

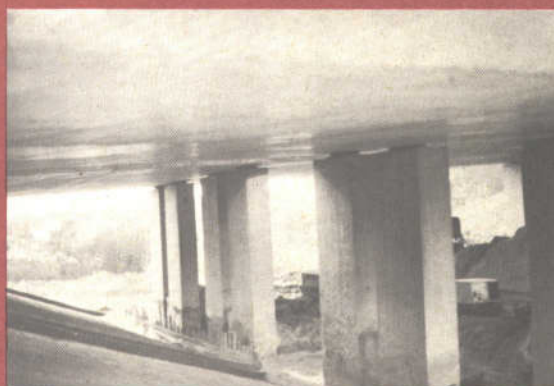
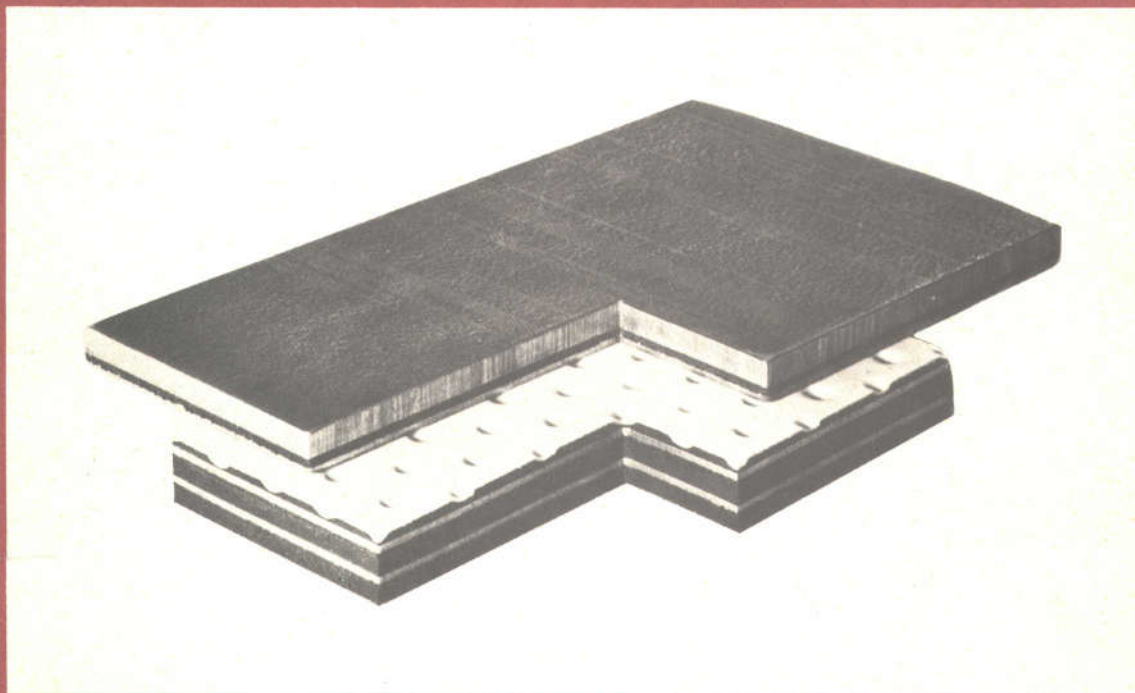
MOULIN-TEISSEIRE

# appareils d'appui en élastomère fretté

# SETRA

DIVISION DES  
OUVRAGES D'ART-A

Bulletin technique n° 4  
Edition 1974



MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT  
Direction des routes et de la circulation routière

Ministère de l'Équipement  
**SERVICE D'ÉTUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES**

46, AVENUE ARISTIDE BRIAND - 92 - BAGNEUX - TÉL. 655.42.42

# **APPAREILS D'APPUI EN ÉLASTOMÈRE FRETTÉ**

Bulletin rédigé par Mr. B. DENEUVILLE Ingénieur des Travaux Publics de l'Etat à la Division des  
Ouvrages d'Art A. du SETRA.

Décembre 1974

## AVANT-PROPOS

La nouvelle édition du Bulletin Technique n° 4 qui modifie et complète la précédente, datée de Novembre 1967, a été motivée par :

- le souci d'adapter les méthodes de calcul aux principes de sécurité retenus dans les directives communes relatives au calcul des constructions (circulaire n° 71-145 du 13 décembre 1971),
- le désir de simplifier et d'unifier les spécifications retenues jusqu'à présent par différents Maîtres d'ouvrages, le Ministère de l'Équipement et la S.N.C.F. en particulier,
- les modifications et novations intervenues ces dernières années sur les fabrications.

## SOMMAIRE

	<b>Pages</b>
CHAPITRE I – Indications générales .....	7
CHAPITRE II – Matériaux - Fabrication .....	9
CHAPITRE III – Méthodes de calcul - Dimensionnement des appareils d'appui .....	16
CHAPITRE IV – Contrôle des appareils d'appui en élastomère fretté .....	27
CHAPITRE V – Conception - Mise en œuvre .....	36
CHAPITRE VI – Surveillance - Remplacement .....	42
CHAPITRE VII – Les appareils d'appui spéciaux .....	46
CHAPITRE VIII – Exemple de dimensionnement - Calcul de la répartition des efforts horizontaux dans un ouvrage .....	53

## I – INDICATIONS GÉNÉRALES

### 1.1. - Domaine d'emploi

Les règles énoncées dans ce bulletin technique concernent l'emploi d'appareils d'appui constitués de plaques d'élastomère. Ces règles ne sont applicables qu'aux appareils constitués d'un ou plusieurs feuillets d'élastomère adhésés par vulcanisation à des frettes de métal et éventuellement équipés d'une plaque de glissement. Toutefois, les appareils d'appui spéciaux mentionnés au présent bulletin et qui ne répondent pas à la définition précédente se verront appliquer les mêmes règles, pour autant qu'elles ne sont pas contraires aux spécifications particulières propres à ceux-ci.

### 1.2. - Notations - Symboles

Les notations sont, dans l'ensemble, celles proposées par l'Office de Recherches et d'Essais de l'Union Internationale des Chemins de Fer (O.R.E.). Elles en diffèrent légèrement cependant, pour tenir compte des essais d'homogénéisation et d'unification actuellement entrepris aux plans national et international.

#### – *Caractéristiques mécaniques*

- G – Module d'élasticité transversal.
- $\sigma_e$  – Limite d'élasticité en traction de l'acier constitutif des frettes.
- Sh A – Dureté Shore A.
- f – Coefficient de frottement.

#### – *Caractéristiques géométriques*

- n – Nombre de feuillets élémentaires d'élastomère.
- a – Dimension en plan du côté parallèle à l'axe longitudinal de l'ouvrage.
- b – Dimension en plan du côté perpendiculaire à l'axe longitudinal de l'ouvrage.
- t – Epaisseur nominale d'un feuillet élémentaire d'élastomère.
- T – Epaisseur nominale totale de l'élastomère.
- h – Hauteur nominale totale de l'appareil d'appui.
- $\beta$  – Coefficient de forme.
- $t_s$  – Epaisseur d'une frette intermédiaire.

– *Actions - Sollicitations*

$Q_{L_1}$  – Valeurs caractéristiques de l'ensemble des actions de longue durée agissant dans le même sens que les actions de courte durée ou que l'action accidentelle intervenant dans la même combinaison.

$Q_{L_2}$  – Valeurs caractéristiques de l'ensemble des actions de longue durée agissant en sens inverse.

$Q_{c_i}$  – Valeurs caractéristiques des actions de courte durée ou accidentelles.

$S(\gamma_Q \cdot Q)$  – Sollicitation due à une action de calcul  $\gamma_Q \cdot Q$ .

$N$  – Effort normal appliqué à l'appareil d'appui.

$H$  – Effort horizontal appliqué à l'appareil d'appui.

$M$  – Moment créé par une rotation.

– *Contraintes*

$\sigma$  – Contrainte de compression.

$\sigma_m$  – Contrainte moyenne de compression.

$\tau$  – Contrainte de cisaillement.

$\tau_m$  – Contrainte moyenne de cisaillement.

$\tau_N$  – Contrainte de cisaillement due à un effort normal.

$\tau_H$  – Contrainte de cisaillement due à un effort horizontal.

$\tau_\alpha$  – Contrainte de cisaillement due à une rotation d'une face d'un feuillet par rapport à l'autre face.

– *Déformations - Déplacements*

$e_T$  – Déformation, en compression, de l'appareil d'appui.

$e_t$  – Déformation, en compression, d'un feuillet élémentaire.

$\gamma$  – Angle de déformation dû au cisaillement (distorsion).

$\gamma_1$  – Angle de déformation dû au cisaillement sous l'effet d'actions lentes (dilatation, retrait, fluage).

$\gamma_2$  – Angle de déformation dû au cisaillement sous l'effet d'un effort dynamique (freinage, vent).

$u_1$  – Déformation horizontale, lente, de l'ensemble de l'appareil.

$u_2$  – Déformation horizontale, sous effort dynamique, de l'ensemble de l'appareil.

$\alpha_T$  – Angle de rotation de l'appareil d'appui.

$\alpha_t$  – Angle de rotation d'un feuillet élémentaire.

## II - MATÉRIAUX - FABRICATION

### 2.1. - Les matériaux

#### 2.1.1. Elastomère

L'élastomère utilisé pour la fabrication des appareils d'appui peut être soit d'origine végétale, le latex, et le produit utilisé est alors un polymère de l'isoprène (polyisoprène), soit d'origine synthétique et dans ce cas le composé est généralement un polymère du chloroprène (polychloroprène).

Il existe plusieurs formules qui, sur le marché, portent des noms de marque : c'est le cas du « Néoprène » (groupe Du Pont de Nemours), et du « Butachlor » (groupe Ugine). L'usage fait que très souvent le terme Néoprène est retenu pour désigner l'ensemble des polymères du chloroprène. Cette imprécision est due au fait que le Néoprène est le produit actuellement utilisé en France pour la fabrication des appareils d'appui.

Le polychloroprène a été choisi pour ses qualités de résistance au vieillissement, à l'ozone de l'atmosphère et à la combustion (pour des températures n'excédant pas 400°). Son inertie chimique lui permet de résister à la dégradation due aux matières organiques et chimiques sans qu'il perde son pouvoir d'élasticité et d'allongement.

Deux qualités sont commercialisées en France, en fonction de leur destination :

- la qualité « Ponts-Rails » : utilisée par la S.N.C.F. pour les ponts-rails uniquement,
- la qualité « Ponts et Chaussées » : utilisée pour l'ensemble des ponts-routiers.

Les méthodes de calcul et de dimensionnement sont identiques pour les deux qualités, par contre les caractéristiques mécaniques et physiques diffèrent. Ces caractéristiques sont données au chapitre IV « Essais - Contrôle - Réception ».

Il convient de noter dès à présent que les produits régénérés ne sont pas admis pour la fabrication des appareils d'appui.

#### 2.1.2. Frettes

Pour les appuis courants, les frettes sont en acier doux, de qualité E 24-1. Toutefois, lorsque les appuis sont destinés à fonctionner en atmosphère corrosive, telle que l'atmosphère marine, il est recommandé d'utiliser pour les frettes un acier inoxydable.

Les frettes sont solidarisées au néoprène par vulcanisation. Les autres méthodes, le collage en particulier, ne sont pas admises.

Quelque soit le matériau utilisé, l'épaisseur des frettes ne pourra être inférieure à 1 mm.

#### 2.1.3. P.T.F.E.

Lorsque les appareils d'appui sont glissants, ils possèdent une feuille de polytétrafluoréthylène (P.T.F.E.) fixée au bloc de l'élastomère fretté. Le glissement se produit entre cette feuille et la face polie d'une plaque métallique.

Plusieurs marques (Téflon, Gaflon, ...) assurent la commercialisation du P.T.F.E. Le produit utilisé pour les appareils glissants doit être pur (P.T.F.E. blanc), exempt de toutes charges ou matériaux régénérés, et ne doit pas avoir été récomprimé.

Ce matériau a été choisi en fonction de ses nombreuses qualités, dont sa bonne résistance sous efforts de compression importants et sa grande inertie chimique. De plus, le coefficient de frottement P.T.F.E. - Métal a la propriété de diminuer lorsque l'effort normal appliqué sur le plan de glissement augmente.

De nombreuses recherches ont été engagées en vue de diminuer la valeur du coefficient de frottement. Elles conduisent dans la plupart des cas à modifier la composition du P.T.F.E. par adjonction de fillers tels que la poudre de verre, le carbone, le graphite ou le molybdène. D'autres méthodes consistent à utiliser soit un P.T.F.E. fibreux, soit un métal de base poreux imprégné, le bronze en général. D'après les essais réalisés en Laboratoire, l'ensemble de ces produits présente un coefficient de frottement sensiblement plus faible que celui du P.T.F.E. pur. Mais leur tenue en service prolongé, dans des conditions réelles d'exploitation, est assez aléatoire. C'est pour cette raison qu'ils ne sont pas utilisés actuellement.

Par contre, il est possible d'utiliser des graisses à base de silicone, pour diminuer le coefficient de frottement. Cette solution présente un intérêt surtout pour les premiers temps de fonctionnement de l'appareil. Il est en effet reconnu que le coefficient de frottement d'un complexe P.T.F.E. - plaque métallique est plus important au cours des premiers cycles que lors des suivants. Les graisses au silicone doivent garder leur efficacité aux basses températures, jusque - 30° C à - 35° C, et ne doivent pas se résinifier. Pour prolonger l'effet de lubrification, certaines feuilles de P.T.F.E. présentent sur leur face de frottement des creux destinés à retenir le lubrifiant. Ces incrustations peuvent être formées par pression à froid ou à chaud (environ 200°), ou réalisées au cours du montage.

Les feuilles de P.T.F.E. peuvent être adhésivées à l'élastomère de l'appui lors de la vulcanisation, ou fixées par collage à l'aide d'un mastic à base de résines époxydiques. Lorsque les plaques-mères sont destinées à la réalisation d'appareils d'appui glissants, une feuille de P.T.F.E. est collée à chaud, en fin de fabrication. Enfin, pour quelques appareils d'appui spéciaux, les feuilles de P.T.F.E. sont emboîtées dans la tôle constituant la plaque de glissement. Une grande précision est nécessaire dans ce cas pour réaliser l'assemblage et éviter, par la suite, le soulèvement des feuilles hors de leur réservation.

#### 2.1.4. Plaque de glissement

Le système généralement utilisé en France est constitué d'une tôle en acier inoxydable, d'une épaisseur minimum de 1 mm, fixée sur une plaque en acier doux dont l'épaisseur varie en fonction de son aire.

Deux procédés sont employés pour fixer la tôle inox sur la plaque d'acier doux. Dans le premier procédé, la tôle est collée à froid sur la plaque, au moyen d'un film de résine époxydique ; la fixation peut être complétée par un vissage ou un soudage périphérique. Dans le second procédé, la tôle et la plaque sont liaisonnées par interposition d'une feuille mince d'élastomère spécial, à dureté élevée. L'adhésion du complexe est obtenue par vulcanisation.

La surface de glissement peut également être réalisée en utilisant une plaque d'acier revêtue d'une couche de chrome dur dont l'épaisseur ne doit pas être inférieure à 100  $\mu$ . Comme la couche de chrome dur est susceptible d'être attaquée par les ions de chlore en solution acide, l'emploi de ce système doit être évité dans les régions industrielles. En tout état de cause, chaque plaque chromée doit être contrôlée au ferroxyle. Les difficultés rencontrées pour réaliser correctement cette technique font que le procédé est rarement utilisé, à l'heure actuelle.

On peut enfin citer un système exploité à l'étranger. Le plan de glissement est assuré par une plaque de résine d'acétal polyoxyméthylène (P.O.M.), de 2 mm d'épaisseur, fixée à une plaque d'acier par soudage périphérique.



### 2.1.5. Plaques-mères des appuis en élastomère fretté

Le matériau de base est obtenu en faisant subir une série de transformations au matériau brut malaxé avec différentes charges, inertes ou renforçantes. Après traitement, le produit se présente sous forme de feuilles. Celles-ci sont empilées avec les frettes métalliques, préalablement sablées et traitées, dans des moules dont les dimensions correspondent à celles des plaques-mères. L'ensemble est alors comprimé et vulcanisé. Les plus grandes plaques-mères actuellement fabriquées présentent les dimensions suivantes : 900 x 1 000 mm et 700 x 1 400 mm.

Les appareils d'appui sont obtenus par découpage mécanique des plaques-mères. Toutes les dimensions intermédiaires peuvent être obtenues mais il est généralement préférable de retenir les sous-multiples des dimensions des plaques-mères dont disposent les fabricants.

Après découpage, les tranches qui laissent apparaître les tôles de frettage sont revêtues d'une protection.

## 2.2. - Les fabrications actuelles

Les fabrications actuelles sont nombreuses et couvertes par des brevets. Il est difficile d'arrêter avec précision la liste complète des produits commercialisables en raison de l'évolution constante du marché. Mais il paraît cependant intéressant de présenter une gamme suffisamment étendue de types d'appareils permettant d'effectuer un choix adapté aux besoins.

### 2.2.1. Les appareils d'appui en élastomère fretté

Ces appareils, placés entre une structure et ses supports, sont destinés à transmettre les charges normales à leur plan. Ils permettent en même temps d'absorber respectivement par rotation et distorsion les déformations et translations de la structure, lorsqu'elles sont limitées.

On trouvera ci-après différentes productions (fig. 1, 2 et 3). Les dimensions indiquées sont celles qu'il convient de retenir dans les cas courants.

Les plus grandes plaques-mères dont disposent les deux fabricants (900 x 1 000 et 700 x 1 400) permettent d'obtenir une gamme déjà importante d'appareils. Il est recommandé de choisir des sous-multiples de ces dimensions :

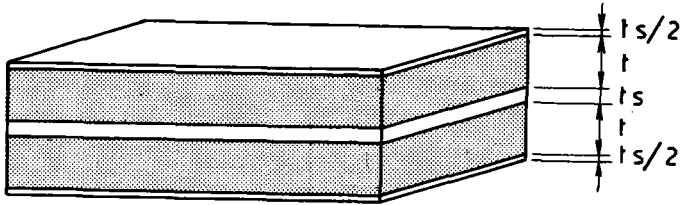
(EX. : 100x150 - 150x250 - 200x300 - 250x300 - 250x450 - 300x500 - 450x500 - 500x900 -  
100x175 - 175x200 - 175x350 - 200x350 - 250x350 - 350x350 - 350x700 - 700x700 -

D'autres dimensions peuvent être choisies. Les projeteurs auront à se procurer, le cas échéant, la gamme complète des fabrications. Il faut toutefois préciser que les appareils susceptibles de présenter des dimensions supérieures à 500x900 ou 700x700 doivent être utilisés avec précautions. Pour de tels appareils, il n'est pas aisé d'obtenir une répartition uniforme des efforts.

STUP (procédé FREYSSINET)

G = 0,8 MPa

Dureté Shore A : 60



$$T = nt$$

- Frette intermédiaire = ts
- Frettes extérieures = ts/2
- Feuillet d'élastomère = t

t : Epaisseur de l'élas- tomère	Acier ordinaire		Acier inox	
	Frettes exté- rieures	Frettes intermé- diaires	Frettes exté- rieures	Frettes intermé- diaires
8	2	1	2	1
10	1,5	3	3	1,5
12	3	1,5	3	1,5
20	4	2	4	2

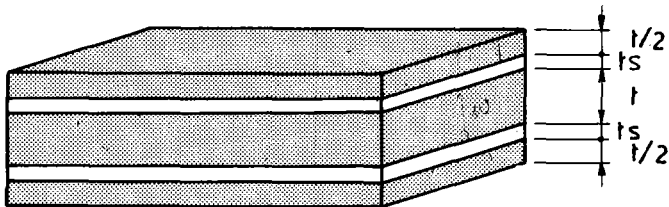
Les épaisseurs sont exprimées en mm.

Figure 1

CIPEC

G = 0,8 MPa

Dureté Shore A : 60



$$T = (n-1)t + 2 \frac{t}{2} = nt$$

t : Epaisseur de l'élas- tomère	Acier ordinaire	Acier inox
	Frettes intermédiaires	Frettes intermédiaires
8	2	2
10	3	3
12	3	3
20	4	4

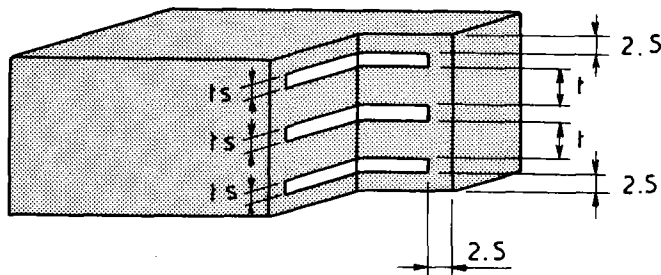
Figure 2

Les deux demi-feuillets extérieurs, d'épaisseur t/2, comptent pour un feuillet élémentaire d'épaisseur t.

GUMBA

G = 1 MPa

Dureté Shore A : 60



$$T = nt + 5 \text{ mm}$$

Figure 3

Dimensions maxi en plan	t : épaisseur de l'élastomère	ts : épaisseur des frettes
100x150 150x200	5	2
200x250 200x300 200x400 250x400 300x400	8	3
350x450 400x500 450x600 φ 500	11	4
φ 600 φ 700 φ 800	15	5

Les épaisseurs sont exprimées en mm.

Les dimensions indiquées sont les dimensions standard courantes.

On notera qu'il existe pour cette production, deux formes d'appareils : rectangulaire et circulaire. La seconde forme est peu employée.

### 2.2.2. Les appareils d'appui glissants en élastomère fretté

On ne vise ici que les appareils glissants se composant d'une plaque de glissement dont la face inférieure glisse sur la face supérieure en P.T.F.E. d'un appareil en élastomère fretté.

De tels appuis sont conçus pour permettre de grands déplacements horizontaux. Les efforts horizontaux sont limités à environ 2 à 6 % des efforts verticaux.

L'appareil peut toujours se déformer par compression et rotation. Il est surtout utilisé pour réaliser les appuis mobiles d'ouvrages. On les utilise aussi fréquemment pour les lancements d'ouvrages.

Il y a lieu de remarquer que la plaque de glissement est posée sur l'appui en élastomère, sa face polie dirigée vers le bas en contact avec la feuille de P.T.F.E. Cette feuille ne débord jamais de la plaque de glissement, même dans les positions extrêmes, obtenues avec les plus grands déplacements.

Deux types d'appareils glissants sont indiqués sur les figures 4 et 5. Il est recommandé d'équiper ces appareils d'appui d'un dispositif susceptible de protéger les plans de glissement contre les souillures lors de la mise en œuvre et en service.

### CIPEC

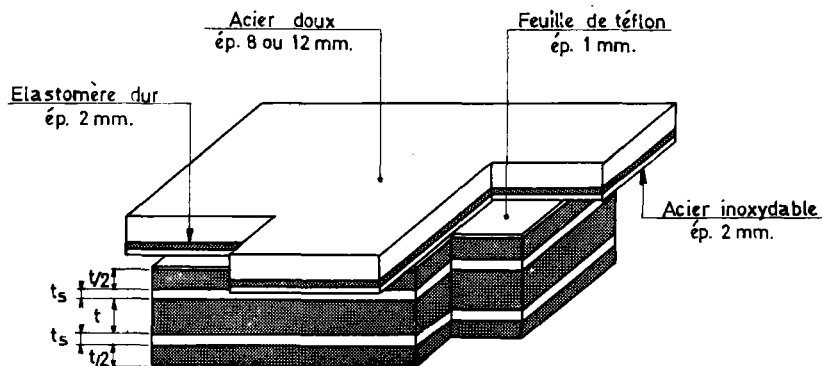


Figure 4

### STUP

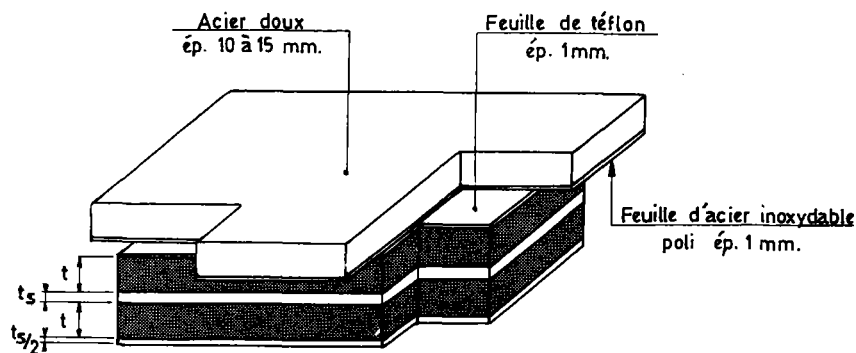


Figure 5

#### 2.2.3. Les appareils en élastomère fretté, butés ou fixes

Lorsque le cheminement d'un appareil d'appui est à craindre, il est possible d'équiper cet appareil de butées. Ces dispositifs doivent interdire uniquement le cheminement, sans empêcher les déformations de se produire : écrasement, distorsion et rotation. La figure 6 montre les dispositions susceptibles d'être retenues.

Il peut être nécessaire d'éviter la distorsion des appareils d'appui. C'est le cas notamment lorsqu'on désire réaliser une ligne d'appuis fixes d'ouvrage d'art. Les appareils en élastomère fretté sont équipés d'une structure métallique rigide empêchant les translations horizontales du tablier, tout en permettant les écrasements et les rotations de l'appareil (figure 7). La figure 8 montre les dispositifs susceptibles d'être adoptés.

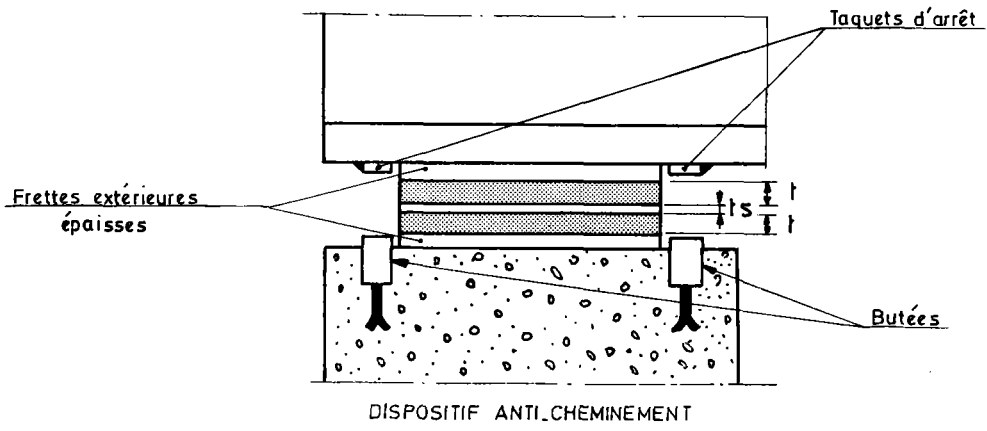
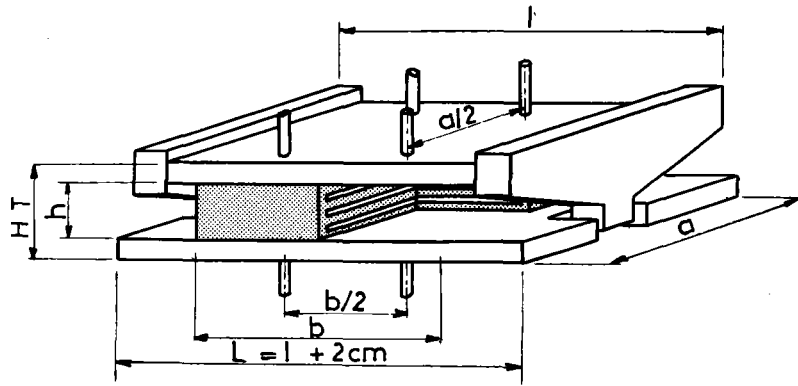


Figure 6



APPAREIL "HERCULE" FABRIQUE PAR G.H.H (ALLEMAGNE)

Figure 7

APPAREILS D'APPUI FIXES A TAQUETS  
(DESSIN DE PRINCIPE S.N.C.F.)

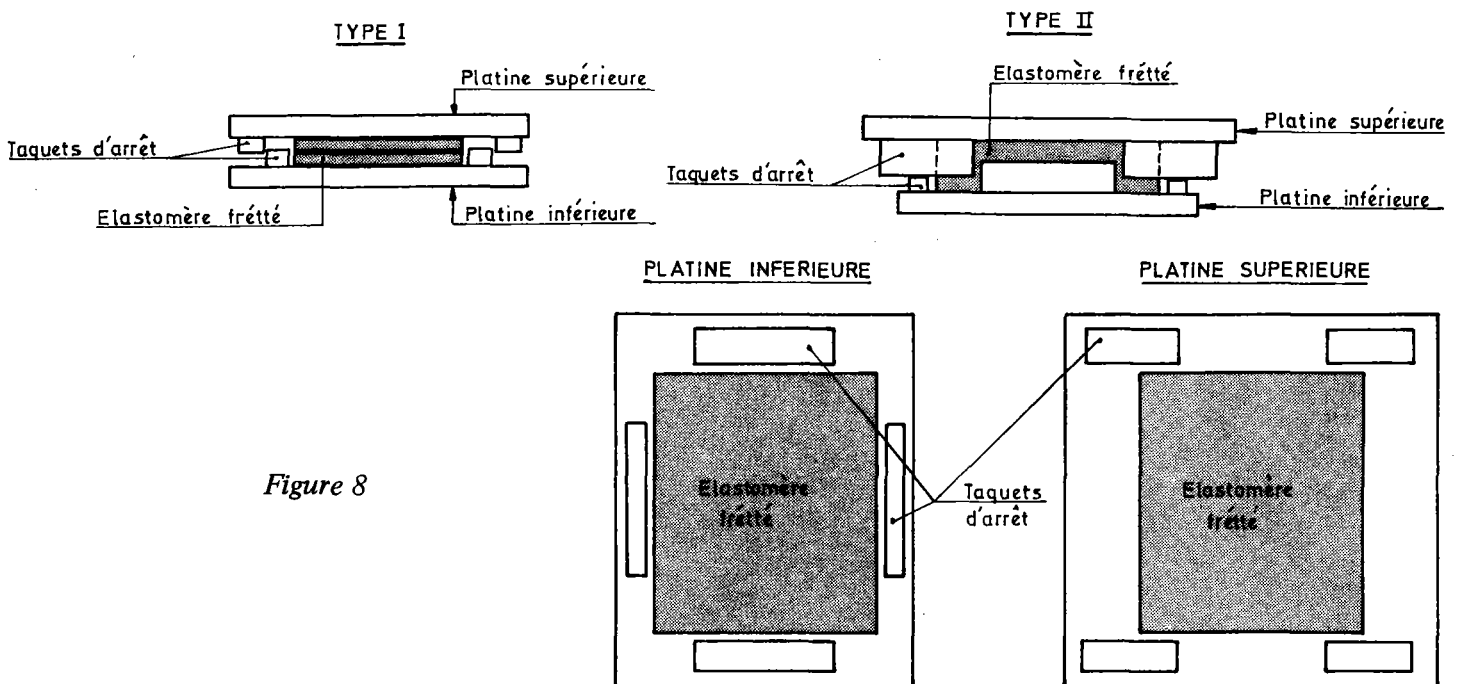


Figure 8

### III - MÉTHODES DE CALCUL - DIMENSIONNEMENT DES APPAREILS D'APPUI

Les sollicitations de calcul sont déterminées de la même manière pour les différents types d'appareils. En revanche les méthodes de calcul utilisées varient selon que les appareils sont en élastomère fretté ou sont des appareils spéciaux composés d'élastomère. Les appareils d'appui glissants peuvent être considérés comme des applications particulières de l'une ou l'autre de ces deux catégories.

#### 3.1. - Sollicitations de calcul

Pour la détermination des appareils d'appui, on considère les sollicitations de calcul vis-à-vis des états limites d'utilisation.

Elles sont de la forme :

$$S(Q_{L_1}) + S(Q_{L_2}) + S(\gamma_{Q_c} \cdot Q_c)$$

avec :

- $Q_{L_1}$  : les valeurs caractéristiques maximales de l'ensemble des actions de longue durée agissant dans le même sens que les actions de courte durée ou que l'action accidentelle intervenant dans la même combinaison.
- $Q_{L_2}$  : les valeurs caractéristiques minimales de l'ensemble des actions de longue durée agissant en sens inverse.
- $Q_c$  : les valeurs caractéristiques des actions de courte durée ou accidentelles.

On prend  $\gamma_{Q_c} = 1$  sauf pour les charges routières non exceptionnelles définies par le titre II du fascicule 61, pour lesquelles on prend :  $\gamma_{Q_c} = 1,2$ .

Le tableau ci-joint résume les trois principales combinaisons à utiliser pour la vérification des appareils d'appui. Certains cas exceptionnels (ouvrage en cours d'exécution, par exemple) peuvent éventuellement faire intervenir des combinaisons complémentaires. Il est alors conseillé aux projeteurs de se reporter à l'instruction provisoire intitulée « Directives Communes Relatives au Calcul des Constructions » annexée à la circulaire n° 71.145 du 13 Décembre 1971 (Ministère de l'Équipement et du Logement).

**Nota :** L'attention est attirée sur le fait que les structures en Béton Armé ou Béton Précontraint peuvent être justifiées suivant d'autres méthodes dans l'attente de l'application de nouveaux textes ; en particulier pour le Béton Précontraint les coefficients de prise en compte, pour les charges routières, sont actuellement de 1,1.

Dans la période transitoire actuelle, les projeteurs peuvent donc être amenés à justifier les autres parties d'ouvrage (tablier et appuis) avec des valeurs de sollicitations légèrement différentes.

	Actions de longue durée		Actions de courte durée ou accidentelles			
	Charge permanente	Température		Charges d'exploitation	Vent	Choc de Bateau
		Longue durée	Courte durée			
X Combinaison I *	X	X		X		
X Combinaison II **	X		X			
Combinaison III	X	X			X	
Combinaison IV (éventuellement)	X	X				X

\* (cf. chapitre VIII). Cette combinaison peut comprendre plusieurs cas de charges d'exploitation.

\*\* Pour certains ouvrages particuliers, il est nécessaire de faire intervenir en même temps que les actions de courte durée de la température, l'action des charges d'exploitation avec une valeur de longue durée (cf. « Directives Communes Relatives au Calcul des Constructions »).

Les valeurs caractéristiques, maximale et minimale, des actions dues aux variations de la température correspondent dans les cas courants à des dilatations linéaires relatives de :

$$\left[ \begin{array}{l} 3 \cdot 10^{-4} \text{ et } - 4 \cdot 10^{-4} \text{ pour les actions de courte durée} \\ 2 \cdot 10^{-4} \text{ et } - 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ pour les actions de longue durée} \end{array} \right.$$

Ces valeurs sont applicables au métal, au béton armé et au béton précontraint.

*Rechercher pour -3 10<sup>-4</sup> I  
- 2,5 10<sup>-4</sup> II*

### 3.2. - Appareils d'appui en élastomère fretté

#### 3.2.1. Principes

Le dimensionnement des appareils est essentiellement basé sur la limitation des contraintes de cisaillement qui se développent dans l'élastomère au niveau des plans de frettage et qui sont dues aux efforts appliqués ou aux déformations imposées à l'appareil. La détermination de ces contraintes a fait l'objet de plusieurs théories qui toutes se basent sur l'incompressibilité de l'élastomère. Les expressions permettant de calculer la valeur des contraintes sont fonction du module de cisaillement G. Les valeurs de G à prendre en compte sont données au chapitre IV.

a) Compression COMPARE

Sous un effort normal, des contraintes de cisaillement  $\tau_N$  apparaissent au niveau du plan de frettage, suivant une répartition conforme à celle indiquée sur la figure 9. Les contraintes maximales se développent sur les bords de chaque feuillet et plus précisément au milieu des grands côtés. Ceci explique que ce soit en ces endroits que peuvent apparaître les premières dégradations d'un appareil. La valeur maximale de cette contrainte est égale à :

$$\tau_N = \frac{1,5 \sigma_m}{\beta} \quad \text{où} \quad \beta = \frac{ab}{2t(a+b)} \quad \text{et} \quad \sigma_m = \frac{N}{ab}$$

au milieu du côté b, dans le cas général où :

$$a < b$$

Le coefficient de forme  $\beta$  est le quotient de l'aire en plan d'un feuillet par son aire latérale.

Au début de sa mise en charge, sous des contraintes moyennes de compression  $\sigma_m$  atteignant au maximum 3 MPa (1), l'appui subit un écrasement d'adaptation, évalué forfaitairement à 1 mm. Lorsque  $\sigma_m$  est supérieur à 3 MPa, la valeur d'écrasement supplémentaire peut être calculée à l'aide de la formule :

$$\Delta e_T = K_1 n \frac{t^3}{a^2} \frac{(\sigma_m - 3)}{G} \quad (\sigma_m \text{ exprimé en MPa})$$

Les valeurs de  $K_1$  figurent au tableau donné en fin de paragraphe.

Ainsi l'écrasement total est :

$$e_T = \Delta e_T + 1 \text{ m/m}$$

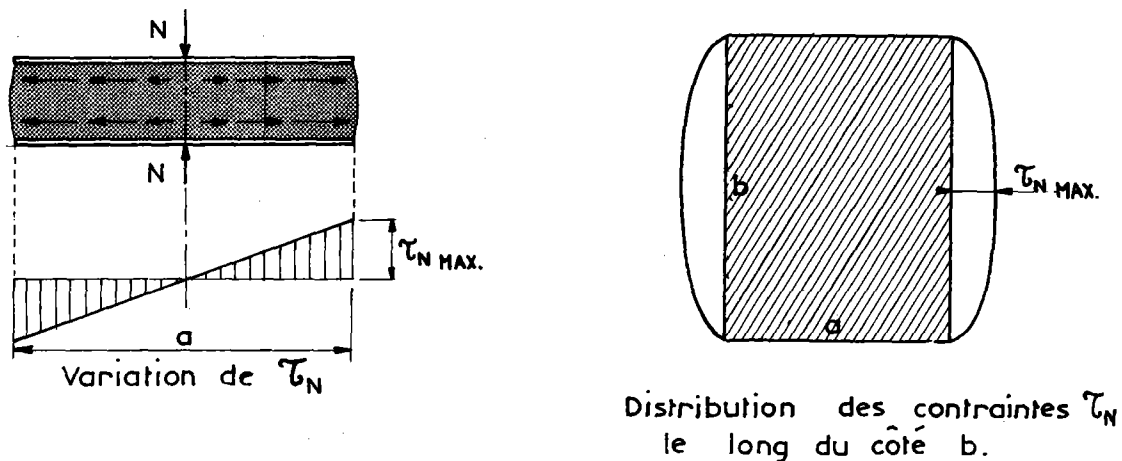


Figure 9

(1) - 1 MPa (Mégapascal) (= 1 N/mm<sup>2</sup>) équivaut à 10 bars, soit à 0,102 kgf/mm<sup>2</sup>.

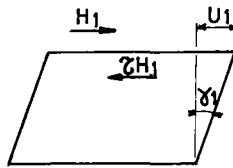


*b) Distorsion :*

Dans le cas d'une distorsion, la distribution des contraintes au niveau du plan de frettage est uniforme (Fig. 10).

Deux cas se présentent :

- la déformation  $u_1$  de l'appareil est lente (dilatation, retrait, fluage) et connue. Elle permet de déterminer l'angle de distorsion, la contrainte et l'effort correspondants :



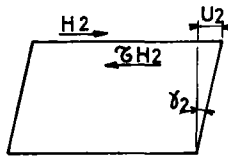
$$\text{tg } \gamma_1 = \frac{u_1}{T}$$

$$\tau_{H_1} = G \text{ tg } \gamma_1 = G \frac{u_1}{T}$$

$$H_1 = ab \tau_{H_1} = G ab \frac{u_1}{T}$$

$$T H_1 = \frac{H_1}{ab}$$

- l'appareil est soumis à un effort dynamique  $H_2$  (freinage, vent, force centrifuge)



$$\tau_{H_2} = \frac{H_2}{ab}$$

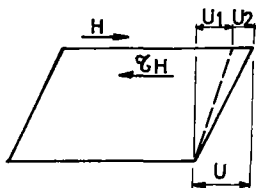
Or, dans le cas d'un effort dynamique, on constate expérimentalement que le module d'élasticité transversal vaut deux fois la valeur  $G$  correspondant à un effort statique.

$$\text{tg } \gamma_2 = \frac{\tau_{H_2}}{2G}$$

La déformation est la moitié de celle que créerait un effort statique de même valeur :

$$\frac{u_2}{T} = \text{tg } \gamma_2 = \frac{H_2}{2Gab}$$

C'est pourquoi dans les spécifications concernant les appareils d'appui on introduit une contrainte conventionnelle de calcul qui, sous effort statique seul, correspondrait à la même déformation totale :



$$u = u_1 + u_2$$

Cette contrainte conventionnelle de calcul vaut :

$$\tau_H = G \text{ tg } \gamma = \tau_{H_1} + 0,5 \tau_{H_2} = G \frac{u_1}{T} + \frac{H_2}{2ab}$$

Lorsque les déplacements s'effectuent dans deux directions, les contraintes de cisaillement s'additionnent vectoriellement.

c) Rotation :

Lorsqu'une frette, solidaire d'un feuillet, accomplit une rotation par rapport à l'autre frette solidaire du même feuillet, la répartition des contraintes de cisaillement s'établit comme indiqué à la figure 11. La contrainte maximale apparaît généralement sur les bords parallèles à l'axe de rotation et a pour valeur :

$$\tau_{\alpha} = \frac{G}{2} \left( \frac{a}{t} \right)^2 \alpha_t$$

$$\alpha_t = \frac{\alpha_T}{n}$$

est l'angle de rotation, exprimé en radian, d'un feuillet élémentaire.

La rotation d'un appareil d'appui peut provenir de la déformation due au fonctionnement de la structure. Elle peut aussi être due à un défaut initial de parallélisme entre les surfaces de contact situées de part et d'autre de l'appui.

La valeur du moment de rappel M, créé par une rotation, est calculée à l'aide de l'expression :

$$M = G \frac{\alpha_T}{n} \frac{a^5 b}{t^3} \frac{1}{K_2}$$

Les valeurs de  $K_2$  sont données au tableau de la page suivante.

Lorsque les rotations s'effectuent selon deux directions, parallèles aux côtés a et b, les contraintes  $\tau_a$  et  $\tau_b$  s'additionnent vectoriellement :

$$\tau_{\alpha,a} = \frac{G}{2} \cdot \frac{a^2}{t^2} \cdot \alpha_{t,a}$$

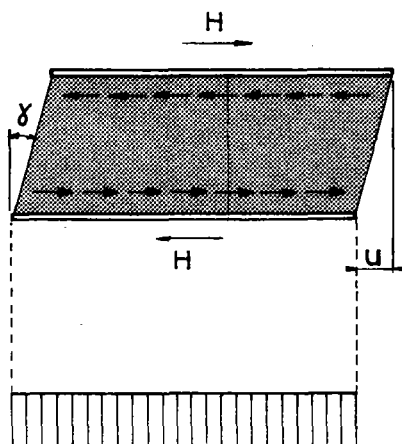
$$\tau_{\alpha,b} = \frac{G}{2} \cdot \frac{b^2}{t^2} \cdot \alpha_{t,b}$$

Il est tenu compte des défauts de pose, pour le dimensionnement de l'appareil et la détermination des contraintes. La valeur de la rotation à introduire dans les calculs est :  $\alpha_T = \alpha_0 + \alpha$ .

$\alpha$  est la rotation calculée

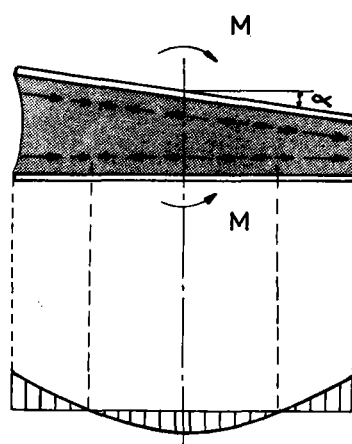
Dans les cas courants, les valeurs de  $\alpha_0$  à retenir sont :

- 1 - pour les tabliers en béton coulés en place :  $\alpha_0 = 3/1000$  rd
- 2 - pour les tabliers en béton préfabriqués :  $\alpha_0 = 10/1000$  rd
- 3 - pour les tabliers métalliques :  $\alpha_0 = 3/1000$  rd



Variation de  $\tau_H$

Figure 10



Variation de  $\tau_{\alpha}$

Figure 11

1,8

BSUR

On pourra adopter des valeurs légèrement inférieures à celles estimées ci-dessus, lorsqu'on pourra les justifier par l'emploi de dispositions constructives très soignées.

b/a	0,5	0,75	1	1,2	1,25	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,5	10	∞
$K_1$	5,83	3,28	2,37	2,01	1,94	1,88	1,78	1,7	1,64	1,58	1,53	1,49	1,46	1,34	1,07	1
$K_2$	136,7	100,0	86,2	80,4	79,3	78,4	76,7	75,3	74,1	73,1	72,2	71,5	70,8	68,3	61,9	60

### 3.2.2. Prescriptions

#### 3.2.2.1. Limitation de la contrainte de cisaillement

Les limites admises sont :

$$\tau = \tau_N + \tau_H + \tau_\alpha \leq 5 G \quad (1)$$

(On considère la somme des contraintes de cisaillement maxima bien que, en toute rigueur dans certains cas, celles-ci ne se développent pas simultanément en un même point)

$$\tau_{H_1} \leq 0,5 G$$

0,003

$$\tau_H \leq 0,7 G$$

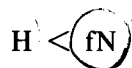
#### 3.2.2.2. Limitation de la contrainte moyenne

L'aire ab doit être telle que la contrainte moyenne de compression  $\sigma_m$  reste inférieure aux valeurs fixées par les Maîtres d'œuvres. Pour les ponts-routes, cette valeur est égale à 15 MPa. Pour les ponts-rails, on se reportera aux spécifications de la SNCF. Quant aux limitations imposées pour l'appui en béton, on se reportera au chapitre V « Conception - Mise en œuvre ».

#### 3.2.2.3. Conditions de non-cheminement et de non-glissement

Les deux conditions suivantes doivent être remplies, pour les combinaisons d'actions les plus défavorables :

$$\sigma_{m, \text{ mini}} = \frac{N^{\text{min}}}{ab} \geq 2 \text{ MPa}$$



H et N étant concomitants

(1) Pour le calcul de  $\tau_N$  et de  $\tau_\alpha$ , les charges sur les ponts-rails sont multipliées par 1,5 pour tenir compte de l'effet du phénomène de fatigue engendré par la variation rapide des charges verticales.

N : Valeur minimale de l'effort normal.

Le coefficient de frottement f prend les valeurs suivantes :

FACE = 1  $f = 0,12 + \frac{0,20}{\sigma_m}$  lorsque les faces de l'appareil, en contact avec la structure, sont des frettes métalliques.

FACE = 2  $f = 0,10 + \frac{0,60}{\sigma_m}$  lorsque les faces de l'appareil, en contact avec la structure, sont des feuillets d'élastomère.

$\sigma_m$  est exprimé en MPa

Lorsque  $1 \text{ MPa} \leq \sigma_m$ ,  $\text{mini} \leq 2 \text{ MPa}$  ou  $H > fP$ , il convient d'éviter le déplacement de l'appareil, en l'équipant de dispositifs appropriés tels que ceux décrits aux chapitres II et V.

Si  $\sigma_m < 1 \text{ MPa}$ , il faut obligatoirement prévoir des appareils spéciaux, capables de transmettre, le cas échéant, des réactions d'appui négatives.

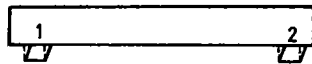
### 3.2.2.4. Conditions de non-flambement

En fonction de leurs dimensions les appareils d'appui peuvent se déformer par instabilité élastique (figure 12).

Par analogie avec les formules classiques de la résistance des matériaux, on peut penser que la stabilité élastique des appareils en élastomère fretté impose une limitation de la contrainte moyenne de compression, de la forme suivante :

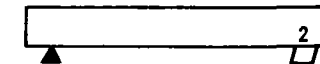
$$\sigma_m \leq k.G \frac{a^2}{T^2}$$

La valeur du coefficient k est différente selon que l'appareil d'appui est libre en tête ou non. Le premier cas correspond à des structures reposant exclusivement sur des appareils en élastomère fretté, tous identiques (schéma A), le second cas correspond à des structures présentant une ligne d'appuis fixes (schéma B).



Les appareils 1 et 2 sont libres en tête.

Schéma A



Appui fixe  
Les appareils 2 sont retenus en tête.

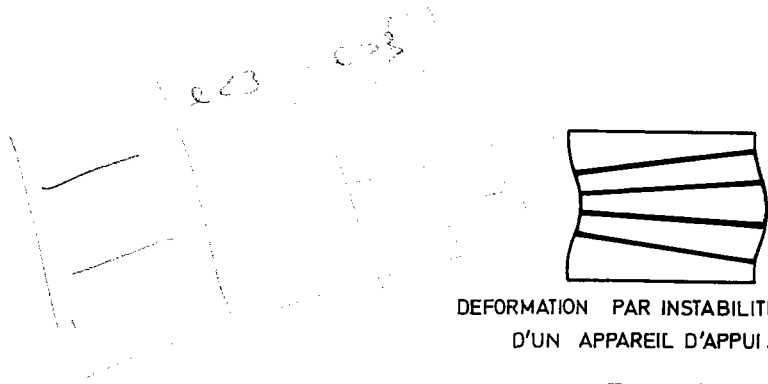
Schéma B

En l'absence d'essais suffisants, les valeurs de k ne sont pas encore suffisamment bien connues. Il convient donc de respecter la règle d'usage courant, qui consiste à limiter la hauteur nette d'élastomère en fonction de la plus petite dimension en plan de l'appareil :

$$T \leq \frac{a}{5} \text{ ou } \frac{b}{5} \text{ ou } \frac{c}{5}$$

Comme les imperfections des surfaces de pose amènent à prévoir une épaisseur minimale d'élastomère, en pratique il est recommandé de respecter la double condition :

$$\frac{a}{10} \leq T \leq \frac{a}{5} \text{ ou } \frac{b}{5} \text{ ou } \frac{c}{5}$$



DEFORMATION PAR INSTABILITE ELASTIQUE  
D'UN APPAREIL D'APPUI.

Figure 12

### 3.2.2.5. Condition de non-soulèvement

Dans tous les cas de sollicitations on doit avoir :

$$\alpha t \leq \frac{3}{\beta} \frac{t^2}{a^2} \frac{\sigma_m}{G} \quad (1)$$

### 3.2.2.6. Dimensionnement des frettes

L'épaisseur des frettes devra respecter les deux conditions suivantes :

$$t_s \geq \frac{a}{\beta} \frac{\sigma_m}{\sigma_e} \quad (1) \quad , \quad t_s \geq 2 \text{ mm}$$

- $\sigma_e = 215 \text{ MPa (22 kgf/mm}^2\text{)}$  pour l'acier E 24-1  $e < 3 \text{ mm}$
- $= 235 \text{ MPa (24 kgf/mm}^2\text{)}$  pour l'acier E 24-1  $3 \leq e \leq 30 \text{ mm}$
- $= 275 \text{ MPa (28 kgf/mm}^2\text{)}$  pour l'acier inox  $e < 3 \text{ mm}$
- $= 245 \text{ MPa (25 kgf/mm}^2\text{)}$  pour l'acier inox  $3 \leq e \leq 30 \text{ mm}$

Dans les cas usuels, on respectera les valeurs suivantes (les épaisseurs sont indiquées en mm) :

Feuillets élémentaires	Frettes intermédiaires
8	2
10	3
12	3
20	4

(1) Pour le calcul de  $\sigma_m$ , les charges sur les ponts-rails sont multipliées par 1,5.

### 3.3. - Cas particuliers des appareils d'appui glissants : Elastomère - P.T.F.E.

On se limite ici aux appareils d'appui constitués d'élastomère fretté et dont la surface de glissement est plane.

#### 3.3.1. Dimensionnement du bloc en élastomère fretté

Le dimensionnement se conduit de la même manière que dans le cas précédent. Cependant, les efforts horizontaux sont suffisamment faibles (0,25 à 0,35 MPa), pour que ces appareils soient dimensionnés en ne prenant en compte que les charges verticales et les rotations<sub>x</sub>

#### 3.3.2. Dimensionnement des plaques de glissement

a) Les dimensions en plan sont fonction des dimensions du bloc inférieur en élastomère fretté et des déplacements prévus.

Pour un déplacement  $d_a$  (fig. 13) parallèle à l'axe longitudinal de l'ouvrage :

$$A = a + |d_a^+| + |d_a^-| + 50 \text{ mm} \quad \left\{ \begin{array}{l} d_a^+ : \text{déplacement dans un sens} \\ d_a^- : \text{déplacement dans le sens opposé} \end{array} \right.$$

$$B = b + 30 \text{ mm}$$

Pour un déplacement composé ( $d_a, d_b$ ) (fig. 14)

$$A = a + |d_a^+| + |d_a^-| + 50 \text{ mm}$$

$$B = b + |d_b^+| + |d_b^-| + 50 \text{ mm}$$

### DIMENSIONNEMENT DES PLAQUES DE GLISSEMENT

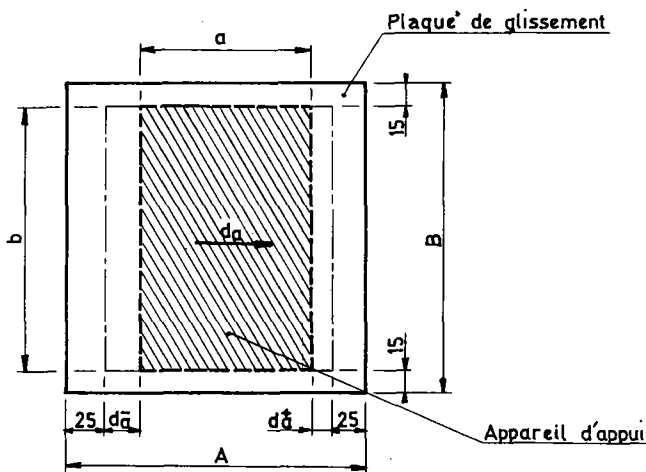


Figure 13

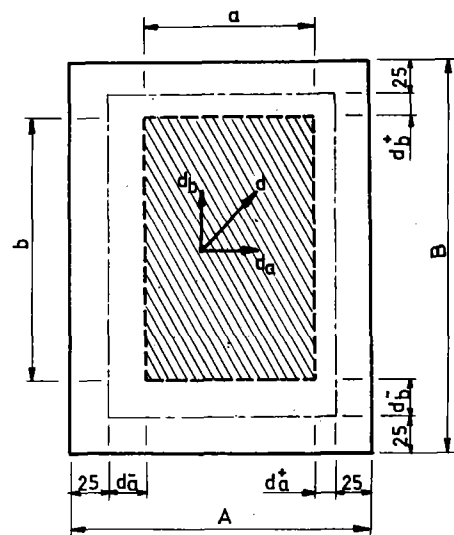


Figure 14

### b) Epaisseur

Dans l'état actuel de la technique, les épaisseurs couramment retenues pour la plaque d'acier doux varient de 8 à 15 mm (cf fig. 1 et 2, chap. II). L'épaisseur minimum ne peut être utilisée que pour les plaques de glissement dont la plus grande dimension en plan est inférieure ou égale à 500 mm.

### 3.3.3. Coefficient de frottement

L'effort horizontal susceptible de solliciter l'appui et la structure varie en fonction de nombreux paramètres : la valeur de la charge verticale, la nature des plans de glissement, la nature des efforts d'application (rapides ou lents), la température, la lubrification, la vitesse de glissement.

Les valeurs qu'il convient de retenir pour le coefficient de frottement ne peuvent donc être que des valeurs moyennes, elles-mêmes fonction de la destination de l'appareil : utilisation en stade définitif sous basses températures, utilisation en stade provisoire pour le lancement d'ouvrages.

L'effort horizontal maximum susceptible d'être transmis par l'appareil sera pris égal à :

$$H = 1,2 \cdot f \cdot N$$

Le coefficient 1,2 intègre les incertitudes qui s'attachent aux conditions de frottement. La courbe donnée (fig. 15) représente les variations de  $f$ , pour l'intervalle  $3 \text{ MPa} < \sigma_m < 16 \text{ MPa}$  :

$$f \% = \frac{1}{100} \left( 6 - \frac{\sigma_m}{4} \right) \quad (\sigma_m \text{ en MPa})$$

Lorsque les appareils d'appui glissants sont utilisés en stade provisoire, pour le lancement d'ouvrages par exemple, on peut prendre en compte des valeurs plus faibles du coefficient de frottement. A titre indicatif, la fonction suivante peut être retenue :

$$f = \frac{1}{100} \left( 3,5 - \frac{\sigma_m}{100} \right) \quad (\text{pour } 3 \text{ MPa} < \sigma_m < 16 \text{ MPa})$$

Cependant, ces valeurs ne sont obtenues que dans certaines conditions dont une abondante lubrification, sous des températures moyennes de 15 à 20° C et après un temps de « rodage » permettant plusieurs déplacements relatifs des plans de glissement. Il convient donc de ne pas sous estimer la valeur du coefficient de frottement à prendre en compte. En se référant aux travaux de M.E. Taylor (T.R.R.L. Rapport L.R. 491) (cf figure 16) on peut admettre que le coefficient de frottement augmente d'environ 80 % lorsque la température des plans de glissement décroît de 20° C à - 5° C.

### COEFFICIENT DE FROTTEMENT ACIER INOX P.T.F.E.

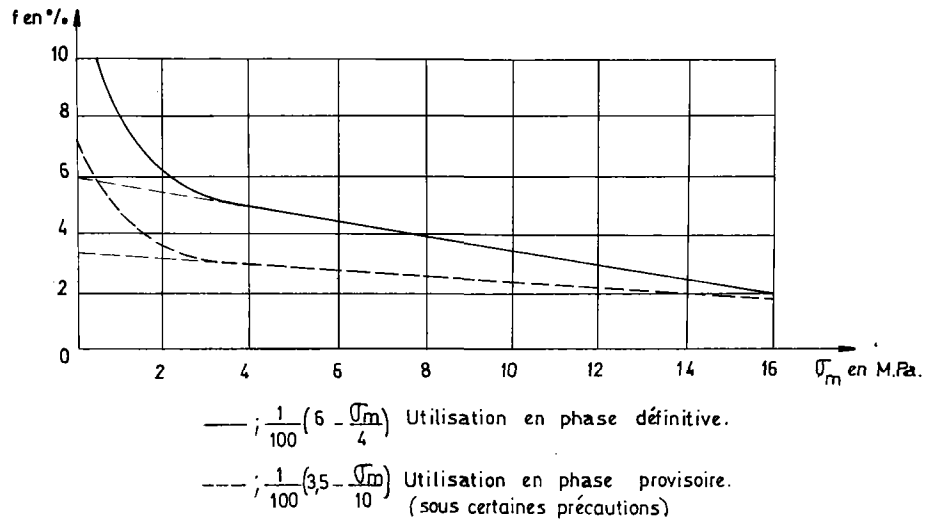


Figure 15

### VARIATION DU COEFFICIENT DE FROTTEMENT POUR DIFFERENTES TEMPERATURES

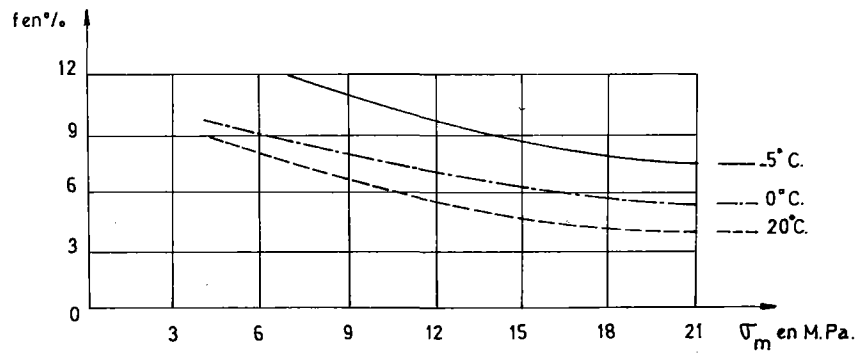


Figure 16



## IV – CONTROLE DES APPAREILS D'APPUI EN ÉLASTOMERE FRETTE

### 4.1. - Généralités

#### 4.1.1. Objet

Les spécifications traitent :

- des matériaux entrant dans la constitution des appareils d'appui de ponts et comportant l'emploi d'élastomères frettés (caoutchouc naturel ou synthétique).
- des essais relatifs à la réception de ces appareils d'appui.
- des tolérances que doivent respecter les dimensions de ceux-ci.

#### 4.1.2. Domaine de validité

La présente spécification est applicable aux seuls types d'appareils d'appui parallélépipédiques, comportant une ou plusieurs couches d'élastomère.

Les appuis constitués par de simples empilages de plaques d'appui indépendantes non solidarisées ne sont pas admis.

### 4.2. - Spécifications pour le contrôle

#### 4.2.1. Contrôle statistique

Le fabricant devra faire la preuve de la validité de sa production basée sur un contrôle statistique réalisé en usine.

Ce contrôle statistique comprend :

- des essais sur les matériaux constituant les appareils d'appui,
- des essais sur les appareils d'appui.

Pour chaque type d'appareil d'appui, le fabricant doit être à même de communiquer au Maître d'œuvre les résultats de tous les essais qui auront été réalisés au cours de la fabrication.

- a) La périodicité des essais effectués par le fournisseur doit être au minimum d'une série complète sur 3 échantillons prélevés par lot de fabrication d'appareils de même type.

Le volume maximal du lot est limité à 1 500 dm<sup>3</sup>.

- b) Le Maître d'œuvre ou son représentant autorisé peut assister, s'il le juge utile, aux essais effectués par le fournisseur.
- c) Les résultats de ces essais sont à reporter sur un registre de contrôle intérieur tenu par le fabricant avec mention du numéro d'ordre affecté à l'ensemble des essais d'un même lot et reporté de façon indélébile sur tous les éléments constituant le lot ou sur tous les appuis provenant d'un même lot.

#### 4.2.2. Contrôle de l'Administration

C'est le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées qui assurera le contrôle pour les Services du Ministère de l'Équipement. Les représentants du L.C.P.C. ont accès aux registres tenus par les fabricants et peuvent assister aux essais effectués par le fournisseur. Le contrôle de la S.N.C.F. sera assuré par son Département des Ouvrages d'Art. Les essais de contrôle seront exécutés en principe au moins 4 fois par an et porteront aussi bien sur des échantillons pris au hasard que sur la vérification des essais de contrôle statistique réalisés par le fabricant.

Le Service chargé du contrôle prélèvera chaque fois au moins un appui et fera lui-même tous les essais physiques prescrits pour le contrôle statistique.

Les essais donneront lieu à un compte-rendu contenant les données suivantes :

- a) Date de l'essai.
- b) Description des échantillons prélevés et données sur ces prélèvements.
- c) Résultats des essais sur les échantillons prélevés.
- d) Résultats du contrôle des documents de l'usine concernant le contrôle statistique.
- e) Indications que les essais de contrôle ont eu des résultats satisfaisants, ou sinon, indications des réserves formulées.

#### 4.2.3. Réception et certificat de conformité

Il n'est pas possible pour chaque marché de fourniture (sauf marché très important) de procéder à une réception comprenant l'ensemble des essais à réaliser dans le cadre d'un contrôle statistique.

Pour chaque fourniture d'appareils d'appui, il sera procédé à :

- 1° - la réception dimensionnelle de la fourniture,
- 2° - le contrôle de la présence de la marque distinctive du fabricant sur chaque appareil d'appui,
- 3° - la vérification du certificat de conformité que chaque fournisseur aura établi et signé. Ce certificat indiquera le nom du fabricant de l'élastomère, le numéro d'ordre du registre de contrôle statistique, les caractéristiques minima de l'élastomère, des frettes et de l'appareil d'appui lui-même.

Les seuls producteurs pouvant fournir un certificat de conformité sont actuellement les Sociétés suivantes :

- S.T.U.P. : pour les appareils d'appui S.T.U.P.
- C.I.P.E.C. : pour les appareils d'appui C.I.P.E.C.
- C.I.P.E.C. : pour les appareils d'appui G.U.M.B.A.



- Dureté Shore A (1)	50	60	70
- Module G en MPa (2)			
- Ponts Routes	0,5	0,8	1,1
- Ponts Rails	-	1,1	1,2 à 1,5

Pour les appareils d'appui courants, on doit obtenir les valeurs moyennes suivantes :

	C.I.P.E.C. S.T.U.P.		GUMBA
	Ponts Routes	Ponts Rails	Ponts Routes Ponts Rails
- Dureté Shore A (2)	$55 \leq \text{ShA} \leq 65$	$55 \leq \text{ShA} \leq 65$	$55 \leq \text{ShA} \leq 65$
- Module d'élasticité transversal G en MPa.	0,8	1,1	1,0

Pour les températures extrêmement basses (- 30° à - 40° C), le module d'élasticité transversal peut augmenter de 20 %. Il y aura lieu, éventuellement, de tenir compte de cette augmentation de G, en particulier pour la vérification de la stabilité des appuis.

L'allongement de rupture A, la résistance de rupture R et la déformation rémanente doivent satisfaire aux conditions suivantes :

Résistance R de rupture en MPa	Allongement de rupture A en %	Produit R x A	Déformation rémanente en %
$\geq 12$	$\geq 450$	$\geq 6300$	$< 20$

- (1) On peut admettre que les lectures données par le duromètre Shore A sont approximativement les mêmes que les lectures en degrés internationaux de dureté de l'élastomère (I.R.H.D.) auxquels se réfère la norme NFT 46 003.
- (2) 1 MPa (Mégapascal) équivaut à 10 bars.

#### 4.3.2. Aciers des frettes

Les aciers utilisés pour les frettes doivent présenter les caractéristiques suivantes :

	Re (MPa) (kgf/mm <sup>2</sup> ) mini	R (MPa) (kgf/mm <sup>2</sup> )
Acier E 24-1    ts < 3 mm ts > 3 mm Norme (NFA 35.501)	215 (22) 235 (24)	360 (37) 360 (37)
	Ro,oo2 (MPa) (kgf/mm <sup>2</sup> ) mini	R (MPa) (kgf/mm <sup>2</sup> )
Acier inoxydable (*) < 3 mm NFA (norme 35.573) > 3 mm	275 (28) 245 (25)	440 (45) 440 (45)

(\*) L'acier inoxydable doit présenter des qualités au moins égales à celles de l'acier Z8 C17.

Les bords des frettes et les trous qui sont éventuellement ménagés dans les frettes sont soigneusement usinés de manière à éviter tout effet d'entaille.

102  
1,1  
102  
102  
122

#### 4.3.3. Aciers des plaques de glissement

Les plaques de glissement sont généralement constituées d'une tôle en acier doux soudable E 24-3- (norme 35.501) de 8 à 15 mm d'épaisseur, selon les dimensions en plan, sur laquelle est fixée une feuille d'acier inoxydable de 1 à 2 mm d'épaisseur.

L'acier inoxydable des feuilles doit présenter des qualités au moins égales à celles de l'acier Z6 CND 17.11.

#### 4.4. - Essais pour le contrôle statistique

##### 4.4.1. Essais des matériaux

##### 4.4.1.1. Prélèvement et conditionnement des éprouvettes d'essais

Pour chaque lot de fabrication, les plaquettes échantillons sont soumises à des essais mécaniques effectués conformément aux normes en vigueur. Le mode de prélèvement et de préparation des échantillons seront conformes à la norme NFT 46 001.

Les plaques d'appui destinées aux essais doivent être de dimensions suffisantes pour permettre le prélèvement des diverses éprouvettes décrites dans les articles ci-après.

#### 4.4.1.2. Essais sur l'élastomère

##### 4.4.1.2.1. Diagramme contraintes-déformations

La détermination du diagramme contraintes-déformations en traction avec mesure de la résistance à la rupture et de l'allongement de rupture est faite conformément à la norme NFT 46 002.

Les valeurs de la résistance à la rupture et de l'allongement de rupture sont obtenues en prenant la médiane des résultats d'essais sur cinq éprouvettes de traction.

##### 4.4.1.2.2. Dureté

La détermination de la dureté est faite conformément à la norme NFT 46 003. La dureté de l'élastomère ne doit pas différer de plus de 5 degrés internationaux (IRHD) de la dureté prévue. Les degrés internationaux de dureté de la norme correspondent sensiblement à ceux de la dureté Shore A.

##### 4.4.1.2.3. Déformation rémanente après compression à déformation constante

L'essai de déformation rémanente après compression à déformation constante se réalise conformément à la norme NFT 46 011, sur une éprouvette de type A portée à 70° C pendant 24 heures.

##### 4.4.1.2.4. Essai à la chaleur

L'essai est réalisé conformément à la norme NFT 46 004.

L'élastomère ne doit pas subir de trop fortes altérations au cours du vieillissement. La stabilité du matériau est contrôlée par des essais sur des éprouvettes échantillons soumises pendant 72 heures à une température de 100° C et les variations des caractéristiques mécaniques doivent satisfaire aux conditions suivantes :

Variation de dureté Shore A	Variation de résistance à la traction en %	Variation de l'allongement en %
15	15	40

##### 4.4.1.2.5. Vieillissement à l'ozone

Cet essai n'est pas à prévoir dans le cadre du contrôle systématique. Cependant, lorsque les appareils d'appui seront destinés à fonctionner dans des atmosphères particulièrement corrosives, le maître d'œuvre pourra demander à ce qu'il soit procédé à des essais de vieillissement à l'ozone. Les éprouvettes proviendront de la série de fabrication destinée aux appareils d'appui en cause.

##### 4.4.1.3. Essais sur les frettes en acier

Ces essais consistent en une détermination du diagramme de traction avec mesure de la limite d'élasticité et de la contrainte de rupture. Ils sont réalisés conformément aux normes en vigueur.

#### 4.4.2. Essais des appareils d'appui

##### 4.4.2.1. Nature des essais

Les essais des appareils d'appui comprennent :

- la détermination du module  $G$ ,
- la détermination de la résistance à la rupture en compression,
- le contrôle de la liaison de l'élastomère et des frettes.

A défaut de normes, les essais sur les appareils d'appui sont actuellement réalisés conformément aux indications données ci-après. Ces modalités sont susceptibles d'évoluer ultérieurement, en fonction de l'expérience qui pourra être acquise en ce domaine.

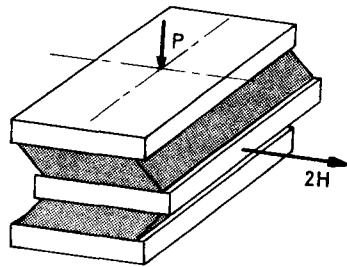
##### 4.4.2.2. Prélèvement des éprouvettes

Les éprouvettes nécessaires aux essais ci-après sont prélevées dans les mêmes conditions que celles prévues au paragraphe 4.4.1.1. pour les essais sur matériaux. Ces éprouvettes doivent avoir la même épaisseur totale que les plaques d'appui faisant l'objet de la fabrication à contrôler ou être constituées par au moins deux couches d'élastomère et trois frettes métalliques, l'épaisseur totale de l'élastomère étant au moins de 15 mm. Les éprouvettes doivent avoir pour dimensions en plan au moins 150x200 mm pour la détermination de  $G$  et 100x100 pour la détermination de la résistance à la rupture en compression.

Dans la suite du texte, ces éprouvettes sont désignées sous le nom d'appareils d'appui.

##### 4.4.2.3. Détermination du module $G$

On détermine le module  $G$  à l'aide de deux appareils d'appui qui sont intercalés entre trois plaques. Les plaques, supérieure et inférieure, sont fixées solidement sur les côtés aux plateaux de la presse, tandis qu'un effort horizontal est appliqué à la plaque du milieu (fig. 17).



Pour empêcher le glissement des appareils d'appui on applique pendant l'essai une charge constante  $P$ , développant une pression de 5 MPa.

L'effort horizontal est appliqué par paliers. Pour chacun de ceux-ci on mesure la distorsion horizontale correspondante. L'essai doit être poursuivi jusqu'à obtenir un angle de glissement  $\gamma$  tel que  $\text{tg } \gamma = 0,9$ . La vitesse de mise en charge ne doit pas dépasser une tonne par minute.

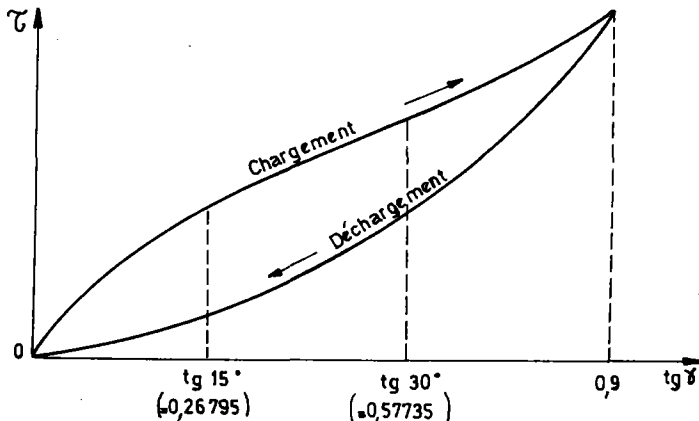


Figure 17

On exécute deux fois l'essai et le module  $G$  est déterminé à partir du deuxième chargement. Du fait que le diagramme contrainte-déformation horizontale ne présente généralement pas de variation linéaire dans sa partie inférieure, on détermine conventionnellement le module  $G$  dans le domaine compris entre  $\gamma = 15^\circ$  et  $\gamma = 30^\circ$ .

Dans la détermination du module G, on part de la relation :

$$G = \frac{H}{ab \operatorname{tg} \gamma}$$

dans laquelle

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{u}{T}$$

H = effort horizontal

u = distorsion horizontale

T = hauteur utile de l'appui avant l'essai,  
c'est-à-dire hauteur totale de l'appui,  
diminuée de l'épaisseur des frettes en acier.

L'essai est considéré comme satisfaisant si les valeurs obtenues ne diffèrent pas de la valeur prévue de plus de 15 %.

#### 4.4.2.4. Détermination de la résistance à la rupture en compression

La résistance à la rupture en compression est déterminée par une mise en charge (en compression) par paliers, sur une éprouvette de dimensions 100x100 (en millimètre).

L'éprouvette est placée directement entre les plateaux de la machine d'essais. La vitesse de mise en charge ne doit pas dépasser vingt tonnes par minute. Il est à noter que la ruine se produit généralement par rupture brutale des frettes en acier.

La résistance à la rupture doit être au moins égale à six fois la contrainte de service  $\sigma_m$  prévue pour l'appui.

#### 4.4.2.5. Contrôle de la liaison de l'élastomère et des frettes

Pour contrôler la liaison de l'élastomère et des frettes ou des frettes entre elles, à la suite de l'essai décrit en 4.4.2.3., on élève la charge P jusqu'à 10 MPa et on augmente l'effort horizontal jusqu'à obtenir une déformation correspondant à  $\operatorname{tg} \gamma = 2,0$ .

L'essai ne doit provoquer aucun décollement entre l'élastomère et la frette.

La courbe  $\tau(\gamma)$  obtenue doit avoir une allure régulière sans point anguleux ni décrochement.

Les déformations permanentes consécutives à cet essai ne sont pas considérées comme une cause de rebut.

#### 4.4.2.6. Contrôle du comportement aux basses températures

Ainsi qu'il est indiqué plus haut, les essais permettant de vérifier le comportement des appuis aux basses températures sont longs et délicats. En l'état actuel de la question, les essais de l'élastomère au froid sont des essais de laboratoire exigeant des éprouvettes préparées avec une très grande précision. De tels essais ne sont pas prévus, vu leurs difficultés, pour le contrôle statistique.



Toutefois, si le fournisseur envisage de modifier la formule de l'élastomère entrant dans la constitution des appuis, il est tenu d'en informer le Service de Contrôle. Celui-ci fera alors procéder à de tels essais, en vue de s'assurer que la modification apportée à la composition de l'élastomère n'entraîne pas une diminution des caractéristiques précédemment obtenues sur l'ancien matériau.

#### 4.5. - Tolérances sur les dimensions

##### 4.5.1. Dimensions en plan

Tolérances sur longueur et largeur : - 0, + 5 mm.

##### 4.5.2. Epaisseurs

###### 4.5.2.1. Tolérances sur l'épaisseur d'une couche élémentaire

Épaisseur moyenne = Épaisseur nominale  $\pm 0,5$  mm

Épaisseur en un point quelconque = Épaisseur moyenne  $\pm 0,5$  mm

L'épaisseur moyenne est la moyenne arithmétique des épaisseurs mesurées à chaque angle du feuillet.

###### 4.5.2.2. Tolérances sur l'épaisseur totale h de l'appui

a) L'épaisseur moyenne d'un appareil doit respecter les tolérances suivantes, par rapport à l'épaisseur nominale :

$10 < h \leq 30$  mm :  $\pm 0,6$  mm

$30 < h \leq 50$  mm :  $\pm 0,9$  mm

$50 < h \leq 80$  mm :  $\pm 1,2$  mm

$80 < h \leq 120$  mm :  $\pm 1,5$  mm

Dans ce cas, l'épaisseur moyenne est la moyenne arithmétique des épaisseurs mesurées à chaque angle et au centre de l'appareil.

b) L'épaisseur, en un point quelconque de la surface de l'appareil d'appui, doit respecter les tolérances indiquées en a), par rapport à l'épaisseur nominale.

c) L'épaisseur mesurée à chaque angle et au centre de l'appareil d'appui doit respecter les tolérances suivantes, par rapport à l'épaisseur moyenne :

$10 < h < 30$  mm :  $\pm 0,4$  mm

$30 < h < 50$  mm :  $\pm 0,5$  mm

$50 < h < 80$  mm :  $\pm 0,7$  mm

$80 < h < 120$  mm :  $\pm 0,9$  mm

Le non-respect de l'une quelconque de ces tolérances entraîne le rejet de l'appareil d'appui.

## V – CONCEPTION - MISE EN ŒUVRE

### 5.1. - Conception

#### 5.1.1. Implantation

a) Sur une même ligne d'appuis, les appareils doivent être de même nature (susceptibles notamment de présenter un même tassement), étant toutefois précisé que leurs possibilités de translation ne sont pas nécessairement les mêmes (fig. 18).

b) Il est déconseillé de juxtaposer dans le sens longitudinal plusieurs appareils destinés à ne former qu'un seul point de report de charge (figure 19). Cette restriction ne s'applique pas au cas des appareils d'appui dédoublés, dont la distance entre axes est en général de l'ordre de 2 m ou plus.

c) Dans le sens transversal, il est possible de juxtaposer plusieurs appareils d'appui (figure 19) destinés à ne former qu'un seul point d'appui. Ces appareils doivent être obligatoirement identiques dans leur composition et leurs dimensions. Il convient de rappeler que de tels dispositifs doivent être justifiés conformément aux règles exposées au chapitre III en tenant compte en particulier des rotations dues aux défauts de pose susceptibles d'exister dans le sens transversal.

d) Lorsque les appareils d'appui exercent des contraintes de compression importantes sur les appuis, des précautions particulières doivent être prises.

Lorsque les appuis sont en béton armé, il convient de ménager une revanche de 10 à 15 cm minimum en vue d'assurer la répartition correcte des contraintes, la mise en place des frettes et leur ancrage (figure 20). En tout état de cause, il conviendra de suivre les prescriptions relatives aux constructions en béton armé (C.P.C.).

e) On veillera à placer, dans toute la mesure du possible, les appareils d'appui au-dessus du niveau des plus hautes eaux connues.

#### 5.1.2. Dimensionnement

Il est en général déconseillé de placer sur une même ligne d'appuis ou au droit d'un même point d'appui, des appareils ne présentant pas les mêmes dimensions, en raison de leur différence de rigidité (figure 21). Dans le cas d'un pont biais, à poutres multiples, il est le plus souvent préférable de disposer sur une même ligne des appareils identiques dont le dimensionnement sera celui de l'appareil le plus sollicité.

#### 5.1.3. Réglage des appareils d'appui glissants

Le réglage des appareils d'appui glissants doit être déterminé, en principe, par le Bureau d'Etudes chargé du projet.

Le réglage doit tenir compte :

- de la température,
- de l'allongement ou du raccourcissement de la fibre inférieure de la poutre sous l'effet :
  - de la rotation des sections d'appui,

- du retrait et du fluage du béton,
- de la mise en tension des câbles pour les ponts en béton précontraint,
- du mode de mise en place du tablier,
- des charges permanentes.

Le réglage, sur chantier, est réalisé par l'Entrepreneur.

#### 5.1.4. Repérage des appuis

La position sur l'ouvrage, la grandeur et la direction d'un éventuel pré-réglage, ainsi que le sens de pose doivent être indiqués clairement sur les appuis.

#### VUE EN PLAN D'UNE TRAVÉE INDEPENDANTE

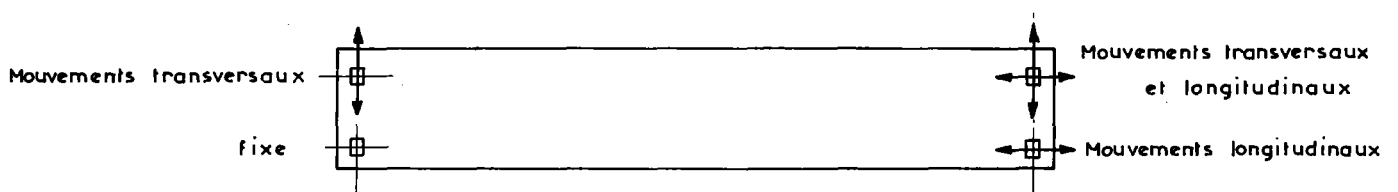
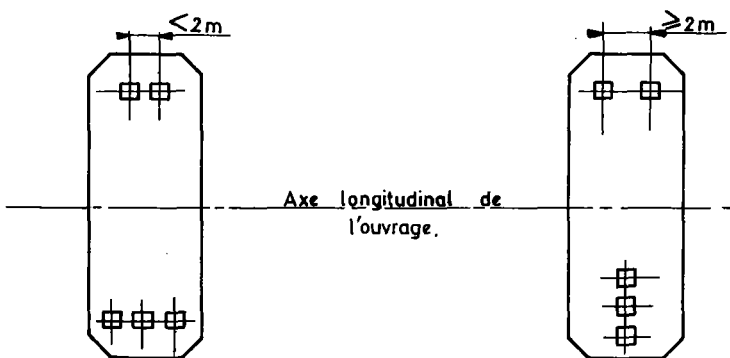


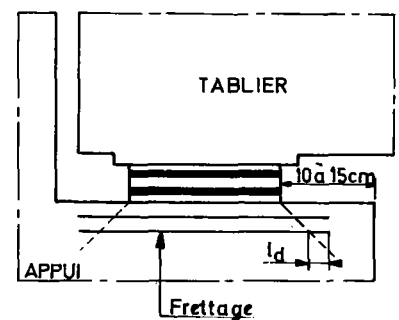
Figure 18



DISPOSITIONS DECONSEILLÉES

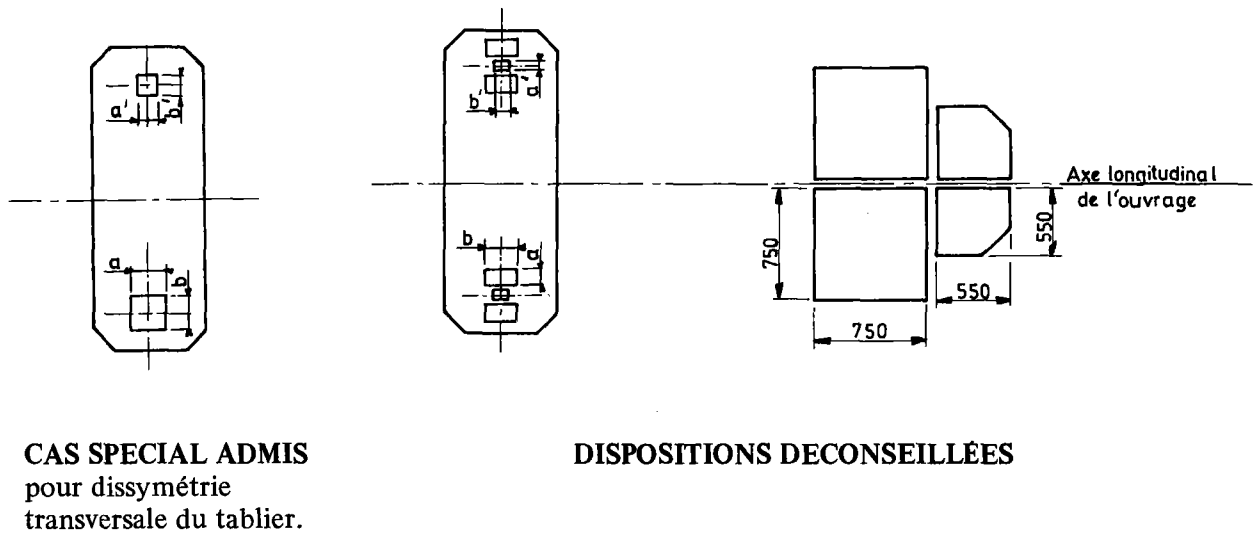
DISPOSITIONS AUTORISÉES

Figure 19



$l_d$  : longueur d'ancrage.

Figure 20



**CAS SPECIAL ADMIS**  
pour dissymétrie  
transversale du tablier.

**DISPOSITIONS DECONSEILLÉES**

Figure 21

## 5.2. - Mise en œuvre

### 5.2.1. Dispositifs anti-cheminement

Dans le cas où un cheminement est à craindre (cf. chapitre III - § 3.2.2.3.), les appareils peuvent être posés, surtout lorsque la pression minimale est faible, dans des engravures de 5 mm de profondeur au maximum pour ne pas gêner la distorsion de l'élastomère. (Figure 22).

On peut aussi fixer des taquets d'arrêt sur lesquels viennent buter les appareils. Cette seconde solution permet un remplacement plus aisé des appareils (figure 22). Les taquets sont scellés ou soudés suivant que les faces en contact avec l'appareil sont en béton ou en métal.

Il est possible de prévoir le collage des faces en contact. Son inconvénient majeur est de compliquer le remplacement éventuel de l'appareil.

### 5.2.2. Butées pour appareils d'appui glissants

Lorsque l'on craint un cheminement transversal du tablier, au droit d'appareils d'appui glissants, on prévoit des butées servant à maintenir le tablier (c'est le cas notamment des ouvrages courbes et des grands viaducs (figure 23).

### 5.2.3. Nivellement des faces d'appui

Les appareils doivent être posés sur une surface parfaitement plane et horizontale. En cas de pente, on réalise nécessairement des bossages sur l'appui et sous le tablier (figure 24).

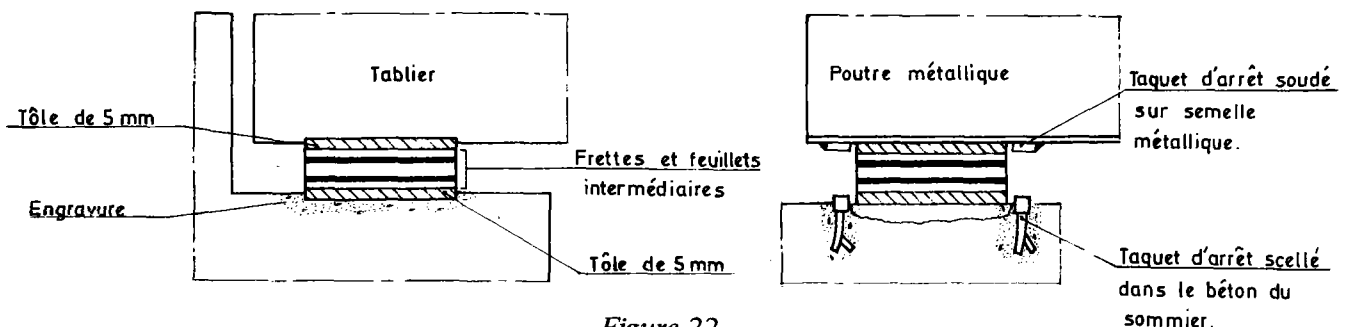


Figure 22

#### 5.2.4. Contrôle de la distorsion et du centrage

Il y a intérêt à diminuer les déformations des appareils dues aux conditions d'exécution des tabliers, notamment :

- rotation des poutres préfabriquées après mise en place à l'aide d'engins de manutention, lorsque les points de suspension ne sont pas près des appuis définitifs (figure 25),
- rotation supplémentaire après exécution, par exemple, des hourdis de jonction entre poutres et du complément de charges permanentes,
- rotation du tablier bétonné en place après enlèvement des échafaudages, supports et coffrages,
- déformation due au retrait et au fluage surtout pour les ponts en BP.

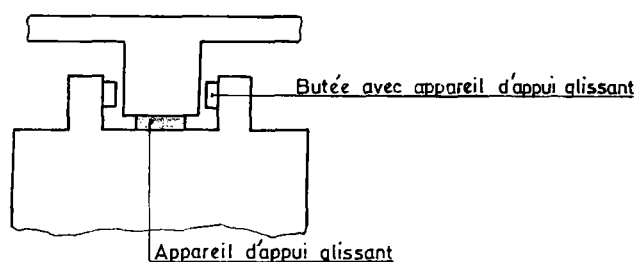


Figure 23

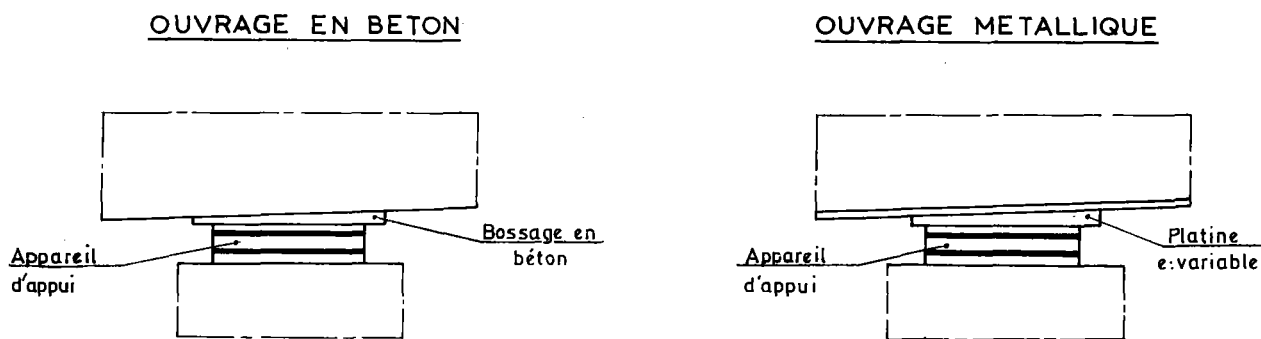


Figure 24



Figure 25

Pour éliminer les déformations excessives de distorsion, on peut procéder à un réglage des appareils en fin de travaux, par soulèvement du tablier au droit des appuis afin que les appareils libérés reprennent leur forme initiale. Toutefois, cette opération ne doit pas être réalisée sous une température extérieure chaude pour les ouvrages en BP ou BA qui ont à subir un retrait. Pour les ouvrages métalliques il est conseillé de réaliser cette opération à température moyenne.

En fin de chantier, le centrage des appuis glissants est contrôlé.

### 5.2.5. Pose des appareils

Les sommiers des culées ou les chevêtres des piles comportent au droit des appuis des alvéoles légèrement plus grandes que les plaques d'appui et de 2 cm de profondeur. Les plaques sont mises en place, après léger repiquage du fond d'alvéole, sur bain de mortier fluant. Lorsque l'épaisseur du mortier sera supérieure à 4 cm, on placera des armatures fines, genre treillis soudé, et réglées avec soin en position de nivellement, avec ou sans bossage inférieur. (Figure 26).

#### POSE D'UN APPAREIL D'APPUI

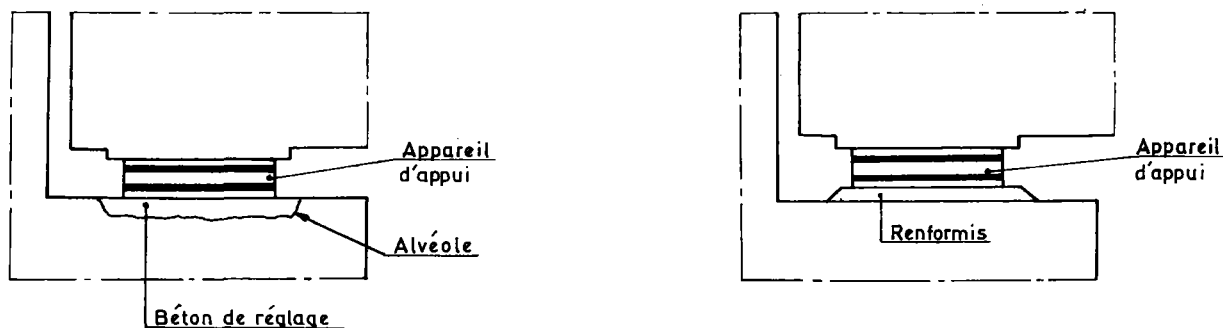


Figure 26

La surface de contact entre appareils d'appui et tablier peut être réalisée par l'intermédiaire d'une plaque métallique ou d'une dalle préfabriquée en BA posée en fond de coffrage du tablier. Les dimensions de cette dalle seront supérieures à celles de la plaque d'appui pour permettre à l'élastomère de reprendre, après vérinage du tablier, sa forme initiale. Cette disposition constructive demande à être réalisée avec un grand soin, le calage de la dalle doit être parfait pour éviter tout mouvement en cours de coffrage et de bétonnage. Le bétonnage exécuté directement sur l'appareil d'appui ne permet pas de réaliser l'opération précédente comme l'illustrent les schémas (figure 27). De plus, on risque d'empêcher la distorsion partielle de l'appareil (figure 28). On peut aussi se référer aux dispositions décrites dans le dossier P.P.73 du S.E.T.R.A.

Une autre disposition consistera à réaliser des renformis dont le fin réglage intervient juste avant la mise en place des appareils d'appui et du tablier.

### 5.2.6. Précautions diverses

On évitera de mettre les appuis en contact avec des graisses, huiles, essences. Les sommiers et chevêtres devront être conçus de telle sorte que les ruissellements et les produits agressifs en provenance de la chaussée ne puissent atteindre les appareils d'appui. Cette précaution est impérative au droit des joints de chaussée.

Si des travaux de soudage sont à exécuter accessoirement sur les appareils d'appui, ils doivent être faits par du personnel qualifié du fabricant des appuis ou autorisé par celui-ci.

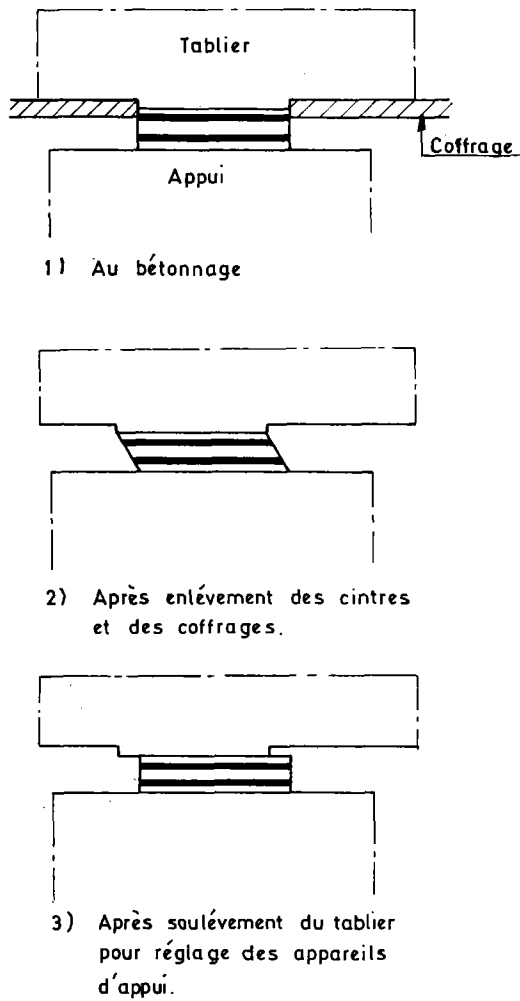
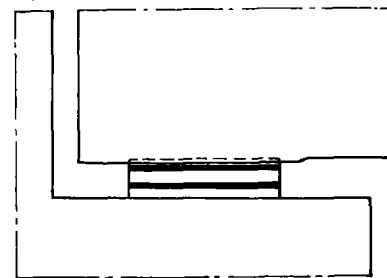


Figure 27



Le béton déborde sur l'appui et l'empêche de se déformer.

Figure 28

## VI – SURVEILLANCE - REMPLACEMENT

### 6.1. - Surveillance

Il est primordial de pouvoir surveiller les appareils d'appui. Aussi les appuis doivent-ils être conçus de telle manière que les dispositions constructives retenues permettent un accès raisonnablement aisé aux appareils.

#### 6.1.1.

La surveillance doit porter en premier lieu sur le bon fonctionnement des appareils d'appui dont on vérifiera l'absence de cheminement.

Les appareils d'appui glissants doivent laisser apparaître une trace de glissement entre la feuille de téflon et la plaque mobile. On pourra rendre l'opération de surveillance plus aisée en équipant les appareils de dispositifs très simples tels que reglets à maxima et minima. Le bloc d'élastomère peut accuser une légère distorsion, mais si aucune trace de glissement n'est perceptible, il est conseillé de vérifier l'état des surfaces visibles de glissement.

Des déformations anormales peuvent apparaître. Les plus courantes sont une distorsion trop prononcée (voir 6.1.5. ci-dessous) et un écrasement trop marqué de l'appareil. De même, il convient de contrôler la régularité des déformations. Il faut rappeler à ce titre que les contraintes maximales de cisaillement, sous effort normal, apparaissent au centre du grand côté d'un appui. Il est donc normal de constater des bourrelets plus prononcés au centre que près des angles (figure 29).

#### 6.1.2.

La bonne tenue dans le temps des matériaux constitutifs est un point essentiel. L'élastomère ne doit pas se dégrader. Bien que le matériau vieillisse et laisse apparaître quelquefois de petites fissures et craquelures, on ne doit pas constater de déchirures du matériau. On peut admettre que les ouvertures de 2 à 3 mm de profondeur et de 2 à 3 cm de longueur ne mettent pas en cause la pérennité de l'appareil d'appui.

Il faut aussi veiller à ce que les frettes ne présentent pas de dégradations attribuables à l'oxydation. Le principe de calcul exposé au chapitre III montre que lorsqu'une frette ne peut résister à la traction, c'est la résistance de l'ensemble de l'appareil qui est mise en cause.

#### 6.1.3.

Il faut éviter que les appuis soient au contact avec des graisses, huiles et essences. Pour les ouvrages routiers, cette remarque est importante et oblige à prévoir des dispositions spéciales sur piles et culées (voir dossier JADE 1968 du S.E.T.R.A.).



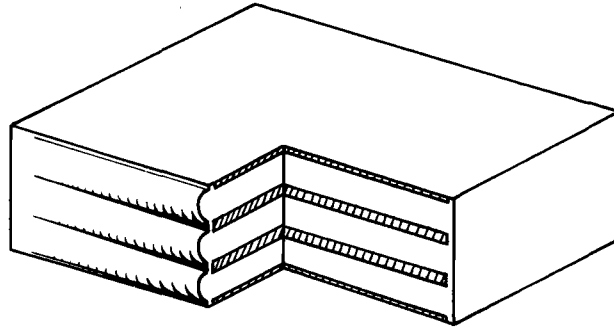


Figure 29

De même, les appareils proches des joints de chaussée sont exposés à la corrosion en raison des dépôts de boue et des eaux de ruissellement souvent chargées d'agents corrosifs qui paraissent en ces points.

#### 6.1.4.

Un défaut fréquent est l'enrobage plus ou moins accentué de l'appareil dans le béton. Il peut arriver que certains feuillets soient entièrement enrobés. Leur distorsion est alors rendue impossible. Il est nécessaire de dégager l'appareil sur toute sa hauteur.

#### 6.1.5.

Une distorsion excessive amène généralement une déformation caractéristique en «S» de l'appareil d'appui (figure 30).

Les faces supérieures et inférieures ne sont plus en contact total avec le tablier et l'appui. Ce défaut est éliminé en soulevant le tablier. L'appareil d'appui retrouve sa forme normale.

## 6.2. - Remplacement

### a) Généralités

Les appareils d'appui doivent être disposés de façon à permettre leur remplacement ultérieur. L'expérience a montré l'intérêt et même la nécessité de pouvoir soulever les tabliers par des dispositifs provisoires. Il y a donc lieu de prévoir systématiquement les dispositions constructives permettant d'effectuer le remplacement des appareils d'appui.

Pour certains appuis, lorsqu'ils sont peu élevés, on pourra à la rigueur admettre de lever le tablier en utilisant des palées provisoires qui prennent appui au sol, ou sur les fondations de l'appui définitif.

Pour les piles, il est possible aussi de ne prévoir que des têtes de palées provisoires qui ceinturent le fût et reportent ainsi la charge sur l'appui, quelques mètres sous le chevêtre (figure 31).

Mais la solution la plus économique, en raison de sa simplicité et de sa rapidité d'exécution, est d'utiliser des vérins placés entre le corps d'appui et le tablier, à proximité de chaque appareil. Les éléments donnés ci-après pourront aider à la conception d'une tête d'appui.

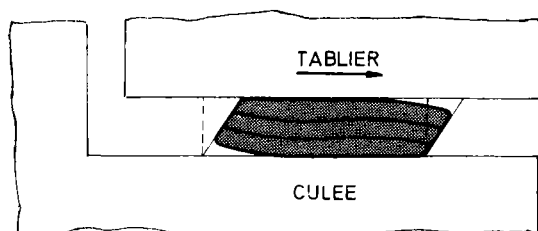


Figure 30

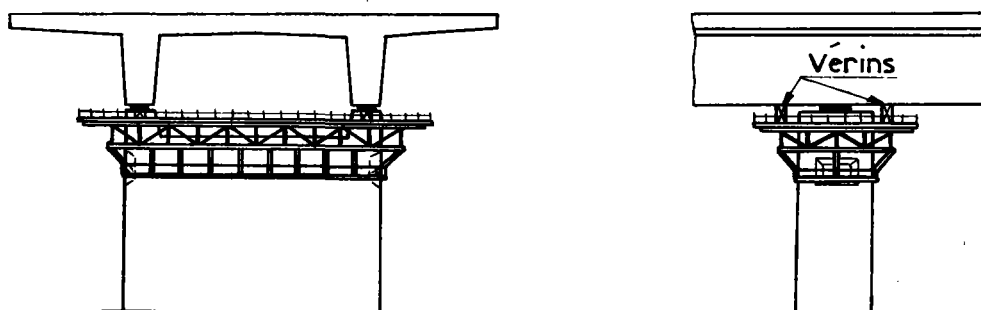


Figure 31

*b) Conception d'une tête d'appui, avec utilisation éventuelle de vérins*

L'appui peut comporter des dés de quelques décimètres de hauteur. Cette disposition se rencontre rarement bien qu'elle présente des avantages. En effet, on bénéficie d'une part d'un espace suffisant pour réaliser des manœuvres aisées. D'autre part, la hauteur permet d'utiliser des vérins ordinaires, volumineux mais peu coûteux d'emploi.

On peut aussi prévoir des niches dans les corps d'appui. Celles-ci seront continues ou localisées, et permettront là-aussi l'emploi de vérins ordinaires. Il conviendra de prévoir les drains nécessaires pour éviter les stagnations d'eau. Enfin, lorsque la hauteur libre entre l'appui et le tablier est réduite, on peut prévoir l'utilisation de vérins plats. A titre indicatif, on peut donner les caractéristiques de vérins plats circulaires :

Diamètre	Epaisseur (1)	Effort maximum	Course maximum
cm	cm	tonnes	cm
25	3 à 10	50	2,5
50	3 à 10	250	2,5
90	4 à 10	900	3,5

Bien que le nombre de vérins soit fonction de l'importance de la charge à soulever, il sera toujours préférable d'avoir un nombre aussi réduit que possible de points de soulèvement. Les schémas d'interconnexion des vérins, les manœuvres et les contrôles seront simplifiés d'autant.

Les appuis et le tablier doivent être conçus et vérifiés pour les opérations de soulèvement. Les emplacements des vérins, tant sur l'appui que sur le tablier, doivent être éventuellement frettés conformément aux prescriptions du titre VI du fascicule 61 du C.P.C. Les chevêtres, les sommiers et les entretoises doivent avoir été vérifiés sous le cas de charge correspondant au soulèvement. Il y a lieu de tenir compte de la dénivellation d'appui dans le cas des ouvrages hyperstatiques levés par lignes d'appuis. Selon les structures, il conviendra d'assurer au droit d'une même ligne d'appuis une égalité des réactions ou une égalité des courses de vérins. Le cas des ponts courbes est un exemple où les appuis d'une même ligne ne peuvent subir un déplacement égal. Pour un tablier biais, à entretoises droites, les réactions d'appui ne seront pas égales pour tous les appuis situés au droit d'une même ligne.

Une opération aisée de soulèvement permet enfin, dans un temps relativement court et pour une faible dépense, de « peser » les réactions d'appui d'un ouvrage. La connaissance de l'évolution des réactions d'appui est d'un grand intérêt pour la surveillance générale des ouvrages importants. Cette possibilité facilite également les opérations de réglage des réactions qui pourraient être décidées en fonction des résultats obtenus.

(1) L'épaisseur varie en fonction de la préparation du vérin : utilisation d'un enrobage en béton ou interposition de plaques métalliques.

## VII – LES APPAREILS D'APPUI SPÉCIAUX

Ce chapitre se limite aux appareils d'appui spéciaux dont l'un des éléments de base est un élastomère.

Il existe de nombreux autres appareils spéciaux, composés d'aciers et de P.T.F.E. Leur description dépasserait l'objet du présent bulletin essentiellement destiné aux appareils composés d'élastomères.

L'élastomère, non fretté, assure une fonction différente de celle qui lui était imposée pour les appareils frettés. Sa fonction, ici, rejoint celle d'un liquide enfermé dans une enceinte étanche.

L'élastomère, enfermé dans un « pot », se déforme à volume constant.

Il peut subir des pressions très importantes, mais les contraintes de cisaillement sont pratiquement nulles. Comme il sera vu plus loin, le calcul concerne surtout le dimensionnement de la partie métallique de ces appareils.

Les appareils d'appui spéciaux présentent le grand avantage de transmettre des efforts importants et d'absorber les translations et les rotations, tout en présentant un encombrement relativement réduit.

Deux types d'appareils d'appui spéciaux sont décrits dans les pages suivantes :

- les appareils G.H.H. (Allemagne) distribués par C.I.P.E.C.
- les appareils TETRON (Grande-Bretagne) distribués par S.T.U.P.

Les appareils G.H.H. (plus connus sous le nom de NEOTOPF), équipent plusieurs ouvrages en France depuis 1967.

### 7.1. - Appareils d'appui NEOTOPF

#### 7.1.1. Description

Les appareils NEOTOPF se composent essentiellement d'un pot métallique cylindrique contenant un élastomère non armé, et d'un couvercle-piston monté libre dans son logement, qui s'appuie sur l'élastomère. L'étanchéité est assurée par un joint en forme d'anneau.

L'élastomère se comporte comme un liquide et permet ainsi les rotations multidirectionnelles du couvercle. On obtient dans ce cas une articulation ponctuelle.

Un dispositif particulier (Acier Inox - P.T.F.E.) peut assurer un plan de glissement qui permet des translations. On obtient les appuis glissants unidirectionnels, s'ils sont munis d'un guidage, et multidirectionnels.

Les trois types d'appareils NEOTOPF sont donc :

- l'appui fixe (figure 32) type «N», équivalent à une rotule.
- l'appui unidirectionnel (figure 33) type «N Ge», permettant le déplacement dans une seule direction du plan de glissement. Une clavette sert au guidage.
- l'appui multidirectionnel (figure 34) type «N Ga», permettant le déplacement dans toutes les directions du plan de glissement.

Les parties métalliques du pot et du couvercle sont en acier A 52.

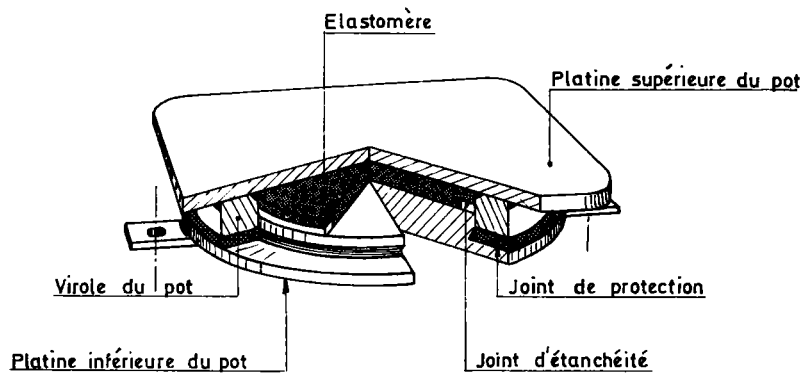
L'élastomère présente une dureté Shore A : Sh A 50.

Le plan de glissement est composé de P.T.F.E. et de l'un des trois matériaux suivants :

- résine d'acétal polyoxyméthylène (P.O.M.).
- acier inoxydable Z 6 C N D 17.11
- chrome dur, en revêtement de l'acier de base A 52.

La clavette est constituée d'un alliage spécial dont la résistance à la rupture à la traction est supérieure à 750 MPa et la résistance à la rupture en compression est supérieure à 1 250 MPa.

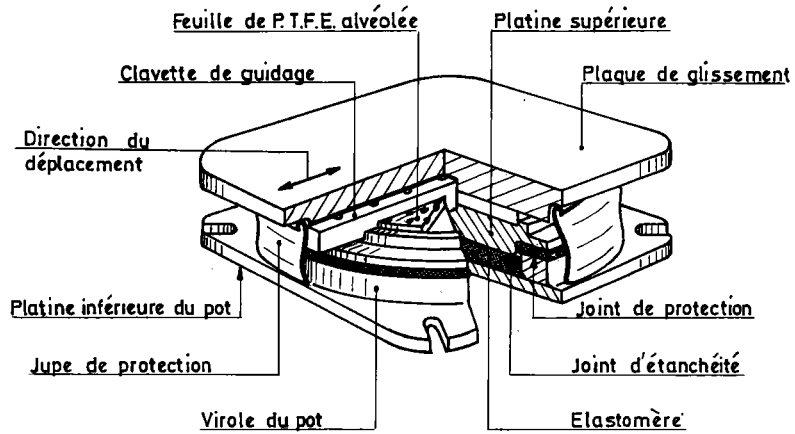
### APPUI FIXE «NEOTOPF»



NOTA : La platine inférieure du pot constitue le couvercle.  
Le joint de protection n'empêche pas les rotations.

Figure 32

### APPUI UNIDIRECTIONNEL «NEOTOPF»



**NOTA :** La platine supérieure constitue le couvercle.  
Le joint de protection n'empêche pas les rotations.

Figure 33

### APPUI MULTIDIRECTIONNEL «NEOTOPF»

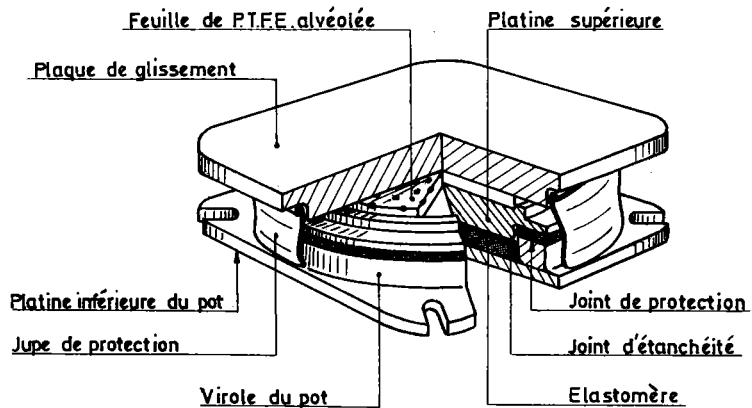


Figure 34

### 7.1.2. Principe de calcul

Le calcul des trois types d'appareils est basé sur le même principe. Le fabricant est tenu de fournir une note de calcul justificative pour chaque fourniture. Les projeteurs qui ont à prédimensionner leurs appareils peuvent se référer aux notices descriptives du fabricant. Les caractéristiques de certains de ces appareils, données dans les tableaux ci-après, permet une première approche du prédimensionnement.

Chaque appareil est conçu pour satisfaire aux conditions suivantes :

- la pression sur l'élastomère est limitée à 25 MPa (250 bars),
- la pression de la platine inférieure de l'appareil, sur le béton de l'appui, est limitée à 20 MPa (200 bars),
- le coefficient de frottement acier - béton est limité à 0,5.

Une note de calcul complète, établie par le fabricant, comprend les justifications suivantes :

- pression sur l'élastomère,
- contrainte normale de traction dans la virole du pot,
- contraintes normales et tangentes dans les cordons de soudure,
- moment de rappel dû à la rotation,
- pression sur le béton de l'appui,
- transmission des efforts horizontaux sur le béton du tablier et de l'appui,
- contraintes de flexion dans la platine inférieure.

Pour les appuis glissants, les justifications complémentaires sont :

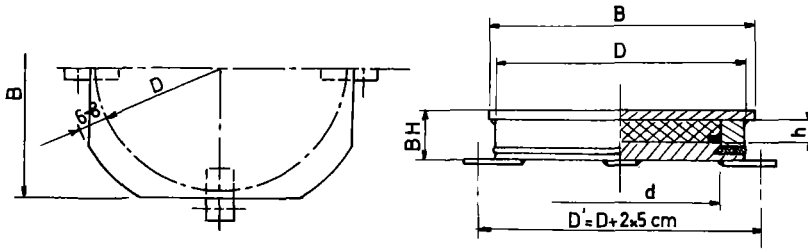
- pression appliquée sur le P.T.F.E.,
- contraintes dans la plaque de glissement,
- contraintes dans la clavette pour les appareils unidirectionnels.

#### *Caractéristiques des appareils NEOTOPF*

Pour tous les appareils, la rotation est généralement limitée à  $\frac{1}{100}$  rad. Des rotations supérieures peuvent être admises le cas échéant en modifiant les appareils.

Les caractéristiques données dans les tableaux suivants sont limitées à une charge verticale de 5000 t. Il existe des appareils de ce type capables de supporter une charge de 12 000 t (pylônes de ponts à haubans).

**APPUI FIXE « NEOTOPF »**



$$\text{tg } \varphi \leq \frac{1}{100} \text{ rd}$$

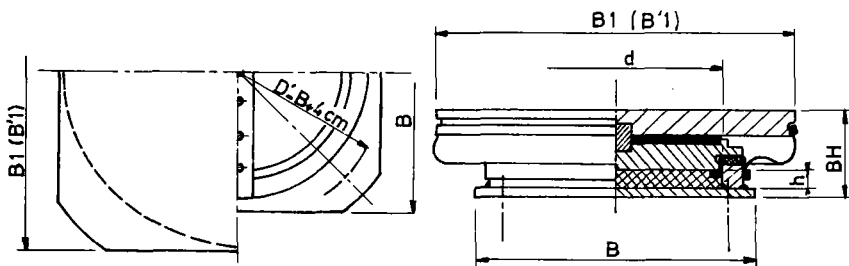
F. Max. t.	Poids kg	B cm	D cm	BH cm	Elastomère	
					d cm	h cm
100	40	32	29	6,1	23	1,6
200	68	42	39	6,7	32	2,2
400	135	57	54	8,0	45	3,0
500	170	64	61	8,4	51	3,4
1000	430	88	85	11,4	72	4,8
5000	3560	191	186	21,4	160	10,7

$H \leq 0,1 F$  pour  $F \leq 500 t$

Ces appuis sont dimensionnés pour une force horizontale résultante :

$H \leq 0,05 F$  pour  $F > 500 t$

**APPUI UNIDIRECTIONNEL « NEOTOPF »**



$$\text{tg } \varphi \leq \frac{1}{100} \text{ rd}$$

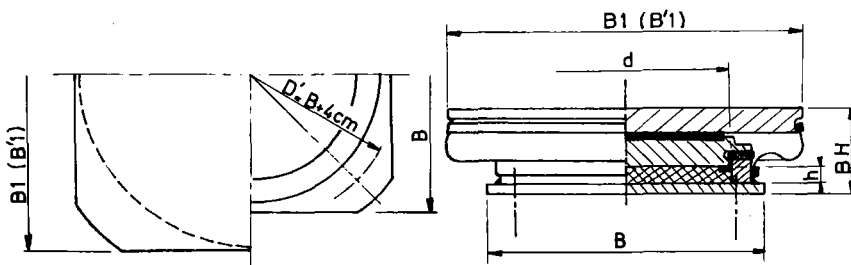
F. Max. t.	Poids kg	B cm	D cm	BH cm	Elastomère	
					d cm	h cm
100	80	42	32	9,4	23	1,6
200	140	52	42	10,5	32	2,2
400	300	67	57	13,1	45	3,0
500	380	74	64	14,0	51	3,4
1000	770	98	88	16,0	72	4,8
5000	5650	199	192	27,8	160	10,7

Ces appuis sont dimensionnés pour une force horizontale perpendiculaire à l'axe de glissement :  $H \leq 0,1 F$  pour  $F \leq 500 t$

$H \leq 0,05 F$  pour  $F > 500 t$

Déplacement :  $e > \pm 5 \text{ cm} : B'1 = (B - 2 \times 5 \text{ cm}) + 2 e$

**APPUI MULTIDIRECTIONNEL « NEOTOPF »**



$$\text{tg } \varphi \leq \frac{1}{100} \text{ rd}$$

F. Max. t.	Poids kg	B cm	D cm	BH cm	Elastomère	
					d cm	h cm
100	80	42	32	8,9	23	1,6
200	120	52	42	9,5	32	2,2
400	245	67	57	11,2	45	3,0
500	300	74	64	12,1	51	3,4
1000	695	98	88	14,6	72	4,8
5000	5220	199	191	26,0	160	10,7

Déplacement :  $e > \pm 5 \text{ cm} : B'1 = (B - 2 \times 5 \text{ cm}) + 2 e \text{ max.}$

e max. = déplacement transversal ou longitudinal maximum.



102  
0,8  
0,6

## 7.2. - Appareils d'appui TETRON

### 7.2.1. Description

Le principe de fonctionnement est identique à celui des appareils spéciaux précédents. Un disque d'élastomère naturel est enfermé dans une enceinte métallique étanche. Ces appareils permettent la rotation des structures qu'ils supportent. Lorsqu'on les équipe d'un complexe : plaque d'acier INOX - PTFE, on obtient les appareils d'appui glissants multidirectionnels et unidirectionnels, ces derniers étant complétés d'un guide.

Les trois types d'appareils TETRON sont donc :

- l'appui fixe « D T » (figure 35),
- l'appui unidirectionnel « D F » muni d'un guide transversal en acier,
- l'appui multidirectionnel « D E ».

Chaque fourniture est accompagnée d'un certificat de conformité indiquant la qualité des matériaux utilisés et définissant leurs caractéristiques minimales.

### 7.2.2. Limitation des contraintes

Les appareils sont conçus pour satisfaire aux conditions suivantes :

- la pression sur l'élastomère naturel est limitée à 30 MPa (300 bars),
- la pression sur le PTFE est limitée à 35 MPa (350 bars).

### APPUI FIXE TETRON

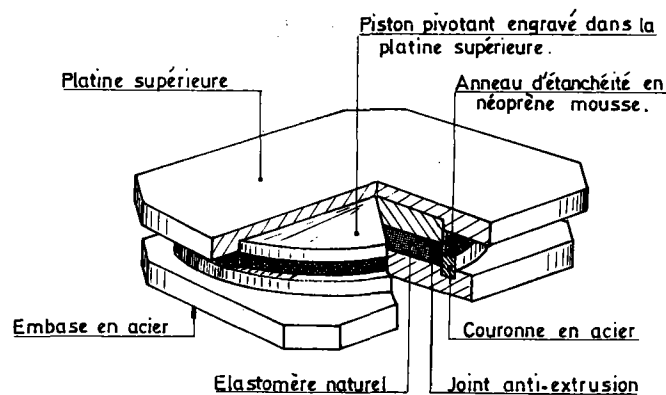
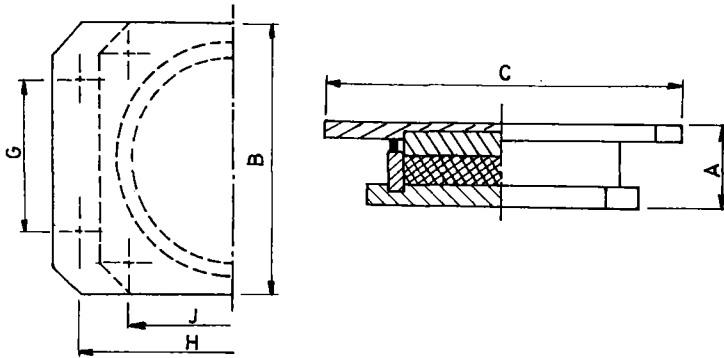


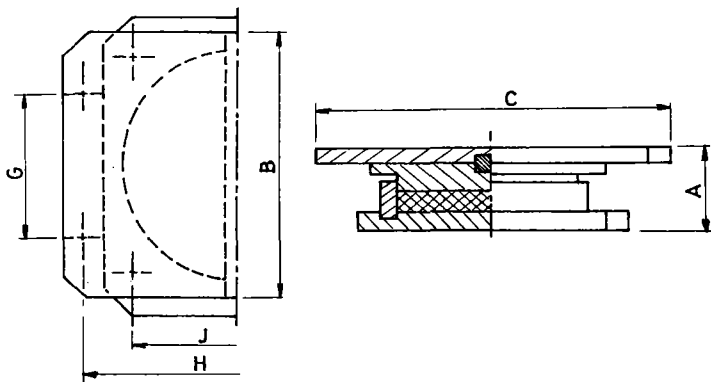
Figure 35

### APPUI FIXE TETRON



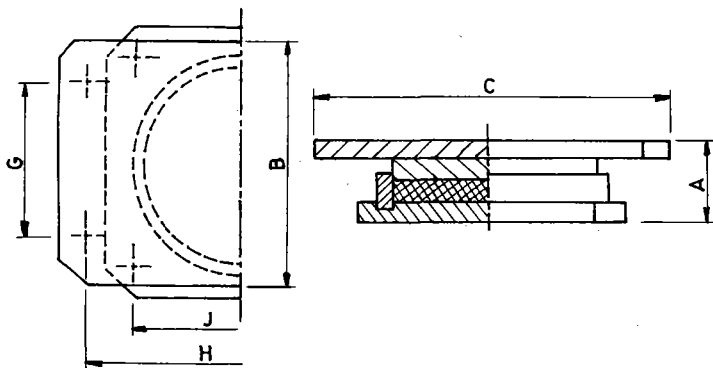
F. Max. t.	Rotation par charge rd	A <sup>(1)</sup> cm	B cm	C cm	G cm	H cm	J cm
200	0,012	10,9	36,0	47,5	20,0	40,0	27,5
400	0,0102	13,3	51,5	67,5	27,5	57,5	38,0
500	0,0094	13,7	57,0	75,0	32,5	64,0	42,5
1000	0,0071	17,0	78,5	100,0	45,0	86,5	60,0
5000	0,0060	34,5	177,5	207,5	110,0	187,5	187,5

### APPUI MULTIDIRECTIONNEL TETRON



F. Max. t.	Rotation par charge rd	A <sup>(1)</sup> cm	B cm	C cm	G cm	H cm	J cm
200	0,012	11,5	35,0	47,5	19,0	40,0	27,5
400	0,0102	13,5	47,5	67,5	23,5	57,5	38,0
500	0,0094	14,5	52,0	75,0	27,5	64,0	42,5
1000	0,0071	18,0	71,0	100,0	37,5	86,5	60,0
5000	0,0060	36,6	165,0	207,5	110,0	187,5	187,5

### APPUI UNIDIRECTIONNEL TETRON



F. Max. t.	Rotation par charge rd	A <sup>(1)</sup> cm	B cm	C cm	G cm	H cm	J cm
200	0,012	9,5	35,0	47,5	19,0	40,0	27,5
400	0,0102	12,0	47,5	67,5	23,5	57,5	38,0
500	0,0094	13,0	52,0	75,0	27,5	64,0	42,5
1000	0,0071	16,0	71,0	100,0	37,5	86,5	60,0
5000	0,0060	32,6	165,0	207,5	110,0	187,5	187,5

(1) La dimension A donnée s'applique aux appareils posés sur un appui en béton.

VIII - EXEMPLE DE DIMENSIONNEMENT

CALCUL DE LA RÉPARTITION DES EFFORTS HORIZONTAUX DANS UN OUVRAGE

$4 \times 10^{-4}$

8.1. - Exemple de dimensionnement

On se propose de dimensionner les appareils d'appui en élastomère fretté pour un tablier en béton précontraint coulé en place. Au droit de la ligne d'appui, qui comprendra deux appareils, les efforts et déformations sont les suivants :

	Charges verticales (en tonnes)	Rotation (en rad)	Efforts horizontaux (freinage) (en tonnes)
Poids propre $\neq$ superstructures	222,30	$-0,5 \cdot 10^{-3}$	
Surcharge maximale A (l)	137,3	$-1,92 \cdot 10^{-3}$	8,9
Surcharge minimale A (l)	-54,2	$+0,15 \cdot 10^{-3}$	5,9
Surcharge B (c)	126,1	$-0,40 \cdot 10^{-3}$	14,0

(Les chiffres indiqués dans le tableau tiennent compte de tous les coefficients de minoration et de majoration, y compris  $\gamma_{Qc}$ )

Raccourcissements : Retrait - fluage ...  $11,55 \cdot 10^{-3}$  m  $5 \cdot 10^{-4}$   
 Température  
 Longue durée ...  $9,38 \cdot 10^{-3}$  m  $8 \cdot 10^{-4}$  et  $2,5 \cdot 10^{-4}$   
 Courte durée ...  $15,00 \cdot 10^{-3}$  m  $8 \cdot 10^{-4}$  ou  $4 \cdot 10^{-4}$

Les calculs qui suivent ne sont pas établis suivant le plan observé au paragraphe 3.2.2. du chapitre III. Le plan suivi ici correspond au cheminement habituellement observé pour dimensionner un appareil d'appui.

1) Aire de l'appareil d'appui

La contrainte moyenne de compression ne peut dépasser 15 MPa. ( $1534,5 \text{ t/m}^2$ )  
 On obtient donc pour un appareil, avec la réaction verticale maximale :

$$ab > \frac{1}{2} \frac{(222.300 + 137.300)}{150} \# 1200 \text{ cm}^2$$

2) *Hauteur nette d'élastomère*

La condition généralement prépondérante est  $\tau_{H_1} \leq 0,5 G$  soit  $\text{tg } \gamma_1 \leq 0,5$  et  $T \geq 2.u_1$ .  
On aura ici, en tenant compte du raccourcissement dû à la température de courte durée :

$$T > \frac{(11,55 + 15) 10^{-3}}{0,5} = 53,1.10^{-3} \text{ m soit } 53 \text{ mm}$$

On peut choisir 5 feuillets de 12 mm ou 6 feuillets de 10 mm. La rotation maximale admissible de 5 feuillets de 12 mm est supérieure à celle de 6 feuillets de 10 mm. Par contre, pour une contrainte moyenne de compression égale, les feuillets de 12 mm subissent dans leurs plans de frottement des contraintes de cisaillement supérieures à celles d'un feuillet de 10 mm.

Les calculs suivants sont établis sur la base de 5 feuillets de 12 mm.

3) *Dimensions en plan de l'appareil*

On cherche à respecter les inégalités suivantes qui concernent la condition de non-flambement et la condition d'épaisseur minimale pour les irrégularités de la surface de pose :

$$\frac{a}{10} \leq T \leq \frac{a}{5} \quad \text{avec} \quad a < b$$

On choisit en général un appui rectangulaire avec le côté  $a$  parallèle à l'axe longitudinal de l'ouvrage et  $a < b$ , afin de limiter les contraintes dues à la rotation.

Ici nous avons :  $T = 60 \text{ mm}$

donc  $30 \text{ cm} < a < 60 \text{ cm}$

Comme  $ab > 1200 \text{ cm}^2$  deux possibilités se présentent :

350 X 350 et 300 X 500 (cf. Dimensions standards - chapitre II § 2.2.1)

Pour la raison donnée précédemment, on adopte a priori ici : 300 X 500.

4) Il convient de vérifier ensuite la condition  $\tau_H \leq 0,7 G$ .

Le plus grand effort horizontal dynamique est provoqué ici par le freinage du convoi  $B_c$  : (dans d'autres cas, il pourra être dû au freinage  $A(\ell)$  ou au vent par exemple).

$$\tau_H = \tau_{H_1} + 0,5 \tau_{H_2} = G \text{tg } \gamma_1 + 0,5 \frac{H_2}{ab}$$

$$\text{tg } \gamma_1 = \frac{11,55 + 9,38}{5 \times 12} = 0,35$$

$$H_2 = \frac{14.000}{2} = 7.000 \text{ kg pour un appareil}$$

$$\tau_H = 8 \times 0,35 + 0,5 \frac{7000}{30 \times 50} = 2,8 + 2,33 = 5,13 \text{ kg/cm}^2 \# 0,5 \text{MPa} < 0,7 G = 0,56 \text{MPa}$$

5) Il reste à contrôler que pour les différents cas de charge, la somme des contraintes de cisaillement respecte la condition :

$$\tau_N + \tau_H + \tau_\alpha < 5 G$$

a) premier cas de charge : réaction verticale maximale A (ℓ) et freinage correspondant :

$$\tau_N = \frac{1,5 \sigma_m}{\beta} \text{ pour un appareil d'appui : } \sigma_m = \frac{1}{2} \left( \frac{222.300 + 137.300}{30 \times 50} \right) = 119,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\beta = \frac{30 \times 50}{2 \times 1,2 \times (30 + 50)} = 7,81$$

$$\tau_N = \frac{1,5 \times 119,9}{7,81} = 23,03 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_H = \tau_{H_1} + 0,5 \tau_{H_2} = G \operatorname{tg} \gamma_1 + 0,5 \frac{H_2}{ab} \quad \operatorname{tg} \gamma_1 = 0,35 \text{ (cf 4e ci-dessus)}$$

$$H_2 = \frac{8900}{2} = 4450$$

$$\tau_H = 8 \times 0,35 + 0,5 \frac{4450}{30 \times 50} = 4,28 \text{ kg/cm}^2$$

0,0,0,0,50

$$\tau_\alpha = \frac{G}{2} \left( \frac{a}{t} \right)^2 \alpha_t$$

L'ouvrage devant être coulé en place, on prendra  $\alpha_0 = \frac{3}{1000}$  rad.

Pour un appareil de 5 feuillets de 12 mm

$$\alpha_t = \frac{\alpha + \alpha_0}{5} = \frac{(0,5 + 1,92 + 3)}{5} 10^{-3} = 1,08 \cdot 10^{-3} \text{ rad.}$$

$$\tau_\alpha = \frac{8}{2} \left( \frac{30}{1,2} \right)^2 \cdot 1,08 \times 10^{-3} = 2,70 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_N + \tau_H + \tau_\alpha = 23,03 + 4,28 + 2,70 = 30,01 \text{ soit approximativement :}$$

$$2,95 \text{ MPa} < 5 G = 4 \text{ MPa}$$

b) Deuxième cas de charge : Convoi Bc avec l'effort horizontal de freinage

$$\tau_N = \frac{1,5}{7,81} \times \frac{1}{2} \frac{(222.300 + 126.100)}{30 \times 50} = 22,30 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_H = 5,13 \text{ kg/cm}^2 \text{ (cf. 4e - ci-dessus)}$$

$$\tau_\alpha = \frac{8}{2} \left( \frac{30}{1,2} \right)^2 \cdot (0,5 + 0,4 + 3) 10^{-3} = 9,75 \text{ kg/cm}^2$$

$$22,30 + 5,13 + 9,75 = 37,18 \text{ soit } 3,65 \text{ MPa} < 5 \text{ G} = 4 \text{ MPa}$$

c) Troisième cas : déformation horizontale maximale, avec action de courte durée de la température, sans surcharge :

$$\tau_N = \frac{1,5}{7,81} \times \frac{1}{2} \cdot \frac{222.300}{1500} = 14,23 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_H = \tau_{H_1} = G \operatorname{tg} \gamma_1 = 3,54 \text{ kg/cm}^2$$

(la contrainte de cisaillement due à l'action de courte durée de la température se calcule avec  $G = 0,8 \text{ MPa}$  (soit environ  $8 \text{ kg/cm}^2$ ))

$$\tau_\alpha = \frac{8}{2} \cdot \left( \frac{30}{1,2} \right) \times \left( \frac{0,5 + 3}{5} \right) 10^{-3} = 1,75 \text{ kg/cm}^2$$

$$14,23 + 3,54 + 1,75 = 19,52 \text{ kg/cm}^2 \text{ soit } 1,91 \text{ MPa} < 4 \text{ MPa}$$

6) La condition de non-soulèvement est à vérifier lorsque les contraintes de cisaillement dues à la rotation sont susceptibles d'atteindre des valeurs semblables à celles dues à l'effort normal.

Dans l'exemple précédent, le cas le plus défavorable sera celui correspondant à la surcharge minimum A (ℓ) :

$$\alpha_t \leq \frac{3}{\beta} \frac{t^2}{a^2} \frac{\sigma_m}{G}$$

$$(0,5 - 0,15 + 3) \cdot 10^{-3} \leq \frac{3}{7,81} \cdot \left( \frac{1,2}{30} \right)^2 \left( \frac{222.300 - 54.200}{2 \times 30 \times 50} \right) \cdot \frac{1}{8}$$

$$3,35 \cdot 10^{-3} \leq 4,3 \cdot 10^{-3}$$

### 7) Dimensionnement des frettes

L'épaisseur des frettes est donnée pour les cas courants et les différentes productions, dans les tableaux du chapitre II. § 2.2.1.

La condition à vérifier est :  $t_s \geq \frac{a}{\beta} \frac{\sigma_m}{\sigma_e}$

Les frettes ont a priori une épaisseur de 3 mm

$$\sigma_e = 235 \text{ MPa soit environ } 2350 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{m, \max} = \frac{222.300 + 137.300}{2 \times 1500} = 120 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_s \geq \frac{300}{7,81} \cdot \frac{120}{2350} = 1,96 \text{ mm} < 3 \text{ mm}$$

## 8.2. - Calcul des efforts horizontaux en tête des appuis d'un ouvrage

### 8.2.1. Généralités

Les efforts horizontaux exercés sur le tablier (freinage, vent...) sont transmis aux différents appuis, selon une répartition qu'il convient de déterminer. Il faut, d'autre part, calculer les efforts développés par le tablier en tête des appuis, du fait des déplacements imposés à ces derniers par les déformations de la structure (retrait, fluage, température).

Les efforts se répartissent en fonction de la rigidité de chaque appui. La rigidité  $k$  d'un appui sera, par définition,  $k = \frac{1}{u}$ ,  $u$  étant le déplacement de la tête d'appui sous l'action d'une force horizontale unité. Ce déplacement  $u = u_1 + u_2 + u_3$  procède de la distorsion de l'appareil d'appui, de la déformation du corps de l'appui et enfin de la déformation de la fondation (1) (figure 36).

Il est à noter que les rigidités  $k_1$  et  $k_2$  d'un appui sont à calculer pour les deux cas signalés ci-dessus, déformations lentes et efforts dynamiques, étant entendu que les modules de déformation du béton et de l'élastomère ne sont pas les mêmes pour ces deux genres de sollicitations.

### 8.2.2. Détermination des efforts en tête des appuis

#### 8.2.2.1. Déformation lente

Les données sont les variations de longueur  $\Delta \ell_i$  de chaque travée d'un tablier continu (figure 37)

(1) Le calcul des déformations et des déplacements des fondations est un problème assez complexe qui ne peut être exposé dans ce bulletin. Les projeteurs pourront se reporter aux dossiers spécialisés notamment aux dossiers du S.E.T.R.A. (FOND.72 - PP 64 de la DOA.B.) et aux programmes de calculs, tels les PSH et PSH 2 de la DOA.A. propres aux fondations sur puits.

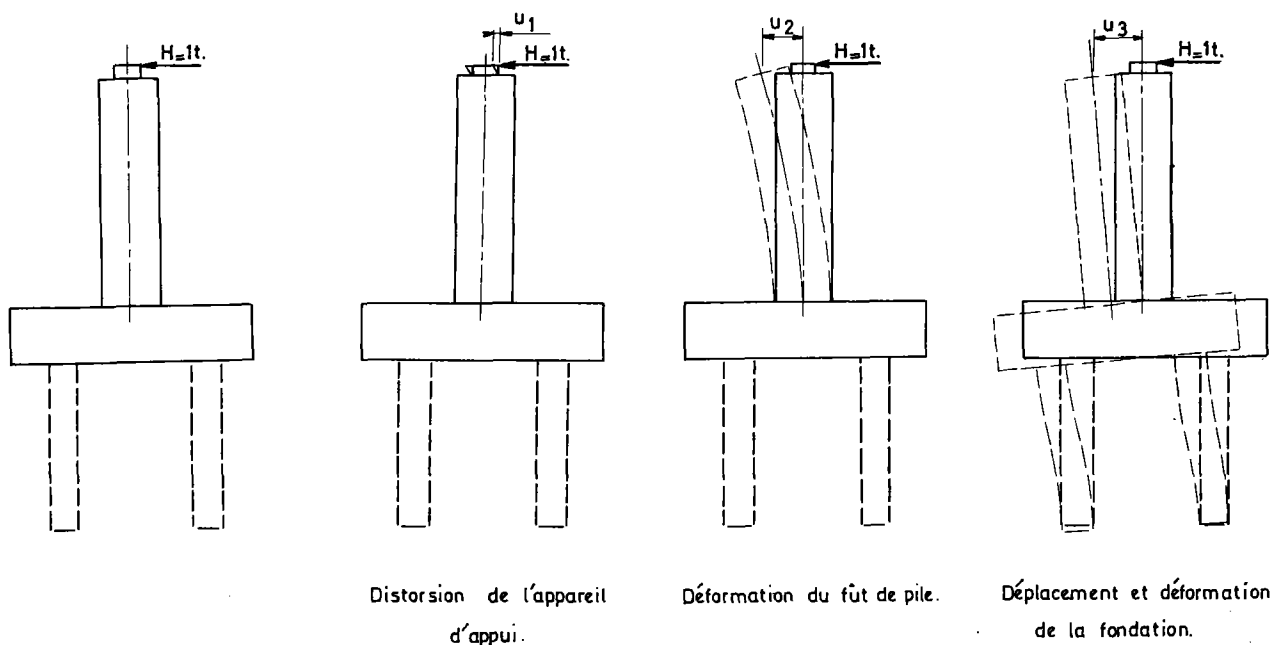


Figure 36

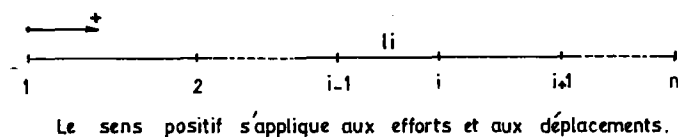


Figure 37

On connaît ainsi le déplacement relatif de l'appui  $i$  par rapport à l'appui 1 situé le plus à gauche :

$$u_i - u_1 = \sum_1^{i-1} \Delta \varrho_i = d_i$$

Des relations  $H_{1,i} = k_{1,i} u_i$  et  $\sum_1^n H_{1,i} = 0$  on déduit



$$u_1 = - \frac{\sum_{i=1}^n k_{1,i} d_i}{\sum_{i=1}^n k_{1,i}}$$

Connaissant  $u_1$ , on détermine  $u_i = u_1 + d_i$  et  $H_i = k_{1,i} (u_1 + d_i)$

### 8.2.2.2. Effort dynamique

Lorsqu'une force  $H_2$  est appliquée au tablier, les déplacements  $u_i$  des têtes d'appui sont égaux et l'on en déduit, avec :

$$H_{2,i} = u_i k_{2,i} \text{ et } \sum H_{2,i} = u_i \sum k_{2,i} = H_2$$

$$H_{2,i} = H_2 \frac{k_{2,i}}{\sum k_{2,i}}$$

### 8.2.3. - Application numérique

#### 8.2.3.1. Données numériques

On suppose un ouvrage construit symétriquement (figure 38). Les culées sont identiques et sont équipées de deux appareils d'appui de :

$$400 \times 500 \times 8 (10 + 3)$$

Les piles ont des caractéristiques mécaniques différentes et sont équipées de deux appareils d'appui de :

$$600 \times 800 \times 4 (12 + 3)$$

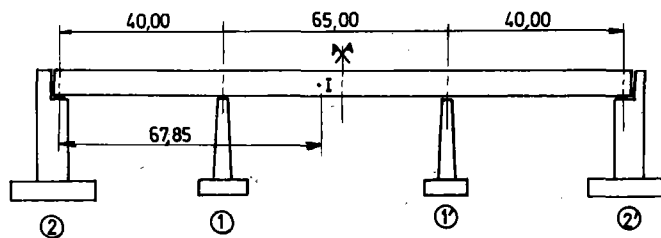


Figure 38



8.2.3.2. Efforts horizontaux dus aux variations linéaires du tablier dans le sens longitudinal de l'ouvrage.

Les déplacements relatifs  $d_i$  des appuis par rapport à l'appui de gauche sont :

appui 2 =  $-20,17 \cdot 10^{-3} \text{ m} = -0,020 \text{ m}$

appui 3 =  $-(20,17 + 31,24) \cdot 10^{-3} = 51,41 \cdot 10^{-3} \text{ m} = -0,051 \text{ m}$

appui 4 =  $-(20,17 \times 2 + 31,24) \cdot 10^{-3} = 71,58 \cdot 10^{-3} \text{ m} = -0,072 \text{ m}$

$\sum_1^n k_{1,i} d_i = (1397 \times 20 + 947 \times 51 + 400 \times 72) \cdot 10^{-3} = 105$

$\sum_1^n k_{1,i} = 400 + 1397 + 947 + 400 = 3144$

et  $u_1 = -\frac{\sum_1^n k_{1,i} d_i}{\sum_1^n k_{1,i}} = \frac{105}{3144} = 0,0334 \text{ m}$  d'où  $H_1 = 13,4 \text{ t}$

$u_2 = -0,020 + 0,0334 = 0,0134 \text{ m}$  d'où  $H_2 = 18,7 \text{ t}$

$u_3 = -0,051 + 0,0334 = -0,0176 \text{ m}$  d'où  $H_3 = -16,7 \text{ t}$

$u_4 = -0,072 + 0,0334 = -0,0386 \text{ m}$  d'où  $H_4 = -15,4 \text{ t}$

On vérifie que  $\sum H_i \neq 0$

8.2.3.3. Calcul de la répartition d'un effort de freinage

Le cas prépondérant sera, ici, celui d'un effort de freinage de 20 t dû à la surcharge A (ℓ).

Les efforts en tête des piles et culées seront :

$H_{2,1} = H_{2,4} = 20,00 \times \frac{800}{6715} = 2,38 \text{ t}$  pour les culées

$H_{2,2} = 20,00 \times \frac{2920}{6715} = 8,70 \text{ t}$  pour la pile 2

$H_{2,3} = 20,00 \times \frac{2195}{6715} = 6,54 \text{ t}$  pour la pile 3

On vérifie que :  $(2,38 \times 2 + 8,70 + 6,54) = 20,00 \text{ t}$ .

Ainsi, on constate que les efforts horizontaux qui s'exercent au niveau des appareils peuvent être très différents d'un appui à l'autre et il peut arriver qu'à ce stade du calcul le projeteur soit tenu de modifier la répartition des efforts. Il en aura la possibilité en corrigeant par exemple la rigidité des appareils d'appui et donc leurs dimensions. Une telle opération ne peut se conduire généralement que par approximations successives.

#### 8.2.3.4. Répartition des efforts dus à un choc de bateau

Les appuis implantés en rivière sont susceptibles d'être soumis aux chocs de bateaux. Les sollicitations à considérer (circulaire n° 71.155 du 29 Décembre 1971 - Circulaire d'envoi du titre II - fascicule 61 du C.P.C.) influent fortement sur la conception des appuis. Les appareils d'appui en particulier ont à transmettre au tablier un contre-choc dont la valeur ne peut pas être négligée.

Une étude, ne faisant actuellement l'objet que d'une diffusion interne à la DOA.A. du S.E.T.R.A., sera prochainement publiée. Nous conseillons aux projeteurs de s'y reporter. L'une des conclusions de cette étude est de préconiser l'utilisation de dispositifs à butée transversale, lorsque les appareils d'appui sont en élastomère fretté.

## BIBLIOGRAPHIE

- UETZ H. et HAKENJOS V.
  - Essais de glissement sur P.T.F.E. - BAUTECHNIK - Mai 1967.
  
- JAMMET G.
  - Calcul des piles déformables d'un ouvrage continu sur appareils d'appui en caoutchouc. ANNALES DES PONTS ET CHAUSSEES - Mars/Avril 1965.
  
- MATHIVAT M.
  - Structures de piles adaptées à la construction par encorbellement.
  - Les piles à appuis en néoprène dédoublés. JOURNÉES A F P C - 22/23/Avril 1974.
  
- SETRA. DOA.A.
  - Choc de bateaux sur les appuis de pont en rivière - (note en cours de diffusion).