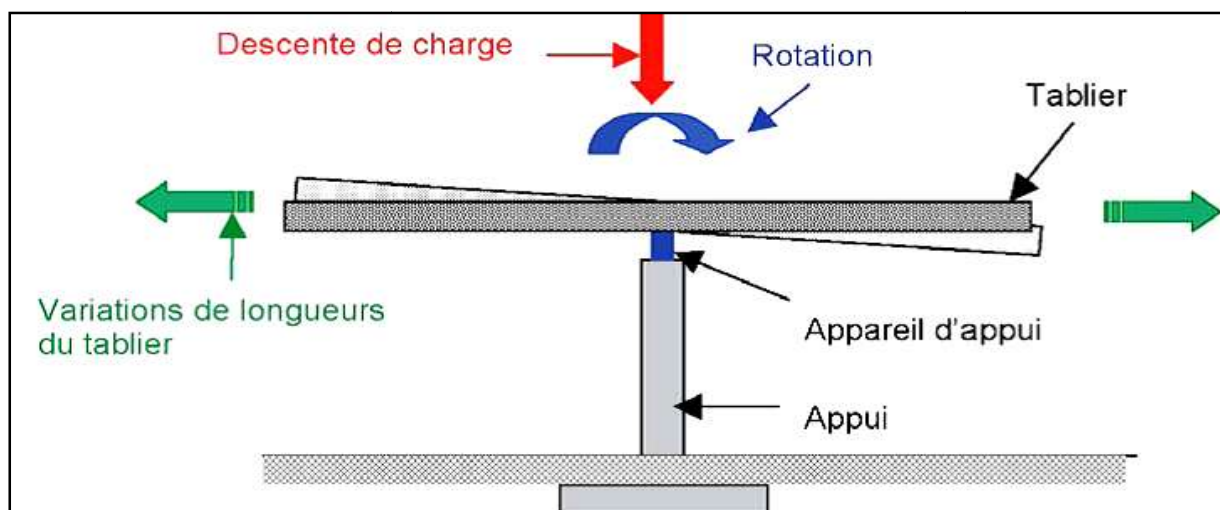


Figure I.1: fonction d'un appareil d'appui [FAEQ 5 GUIDES STRRES : Entretien et réparation des équipements d'ouvrages].

I.3 Différents type d'appareils d'appui

I.3.1 Classement selon le critère de déplacement

Si l'on considère le critère de déplacement comme fondamental, les types d'appareils d'appui peuvent être définis comme suit :

a) Fixes

- qui permettent les rotations sur appui,
- mais ne permettent pas les déplacements.

b) Mobiles unidirectionnels

- qui permettent les rotations sur appui,
- ainsi que les déplacements mais dans une seule direction.

c) Mobiles multidirectionnels

- qui permettent les rotations sur appui.
- ainsi que les déplacements dans toutes les directions.

Cette approche de classement est surtout bien adaptée au projecteur qui doit prendre en considération les possibilités de fonctionnement pour dimensionner tant sa structure que son appui et, partant, son appareil d'appui.

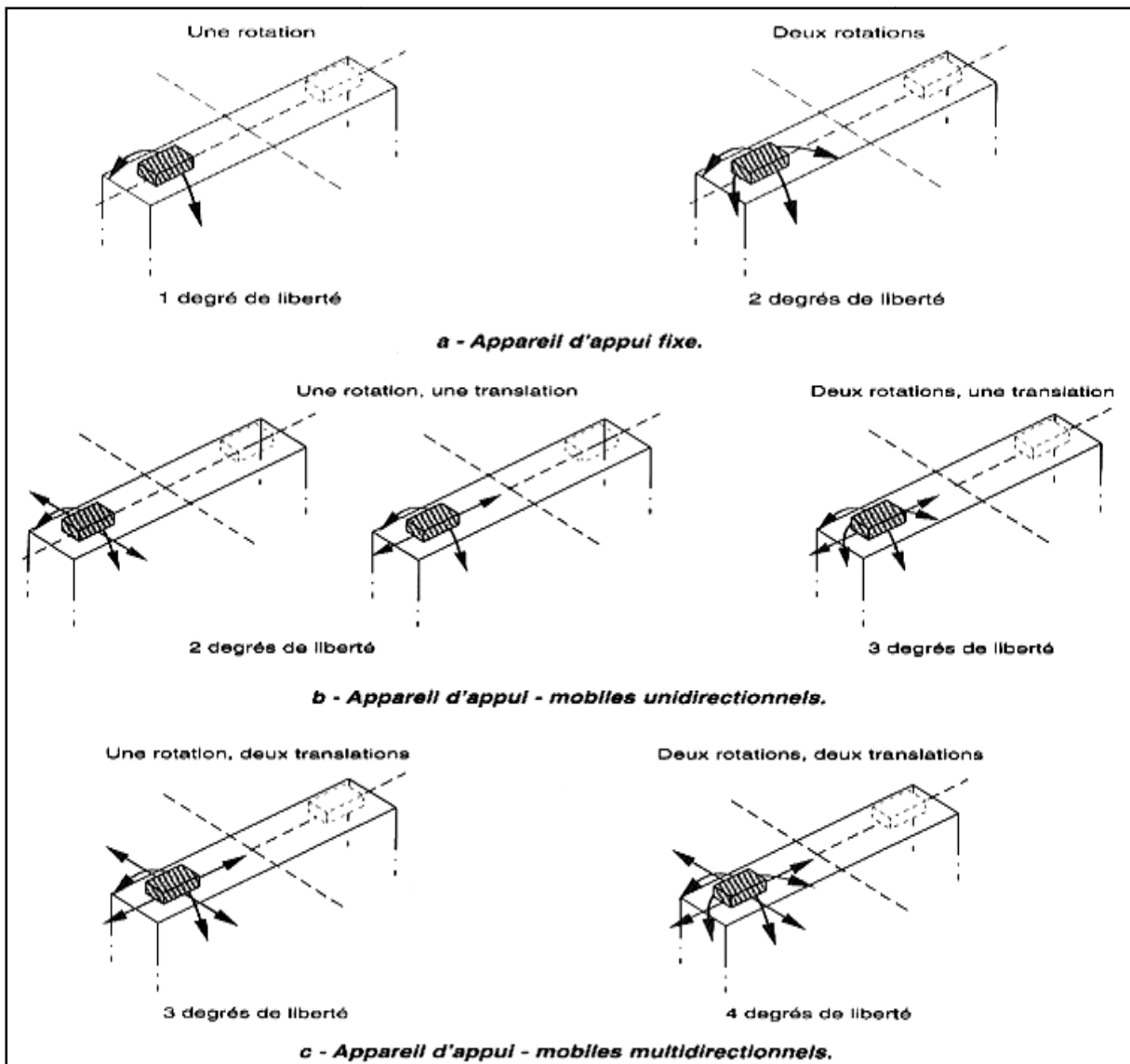


Figure I.2 : Les différents types d'appareils d'appui considérés sous l'angle du déplacement [Document SETRA].

I.3.2 Classement sur la base du concept

Par contre, les fabricants de ces produits ont plus l'habitude de partir du concept (tout en soulignant que les possibilités de fonctionnement de ces produits peuvent se combiner). Si on se base sur cette approche de présentation, on va trouver les différents types de produits suivants :

a) Appareils d'appui métallique

✓ À plaques métalliques

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,
- acier moulé,

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

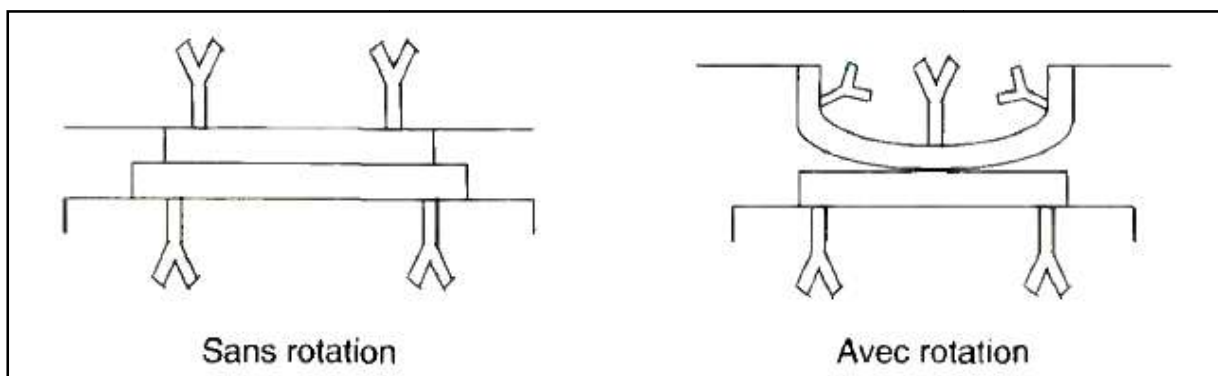


Figure I.3 : appareil d'appui à plaques métalliques [Fiche n°VIII-1 : Appareils d'appui en élastomère fretté. Révision : octobre 2009].

✓ À balanciers à contact linéaire

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.

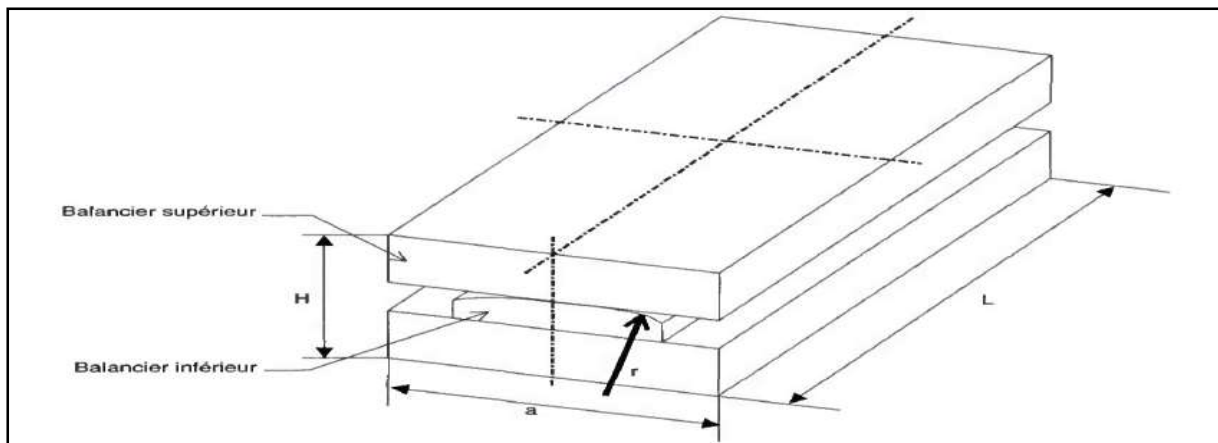


Figure I.4 : appareil d'appui à balanciers à contact linéaire.

✓ À balanciers à rotule axiale

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.

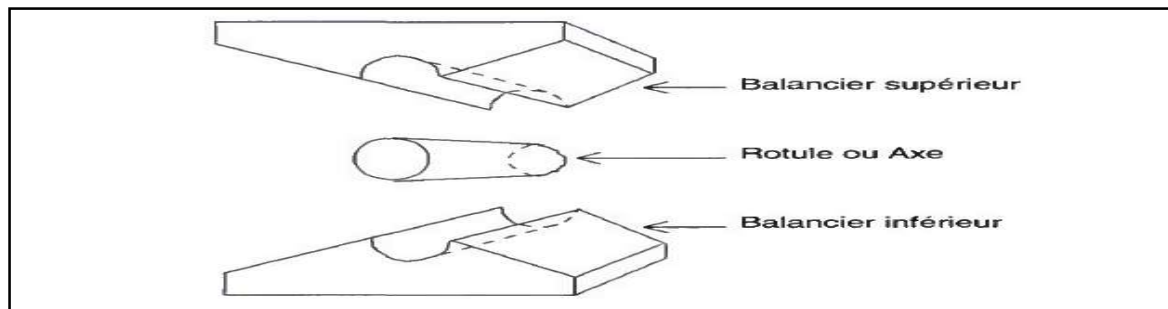


Figure I.5 : Appareil d'appui à balanciers à rotule axiale.

✓ À rouleaux

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.

- rouleau simple, exemple avec système de guidage ;
- rouleau simple tronqué ;
- rouleau à côtés aplatis ;
- appareils d'appui à rouleaux multiples.

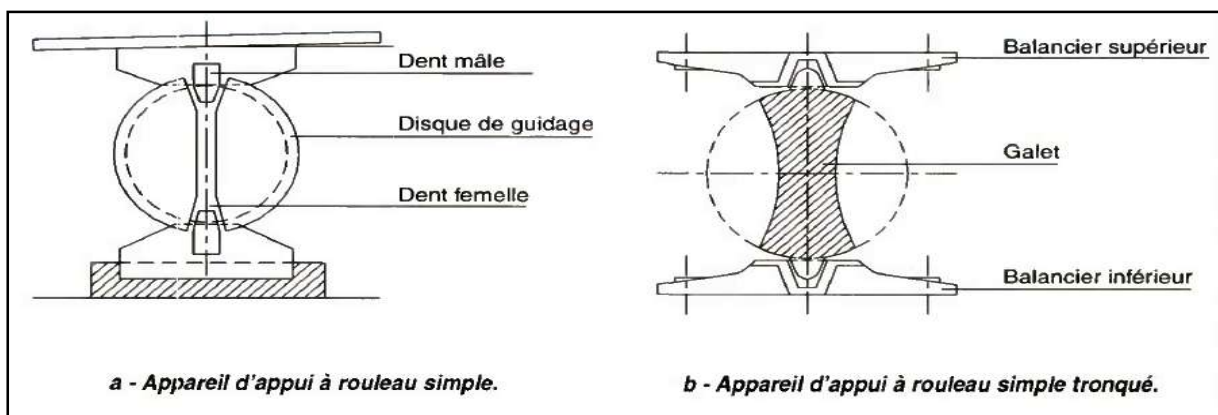


Figure I.6 : Exemples d'un appareil d'appui à rouleau.

b) Appareils d'appui en élastomère fretté (caoutchouc fretté)

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

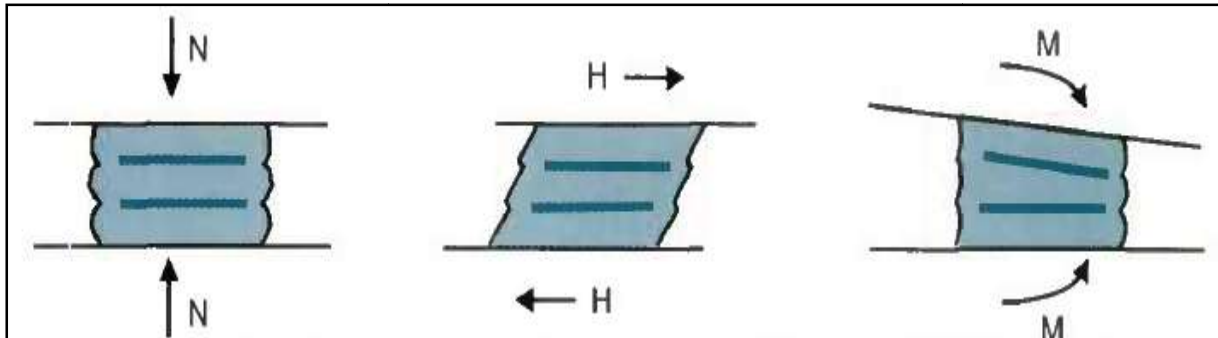


Figure I.7 : déplacements types des appareils d'appui en caoutchouc fretté.

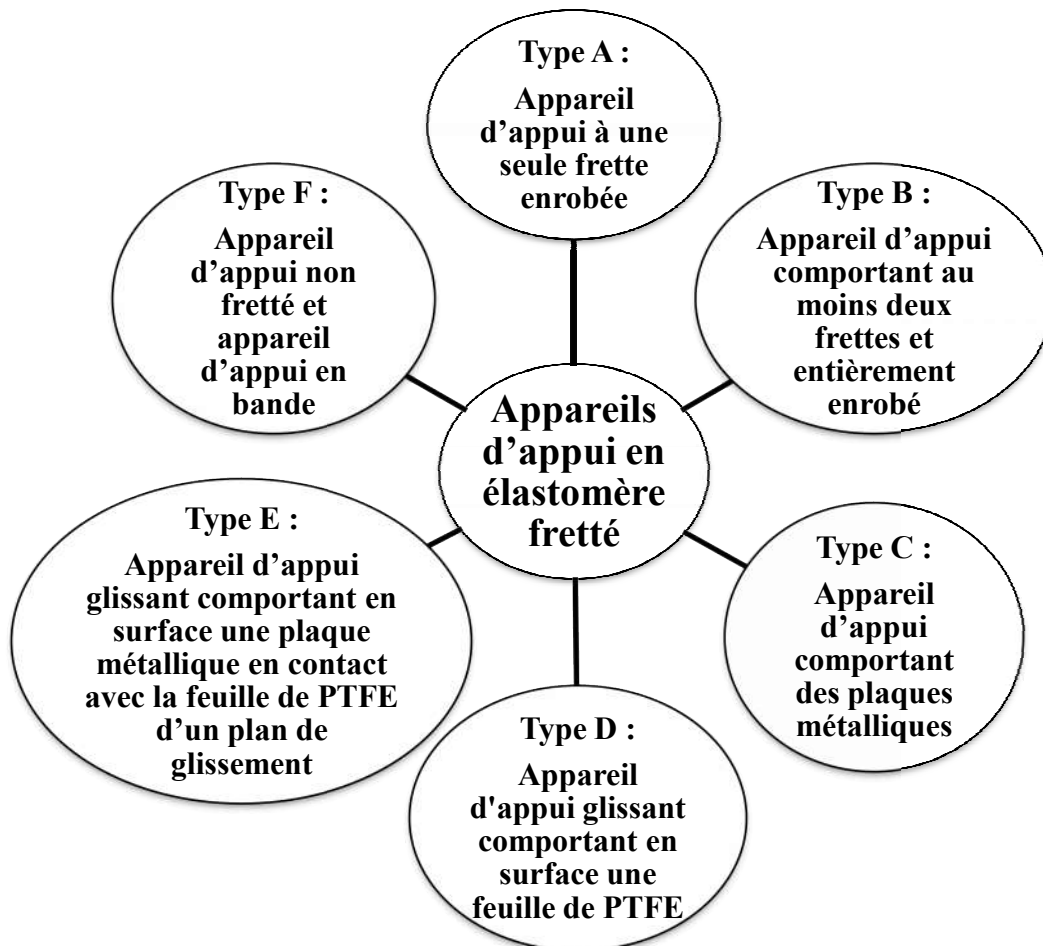


Figure I.8 : différents types d'appareils d'appui en élastomère fretté [Fiche n°VIII-1 : Appareils d'appui en élastomère fretté. Révision : octobre 2009].

c) 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.

✓ *Principe de fonctionnement*

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

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 engrave 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.

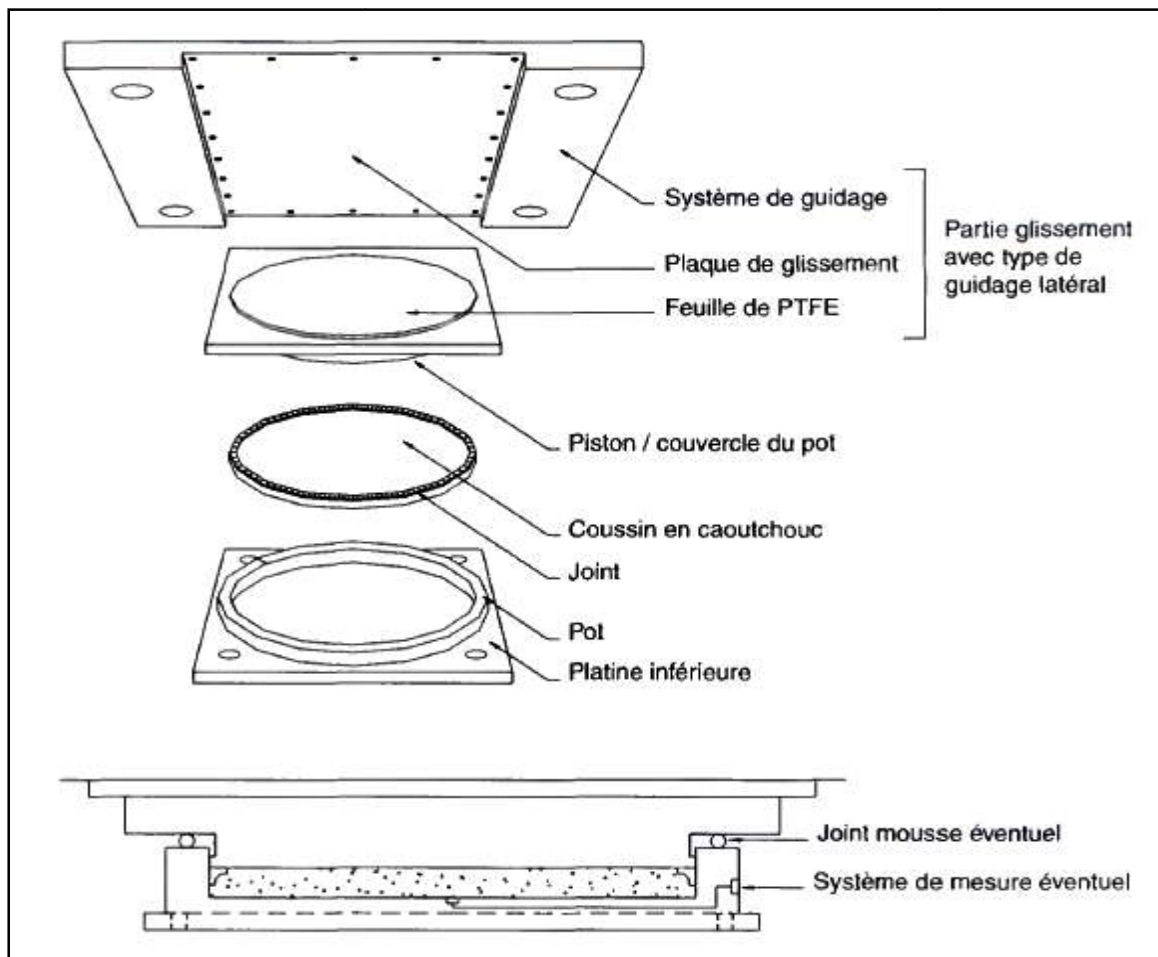


Figure I.9 : composition schématique d'un appareil d'appui à pot.

✓ Différents types d'appareils d'appui à pot

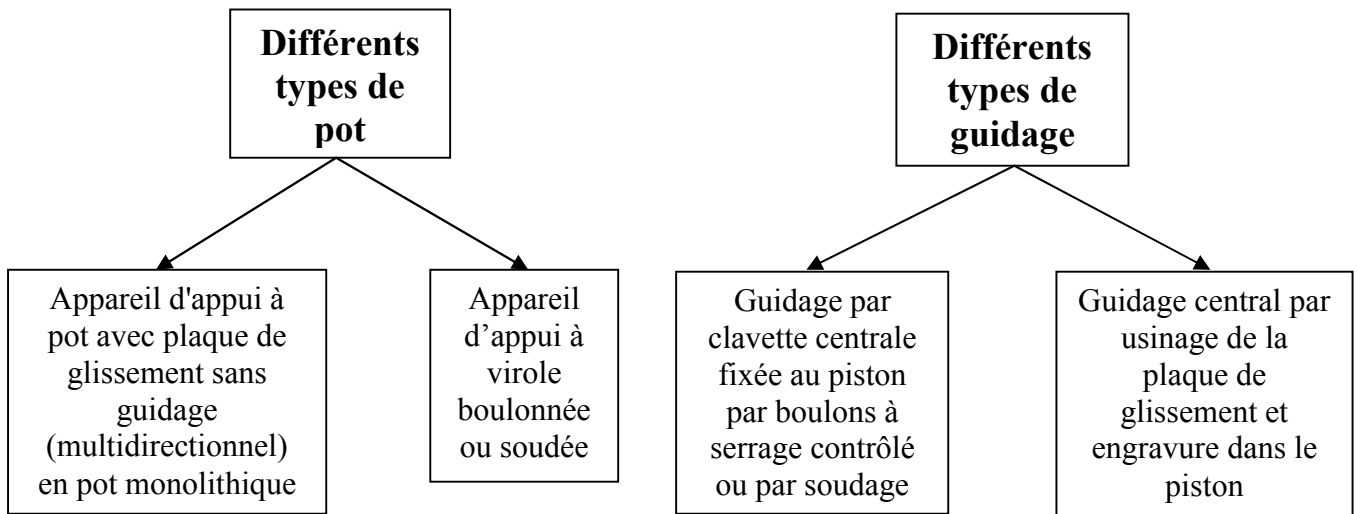


Figure I.10 : différents types d'appareils d'appui à pot.

d) Appareils d'appui en béton

Ce type d'appareil d'appui se trouve dans des ouvrages relativement anciens. En effet, les appareils d'appui «modernes» sont maintenant choisis du fait de leur industrialisation qui a contribué à une meilleure fiabilité de leurs caractéristiques et, aussi, de leur simplicité de mise en œuvre.

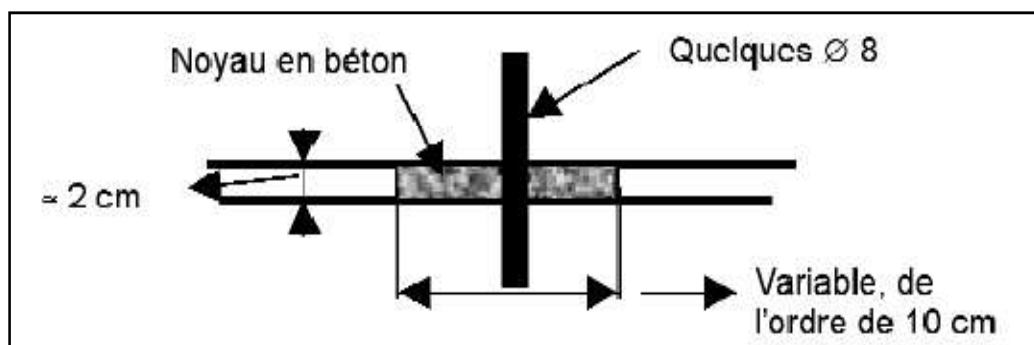


Figure I.11 : principe d'une section rétrécie de béton.

Le système basique est l'appareil d'appui dit «par section rétrécie de béton» dont la conception d'origine est due à M. E. Freyssinet (d'où leur nom fréquent «d'articulation Freyssinet»). Les textes anciens comme le BAEL 91, article A8.4.3, en donnait le principe de fonctionnement.



Figure I.12 : appareil d'appui en béton armé à pendule cylindrique.

I.4 Notions sur les causes et la nature des désordres

I.4.1 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. 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 :

a) *Appareils d'appui*

- défaut de conception et/ou de dimensionnement ;
- défaut de comportement et/ou durabilité insuffisante des matériaux constitutifs ;
- désordres consécutifs à des défauts de pose.

b) *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.

I.4.2 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.

a) *Visibilité des appareils 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.

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.

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 ;
- sable parfois imprégné de coulis de ciment ;
- béton, etc.



Figure I.13 : Accès aménagé pour effectuer la visite des appareils d'appui.

b) *Etat 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.

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; 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. Ce désordre est consécutif à des défauts de répartition de charge, de frettage insuffisant, etc. ;
- détérioration des bossages : fracture, fissuration, épaufrure, etc. Ce désordre est consécutif à des défauts de répartition de charge, de frettage insuffisant, etc. ;

- oxydation des tôles de calages ;
- contamination par des eaux, boues, gravats, etc.



Figure I.14 : oxydation des tôles de calage.



Figure I.15 : bossage éclaté sous un appareil d'appui à pot nécessitant un traitement d'urgence.



Figure I.16 : évacuation d'eau mal conçue.

Conclusion

Un appareil d'appui est tout simplement l'intermédiaire entre le tablier et les appuis d'une structure, il est utilisé pour permettre la transmission des forces verticales, la rotation, et les déplacements en deux parties de la structure.

Il existe essentiellement quatre types d'appareils d'appui qui sont : les appareils d'appui métallique, les appareils d'appui en élastomère fretté, les appareils d'appui à pot, les appareils d'appui en béton.

Les désordres ont pour origine des causes suivantes : défaut de conception, défaut de comportement et durabilité insuffisante des matériaux constitutifs, désordres consécutifs à des défauts de pose, des anomalies de fonctionnement de la structure...

CHAPITRE II

Appareils d'appui en élastomère fretté

Introduction

Ce présent chapitre a pour objectif d'étudier les appareils d'appui en élastomère fretté, en définissant leurs fonctionnements, en déterminant leurs dimensionnements ainsi que ses différents types et les différentes notions des causes et la nature des désordres.

II.1 Définition

L'appareil d'appui en élastomère fretté est un bloc d'élastomère renforcé par des frettes métalliques en acier, adhésives à l'élastomère au moment de la vulcanisation (modification chimique créant de longues chaînes de polymères sous l'effet conjugué de la température et de la pression). L'élastomère est soumis à des efforts et des déplacements (compression, rotation et cisaillement ou distorsion).

L'insertion des frettes dans le bloc d'élastomère contribue à diminuer le tassement sous charge normale et à augmenter la contrainte de compression admissible sans modifier sa raideur en cisaillement.

Les éventuels éléments de glissement les plus couramment utilisés comportent une plaque de PTFE (PolyTétraFluorÉthylène ou Téflon) fixée sur le dessus de l'appareil d'appui en élastomère. Une tôle en acier inoxydable poli liée à une platine supérieure en acier glisse sur la plaque de PTFE.

La principale utilisation des appareils d'appui en élastomère fretté avec plan de glissement est justifiée par la prise en compte des déplacements irréversibles (retrait, fluage).

La norme NF EN 1337-3 (§ 5.3.2) s'applique à six types d'appareils d'appui tels que définis dans la figure suivante :

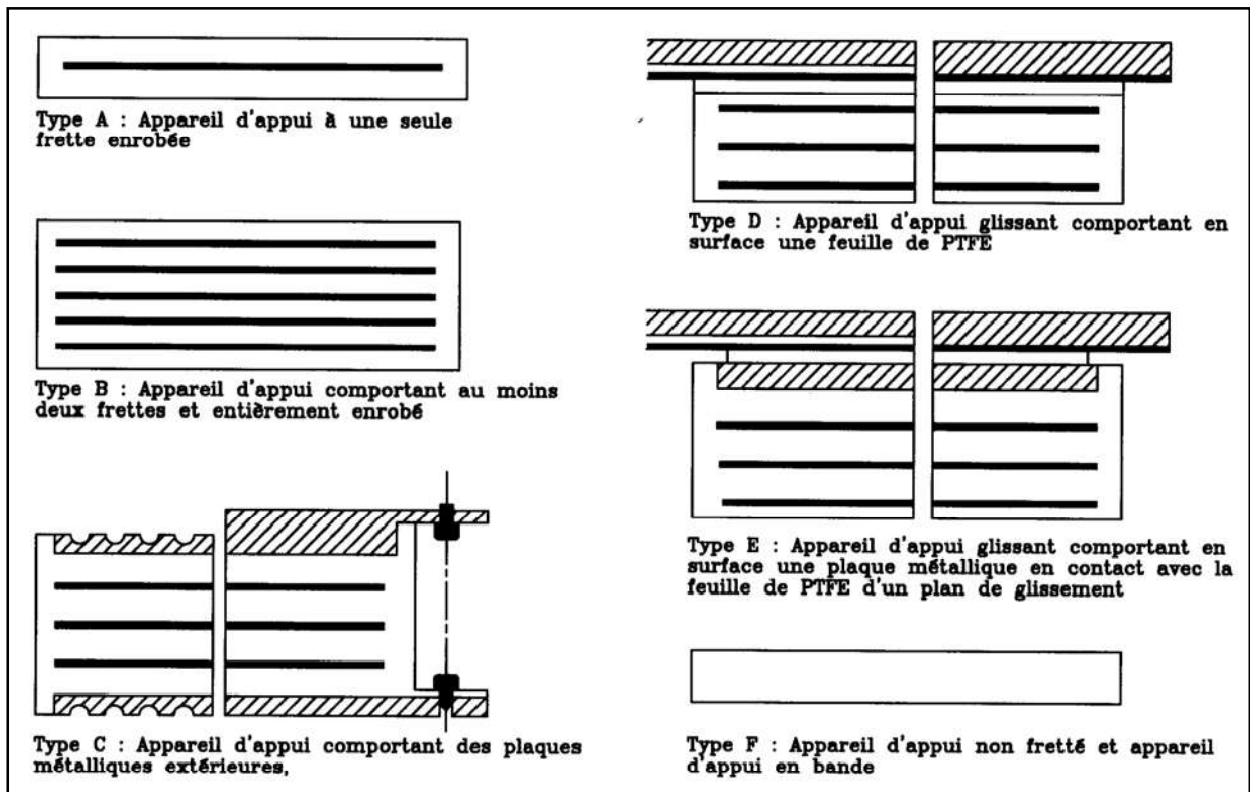


Figure II.1 : différents types d'appareils d'appui en élastomère fretté [Guide technique SETRA : Appareils d'appui en élastomère fretté].

II.2 Causes et nature des désordres

II.2.1 Comportement des constituants

II.2.1.1 Comportement du caoutchouc

Le principal désordre est l'apparition de fissures ou « gerçures » des bourrelets des feuillets.

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°, 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 feuillets 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. 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.



Figure II.2 : mauvaise tenue de la formulation du caoutchouc aux effets de l'ozone.

II.2.1.2 Comportement des frettes en acier

Ne sont concernés que les appareils d'appui découpés dans une plaque mère ou comportant une frette extérieur.

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. 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 une peinture de protection dont la tenue sous la formation des bourrelets et la distorsion était particulièrement mauvaise. Son écaillage ou son faïençage 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.



Figure II.3 : corrosion des frettes en acier.

II.2.1.3 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 ou la rupture du plan d'adhésion.

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.



Figure II.4 : rupture du plan d'adhésion.

II.2.2 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, (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.

II.2.2.1 Répartition de la charge

Une répartition uniforme de la charge se voit nettement par des bourrelets parfaitement formés et semblables entre eux. 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.

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.

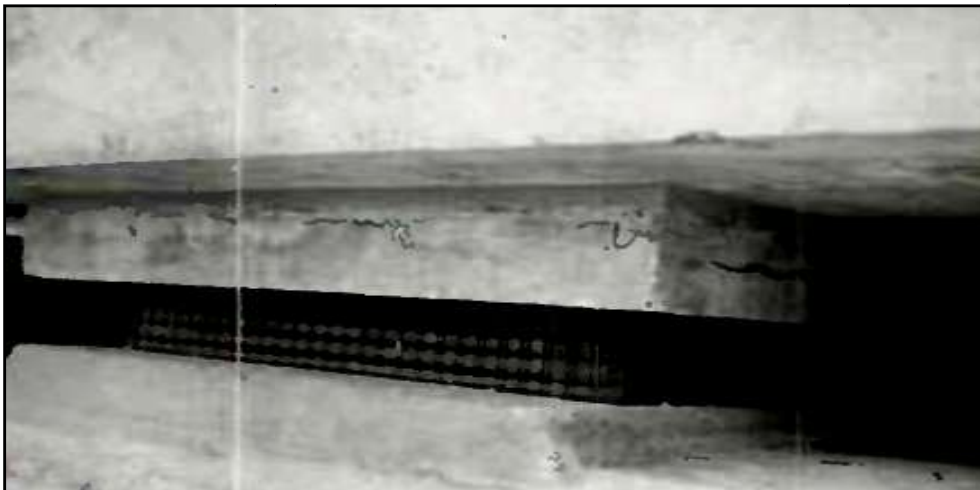


Figure II.5 : bonne répartition de la charge au niveau.

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 ;
- 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. Il s'agit :

- d'une surface insuffisante provenant d'une erreur de calcul ;
- d'une modification de la descente de charge.



Figure II.6 : écrasement d'un appareil d'appui.

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).

II.2.2.2 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 ci-dessous.

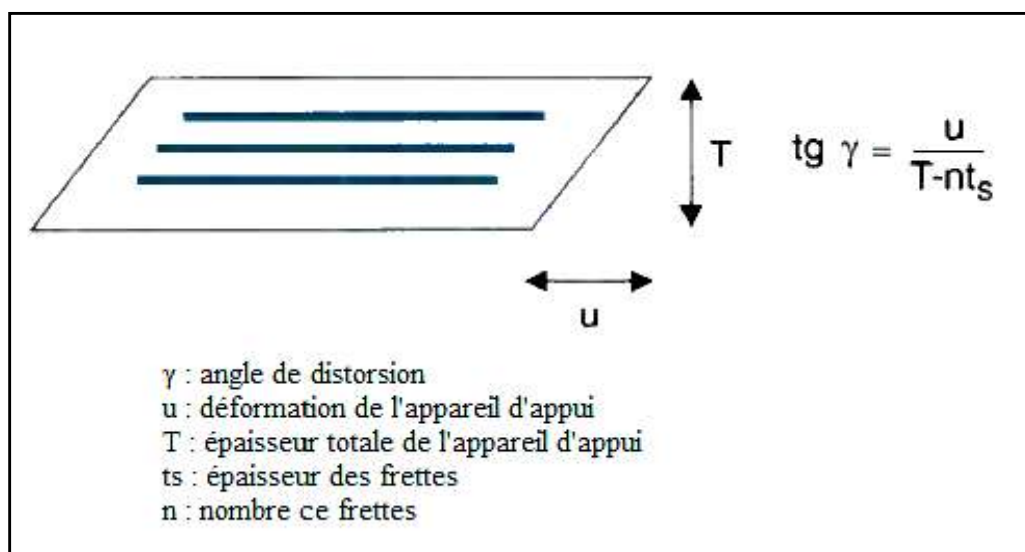


Figure II.7 : définition de la distorsion d'un appareil d'appui en caoutchouc fretté.

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 II.8. 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.

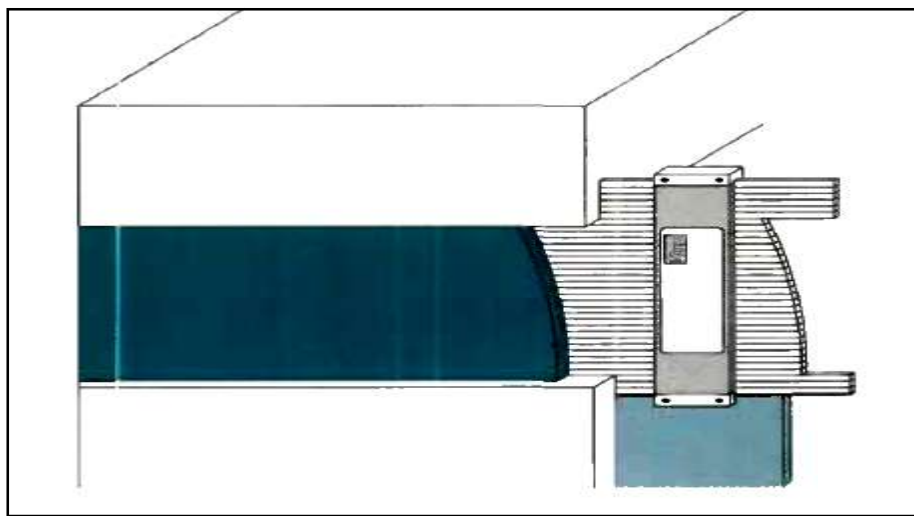


Figure II.8 : appareil de mesure de la distorsion et principe de la mesure.

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.



Figure II.9 : déformation en S de l'appareil d'appui.

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) ;
- un grippage d'une plaque glissante, etc.

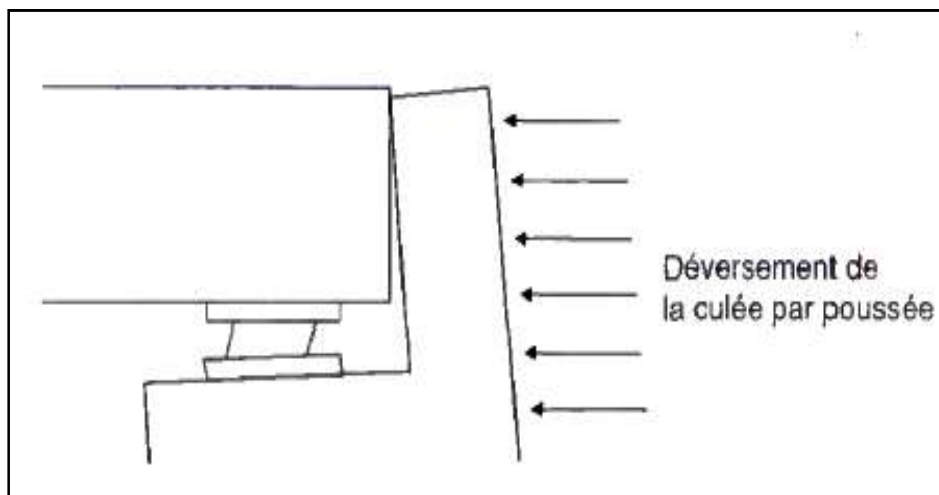


Figure II.10 : Distorsion d'un appareil d'appui due au déversement de la culée.

Il faut vérifier que les appareils d'appui peuvent se déformer sans gêne 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.

II.3 Dimensionnement des appareils d'appui

Selon bulletin technique N°04 de SETRA

II.3.1 Aire de l'appareils d'appui

$$\sigma_m = \frac{N_{\max}}{a \times b}$$

On désigne par $a \times b$; l'aire de l'appareil d'appui où :

a: Côte parallèle à l'axe horizontale de l'ouvrage.

b: Côte perpendiculaire à l'axe horizontal de l'ouvrage.

L'appareil d'appui doit vérifier l'inégalité suivante

$$2\text{MPa} \leq \sigma_m = \frac{N_{\max}}{a \times b} \leq 15\text{ MPa}$$

Avec :

σ_m : La contrainte moyenne de compression due à l'effort N_{\max} .

N_{\max} : Réaction d'appui.

2MPa : Condition de non cheminement.

15MPa : Condition de non écrasement.

II.3.2 Détermination de la hauteur nette de l'élastomère

$$\tau_h \leq 0,5G$$

tel que

$$\tau_h = G \times \frac{U}{T}$$

$U: \Delta_{h\max}$ est le déplacement horizontal sous retrait, fluage et température.

G : Module de déformation transversale.

T : Hauteur nette de l'élastomère.

τ_h : Contrainte de cisaillement.

II.3.3 Dimensionnement en plan de l'appareil

Il faut respecter la condition suivante :

- Condition de non flambement ;
- L'épaisseur minimale.

$$\frac{a}{10} \leq T \leq \frac{a}{5}$$

II.2.3.4 Répartition des efforts horizontaux sur l'infrastructure

Pour la répartition des efforts horizontaux sur l'infrastructure on assimilera la structure à un portique. Le tablier étant supposé infiniment rigide, l'effort horizontal sera donc reparti entre les différents appuis en fonction de leurs rigidités.

II.4 Répartition des efforts horizontaux

Les charges de chaussées, des systèmes **A(L)** et **Bc** sont susceptibles de développer les réactions de freinage, effort s'exerçant sur la surface de la chaussée dans l'un ou l'autre sens de circulation.

II.4.1 Charge A(L)

L'effort de freinage correspondant à la charge A(L) est : $H = A(L) \times F \times S$.

Où ;

$$F = \frac{1}{(20 + 0.35\% \times S)}$$

Avec S : désigne la surface chargée en m².

II.4.2 Système Bc

Un camion peut développer un effort de freinage égal à son poids. Un seul camion est supposé freiner donc : $F = 30t$ (d'après RCPR).

Donc la force de freinage égale à son poids propre :

$$H_{Bc} = \frac{300}{N}$$

Tel que N représente le nombre d'appareils d'appui.

II.4.3 Effet du vent

Hypothèse : le vent souffle horizontalement dans une direction normale à l'axe longitudinal de la chaussée, il développe sur toute la chaussée une pression.

$$H_v = P \times L \times H$$

P : pression du vent.

H : hauteur du tablier.

L : porté de la travée.

II.4.4 Effort dû au séisme

K_H : Accélération sismique horizontale

K_V : Accélération sismique verticale

Effort horizontal dû au séisme est égale à :

$$H_S = K_H \times G$$

Effort vertical dû au séisme est égale à :

$$V_S = K_V \times G$$

G: poids propres du tablier.

II.4.5 Dimensionnement des frettes

On doit vérifier les conditions suivantes :

$$ts \geq \frac{a \times \sigma_{min}}{\beta \times \sigma_e}$$

σ_e : Limite d'élasticité en traction de l'acier constructif des frettes.

II.4.6 Dimensionnement de dés d'appuis

Les dés d'appuis ont pour but de diffuser, localise et de prévoir d'éventuelles fissures.

$$H \geq \frac{2 \times a \times b}{P \times e} = \frac{2 \times a \times b}{2 (a+b)}$$

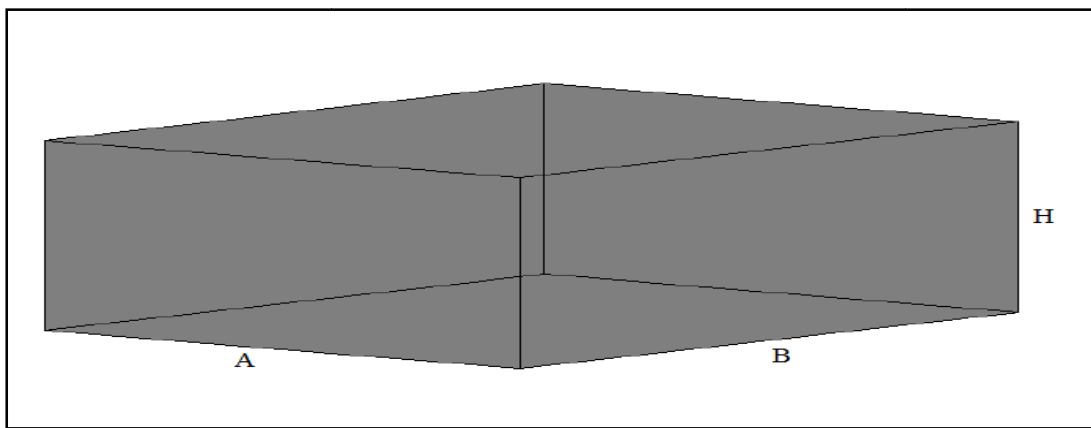


Figure II.11 : vue en plan d'un dé d'appui.

II.4.7 Ferrailage du dé d'appuis

Le dé d'appui permet de diffuser les charges localisées provenant directement du tablier qui peut provoquer des fissures, pour cela on disposera des armatures de chaînage et d'éclatement.

✓ *Armatures de chaînage*

La section calculée doit reprendre un effort $R = 25\%R_{max}$.

$$A_c = \frac{0.25 R_{max}}{\sigma_s}$$

✓ *Armatures de profondeur*

Pour limiter la propagation d'éventuelles fissures ; on dispose des armatures

La section calculée doit reprendre un effort de : $R = 0,125 \times R_{max}$.

$$A_h = \frac{0.125 R_{max}}{\sigma_s}$$

✓ *Armatures de diffusion*

- Ferrailage de surface (frettes sup) :

Ce sont des armatures capables de reprendre : 4%Rmax.

$$A_s = \frac{0.04 R_{max}}{\sigma_s}$$

Placés à la face supérieure des dés d'appuis.

- Ferrailage inférieur ou d'éclatement « frettes inf » :
Ce sont des armatures capables de reprendre : 10%Rmax.

Les frettes sont disposées sur une profondeur Z tel que :

$$\frac{h}{3} < Z < h$$

Conclusion

- Les appareils d'appui en élastomère fretté sont caractérisés par leurs dimensions (largeur, longueur, épaisseur), le nombre de feuillets (frettes), la charge admissible.
- Les différents types d'appareil d'appui en élastomère fretté sont :
 - ✓ Type A : Appareil d'appui à une seule frette enrobée ;
 - ✓ Type B : Appareil d'appui comportant au moins deux frettes et entièrement enrobé ;
 - ✓ Type C : Appareil d'appui comportant des plaques métalliques ;
 - ✓ Type D : Appareil d'appui glissant comportant en surface une feuille de PTFE ;
 - ✓ Type E : Appareil d'appui glissant comportant en surface une plaque métallique en contact avec la feuille de PTFE d'un plan de glissement ;
 - ✓ Type F : Appareil d'appui non fretté et appareil d'appui en bande.

Conclusion générale

L'objectif de ce travail est de définir les différents types des appareils d'appui, leurs fonctions et les notions sur les causes et la nature des désordres, et, de baser surtout sur les appareils d'appui en élastomère fretté.

Un appareil d'appui de pont est un élément de l'ouvrage placé entre le tablier et les appuis, dont le rôle est de transmettre les actions verticales dues à la charge permanente et aux charges d'exploitation, routières ou ferroviaires, et de permettre des mouvements de rotation ou de translation.

A l'issue de ce travail on peut conclure que :

- Les appareils d'appuis sont des équipements de l'ouvrage, ils sont placés entre les poutres et les dés d'appuis, leur rôle est de :
 - ✓ De transmettre les efforts à l'infrastructure ;
 - ✓ D'aborder par la rotation et distorsion, les déformations et translations de la structure.
- Il existe essentiellement quatre types d'appareils d'appui qui sont :
 - ✓ Les appareils d'appui métallique ;
 - ✓ Les appareils d'appui en élastomère fretté ;
 - ✓ Les appareils d'appui à pot ;
 - ✓ Les appareils d'appui en béton.
- Quel que soit l'appareil d'appui, les désordres ont pour origine l'une des causes suivantes :
 - ✓ défaut de conception et/ou de dimensionnement ;
 - ✓ défaut de comportement et/ou durabilité insuffisante des matériaux constitutifs ;
 - ✓ désordres consécutifs à des défauts de pose ;
 - ✓ des anomalies de fonctionnement de la structure...
- Les appareils d'appui en élastomère fretté sont caractérisés par leurs dimensions (largeur, longueur, épaisseur), le nombre de feuillettes (frettes), la charge admissible.
- Les différents types d'appareil d'appui en élastomère fretté sont :
 - ✓ Type A : Appareil d'appui à une seule frette enrobée ;
 - ✓ Type B : Appareil d'appui comportant au moins deux frettes et entièrement enrobé ;
 - ✓ Type C : Appareil d'appui comportant des plaques métalliques ;
 - ✓ Type D : Appareil d'appui glissant comportant en surface une feuille de PTFE ;
 - ✓ Type E : Appareil d'appui glissant comportant en surface une plaque métallique en contact avec la feuille de PTFE d'un plan de glissement ;
 - ✓ Type F : Appareil d'appui non fretté et appareil d'appui en bande.

Références Bibliographiques

- ✓ FAEQ 5 GUIDES STRRES : Entretien et réparation des équipements d'ouvrages.
- ✓ Fiche n°VIII-1 : Appareils d'appui en élastomère fretté. Révision : octobre 2009.
- ✓ Guide technique SETRA : Appareils d'appui en élastomère fretté. Utilisation sur les ponts, viaducs et structures similaires.
- ✓ Guide technique SETRA : Appareils d'appui à pot. Utilisation sur les ponts, viaducs et structures similaires.
- ✓ Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art. Deuxième partie. Fascicule 13.