

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

Département Génie - Civil

PROJET DE FIN D'ETUDES

THEME

CALCUL AUTOMATIQUE D'UN TABLIER
DE PONT MIXTE HYPERSTATIQUE

Proposé par :

S.A.P.T.A.

Etudié par :

A. GUENOUCHE
N. E. ATTARI

Dirigé par :

G. SALORT

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

Département Génie - Civil

PROJET DE FIN D'ETUDES

THEME

CALCUL AUTOMATIQUE D'UN TABLIER
DE PONT MIXTE HYPERSTATIQUE

Proposé par :

S.A.P.T.A.

Etudié par :

A. GUENOUCHE

N. E. ATTARI

Dirigé par :

G. SALORT

Promotion : Janvier 1985

A mes chers parents

A mon cher oncle Bachir

A Nabila, ma chère fiancée

A toute ma famille

A tous mes amis.

H A M I D

A mes chers parents

A ma chere Samira

A toute ma famille

A tous mes amis

K H A L E D

Que Monsieur Georges SALORT trouve ici l'expression de notre gratitude pour l'aide précieuse qu'il nous a apportée durant notre travail.

Nous tenons à remercier Monsieur DEROUICHE , Directeur Général de la SAPTA pour l'attention accordée à ce projet.

Nous remercions également Monsieur SAHRAOUI et Mademoiselle NAIT pour le soin apporté à la mise en forme de ce travail

Nous ne saurons terminer sans remercier tout le personnel du service Informatique et tout particulièrement Monsieur TALBI pour leur bonne humeur.

S O M M A I R E :

1 - INTRODUCTION	page 1
2 - ETUDE PRELIMINAIRE	page 6
3 - CALCUL DES EFFORTS	page 13
4 - CALCUL D'UNE SECTION MIXTE	page 33
5 - ETUDE DU RETRAIT	page 39
6 - CALCUL DE LA DENIVELLATION D'APPUI	page 45
7 - DIMENSIONNEMENT	page 51
8 - ETUDE DU VOILEMENT	page 57
9 - ETUDE DES CONNECTEURS	page 62
10 - ANALYSE INFORMATIQUE	page 67
11 - ANNEXE	page 83
. BIBLIOGRAPHIE	

INTRODUCTION

1 - P R E S E N T A T I O N :

Le présent sujet de fin d'études nous a été proposé par la SOCIETE ALGERIENNE DES PONTS ET TRAVAUX D'ART : il s'agit de concevoir un programme de calcul automatique d'un tablier de pont mixte hyperstatique à 3 travées et à poutres sous-chaussée.

Ce travail entre dans le cadre d'un programme tracé par la société qui consiste à informatiser tous les calculs relatifs aux ponts.

Ces derniers sont souvent répétitifs et fastidieux. En les automatisant, on permet aux ingénieurs de se consacrer à des problèmes plus importants.

Ainsi, après l'élaboration du programme de calcul d'un tablier isostatique, on a pensé qu'il serait très utile de faire la même chose pour le tablier des ponts hyperstatiques. On permet ainsi au projeteur d'un pont donné de choisir la variante la plus adéquate en un laps de temps record.

Ce programme doit permettre donc de dimensionner ou éventuellement de vérifier le **tablier**. Il est supposé dans cette étude que des calculs sont faits au préalable. L'utilisateur doit connaître, avant de lancer le calcul, les caractéristiques de la dalle et de la poutre prédimensionnée.

Notons enfin que ce programme est élaboré sur un mini-ordinateur, type HP 250, la capacité de la mémoire est de 64 Ko et le langage utilisé est la BASIC.

.../...

2 - OBJET DU PROGRAMME :

Les principaux buts du programme sont :

- .. Etude des moments sous les différents cas de charges,
- . Combinaison des cas de charges,
- . Recherche des valeurs extrêmes des moments,
- . Recherche de la dénivellation d'appuis,
- . Dimensionnement et optimisation des tôles,
- . Homogénéisation des tôles,
- . Etude de l'effort tranchant,
- . Vérification de la résistance au cisaillement,
- . Vérification de la stabilité au voilement de l'âme,
- . Calcul des connecteurs,

*
** **

3 - DOMAINE D'APPLICATION :

Ce programme peut être appliqué à tout pont hyperstatique, à 3 travées répondant aux critères suivants :

- Posséder une chaussée de circulation et deux trottoirs,
- Posséder une symétrie longitudinale, c'est-à-dire, les travées de rive doivent être égales,
- Posséder une symétrie transversale,
- Le nombre de voies de circulation ne doit pas dépasser 4,
- Le nombre de poutres principales ne doit pas ^{être} supérieur à 5,
- Le biais éventuel ne doit pas dépasser 45°.

.../...

4 - D O N N E E S

. Les données nécessaires pour lancer ce programme sont les suivantes :

- CONCERNANT L'OUVRAGE :

- . La classe du pont,
- . Les portées des travées,
- . La largeur de la chaussée,
- . La largeur utile des trottoirs,
- . Le biais des appuis,
- . Le nombre de poutres principales,
- . L'entre-axe des poutres,
- . La hauteur d'âme des poutres,
- . Les largeurs des semelles des poutres,
- . La hauteur du renformis du béton,
- . L'épaisseur de la dalle de chaussée,
- . Une estimation des charges permanentes.

- CONCERNANT LES MATERIAUX :

- . Limites élastiques des aciers constitutifs des poutres principales,
- . Contrainte admissible du béton à la compression,
- . Coefficient de retrait.

De plus, on devra savoir si les surcharges militaires et exceptionnelles sont considérées ou non.

Les autres charges sont systématiquement prises en compte.

ETUDE PRELIMINAIRE

1- INTRODUCTION

L'ordinateur est sûrement le produit le plus remarquable de la révolution industrielle, son utilisation se généralise dans tous les domaines de l'activité humaine, et sa puissance de calcul permet de résoudre des problèmes de plus en plus difficiles.

C'est ainsi que la résolution d'un problème par l'ordinateur, consiste surtout en la mise au point d'un "programme" et ceci dans le but d'épargner à l'ingénieur les tâches fastidieuses de calcul, afin qu'il s'attache d'avantage à concevoir un ouvrage réellement adapté à sa fonction.

Et dans ce contexte notre projet de fin d'études est basé sur l'élaboration d'un programme de calcul d'un "tablier de pont mixte hyperstatique à trois travées".

Avant de se lancer dans cette étude, il est utile de définir ce qu'est l'ossature mixte, son domaine d'emploi ainsi que ses avantages.

1-1 PRINCIPE DE L'OSSATURE MIXTE

Les poutres des ponts métalliques classiques, assurent à elles seules la résistance de l'ensemble à la flexion générale, le béton du hourdis n'est pas pris en compte et de ce fait il constitue un poids mort, au même titre que les superstructures.

Or dans une structure, tout élément qui travaille seulement à une partie de ses possibilités est doublement nuisible, d'une part à cause de son prix de revient, d'autre part à cause de l'alourdissement qu'il entraîne et qui oblige le **projeteur** à renforcer la structure résistante de l'ouvrage.

Comme le béton, matériau rustique et bon marché, présente une bonne résistance à la compression, il est tentant de l'associer à la table de compression des poutres, tel est le principe même de la structure mixte.

1-2 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE L'OSSATURE MIXTE- Avantages :

- L'adoption de ce type de structure permet de réaliser, par sa légèreté une économie sensible sur le prix de revient des appuis et des fondations de l'ouvrage, elle peut parfois s'imposer lorsque la qualité du sol de fondation est médiocre.

- Les tabliers en construction mixte, permettent de franchir des portées plus importantes que les ponts dalles ou en béton armé.

-Inconvénients :

- La construction mixte nécessite un entretien assez rigoureux, elle doit faire l'objet d'une surveillance et des soins constants.

- Elle nécessite aussi, des équipes qualifiées, notamment pour le montage et le réglage définitif sur chantier.

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

2- REGLEMENTS ET CHARGES.

Les calculs qui font l'objet de cette étude sont justifiés en se basant sur les règlements actuellement en vigueur en Algérie, à savoir :

. Le titre V du fascicule Nr. 61 du C.P.C pour les calculs relatifs à la construction métallique .

. Les règles du C.C.B.A 68 pour le calcul du béton armé.

Les charges que nous nous proposons de voir sont définies par le titre II du fascicule Nr. 61 du C.P.C à l'exception du convoi exceptionnel qui est défini par un règlement algérien.

2-1 CHARGES DE CHAUSSEE :

2-1-1 Système de charge A

Ce système est applicable aux ponts dont la portée unitaire ne dépasse pas 200 m, c'est une charge uniforme d'intensité $A = a_1 \cdot a_2 \cdot A(L)$

$$\text{Avec } A(L) = 230 + \frac{36000}{L + 12} \quad (\text{kg/m}^2)$$

L : Longueur chargée

a_1 : Coefficient fonction de la classe du pont et du nombre de voies chargées.

a_2 : Coefficient fonction de la classe du pont et de la largeur de voie.

La largeur et la longueur des zones chargées sont choisies de manière à produire les effets maximaux dans l'élément de l'ouvrage dont on a en vue la justification.

.../...

Son poids de 240 tonnes est supposé reparti uniformément sur la chaussée sur une surface de 18,60 de long et 3,20 m de large.

2-2 CHARGES DE TROTTOIRS :

Les charges de trottoirs qui nous intéressent dans notre étude sont les charges dits "générales"

Il ya lieu donc d'appliquer sur les trottoirs une charge uniforme de 150 kg/m de façon à produire l'effet maximal envisagé.

Notons que chaque trottoir est chargé dans sa totalité mais les 2 trottoirs peuvent ne pas être chargés simultanément.

2-3 EFFET DU VENT - SEISMES

Dans les circonstances normales on admet que le vent exerce une pression de 200 kg/m sur la surface qui lui est offerte; il s'agit normalement à l'axe longitudinal de la chaussée.

Vu que les effets du vent et des charges de chaussées ne sont pas cumulables ; on suppose pour le calcul des ponts qui font l'objet de cette étude que ce cas de charge n'est pas pondérant.

En ce qui concerne les seismes, il n'existe à ce jour en Algérie aucun reglement parasismique applicable aux ouvrages d'art.

De plus l'expérience a montré que le comportement des tabliers mixtes à poutres sous chaussée soumis aux charges sismiques est relativement bon.

Au vu de ces considérations nous négligeons dans cette étude les effets du vent et des seismes.

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

2-1-2 Système de charge B :

L'effet du système Br est peu prépondérant nous ne considérant donc que les systèmes B_c et Bt.

Pour les ponts de 3ème classe le système Bt n'est pas applicable.

Le système B_c se compose de camions types de 30 Tonnes à 3 essieux; on pourra disposer dans le plan transversal autant de files que de voies de circulation.

Dans le sens longitudinal le nombre de camions est limité à 2.

Les valeurs des charges du système B_c sont multipliées par un coefficient fonction de la classe du pont et du nombre de files considérées.

Un tendem du système Bt comporte deux essieux de 16 Tonnes chacun.

Le nombre de tendems qu'on peut disposer sur la chaussée ne peut excéder 2.

Les surcharges Bt sont pondérables par un coefficient fonction de la classe.

Notons enfin que les efforts de cas 2 systèmes sont frappés d'un coefficient dit de majoration dynamique donné par la formule :

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1+0,2L} + \frac{0,6}{1+4 \frac{P}{S}}$$

Avec dans notre cas :

L : Prtée de la travée

P : Poids total de l'ouvrage correspondant à cette travée

S : Poids total des essieux du système B qu'on peut placer sur cette travée.

2-1-3 Charges militaires :

Les charges militaires sont divisées en 2 classes :
M 80 et M 120, chaque classe se composant de 2 systèmes distincts : Me et Mc .

Le système Me se compose d'un groupe de 2 éssieux.

Chaque éssieu du système M 80 porte une masse de 22 tonnes et un éssieu du système M 120 pèse 33 tonnes.

Le système Mc se compose de véhicules types à chenilles pesant respectivement pour la classe M 80 et M 120, 72 tonnes et 110 tonnes.

Les véhicules du système Mc peuvent circuler en convoi à condition que la distance minimale de 30,50 m entre 2 chars soit respectée .

Dans le sens transversal on ne peut disposer q'un seul convoi.

Le coefficient de majoration dynamique est calculé de la même façon que le système B; dans ce cas le symbole S représente le poids des charges militaires qu'il est possible de placer sur la travée considérée.

2-1-4 Charges exceptionnelles :

Sur les itinéraires classés pour permettre la circulation de convois lourds exceptionnels, les ponts doivent être calculés pour supporter le véhicule de type D.

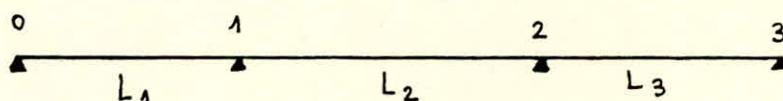
.../...

CALCUL DES EFFORTS

3- DETERMINATION DES EFFORTS

Le calcul des efforts est conduit conformément aux règles usuelles de la résistance des matériaux.

Le pont qui fait l'objet de notre étude peut être assimilé à une poutre continue reposant sur 4 appuis simples .



Pour calculer les moments fléchissants et l'effort tranchant dans une section quelconque appartenant à l'une des 3 travées, il est nécessaire de connaître les valeurs des moments aux appuis.

Ces derniers sont obtenus en appliquant la méthode dite des " Trois moments " .

En numérotant les appuis de 0 à 3 et les travées de 1 à 3 on obtient le système d'équations suivants :

$$\left\{ \begin{array}{l} 2(L_1 + L_2) M_1 + L_2 M_2 = -D_1 L_1 - G_2 L_2 \\ L_2 M_1 + 2(L_2 + L_3) M_2 = -D_2 L_2 - G_3 L_3 \\ M_0 = M_3 = 0 \end{array} \right.$$

D_i est le facteur de charge de la travée L_i , la charge étant située à droite de l'appui i

G_{i+1} est le facteur de charge de la travée L_{i+1} la charge étant située à gauche de l'appui i

La résolution de ce système nous donne les valeurs des moments aux appuis .

Ainsi pour une section de la travée L_i le moment fléchissant m_i et l'effort tranchant t_i sont :

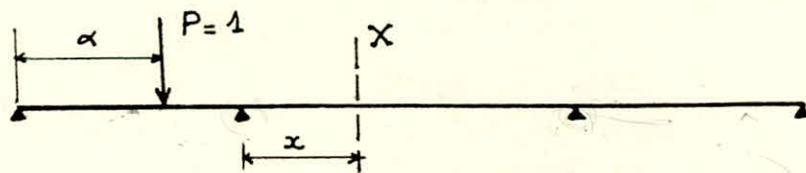
$$m_i = M_i(x) + M_{i-1} \left(1 - \frac{x}{L_i}\right) + M_i \frac{x}{L_i}$$

$$t_i = \frac{dM_i(x)}{dx} + \frac{M_i - M_{i-1}}{L_i}$$

x , désignant l'abscisse de la section comptée à partir de l'appui de gauche et $M_i(x)$ le moment fléchissant que produiraient les charges appliquées à la travée L_i si elle était posée sur appuis simples.

D'autre part pour calculer les efforts extrêmes des moments fléchissants et des efforts tranchants sous l'action des surcharges variées, on sera amenés à calculer les lignes d'influence des moments et des efforts tranchants.

3-1 LIGNE D'INFLUENCE DU MOMENT FLECHISSANT.



Soit X la section d'abscisse x dans la travée L_i , la ligne d'influence du moment fléchissant dans cette section est donnée par l'expression :

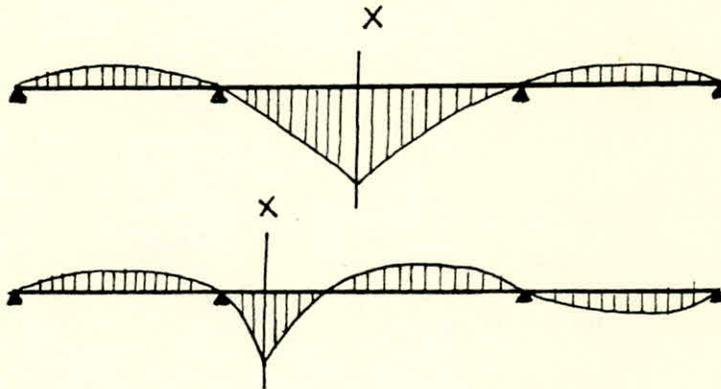
$$M(\alpha, x) = M_i(\alpha, x) + M_{i-1}(\alpha) \cdot \left(1 - \frac{x}{L_i}\right) + M_i(\alpha) \frac{x}{L_i}$$

$M_i(\alpha, x)$ est le moment fléchissant sous l'effort d'une charge unité en considérant la travée L_i posée sur appuis simples.

$\mu_i(\alpha, x)$ étant nul lorsque la charge unité se trouve sur une travée autre que la travée L_i .

M_{i-1} et M_i sont les moments aux appuis sous l'effort de la même charge.

Exemples de lignes d'influence des moments :

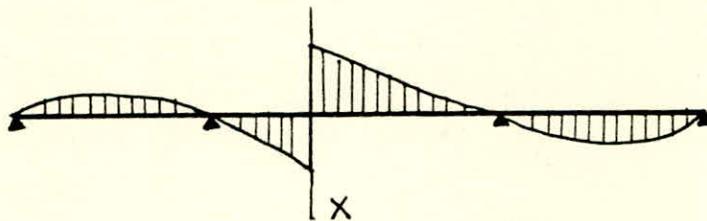


3-2 LIGNE D'INFLUENCE DES EFFORTS TRANCHANTS

La ligne d'influence de l'effort tranchant dans la section d'abscisse x de la travée L_i est donnée par :

$$T(\alpha, x) = \tau_i(\alpha, x) + \frac{M_i(\alpha) - M_{i-1}(\alpha)}{L_i}$$

avec $\tau_i(\alpha, x) = \frac{\partial}{\partial x} \mu_i(\alpha, x)$.



3-3 CALCUL DES MOMENTS FLECHISSANTS :

Dans un premier temps pour calculer les moments revenant à l'ensemble du pont on assimile l'ouvrage à une seule poutre continue sur 4 appuis simples supportant toutes les charges appliquées au pont.

Ensuite on procède à une repartition transversale de ces moments sur les différentes poutres principales formant la structure porteuse de l'ouvrage.

Cette repartition se fait suivant la théorie dite des "Entretoises rigides" de Mr COURBON.

3-3-1 Calcul des moments pour l'ensemble du pont :

Notre pont étant hyperstatique on doit donc déterminer les moments fléchissants positifs et les moments fléchissants négatifs pour chaque cas de charges.

Les positions des charges donnant les moments extrêmes sont obtenues à partir de la ligne d'influence;

On étudiera successivement les cas de charges suivants :

- Charges permanentes,
- Surcharges A,
- Surcharges B,
- Surcharges militaires,
- Surcharges exceptionnelles,
- Surcharges de trottoirs.

.../...

3-3-1-1 Charges permanentes :

Le pont est réalisé sans étayage, dans ce cas le poids du tablier (tablier métallique + dalle) est repris uniquement par les poutres métalliques pendant toute la durée de prise de béton.

Par contre les superstructures (étanchéité, trottoirs, chape) étant mises en oeuvre après prise du béton, leur poids sera repris par la structure mixte acier-béton.

On distinguera deux sortes de charges permanentes :

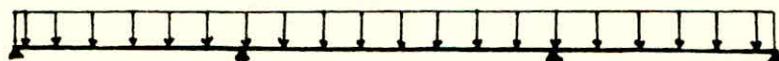
a) Charge permanente avant prise du béton constituée de :

- L'ossature métallique
- La dalle
- Le renformis
- Le coffrage

b) Charge permanente après prise du béton constituée de :

- Le coffrage (compté négativement)
- Les superstructures.

Ces charges sont supposées réparties sur tout le pont.



3-3-1-2 Surcharges A.

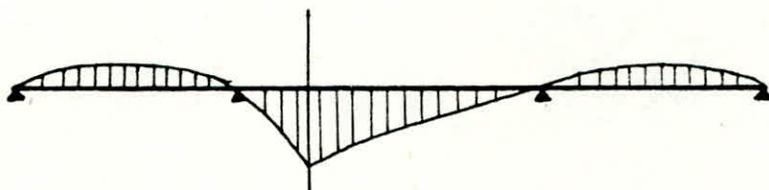
L'intensité de la charge A est fonction de la longueur chargée.

Pour obtenir les moments extrêmes dans la section considérée on charge les zones de mêmes signe de la ligne d'influence une à une, puis deux à deux, etc... jusqu'à l'épuisement de toutes les combinaisons possibles.

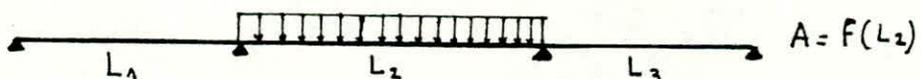
Notons que les limites des zones chargées doivent coïncider avec les zéros de la ligne d'influence.

Exemples :

Ligne d'influence



Pour le moment positif on a 1 seule combinaison, on charge la travée centrale.

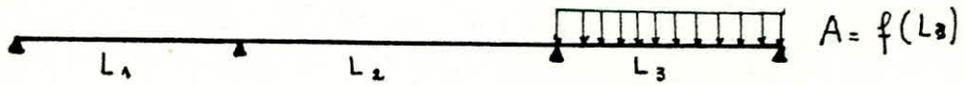


Pour le moment négatif on a 3 combinaisons :
1°) On charge la travée L_1

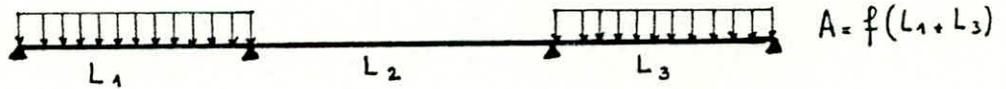


.../...

2°) On charge la travée L_3



3°) On charge les 2 travées L_1 et L_3



Notons qu'on fera varier la largeur chargée de sorte à charger progressivement toutes les voies de circulation.

3-3-1-3 Surcharges B :

a) Système B_c

Pour une section quelconque les moments extrêmes sont obtenus en jouant sur la position des 2 camions du système B_c

Les positions susceptibles de donner les moments les plus défavorables sont données par la ligne d'influence.

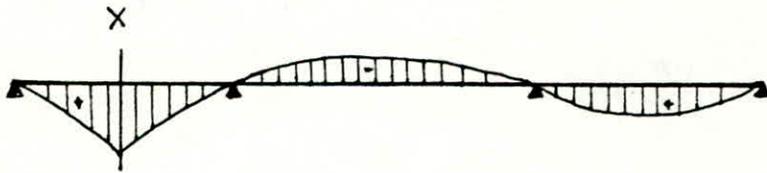
Cette dernière étant calculée, on repère les abscisses de ses extrêmes dans chacune des 3 travées et on fait déplacer le convoi (constitué d'un ou 2 camions selon les cas) de manière à amener un à un tous les essieux au droit de ces abscisses.

.../...

Après plusieurs combinaisons on tire les moments les plus défavorables.

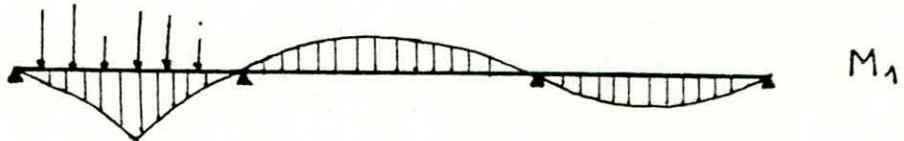
Exemple :

Ligne d'influence

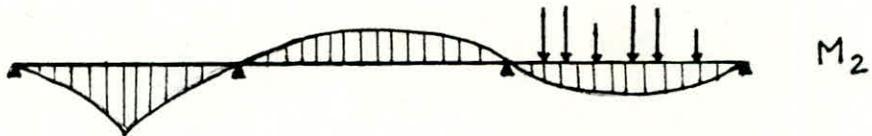


- Moment positif :

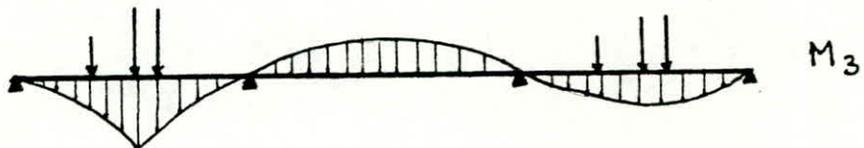
Cas 1



Cas 2



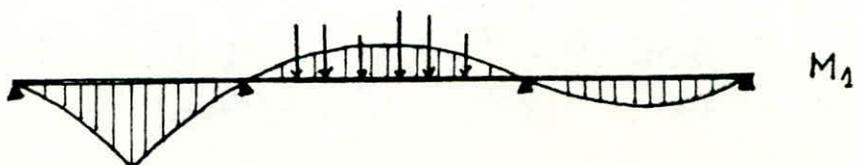
Cas 3



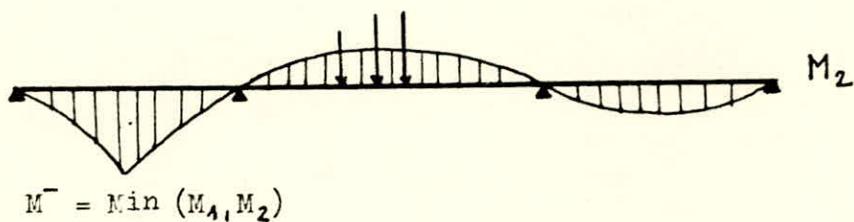
$$M^+ = \text{Max} (M_1, M_2, M_3)$$

- Moment négatif

Cas 1



Cas 2



De plus le convoi B_c n'étant pas symétrique, on a prévu de le faire circuler dans les 2 sens afin d'être sûrs d'avoir le moment maximum.

b) Système Bt

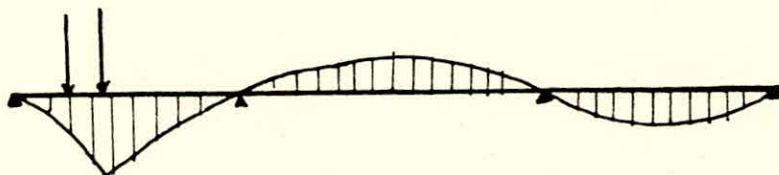
Le cas du système Bt est plus simple vu qu'il ne comporte que 2 essieux.

Après avoir repéré les abscisses des extrêmes de la ligne d'influence dans chaque travée on fait circuler 1 tandem autour de ces abscisses de manière à avoir les moments extrêmes.

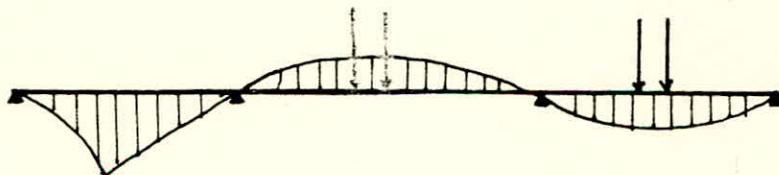
Exemple :

Moment positif :

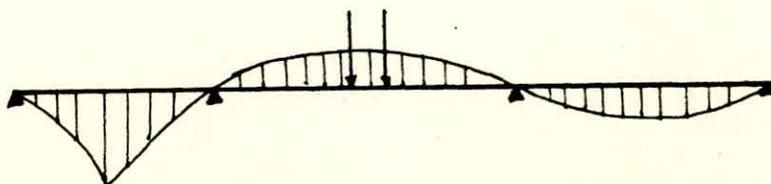
Cas 1



Cas 2



Moment négatif



.../...

3-3-1-4 Surcharges militaires

a) Système Me,

Le système Me étant composé de 2 essieux, on procède donc de la même façon que pour le système Bt.

b) Système M_c .

Le cas du système M_c est très complexe, le nombre de chars constituant le convoi n'est pas limité et la distance entre eux n'est pas définie exceptée la distance minimale.

Pour simplifier le problème on considère un convoi de 2 chars seulement, pour un pont à 3 travées l'erreur commise est presque insignifiante ou nulle.

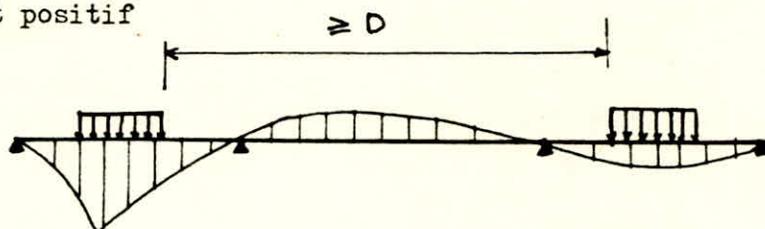
Pour le calcul du moment positif on fait circuler un char autour du maximum positif de la ligne d'influence (en général c'est au droit de la section considérée) et on repère la position donnant le moment le plus élevé.

Ensuite on fait circuler le 2ème char autour de l'abscisse du 2ème maximum de manière à obtenir le moment maximum dû à son effet tout en prenant le soin de vérifier la distance entre lui et le 1er char.

Le moment total est le cumul des moments dû aux 2 chars.

On procède de la même manière pour le moment négatif.

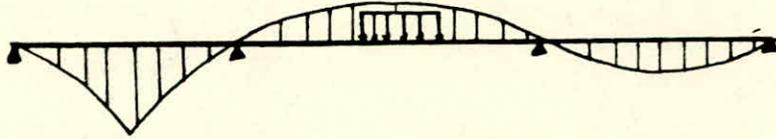
• Moment positif



D : distance minimale entre 2 chars

.../...

• Moment négatif



D = Distance minimale entre 2 chars.

3-3-1-5 Surcharges exceptionnelles :

Le convoi D est une charge supposée répartie, le raisonnement est donc le même que pour le 1er char du système M_c traité plus haut.

3-3-1-6 Surcharges de trottoirs :

Le calcul ne présente pas de particularités; pour avoir les moments positifs et négatifs on charge respectivement les zones positives et négatives de la ligne d'influence.

3-3-2 Répartition transversale.

Hypothèses :

La méthode de COURBON est basée sur la théorie des poutres infiniment rigides sur appuis élastiques.

Son application suppose les conditions suivantes vérifiées:

- La largeur du pont est nettement inférieure à sa longueur.

.../...

- Les entretoises sont supposées très rigides vis à vis des poutre et leurs déformations négligeables devant celles des poutres.
- Les poutres doivent être parallèles, soumises aux même liaisons et reliées perpendiculairement aux entretoises.

De plus nous supposons les poutres d'inertie constante puisque les reglements nous autorisent à les considerer ainsi si elles sont de hauteur constante et d'inertie variable au maximum dans le rapport 1 à 2; cequi est toujours vérifié pour les ponts mixtes qui font l'objet de cette étude.

Principe :

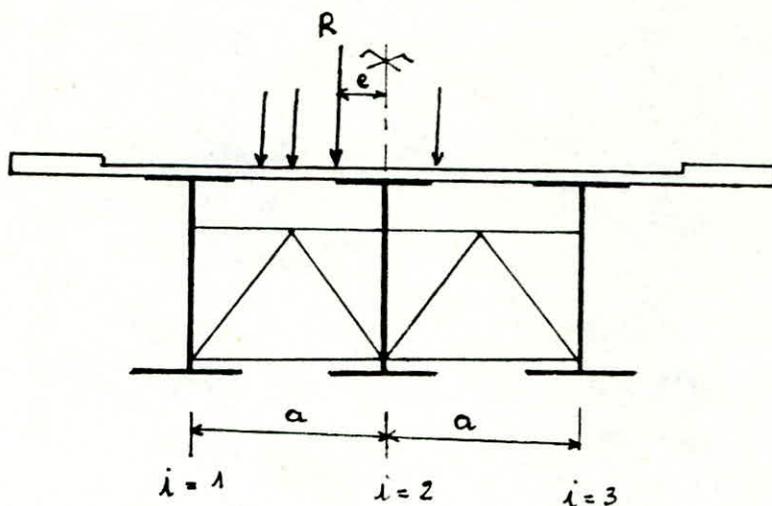
En admettant que le pont est formé de n poutre égales et également espacées le moment fléchissant M_i dans la poutre i est donné par :

$$M_i = \frac{M}{n} \left(1 + \frac{n+1 - 2i}{n - 1} \frac{e}{a} \right)$$

Avec, M : Moment fléchissant pour l'ensemble du pont

e : Distance de la résultante des charges appliquées au plan axial de symétrie

a : Distance entre-axes des poutres.



.../...

Nous voyons que si les charges sont symétriques par rapport au plan axial ($e=0$), le moment se répartit également entre toutes les poutres; c'est le cas des charges permanentes entre autres.

Dans le cas contraire c'est la poutre de rive qui supporte les plus grands efforts.

3-4 EFFORTS TRANCHANTS :

Dans le calcul des efforts tranchants il ya lieu de distinguer le cas des sections en travée et des sections sur appuis.

Car pour pouvoir appliquer la théorie de la poutre infiniment rigide sur appuis élastiques, il faut qu'il y ait proportionnalité entre les réactions transmises par les ^{en}tretoises et les flèches des poutres.

Si cette hypothèse est vérifiée pour les sections courantes, elle ne l'est pas dans les sections sur appuis où les réactions sont très importantes et les flèches des poutres nulles.

Ainsi les charges appliquées entre l'appui et la 1ère entretoise intermédiaire ne sauraient être réparties selon l'hypothèse des appuis élastiques.

3-4-1 Sections courantes :

Dans ce cas on calcule l'effort tranchant pour l'ensemble du pont et on le répartit de la même façon que pour les moments fléchissants.

3-4-1-2 Charges permanentes :

On applique la charge sur tout le pont et on calculera l'effort tranchant à la section considérée .

.../...

3-4-1-3 Surcharges A :

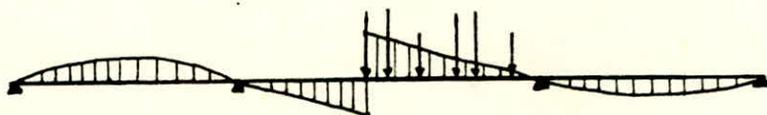
La ligne d'influence des efforts tranchants étant calculée, on procède au chargement de la même façon que pour les moments flichissants et on récupérera l'effort tranchant le plus défavorable avec son signe.

3-4-1-4 Surcharges B :a) Système B_c

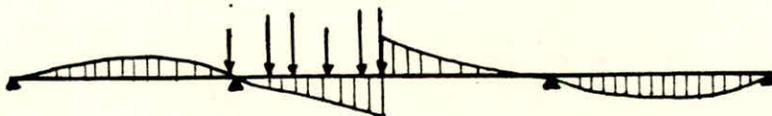
Dans un premier temps on place 1 convoi de 2 camions à gauche de la section considérée, puis le même convoi est placé à droite de la section en changeant cette fois-ci son sens de circulation, l'effort tranchant à considérer est le maximum des efforts ramenés par les 2 cas de charge.

Exemples :

1°)



2°)

b) Système B_t

Comme pour le système B_c le ^{une} tandem est placé une fois à gauche de la section et autre fois à droite de la section.

.../...

3-4-1-5 Surcharges militaires :

a) Système M_e :

On procède de la même façon que pour le système Bt

b) Système M_c :

Le calcul des efforts tranchants est mené de la même manière que pour les moments flichissant, ^{l'effort} tranchant à prendre en compte est le maximum en valeur absolue des efforts négatifs et positifs.

3-4-1-6 Surcharge exceptionnelle :

La charge répartie du convoi exceptionnel D est placée à gauche et à droite de la section et on prendra l'effort tranchant le plus défavorable.

3-4-1-7 Surcharges de trottoirs :

On calcule l'effort tranchant positif en chargeant les zones positives de la ligne d'influence et l'effort tranchant négatif en chargeant les zones négatives.

L'effort tranchant définitif est le maximum en valeur absolue des deux efforts.

3-4-1-bis Repartition transversale :

En conservant les hypothèses énoncées pour les moments flichissants, l'effort tranchant T_i dans la poutre i d'un pont à n poutres également espacées s'écrit :

$$T_i = \frac{T}{n} \cdot \Delta_i \text{ avec } \Delta_i = \left(1 + 6 \frac{n+1-2i}{n-1} \frac{e}{a} \right)$$

3-4-2 Section sur appuis :

Pour déterminer l'effort tranchant sur appuis de gauche de chaque travée nous distinguerons le cas des surcharges appliquées entre l'appui et la 1ère entretoise, et les charges situées au delà

.../...

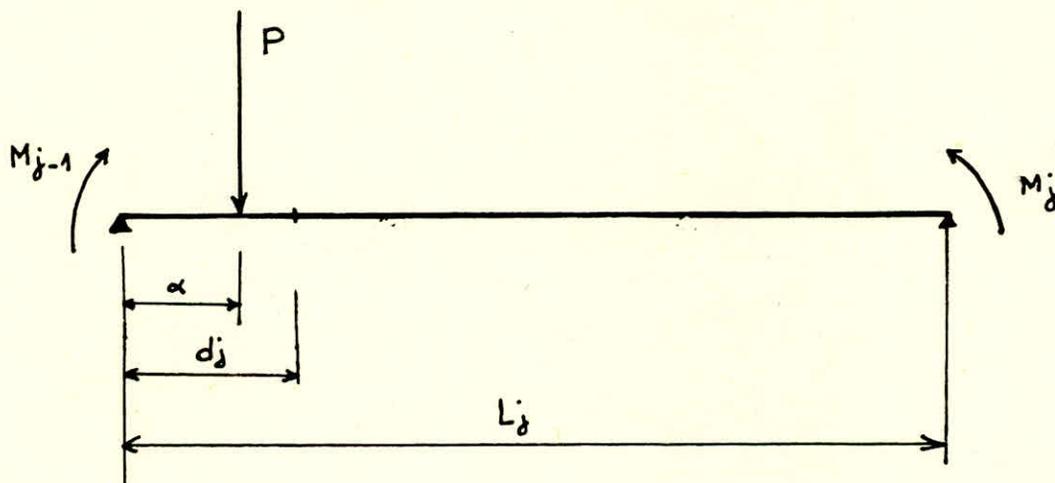
de cette entretoise .

Pour ces dernières nous utiliserons les mêmes règles que pour les sections courantes.

Pour les premières surcharges citées nous procédons comme suit :

a) Charges ponctuelles :

- Appelons α l'abscisse de la section dans laquelle se trouve une file de roues et d_j l'abscisse de la 1ère entretoise intermédiaire de la travée L_j .



.../...

Alors l'effort tranchant T_i à l'appui de la poutre i est donné par :

$$T_i = T'_i \left(1 - \frac{\alpha}{d_j} \right) + \frac{T}{n} \cdot \Delta_i \cdot \frac{\alpha}{d_j} + \frac{M_j - M_{j-1}}{L_j}$$

Avec T : effort tranchant isostatique dû à la file de roues pour l'ensemble des poutres.

T'_i : effort tranchant isostatique dans la poutre i produit par la réaction R_i de la file de roues sur la poutre i , réaction calculée en supposant les dalles articulées sur les poutres.

n : nombre total de poutres.

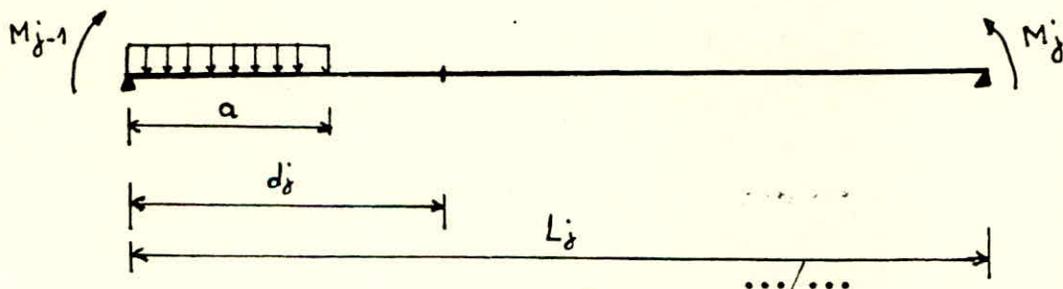
Δ_i : coefficient de repartition.

M_{j-1} et M_j : moments hyperstatiques aux appuis dûs à la charge P .

Ainsi l'effort tranchant à l'appuis i dû à 1 système à plusieurs essieux sera calculé en sommant les efforts tranchants dûs à chaque file de roues.

b) Charges reparties :

Soit une charge repartie uniformément entre l'appuis de gauche et la 1ère entretoise intermediaire d'une travée L_j sur une distance a .



Alors l'effort tranchant à l'appui de la poutre i s'écrit :

$$T_i = q_i \cdot a \left(1 - \frac{a}{2L_j} - \frac{a}{2d_j} + \frac{a^2}{3L_j d_j} \right) + q \cdot a \cdot \frac{\Delta_i}{n} \left(\frac{a}{2d_j} - \frac{a^2}{3L_j d_j} \right) + \frac{M_j - M_{j-1}}{L_j}$$

Dans le cas particulier où la surcharge répartie s'étend entre l'appui et la première entretoise ($a = d$) on obtient :

$$T_i = q_i d \left(\frac{1}{2} - \frac{d_j}{6L_j} \right) + q d_j \cdot \frac{\Delta_i}{n} \left(\frac{1}{2} - \frac{d_j}{3L_j} \right) + \frac{M_j - M_{j-1}}{L_j}$$

Avec q : L'intensité de la surcharge répartie

q_i : La portion de cette surcharge supportée par la poutre i.

Ces 2 formules nous permettent donc de calculer l'effort tranchant à l'appuis dans une poutre quelconque l'orsque le pont est soumis aux cas de charges suivants :

- . Charges permanentes
- . Système A
- . Système M_c
- . Système exceptionnel
- . Charges de trottoirs.

3-5 SOLLICITATIONS DE CALCUL

Les sollicitations des charges permanentes et des surcharges sont frappés d'un coefficient de majoration différent selon leur nature.

Ainsi pour les sollicitations se dues aux charges de longue durée (charges permanentes, retrait),

Le coefficient de majoration est de 1,32.

Les sollicitations S_r et S_m dues aux charges routières et militaires sont majorées respectivement de 32 % et 60%.

Enfin les sollicitations S_t dues à la température sont multipliées par 1,5.

La sollicitation à considérer est donc la suivante :

$$1,32 S_e + (1,6 S_r \text{ ou } 1,32 S_m) + 1,5 S_t$$

Notons que le terme S_r prend en compte le cumul des charges de trottoirs aux charges de chaussées, à savoir les systèmes A et B.

De plus dans le cas d'un pont biais les moments et les efforts tranchants sont majorés par un coefficient égal à :

- . 1 si le biais est compris entre 60° et 90°
- . 1,05 si le biais est compris entre 45° et 60°

CALCUL D'UNE

SECTION MIXTE

4-1 HYPOTHESES DE CALCUL D'UNE SECTION MIXTE :

Avant d'aborder le calcul d'une section mixte il est essentiel d'en étudier qualitativement le comportement sous l'action des efforts qui lui sont appliqués, pour cela nous supposons vérifiées les deux hypothèses suivantes :

- La liaison entre l'acier et le béton est supposée rigide, tout déplacement entre les deux matériaux est rendu impossible de par la présence des organes de liaison appelés connecteurs.

- L'acier et le béton sont supposés être des matériaux élastiques, ils obéissent donc à la loi de HOOK; la variation relative de longueur de deux fibres, l'une dans l'acier, l'autre dans le béton est:

$$\text{Pour l'acier : } \left(\frac{\delta l}{l} \right)_a = \frac{\sigma_a}{E_a}$$

$$\text{Pour le béton : } \left(\frac{\delta l}{l} \right)_b = \frac{\sigma_b}{E_b}$$

Or, d'après la première hypothèse.

$$\left(\frac{\delta l}{l} \right)_a = \left(\frac{\delta l}{l} \right)_b$$

$$\text{D'ou : } \frac{\sigma_a}{\sigma_b} = \frac{E_a}{E_b} = n$$

Ceci nous permet de mettre en évidence le coefficient d'équivalence n , entre l'acier et le béton.

De ce fait, ce coefficient n varie avec E_b .

- E_b croît avec la résistance du béton.

- E_b décroît lorsque la durée du chargement augmente.

.../...

Ainsi afin de tenir compte des variations de E_b ; on définit plusieurs valeurs de n correspondant à tous les types de sollicitations susceptibles d'être rencontrées en pratique.

Sollicitation	Champ d'application	n
Charge instantanée	Surcharges	6
Charge de longue durée	Charges permanentes	18
Effet différés	Retrait Température différentielle	15

4-2 INERTIE D'UNE SECTION MIXTE .

Avant définir l'inertie d'une section mixte, il est nécessaire de rendre la section homogène, pour cela, nous homogénéiserons la section mixte par rapport à l'acier de sorte que la section homogénéisée s'écrive :

$$S = S_a + \frac{S_b}{n}$$

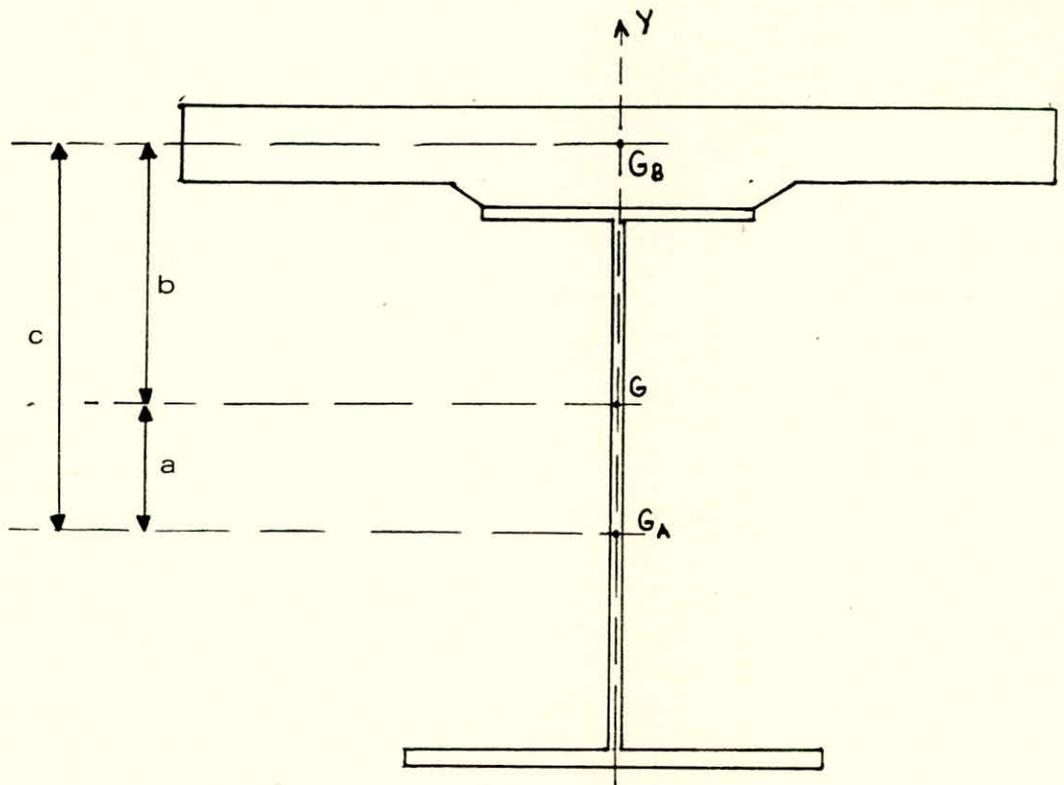
Avec :

S_a : Section d'acier

S_b : Section du béton.

n : Coefficient d'équivalence.

.../...



4-2-1 Position du centre de gravité de la section mixte :

Elle s'obtient en calculant le moment statique de la section homogène par rapport à l'horizontale passant par le centre de gravité de la section mixte; par définition, ce moment statique est nul.

$$\int_S y \, dS = \int_{S_b} y \frac{dS_b}{n} + \int_{S_a} y \, dS_a = 0$$

D'où :

$$b \frac{S_b}{n} - a S_a = 0$$

Ainsi que : $a + b = c$

Donc :

$$a = \frac{S_b \cdot c}{n S}$$

$$b = \frac{S_a \cdot c}{S}$$

4-2-2 Inertie de la section mixte rapportée à son centre de gravité.

Par définition :

$$I = \int_S y^2 \, dS = \int_{S_b} y^2 \frac{dS_b}{n} + \int_{S_a} y^2 \, dS_a \quad \dots/\dots$$

D'ou :
$$I = \frac{I_B}{n} + b^2 \frac{S_B}{n} + a^2 S_A + I_A$$

Ou encore :
$$I = I_A + \frac{I_B}{n} + \frac{S_A S_B C^2}{n S}$$

I_A : Inertie propre de l'acier par rapport à son centre de gravité G_A .

I_B : Inertie propre du béton par rapport à G_B .

Il apparait clairement que les efforts engendrés par des sollicitations de natures différentes, sont fonction de n , et par conséquent, ne sont pas comparables.

4-2-2 Largeur de la table participante :

* Pour la détermination des inconnues hyperstatiques de toute natures; la largeur de hourdis à prendre en compte est limitée par la plus restrictive des conditions ci-après :

- On ne doit pas attribuer la même zone d'hourdis à deux poutres différentes.

- La largeur en cause ne doit pas dépasser le dixième de la portée d'une travée.

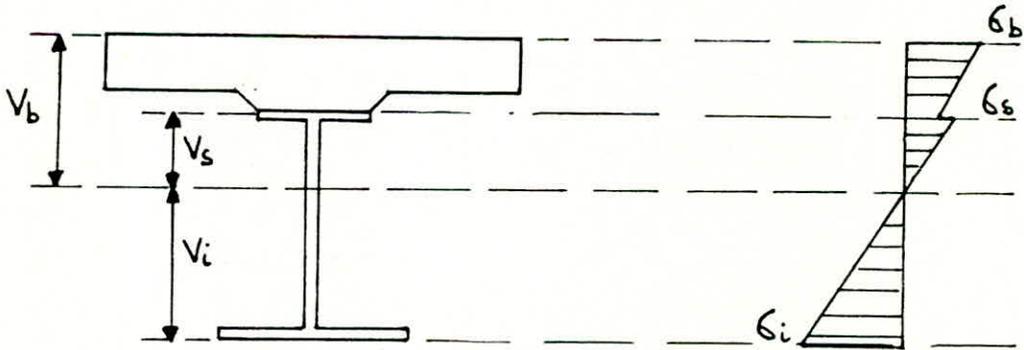
* Pour le calcul des contraintes de toutes natures, la largeur du hourdis à prendre en compte de chaque côté d'une nervure est déterminée comme indiqué ci-dessus, et en outre elle ne doit pas dépasser :

- Les $2/3$ de la distance de la section considérée à l'about de la poutre .

- Ni le quarantième ($1/40$) de la somme des portées encadrant l'appui intermédiaire le plus rapproché.

4-3 ETUDE DES EFFORTS APPLIQUES A LA SECTION MIXTE :

La distribution des contraintes dans une section mixte soumise à un moment fléchissant positif M est la suivante :



Les formules de NAVIER étant applicable à condition de tenir compte de l'homogénéité de la section; les contraintes sont données par :

Acier : - Fibre supérieure : $\sigma_s = \frac{M \cdot V_s}{I}$

- Fibre inférieure : $\sigma_i = \frac{M \cdot V_i}{I}$

Béton : $\sigma_b = \frac{1}{n} \cdot \frac{M \cdot V_b}{I}$

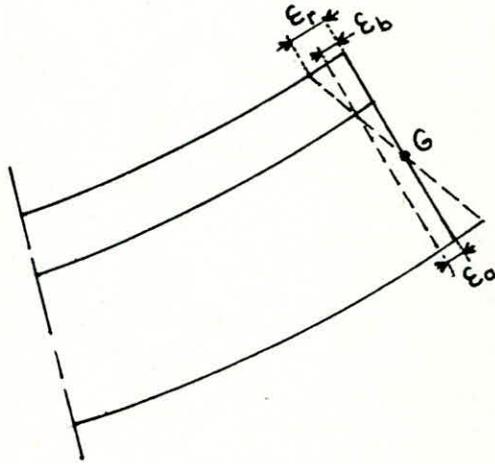
NOTA : Par convention on prend pour la contrainte de compression le signe négatif, et pour celle de traction le signe positif.

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

CALCUL DU RETRAIT

5- RETRAIT

Au contact des deux matériaux, le béton, freiné par les connecteurs ne peut effectuer librement son retrait, il se tend, l'acier qu'il entraîne partiellement se comprime.



ϵ_r : raccourcissement relatif que prendrait le béton s'il pouvait effectuer librement son retrait.

ϵ_b : raccourcissement relatif réellement pris par le béton.

ϵ_a : raccourcissement de la poutre métallique.

D'après le principe de NAVIER

$$\epsilon_r = \epsilon_b = \epsilon_a$$

- La déformée correspondante, due à cet état de contraintes internes a donc une concavité dirigée vers le haut, il s'est créé un moment isostatique de retrait.

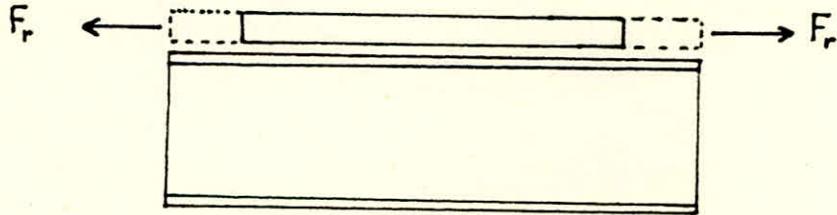
- Cette déformation est gênée par la présence d'appuis intermédiaires, il se crée donc en sus, des moments hyperstatiques. pour le calcul on admet que le raccourcissement correspondant

à un retrait libre égal aux valeurs indiqués à l'article 4-4 du fascicule 61 titre VI , suivant les regions.

En fait le retrait n'est jamais totalement libre ni totalement empêché.

C'est ainsi que pour les ponts mixte on évaluera efforts et déformations de retrait par la méthode suivante.

a) On supposera les liaisons acier-béton supprimées



Le béton se raccourcit (retrait libre), mais pour lui faire reprendre sa longueur initiale, la même que celle de l'acier on lui appliquera aux sections d'abouts et en son centre de gravité un effort de traction $F_r = S_b \cdot \epsilon_r \cdot E_b$

S_b : Section de béton non homogénéisée

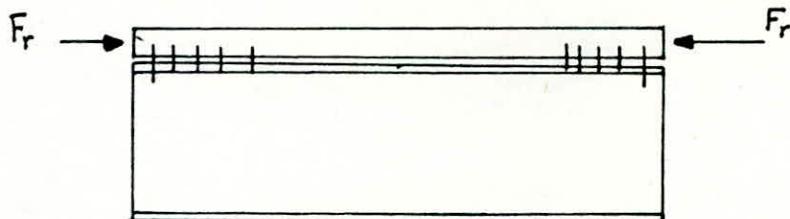
ϵ_r : Coefficient de raccourcissement.

E_b : Module d'élasticité du béton.

Il ya donc apparition d'une contrainte de traction

$$\sigma_b = \frac{F_r}{S_b} = \frac{E_a}{N} \cdot \epsilon_r$$

b) On supposera les liaisons rétablies



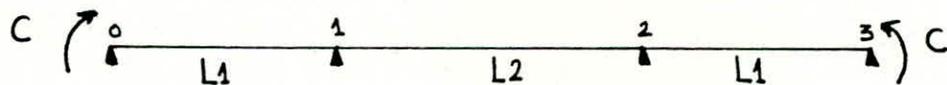
Et on appliquera un effet de compression F_r au centre de gravité du béton, il est égal au précédent, mais il sera ramené au centre de gravité de la section mixte avec un moment positif égal à

$$C = F_r \cdot B$$

B : Distance entre le CDG du béton de la section mixte.

Les efforts de traction et de compression et de flexion, s'ajoutent entre eux, ces efforts étant des efforts internes, le système qu'ils forment étant un système nul ($N=0$, $M=0$).

L'effort de flexion est dû à l'excentrement de la force de retrait par rapport au centre de gravité de la section mixte, il apparaît un couple C , ce couple est appliqué aux abouts de la poutre ; il serait uniforme sur toute la poutre, si celle-ci était isostatique, mais du fait qu'elle est continue, il se crée des moments hyperstatiques aux appuis.



On applique la méthode des trois moments pour la détermination des moments aux appuis intermédiaires.

.../...

$$M_0 = M_3 = 0$$

$$L_1 = L_3$$

$$M_{i-1} L_i + 2 M_i (L_i + L_{i+1}) + M_{i+1} L_{i+1} = 6EI (\varphi_{ie} - \varphi_{iw})$$

$$i = 1 \implies M_0 L_1 + 2 M_1 (L_1 + L_2) + M_2 L_2 = CL_1$$

$$i = 2 \implies M_1 L_2 + 2 M_2 (L_2 + L_3) + M_3 L_3 = CL_3$$

$$\implies M_1 = M_2 = \frac{-C L_1}{2 L_1 + 3 L_2} .$$

On aura donc pour chaque section, un moment M_x dû au couple de retrait C .

$$M_x = \mu(x) + M(i-1) \left(1 - \frac{x}{L(i)}\right) + M(i) \left(\frac{x}{L(i)}\right)$$

i : L'indice de la travée.

$\mu(x)$: Moment isostatique dû à C . il est nul dans la travée intermédiaire.

$$\text{Pour les travées externes : } \mu(x) = C \frac{L_i - x}{L_i}$$

Donc on a apparition des contraintes de retrait :

$$\text{Dans le béton : } \sigma_{br} = \frac{-F_r}{nS} + \frac{F_r}{S_b} - \frac{M_x}{nW_b}$$

$$\text{Dans la semelle supérieure : } \sigma_{sr} = \frac{-F_r}{S} + \frac{M_x}{W_s}$$

$$\text{Dans la semelle inférieure : } \sigma_{ir} = \frac{-F_r}{S} - \frac{M_x}{W_i}$$

5-2 TEMPERATURE DIFFERENTIELLE :

La différence de température provoque une dilatation des matériaux.
Cette dernière peut agir défavorablement dans les deux sens.

Le coefficient de dilatation est pris égal à :

$$\epsilon_t = \pm \frac{1}{3} \cdot \epsilon_r$$

Avec ϵ_r : Coefficient de retrait.

Le coefficient de pondération est égal à 1,5 .

⊖-⊖-⊖-⊖-⊖-⊖-⊖-⊖-⊖

CALCUL DE DENIVELLATION

6- PRECOMPRESSION DU BETON ET
DENIVELLATION D'APPUI.

La parfaite liaison acier-béton étant assurée, nous pouvons en tirer certes bien des avantages, mais il faudra porter remède aux inconvénients qu'elle engendre, parce que le fonctionnement normal d'une section mixte est celui où le béton est comprimé.

Or nous savons que deux facteurs peuvent être à l'origine de traction dans le béton :

- Les moments négatifs sur appuis intermédiaires d'une travée continue.
- Les effets linéaires différés (retrait et température)

Notons que les prescriptions relatives à la limitation de la traction dans le béton sont :

a- Avide :

C'est-à-dire sous l'effet combiné des charges permanentes et des effets linéaires différés, le béton ne doit pas être tendu.

b- Encharge :

Sous l'action conjuguée des efforts précédents et des surcharges, il est admis de faibles tractions dans le béton.

Quoiqu'il en soit, le béton sera alors supposé fissuré (fissuration non-préjudiciable), ce qui implique une vérification de la section tendue.

Pour compenser les tractions à vide dans le béton, il s'impose donc de créer artificiellement une précompression de la dalle.

.../...

Cette précompression se fait soit par :

- Denivellation d'appuis.
- Ou par une précontrainte, dans la section de béton tendu.

Dans notre étude, la denivellation d'appuis était prise en compte.

- Le principe des denivellements d'appuis est de créer sur la structure mixte des moments hyperstatiques positifs qui annulent les tractions dans le béton dues aux moments négatifs de charge permanente postérieure au bétonnage et au retrait du béton.

Le procédé de bétonnage comporte de nombreuses variantes :

Bétonnage totalement ou partiellement exécuté avant précontrainte, denivellation par phase etc...

Pour notre cas, on a choisi le bétonnage total après denivellation de la structure en phase métal.

La succession détaillée pour chaque phase, avant et après denivellation est donnée par les schémas suivants :

PHASES CONSTRUCTIVES

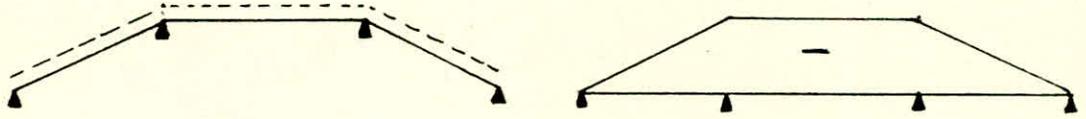
Pont mixte non-étayé

- 1- Mise en place de l'ossature métallique, les efforts sont pris par le métal seul.

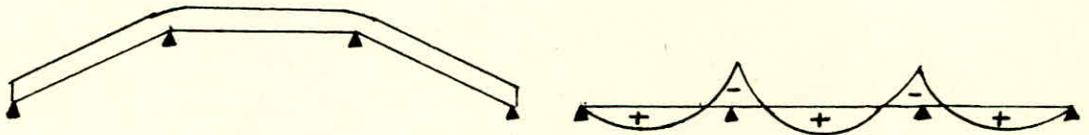


.../...

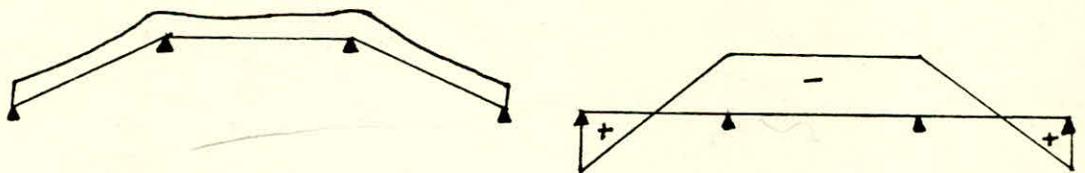
- 2- On denivelle nos appuis en phase métal, ce qui engendre des moments négatifs aux appuis.



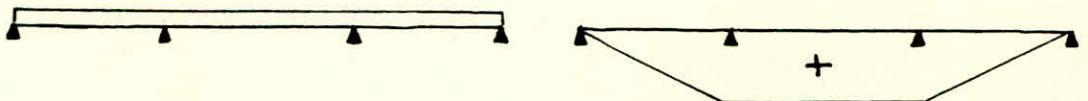
- 3- Le bétonnage se fait totalement sur toute la poutre, et il faut attendre que le béton durcisse, pour faire la dénivellation retour.



- 4- Action du retrait qui nous amène un couple au niveau des abouts.



- 5- On fait une dénivellation retour en phase mixte, ce qui entraîne un moment positif aux appuis.



Pour le calcul de la dénivellation on doit précomprimer la dalle avec une contrainte σ_p telle que sous l'action des charges de longue durée la contrainte dans le béton soit tout au plus nulle.

$$\sigma_p \geq \sigma_{ccp} + \sigma_{br} + \sigma_{temp}$$

$$M = \frac{\sigma_{ccp} + \sigma_{br} + \sigma_{tp}}{w_b} \leq \frac{\sigma_p}{w_b}$$

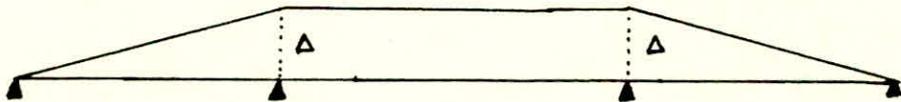
Pour reprendre ce moment on procède au soulèvement de l'ossature métallique seule avec un coefficient d'équivalence $N = \infty$

La dénivellation est calculée à partir de la formule de CLAPAYERON.

$$L_i M_{i+1} + 2(L_i + L_{i+1}) M_i + L_{i+1} M_{i+1} = 6 EI \left[\left(\frac{V_{i+1} - V_i}{L_{i+1}} \right) - \left(\frac{V_i - V_{i-1}}{L_i} \right) \right]$$

$$M_0 = M_3 = 0$$

$$V_0 = V_3 = 0$$



$$2(L_1 + L_2) M_1 + L_2 M_2 = 6 EI \cdot \left[\frac{\Delta}{L_1} \right]$$

$$2(L_1 + L_2) M_2 = L_2 M_1 = 6 EI \cdot \left[\frac{\Delta}{L_1} \right]$$

D'on :

$$\Delta_{aller} = - \frac{L_1 (2L_1 + 3L_2)}{6 EI} M$$

La dénivellation aller est égale en module a la dénivellation retour :

$$\Delta = \Delta_{aller} = - \Delta_{retour}.$$

Ainsi, il se crée des moments en tout point de la poutre

$$M_{\text{ aller}} = M_a (i-1) \left(1 - \frac{x}{L(i)}\right) + M_a (i) \cdot \frac{x}{L(i)}$$

$$M_a (0) = M_a (3) = 0$$

$$M_a (1) = M_a (2) = - \frac{6EI}{L1 (2L1 + 3L2)} \Delta$$

i : inertie de la section mixte avec $N = \infty$ (on ne considere que l'acier).

$$M_{\text{ retour}} = M_r (i-1) \left(1 - \frac{x}{L(i)}\right) + M_r (i) \cdot \frac{x}{L(i)}$$

$$M_r (0) = M_r (3) = 0$$

$$M_r (1) = M_r (2) = \frac{6EI}{L1 (2L1 + 3L2)} \Delta$$

i : inertie de la section mixte avec $N = 18$

La dinivellation d'appuis est considérée comme une charge de longue durée.

DIMENSIONNEMENT

7- DIMENSIONNEMENT DES POUTRES :

A ce stade du calcul, les poutres principales sont supposées pre-dimensionnées, c'est à dire que la hauteur et l'épaisseur d'âme sont connues ainsi que les largeurs de semelles.

De plus l'épaisseur de la dalle et du renformis sont connues, mais la largeur du hourdis sera calculée pour chaque section.

Les épaisseurs initiales des semelles sont prises égales à 10 mm et la largeur du renformis est prise égale à celle de la semelle supérieure.

Notre problème est donc de calculer l'épaisseur des semelles nécessaire pour assurer la résistance à la flexion d'ensemble, et de répartir cette épaisseur en plusieurs tôles choisies parmi les aciers laminés disponibles sur le marché.

7-2 JUSTIFICATION DES SECTIONS

Une fois que les efforts sont calculés pour chaque section, et sous les différentes sollicitations, on procède à une vérification des contraintes .

7-2-1 Vérifications des contraintes :

Le calcul des contraintes est une succession de plusieurs étapes, chaque étape correspondant à une phase déterminée de la construction de l'ouvrage.

On calculera les contraintes σ_{inf} et σ_{sup} au niveau des semelles inférieure et supérieure, ainsi que les contraintes σ_b dans le béton, pour chaque phase.

... / ...

Ces contraintes sont comparées aux contraintes admissibles de l'acier et du béton, si on appelle σ_{e1} , et σ_{e2} les limites d'élasticité des aciers composant les semelles inférieure du PRS, et $\bar{\sigma}_b$ la contrainte admissible du béton en compression, alors les inégalités à satisfaire s'écrivent :

$$\begin{aligned} - \text{ Pour l'acier} \quad & \sigma_{\text{inf}} \leq \sigma_{e1} \\ & \sigma_{\text{sup}} \leq \sigma_{e2} \\ - \text{ Pour le béton} \quad & \sigma_b \leq \bar{\sigma}_b. \end{aligned}$$

Notons que sous l'action des charges permanentes, le béton ne doit pas être tendu au niveau des appuis intermédiaires.

Si l'une de ces inégalités n'est pas vérifiée, la semelle correspondante est augmentée; de même, si la contrainte dans le béton est supérieure à la contrainte admissible, on augmente la semelle supérieure.

Dans tous les cas, si l'épaisseur d'une semelle venait à dépasser 90 mm (c'est le maximum réalisable avec 3 toiles); alors la semelle serait aussitôt élargie, et le calcul reprendrait depuis le début.

Mais si les contraintes d'une étape sont vérifiées, alors on passe à l'étape suivante, tout en ajoutant les contraintes calculées précédemment, et la vérification sera menée de la même manière.

Les contraintes dues aux différentes étapes sont cumulées au fur à mesure jusqu'à ce qu'on arrive à l'étape où les surcharges sont considérées; on cumulera alors séparément les contraintes dues aux moments de surcharges positifs et négatifs.

Si ce cumul nous engendre une traction dans le béton la vérification se fera en tenant compte de l'ossature métallique seule.

.../...

Etapas de calcul :

- 1ère étape : mise en place du tablier métallique + dénivellation aller.

Coefficient d'équivalence $n = \infty$

Les contraintes sont :

$$\sigma_{s1} = - (M_{cp} + M_{aller}) / W_s.$$

$$\sigma_{i1} = (M_{cp} + M_{aller}) / W_i.$$

M_{cp} : moment de charges permanentes.

M_{aller} : moment dû à la dénivellation aller.

- 2ème étape :

Après le durcissement du béton on procède à la dénivellation retour, la section travaille en mixte et une contrainte de compression apparaît dans le béton d'où :

$$\begin{aligned} \sigma_{s2} &= \sigma_{s1} - M_{retour} / W_s \\ \sigma_{i2} &= \sigma_{i1} + M_{retour} / W_i \\ \sigma_{b2} &= - M_{retour} I / n \cdot V_b. \end{aligned}$$

La dénivellation retour est considérée comme charge permanente donc le coefficient d'équivalence est pris égal à $n = 18$.

- 3ème étape :

Dans cette étape on considère l'action des compléments de charge permanente (avec $n=18$), du retrait et de la différence de température ($n=15$).

Les contraintes deviennent :

$$\begin{aligned} \sigma_{s3} &= \sigma_{s2} + \text{retrait} - M_{ccp} / W_s + \sigma_s \text{ temp.} \\ \sigma_{i3} &= \sigma_{i2} + \text{retrait} + M_{ccp} / W_i + \sigma_i \text{ temp.} \\ \sigma_{b3} &= \sigma_{b2} + \text{retrait} - M_{ccp} / W_b \cdot n + \sigma_b \text{ temp.} \end{aligned}$$

.../...

De plus la contrainte dans le béton doit être pratiquement nulle aux appuis intermédiaires, si une traction existe on augmente l'épaisseur de la semelle.

- 4ème étage :

Dans cette dernière étape on prend en compte l'effet des surcharges avec un coefficient d'équivalence ($n=6$).

a) Effet des moments positifs :

Ces moments provoquent une compression dans le béton :

$$\begin{aligned}\sigma_{s4} &= \sigma_{s3} - M \text{ plus}/W_s \\ \sigma_{i4} &= \sigma_{i3} + M \text{ plus}/W_i \\ \sigma_{b4} &= \sigma_{b3} - M \text{ plus}/W_{b.n.}\end{aligned}$$

b) Moments négatifs.

Ils engendrent de la traction dans le béton.

$$\begin{aligned}\sigma'_{s4} &= \sigma_{s3} - M \text{ moins}/W_s \\ \sigma'_{i4} &= \sigma_{i3} + M \text{ moins}/W_i \\ \sigma'_{b4} &= \sigma_{b3} - M \text{ moins}/W_{b.n.}\end{aligned}$$

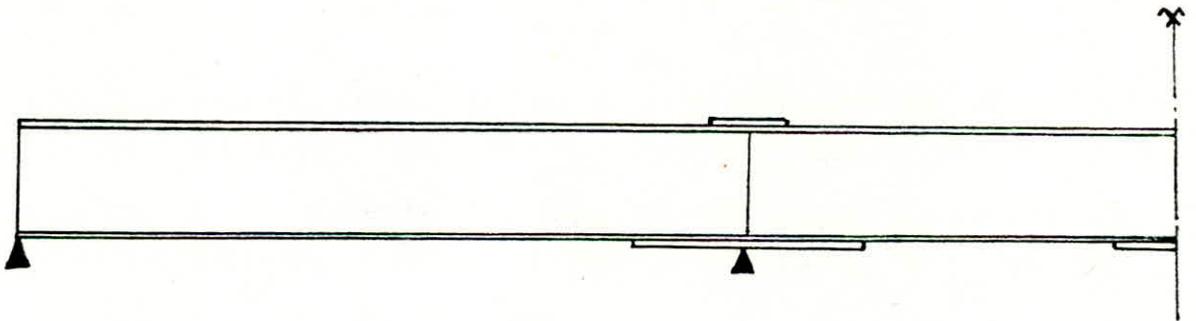
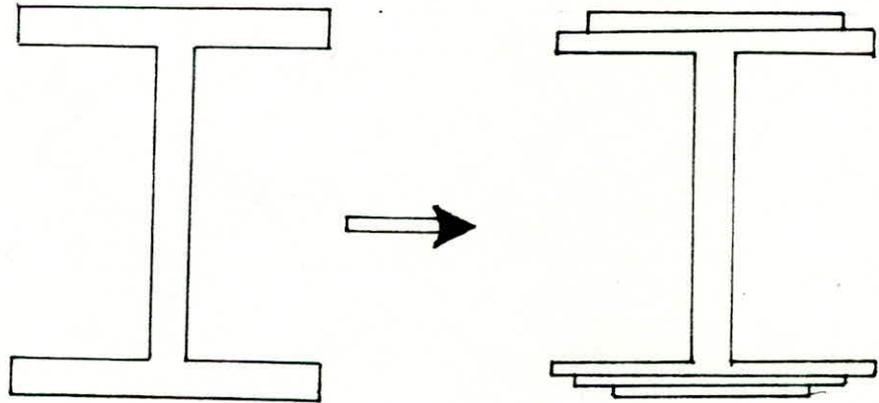
Si σ'_{b4} est positives (traction) on prend le calcul avec ($n=\infty$) (le béton n'est pas considéré).

7-2-2 Homogénéisation des toles :

A partir des épaisseurs de semelles ainsi obtenues, on fait une répartition rationnelle des tôles, de façon à ce qu'elles soient compatibles avec les profilés existant sur le marché.

.../...

Pour chaque poutre les tôles sont choisies à partir de la section la plus sollicitée, puis le calcul est repris pour chaque section, en prenant le profilé de base du PRS (sans les semelles additives) et si les contraintes ne sont pas vérifiées, la tôle adéquate est ajoutée.



Vérification du cisaillement :

La condition de sécurité à vérifier est :

$$\tau \leq 0,6 \cdot \sigma_{e3}$$

Avec τ : la contrainte de cisaillement, $\tau = \frac{T}{S_{\text{âme}}}$

$S_{\text{âme}}$: Section de l'âme

σ_{e3} : contrainte admissible de l'acier.

ETUDE DU VOILEMENT

ETUDE DU VOILEMENT :

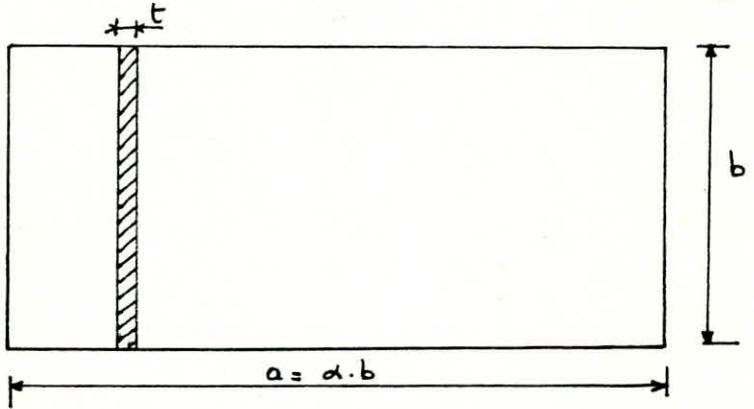
Une plaque mince et de grande surface, telle que l'âme de la poutre d'un pont mixte, doit présenter une sécurité vis à vis du voilement.

Pour étudier ce phénomène, on se basera sur la théorie des "contraintes critiques" qui ne tient pas compte des effets des membranes.

Contraintes critiques :

Le panneau d'âme à vérifier est délimité par les semelles et les montants d'entretoise.

Soient a et b ses dimensions et t son épaisseur.



Les contraintes critiques de voilement σ_k et τ_k s'écrivent $\sigma_k = K_\sigma \cdot \sigma_c$; $\tau_k = K_\tau \cdot \sigma_c$

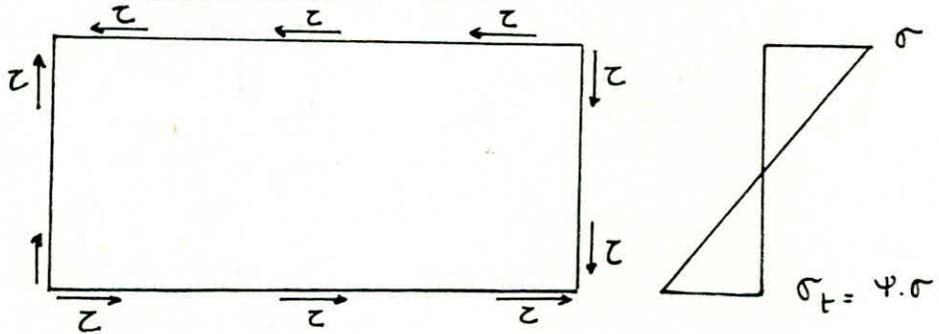
avec
$$\sigma_c = \frac{\pi^2 \cdot E}{12 (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2$$

- E : module d'élasticité de l'acier ; $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ Kg/cm}^2$
- ν : coefficient de poisson de l'acier ; $\nu = 0,3$
- K_σ et K_τ sont des coefficients fonction des dimensions du panneau et de la distribution des contraintes normales sur celui-ci.

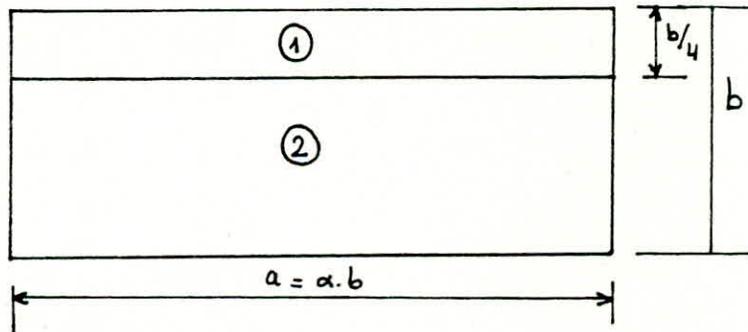
De plus, puisque notre panneau est soumis à 2 moments de flexion de signes contraires, cette vérification doit se faire en 2 phases :

- 1°- en considérant le moment de flexion positif,
- 2°- en considérant le moment de flexion négatif.

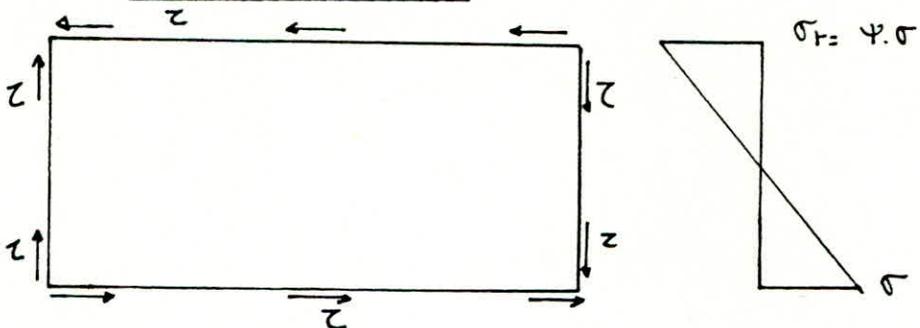
. Cas du moment positif :



Si le panneau d'ensemble s'avère instable, on prévoit un raidisseur longitudinal en plat, au quart supérieur de la hauteur du panneau. Ensuite, on vérifie la stabilité des 2 panneaux élémentaires ainsi créés.

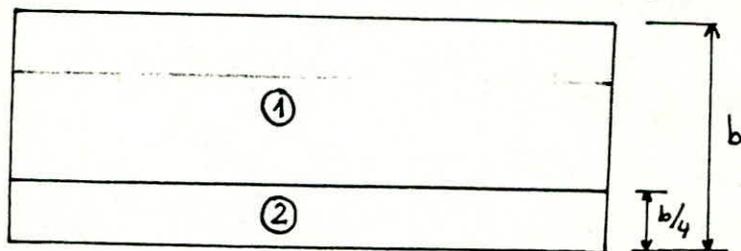


. Cas du moment négatif :

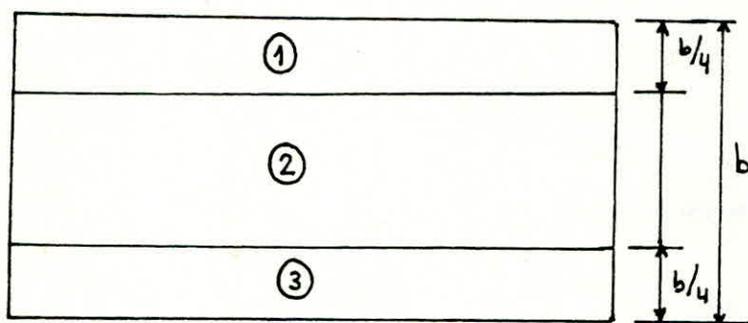


.../...

Dans ce cas, si le panneau est instable, le raidisseur est placé au quart inférieur de la hauteur du panneau.



Notons que s'il arrive que le panneau n'est pas vérifié vis-à-vis du voilement dans les 2 cas, deux raidisseurs sont disposés, l'un au quart supérieur et l'autre au quart inférieur de la hauteur du panneau et la vérification portera alors sur 3 panneaux élémentaires.



Dans tous les cas, si après la disposition des raidisseurs, la condition de non voilement n'est pas vérifiée, on augmente automatiquement l'épaisseur de l'âme pour limiter l'élancement $\frac{b}{t}$.

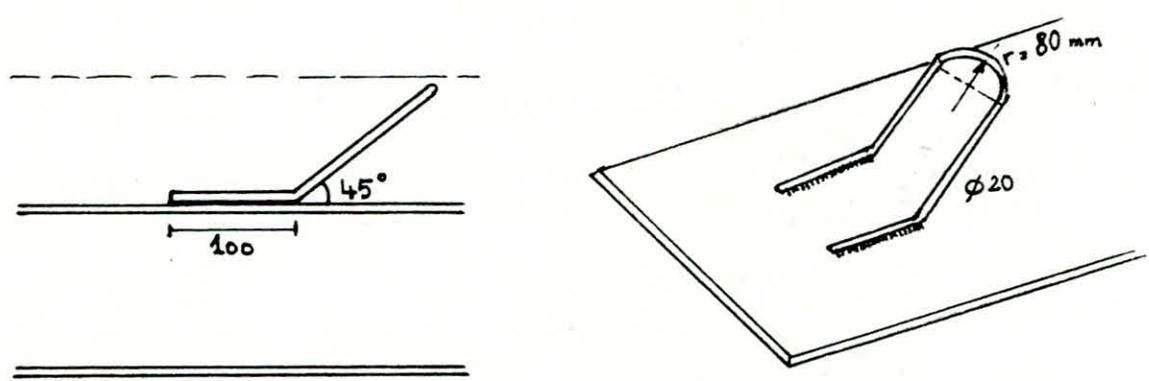
ETUDE DES CONNECTEURS

8-1 ETUDE DES CONNECTEURS

Les connecteurs doivent empêcher le glissement relatif des deux matériaux dans le sens horizontal, d'une part, et le soulèvement du béton par rapport à l'acier, d'autre part, ils doivent jouer ce double rôle , même dans le cas des zones où le béton serait tendu.

Pour équilibrer ces efforts, de glissement, et de soulèvement, nous disposerons des connecteurs en arceaux soudés sur l'ossature métallique à la semelle supérieure et noyés dans le béton du hourdis.

Les connecteurs sont constitués par des boucles en FeE 24 ϕ 20 mm, inclinées à 45° par rapport au plan de membrure supérieure de la poutre.



Le rayon de courbure de la boucle est limité inférieurement par la condition de non-écrasement du béton à l'intérieur de la boucle.

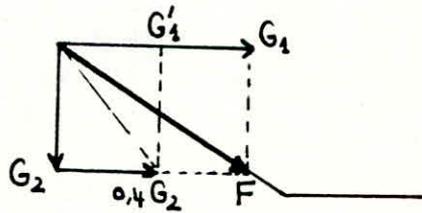
$$r \geq 0,1 \phi \frac{\sigma_a}{\sigma_{bo}} \left(1 + \frac{\phi}{d}\right) \nu \quad (\nu = 1)$$

Une fois cette condition satisfaite, le connecteur peut reprendre dans son plan un effort maximum F tel que :

$$F = 2 \cdot \frac{\pi \phi^2}{4} \cdot \bar{\sigma}_a$$

avec $\bar{\sigma}_a$: la contrainte admissible de l'acier constituant le connecteur.

En prenant la composante horizontale de cet effort et en tenant compte du frottement acier-béton ($f=0,4$)



On montre que le connecteur peut équilibrer un effort de glissement :

$$G_a = G_1 + G_1'$$

$$= G_1 + 0,4 G_2$$

$$G_a = \frac{\sqrt{2}}{2} (1 + 0,4) F \quad (\text{kg}).$$

8-2 EFFET DU RETRAIT :

Le béton est soumis à de fortes tractions dues au retrait, aux zones d'extrémité.

Cet effort de traction R , est calculé en supposant le béton tendu à 30 kg/cm.

La section de béton S à prendre en compte est ici la section participante maximale le long de la travée pour la poutre considérée.

D'où l'effort pondéré : $R = S \cdot 30 \cdot 1,32$ (kg)

Cet effort est concentré aux abouts, cependant on admet qu'il est réparti sur une zone de longueur égale au $1/6$ de la portée de la poutre (L).

Donc le glissement unitaire dû au retrait, vaut :

$$G_{rt} = \frac{R}{L/6}$$

Principe de vérification :

Cette vérification est basée sur la méthode des "raidisseurs rigides" qui suppose que chaque panneau est bordé de 4 lignes nodales, indéformables.

Dans le cas où ces lignes sont constituées par les semelles de la poutre et les montants d'entretoise, on dit que c'est un "panneau d'ensemble".

Par contre, si le panneau est bordé de raidisseurs rigides, (verticaux ou horizontaux), alors c'est un panneau "élémentaire".

La stabilité de chacun de ces panneaux, supposés simplement appuyés sur leurs bords, sera justifié de la même manière.

Soient σ et σ_t , les valeurs algébriques des contraintes normales de compression et de traction, évaluées dans la section médiane du panneau considéré et τ la contrainte de cisaillement calculée pour la même section.

On doit vérifier la condition suivante :

$$\left(S_{\sigma} \cdot \frac{\sigma}{\sigma_k} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_k} \right)^2 \leq 1,8$$

avec :

- $S_{\sigma} = 1,8$ si $\Psi = 1$
- $S_{\sigma} = 1,4 + 0,4\Psi$ si $-1 \leq \Psi \leq 1$
- $S_{\sigma} = 1$ si $\Psi < -1$
- $\Psi = \frac{\sigma_t}{\sigma}$

.../...

Il est compté négativement, puisqu'il est induit par une traction.

8-3 REPARTITION DES CONNECTEURS :

On divisera la portée en zones d'égle repartition à condition que le total des efforts agissant sur chaque zone reste inférieur au total des possibilités des connecteurs, la longueur de chaque zone devra toutefois rester inférieure à $\frac{1}{6}$ de la portée si celle-ci est inférieure à 36 m, et à 6 m dans le cas contraire.

On calcule, pour chaque section, l'effort de glissement sous :

- Charges permanentes après prise du béton, (ccp) avec (n=18)
- La dénivellation retour
- Surcharges d'exploitation, avec (n=6)

Tel que :
$$G = \frac{T \cdot Ms}{I}$$

T : effort tranchant dans la section.

Ms: moment statique du béton mixte.

I : moment d'inertie de la section mixte.

On a les combinaisons suivantes :

- a) $G_{ccp} + G_{retour} + G_s + G_{rp}$
- b) $G_{ccp} + G_{retour} + G_{rt}$
- c) $G_{ccp} + G_{retour} + G_s + G_{rt}$

Avec G_{rp} : glissement du retrait partiel ($= 1,5 \cdot 10^{-4}$)

G_{retour} : glissement de la dénivellation retour.

On prend pour chaque section, ainsi que pour chaque zone, les combinaisons les plus défavorables, prises avec leur signe algébrique.

.../...

Notons que la disposition des connecteurs, est liée avec ce signe.

On appelle G_i le glissement dans la zone i , le nombre de connecteurs à disposer sur chaque zone, est donné par :

$$N = \frac{G_i}{G_a} \cdot \quad (\text{par mètre lineaire})$$

Si G_i est positif \longrightarrow connecteur disposé 

Si G_i est négatif \longrightarrow connecteur disposé 

On en deduit l'espacement des connecteurs :

$$e = 100 \cdot \frac{G_a}{G_i}$$

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

ANALYSE INFORMATIQUE

ORGANISATION DU PROGRAMME

Le programme est divisé en plusieurs sous-programmes (plus de 80). Cette façon de procéder est très avantageuse ; l'élaboration du listing serait impossible sans cette subdivision.

De plus, en procédant ainsi, on allège énormément le programme général et sa lecture, ou éventuellement sa modification deviennent très aisées.

D'autre part, cela nous a permis d'utiliser plusieurs sous-programmes élaborés antérieurement à cette étude ; d'ailleurs c'est dans cette optique que notre travail a été mené.

Ainsi, les sous-programmes, qui calculent les efforts sous les différents cas de charges, peuvent être injectés dans des programmes éventuels des ponts hyperstatiques autres que les ponts à 3 travées qui font l'objet de notre étude.

Dans ce qui suit, on trouvera un sommaire aperçu sur les plus importants sous-programmes utilisés.

SOUS-PROGRAMMES :

- Point :

Ce sous-programme calcule le nombre de sections de calcul, l'espacement des entretoises dans chaque travée et le nombre de poutres à calculer.

- Poutre continue :

Cette appellation englobe tous les sous-programmes qui calculent les moments et les efforts tranchants dans une section quelconque d'une poutre continue à N travées sous l'effet d'un système de charge quelconque.

.../...

- Ligne d'influence :

Ce sous-programme calcule la ligne d'influence des moments et des efforts tranchants (toujours pour une poutre à N travées), et donne pour chaque travée la valeur et l'abscisse des maximums positifs et négatifs de la ligne d'influence ainsi que les zones où le signe est constant. Toutes ces données sont passées aux sous-programmes qui calculent les efforts.

- Permanent :

Ce sous-programme calcule les moments dûs aux charges permanentes.

- A, Bc, Bt, M, D :

Ces sous-programmes calculent les moments dûs aux surcharges civiles, militaires et exceptionnelles.

- Répartition :

Ce sous-programme répartit les efforts suivant la méthode de Mr COURBON. Il fait appel au sous-programme "Excentricités" qui calcule pour chaque type de charges la distance de la résultante au plan axial de symétrie du pont.

- Pondération :

Ce sous-programme pondère les moments fléchissants en tenant compte du biais éventuel de l'ouvrage.

- Combinaison :

Après combinaison des cas de charges, ce sous-programme donne les valeurs extrêmes des moments à prendre en compte dans le calcul.

- Table 1 :

Ce sous-programme calcule la largeur du hourdis participant à la flexion des poutres dans le cas du calcul des efforts (moments dûs à la dénivellation, d'appuis, retrait, etc...)

- Table 2 :

Ce sous-programme donne la largeur du hourdis lors du calcul des contraintes.

- Prédimensionnement :

A partir des moments aux appuis, ce sous-programme calcule une inertie approchée du P.R.S. Cette inertie est nécessaire pour le calcul de la dénivellation.

- Dénivellation :

Ce sous-programme calcule la dénivellation d'appui nécessaire pour la précontrainte du béton.

- Retrait :

Ce sous-programme calcule les effets dus au retrait et à la différence de température ainsi que les contraintes qu'ils amènent à la section mixte.

- Contraintes :

Ce sous-programme calcule les contraintes dans la section considérée, à partir des valeurs extrêmes des moments. Il fait appel à d'autres sous-programmes, entre autres le sous-programme " Test ". Celui-ci vérifie les contraintes ainsi calculées par rapport aux contraintes admissibles. Si une des contraintes n'est pas vérifiée, il augmente l'épaisseur de la semelle appropriée de 2 mm sans toutefois dépasser l'épaisseur de 90 mm. Dans le cas où l'épaisseur nécessaire dépasserait ce seuil, on augmente la largeur de 50 mm.

- Inertie mixte :

Ce sous-programme calcule les caractéristiques géométriques de la section pour un coefficient d'équivalence donné.

- Mise en tôle :

Ce sous-programme procède au choix des tôles composant le P.R.S. à partir de la section la plus sollicitée de la poutre.

- Homogénéisation :

Ce sous-programme effectue la répartition longitudinale des tôles choisies par le sous-programme " mise en tôle ".

- Tranchant :

Sous cette appellation, on réunit tous les sous-programmes qui calculent l'effort tranchant total dans une section courante du pont sous les différents cas de charges.

- Biais :

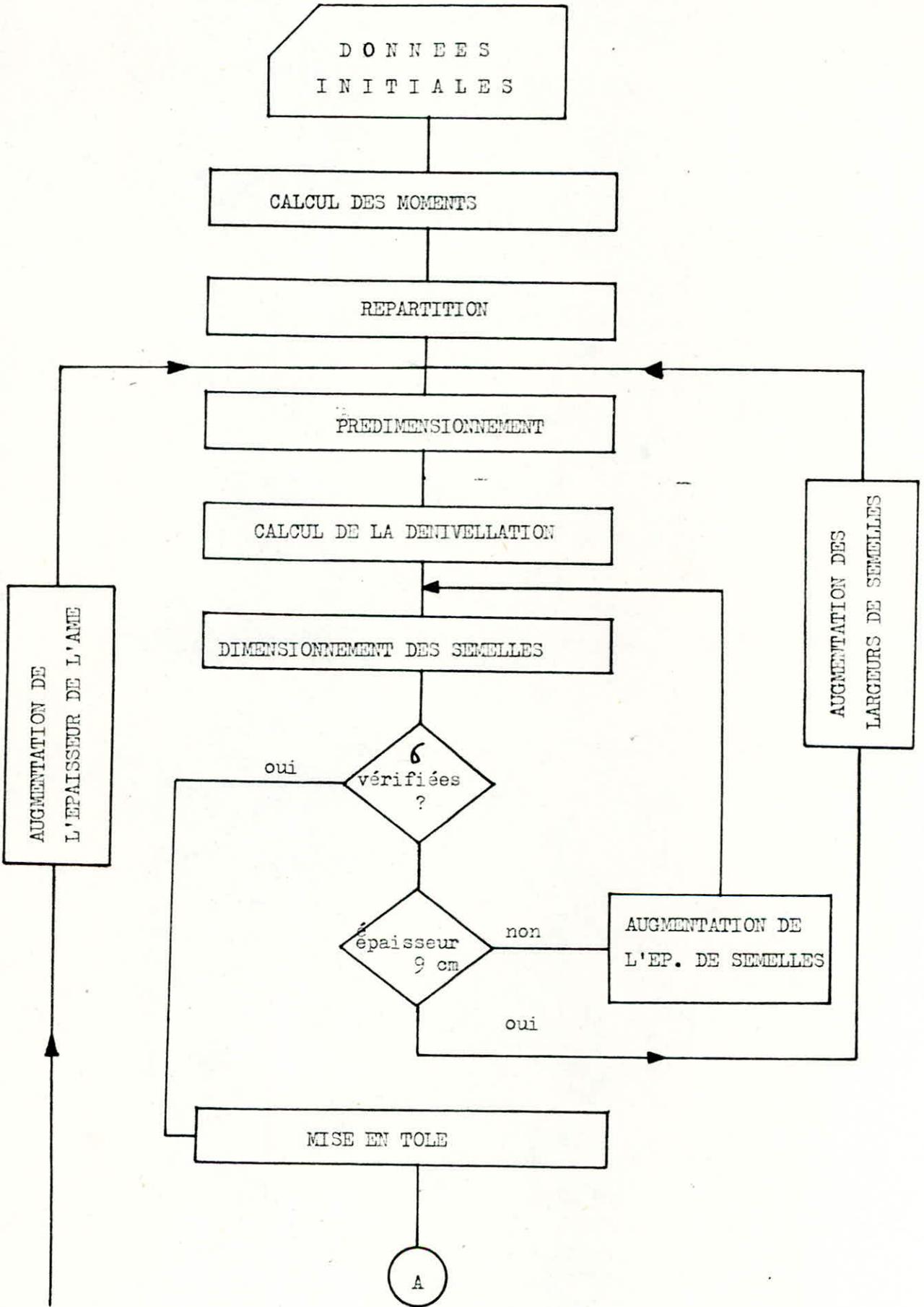
Ce sous-programme majore l'effort tranchant dans le cas d'un pont biais.

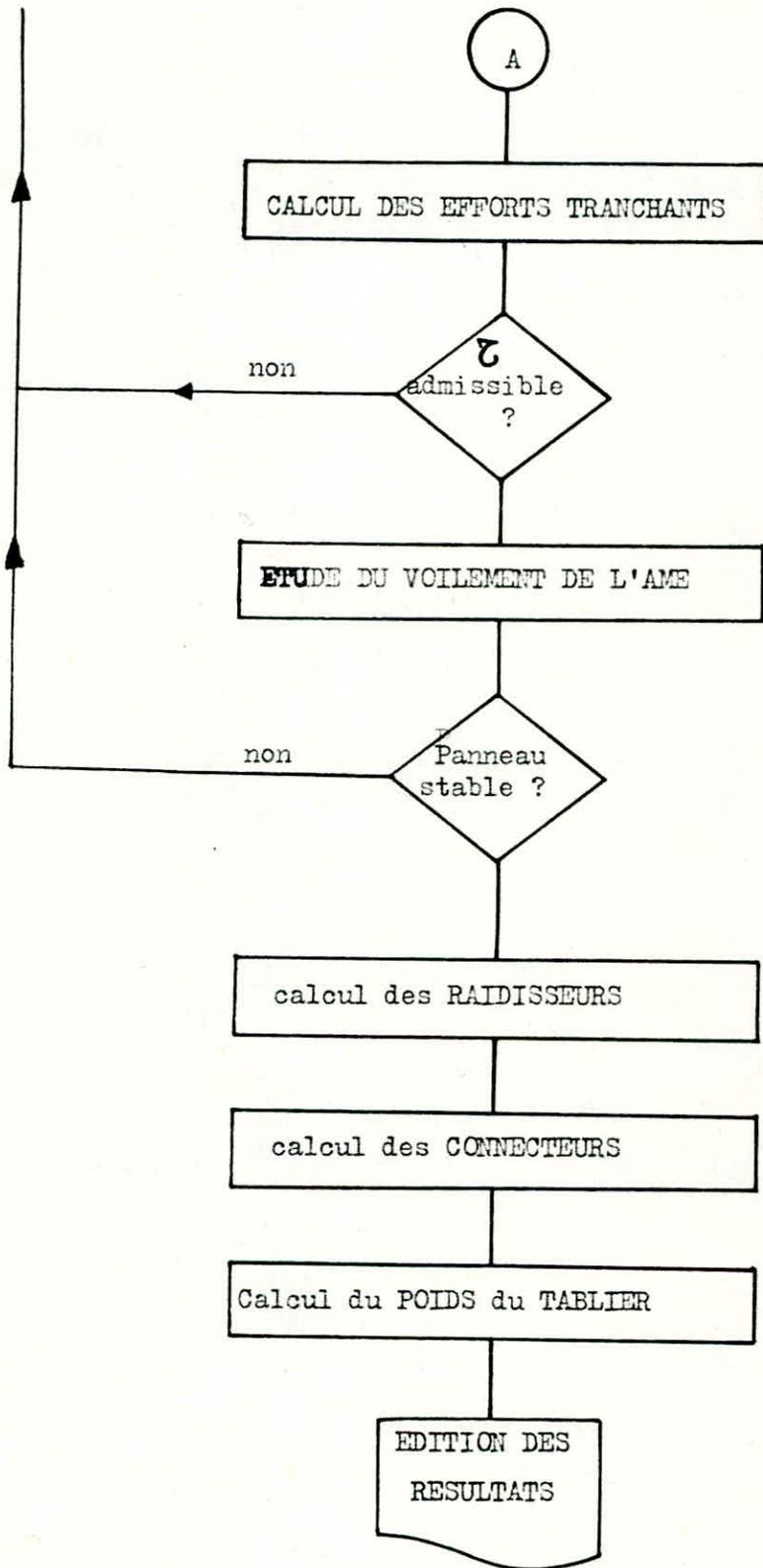
- Tranchant appui :

Cette appellation englobe tous les sous-programmes qui calculent les efforts tranchants répartis, pondérés et majorés pour les sections d'appuis.

- Connecteurs :

Ce sous-programme calcule le nombre de connecteurs et leur répartition à partir du glissement dû aux surcharges, aux charges permanentes, au retrait et à la dilatation.





. FICHIERS :

Le mini-ordinateur utilisé est orienté sur la gestion. Il offre un espace mémoire très limité. Pour pallier à cet inconvénient, nous avons utilisé des fichiers pour stocker les résultats au lieu des tableaux qui occupent un espace mémoire considérable.

Dans ce qui suit, nous décrivons les fichiers utilisés :

. Fichier 1 :

Résultats de la ligne d'influencé.

. Fichier 2 :

Moments positifs non répartis pour tous les cas de charges.

. Fichier 3 :

Moments négatifs non répartis pour tous les cas de charges.

. Fichier 4 :

Moments positifs répartis, pondérés et majorés pour chaque poutre.

. Fichier 5 :

Moments négatifs répartis, pondérés et majorés pour chaque poutre.

. Fichier 6 :

Moments positifs finals après combinaison.

. Fichier 7 :

Moments négatifs finals après combinaison.

. Fichier 8 :

Dimensions des semelles et leurs contraintes maximales lors du prédimensionnement pour chacune des poutres.

. Fichier 9 :

Dimension des semelles et contraintes extrêmes en chaque section pour chacune des poutres.

. Fichier 10 :

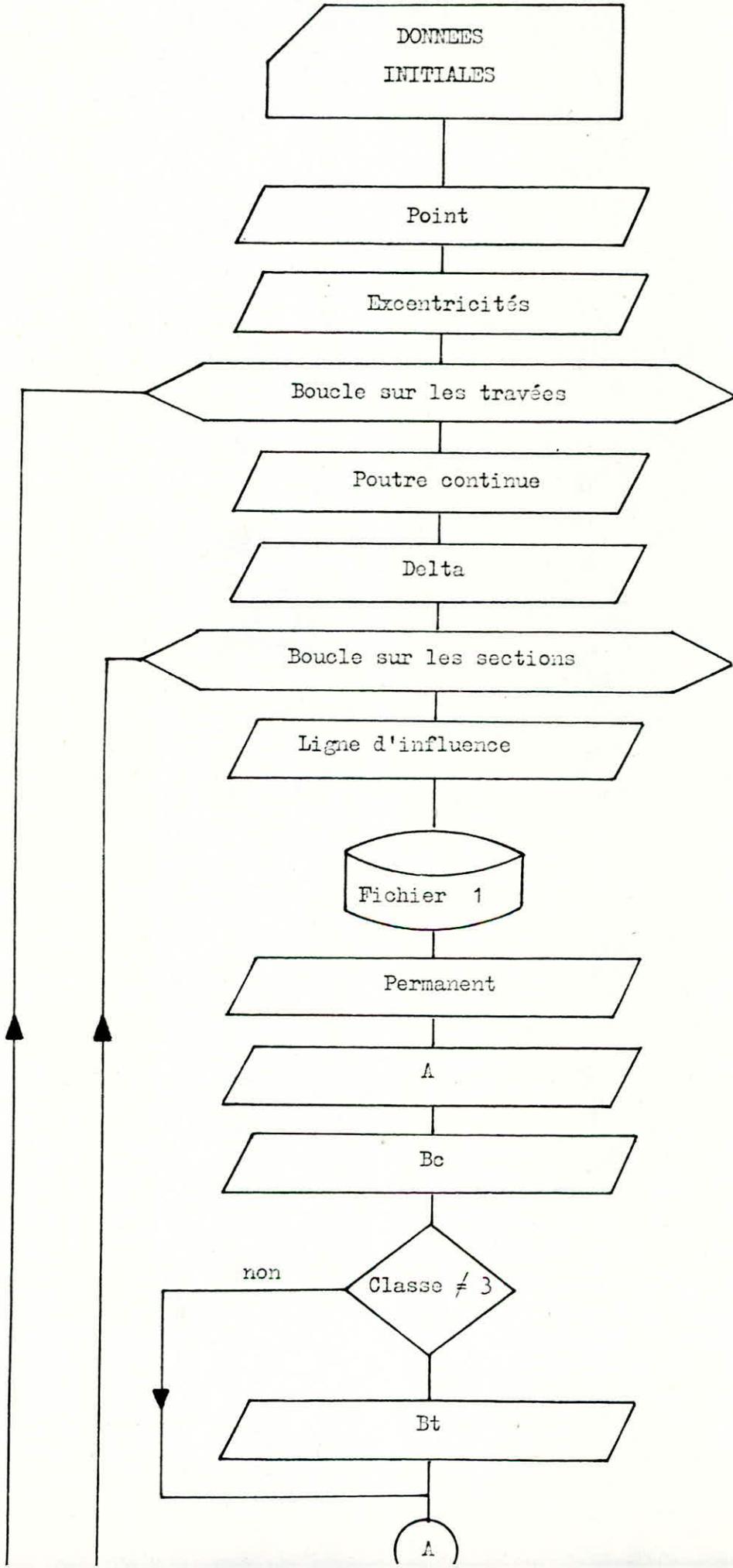
Epaisseur des tôles choisies pour chaque poutre et contraintes réelles dans toutes les sections.

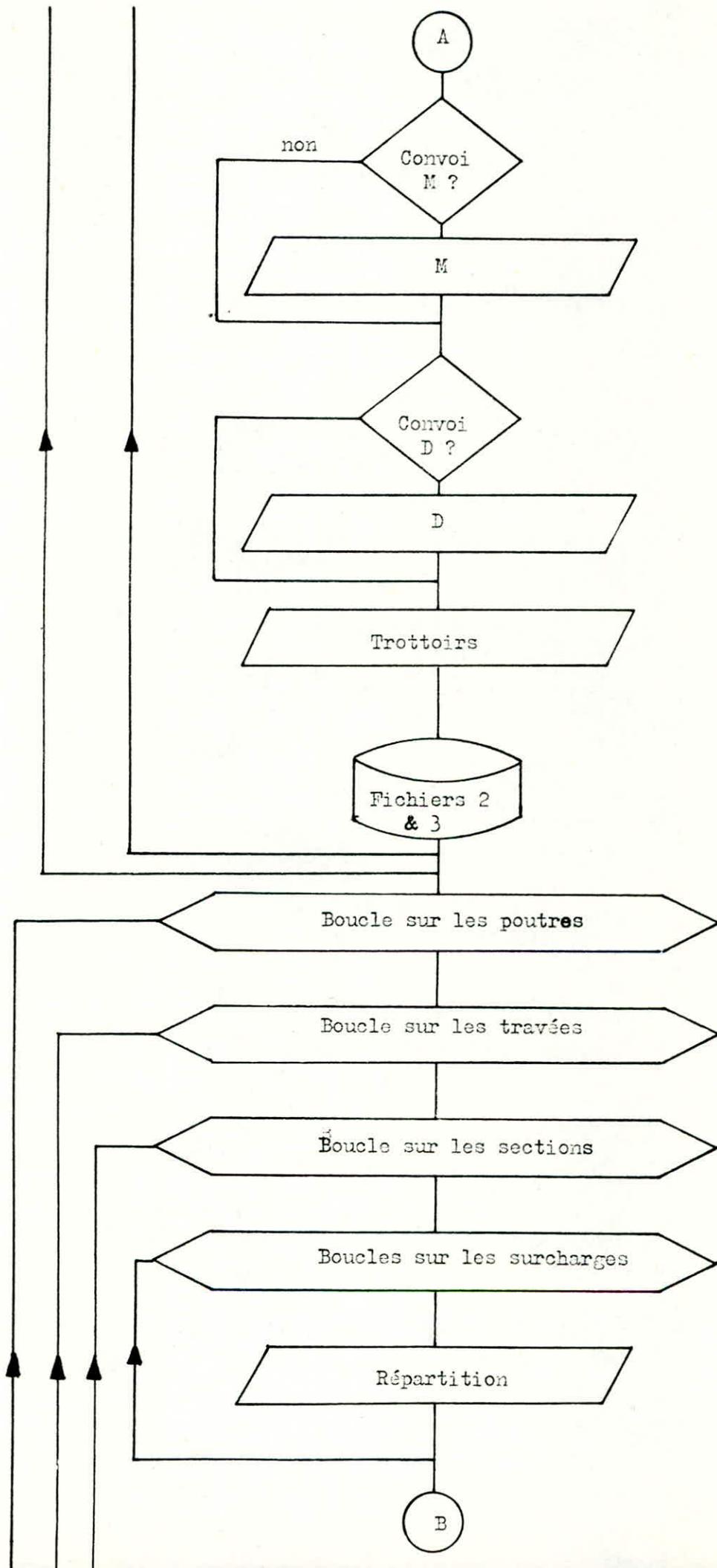
. Fichier 11 :

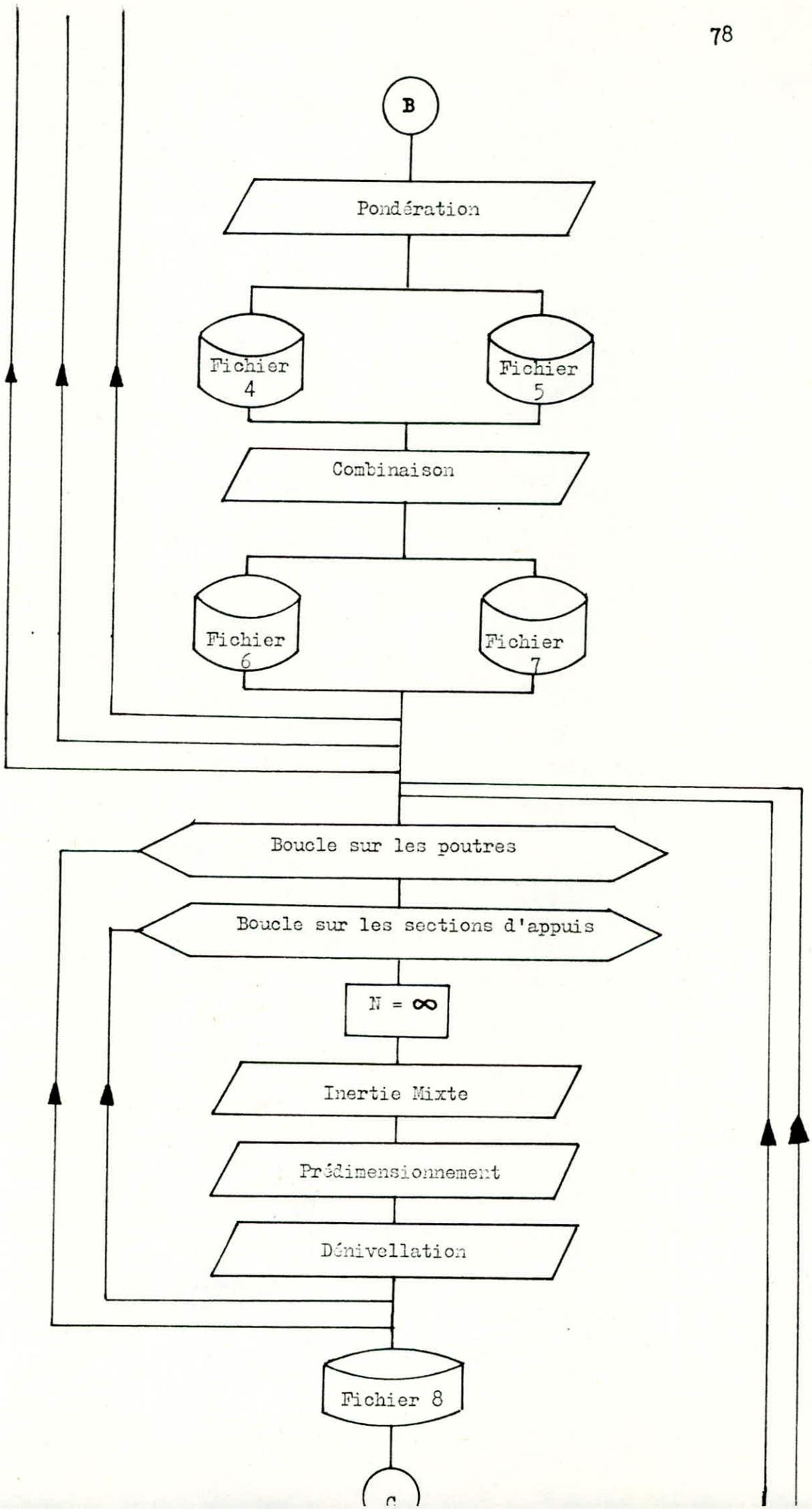
Efforts tranchants répartis, pondérés et majorés pour chaque cas de charges.

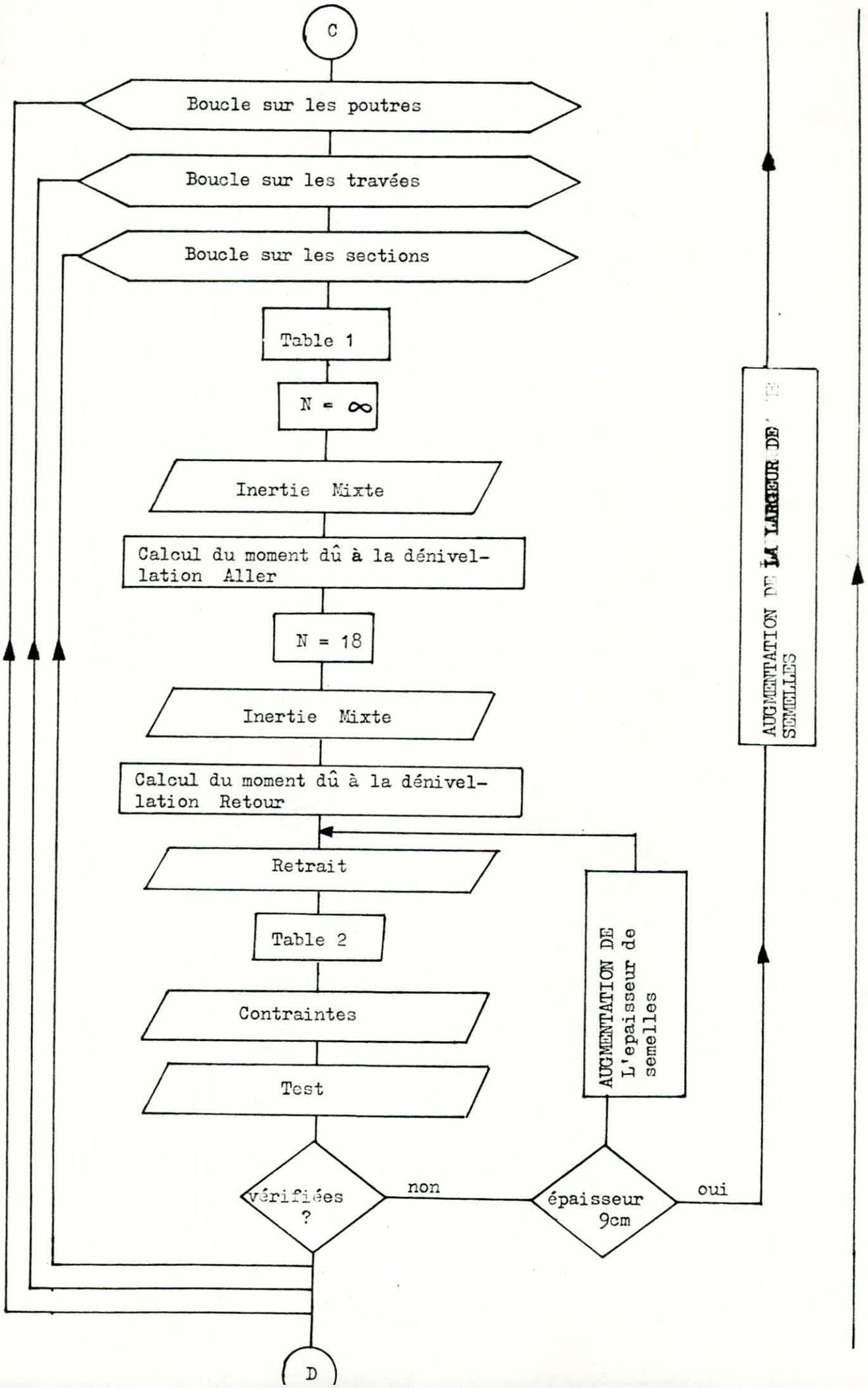
. Fichier 12 :

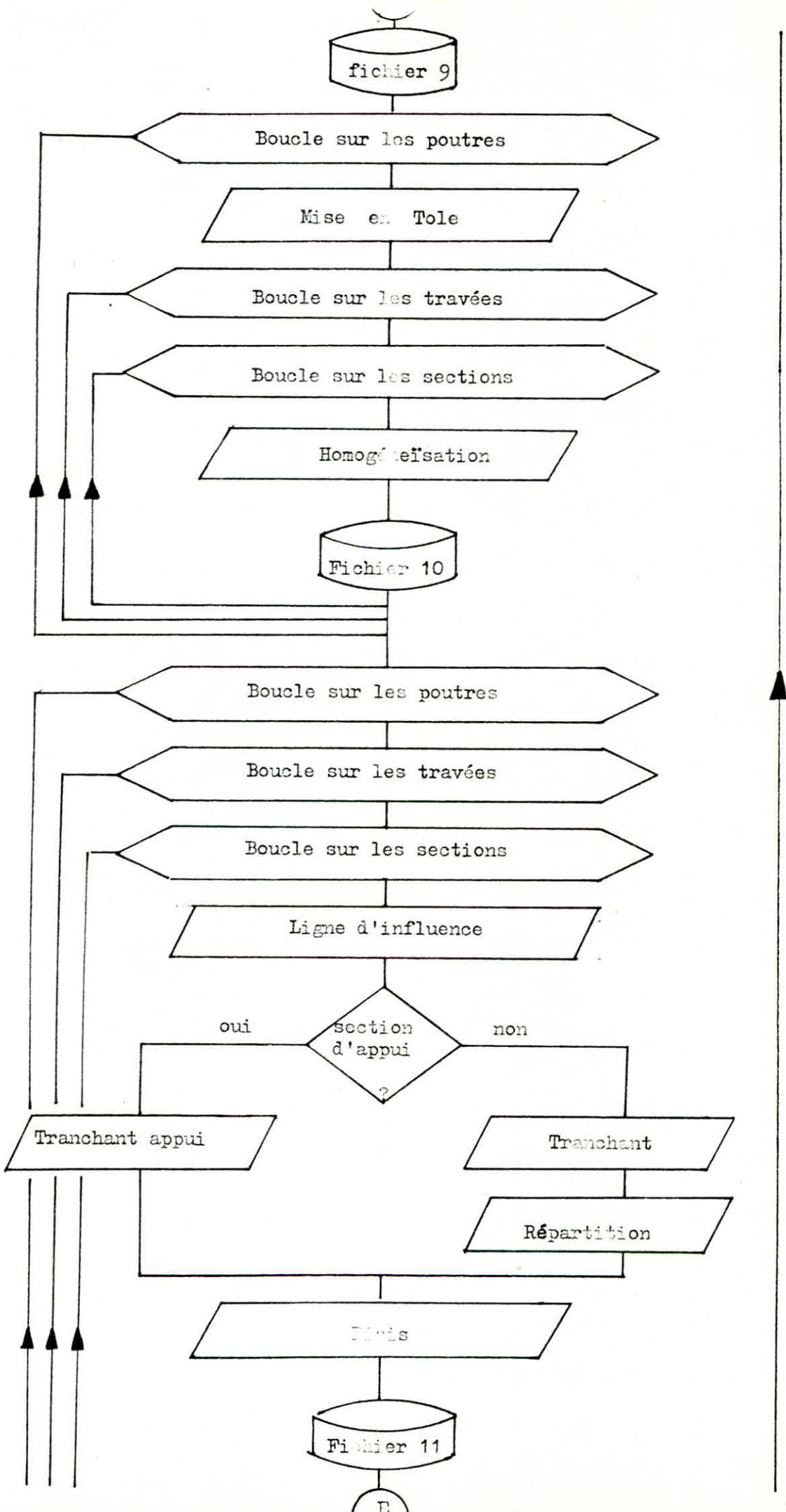
Efforts tranchants finals après combinaisons des surcharges, et efforts tranchants dûs à la dénivellation aller, dénivellation retour et le retrait, ainsi que les contraintes de cisaillement pour chaque section et chacune des poutres.











fichier 9

Boucle sur les poutres

Mise en Toile

Boucle sur les travées

Boucle sur les sections

Homogénéisation

Fichier 10

Boucle sur les poutres

Boucle sur les travées

Boucle sur les sections

Ligne d'influence

section d'appui

oui

non

Tranchant appui

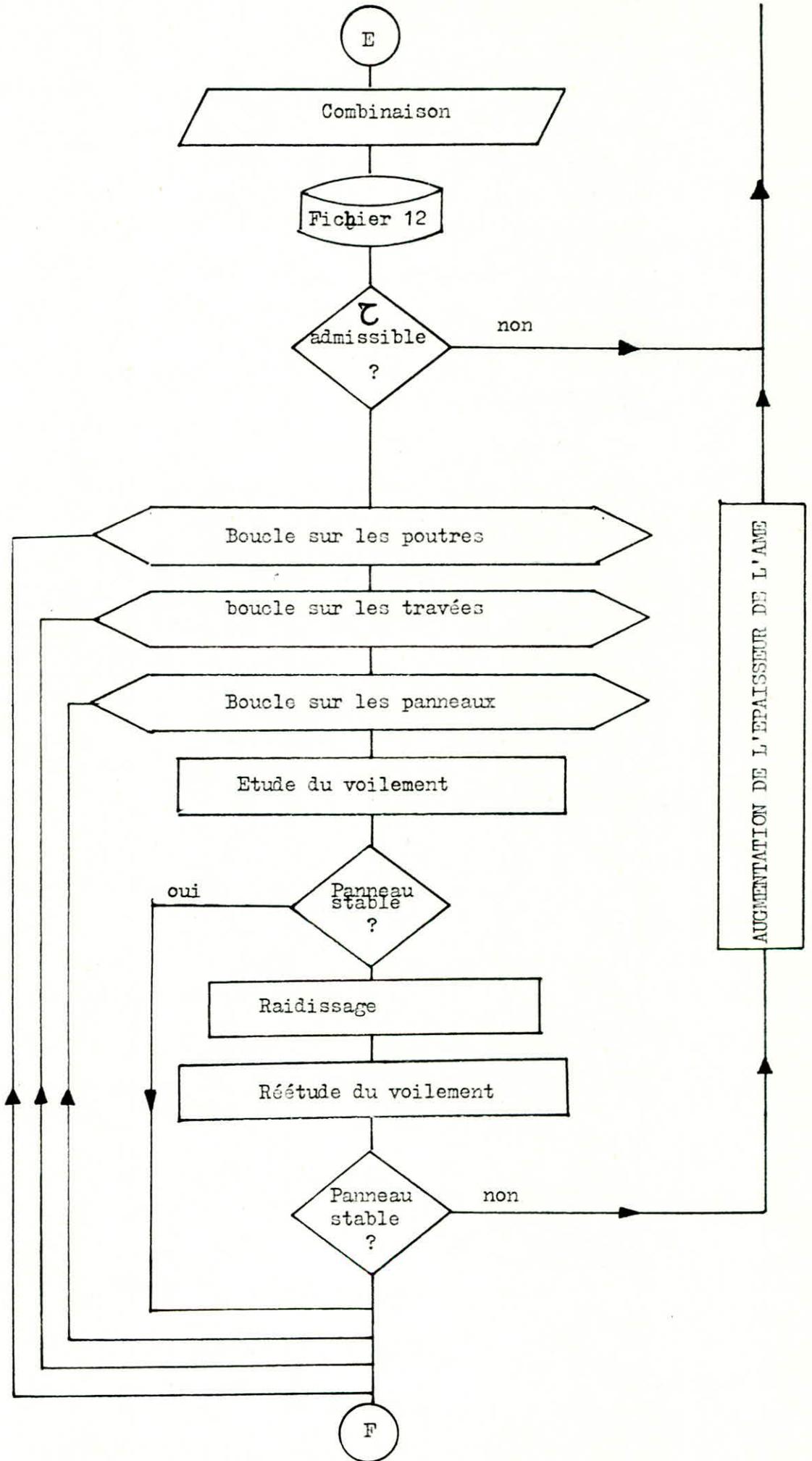
Tranchant

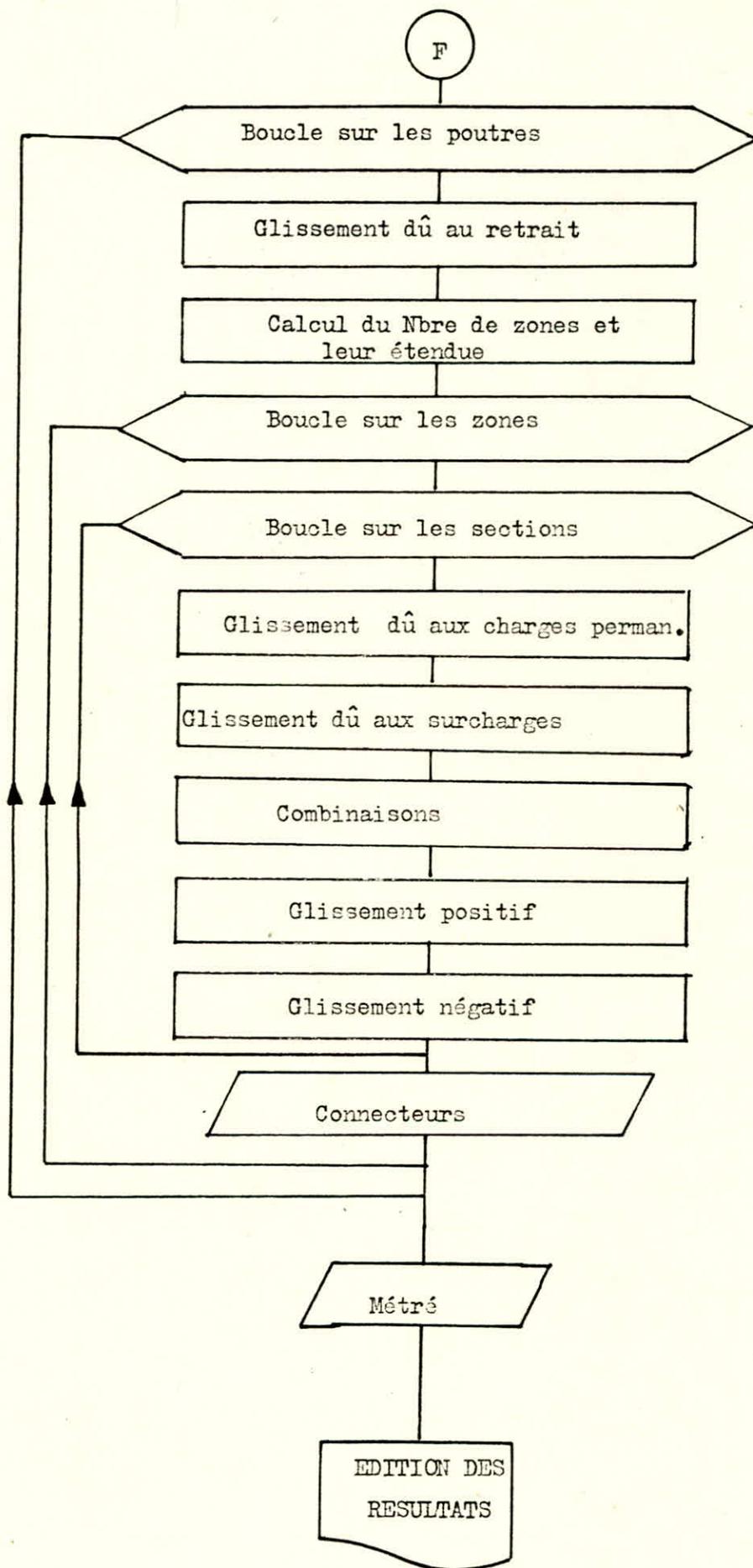
Répartition

Pis

Fichier 11

E





ANNEXE

* Description de l'Ouvrage *

3 TRAVÉES D'OUVERTURE GÉNÉRALE : 70 m. Travées de rive = 21 m.
 Travées centrale = 35 m.

PROFIL EN TRAVERS : Longueur de la chaussée : 7 m.
 2 Trottoirs de largeur utile : 1,1 m.
 Longueur hors-tout : 9,7 m.

CLASSE DU PONT : 1

BASIS DES APPUIS : 90 de ea

COUPE TRANSVERSALE : Nombre de poutres : 2
 Entraxe des poutres : 0,5 m.
 Hauteur d'axe : 1,50 cm.
 Hauteur du renfort : 6 cm.
 Epaisseur de la dalle : 25 cm.

ENTRETOISES : Travées de rive : Nombre : 2
 Espacement : 7,000 m.
 Travées centrale : Nombre : 4
 Espacement : 7,000 m.

CARACTERISTIQUES DES MATÉRIAUX : Limites élastiques des aciers
 semelle supérieure : 2400 kg/cm²
 semelle inférieure : 2400 kg/cm²
 armature : 2400 kg/cm²
 Contrainte admissible du béton : 137 kg/cm²
 Coefficient de retrait : 0,0045

SURCHARGES PRISES EN CONSIDÉRATION : Surcharge A1
 Convois Bc
 Tandems Bt
 Convois militaires Me et Mv
 Convoi exceptionnel D

NOTES : Les poutres sont n° notées à partir de la rive

Unités :

Abscisses des sections : m
 Efforts tranchants : t
 Moments fléchissants : t.m
 Dimensions des semelles : cm
 Contraintes : kg/cm²

* Procéde de réalisation *

Etape : Mise en place du tablier métallique
Etape : Dénivellation relative vers le haut des appuis intermédiaires
Etape : Coffrage de la dalle et mise en oeuvre de celle-ci
Etape : Dénivellation retour jusqu'à position initiale du tablier mixte
Etape : Mise en place des superstructures
Etape : Mise en service de l'ouvrage

LA DENIVELLATIO EST DE : 430 cm

Moments Positifs Non Repartis *

POINT ASSO.	CH. PERMANENTE			URCHARGES A				CONVOIS BC				TANDEK ET		CONVOIS MILITAIRES				EXCEPI D	TROTTOIR	
	Hv	Be	Ap.Be	1vo	2vo	3vo	4vo	1f	2f1	3f1	4f1	1ta	2ta	Mc80	Mc120	Mc80	Mc120		1	2
1	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	970	52	5	36	73	0	0	36	66	0	0	26	51	35	52	53	77	100	1	3
3	1.750	90	9	69	136	0	0	67	122	0	0	48	96	66	98	101	148	191	3	5
4	2.625	131	13	99	197	0	0	92	168	0	0	68	136	93	138	143	210	272	4	7
5	3.500	160	16	124	248	0	0	112	205	0	0	85	171	117	173	179	264	342	5	9
6	4.375	180	18	147	292	0	0	127	234	0	0	106	200	136	202	212	311	403	5	11
7	5.250	193	19	165	329	0	0	141	259	0	0	112	203	152	226	238	350	455	6	12
8	6.125	199	20	180	359	0	0	152	278	0	0	121	242	165	244	260	382	496	7	14
9	7.000	196	19	191	382	0	0	161	294	0	0	127	255	174	257	276	407	528	7	14
10	7.875	186	18	199	398	0	0	165	303	0	0	132	263	180	266	280	424	550	8	17
11	8.750	168	17	204	407	0	0	165	303	0	0	134	267	182	269	294	434	562	8	16
12	9.625	142	14	205	409	0	0	161	296	0	0	133	266	192	268	297	439	564	8	16
13	10.500	109	11	202	404	0	0	154	282	0	0	132	264	180	265	295	434	557	8	16
14	11.375	68	7	196	391	0	0	156	286	0	0	129	257	175	259	287	423	540	8	15
15	12.250	19	2	186	372	0	0	153	281	0	0	123	246	168	248	277	408	513	7	15
16	13.125	-38	-4	173	345	0	0	145	267	0	0	116	232	158	234	262	386	477	7	14
17	14.000	-102	-10	156	312	0	0	133	244	0	0	107	214	146	216	244	358	430	6	13
18	14.875	-174	-17	136	271	0	0	118	216	0	0	96	193	132	194	222	328	374	6	11
19	15.750	-254	-23	112	223	0	0	100	183	0	0	84	169	115	170	196	286	309	5	10
20	16.625	-341	-34	84	169	0	0	84	154	0	0	71	142	97	142	168	243	234	4	8
21	17.500	-436	-43	59	119	0	0	69	126	0	0	57	113	77	112	137	197	149	3	6
22	18.375	-539	-53	47	80	0	0	53	97	0	0	41	83	56	81	104	147	79	3	4
23	19.250	-649	-64	37	74	0	0	35	65	0	0	25	50	34	48	79	95	83	1	3
24	20.125	-768	-75	33	65	0	0	25	48	0	0	16	32	22	33	35	54	67	1	2

POINT	ABSC	CH. PERMANENTE			URCHARGES A				CONVOIS BC				TANDEM BT		CONVOIS MILITAIRES				EXCEPT D	TROTTOIRS	
		Rv.Be	Ap.Be	1vo	2vo	3vo	4vo	1f1	2f1	3f1	4f1	1ta	2ta	Me80	Me120	Mc80	Mc120	1		2	
25	21.000	-894	-89	33	66	0	0	20	48	0	0	17	33	23	34	37	56	91	1	2	
26	21.875	-743	-74	30	60	0	0	23	43	0	0	15	30	20	31	33	50	81	1	2	
27	22.750	-600	-60	30	59	0	0	21	39	0	0	15	30	19	27	44	53	72	1	2	
28	23.625	-465	-46	32	64	0	0	31	58	0	0	27	55	36	50	68	91	62	1	3	
29	24.500	-338	-34	40	81	0	0	44	81	0	0	41	81	55	78	93	129	53	2	3	
30	25.375	-218	-22	59	119	0	0	57	104	0	0	54	108	73	106	118	167	87	3	4	
31	26.250	-107	-11	79	158	0	0	69	127	0	0	67	134	91	133	144	205	160	4	5	
32	27.125	-2	-0	100	201	0	0	82	150	0	0	80	159	108	159	169	243	250	4	7	
33	28.000	94	9	120	241	0	0	106	195	0	0	92	184	125	184	192	279	337	5	9	
34	28.875	183	18	136	271	0	0	130	279	0	0	104	207	141	208	214	313	418	6	11	
35	29.750	264	26	146	292	0	0	152	279	0	0	115	229	156	231	236	347	493	7	14	
36	30.625	337	33	172	343	0	0	173	316	0	0	125	249	170	252	259	382	562	8	16	
37	31.500	403	40	194	388	0	0	191	350	0	0	134	268	193	271	280	413	624	9	18	
38	32.375	461	46	214	429	0	0	208	378	0	0	142	285	194	288	299	442	679	10	20	
39	33.250	511	51	232	463	0	0	220	403	0	0	150	299	204	303	315	466	728	11	22	
40	34.125	553	55	246	492	0	0	231	423	0	0	156	312	213	315	329	488	768	12	23	
41	35.000	588	58	258	516	0	0	239	439	0	0	161	322	220	326	341	505	802	12	24	
42	35.875	615	61	268	535	0	0	246	450	0	0	165	330	225	334	350	520	828	13	25	
43	36.750	634	63	274	549	0	0	249	457	0	0	168	335	229	339	357	530	847	13	26	
44	37.625	646	64	278	557	0	0	250	458	0	0	169	336	231	342	361	536	859	13	26	
45	38.500	650	64	280	559	0	0	249	456	0	0	169	339	232	343	362	538	862	13	26	

Moments Negatifs Non Repartis *

POINT ABSL	CH.Permanente			URCHARGES H			CONVOIS BC				TANDEM BT		CONVOIS MILITAIRES				EXCEPT	TROTTOIRS		
	Hv.Ba	Ap.Ba	1vo	2vo	3vo	4vo	1fi	2fi	3fi	4fi	1ta	2ta	Me80	Me120	Mc80	Mc120	D	1	2	
1	0,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1,875	52	5	-11	-21	0	0	-9	-16	0	0	-5	-9	-6	-9	-10	-15	-30	-1	-1
3	1,750	95	9	-21	-42	0	0	-18	-32	0	0	-9	-19	-12	-19	-20	-31	-59	-10	-2
4	2,625	131	13	-32	-64	0	0	-26	-48	0	0	-14	-27	-19	-28	-30	-46	-89	-12	-3
5	3,500	160	16	-42	-85	0	0	-35	-64	0	0	-18	-36	-27	-37	-40	-61	-119	-12	-4
6	4,375	180	18	-53	-106	0	0	-44	-81	0	0	-23	-45	-31	-46	-50	-77	-149	-17	-5
7	5,250	193	19	-64	-127	0	0	-53	-97	0	0	-27	-54	-37	-56	-61	-92	-178	-19	-6
8	6,125	199	20	-74	-148	0	0	-62	-113	0	0	-32	-63	-43	-65	-71	-107	-208	-19	-7
9	7,000	196	19	-85	-169	0	0	-70	-129	0	0	-36	-72	-50	-74	-81	-123	-238	-19	-8
10	7,875	186	18	-95	-191	0	0	-79	-145	0	0	-41	-81	-56	-83	-91	-139	-268	-19	-9
11	8,750	168	17	-106	-212	0	0	-88	-161	0	0	-45	-90	-62	-93	-101	-153	-297	-19	-10
12	9,625	142	14	-116	-233	0	0	-97	-177	0	0	-50	-99	-68	-102	-111	-169	-327	-19	-11
13	10,500	109	11	-127	-254	0	0	-105	-193	0	0	-54	-108	-74	-111	-121	-184	-357	-19	-12
14	11,375	68	7	-138	-275	0	0	-114	-210	0	0	-59	-117	-81	-121	-131	-200	-387	-19	-13
15	12,250	19	2	-148	-297	0	0	-123	-226	0	0	-63	-126	-87	-130	-141	-215	-416	-19	-14
16	13,125	-38	-4	-159	-318	0	0	-132	-242	0	0	-68	-135	-93	-139	-151	-230	-446	-19	-15
17	14,000	-102	-10	-169	-339	0	0	-141	-258	0	0	-72	-144	-99	-148	-162	-246	-476	-19	-16
18	14,875	-174	-17	-180	-360	0	0	-149	-274	0	0	-77	-153	-105	-158	-172	-261	-506	-19	-17
19	15,750	-254	-25	-191	-381	0	0	-158	-290	0	0	-81	-162	-112	-167	-182	-276	-535	-19	-18
20	16,625	-341	-34	-201	-402	0	0	-167	-306	0	0	-86	-171	-118	-176	-192	-291	-565	-19	-19
21	17,500	-438	-43	-212	-424	0	0	-176	-322	0	0	-90	-180	-124	-186	-202	-307	-595	-19	-20
22	18,375	-539	-53	-222	-445	0	0	-185	-338	0	0	-95	-189	-130	-195	-212	-322	-625	-19	-21
23	19,250	-649	-64	-233	-466	0	0	-193	-355	0	0	-99	-199	-136	-204	-222	-338	-654	-19	-22
24	20,125	-768	-76	-244	-487	0	0	-202	-371	0	0	-104	-208	-143	-213	-232	-353	-684	-19	-23

POINT	ABS0	CH. PERMANENTE			URCHARGES A			CONVOIS BC				TANDEM BT		CONVOIS MILITAIRES				EXCEPT TROTTOIRS		
		Av. Ee	Hp. Be	1vo	2vo	3vo	4vo	1f1	2f1	3f1	4f1	1ts	2ts	Me80	Me120	Mc80	Mc120	0	1	2
25	21.000	-894	-89	-255	509	0	0	-211	-387	0	0	-108	-217	-149	-223	-242	-368	-714	-16	-32
26	21.875	-747	-74	-217	433	0	0	-174	-319	0	0	-90	-181	-124	-186	-202	-307	-589	-13	-27
27	22.750	-600	-60	-182	365	0	0	-139	-254	0	0	-74	-148	-101	-152	-165	-250	-472	-11	-22
28	23.625	-465	-46	-153	305	0	0	-116	-212	0	0	-58	-116	-80	-119	-130	-197	-365	-9	-18
29	24.500	-338	-34	-125	250	0	0	-98	-179	0	0	-46	-93	-64	-95	-103	-155	-267	-7	-14
30	25.375	-218	-32	-102	204	0	0	-82	-150	0	0	-45	-89	-51	-91	-99	-149	-243	-6	-11
31	26.250	-107	-11	-85	170	0	0	-68	-124	0	0	-43	-86	-59	-88	-95	-144	-233	-4	-9
32	27.125	-2	-0	-82	163	0	0	-64	-118	0	0	-41	-82	-56	-84	-91	-138	-224	-4	-9
33	28.000	94	9	-78	156	0	0	-61	-113	0	0	-39	-79	-54	-81	-97	-146	-214	-3	-8
34	28.875	183	18	-75	149	0	0	-59	-108	0	0	-38	-75	-52	-77	-85	-128	-205	-3	-8
35	29.750	264	26	-71	142	0	0	-56	-103	0	0	-36	-72	-49	-73	-81	-123	-195	-3	-8
36	30.625	337	33	-68	135	0	0	-53	-98	0	0	-34	-68	-47	-70	-81	-123	-186	-3	-8
37	31.500	403	40	-64	128	0	0	-51	-93	0	0	-32	-65	-44	-66	-81	-120	-176	-3	-8
38	32.375	461	46	-61	121	0	0	-48	-88	0	0	-31	-61	-42	-63	-81	-123	-167	-3	-8
39	33.250	511	51	-57	115	0	0	-45	-83	0	0	-29	-58	-40	-59	-81	-123	-157	-3	-8
40	34.125	553	55	-54	108	0	0	-42	-78	0	0	-27	-54	-37	-56	-81	-123	-147	-3	-8
41	35.000	588	58	-50	101	0	0	-40	-73	0	0	-25	-51	-35	-52	-81	-123	-138	-3	-8
42	35.875	615	61	-49	99	0	0	-40	-72	0	0	-24	-47	-32	-48	-81	-123	-128	-3	-8
43	36.750	634	63	-49	99	0	0	-39	-72	0	0	-22	-44	-30	-46	-81	-123	-119	-3	-8
44	37.625	645	64	-49	99	0	0	-39	-72	0	0	-20	-40	-28	-41	-81	-123	-109	-3	-8
45	38.500	650	64	-49	99	0	0	-38	-72	0	0	-18	-37	-25	-38	-81	-123	-100	-3	-8

* Moments Positifs Repartis, Ponderes, Majores *

Route No. 1

POINT	HBSO	CH. PERMANENTE			URCHARGES A				CONVOIS BC				TANDEM BT		CONVOIS MILITAIRES				EXCEPT 0	TROTTOIRS	
		Hv.Bs	Ap.Bs	1vo	2vo	3vo	4vo	1fi	2fi	3fi	4fi	1ts	2ts	Me80	Me120	Mc80	Mc120	1		2	
1	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.875	34	3	48	50	0	0	60	83	0	0	41	56	43	60	64	66	66	5	2	
3	1.750	63	6	90	110	0	0	112	153	0	0	77	105	81	114	122	126	126	5	4	
4	2.625	87	9	129	157	0	0	154	211	0	0	108	148	115	161	173	208	179	7	6	
5	3.500	105	10	162	198	0	0	187	257	0	0	136	186	144	201	217	256	226	9	7	
6	4.375	119	12	191	234	0	0	213	293	0	0	159	217	168	235	256	349	266	11	9	
7	5.250	128	13	216	263	0	0	237	325	0	0	178	243	188	263	288	393	300	12	10	
8	6.125	131	13	235	288	0	0	254	349	0	0	192	263	203	284	314	429	328	13	11	
9	7.000	129	13	250	306	0	0	269	370	0	0	203	277	219	299	335	457	348	14	12	
10	7.875	123	12	261	319	0	0	277	380	0	0	210	287	221	309	348	476	363	15	12	
11	8.750	111	11	267	326	0	0	277	381	0	0	213	291	224	313	357	487	371	15	12	
12	9.625	94	9	268	327	0	0	270	372	0	0	212	290	224	311	360	491	373	16	13	
13	10.500	72	7	264	323	0	0	258	355	0	0	210	287	221	308	357	487	360	15	12	
14	11.375	45	4	256	313	0	0	261	359	0	0	204	280	216	301	348	475	356	15	12	
15	12.250	12	1	243	298	0	0	256	353	0	0	196	268	207	289	335	458	339	14	12	
16	13.125	-25	-2	226	276	0	0	243	335	0	0	185	253	195	272	318	433	314	14	11	
17	14.000	-67	-7	204	249	0	0	223	307	0	0	170	233	180	251	295	402	284	13	10	
18	14.875	-115	-11	177	217	0	0	197	271	0	0	153	210	162	226	268	364	247	11	9	
19	15.750	-167	-17	146	179	0	0	167	230	0	0	134	184	142	197	238	321	204	10	8	
20	16.625	-225	-22	110	135	0	0	141	193	0	0	113	155	119	165	203	273	154	8	6	
21	17.500	-288	-29	78	95	0	0	115	159	0	0	90	123	95	131	166	221	99	5	5	
22	18.375	-356	-35	61	75	0	0	88	121	0	0	66	90	69	94	126	165	52	4	3	
23	19.250	-429	-43	49	59	0	0	59	82	0	0	40	55	42	55	85	106	55	3	2	
24	20.125	-507	-50	43	52	0	0	42	57	0	0	25	35	27	38	43	60	57	2	2	

POINT ABSOL.	CH. PERMANENTE			URCHARGES A			CONVOIS BC			TANDEM ET		CONVOIS MILITAIRES				EXCEPT D	TROTTOIRS			
	Av. Be	Ap. Be	1vo	2vo	3vo	4vo	1fi	2fi	3fi	4fi	1ta	2ta	Me80	Me120	Mc80		Mc120	1	2	
25	21.000	-590	-59	43	53	0	0	42	57	0	0	25	35	27	38	43	60	60	2	2
26	21.875	-491	-49	39	48	0	0	37	51	0	0	23	31	24	34	38	54	54	2	2
27	22.750	-396	-39	39	47	0	0	32	45	0	0	22	31	22	30	51	57	47	2	2
28	23.625	-307	-30	42	51	0	0	50	69	0	0	41	57	42	56	79	97	41	3	3
29	24.500	-223	-22	53	65	0	0	70	97	0	0	62	84	64	87	108	138	35	3	3
30	25.375	-144	-14	78	95	0	0	90	124	0	0	82	112	86	117	137	179	44	4	4
31	26.250	-70	-7	103	126	0	0	110	152	0	0	102	139	107	147	166	220	106	5	4
32	27.125	-2	-0	131	161	0	0	130	179	0	0	121	165	128	177	195	261	165	7	6
33	28.000	62	6	158	193	0	0	170	233	0	0	139	191	147	205	222	299	222	9	7
34	28.875	121	12	178	217	0	0	208	286	0	0	157	215	166	231	248	335	276	11	9
35	29.750	174	17	191	234	0	0	247	334	0	0	174	238	184	257	274	372	325	14	11
36	30.625	223	22	225	274	0	0	275	379	0	0	189	259	200	280	300	409	371	16	12
37	31.500	266	26	254	311	0	0	304	418	0	0	203	278	215	301	324	443	412	18	15
38	32.375	304	30	280	343	0	0	328	453	0	0	216	295	229	320	346	474	448	20	16
39	33.250	337	33	303	376	0	0	351	492	0	0	227	310	241	336	365	500	480	22	18
40	34.125	365	36	322	394	0	0	368	507	0	0	236	323	251	351	381	523	507	27	19
41	35.000	388	38	338	413	0	0	382	525	0	0	244	334	259	362	394	542	530	24	20
42	35.875	406	40	350	428	0	0	392	539	0	0	250	342	265	371	405	557	547	25	20
43	36.750	419	42	359	439	0	0	397	546	0	0	254	346	270	377	413	563	559	26	21
44	37.625	426	42	364	445	0	0	399	549	0	0	256	351	272	380	419	575	567	26	21
45	38.500	429	43	366	447	0	0	397	545	0	0	257	352	272	381	419	577	569	26	21

* Moments Negatifs Repartis, Ponderes, Majores *

Figure No: 1

POINT ABSC.	CH. PERMANENTE			URCHARGES A				CONVOIS BC				TANDEN BT		CONVOIS MILITAIRES				EXCEPT	TROTTOIRS	
	Av. Be	Ap. Be	1vo	2vo	3vo	4vo	1fi	2fi	3fi	4fi	1ts	2ts	Ne80	Ne120	Mc80	Mc120	D	1	2	
1	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	.975	34	3	-14	-17	0	0	-15	-20	0	0	-7	-10	-8	-11	-12	-17	-20	-1	-1
3	1.750	63	6	-29	-34	0	0	-29	-40	0	0	-14	-20	-15	-22	-24	-34	-39	-2	-2
4	2.625	87	9	-42	-51	0	0	-44	-61	0	0	-22	-29	-23	-32	-37	-52	-59	-3	-3
5	3.500	105	10	-55	-68	0	0	-59	-81	0	0	-29	-39	-31	-43	-49	-69	-79	-4	-4
6	4.375	119	12	-69	-85	0	0	-74	-101	0	0	-36	-49	-38	-54	-61	-86	-99	-5	-4
7	5.250	128	13	-83	-102	0	0	-88	-121	0	0	-43	-59	-46	-65	-73	-103	-118	-6	-5
8	6.125	131	13	-97	-119	0	0	-103	-142	0	0	-50	-69	-53	-76	-86	-121	-137	-7	-6
9	7.000	129	13	-111	-136	0	0	-118	-162	0	0	-57	-79	-61	-86	-98	-133	-157	-8	-6
10	7.875	123	12	-125	-153	0	0	-133	-192	0	0	-65	-88	-69	-97	-110	-155	-177	-9	-7
11	8.750	111	11	-139	-169	0	0	-147	-202	0	0	-72	-96	-76	-108	-122	-172	-196	-10	-8
12	9.625	94	9	-153	-186	0	0	-162	-223	0	0	-79	-108	-84	-119	-135	-189	-216	-11	-8
13	10.500	72	7	-166	-203	0	0	-177	-243	0	0	-86	-118	-92	-129	-147	-207	-236	-12	-10
14	11.375	45	4	-180	-220	0	0	-191	-263	0	0	-93	-128	-99	-146	-169	-224	-255	-12	-10
15	12.250	12	1	-194	-237	0	0	-206	-283	0	0	-100	-138	-107	-151	-171	-241	-275	-14	-11
16	13.125	-25	-2	-208	-254	0	0	-221	-304	0	0	-108	-147	-114	-162	-183	-253	-294	-15	-12
17	14.000	-67	-7	-222	-271	0	0	-236	-324	0	0	-115	-157	-122	-173	-196	-276	-314	-16	-13
18	14.875	-115	-11	-236	-288	0	0	-250	-344	0	0	-122	-167	-130	-185	-208	-297	-334	-17	-14
19	15.750	-167	-17	-250	-305	0	0	-265	-364	0	0	-129	-177	-137	-194	-220	-310	-353	-18	-14
20	16.625	-225	-22	-263	-322	0	0	-280	-385	0	0	-136	-187	-145	-205	-232	-327	-373	-19	-15
21	17.500	-288	-29	-277	-339	0	0	-294	-405	0	0	-144	-196	-153	-216	-245	-344	-393	-20	-16
22	18.375	-356	-35	-291	-356	0	0	-309	-425	0	0	-151	-206	-160	-227	-257	-362	-412	-21	-17
23	19.250	-429	-43	-305	-373	0	0	-324	-445	0	0	-158	-216	-168	-237	-269	-379	-432	-24	-17
24	20.125	-507	-50	-319	-390	0	0	-339	-466	0	0	-165	-226	-176	-248	-291	-396	-452	-27	-20

POINT	ABSC.	CH. PERMANENTE				URCHARGES A				CONVOIS BC				TANDEM BT		CONVOIS MILITAIRES				EXCEPT TROTTOIRS		
		Av.	Be	Ap	Es	4vo	2vo	3vo	4vo	1fi	2fi	3fi	4fi	1ta	2ta	Me80	Me120	Mc80	Mc120	0	1	2
25	21,000	-590	-59	-333	408	0	0	-337	-463	0	0	-164	-225	-175	-247	-280	-395	-471	-31	-31	-25	
26	21,875	-491	-49	-284	347	0	0	-277	-381	0	0	-137	-188	-146	-207	-234	-330	-389	-26	-26	-21	
27	22,750	-396	-39	-239	292	0	0	-221	-305	0	0	-112	-153	-119	-169	-191	-268	-312	-22	-22	-18	
28	23,625	-307	-30	-200	244	0	0	-184	-254	0	0	-88	-120	-94	-133	-150	-211	-241	-18	-18	-14	
29	24,500	-223	-22	-163	200	0	0	-156	-215	0	0	-70	-96	-75	-106	-119	-167	-176	-14	-14	-11	
30	25,375	-144	-14	-133	163	0	0	-131	-179	0	0	-68	-93	-72	-102	-115	-160	-160	-11	-11	-9	
31	26,250	-70	-7	-111	136	0	0	-108	-149	0	0	-65	-89	-69	-98	-110	-154	-154	-9	-9	-7	
32	27,125	-2	-1	-107	131	0	0	-102	-141	0	0	-62	-85	-66	-94	-106	-148	-148	-7	-7	-6	
33	28,000	62	6	-102	125	0	0	-98	-135	0	0	-60	-82	-64	-90	-113	-157	-141	-6	-6	-5	
34	28,875	121	12	-96	119	0	0	-94	-129	0	0	-57	-78	-61	-86	-98	-137	-135	-5	-5	-4	
35	29,750	174	17	-93	114	0	0	-89	-123	0	0	-54	-74	-58	-82	-94	-132	-129	-5	-5	-4	
36	30,625	223	22	-89	108	0	0	-85	-117	0	0	-52	-71	-55	-78	-94	-132	-123	-5	-5	-4	
37	31,500	266	26	-84	103	0	0	-81	-111	0	0	-49	-67	-52	-74	-94	-132	-116	-5	-5	-4	
38	32,375	304	30	-80	97	0	0	-76	-105	0	0	-46	-63	-49	-70	-94	-132	-110	-5	-5	-4	
39	33,250	337	33	-75	92	0	0	-72	-99	0	0	-44	-60	-47	-66	-94	-132	-104	-5	-5	-4	
40	34,125	365	36	-70	86	0	0	-68	-93	0	0	-41	-56	-44	-62	-94	-132	-97	-5	-5	-4	
41	35,000	388	38	-66	80	0	0	-63	-87	0	0	-38	-53	-41	-58	-94	-132	-91	-5	-5	-4	
42	35,875	406	40	-65	79	0	0	-63	-87	0	0	-36	-49	-38	-54	-94	-132	-85	-5	-5	-4	
43	36,750	419	42	-65	79	0	0	-63	-87	0	0	-33	-45	-35	-50	-94	-132	-78	-5	-5	-4	
44	37,625	426	42	-65	79	0	0	-63	-87	0	0	-30	-42	-32	-46	-94	-132	-72	-5	-5	-4	
45	38,500	429	43	-65	79	0	0	-63	-87	0	0	-28	-38	-30	-42	-94	-132	-66	-5	-5	-4	

* Moments Finals *

Poutre No: 1

POINT	ABSCISSE	CHARGE PERMANENTE		SURCHARGE	
		AV. BET	AF. BET	POSITIVE	NEGATIVE
1	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
2	.875	34.00	3.37	86.47	-21.24
3	1.750	62.90	6.24	165.69	-42.47
4	2.625	86.71	9.60	235.61	-63.71
5	3.500	105.43	12.46	295.76	-84.94
6	4.375	119.05	11.81	349.45	-106.18
7	5.250	127.58	12.66	393.69	-127.41
8	6.125	131.02	13.00	428.51	-148.65
9	7.000	129.36	12.93	456.70	-169.88
10	7.875	122.61	12.16	475.52	-191.12
11	8.750	110.76	10.99	486.72	-212.35
12	9.625	93.83	9.31	491.14	-233.59
13	10.500	71.79	7.12	487.10	-254.82
14	11.375	44.67	4.43	475.03	-276.06
15	12.250	12.45	1.24	457.62	-297.29
16	13.125	-24.86	-3.47	433.15	-318.53
17	14.000	-67.27	-9.67	401.87	-339.76
18	14.875	-114.77	-11.59	364.34	-361.00
19	15.750	-167.36	-16.60	321.15	-382.24
20	16.625	-225.05	-22.33	273.08	-403.47
21	17.500	-287.83	-28.55	220.71	-424.71
22	18.375	-355.70	-35.29	164.77	-446.58
23	19.250	-428.67	-42.53	106.08	-469.35
24	20.125	-506.73	-50.27	60.09	-492.89

POINT	ABSCISSE	CHARGE PERMANENTE		SURCHARGE	
		AV. BET	AP. BET	POSITIVE	NEGATIVE
25	21.000	-589.88	-58.52	59.92	-494.17
26	21.875	-490.56	-48.67	53.63	-407.58
27	22.750	-396.33	-39.32	56.95	-326.25
28	23.625	-307.19	-30.48	97.07	-271.13
29	24.500	-223.15	-22.14	137.92	-228.85
30	25.375	-144.20	-14.31	178.81	-190.62
31	26.250	-70.34	-6.98	220.35	-157.71
32	27.125	-1.58	-1.16	260.61	-147.97
33	28.000	62.09	6.16	299.09	-157.06
34	28.875	120.67	11.97	335.37	-137.19
35	29.750	174.15	17.28	372.15	-131.82
36	30.625	222.54	22.08	409.27	-131.82
37	31.500	265.83	26.37	443.16	-131.82
38	32.375	304.64	30.16	473.54	-131.82
39	33.250	337.14	33.45	504.15	-131.82
40	34.125	365.16	36.23	529.72	-131.82
41	35.000	388.08	38.50	549.61	-131.82
42	35.875	405.91	40.27	563.74	-131.82
43	36.750	418.64	41.53	572.09	-131.82
44	37.625	426.28	42.29	575.05	-131.82
45	38.500	428.83	42.54	577.28	-131.82

SECTION	ABSCISSE	LARGEUR	SEMELLE INFERIEURE			SEMELLE SUPERIEURE			BETON					
			EPAISSEUR	CONTRAINTES		LARGEUR	EPAISSEUR	CONTRAINTES	CONTRAINTES					
25	21.000	80.0	4.2	-739	-662	-1537	80.0	4.2	975	960	1773	-29	-34	15
26	21.875	80.0	4.0	-590	-519	-1277	80.0	4.0	876	863	1563	-32	-37	5
27	22.750	80.0	3.6	-462	-381	-1064	80.0	3.6	855	841	1456	-39	-44	-8
28	23.625	80.0	3.4	-302	-158	-826	80.0	3.4	761	737	1286	-42	-51	-16
29	24.500	80.0	3.0	-152	72	-524	80.0	3.0	760	726	816	-50	-63	-27
30	25.375	80.0	2.8	24	328	-301	80.0	2.8	676	633	723	-54	-72	-34
31	26.250	80.0	2.6	206	600	-76	80.0	2.6	599	545	636	-58	-81	-42
32	27.125	80.0	2.4	395	885	117	80.0	2.4	527	465	562	-63	-91	-47
33	28.000	80.0	2.0	611	1238	282	80.0	2.0	569	520	625	-73	-107	-56
34	28.875	80.0	2.0	797	1500	510	80.0	2.0	410	334	443	-74	-111	-58
35	29.750	80.0	1.8	1080	1906	787	80.0	2.2	180	97	209	-75	-117	-60
36	30.625	80.0	1.8	1268	2175	976	80.0	2.4	-29	-120	-0	-77	-120	-58
37	31.500	80.0	1.8	1358	2342	1065	80.0	2.0	-13	-112	17	-78	-129	-63
38	32.375	80.0	1.8	1457	2511	1164	80.0	1.8	-52	-159	-22	-81	-135	-65
39	33.250	80.0	2.6	1248	2150	1013	80.0	2.4	-373	-495	-341	-63	-116	-49
40	34.125	80.0	2.8	1242	2146	1018	80.0	2.4	-449	-580	-417	-61	-115	-48
41	35.000	80.0	3.0	1240	2135	1025	80.0	2.6	-543	-680	-511	-57	-112	-44
42	35.875	80.0	3.4	1159	2002	962	80.0	2.8	-613	-756	-579	-52	-106	-39
43	36.750	80.0	3.4	1186	2042	989	80.0	2.8	-642	-787	-608	-52	-107	-39
44	37.625	80.0	3.4	1203	2063	1006	80.0	2.8	-659	-805	-626	-52	-108	-39
45	38.500	80.0	3.4	1208	2072	1011	80.0	2.8	-665	-812	-632	-52	-108	-39

Nota 1 : Pour chaque niveau de verification de la section 3 contraintes sont donnees :

1. Tablier en service a vide
2. Tablier en service + moment positif
3. Tablier en service + moment negatif

Nota 2 : La contrainte de traction dans le beton sous surcharges n'est donnee qu'a titre indicatif
La resistance seule de l'acier a ete prise en compte dans ce cas

* Mise en Toile *

Route No: 1

SECTION	ABSC	LARGEUR	SEMELLES INFERIEURES						SEMELLES SUPERIEURES						BETON			
			EPAISSEURS			CONTRAINTES			EPAISSEURS			CONTRAINTES			CONTRAINTES			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	0.000	80.0	3.0	0.0	0.0	22	22	22	80.0	3.0	0.0	0.0	-112	-112	-112	74	74	74
2	0.875	80.0	3.0	0.0	0.0	236	358	190	80.0	3.0	0.0	0.0	-574	-624	-528	75	20	33
3	1.750	80.0	3.0	0.0	0.0	339	612	248	80.0	3.0	0.0	0.0	-739	-789	-647	19	7	24
4	2.625	80.0	3.0	0.0	0.0	399	792	263	80.0	3.0	0.0	0.0	-774	-832	-637	12	-10	20
5	3.500	80.0	3.0	0.0	0.0	446	927	264	80.0	3.0	0.0	0.0	-768	-841	-586	10	-19	10
6	4.375	80.0	3.0	0.0	0.0	480	1048	253	80.0	3.0	0.0	0.0	-751	-827	-524	7	-28	17
7	5.250	80.0	3.0	0.0	0.0	503	1142	230	80.0	3.0	0.0	0.0	-723	-819	-450	3	-35	13
8	6.125	80.0	3.0	0.0	0.0	514	1211	195	80.0	3.0	0.0	0.0	-683	-789	-365	0	-42	10
9	7.000	80.0	3.0	0.0	0.0	513	1256	149	80.0	3.0	0.0	0.0	-633	-745	-268	-3	-49	7
10	7.875	80.0	3.0	0.0	0.0	501	1274	91	80.0	3.0	0.0	0.0	-571	-687	-161	-4	-53	7
11	8.750	80.0	3.0	0.0	0.0	476	1267	21	80.0	3.0	0.0	0.0	-497	-617	-42	-9	-58	10
12	9.625	80.0	3.0	0.0	0.0	440	1238	-61	80.0	3.0	0.0	0.0	-412	-537	88	-12	-61	11
13	10.500	80.0	3.0	0.0	0.0	392	1183	-155	80.0	3.0	0.0	0.0	-316	-436	230	-15	-64	10
14	11.375	80.0	3.0	0.0	0.0	332	1104	-260	80.0	3.0	0.0	0.0	-209	-326	383	-18	-66	9
15	12.250	80.0	3.0	0.0	0.0	260	1004	-377	80.0	3.0	0.0	0.0	-91	-203	647	-21	-67	8
16	13.125	80.0	3.0	0.0	0.0	177	881	-506	80.0	3.0	0.0	0.0	39	-67	722	-24	-67	7
17	14.000	80.0	3.0	0.0	0.0	81	734	-647	80.0	3.0	0.0	0.0	180	82	909	-27	-67	6
18	14.875	80.0	3.0	0.0	0.0	-26	566	-800	80.0	3.0	0.0	0.0	333	243	1107	-30	-66	6
19	15.750	80.0	3.0	0.0	0.0	-145	377	-964	80.0	3.0	0.0	0.0	496	418	1316	-33	-65	5
20	16.625	80.0	3.0	0.0	0.0	-276	168	-1141	80.0	3.0	0.0	0.0	671	604	1536	-36	-63	5
21	17.500	80.0	3.0	0.0	0.0	-418	-60	-1329	80.0	3.0	0.0	0.0	858	804	1768	-39	-61	5
22	18.375	80.0	3.0	0.0	0.0	-435	-149	-1347	80.0	3.0	1.5	0.0	573	534	1292	-31	-47	12
23	19.250	80.0	3.0	0.0	0.0	-589	-418	-1548	80.0	3.0	1.5	0.0	725	700	1480	-33	-43	10
24	20.125	80.0	3.0	0.0	0.0	-754	-658	-1761	80.0	3.0	1.5	0.0	885	871	1678	-36	-42	10

SECTION	ABSC	LARGEUR	SEMELLES INFERIEURES						SEMELLES SUPERIEURES						BETON			
			E-PAISSEURS			CONTRAINTES			LARGEUR	EPAISSEURS			CONTRAINTES			CONTRAINTES		
			1	2	3	1	2	3		1	2	3	1	2	3			
25	21.000	80.0	3.0	0.0	0.0	-1070	-973	-2079	80.0	3.0	1.5	0.0	978	964	1774	-23	-29	25
26	21.875	80.0	3.0	0.0	0.0	-850	-764	-1682	80.0	3.0	1.5	0.0	812	800	1468	-23	-29	16
27	22.750	80.0	3.0	0.0	0.0	-641	-550	-1309	80.0	3.0	1.5	0.0	655	641	1180	-24	-29	7
28	23.625	80.0	3.0	0.0	0.0	-579	-421	-1161	80.0	3.0	0.0	0.0	954	930	1536	-35	-44	-8
29	24.500	80.0	3.0	0.0	0.0	-384	-160	-875	80.0	3.0	0.0	0.0	768	734	1359	-35	-49	-12
30	25.375	80.0	3.0	0.0	0.0	-201	89	-610	80.0	3.0	0.0	0.0	593	549	1002	-36	-52	-17
31	26.250	80.0	3.0	0.0	0.0	-30	328	-368	80.0	3.0	0.0	0.0	429	375	767	-36	-58	-20
32	27.125	80.0	3.0	0.0	0.0	129	553	-111	80.0	3.0	0.0	0.0	277	213	313	-37	-62	-22
33	28.000	80.0	3.0	0.0	0.0	277	783	22	80.0	3.0	0.0	0.0	136	62	174	-37	-67	-21
34	28.875	80.0	3.0	0.0	0.0	413	958	190	80.0	3.0	0.0	0.0	6	-76	40	-37	-71	-24
35	29.750	80.0	3.0	0.0	0.0	537	1142	323	80.0	3.0	0.0	0.0	-113	-204	-80	-38	-75	-25
36	30.625	80.0	3.0	0.0	0.0	649	1314	435	80.0	3.0	0.0	0.0	-220	-320	-188	-38	-79	-25
37	31.500	80.0	3.0	0.0	0.0	749	1476	535	80.0	3.0	0.0	0.0	-316	-425	-283	-38	-82	-25
38	32.375	80.0	3.0	0.0	0.0	830	1608	624	80.0	3.0	0.0	0.0	-400	-517	-368	-38	-86	-24
39	33.250	80.0	3.0	0.0	0.0	915	1704	701	80.0	3.0	0.0	0.0	-474	-598	-442	-38	-89	-24
40	34.125	80.0	3.0	0.0	0.0	980	1841	765	80.0	3.0	0.0	0.0	-536	-666	-504	-38	-91	-24
41	35.000	80.0	3.0	0.0	0.0	1033	1928	819	80.0	3.0	0.0	0.0	-587	-722	-554	-38	-94	-24
42	35.875	80.0	3.0	0.0	0.0	1074	1991	860	80.0	3.0	0.0	0.0	-626	-765	-594	-38	-95	-24
43	36.750	80.0	3.0	0.0	0.0	1104	2034	890	80.0	3.0	0.0	0.0	-655	-795	-622	-38	-96	-24
44	37.625	80.0	3.0	0.0	0.0	1121	2056	907	80.0	3.0	0.0	0.0	-671	-813	-639	-38	-96	-24
45	38.500	80.0	3.0	0.0	0.0	1127	2066	913	80.0	3.0	0.0	0.0	-677	-819	-645	-38	-97	-24

* Efforts Tranchants Repartis, *
Ponderes, Majores

Routre No: 1

POINT ABSC.	CH. PERMANENTE			SURCHARGES A				CONVOIS BC				TANDEM BT		CONVOIS MILITAIRES				EXCEPT		TROTTOIRS	
	Av. Ba	Ap. Ba	1vo	2vo	3vo	4vo	1fi	2fi	3fi	4fi	1ts	2ts	Me80	Me120	Mc80	Mc120	0	1	2		
1	0.000	42	4	59	70	0	0	74	102	0	0	48	65	52	73	74	101	88	3	3	
2	.875	36	4	34	40	0	0	72	98	0	0	48	64	51	71	76	102	73	3	2	
3	1.750	30	3	32	37	0	0	67	90	0	0	46	61	48	67	71	96	66	3	2	
4	2.625	24	2	29	35	0	0	61	83	0	0	43	57	45	63	67	90	59	3	2	
5	3.500	18	2	27	32	0	0	56	75	0	0	40	54	43	60	62	84	53	3	2	
6	4.375	13	1	25	29	0	0	51	68	0	0	38	50	40	56	58	78	47	2	2	
7	5.250	7	1	22	26	0	0	46	62	0	0	35	47	37	52	54	72	41	2	1	
8	6.125	1	0	20	24	0	0	41	55	0	0	33	44	34	48	49	66	36	2	1	
9	7.000	-5	-1	18	22	0	0	36	49	0	0	30	40	32	44	45	60	30	-2	-1	
10	7.875	-11	-1	16	19	0	0	31	42	0	0	28	37	29	41	41	54	25	-2	-1	
11	8.750	-16	-2	15	17	0	0	27	36	0	0	25	34	27	37	37	49	20	-2	-1	
12	9.625	-22	-2	14	16	0	0	23	31	0	0	23	31	24	33	33	45	15	-2	-2	
13	10.500	-28	-3	13	15	0	0	20	27	0	0	21	29	22	31	31	42	11	-2	-2	
14	11.375	-34	-3	12	14	0	0	17	23	0	0	19	27	20	29	29	39	8	-2	-2	
15	12.250	-40	-4	11	13	0	0	15	20	0	0	17	25	18	27	27	36	6	-2	-2	
16	13.125	-46	-5	10	12	0	0	13	17	0	0	15	23	16	25	25	34	5	-2	-2	
17	14.000	-51	-5	9	11	0	0	11	15	0	0	13	21	14	23	23	32	4	-2	-2	
18	14.875	-57	-6	8	10	0	0	9	13	0	0	11	19	13	21	21	30	3	-2	-2	
19	15.750	-63	-6	7	9	0	0	7	11	0	0	9	17	11	19	19	28	2	-2	-2	
20	16.625	-69	-7	6	8	0	0	6	9	0	0	8	15	10	17	17	26	1	-2	-2	
21	17.500	-75	-7	5	7	0	0	5	8	0	0	7	13	9	15	15	24	0	-2	-2	
22	18.375	-80	-8	4	6	0	0	4	7	0	0	6	11	8	13	13	22	-1	-2	-2	
23	19.250	-86	-9	3	5	0	0	3	6	0	0	5	9	7	11	11	20	-2	-2	-2	
24	20.125	-92	-9	2	4	0	0	2	5	0	0	4	7	6	9	9	18	-3	-2	-2	

POINT	ABSC.	CH. PERMANENTE			URCHARGES A			CONVOIS BC				TANDEM ET		CONVOIS MILITAIRES				EXCEPT	TROTTOIRS	
		Av. Be	hp. Be	1vo	2vo	3vo	4vo	1fi	2fi	3fi	4fi	1ta	2ta	Me80	Me120	Mc80	Mc120	D	1	2
25	21.000	116	12	82	99	0	0	95	130	0	0	66	95	78	111	79	110	123	6	5
26	21.875	111	11	50	59	0	0	96	129	0	0	49	66	52	74	81	112	116	6	5
27	22.750	105	10	48	57	0	0	93	125	0	0	48	64	51	72	79	110	112	6	4
28	23.625	99	10	46	54	0	0	90	121	0	0	47	63	50	71	77	107	108	6	4
29	24.500	93	9	44	52	0	0	87	117	0	0	46	62	49	69	75	104	104	6	4
30	25.375	87	9	43	50	0	0	84	113	0	0	45	60	48	68	73	101	99	6	4
31	26.250	81	8	41	48	0	0	80	108	0	0	44	59	47	66	71	98	95	6	4
32	27.125	76	8	39	46	0	0	77	104	0	0	43	57	46	64	69	95	90	4	3
33	28.000	70	7	37	43	0	0	74	99	0	0	42	56	44	62	67	91	86	4	2
34	28.875	64	6	35	41	0	0	70	95	0	0	40	54	43	60	64	88	81	4	2
35	29.750	58	6	33	39	0	0	67	90	0	0	39	52	41	58	62	85	76	4	2
36	30.625	52	5	32	37	0	0	63	86	0	0	38	50	40	56	59	81	72	3	2
37	31.500	47	5	30	35	0	0	60	81	0	0	36	48	38	54	57	78	67	3	2
38	32.375	41	4	28	33	0	0	56	76	0	0	35	46	37	52	54	74	63	3	2
39	33.250	35	3	26	31	0	0	53	72	0	0	33	44	35	49	52	70	58	3	2
40	34.125	29	3	25	29	0	0	50	67	0	0	32	42	34	47	49	67	54	3	2
41	35.000	23	2	23	27	0	0	46	62	0	0	30	40	32	45	46	63	49	3	2
42	35.875	17	2	21	25	0	0	43	58	0	0	29	38	30	43	44	59	45	3	2
43	36.750	12	1	20	23	0	0	39	53	0	0	27	36	29	40	41	55	41	3	1
44	37.625	6	1	18	21	0	0	36	49	0	0	26	34	27	38	38	52	37	3	1
45	38.500	0	0	-17	-20	0	0	-33	-45	0	0	-24	-32	-25	-36	36	48	33	-2	-1

* Efforts Tranchants Finals *

CISAILLEMENT ADMISSIBLE: 1440 kg/cm².Route No:

POINT	ABSC.	CHARG. AV. BE	PERMANENTE AP. BET	SURCHARGES	EFFETS LINEAIRES	DENIVELLATION ALLER	DENIVELLATION RETOUR	EFFORT TRANCHANT MAXIMAL	CISAILLEMENT TAU
1	0.000	42	4	105	46	-60	104	241	754
2	1.875	36	4	102	46	-60	104	232	725
3	3.750	30	3	96	46	-60	104	219	685
4	5.625	24	2	90	46	-60	104	207	646
5	7.500	18	2	84	46	-60	104	194	607
6	9.375	13	1	78	46	-60	104	182	568
7	11.250	7	1	72	46	-60	104	170	530
8	13.125	1	0	66	46	-60	104	157	492
9	15.000	-5	-0	60	46	-60	104	145	454
10	16.875	-11	-1	54	46	-60	104	133	416
11	18.750	-16	-2	49	46	-60	104	121	379
12	20.625	-22	-2	-47	46	-60	104	-72	324
13	22.500	-28	-3	-53	46	-60	104	-84	263
14	24.375	-34	-3	-59	46	-60	104	-96	301
15	26.250	-40	-4	-65	46	-60	104	-109	340
16	28.125	-46	-5	-71	46	-60	104	-121	377
17	30.000	-51	-5	-76	46	-60	104	-133	415
18	31.875	-57	-6	-82	46	-60	104	-145	452
19	33.750	-63	-6	-87	46	-60	104	-156	489
20	35.625	-69	-7	-92	46	-60	104	-168	524
21	37.500	-75	-7	-98	46	-60	104	-180	563
22	39.375	-80	-8	-106	46	-60	104	-194	606
23	41.250	-86	-9	-113	46	-60	104	-208	648
24	43.125	-92	-9	-120	46	-60	104	-221	690

POINT	RESC.	CHAPS AV.BE	PERMANENTE AP.BET	SURCHARGES	EFFETS LINEAIRES	DENIVELLATION ALLER	DENIVELLATION RETOUR	EFFORT TRANCHANT MAXIMAL	EISAILEMENT TAU
25	21.000	116	12	136	0	0	0	264	825
26	21.875	111	11	135	0	0	0	257	803
27	22.750	105	10	131	0	0	0	246	770
28	23.625	99	10	122	0	0	0	236	733
29	24.500	93	9	122	0	0	0	225	702
30	25.375	87	9	118	0	0	0	214	668
31	26.250	81	8	115	0	0	0	203	633
32	27.125	76	8	108	0	0	0	192	599
33	28.000	70	7	104	0	0	0	180	564
34	28.875	64	6	99	0	0	0	169	528
35	29.750	58	6	94	0	0	0	158	493
36	30.625	52	5	89	0	0	0	147	458
37	31.500	47	5	84	0	0	0	135	423
38	32.375	41	4	79	0	0	0	124	387
39	33.250	35	3	74	0	0	0	113	352
40	34.125	29	3	69	0	0	0	101	317
41	35.000	23	2	65	0	0	0	90	282
42	35.875	17	2	60	0	0	0	79	247
43	36.750	12	1	55	0	0	0	68	212
44	37.625	6	1	52	0	0	0	58	180
45	38.500	0	0	48	0	0	0	48	150

B I B L I G R A P H I E

- . INITIATION AU CALCUL DE STRUCTURE J.Fauchant

- . RESISTANCE DES MATERIAUX J.Courbon

- . OUVRAGES MIXTES ACIER-BETON M. Equipement

- . PRESCRIPTIONS CONCERNANT LES OUVRAGES MIXTES S.C.E.T.

- . CALCUL AUTOMATIQUE D'UN TABLIER MIXTE ISOSTATIQUE (Projet de fin d'etudes) R.Ancur-Moussa

- . FASCICULE 61 C.P.C
 - 4- TITRE II : Surcharge des ponts routiers
 - TITRE V : Calcul des constr. métalliques
 - TITRE VI : C C B A 68

