

ABou 2/99

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
Département de génie civil



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

MEMOIRE

*Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en
Génie Civil*



*Optimisation Des Appareils
D'Appui En Elastomère Fretté*

Encadrée par :

Mme. CHERID D,
Mme. MOHAB EDDINE H,

Présenté par :

Mr. DJEDIAI KHEMIES

Année Universitaire 1998/1999

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

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département de génie civil



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en
Génie Civil



*Optimisation Des Appareils
D'Appui En Elastomère Fretté*

Encadrée par :

Mme. CHERID
Mme. MOHAB EDDINE

Présenté par :

Mr. DJEDIAI KHEMIES

Année Universitaire 1998/1999

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mon très cher père et ma très chère mère.

Mes frères et sœurs

A toute la famille Djediai

*En particulier à mon frère
Abdel Madjid qui ma beaucoup
aidé durant tout mon cursus*

universitaire.

*A tous mes amis, en particuliers M, Salim,
Mouloud*

Fathi et Ali surtout .

D .Khemies

Remerciements :

Au terme de ce modeste travail, je tiens à remercier mes promoteurs Mme Cherid & Mme Mobabeddine pour l'intérêt qu'elles m'ont apporté durant la réalisation de ce travail.

Sans oublier les membres du jury ,qui m'ont fait l'honneur d'accepter de juger ce travail.

Je remercie également Mr Tiliouine, Mr Matougui & Mr Touati qui m'ont orienté dans ce travail dont les conseils m'ont été d'un grand apport.

Que tous les enseignants qui ont contribué à ma formation trouvent ici l'expression de ma reconnaissance .

قمنا في هذا العمل بعرض مختلف أجهزة الإستناد التي تعتبر كمنصر هام و أساسي

في ديمومة الجسور.

كما قمنا بإنشاء خوارزمية تسمح لنا بإيجاد الأبعاد المثلى لهذه الأجهزة بهدف الحصول على احسن توزيع للقوى الأفقية ما بين ركائز المنشآت, و تقليص تأثير قوى العزوم المطبقة على الركائز الواصلة إلى الأساسات.

الكلمات المفتاحية : أجهزة الإستناد ، جسر، إستومار، المثلى .

Abstract

In this work, we presented devices of support, their role and their dimensionnement. We worked out an algorithm of count permitting to determine the optimal measurements of support devices in collared élastomère, in order to get a good distribution of efforts between the different supports of a work and to minimize the transmission of bending efforts applied to foundations.

Key words : Device of support , optimisation, collared elastomer , bridge

Résumé

Dans ce travail, nous avons présenté les appareils d'appui , leur rôle et leur dimensionnement

Nous avons élaboré un algorithme de calcul permettant de déterminer les dimensions optimales des appareils d'appui en élastomère fretté, afin d'obtenir une bonne répartition des efforts entre les différents appuis d'un ouvrage et de minimiser la transmission des efforts de flexion appliqués aux fondations.

Mots clés : Appareil d'appui, optimisation, élastomère fretté, pont

Sommaire

Sommaire



INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I GENERALITES SUR LES APPAREILS D'APPUI

| | |
|--|---|
| 1-LES APPAREILS D'APPUI | 3 |
| 1.1-Les articulations en béton | 3 |
| 1.2-Les appareils d'appui métalliques | 4 |
| 1.3-Les appareils d'appui en élastomère frette | 6 |
| 1.4-Les appareils d'appui spéciaux | 6 |

CHAPITRE II LES APPAREILS D'APPUI EN ELASTOMERE FRETTE

| | |
|---------------------------------|----|
| 1. INTRODUCTION | 9 |
| 2. DEFINITION | 9 |
| 3. NOTATIONS-SYMBOLES | 10 |
| 4. MATERIAUX-FABRICATION | 13 |
| 4.1. les matériaux | 13 |
| 4.2. les fabrications actuelles | 15 |

CHAPITRE III DIMENSIONNEMENT DES APPAREILS D'APPUI

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCTION | 21 |
| 2. SOLLICITATIONS DE CALCUL | 21 |
| 3. APPAREIL D'APPUI EN ELASTOMERE FRETTE | 21 |
| 3.1. principe | 21 |
| 3.2. prescription | 26 |
| 4. CAS PARTICULIER DES APPAREILS D'APPUI GLISSANTS | 29 |
| 4.1. dimensionnement du bloc en élastomère fretté | 29 |
| 4.2. dimensionnement des plaques de glissement | 29 |
| 4.3. coefficient de frottement | 30 |

CHAPITRE IV REPARTITION DES EFFORTS HORIZONTALS ENTRE DES APPUIS D'UN PONT

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCTION | 32 |
| 2. DETERMINATION DE LA MATRICE DE SOUPLESSE | 33 |
| 2.1. les fondations superficielles | 33 |
| 2.2. les fondations profondes | 35 |
| 2.3. le fut de la pile | 40 |
| 2.4. système des appareils d'appui | 40 |
| 3. CALCUL DES EFFORTS HORIZONTALS EN TETE D'APPUI D'UN OUVRAGE | 43 |
| 3.1. répartition des efforts dynamiques | 45 |
| 3.2. répartition des efforts statiques | 45 |

CHAPITRE V OPTIMISATION DES APPAREILS D'APPUI

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCTION | 47 |
| 2. DESCRIPTION DU PROGRAMME DE DIMENSIONNEMENT | 47 |
| 2.1 prédimensionnement | 47 |
| 2.2. optimisation des appareils d'appui (dimensionnement final) | 50 |
| 3. APPLICATION | 53 |
| 3.1. exemple.1 | 53 |
| 3.2. exemple.2 | 56 |

| | |
|---------------------|----|
| CONCLUSION GENERALE | 65 |
|---------------------|----|

ANNEXE

BIBLIOGRAPHIE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Introduction Générale

Introduction Générale :

D'une façon générale, on appelle pont tout ouvrage permettant à une voie de circulation de franchir un obstacle ou une autre voie de circulation. Selon le cas on distingue : Pont-route , pont-rail , pont-canal.⁽¹⁾,...

En résumé, on appellera pont tout ouvrage de franchissement en élévation construit *in situ*.

Trop souvent considérés comme accessoires, les équipements jouent un rôle fondamental dans la conception, le calcul et la vie d'un ouvrage. Tout d'abord, ce sont eux qui permettent à un pont d'assurer sa fonction vis-à-vis des usagers. Par ailleurs, par le poids qu'ils reprennent, ils forment un des éléments du dimensionnement et du calcul de la structure⁽¹⁾.

En fin, par leurs dimensions géométriques, ils influent sur la conception même de la structure, notamment dans le sens transversal. Par exemple, l'implantation de certains dispositifs de retenue lourds impose souvent un élargissement du tablier pouvant orienter de façon terminante sa conception.⁽¹⁾

Un certain nombre d'équipements (étanchéité, appareil d'appui, joint de chaussée) conditionnent le bon fonctionnement et la durabilité de la structure. Ils doivent donc faire l'objet d'une étude très fine au stade de l'avant projet car il n'est généralement pas possible de les modifier une fois l'ouvrage en cours de construction.

Les tabliers de pont reposent, en général, sur leurs appuis (piles ou culées) par l'intermédiaire d'appareil d'appui.

(1) *Projet et construction des ponts : J.A.Calgaro & M.Virlogeux , édition 1991.*

L'appareil d'appui est un élément essentiel qui assure une bonne répartition des efforts horizontaux entre les différents appuis d'un pont et la transmission des efforts supportés par les appuis aux fondations. D'où la nécessité de bien choisir l'appareil d'appui afin d'optimiser son rôle. Ce qui fait l'objet de ce modeste travail qui consiste donc à choisir les dimensions optimales afin d'obtenir un rendement maximale de chaque appareil et de minimiser la transmission des efforts de flexion aux niveau des fondations⁽²⁾.

Notre travail est organisé comme suit : dans le premier chapitre, nous aborderons des généralités sur les appareils d'appui que l'on peut généralement utiliser, le deuxième chapitre sera réservé aux appareils d'appui en élastomère fretté .Le troisième chapitre donnera les méthodes de calcul pour le dimensionnement des appareils d'appui en élastomère fretté, le quatrième chapitre sera consacré au problème de la répartition des efforts horizontaux (statiques ou dynamiques) entre les différents appuis d'un pont. Le cinquième chapitre traitera le programme de dimensionnement des appareils d'appui en élastomère fretté pour n'importe quels types d'appui (piles ou culées), en effectuant leurs optimisations et enfin nous terminerons par une conclusion générale.

(2) *Construction par encorbellement des ponts en béton précontraint :*
J. MATHIVAT, éditions EYROLLES.

Chapitre I

*Généralité Sur Les
Appareils D'appui*

Chapitre I

Généralité Sur Les Appareils D'Appui

1. LES APPAREILS D'APPUI :

L'appareil d'appui est un organe qui assure la liaison entre une structure et son support, il est conçu pour transmettre essentiellement les efforts normaux ou a la fois les efforts verticaux et les efforts horizontaux et de permettre les rotations, pour les types d'appareils d'appui, on distingue quatre types qui sont :

- les articulations en béton
- les appareils d'appui métalliques
- les appareils d'appui en élastomère frette
- les appareils d'appui spéciaux

1.1. LES ARTICULATIONS EN BETON :

Les articulations en béton (encore appelés articulations freyssinet) sont assez rarement employées, et réservées à des ouvrages en béton de petites portées, du type dalles armées en précontraintes. On les réalise sous forme de sections rétrécies de béton (fig.1) ponctuelles ou linéaires, généralement traversées par des aciers de gonjournage. Leur principe de fonctionnement est le suivant :

Sous charges permanentes les noyaux de béton sont soumis à une contrainte de compression de l'ordre de 20 à 25MPa qui les plastifie. Leur intégrité est assurée par le frettage des parties adjacentes du tablier et de la pile (ou de la culée). Ces articulations n'admettent pas de déplacements horizontaux mais permettent des petites rotations limitées à 1/20 sous sollicitation de service.

La conception et la justification des sections rétrécies de béton font l'objet de l'article A.8.4. de règlement BAEL 83.

Le principal inconvénient de tel appareil d'appui réside dans le fait que lorsqu'ils sont détériorés(généralement à la suite d'une exécution défectueuse) leur remplacement par des appareils d'appui en élastomère fretté est nécessaire et cette opération n'est pas simple. Il est donc préférable de disposer d'emblée des appareils de ce dernier type.

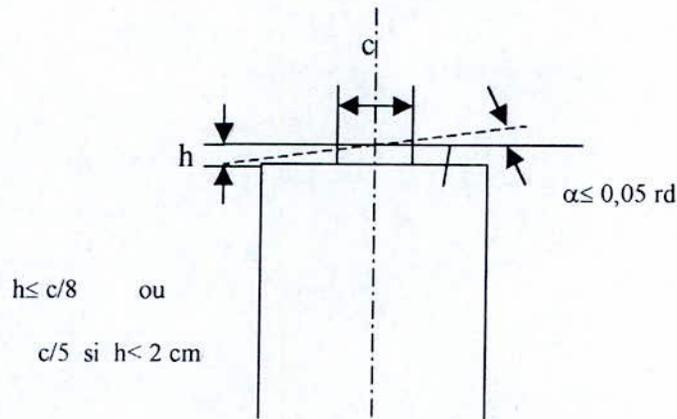


Fig. 1 .Articulation en béton.

1.2. LES APPAREILS D'APPUI METALLIQUES :

Les appareils d'appui métalliques se rencontrent essentiellement dans le cas des ponts métalliques, bien que bon nombre d'entre eux soient maintenant équipé d'appareils d'appui en élastomère frette ou d'appareils d'appui spéciaux.

Actuellement, les constructeurs métalliques confectionnent parfois des appareils d'appui en acier moulé ou, plus récemment, en acier laminé de nuance E355(notamment pour constituer les balanciers et galets des appareils pour ponts de portées inférieures à la centaine de mètres), les dessins de (fig.2) donnent quelques exemples d'appareils d'appui fixes ou mobiles.

A noter que les sociétés précédemment évoquées, diffusant des appareils d'appui spéciaux métalliques dont la (fig.3) donne un exemple.

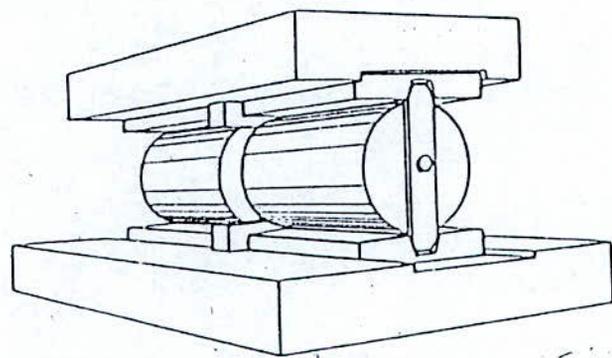
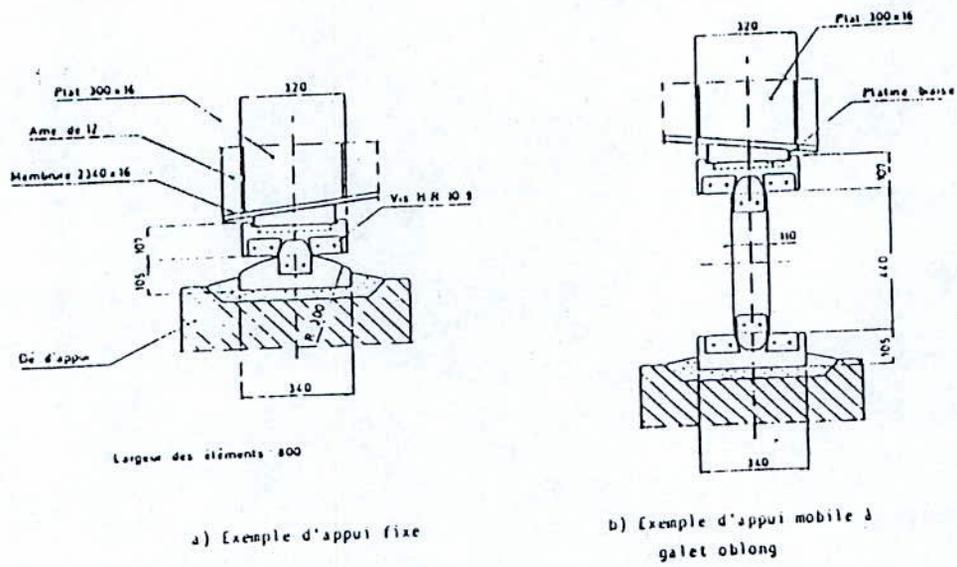


Fig.2. Les appareils d'appui métalliques.

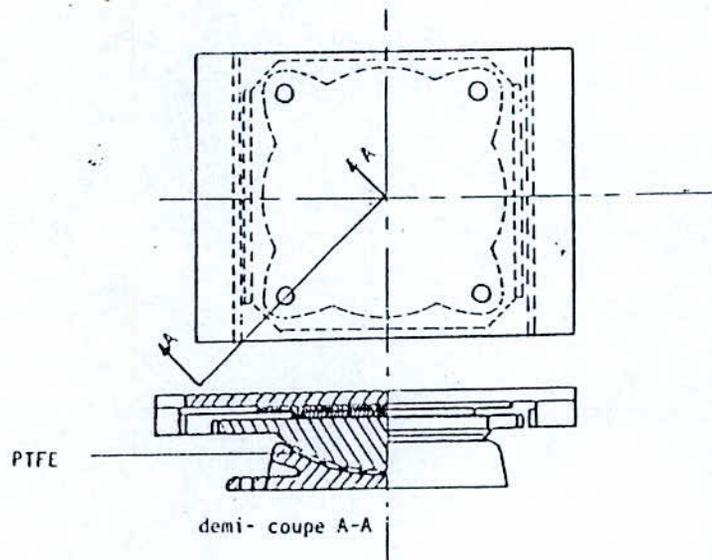


Fig.3. Exemple d'appareils d'appui spéciaux métallique

1.3. LES APPAREILS D'APPUI EN ELASTOMERE FRETTE :

Ils sont constitués par un empilage de feuilles d'élastomère (en général du Néoprène) et de tôles d'acier jouant le rôle de frettes, la liaison entre les tôles et le Néoprène étant obtenue par « adhésion » au moment de la vulcanisation. L'épaisseur des frettes est comprise entre 2 et 4 mm, et l'épaisseur des feuilles de Néoprène est, en général de 8, 10 ou 12 mm (parfois 20mm). Ce type d'appareil d'appui est le plus couramment employé pour tous les ouvrages en béton .

1.4. LES APPAREILS D'APPUI SPECIAUX :

Un certain nombre de fabricants étrangers commercialisant des appareils d'appui spéciaux sont les suivantes :

G.H.H (ALLEMAGNE) qui commercialise des appareils d'appui spéciaux NEOTPF.

FIP (ITALIE)

P.S.C (GRANDE-BRETAGNE) qui commercialise des appareils d'appui TETRON.

GLACIER (GRANDE BRETAGNE), etc...

Leur principe de fabrication est simple : un pot métallique contient de l'élastomère soumis à une forte compression (20 à 25 MPA) par un couvercle en acier. Du fait de cette forte compression, l'élastomère se comporte plutôt comme un fluide, ce qui permet au couvercle de supporter des rotations de faible amplitude dans tous les sens. On réalise ainsi une véritable articulation ponctuelle.

Le couvercle peut être surmonté par une plaque de glissement qui, moyennement des dispositifs de guidage appropriés, permettent d'obtenir des appareils d'appui glissants uni –ou multi –directionnels. Les dessins de la (fig.4) donnent, à titre d'exemple, les coupes schématiques de 3 types d'appareils d'appui NEOTPF.

Les appareils d'appui spéciaux ne sont dimensionnés que par la descente de charge verticale qu'ils supportent : on choisit dans le catalogue du fabricant le modèle qui peut supporter la charge P donnée

Les appareils d'appui fixes sont dimensionnés pour reprendre un effort horizontal égale à $0,1P$ si $P < 5 \text{ MN}$ et $0,05 P$ si $P > 5 \text{ MN}$.

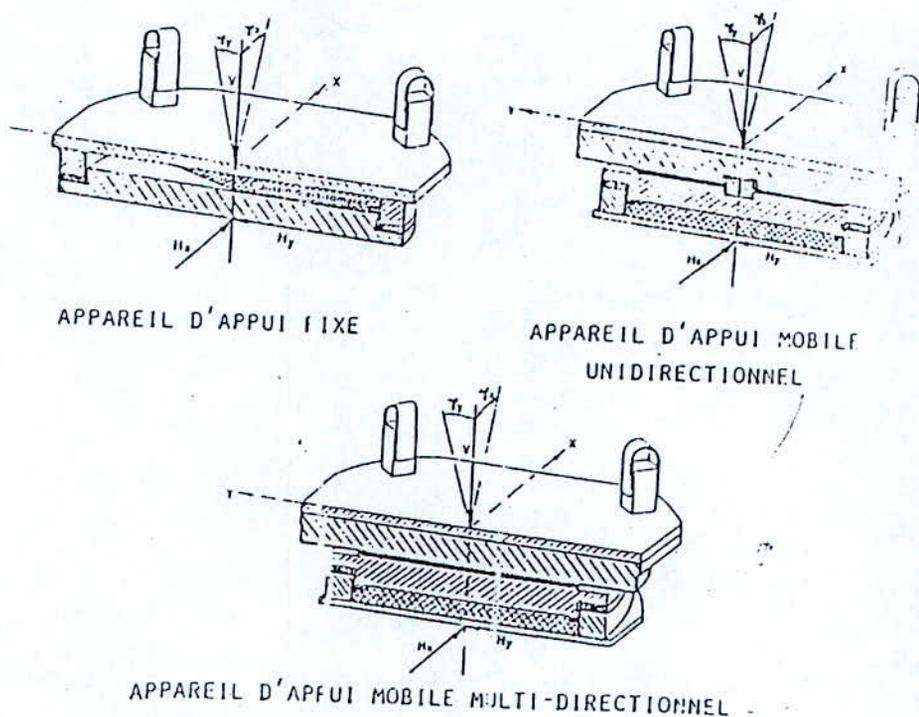


Fig.4. Appareils d'appui spéciaux NEOTPF.

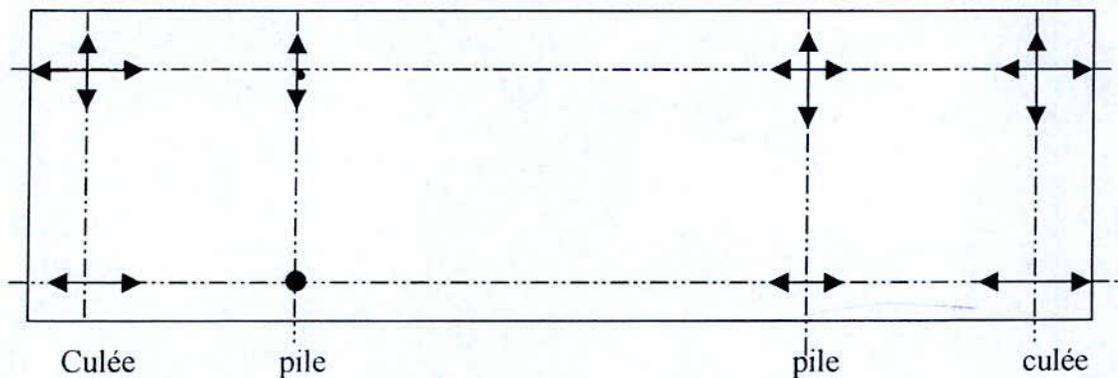


Fig. 5. Représentation d'un pont avec ses appareils d'appui spéciaux.

- Appareil d'appui fixe
- ↔ Appareil d'appui mobile unidirectionnel
- ↕ Appareil d'appui mobile multidirectionnel

Pour les appareils d'appui glissants le coefficient de frottement varie en fonction de la pression appliquée à l'élastomère. Au stade de l'avant projet, on peut adopter un coefficient de frottement moyen de 3%.

Par rapport aux appareils d'appui en élastomère fretté, les appareils d'appui spéciaux sont considérés comme étant d'une qualité, donc d'une durabilité, nettement supérieure. On les prévoit fréquemment pour les grands ouvrages car, malgré leur prix élevé, ils constituent une garantie de fonctionnement de la structure pendant de nombreuses années. Par ailleurs le recours à ces appareils d'appui est nécessaire lorsque les descentes de charges sont très importantes ; la dimension maximale des appareils en élastomère fretté est celle d'un carré de 0.9 m de côté, ce qui correspond à une charge verticale maximale de 12,15 MN. Pour des charges supérieures, il est déconseillé de multiplier les appareils en élastomère fretté ; il vaut mieux passer à des appareils d'appui spéciaux, il convient toutefois de faire attention à leur choix et à leur implantation : comme on ne dispose que d'appareils d'appui fixes ou glissants, il faut veiller à ce que les dilatations du tablier puissent se faire dans toutes les directions sans créer de contraintes ou d'efforts parasites. La figure.(5) donne un exemple d'implantation d'appareils d'appui spéciaux dans un ouvrage à trois travées, l'appui intermédiaire gauche étant choisit comme appui fixe du tablier vis-à-vis des efforts horizontaux longitudinaux.

Chapitre II

*Les Appareils D'appui En
Elastomère Fretté*

Chapitre II

Les Appareils D'Appui En Elastomère Frette

1. INTRODUCTION:

Les appareils d'appui en élastomère fretté sont utilisés comme appareils d'appui depuis une quarantaine d'années. Se présentant à l'origine sous forme de simples plots, c'est FREYSSINET qui eut l'idée en 1952 d'en améliorer les performances par un frettage en grillage soudé, remplacé dès 1956 par des tôles adhérisées aux couches d'élastomère lors de la vulcanisation.

Depuis, cette technique s'est généralisée dans le monde entier et les utilisations d'appui FREYSSINET n'ont cessé de se multiplier .

Les appuis en élastomère fretté ont été longtemps dimensionnés selon des normes basées sur une théorie élaborés par F.I(Freyssinet Internationale), confirmée plus tard par une compagne d'essais conduite par l'ORE (Office de Recherche et d'Essais) de L'U.I.C (Union Internationale des Chemins de fer).

La synthèse de ces études a permis au Ministère de l'Equipeement et du Logement Français la mise au point des recommandations de calcul présentés dans le bulletin technique n°4 de Décembre 1974 du S.E.T.R.A. (Service d'Etude Technique des Routes et Autoroutes)

Les appuis FRESSYNET font l'objet d'un contrôle de fabrication permanent et le Service de Recherche et Développement de F.I procède systématiquement à des essais statiques et périodiquement à des essais dynamiques en laboratoire avec le concours des Grandes Administrations.

2. DEFINITION :

Les appareils d'appui en élastomère fretté sont constitués d'un empilage de plusieurs plaques d'un élastomère(qui est dans la presque totalité des cas du polychloroprène) commercialisé surtout sous le nom de Néoprène) liées entre elles et frettées par des plaques métalliques (fig.6). La liaison entre élastomère et frettes étant obtenue de préférence en cours

de vulcanisation, grâce aux propriétés de l'élastomère, ces appareils peuvent subir des déformations verticales et des distorsions dans le sens horizontal et permettre ainsi des mouvements de translation et de rotation du tablier en même temps. Ils présentent une certaine résistance à ces mouvements, et sont donc capables de s'opposer aux efforts de freinage, cela permet (parfois) de supprimer l'appui fixe.

- 1- frette intermédiaire (tôle)
- 2 - feuillets d'élastomère
- 3 -frettes extérieures

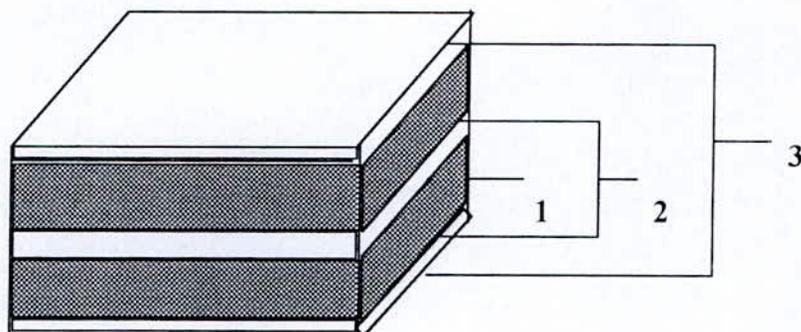


Fig. 6 - Appui standard.

Les efforts horizontaux sont alors répartis entre les différents appareils d'appui ; cette répartition dépend des dispositions du tablier, de la flexibilité des différentes piles et de la rigidité de chacun des appareils d'appui.

Dans ces appareils, utilisés de plus de 15 ans, on n'a pas constaté de phénomène de vieillissement du Néoprène, ils sont maintenant très couramment employés et donnent satisfaction dans la plus part des cas, à condition que soient respectées les règles de dimensionnement de calcul et les spécifications techniques qui figurent dans le bulletin technique n°4 du S.C.E.T (diffusé par le S.E.T.R.A) et dans le dossier JADE ; à condition aussi et surtout que des précautions élémentaires soient prises au moment de la pose de ces appareils de manière qu'ils soient bien à leur place, qu'ils ne s'enfoncent pas dans du béton trop jeune, que leurs faces soient bien parallèles et que leur fonctionnement ne soit pas entravé par des restes de coffrages ou des corps étrangers.

3. 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.
- σ_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 coté parallèle à l'axe longitudinal de l'ouvrage.
- b - Dimension en plan du coté perpendiculaire à l'axe longitudinal de l'ouvrage.
- t - Epaisseur nominale d'un feuillet élémentaire d'élastomère
- T - Epaisseur nominale totale d'élastomère.
- h - Hauteur nominale totale de l'appareil d'appui.
- β - Coefficient de forme.
- t_s - Epaisseur d'une frette intermédiaire.

Sollicitation (fig. 7)

- N - Charge verticale maximale.
- H_1 - Effort horizontal dû au déplacement lent de l'ouvrage.
- H_2 - Effort horizontal instantané appliqué.
- H_s - Effort horizontal dû au séisme.
- H - Effort horizontal total.
- M - Moment crée par une rotation.

Contraintes

- σ - Contrainte de compression.
- σ_m - Contrainte moyenne de compression.
- τ - Contrainte de cisaillement
- τ_m - Contrainte moyenne de cisaillement.
- τ_N - Contrainte de cisaillement due à un effort normal.
- τ_H - Contrainte de cisaillement due à un effort horizontal.
- τ_α - 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.
- γ - Angle de déformation dû au cisaillement (distorsion).
- γ_1 - Angle de déformation dû au cisaillement sous l'effet d'actions lentes (dilatation, retrait, fluage).
- γ_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.
- U - Déformation horizontale totale
- α_T - Angle de rotation de l'appareil d'appui.
- α_t - Angle de rotation d'un feuillet élémentaire.

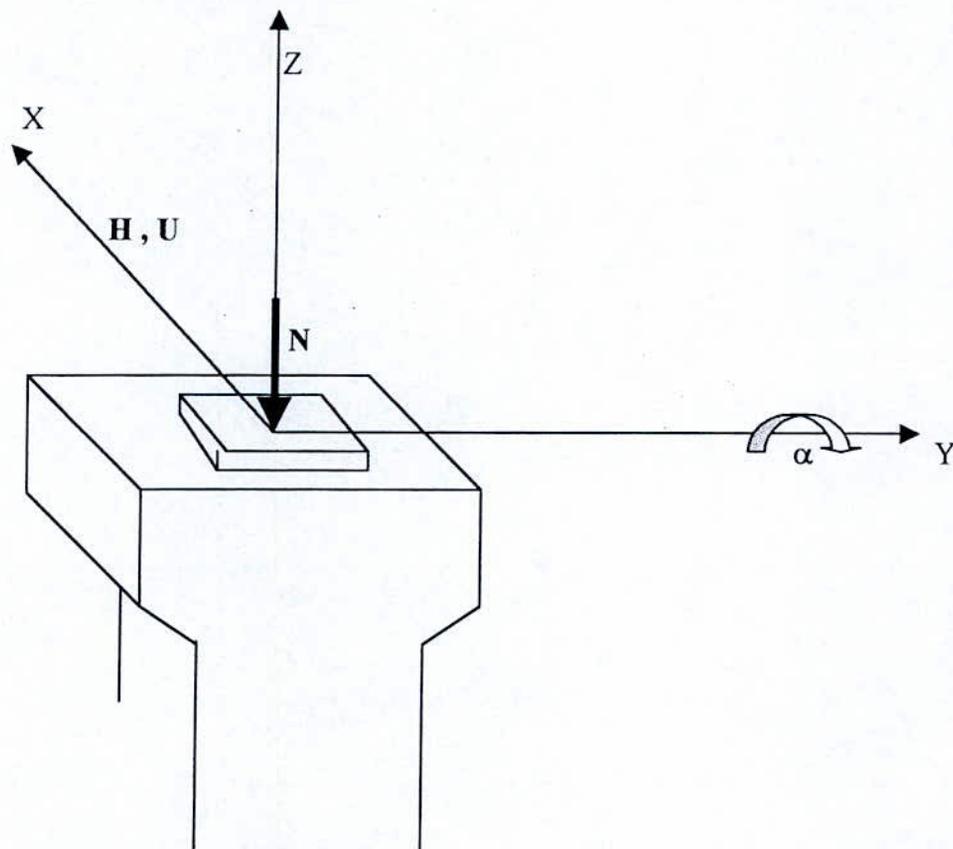


Fig.7. Sollicitations de l'appui.

4 . MATERIAUX - FABRICATION

4.1. LES MATERIAUX

4.1.1. ELASTOMERE

L'élastomère doit en particulier présenter une bonne résistance à l'action des huiles , des intempéries , de l'ozone atmosphérique et des températures extrêmes auxquelles l'appareil d'appui est soumis.

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 (poly-chloroprène).

Il existe plusieurs formules qui, sur le marché, portent des noms de marques : 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 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.

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

4.1.2. FRETTE

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 inférieur à 1 mm.

4.1.3. POLYTETRAFLUORETHYLENE

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, Gaflan, ...) 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.

4.1.4. PLAQUE DE GLISSEMENT

Le système généralement utilisé 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 inoxydable sur la plaque d'acier doux. Dans le premier procédé, la tôle est collé 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.

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.

4.1.5. PLAQUES-MERES DES APPUIS EN ELASTOMERE FRETTE

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 : 900x1000 mm et 700x1400 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.

4.2. 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.

4.2.1. LES APPAREILS D'APPUI EN ELASTOMERE FRETTE

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. 8, 9 et 10). Les appuis se présentent en plaques simples, en plaques monoblocs de deux feuillets, ou plus, ou en un empilage de plaques monoblocs collées éventuellement entre elles pour des épaisseurs importantes d'appui.

les faces apparentes des tôles extérieures des appuis standards et leur tranches sont protégées contre la corrosion par une peinture epoxy spéciale. Pour les appuis enrobés, les frettes sont totalement noyées dans l'élastomère et ne sont pas apparentes.

Pour des ouvrages en zone maritime ou en ambiance spécialement corrosive (industrie chimique), il est recommandé de retenir un frettage par tôles d'acier inoxydables ou des appuis enrobés

Les plus grandes plaques-mères dont disposent les deux fabricants (900x1000 et 700x1400) permettent d'obtenir une gamme déjà importante d'appareils. Il est recommandé de choisir des sous multiples de ces dimensions :

Les dimensions indiquées sont celles qu'il convient de retenir dans les cas courants.

Exemple :

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

Bien qu'il soit recommandé pour des raisons économiques et de délais de retenir des appareils d'appuis de dimensions standards, il est possible de fabriquer des plaques d'appuis adaptées à la demande (en plan et en épaisseur).

4.2.2. LES APPAREILS D'APPUI GLISSANTS EN ELASTOMERE FRETTE

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.

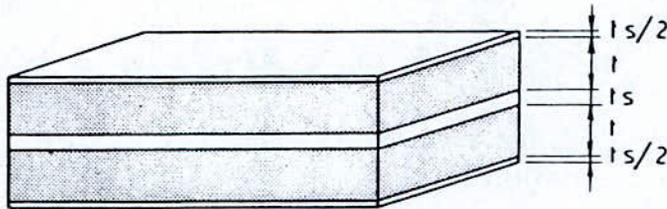
Il y a lieu de remarquer que la plaque de glissement est posée sur l'appui en élastomère, sa face polie dirigée vers le bas en contact avec la feuille de P.T.F.E. Cette feuille ne déborde jamais de la plaque de glissement, même dans les positions extrêmes, obtenues avec les grands déplacements.

Deux types d'appareils glissants sont indiqués sur les figures (11) et (12). 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.

STUP (procédé FREYSSINET)

G = 0,8 MPa

Dureté Shore A : 60



$$T = nt$$

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

| t : Épaisseur 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 | 3 | 1,5 | 3 | 1,5 |
| 12 | 3 | 1,5 | 3 | 1,5 |
| 20 | 4 | 2 | 4 | 2 |

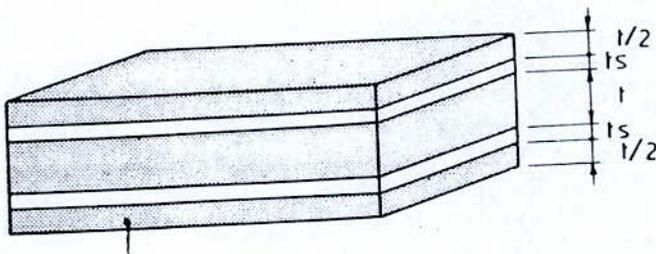
Les épaisseurs sont exprimées en mm.

Fig.8. Appui standard (STUP)

CIPEC

G = 0,8 MPa

Dureté Shore A : 60



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

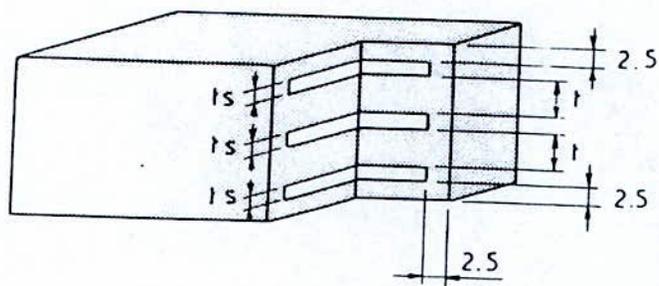
| t : Épaisseur de l'élastomère | Acier ordinaire | Acier inox |
|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Frettes intermédiaires | Frettes intermédiaires |
| 8 | 2 | 2 |
| 10 | 3 | 3 |
| 12 | 3 | 3 |
| 20 | 4 | 4 |

Fig.9. Appui enrobé (CIPEC)

GUMBA

G = 1 MPa

Dureté Shore A : 60



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

| 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.

Fig.10. appui enrobé (GUMBA)

Les dimensions indiquées sont les dimensions standards courantes

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

4.2.3. LES APPAREILS EN ELASTOMERE FRETTE, BUTES 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 (13) 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 (fig. 14), la (fig. 15) montre les dispositifs susceptibles d'être adoptés.

CIPEC

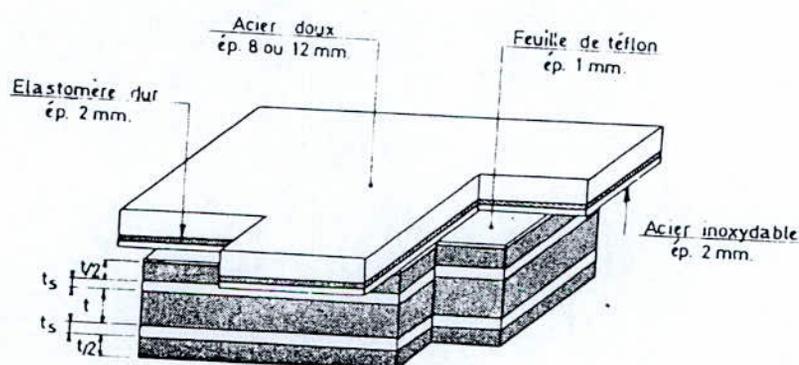


Fig.11. Type CIPEC d'appareil glissant

STUP

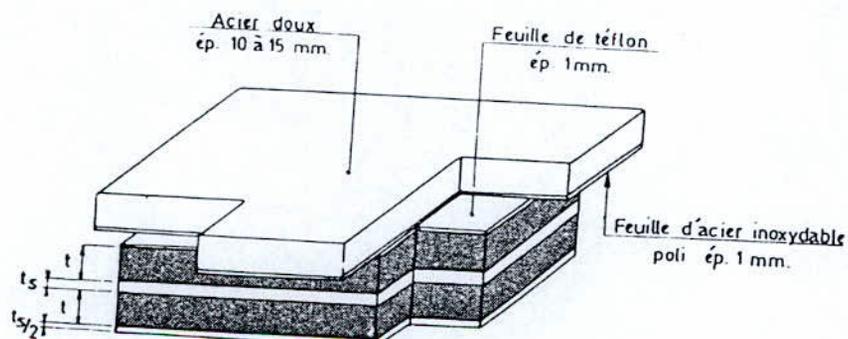


Fig.12. Type STUP d'appareil glissant

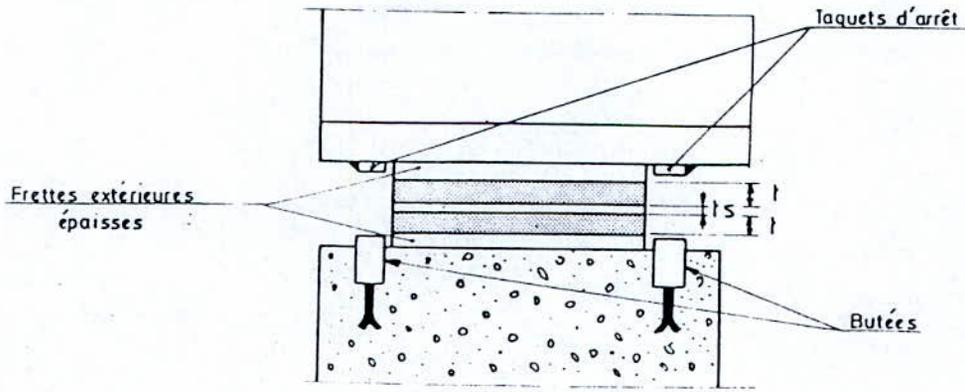


Fig.13. Dispositif anti-cheminement

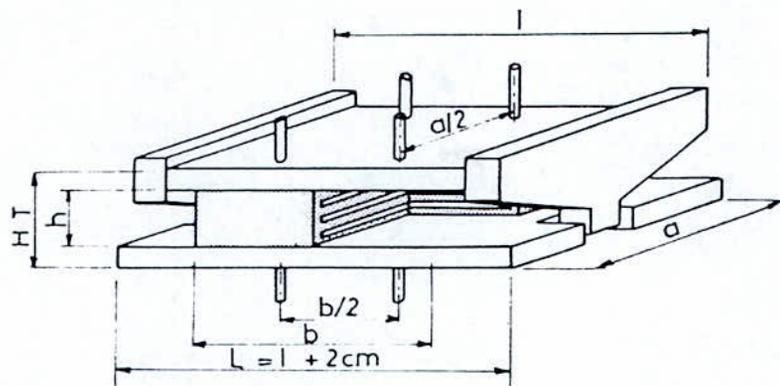


Fig.14. Appareil 'HERCUL' fabriqué par GHH (Allemagne)

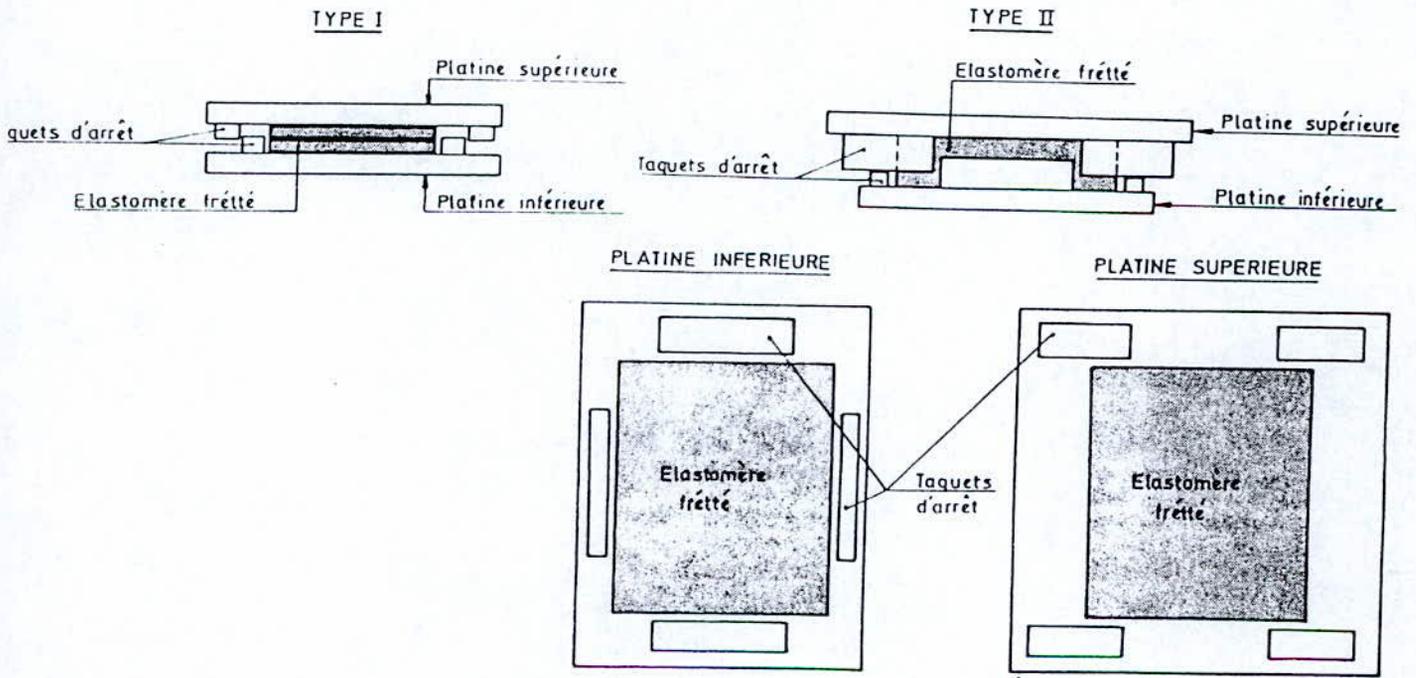


Fig.15. Appareil d'appui fixes à taquets.

Chapitre III

*Dimensionnement Des
Appareils D'appui*

Chapitre III

Dimensionnement Des Appareils D'Appui

1. INTRODUCTION

Les sollicitations de calcul sont déterminées de la même manière pour les différents types d'appareils. En revanche les méthodes de calcul 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.

2. SOLLICITATIONS DE CALCUL

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

(G): sollicitations dues aux charges permanentes.

(Q): sollicitations dues aux surcharges (les effets des majorations dynamiques sont compris)

(T): les sollicitations dues aux effets de température, de retrait et du fluage

(V): les sollicitations dues au vent et éventuellement à la neige.

(Ss): les sollicitations dues au séisme.

(S): les sollicitations totales.

$$(S) = (G) + (Q) + (T) + (V) + (Ss)$$

3. APPAREILS D'APPUI EN ELASTOMERE FRETTEES

3.1. PRINCIPE

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

a) Compression

Sous un effort normal, des contraintes de cisaillement τ_N apparaissent au niveau du plan de frettage, suivant une répartition conforme à celle indiquée sur la figure (16) les contraintes maximales se développent sur les bords de chaque feuillet et plus précisément au milieu des grands côtés. Ceci explique qu'en ces endroits que peuvent apparaître les premières dégradations d'un appareil.

La valeur maximale de cette contrainte est égale à :

$$\tau_M = \frac{1.5\sigma_m}{\beta} \quad \text{où} \quad \beta = \frac{a.b}{2t(a+b)} \quad \text{et} \quad \sigma_m = \frac{N}{a.b}$$

avec - a , b : sont les dimensions en plan de l'appareil.

- t : est l'épaisseur d'un feuillet d'élastomère.

- β : coefficient de forme.

- σ_m : contrainte moyenne de compression.

Au milieu du côté b, dans le cas général où : $a < b$

Le coefficient de forme β 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 σ_m atteignant au maximum 3 MPA, l'appui subit un écrasement d'adaptation , évalué forfaitairement à 1 mm. Lorsque σ_m est supérieur à 3 MPA, la valeur d'écrasement supplémentaire peut être calculée à l'aide de la formule:

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

avec - K_1 est un coefficient en fonction de (a / b)

- Δe_T est la déformation, en compression, de l'appareil d'appui lorsque $\sigma_m > 3$ MPA.

Les valeurs de K_1 figurent au tableau 1.

Ainsi l'écrasement total est

$$e_T = \Delta e_T + 1 \text{ mm}$$

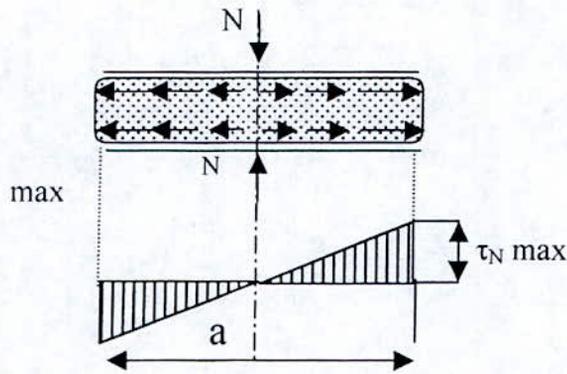


Fig.16a. Variation de τ_N max

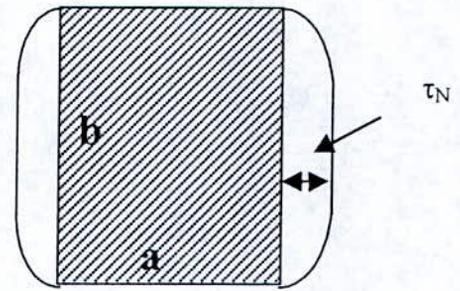


Fig.16b. Distribution des contraintes τ_N
Le long du côté b.

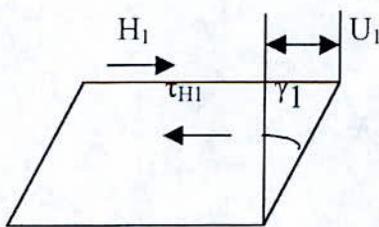
Fig.16 (a et b). répartition des contraintes τ_N

b) Distorsion:

Dans le cas d'une distorsion, la distribution des contraintes au niveau du plan de frettage est uniforme (fig.17).

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 γ_1 , la contrainte et l'effort correspondant :

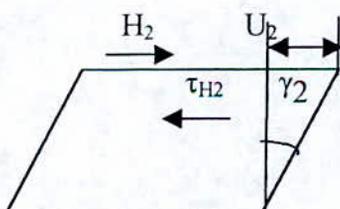


$$tg\gamma_1 = \frac{U_1}{T}$$

$$\tau_{H1} = G.tg\gamma_1 = \frac{U_1}{T}.G$$

$$H_1 = ab.\tau_{H1} = G.ab\frac{U_1}{T}$$

L'appareil est soumis à un effort dynamique H_2 (freinage, vent, force centrifuge).



$$\tau_{H2} = \frac{H_2}{ab}$$

avec : - U_2 est la déformation horizontale, sous l'effort dynamique H_2 de l'appareil.

- γ_2 est l'angle de distorsion de l'appareil sous l'effort dynamique H_2 .

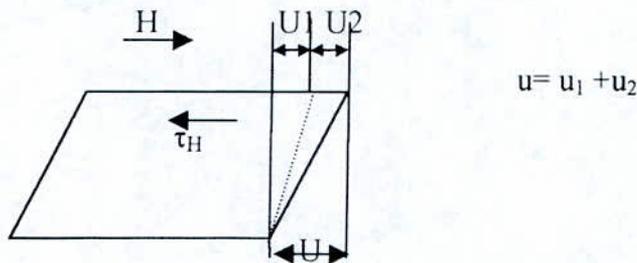
Or, dans le cas d'un effort dynamique, on constate expérimentalement que le module d'élasticité transversal vaut deux fois la valeur G correspondant à un effort statique.

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

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

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

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:



Cette contrainte conventionnelle de calcul vaut:

$$\tau_H = G \operatorname{tg} \gamma = \tau_{H1} + 0,5 \tau_{H2} = G u_1/T + H_2/2ab$$

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(18). La contrainte maximale apparaît généralement sur les bords parallèles à l'axe de rotation et a pour valeur:

$$\tau_\alpha = (G/2) (a/t)^2 \alpha_t \quad \alpha_t = \alpha_T/n \quad \text{avec } \alpha_t \text{ est l'angle de rotation, exprimé en radian, d'un feuillet élémentaire.}$$

La rotation d'un appareil d'appui α_T peut provenir d'une déformation due au fonctionnement de la structure. Elle peut être aussi 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 :

$$M = G (\alpha_T / n) (a^5 b / t^3) (1 / K_2) \quad \text{avec } K_2 \text{ est un coefficient en fonction de } (a / b).$$

Les valeurs de K_2 sont données au tableau 1.

| 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 |

TABLEAU.1 – Valeurs standards des coefficients K_1 et K_2 .

Lorsque les rotations s'effectuent selon deux directions, parallèles aux côtés a et b, les contraintes τ_a et τ_b s'additionnent vectoriellement:

$$\tau_{\alpha,a} = (G / 2) (a^2 / t^2) \alpha_{t,a}$$

$$\tau_{\alpha,b} = (G / 2) (b^2 / t^2) \alpha_{t,b}$$

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

$$\alpha_T = \alpha + \alpha_0$$

α est la rotation calculée et α_0 donnée en fonction de la nature du tablier.

Dans les cas courants, les valeurs de α_0 à retenir sont:

- pour les tabliers en béton coulé en place $\alpha_0 = 3/1000 \text{ rd}$

- pour les tabliers en béton préfabriqué $\alpha_0 = 10/1000 \text{ rd}$

- pour les tabliers métalliques $\alpha_0 = 3/1000 \text{ rd}$

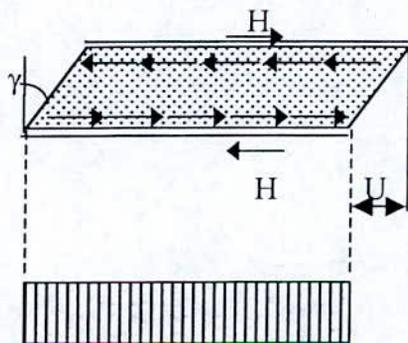


Fig.17. Variation de τ_H

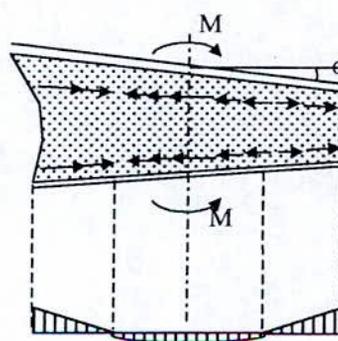


Fig.18. Variation de τ_α

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.

3.2. PRESCRIPTION:

3.2.1. LIMITATION DE LA CONTRAINTE DE CISAILLEMENT

Les limites admises sont:

$$\tau = \tau_N + \tau_H + \tau_\alpha \leq 5 G$$

τ_N – contrainte de cisaillement due à un effort normal.

τ_H - contrainte de cisaillement due à un effort horizontal.

τ_α – contrainte de cisaillement due à une rotation d'une face d'un feuillet par rapport à l'autre face.

(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)

$$\tau_{H1} \leq 0,5 G \quad \text{avec } \tau_{H1} \text{ - contrainte de cisaillement due à un effort horizontal statique.}$$

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

$$\tau_{H1} + \tau_{Hs} \leq 1,3 G$$

avec $\tau_{Hs} = H_s / 2Gab$ - contrainte de cisaillement due à un effort horizontal de séisme.

3.2.2. LIMITATION DE LA CONTRAINTE MOYENNE

L'aire ab doit être telle que la contrainte moyenne de compression σ_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.

3.2.3. CONDITION DE NON-CHEMINEMENT ET DE NON-GLISSEMENT

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

$$\sigma_{m,\min} = N/ab \geq 2 \text{ MPA} \quad \text{et} \quad H < f.N$$

$\sigma_{m,\min}$ - la valeur minimale de la contrainte moyenne de compression.

N – la valeur minimale de l'effort normal.

Le coefficient de frottement f prend les valeurs suivantes:

$f = 0,12 + 0,2 / \sigma_m$ lorsque les faces de l'appareil, en contact avec la structure, sont des frettes métalliques.

$f = 0,10 + 0,6 / \sigma_m$ lorsque les faces de l'appareil, en contact avec la structure, sont des feuillets d'élastomère.

avec σ_m est exprimée en MPa

Lorsque $1 \text{ MPa} \leq \sigma_{m, \min} \leq 2 \text{ MPa}$ ou $H > f N$, il convient d'éviter le déplacement de l'appareil en l'équipant de dispositifs appropriés tels que ceux décrits au chapitres II (figures 13 et 15).

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

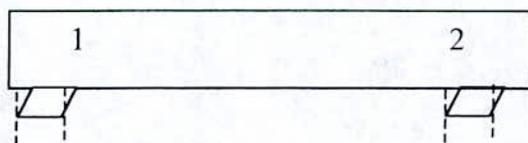
3.2.4. CONDITIONS DE NON-FLAMBEMENT:

En fonction de leurs dimensions les appareils d'appui peuvent se déformer par instabilité élastique (figure.19)

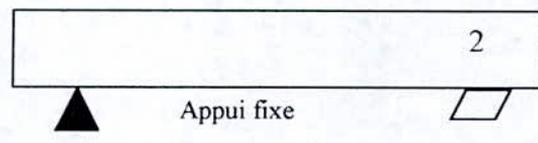
Par analogie avec les formules classiques de la résistance des matériaux, on peut penser que la stabilité élastique des appareils en élastomère fretté impose une limitation de la contrainte moyenne de compression, de la forme suivante :

$$\sigma_m \leq k.G (a^2/T^2) \quad \text{avec } T \text{ est l'épaisseur nominale totale de l'élastomère.}$$

la valeur du coefficient K est différente selon que l'appareil d'appui soit 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 libres en tête
Schéma A



Les appareils 2 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 courante ,qui consiste à limiter la

hauteur nette d'élastomère en fonction de la plus petite dimension en plan de l'appareil c'est à dire :

$$T \leq (a / 5)$$

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 suivante :

$$a / 10 \leq T \leq a / 5$$

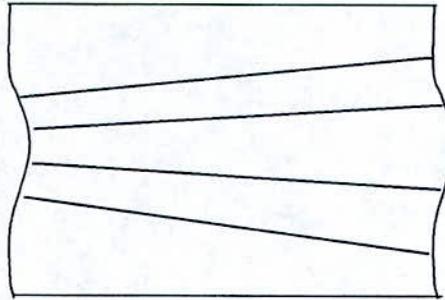


Fig.19. Déformation par instabilité élastique d'un appareil d'appui.

3.2.5. CONDITION DE NON-SOULEVEMENT

Dans tous les cas de sollicitations on doit avoir:

$$\alpha_t \leq (3 / \beta) (t^2 / a^2) (\sigma_m / G)$$

3.2.6. DIMENSIONNEMENT DES FRETTES

l'épaisseur des frettes t_s devra respecter les deux conditions suivantes:

| | | |
|---|-------------------------|-------------------------------|
| $t_s \geq (a / \beta) (\sigma_m / \sigma_e),$ | $t_s \geq 2 \text{ mm}$ | |
| $\sigma_e = 215 \text{ MPA}$ | pour l'acier E 24-1 | $e < 3 \text{ mm}$ |
| $= 235 \text{ MPA}$ | pour l'acier E 24-1 | $3 \leq e \leq 30 \text{ mm}$ |
| $= 275 \text{ MPA}$ | pour l'acier inox | $e < 3 \text{ mm}$ |
| $= 245 \text{ MPA}$ | 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 | Feuillets intermédiaires |
|------------------------|--------------------------|
| 8 | 2 |
| 10 | 3 |
| 12 | 3 |
| 20 | 4 |

4. CAS PARTICULIERS DES APPAREILS D'APPUI GLISSANTS: ELASTOMERE-P.T.F.E

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

4.1. DIMENSIONNEMENT DU BLOC EN ELASTOMERE FRETTE

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.

4.2. 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.20) parallèle à l'axe longitudinal de l'ouvrage:

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

d_a^+ : déplacement dans un sens.
 d_a^- : déplacement dans le sens opposé.

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

pour un déplacement composé (d_a, d_b) (fig.21)

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

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

A et B sont les dimensions en plan des plaques de glissement.

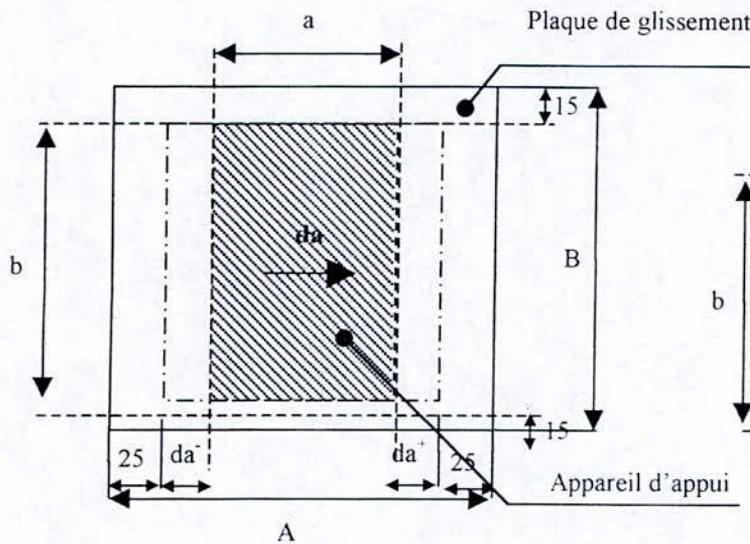


Fig.20. Dimensionnement des plaques de glissement pour un déplacement d_a parallèle à l'axe longitudinal de l'ouvrage

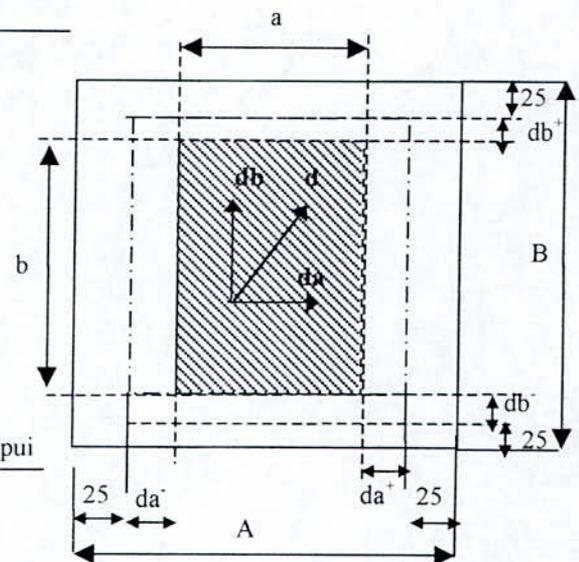


Fig.21. Dimensionnement des plaques de glissement pour un déplacement composé (d_a, d_b)

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. 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 500mm.

4.3. 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 et 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 sont 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 par la figure (22) représente les variations de f , pour l'intervalle

$3 \text{ MPA} < \sigma_m < 16 \text{ MPA}$:

$$f\% = 0.06 - (\sigma_m/400) \quad \sigma_m \text{ en MPA}$$

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:

$$f\% = 0.01 (3,5 - (\sigma_m / 10)) \quad \text{pour } 3 \text{ MPA} < \sigma_m < 16 \text{ MPA}$$

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. 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.(Fig.23.).

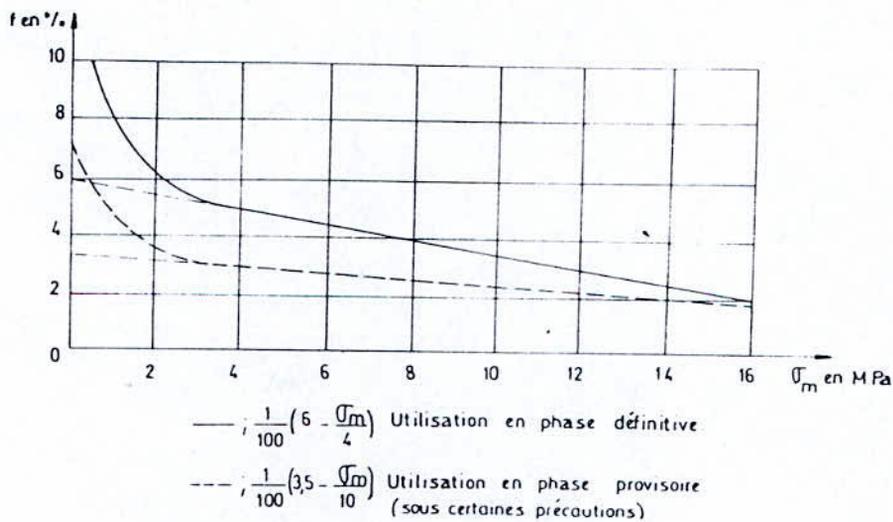


Fig.22. Coefficient de frottement –ACIER INOX P.T.F.E

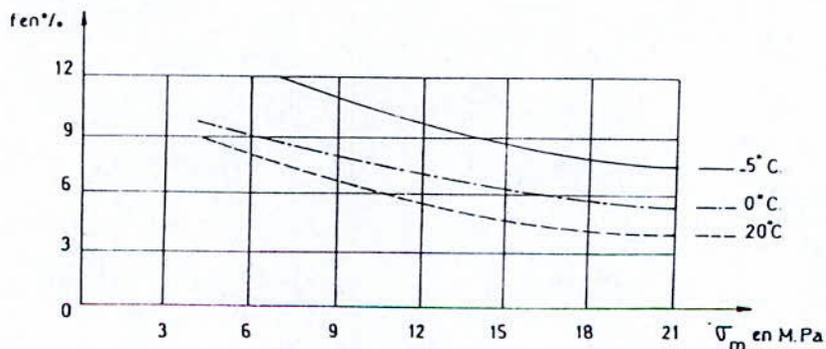


Fig.23. Variation du coefficient de frottement pour différentes températures

Chapitre IV

*Répartition Des
Efforts Horizontaux
Entre Les Différents
Appui D'un Pont*

Chapitre IV

Répartition Des Efforts Horizontaux Entre Les Appuis D'Un Pont :

1. GENERALITES:

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).

Le problème des répartitions des efforts horizontaux entre les différents appuis est un problème de résistance des matériaux, mais pour le résoudre, il faut connaître la souplesse des appuis (piles et culées).

Tout d'abord, il convient de distinguer les piles des culées, on admet actuellement que ces dernières ne sont pas libres de se déplacer du fait de leur interaction avec le sol et la détermination de leur souplesse dépend à la fois des appareils d'appuis et de sa fondation.

En ce qui concerne les piles, la détermination de leur souplesse fait intervenir à la fois les appareils d'appuis, le fût de la pile et la fondation.

2. DETERMINATION DE LA MATRICE DE SOUPLESSE:

2.1. LES FONDATIONS SUPERFICIELLES:

On considère l'ensemble de la fondation fig. (24), de hauteur totale h , de largeur B , et on suppose qu'elle traverse de différentes couches de caractéristiques mécaniques différentes, repérées par leur cote h_i à partir de la base. On suppose que la réaction latérale du sol est uniquement horizontale et proportionnelle au déplacement horizontal.

Le coefficient de proportionnalité pour la couche située entre les côtes h_i et h_{i+1} étant noté K_{hi} .

Par ailleurs ; On appelle ' δ ' l'enfoncement vertical de la fondation, ' W ' son angle de rotation, et on note ' Y ' le déplacement horizontal en tête de la fondation.

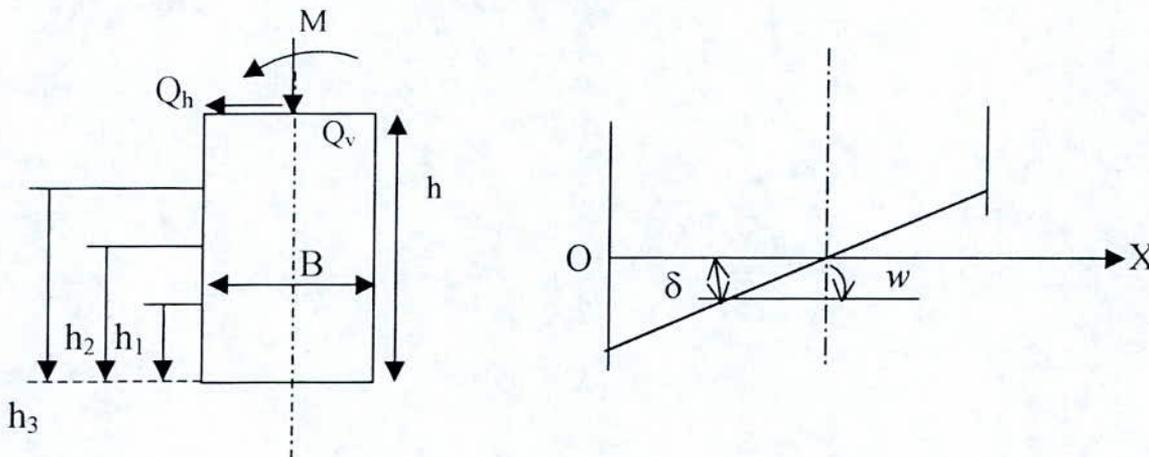


Fig.24. Fondation superficielle.

$$K = \frac{1}{h^3} \sum_i K_{hi} (h_{i+1}^3 - h_i^3) \tag{1}$$

On suppose que la base de la fondation est entièrement comprimée on a les relations suivantes :

$$\delta = \frac{N}{H \cdot K_v} \tag{2}$$

$$W = \frac{12.C}{B^3 \cdot K_v} \tag{3}$$

avec B, N et C sont respectivement : la largeur de la semelle, l'effort normal à la base de la fondation, le moment de flexion à la base de la fondation.

Où K_v est le module de réaction vertical du sol, déductible de l'interprétation des essais pression- métriques.

Alors :

$$Y = hw \quad (4 a)$$

$$N = Q_v \quad (4 b)$$

$$C = M + hQ_h - 1/3.K.h^2.Y \quad (4 c)$$

Avec M , Q_h , et Q_v sont respectivement : le moment de flexion, l'effort horizontal, l'effort normal en tête de la fondation.

Dans l'équation (3), on remplace « C » par sa valeur donnée dans l'équation (4 c)

$$W = \frac{12.C}{B^3 \cdot K_v} = \frac{12}{B^3 \cdot K_v} \left(M + hQ_h - \frac{1}{3}.K.h^2.Y \right) \quad (5)$$

On remplace (4a) dans l'équation (5) on obtient :

$$W = \frac{12}{B^3 \cdot K_v} M + \frac{12}{B^3 \cdot K_v} hQ_h - \frac{1}{3}.K.h^3.W \cdot \frac{12}{B^3 \cdot K_v}$$

$$W \left(1 + \frac{4h^3}{B^3} \times \frac{K}{K_v} \right) = \frac{12}{B^3 \cdot K_v} M + \frac{12}{B^3 \cdot K_v} .h.Q_h$$

$$W = \frac{12}{(B^3 \cdot K_v + 4h^3 K)} .M + \frac{12}{(B^3 \cdot K_v + 4h^3 K)} .h.Q_h \quad (6)$$

On remplace l'équation (6) dans l'équation (4a) on obtient :

$$Y = \frac{12.h}{(B^3 \cdot K_v + 4h^3 K)} .M + \frac{12.h^2}{(B^3 \cdot K_v + 4h^3 K)} .Q_h \quad (7)$$

- En fin, on aura le système d'équations qui relie les efforts (Q_h , N , M) et les déformations engendrées respectivement (Y , δ , W)

$$\begin{cases} Y = \frac{12}{(B^3 \cdot K_v + 4h^3 K)} .[h.M + h^2 \cdot Q_h] \\ \delta = \frac{N}{B^3 \cdot K_v} \\ W = \frac{12}{(B^3 \cdot K_v + 4h^3 K)} .[M + h.Q_h] \end{cases}$$

on écrit alors ce système d'équations sous forme matricielle nous aurons alors :

$$\begin{pmatrix} Y \\ \delta \\ W \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} C_f & o & B_f \\ o & P_f & o \\ B_f & o & A_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_h \\ N \\ M \end{bmatrix}$$

avec :

$$A_f = \frac{12}{(B^3 \cdot K_v + 4h^3 K)} \quad B_f = h^2 \cdot A_f$$

$$C_f = h^3 \cdot A_f$$

$$P_f = \frac{I}{B^3 \cdot K_v}$$

2.2. LES FONDATIONS PROFONDES :

2.2.1. CAS D'UN PIEU ISOLE :

On considère un pieu vertical de longueur L et de diamètre ϕ . Dont la section « S » a une rigidité de flexion « $E I$ », exécuté dans un sol homogène de module de réaction K , il est soumis, en tête, à un moment M et effort horizontal Q_h qui induisent un déplacement dans le même sens. Si « Y » est ce déplacement en tête et « W » l'angle de rotation de la fibre moyenne, on établit les relations suivantes :

$$Q_h = \rho_1 Y - \rho_2 W$$

$$M = -\rho_2 Y + \rho_3 W$$

Dans le sens axial, les pieux sont assimilés à des poutres droites obéissant à la loi de « Hook » : soumis, en tête, à un effort normal N , ils subissent un raccourcissement élastique tel que si on note L leur longueur on aura :

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{N}{ES}$$

Ceci est évidemment faux puisque, du fait du frottement latéral, l'effort normal n'est pas constant le long des pieux. Mais dans la mesure où ils sont tous identiques, cette hypothèse n'a pratiquement aucune influence sur la répartition des efforts entre eux. Nous aurons l'enfoncement vertical du pieu ΔL :

$$\Delta L = \frac{L}{E.S} N$$

On pose :

$$U = L \cdot \sqrt{\frac{K \cdot \phi}{4 \cdot E \cdot I}}$$

En tête, les pieux sont supposés encastres dans la semelle et en pied, on adapte un modèle de liaison compatible avec la nature des terrains dans lesquels sont fichés les points de pieux. En pratique, on a le choix entre une extrémité libre, une extrémité articulée et une extrémité encastree selon le degré d'encastrement des pieux dans une formation résistante. Donc nous aurons trois cas :

a) pieu libre en pied :

$$\rho_1 = \frac{4EI}{L^3} \cdot \frac{U^3 (sh(U)ch(U) + sin(U).cos(U))}{ch^2(U) + cos^2(U)}$$

$$\rho_2 = \frac{2EI}{L^2} \cdot \frac{U^2 (sh^2(U) + sin^2(U))}{ch^2(U) + cos^2(U)}$$

$$\rho_3 = \frac{2EI}{L} \cdot \frac{U (sh(U)ch(U) - sin(U).cos(U))}{ch^2(U) + cos^2(U)}$$

b) pieu articulé en pied :

$$\rho_1 = \frac{4EI}{L^3} \cdot \frac{U^3 (sh^2(U) + cos^2(U))}{sh(U)ch(U) - sin(U).cos(U)}$$

$$\rho_2 = \frac{2EI}{L^2} \cdot \frac{U^2 (sh(U)ch(U) + sin(U).cos(U))}{sh(U)ch(U) - sin(U).cos(U)}$$

$$\rho_3 = \frac{2EI}{L} \cdot \frac{U (sh^2(U) + sin^2(U))}{sh(U)ch(U) - sin(U).cos(U)}$$

c) pieu encastré en pied :

$$\rho_1 = \frac{4EI}{L^3} \cdot \frac{U^3 (sh(U)ch(U) + sin(U).cos(U))}{sh^2(U) - sin^2(U)}$$

$$\rho_2 = \frac{2EI}{L^2} \cdot \frac{U^2 (sh^2(U) + sin^2(U))}{sh^2(U) - sin^2(U)}$$

$$\rho_3 = \frac{2EI}{L} \cdot \frac{U (sh(U)ch(U) - sin(U).cos(U))}{sh^2(U) - sin^2(U)}$$

Pour la détermination de la matrice de souplesse, on détermine le système d'équations qui relie les efforts (Qh , N , M) en tête de pieu et les déformations (y , ΔL , w).

On a :

$$Q_h = \rho_1 Y - \rho_2 W \quad (8)$$

$$M = -\rho_2 Y + \rho_3 W \quad (9)$$

$$\Delta L = N.L / E.S \quad (10)$$

On tire Y de l'équation (8) et on le remplace dans l'équation (9) :

$$Y = (Q_n + \rho_2 W) / \rho_1$$

d'où :

$$M = \rho_3 W - \rho_2 \left(\frac{Q_h + \rho_2 W}{\rho_1} \right)$$

$$M = \rho_3 W - \frac{\rho_2}{\rho_1} Q_h - \frac{\rho_2^2}{\rho_1} W$$

$$W \left(\frac{\rho_3 \cdot \rho_1 - \rho_2^2}{\rho_1} \right) = M + \frac{\rho_2}{\rho_1} Q_h$$

$$W = \left(\frac{\rho_1}{\rho_3 \cdot \rho_1 - \rho_2^2} \right) \cdot M + \frac{\rho_2}{\rho_3 \cdot \rho_1 - \rho_2^2} Q_h \quad (11)$$

On remplace la valeur de W obtenu dans l'équation (8) on obtient :

$$Q_h = \rho_1 Y - \frac{\rho_2}{\rho_3 \cdot \rho_1 - \rho_2^2} [\rho_1 \cdot M + \rho_2 \cdot Q_h]$$

$$Y = \frac{1}{\rho_1} \left(1 + \frac{\rho_2}{\rho_3 \cdot \rho_1 - \rho_2^2} \right) Q_h + \frac{\rho_2}{\rho_3 \cdot \rho_1 - \rho_2^2} M \quad (12)$$

D'où finalement on obtient le système d'équation (10,11,12)

$$Y = \frac{1}{\rho_1} \left(1 + \frac{\rho_2}{\rho_3 \cdot \rho_1 - \rho_2^2} \right) Q_h + \frac{\rho_2}{\rho_3 \cdot \rho_1 - \rho_2^2} M$$

$$\Delta L = N \cdot L / E \cdot S$$

$$W = \left(\frac{\rho_1}{\rho_3 \cdot \rho_1 - \rho_2^2} \right) \cdot M + \frac{\rho_2}{\rho_3 \cdot \rho_1 - \rho_2^2} Q_h$$

on peut l'écrire sous forme matricielle :

$$\begin{bmatrix} Y \\ \Delta L \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_f & 0 & B_f \\ 0 & P_f & 0 \\ B_f & 0 & A_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_h \\ N \\ M \end{bmatrix}$$

Avec :

$$C_f = \frac{1}{\rho_1} \left(1 + \frac{\rho_2}{\rho_3 \cdot \rho_1 - \rho_2^2} \right)$$

$$B_f = \left(\frac{\rho_2}{\rho_3 \cdot \rho_1 - \rho_2^2} \right)$$

$$A_f = \left(\frac{\rho_1}{\rho_3 \cdot \rho_1 - \rho_2^2} \right)$$

$$P_f = L / E \cdot S$$

2.2.2. FORMULES POUR UNE FONDATION SUR DEUX FILES DE PIEUX :

On considère la fondation schématisé sur le dessin de la Figure (25). Elle comporte deux files de pieux identiques (longueur L , diamètre ϕ , rigidité EI), chaque file possède n pieux.

On note (M, Q_v, Q_h) les éléments de réduction du torseur des efforts apportés en « o » par la superstructure.

Ces éléments sont notés (M', Q'_h, Q'_v) en point o' (base de la semelle) et on a, bien évidemment :

$$\begin{aligned} Q'_h &= Q_h & Q'_v &= Q_v \\ M' &= M + eQ_h & e & \text{(épaisseur de la semelle)} \end{aligned}$$

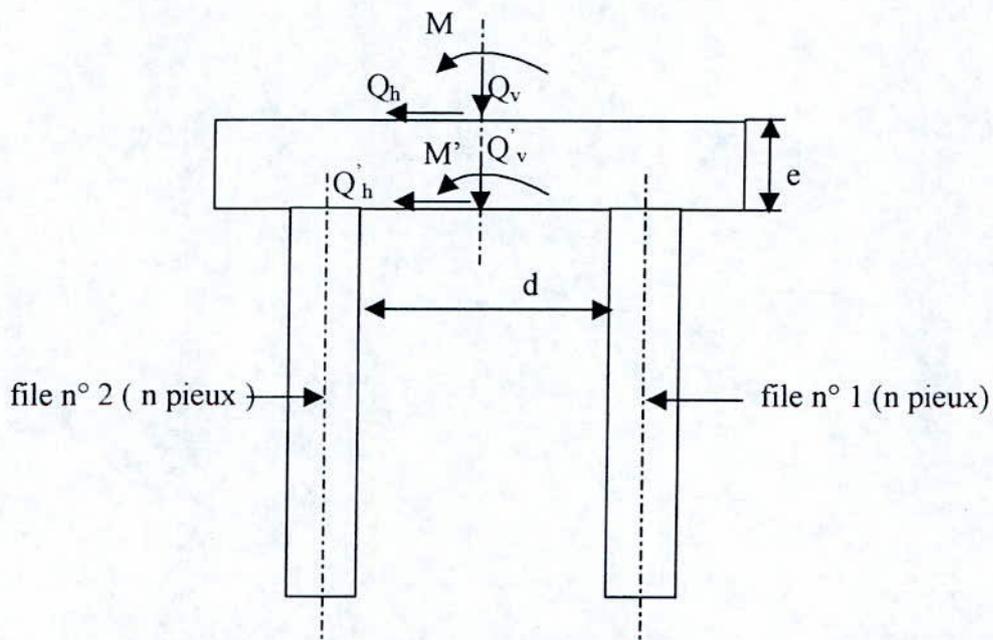


Fig.25 – fondation profonde sur deux files de pieux

On note parallèlement (w, v, h) et (w', v', h') les composants du déplacement de la semelle en o et o', et il est clair que :

$$\begin{aligned} w &= w' \\ v &= v' \\ h &= h' + ew \end{aligned}$$

Le comportement de chaque pieu est connu par les coefficients ρ_i précédemment calculés, on pose :

$$R_i = 2n\rho_i \quad \mu = \frac{E.S}{L}$$

$$\lambda = dR_1 + \frac{2}{n.\mu.d} (R_1 R_3 - R_2^2)$$

On établit alors les relations matricielles suivantes :

$$\begin{pmatrix} h' \\ v' \\ w' \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{d}{\lambda} + \frac{2R_3}{n.u.\lambda.d} & 0 & \frac{2R_2}{n.u.\lambda.d} \\ 0 & \frac{l}{2n.u} & 0 \\ \frac{2R_2}{n.u.\lambda.d} & 0 & \frac{2R_1}{n.u.\lambda.d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q'_h \\ Q'_v \\ M' \end{bmatrix}$$

Ainsi on obtient la matrice de souplesse de la fondation profonde sur 2 files de pieux :

$$\begin{bmatrix} C_f & 0 & B_f \\ 0 & P_f & 0 \\ B_f & 0 & A_f \end{bmatrix}$$

Tel que :

$$C_f = \frac{d}{\lambda} + \frac{2R_3}{n.\mu.\lambda.d}$$

$$B_f = \frac{2R_2}{n.\mu.\lambda.d}$$

$$A_f = \frac{2R_1}{n.\mu.\lambda.d}$$

$$P_f = \frac{l}{2n.\mu}$$

Le déplacement (U_1) et la déformation de la fondation sont illustrés dans la figure (26).

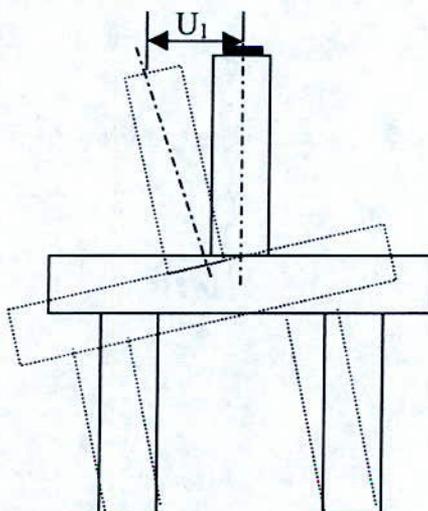


Fig.26. Déformation de la fondation

2.3. LE FUT DE LA PILE :

Pour le fût de la pile de hauteur L , de section $S(x)$ et d'inertie des sections droites $I(x)$ (l'abscisse x étant comptée à partir de la base de la pile), on pose :

$$A_p = \int_0^L \frac{I}{EI(x)} dx \qquad B_p = \int_0^L \frac{(L-x)}{EI(x)} dx$$

$$C_p = \int_0^L \frac{(L-x)^2}{EI(x)} dx \qquad P_p = \int_0^L \frac{I}{ES(x)} dx$$

Avec ces notations, la matrice de souplesse de fût de la pile a pour expression :

$$\begin{bmatrix} C_p & 0 & B_p \\ 0 & P_p & 0 \\ B_p & 0 & A_p \end{bmatrix}$$

Le déplacement U_2 et la déformation de fût de la pile sont illustrés dans la figure (27)

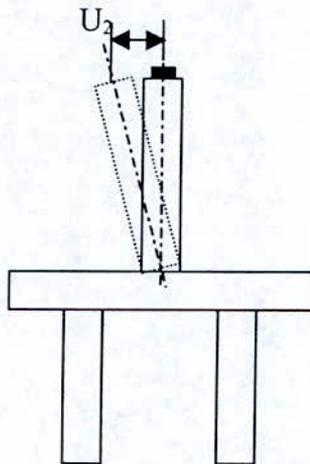


Fig.27. Déformation de fût de la pile

2.4. SYSTEME DES APPAREILS D'APPUI :

Pour les appareils d'appui en élastomère fretté, on note :

- S , l'air d'un appareil d'appui (en plan).
- t , l'épaisseur d'un feuillet élémentaire d'élastomère.
- n , le nombre de feuillets d'élastomère d'un appareil d'appui.
- P , le nombre d'appareils d'appuis identiques d'une même file.
- G , le module de cisaillement de l'élastomère (égal à 0,8 ou 1,6 Mpa selon que l'effort appliqué est plutôt soutenu ou plutôt instantané)

- K_1 et K_2 deux coefficients sans dimension, dont la valeur dépend du rapport entre la longueur et la largeur des appareils d'appui.

Sous un effort normal N l'appareil d'appui subit un tassement v :

$$v = K_1 \frac{nt^3}{PGSa^2} N$$

Sous un effort horizontal Q l'appareil d'appui subit un déplacement horizontal (distorsion) u :

$$u = \frac{nt}{PGS} Q$$

sous un moment fléchissant M la face supérieure de chaque feuillet élémentaire subit, par rapport à la face inférieure, une rotation θ

$$\theta = K_2 \frac{nt^3}{PGSa^3} M$$

Pour un appareil constitué de n empilements, la valeur de la rotation est égal à :

$$\theta = K_2 \frac{nt^3}{PGSa^3} M$$

Donc on aura la matrice de souplesse de l'appareil d'appui en élastomère fretté qui relie les efforts (N, Q, M) et les déformations (v, u, θ) :

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_a & 0 & 0 \\ 0 & P_a & 0 \\ 0 & 0 & A_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q \\ N \\ M \end{bmatrix}$$

Avec :

- $C_a = \frac{nt}{PGS}$ pour une file unique d'appareil d'appui.
 $= \frac{nt}{2PGS}$ pour deux files d'appareil d'appui.
- $P_a = K_1 \frac{nt^3}{PGSa^2}$ pour une file unique d'appareil d'appui.
 $= K_1 \frac{nt^3}{2PGSa^2}$ pour deux files d'appareil d'appui.

- $A_a = K_2 \frac{nt^3}{PGSa^4}$ pour une file unique d'appareil d'appui.
 $= K_1 \frac{2nt^3}{PGSa^2d^2}$ pour deux files d'appareil d'appui.
- $B_a = 0$: dans tous les cas. (on suppose qu'il n'y ait pas de couplage entre la distorsion et la rotation des appareils d'appui).
- Plus précisément, $B_a = C_a = P_a = 0$ pour des appareils d'appui spéciaux, et on choisit pour A_a une valeur très élevée afin de ne pas faire intervenir. Les déformabilités verticales.

La déformation (distorsion) U_3 de l'appareil d'appui est illustrée dans la figure (28).

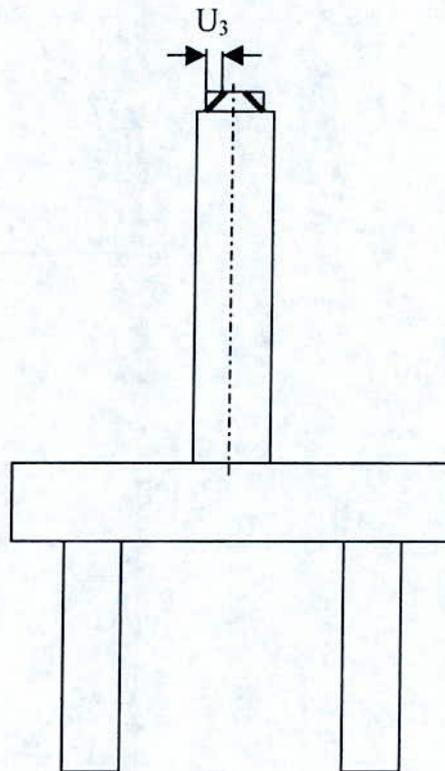


Fig.28. Déformation de l'appareil d'appui.

3. CALCUL DES EFFORTS HORIZONTAUX EN TETE D'APPUI D'UN OUVRAGE :

La relation entre les efforts H , N , M , appliqués en un point 0 de référence, situé dans l'axe de la pile ou culée et les composantes homologues (h , v , w) de la tête de l'appui (pile ou culée) à l'arase supérieure des appareils d'appui mais rapportées au point 0 , s'exprime sous la forme :

$$\begin{bmatrix} h \\ v \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C & o & B \\ o & P & o \\ B & o & A \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} H \\ N \\ M \end{bmatrix}$$

avec :

Pour la pile :

$$A = \sum_i A_i \quad i = a, p, f$$

$$B = \sum_i B_i \quad i = a, p, f$$

$$C = \sum_i C_i \quad i = a, p, f$$

$$P = \sum_i P_i \quad i = a, p, f$$

Pour la culée : $A = A_a + A_f \quad C = C_a + C_f$

$$B = B_f \quad P = P_a + P_f$$

Les culées sont supposées infiniment rigides, seuls les appareils et la fondation se déforment, donc on a la matrice de souplesse de la culée qui dépend des déformations des appareils d'appui et de la fondation.

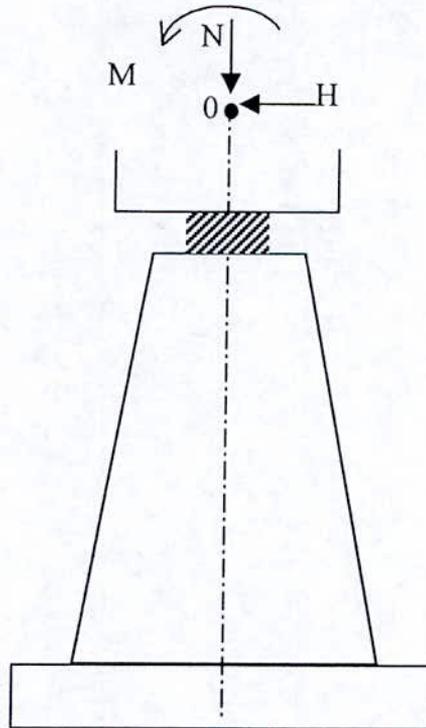


Fig.29. représentation d'une pile avec ses sollicitations.

On constate donc que, pour chaque appui, il est possible d'établir une relation matricielle analogue à la précédente en se souvenant que deux expressions sont généralement nécessaires. Selon que les efforts appliqués soient plutôt instantanés ou plutôt soutenus.

Dans la pratique, les ponts en béton précontraint appliquent sur les appuis des efforts dont l'origine se trouve dans les sollicitations agissantes, ou des efforts résultant de déformations (retrait, fluage).

En général, on considère que les tabliers de pont sont des solides indéformables vis-à-vis des efforts horizontaux qu'ils transmettent aux appuis. Les coefficients de souplesse globaux sont donc, le plus souvent, au niveau de l'arase supérieure des appareils d'appui.

Dans les ouvrages construits en plusieurs phases, l'étude des efforts horizontaux transmis aux appuis ne peut être faite qu'en superposant directement les effets des divers types de sollicitation. En effet, il faut commencer par analyser, phase après phase, l'état des déformations des différents appuis sous l'effet du raccourcissement du tablier par retrait et fluage (lorsqu'il est, évidemment, en béton précontraint). On aboutit ainsi à un état de déformation des têtes des appuis (piles ou culées) en fin de construction, à partir duquel on raisonne pour estimer :

- Les effets du retrait et du fluage restant faire jusqu'au temps infini.
- Les effets de la température.

- Les effets du freinage.

Tous ces effets doivent évidemment être combinés de façon à déterminer l'enveloppe maximal des efforts sur les appuis (ou les appareils d'appuis).

3.1. REPARTITION DES EFFORTS DYNAMIQUES :

Considérons, à titre d'exemple, un pont droit sur appui simple en élastomère fretté, construit en une seule phase supposant qu'il soit soumis à un effort horizontal.

L'effort dynamique de freinage H_d transmet aux appuis des efforts horizontaux notés H_{d_α} , α étant le numéro de l'appui. Le tablier étant supposé infiniment rigide, il ne subit pas de rotation sur appuis, de sorte que le déplacement h_α corrélatif à H_{d_α} est tel que :

$$h_\alpha = C_\alpha H_{d_\alpha} \quad \text{ou} \quad H_{d_\alpha} = 1/C_\alpha \cdot h_\alpha = K_\alpha \cdot h_\alpha$$

Avec $K_\alpha = 1/C_\alpha$: la rigidité de l'appui n° α .

$$K_\alpha = \frac{I}{\sum_i C_i} \quad i = a, p, f \text{ (pour la pile)}$$

$$K_\alpha = \frac{I}{C_a + C_f} \quad \text{(pour la culée)}$$

Or, tous les déplacements en tête des appuis sont égaux à une valeur δ , et comme la somme de tous les efforts horizontaux est égale à H_d , on en déduit que :

$$H_d = \left(\sum_\alpha K_\alpha \right) \cdot \delta$$

On en déduit ainsi la valeur de δ , et l'effort horizontal dynamique transmis en tête de l'appui n° β :

$$H_{d_\beta} = H_d \frac{K_\beta}{\sum_\alpha K_\alpha}$$

3.2. REPARTITION DES EFFORTS STATIQUES :

Considérons maintenant un allongement total δ du tablier sous l'effet d'une élévation de température. Si cette élévation est conforme, on peut écrire que le déplacement du tablier au droit des appuis est de la forme : $h_\alpha = \lambda X_\alpha + \mu$

En appelant X_α l'abscisse longitudinale de l'appui n° α comptée à partir d'une origine quelconque. Entre le premier appui (culée) (n° 0) et le dernier appui (culée) (n° n), l'allongement total du tablier est tel que :

$$h_n - h_0 = \lambda(X_n - X_0) = \delta$$

On en déduit :

$$\lambda = \frac{\delta}{X_n - X_0}$$

L'effort résultant (statique) extérieur est nul, on aura l'expression suivante :

$$\sum_{\alpha} Hs_{\alpha} = 0$$

$$0 = \sum_{\alpha} Hs_{\alpha} = \lambda \left(\sum_{\alpha} X_{\alpha} K_{\alpha} \right) + \mu \left(\sum_{\alpha} K_{\alpha} \right)$$

K_{α} : la rigidité de la pile ou de la culée.

connaissant la valeur de λ , on tire :

$$\mu = \frac{-\delta}{(X_n - X_0)} \frac{\left(\sum_{\alpha} X_{\alpha} K_{\alpha} \right)}{\left(\sum_{\alpha} K_{\alpha} \right)}$$

Alors on peut calculer le déplacement au droit de l'appui n° β (h_{β}) et l'effort horizontal statique corrélatif transmis Hs_{β} :

$$h_{\beta} = \lambda X_{\beta} + \mu \quad 0 \leq \beta \leq n$$

$$h_{\beta} = \frac{\delta}{(X_n - X_0)} \frac{\sum_{\alpha} K_{\alpha} (X_{\beta} - X_{\alpha})}{\left(\sum_{\alpha} K_{\alpha} \right)}$$

$$Hs_{\beta} = K_{\beta} h_{\beta}$$

Chapitre V

*Optimisation Des
Appareils D'appui*

Chapitre V

Optimisation Des Appareils D'Appui

1. INTRODUCTION :

Dans ce chapitre nous allons présenter le processus de calcul numérique des appareils d'appui, en se basant sur les règles de dimensionnement citées dans les chapitres (III) et (IV). Après avoir obtenu les résultats admissibles, on effectue une optimisation par un calcul itératif et on cherche parmi ces dernières la solution optimale qui minimise les efforts de flexion transmis à la base de la pile (fondation).

2. DESCRIPTION DU PROGRAMME DE DIMENSIONNEMENT :

Le choix des appareils d'appui se faisait habituellement en prenant un type d'appareil standard, on vérifia, sous les sollicitations de service, les conditions de limitation des contraintes de cisaillement (compression, distorsion et rotation) ainsi que les conditions de non-cheminement, de non-glissement, ceux de non-flambement et non-soulèvement des appareils d'appui.

En ce qui concerne notre programme nous procéderons en deux parties :

- prédimensionnement initiale des appareils d'appui.
- optimisation des appareils d'appui (dimensionnement final).

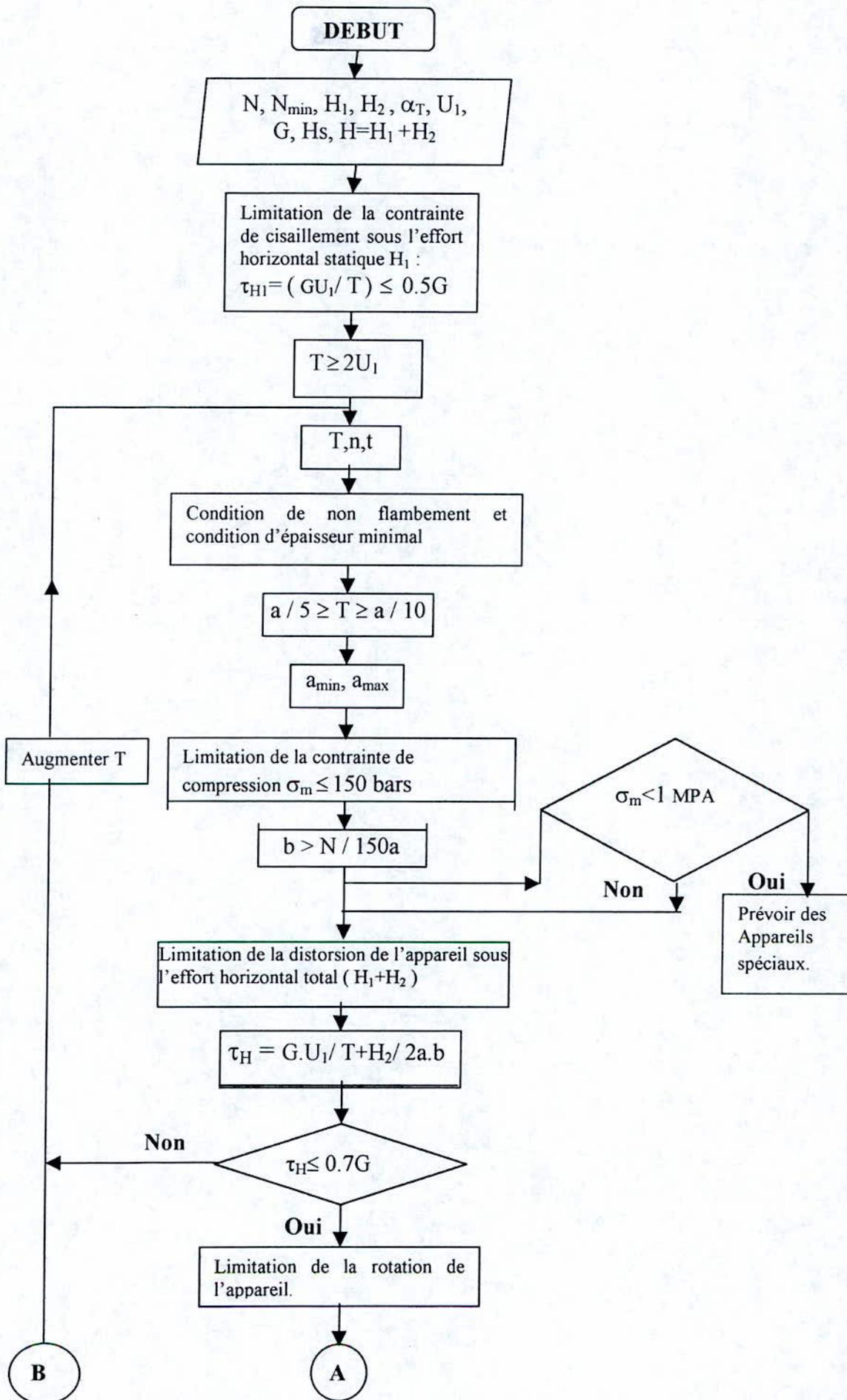
2.1. PREDIMENSIONNEMENT :

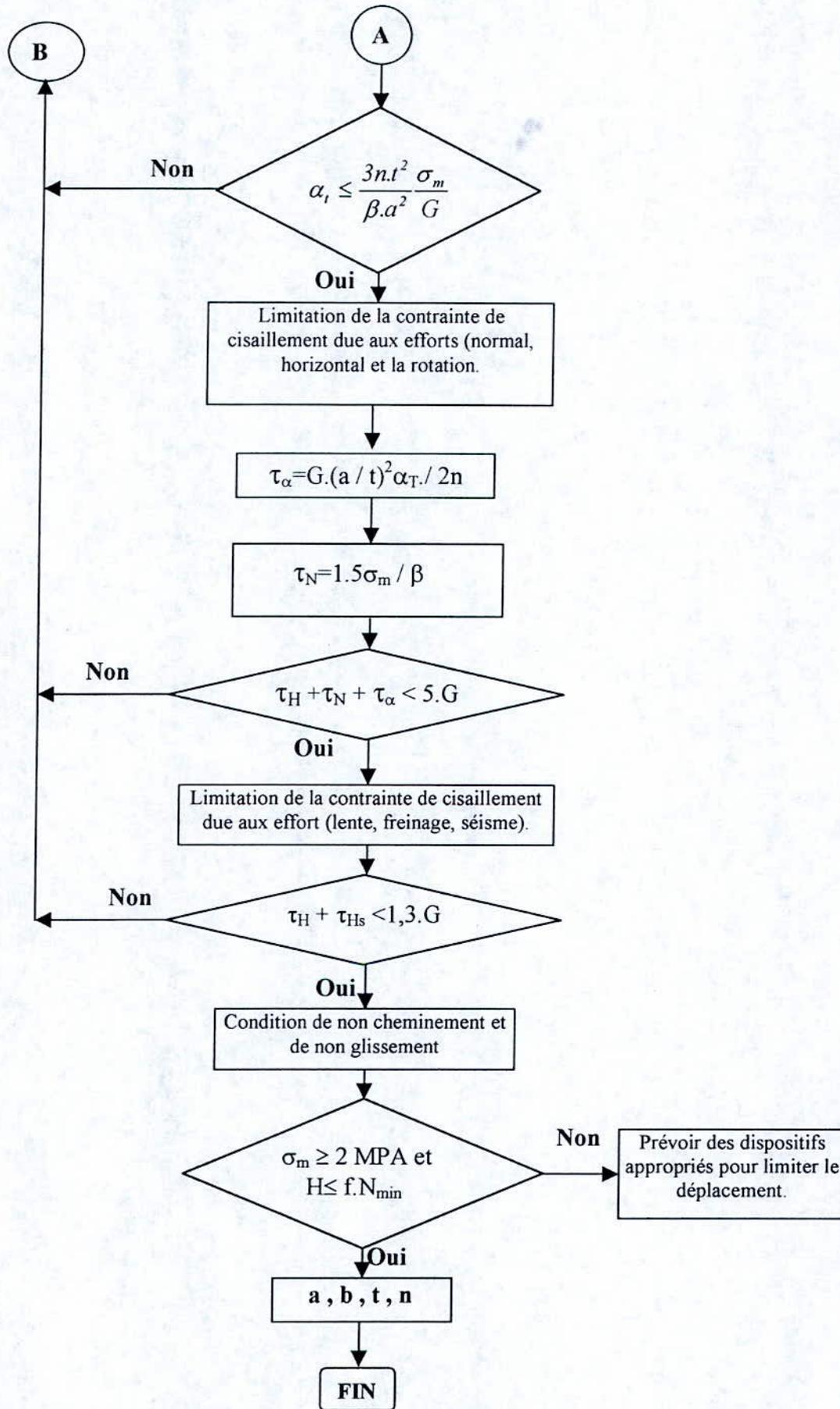
Pour un pont donné nous allons dimensionner pour chaque appui (culée ou pile) un appareil d'appui en élastomère fretté à savoir les dimensions en plan a , b et l'épaisseur de l'élastomère T .

Le dimensionnement en plan (a , b) s'effectue sous limitation de la contrainte de compression, bien que le dimensionnement de l'épaisseur d'élastomère (T) se fait sous la condition de non flambement et la condition de l'épaisseur minimale.

Le but de cette partie est d'obtenir un choix initial des appareils d'appui qui seront utilisés lors du dimensionnement final.

L'organigramme : Nous présentons ci dessous dans un organigramme les grands axes de déroulement du programme de dimensionnement d'un appareil d'appui en élastomère fretté quel que soit l'appui (pile, ou culée) :





2.2. OPTIMISATION DES APPAREILS D'APPUI (DIMENSIONNEMENT FINAL) :

Après avoir obtenu les dimensions initiales des appareils d'appui (prédimensionnement), on effectue la répartition des charges horizontales selon la rigidité (matrice de souplesse) de chaque appui (voir chapitre IV), et on redimensionne sous ces sollicitations les nouveaux appareils d'appui avec la vérification nécessaire de toutes les conditions citées dans l'organigramme précédent.

OPTIMISATION :

On s'intéresse au cas des piles comportent deux files d'appareil d'appui.

Sachant que les piles comportant une double file d'appui en néoprène (appui en néoprène dédoublé) (fig.30) ont la propriété, comme les piles à voiles souples, d'assurer un encastrement efficace du tablier tout en permettant sa libre dilatation sous l'effet des variations linéaires.

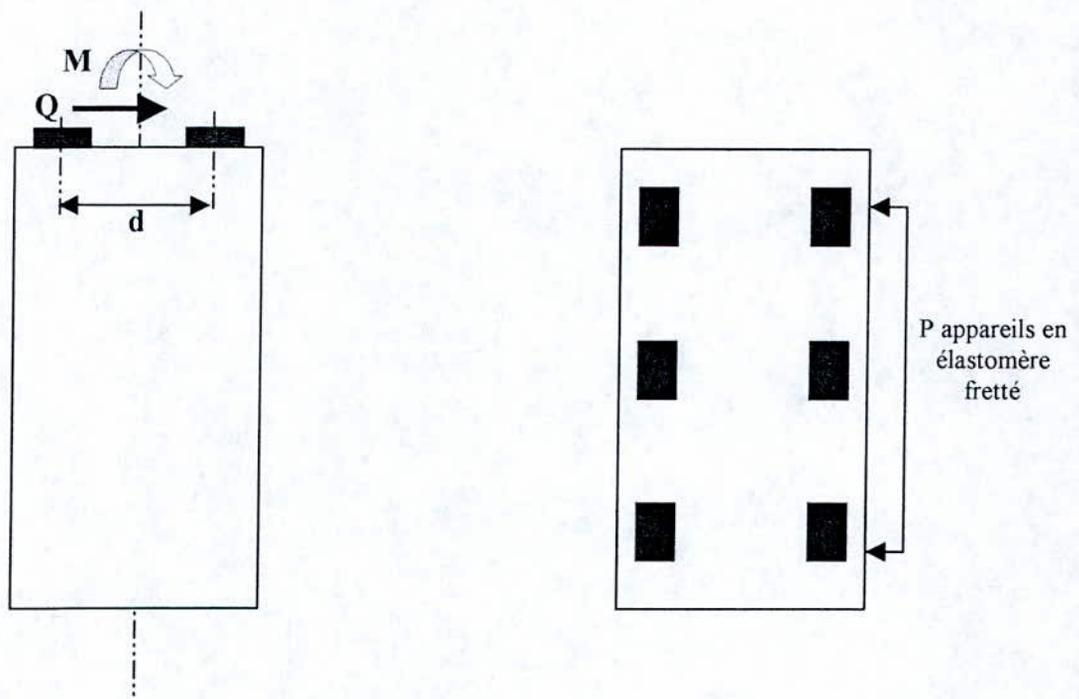


FIG.30. Piles à appui en néoprène dédoublé

Il est possible, par un choix judicieux des épaisseurs de néoprène, de réduire dans une certaine mesure les efforts de flexion transmis aux fondations des piles (fig.31).

Considérons, en effet, une pile comportant des appuis en néoprène dédoublés et supportant un tablier continu. Pour un moment de flexion M apparaissant en tête de la pile sous l'effet d'un chargement du tablier ne provoquant pas de déplacement des nœuds, le moment de flexion transmis à la base de la pile est :

$$M' = M + Qh$$

h : représentant la hauteur de la pile

Ayant donné, la matrice de souplesse de la pile qui lie les efforts (M, Q, N) appliqués en tête de la pile aux déformations engendrées respectivement (u, v, w) :

M – Moment de flexion en tête de la pile.

Q – L'effort horizontal en tête de la pile.

N - L'effort normal en tête de la pile

U – Déplacement horizontal de la pile.

V - Déplacement vertical de la pile.

W – Rotation de la pile.

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C & 0 & B \\ 0 & P & 0 \\ B & 0 & A \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Q \\ N \\ M \end{bmatrix}$$

$$U = B.M + C.Q = 0$$

D'où :

$$Q = -\frac{B}{C}M$$

et

$$M' = \left(1 - \frac{B.h}{C}\right)M = \varphi.M$$

$$\varphi = \left(1 - \frac{B \cdot h}{C} \right)$$

On appelle φ le coefficient de transmission qui varie avec les dimensions en plan de l'appareil d'appui, ainsi avec l'épaisseur du néoprène.

$$\text{tel que : } B = B_F + B_P$$

$$C = C_F + C_P + C_A$$

C_P, C_F - Les coefficients de déformabilité du fût de la pile.

C_F, B_F - Les coefficients de déformabilité de la fondation.

C_A - Coefficient de déformabilité de l'appareil d'appui en élastomère frette.

La valeur du coefficient de transmission φ varie avec l'épaisseur de l'élastomère (pour un appareil de dimensions en plan (a, b) donnés).

S'il n'y a pas de l'élastomère φ est généralement négatif ($\varphi = 1 - \frac{B_P h}{C_P} = -1/2$, si la pile à inertie constante)

Le moment M' transmis à la base de la pile est nul pour :

$$\varphi = 0 \Rightarrow C_A = h(B_P + B_F) - (C_P + C_F)$$

Si on augmente l'épaisseur de l'élastomère, le coefficient de transmission φ devient positif. Il est égal à 1 et le moment de flexion demeure constant le long de la pile.

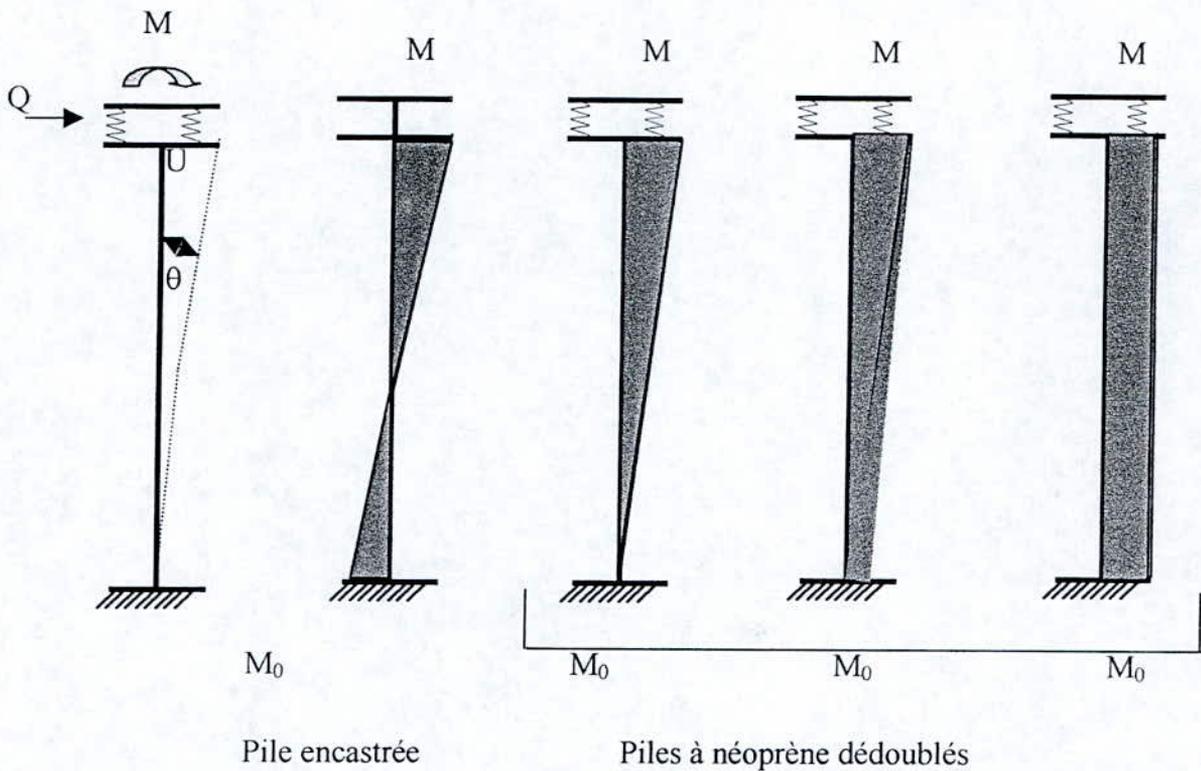


Fig.31. Influence de la variation d'épaisseur d'élastomère.

Donc on constate qu'il existe une épaisseur optimale pour un appareil d'appui en élastomère frette de dimensions en plan (a , b) données (en général un appareil optimal) qui conduit aux efforts minimaux au niveau de la fondation.

3. APPLICATION :

3.1. exemple.1 : Afin de valider notre programme, nous avons pris comme exemple un pont à poutres multiples isostatique à deux travées ayant les caractéristiques suivantes :

Longueur totale $L = 64.44$ m

Longueur chargeable $L_S = 7$ m

Nombre de voies $N = 2$

Largeur d'une voie $L_V = 3,5$ m

La hauteur du pile $h_p = 7,11$

Diamètre de la pile $D = 1,2$ m

Fondation sous pile de largeur $B_p = 5$ m , et de hauteur $h_f = 1,2$ m

Fondation sous culée de largeur $B_c = 7$ m , et de hauteur $h_f = 1,2$ m

Nombre des appareils sur la pile égale à 12 (6 appareils pour chaque file)

Nombre des appareils sur la culée égale à 6.

Les efforts revenants à chaque appareil d'appui (pile ou culée) sont donnés dans le tableau suivant :

| | N(t) | H ₂ (t) | Hs(t) | U ₁ (mm) | α_0 (rd) | α_1 (rd) |
|-------|-------|--------------------|-------|---------------------|-----------------|-----------------|
| Pile | 59.33 | 0,68 | 1,78 | 7,425 | 0.003 | 0,0018 |
| Culée | 59.33 | 1,82 | 4,73 | 7,425 | 0,003 | 0,0018 |

En utilisant l'appareil d'appui en élastomère fretté type FREYSSINET (module d'élasticité transversal d'élastomère $G = 1 \text{ MPA}$), et en appliquant le programme de pré-dimensionnement on obtient les résultats suivants :

RESULTAT DE PREDIMENSION :

Pour la culée 1 :

| a (mm) | b (mm) | t (mm) | Nombre de feuillets |
|------------|------------|----------|---------------------|
| 120.000000 | 329.611100 | 8.000000 | 2 |
| 130.000000 | 304.256400 | 8.000000 | 2 |
| 140.000000 | 282.523800 | 8.000000 | 2 |
| 150.000000 | 263.688900 | 8.000000 | 2 |
| 160.000000 | 247.208300 | 8.000000 | 2 |

Pour la pile :

| a (mm) | b (mm) | t (mm) | Nombre de feuillets |
|------------|------------|----------|---------------------|
| 130.000000 | 304.256400 | 8.000000 | 2 |
| 140.000000 | 282.523800 | 8.000000 | 2 |
| 150.000000 | 263.688900 | 8.000000 | 2 |
| 160.000000 | 247.208300 | 8.000000 | 2 |

pour la culée 2 :

| a (mm) | b (mm) | t (mm) | Nombre de feuillets |
|------------|------------|----------|---------------------|
| 120.000000 | 329.611100 | 8.000000 | 2 |
| 130.000000 | 304.256400 | 8.000000 | 2 |
| 140.000000 | 282.523800 | 8.000000 | 2 |
| 150.000000 | 263.688900 | 8.000000 | 2 |
| 160.000000 | 247.208300 | 8.000000 | 2 |

Après avoir obtenu les résultats initiaux de prédimensionnement, on applique le programme de dimensionnement final, en effectuant l'optimisation des appareils d'appui sur la pile et on obtient les résultats suivants :

RESULTATS DE DIMENSIONNEMENT FINAL :

| | a (mm) | b (mm) | t (mm) | Nombre de feuillets |
|---------|------------|------------|----------|---------------------|
| Culée 1 | 130.000000 | 304.256400 | 8.000000 | 2 |
| Pile | 130.000000 | 304.256400 | 8.000000 | 2 |
| Culée 2 | 130.000000 | 304.256400 | 8.000000 | 2 |

Avec un coefficient de transmission des efforts de flexion au fondation :

$$\varphi = 0,1768019$$

CONCLUSION

Vu les résultats obtenus dans le tableau précédant et en se référant au tableau des appareils standards, nous choisissons un appareil d'appui de dimensions 150x300x2 (8+2) tel que : a = 150 mm, b = 300 mm, t = 8 mm, n=2, t_s = 2mm (épaisseur de frettes).

3.2. EXEMPIE 2 :

Nous avons pris comme un deuxième exemple, un pont à poutre multiples isostatique à six travées. Les caractéristiques du pont sont donnés dans l'annexe 2.

Les efforts revenants à chaque appareil d'appui (pile ou culée) sont donnés dans le tableau suivant :

| | N(t) | H ₂ (t) | Hs(t) | U ₁ (mm) | α_0 (rd) | α_1 (rd) |
|---------|---------|--------------------|-------|---------------------|-----------------|-----------------|
| Culée 1 | 109,476 | 0,850 | 5,910 | 11,6 | 0,003 | 0.00235 |
| Pile 1 | 109,476 | 0,8428 | 5,861 | 11,6 | 0,003 | 0.00235 |
| Pile 2 | 109,476 | 0,800 | 5,567 | 11,6 | 0,003 | 0.00235 |
| Pile 3 | 109,476 | 0,810 | 5,639 | 11,6 | 0,003 | 0.00235 |
| Pile 4 | 109,476 | 0,847 | 5,880 | 11,6 | 0,003 | 0.00235 |
| Pile 5 | 109,476 | 0,849 | 5,900 | 11,6 | 0,003 | 0.00235 |
| Culée 2 | 109,476 | 0,850 | 5,910 | 11,6 | 0,003 | 0.00235 |

En utilisant l'appareil d'appui en élastomère fretté type FREYSSINET (module d'élasticité transversal d'élastomère $G = 1 \text{ MPA}$), et en appliquant le programme de pré-dimensionnement on obtient les résultats suivants :

RESULTATS DE PREDIMENSIONNEMENT :**Pour la culée 1 :**

| a (mm) | b (mm) | t (mm) | n |
|------------|------------|-----------|---|
| 120.000000 | 608.200000 | 8.000000 | 3 |
| 130.000000 | 561.415400 | 8.000000 | 3 |
| 140.000000 | 521.314300 | 8.000000 | 3 |
| 150.000000 | 486.560000 | 8.000000 | 3 |
| 160.000000 | 456.150000 | 8.000000 | 3 |
| 170.000000 | 429.317700 | 8.000000 | 3 |
| 180.000000 | 405.466700 | 8.000000 | 3 |
| 190.000000 | 384.126300 | 8.000000 | 3 |
| 200.000000 | 364.920000 | 8.000000 | 3 |
| 210.000000 | 347.542800 | 8.000000 | 3 |
| 220.000000 | 331.745500 | 8.000000 | 3 |
| 230.000000 | 317.321700 | 8.000000 | 3 |
| 240.000000 | 304.100000 | 8.000000 | 3 |
| 150.000000 | 486.560000 | 10.000000 | 3 |
| 160.000000 | 456.150000 | 10.000000 | 3 |
| 170.000000 | 429.317700 | 10.000000 | 3 |
| 180.000000 | 405.466700 | 10.000000 | 3 |
| 190.000000 | 384.126300 | 10.000000 | 3 |
| 200.000000 | 364.920000 | 10.000000 | 3 |
| 210.000000 | 347.542800 | 10.000000 | 3 |
| 220.000000 | 331.745500 | 10.000000 | 3 |
| 230.000000 | 317.321700 | 10.000000 | 3 |
| 240.000000 | 304.100000 | 10.000000 | 3 |
| 250.000000 | 291.936000 | 10.000000 | 3 |
| 260.000000 | 280.707700 | 10.000000 | 3 |
| 270.000000 | 270.311100 | 10.000000 | 3 |
| 280.000000 | 260.657100 | 10.000000 | 3 |
| 290.000000 | 251.669000 | 10.000000 | 3 |
| 300.000000 | 243.280000 | 10.000000 | 3 |

Pour le pile 1 :

| a (mm) | b (mm) | t (mm) | n |
|------------|------------|-----------|---|
| 120.000000 | 608.200000 | 8.000000 | 3 |
| 130.000000 | 561.415400 | 8.000000 | 3 |
| 140.000000 | 521.314300 | 8.000000 | 3 |
| 150.000000 | 486.560000 | 8.000000 | 3 |
| 160.000000 | 456.150000 | 8.000000 | 3 |
| 170.000000 | 429.317700 | 8.000000 | 3 |
| 180.000000 | 405.466700 | 8.000000 | 3 |
| 190.000000 | 384.126300 | 8.000000 | 3 |
| 200.000000 | 364.920000 | 8.000000 | 3 |
| 210.000000 | 347.542800 | 8.000000 | 3 |
| 220.000000 | 331.745500 | 8.000000 | 3 |
| 230.000000 | 317.321700 | 8.000000 | 3 |
| 240.000000 | 304.100000 | 8.000000 | 3 |
| 150.000000 | 486.560000 | 10.000000 | 3 |
| 160.000000 | 456.150000 | 10.000000 | 3 |
| 170.000000 | 429.317700 | 10.000000 | 3 |
| 180.000000 | 405.466700 | 10.000000 | 3 |
| 190.000000 | 384.126300 | 10.000000 | 3 |
| 200.000000 | 364.920000 | 10.000000 | 3 |
| 210.000000 | 347.542800 | 10.000000 | 3 |
| 220.000000 | 331.745500 | 10.000000 | 3 |
| 230.000000 | 317.321700 | 10.000000 | 3 |
| 240.000000 | 304.100000 | 10.000000 | 3 |
| 250.000000 | 291.936000 | 10.000000 | 3 |
| 260.000000 | 280.707700 | 10.000000 | 3 |
| 270.000000 | 270.311100 | 10.000000 | 3 |
| 280.000000 | 260.657100 | 10.000000 | 3 |
| 290.000000 | 251.669000 | 10.000000 | 3 |
| 300.000000 | 243.280000 | 10.000000 | 3 |

Pour le pile 2 :

| a (mm) | b (mm) | t (mm) | n |
|------------|------------|-----------|---|
| 120.000000 | 608.200000 | 8.000000 | 3 |
| 130.000000 | 561.415400 | 8.000000 | 3 |
| 140.000000 | 521.314300 | 8.000000 | 3 |
| 150.000000 | 486.560000 | 8.000000 | 3 |
| 160.000000 | 456.150000 | 8.000000 | 3 |
| 170.000000 | 429.317700 | 8.000000 | 3 |
| 180.000000 | 405.466700 | 8.000000 | 3 |
| 190.000000 | 384.126300 | 8.000000 | 3 |
| 200.000000 | 364.920000 | 8.000000 | 3 |
| 210.000000 | 347.542800 | 8.000000 | 3 |
| 220.000000 | 331.745500 | 8.000000 | 3 |
| 230.000000 | 317.321700 | 8.000000 | 3 |
| 240.000000 | 304.100000 | 8.000000 | 3 |
| 150.000000 | 486.560000 | 10.000000 | 3 |
| 160.000000 | 456.150000 | 10.000000 | 3 |
| 170.000000 | 429.317700 | 10.000000 | 3 |
| 180.000000 | 405.466700 | 10.000000 | 3 |
| 190.000000 | 384.126300 | 10.000000 | 3 |
| 200.000000 | 364.920000 | 10.000000 | 3 |
| 210.000000 | 347.542800 | 10.000000 | 3 |
| 220.000000 | 331.745500 | 10.000000 | 3 |
| 230.000000 | 317.321700 | 10.000000 | 3 |
| 240.000000 | 304.100000 | 10.000000 | 3 |
| 250.000000 | 291.936000 | 10.000000 | 3 |
| 260.000000 | 280.707700 | 10.000000 | 3 |
| 270.000000 | 270.311100 | 10.000000 | 3 |
| 280.000000 | 260.657100 | 10.000000 | 3 |
| 290.000000 | 251.669000 | 10.000000 | 3 |
| 300.000000 | 243.280000 | 10.000000 | 3 |

Pour le pile 3 :

| a (mm) | b (mm) | t (mm) | n |
|------------|------------|-----------|---|
| 120.000000 | 608.200000 | 8.000000 | 3 |
| 130.000000 | 561.415400 | 8.000000 | 3 |
| 140.000000 | 521.314300 | 8.000000 | 3 |
| 150.000000 | 486.560000 | 8.000000 | 3 |
| 160.000000 | 456.150000 | 8.000000 | 3 |
| 170.000000 | 429.317700 | 8.000000 | 3 |
| 180.000000 | 405.466700 | 8.000000 | 3 |
| 190.000000 | 384.126300 | 8.000000 | 3 |
| 200.000000 | 364.920000 | 8.000000 | 3 |
| 210.000000 | 347.542800 | 8.000000 | 3 |
| 220.000000 | 331.745500 | 8.000000 | 3 |
| 230.000000 | 317.321700 | 8.000000 | 3 |
| 240.000000 | 304.100000 | 8.000000 | 3 |
| 150.000000 | 486.560000 | 10.000000 | 3 |
| 160.000000 | 456.150000 | 10.000000 | 3 |
| 170.000000 | 429.317700 | 10.000000 | 3 |
| 180.000000 | 405.466700 | 10.000000 | 3 |
| 190.000000 | 384.126300 | 10.000000 | 3 |
| 200.000000 | 364.920000 | 10.000000 | 3 |
| 210.000000 | 347.542800 | 10.000000 | 3 |
| 220.000000 | 331.745500 | 10.000000 | 3 |
| 230.000000 | 317.321700 | 10.000000 | 3 |
| 240.000000 | 304.100000 | 10.000000 | 3 |
| 250.000000 | 291.936000 | 10.000000 | 3 |
| 260.000000 | 280.707700 | 10.000000 | 3 |
| 270.000000 | 270.311100 | 10.000000 | 3 |
| 280.000000 | 260.657100 | 10.000000 | 3 |
| 290.000000 | 251.669000 | 10.000000 | 3 |
| 300.000000 | 243.280000 | 10.000000 | 3 |

pour le pile 4 :

| a (mm) | b (mm) | t (mm) | n |
|------------|------------|-----------|---|
| 120.000000 | 608.200000 | 8.000000 | 3 |
| 130.000000 | 561.415400 | 8.000000 | 3 |
| 140.000000 | 521.314300 | 8.000000 | 3 |
| 150.000000 | 486.560000 | 8.000000 | 3 |
| 160.000000 | 456.150000 | 8.000000 | 3 |
| 170.000000 | 429.317700 | 8.000000 | 3 |
| 180.000000 | 405.466700 | 8.000000 | 3 |
| 190.000000 | 384.126300 | 8.000000 | 3 |
| 200.000000 | 364.920000 | 8.000000 | 3 |
| 210.000000 | 347.542800 | 8.000000 | 3 |
| 220.000000 | 331.745500 | 8.000000 | 3 |
| 230.000000 | 317.321700 | 8.000000 | 3 |
| 240.000000 | 304.100000 | 8.000000 | 3 |
| 150.000000 | 486.560000 | 10.000000 | 3 |
| 160.000000 | 456.150000 | 10.000000 | 3 |
| 170.000000 | 429.317700 | 10.000000 | 3 |
| 180.000000 | 405.466700 | 10.000000 | 3 |
| 190.000000 | 384.126300 | 10.000000 | 3 |
| 200.000000 | 364.920000 | 10.000000 | 3 |
| 210.000000 | 347.542800 | 10.000000 | 3 |
| 220.000000 | 331.745500 | 10.000000 | 3 |
| 230.000000 | 317.321700 | 10.000000 | 3 |
| 240.000000 | 304.100000 | 10.000000 | 3 |
| 250.000000 | 291.936000 | 10.000000 | 3 |
| 260.000000 | 280.707700 | 10.000000 | 3 |
| 270.000000 | 270.311100 | 10.000000 | 3 |
| 280.000000 | 260.657100 | 10.000000 | 3 |
| 290.000000 | 251.669000 | 10.000000 | 3 |
| 300.000000 | 243.280000 | 10.000000 | 3 |

Pour le pile 5 :

| a (mm) | b (mm) | t (mm) | n |
|------------|------------|-----------|---|
| 120.000000 | 608.200000 | 8.000000 | 3 |
| 130.000000 | 561.415400 | 8.000000 | 3 |
| 140.000000 | 521.314300 | 8.000000 | 3 |
| 150.000000 | 486.560000 | 8.000000 | 3 |
| 160.000000 | 456.150000 | 8.000000 | 3 |
| 170.000000 | 429.317700 | 8.000000 | 3 |
| 180.000000 | 405.466700 | 8.000000 | 3 |
| 190.000000 | 384.126300 | 8.000000 | 3 |
| 200.000000 | 364.920000 | 8.000000 | 3 |
| 210.000000 | 347.542800 | 8.000000 | 3 |
| 220.000000 | 331.745500 | 8.000000 | 3 |
| 230.000000 | 317.321700 | 8.000000 | 3 |
| 240.000000 | 304.100000 | 8.000000 | 3 |
| 150.000000 | 486.560000 | 10.000000 | 3 |
| 160.000000 | 456.150000 | 10.000000 | 3 |
| 170.000000 | 429.317700 | 10.000000 | 3 |
| 180.000000 | 405.466700 | 10.000000 | 3 |
| 190.000000 | 384.126300 | 10.000000 | 3 |
| 200.000000 | 364.920000 | 10.000000 | 3 |
| 210.000000 | 347.542800 | 10.000000 | 3 |
| 220.000000 | 331.745500 | 10.000000 | 3 |
| 230.000000 | 317.321700 | 10.000000 | 3 |
| 240.000000 | 304.100000 | 10.000000 | 3 |
| 250.000000 | 291.936000 | 10.000000 | 3 |
| 260.000000 | 280.707700 | 10.000000 | 3 |
| 270.000000 | 270.311100 | 10.000000 | 3 |
| 280.000000 | 260.657100 | 10.000000 | 3 |
| 290.000000 | 251.669000 | 10.000000 | 3 |
| 300.000000 | 243.280000 | 10.000000 | 3 |

Pour la culée 2 :

| a (mm) | b (mm) | t (mm) | n |
|------------|------------|-----------|---|
| 120.000000 | 608.200000 | 8.000000 | 3 |
| 130.000000 | 561.415400 | 8.000000 | 3 |
| 140.000000 | 521.314300 | 8.000000 | 3 |
| 150.000000 | 486.560000 | 8.000000 | 3 |
| 160.000000 | 456.150000 | 8.000000 | 3 |
| 170.000000 | 429.317700 | 8.000000 | 3 |
| 180.000000 | 405.466700 | 8.000000 | 3 |
| 190.000000 | 384.126300 | 8.000000 | 3 |
| 200.000000 | 364.920000 | 8.000000 | 3 |
| 210.000000 | 347.542800 | 8.000000 | 3 |
| 220.000000 | 331.745500 | 8.000000 | 3 |
| 230.000000 | 317.321700 | 8.000000 | 3 |
| 240.000000 | 304.100000 | 8.000000 | 3 |
| 150.000000 | 486.560000 | 10.000000 | 3 |
| 160.000000 | 456.150000 | 10.000000 | 3 |
| 170.000000 | 429.317700 | 10.000000 | 3 |
| 180.000000 | 405.466700 | 10.000000 | 3 |
| 190.000000 | 384.126300 | 10.000000 | 3 |
| 200.000000 | 364.920000 | 10.000000 | 3 |
| 210.000000 | 347.542800 | 10.000000 | 3 |
| 220.000000 | 331.745500 | 10.000000 | 3 |
| 230.000000 | 317.321700 | 10.000000 | 3 |
| 240.000000 | 304.100000 | 10.000000 | 3 |
| 250.000000 | 291.936000 | 10.000000 | 3 |
| 260.000000 | 280.707700 | 10.000000 | 3 |
| 270.000000 | 270.311100 | 10.000000 | 3 |
| 280.000000 | 260.657100 | 10.000000 | 3 |
| 290.000000 | 251.669000 | 10.000000 | 3 |
| 300.000000 | 243.280000 | 10.000000 | 3 |

Après avoir obtenu les résultats initiaux de prédimensionnement, on applique le programme de dimensionnement final, en effectuant l'optimisation des appareils d'appui sur la pile et on obtient les résultats suivants :

RESULTATS DE DIMENSIONNEMENT FINAL

| | a (mm) | b (mm) | t (mm) | n | φ |
|----------------|------------|------------|-----------|---|-----------|
| CULEE 1 | 240.000000 | 304.100000 | 8.000000 | 3 | / |
| Pile 1 | 240.000000 | 304.100000 | 8.000000 | 3 | 0.165801 |
| Pile 2 | 250.000000 | 291.936000 | 10.000000 | 3 | 0.315487 |
| Pile 3 | 250.000000 | 291.936000 | 10.000000 | 3 | 0.331787 |
| Pile 4 | 240.000000 | 304.100000 | 8.000000 | 3 | 0.185046 |
| Pile 5 | 210.000000 | 347.542800 | 8.000000 | 3 | 0.175230 |
| CULEE 2 | 240.000000 | 304.100000 | 8.000000 | 3 | / |

CONCLUSION

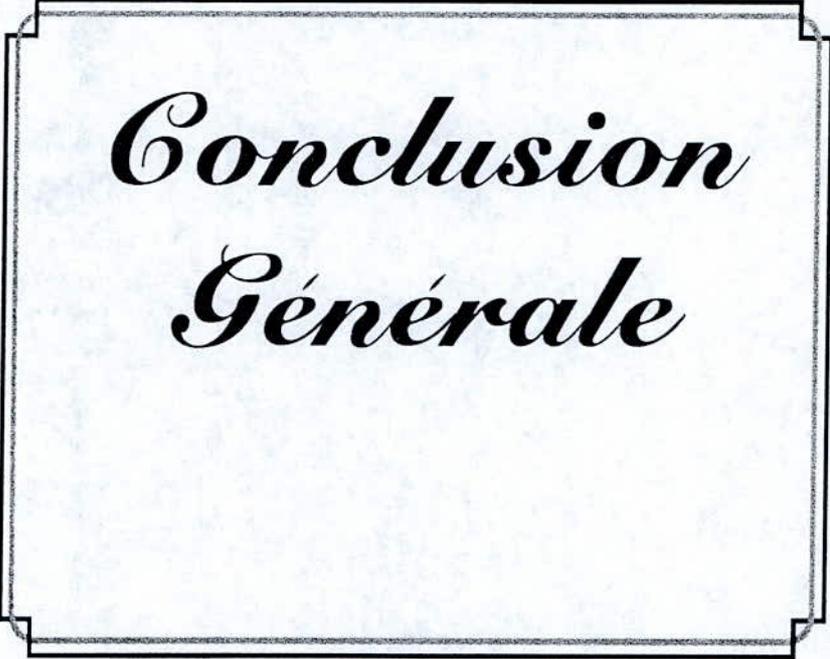
Vu les résultats obtenus dans le tableau précédant et en se référant au tableau des appareils standards, nous choisissons les appareils d'appui comme suit :

Pour la pile 1 et la pile 4, on choisi un appareil de dimensions 250 x 300 x 3(8+2)

Pour la pile 2 et la pile 3, on choisi un appareil de dimensions 250 x 300 x 3(10+3)

Pour la pile 5, on choisi un appareil de dimensions 200 x 350 x 3(8+2)

Pour chaque culée on choisi un appareil de dimensions 250 x 300 x 3(8+2)



*Conclusion
Générale*

Conclusion Générale

Dans ce travail, nous avons présenté les appareils d'appui et en particulier les appareils en élastomère fretté, leurs rôles ainsi que la méthode de leur dimensionnement.

Ces appareils apportent des avantages techniques importants à savoir :

- ◆ Mise en œuvre simple.
- ◆ Fonctionnement sûr
- ◆ Permettent, dans toutes les directions la mobilité de la structure.
- ◆ Peuvent jouer un rôle d'amortisseurs grâce aux qualités antivibratoires de l'élastomère.

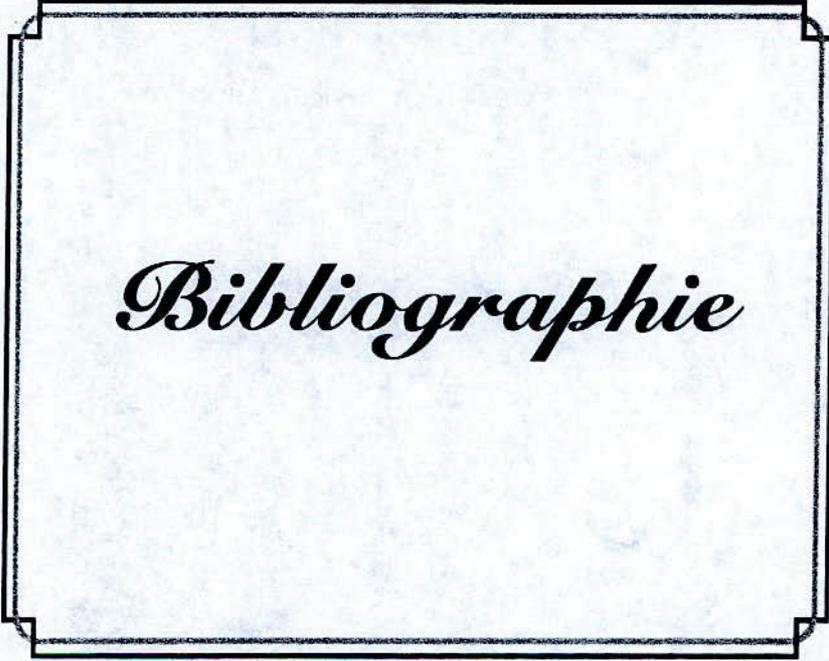
Grâce à ces avantages et l'économie appréciable qu'ils permettent, leur ont permis de supplanter les appuis traditionnels métalliques et en béton armé.

Les appareils d'appui en élastomère fretté jouent un rôle fondamental dans la conception, le calcul et la vie d'un ouvrage, ainsi qu'ils conditionnent le bon fonctionnement et la durabilité de la structure. Donc le choix judicieux de ces appareils permet d'avoir une bonne répartition des charges horizontales entre les différents appuis d'un ouvrage et la transmission des efforts de flexion en tête de la pile aux fondations.

C'est dans ce contexte que nous avons réalisé un programme de calcul itératif afin d'optimiser le rôle (rendement) des appareils, c'est à dire que nous cherchons les dimensions optimales des appareils dans le but qu'ils fonctionnent tous avec un maximum de rendement chacun.

Comme perspective, il est intéressant d'étendre cette optimisation aux dimensionnement des piles de même que les fondations, car la rigidité d'un appui est liée aussi à ces derniers éléments.

Donc au sens du rendement, l'optimisation ne se base pas seulement sur le choix optimal d'un appareil d'appui mais sur le choix optimal de la combinaison de ces trois éléments (appareil, pile, fondation)



Bibliographie

Bibliographie

PROJET ET CONSTRUCTION DES PONTS

J.A.Calgaro & M.Virlogeux édition 1991

**CONSTRUCTION PAR ENCORBELLEMENT DES PONTS EN BETON
PRECONTRAIT** *J.Mathivat édition EYROLLES 1979*

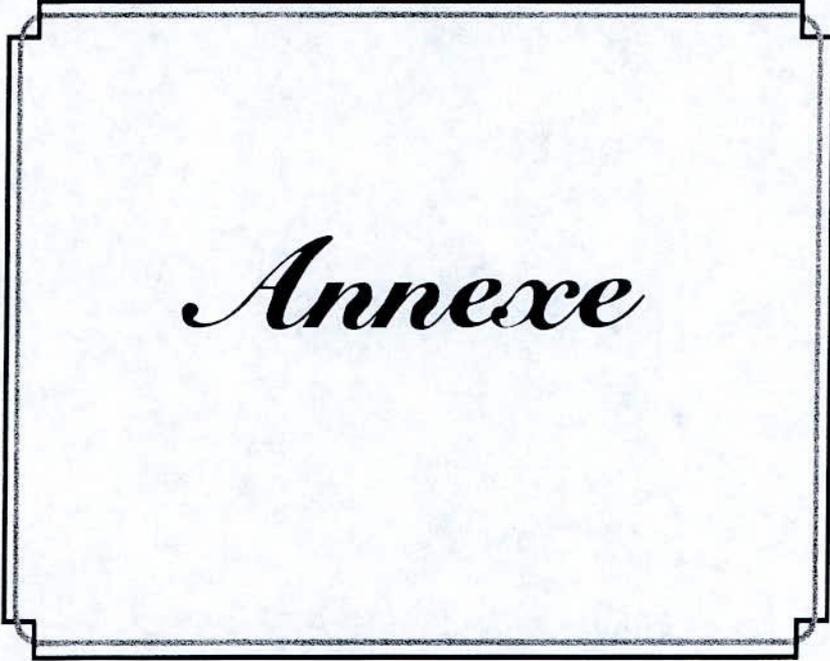
BULLETIN TECHNIQUE N°4 S E T R A *édition 1974*

**BULLETIN DE LIAISON DES LABORATOIRES DES PONTS ET CHAUSSEES
N°129 janvier – février 1984.**

CONCEPTION DES PONTS *G. Grattesat édition EYROLLLES*

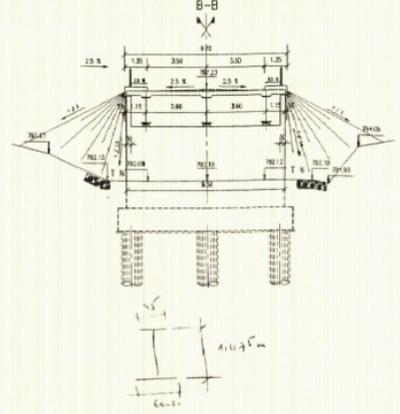
CONSTRUCTIONS METALLIQUES *F. Ciolina*

APPAREILS D'APPUI POUR OUVRAGE D'ART *Notice générale EF 9 B 2 N°1*

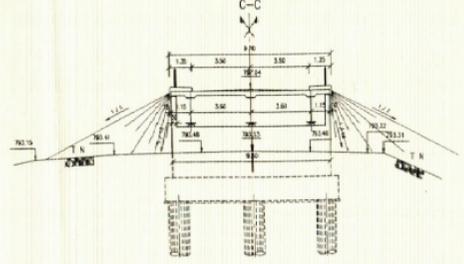


Annexe

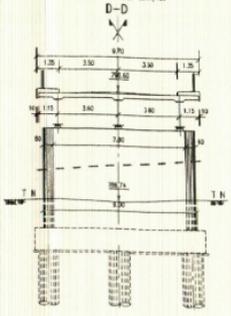
COUPE CULEE COTE BARKA ECH 1/100



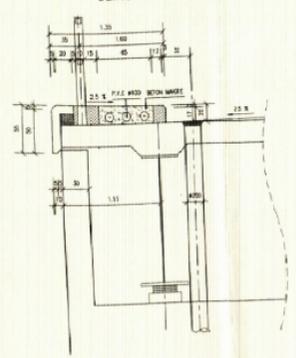
COUPE CULEE COTE N'GAOUES ECH 1/100



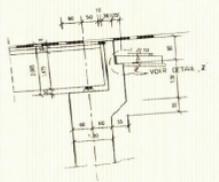
COUPE PILE ECH 1/100



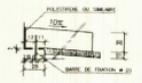
DETAIL PILE ECH 1/20



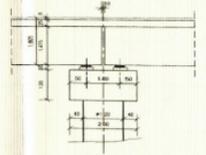
DETAIL CULEE ECH 1/10



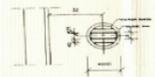
DETAIL Z ECH 1/10



DETAIL PILE ECH 1/10



VUE EN PLAN ECH 1/10



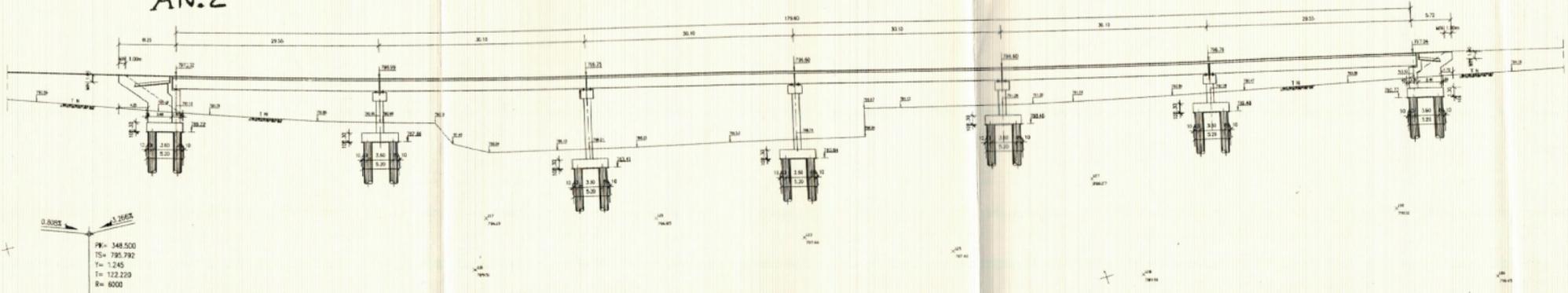
NOTE IMPORTANTE
 LES DIMENSIONS SONT DONNEES PREVISIONNELLES ET A SURE JONCTION INDICANT
 QUELLES SONT DONNEES A COMPARER EN FONCTION DU RAPPORT RETENUE
 QU'EN DONNE PAR LE L.T.P.-EST DE CONSTANCE

HYPOTHESE DE CALCUL
 STRUCTURE A LEVIER PARABOLIQUE M ET
 COMME EXCEPT 2. SANS CULOTTE DE L'IMPACT
 LE 25/10/1970
 CHARGE UNIFORME NEG. 100 KG/M
 MATERIAUX
 BTON BETONNARIE M20 270/2000
 ACIER FERRON
 TUBULES BTON PROFILS 104 ET 106

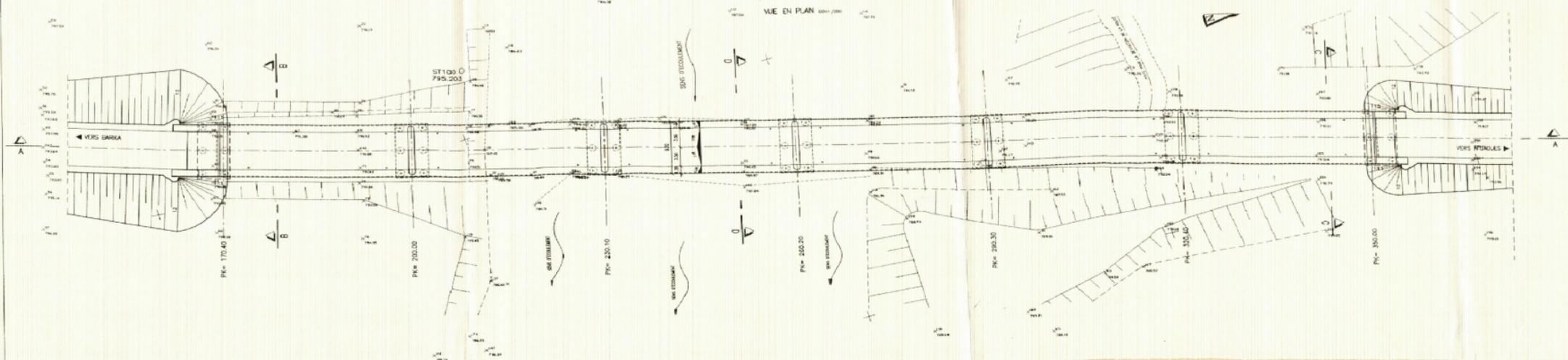
| | | | |
|--|--------|-------------------------|------------|
| REVISION | DATE | INITIALE DE LA REVISION | SIGNATURE |
| | | | |
| الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE WILAYA DE BATNA DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS | | | |
| ETUDE D'EXECUTION D'UN PONT A STRUCTURE MIXTE SUR OULED BARKA RN 78 PLAN DETAILS | | | |
| DATE | REVISE | PROJET | NO DE PLAN |
| | | | |
| | | | |
| S.A.E.T.I. SOCIETE ALGERIENNE D'ETUDE ET DE TRAVAUX PUBLICS | | | |

AN.2

COUPE LONGITUDINAL A-A 1/200



VUE EN PLAN 1/200



NOTA IMPORTANTE
 CE DOCUMENT EST CONSIDERE CONFIDENTIEL ET NE DOIT PAS ETRE COMMUNIQUE
 A UN TERTIERS SANS LAutorISATION PREALABLE DU BUREAU D'ETUDES
 ET DE RECHERCHES TECHNIQUES DE LA SOCIETE ALGERIENNE D'ETUDES ET DE RECHERCHES
 EN GENIE CIVIL (S.A.E.T.I.)

HYPOTHESE DE CALCUL
 STRUCTURE A BECIN PARABOLIQUE W 40
 COMME CHARGE D'IMPACT UN IMPACT
 (3.20x10.00)
 CHARGE MILITAIRE M.E. 100.000 (DEUX IMPACTS)
 (8.10x4.50)
 MATERIAUX
 BECIN ALUMINUMIERE PN 270/4040
 ACIER S235
 TABLIER MIXTE (PROFILES 124 ET 136)

| REVISION | NATURE DE LA REVISION | SIGNATURE |
|----------|-----------------------|-----------|
| 01 | ETUDE | |

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
 REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
 MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE
 WILAYA DE BATNA
 DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS

ETUDE D'EXECUTION D'UN PONT
 A STRUCTURE MIXTE SUR OUED BARIKA RN 78

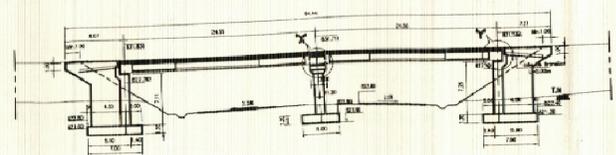
PLAN GENERAL
 N. N. PLAN
 COUPE
 BATNA C3-A
 1/200

S.A.E.T.I.
 SOCIETE ALGERIENNE D'ETUDES ET DE RECHERCHES
 EN GENIE CIVIL

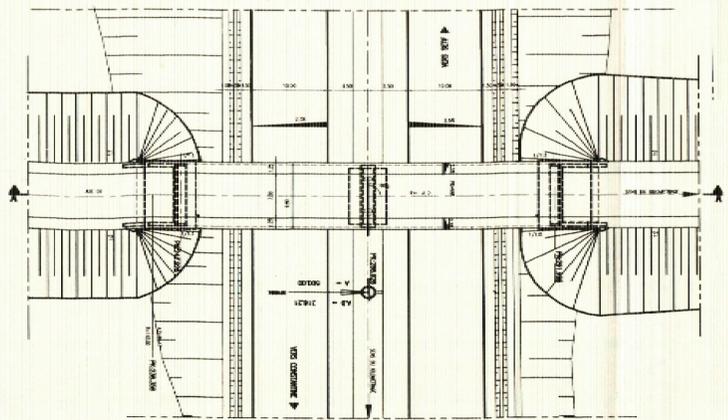
VUE EN ELEVATION (0/0+000)



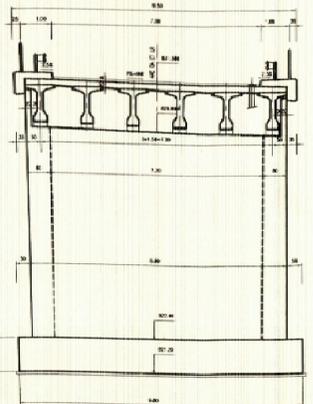
COUPE LONGITUDINALE A A (0/0+000)



VUE EN PLAN (0/0+000)



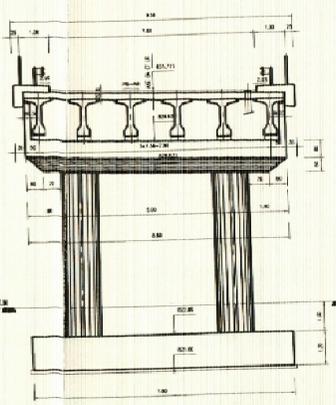
COUPE CULEE (0/0+000)



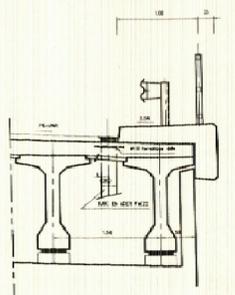
DETAIL X (0/0+000)

DETAIL Y (0/0+000)

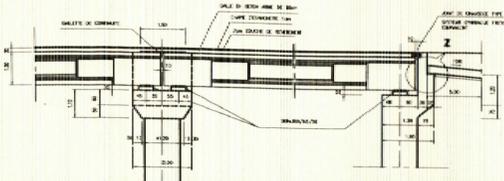
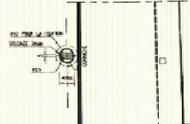
COUPE PILE (0/0+000)



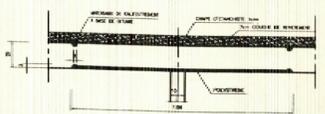
DETAIL ANALOG (0/0+000)



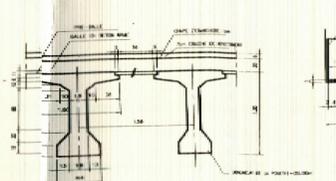
VUE EN PLAN (0/0+000)



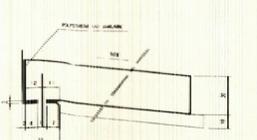
DETAIL DALLE DE CONTINUE (0/0+000)



DETAIL POUTRE (0/0+000)



DETAIL Z (0/0+000)



REPERES DE COULE
 (0/0+000) - (0/0+000) - (0/0+000)
 (0/0+000) - (0/0+000) - (0/0+000)
 (0/0+000) - (0/0+000) - (0/0+000)

MATERIAUX
 Béton : Béton de ciment
 Acier : Acier à froid
 Précontrainte : Câbles d'acier à haute résistance

AGENCE NATIONALE DES AUTOROUTES
 AUTOROUTE "EST" - OUEST
 TRONÇON : CIELOUMI LAD - AIN SAHARA
 PLAN PROJETÉ

| NO. PROJET | NO. DE LA FEUILLE | TITRE |
|---|-------------------|-----------------------|
| 02/000 | 01 | AN.1 |
| AGENCE NATIONALE DES AUTOROUTES AUTOROUTE "EST" - OUEST TRONÇON : CIELOUMI LAD - AIN SAHARA PLAN PROJETÉ | | |
| EA. 7.1 | PLAN GENERAL | PC (A2E 91) 7-4273-00 |
| DATE | ÉCHELLE | ÉTAT |
| 1988 | 1/500 | PROJET |
| S.A.E.T.I. | | |