

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ELABORATION D'UN
LOGICIEL DE CALCUL DES
POUTRES DE PONT PAR LA
METHODE DITE DE
GUYON - MASSONNET

Proposé Par :
S A P T A

Etudié Par :
Mlle N. BOUABDALLAH

Dirigé par :
H. BENMEHDI
M. ZOUKH

PROMOTION : Juin 1988

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ELABORATION D'UN
LOGICIEL DE CALCUL DES
POUTRES DE PONT PAR LA
METHODE DITE DE
GUYON - MASSONNET

Proposé Par :
S A P T A

Etudié Par :
Mlle N. BOUABDALLAH

Dirigé par :
H. BENMEHDI
M. ZOUKH

PROMOTION : Juin 1988

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

وَالصَّلَاةِ
وَالسَّكِينِ
وَمَكَرِهُ
رَبِّ الْعَالَمِينَ

صِدْقِ اللَّهِ الْعَظِيمِ

Département : GENIE CIVIL.....
Proposeur : M. BENMEHOJ.....
Élève Ingénieur : M. BOUABDALLAH
NAMA

مصلحة هندسة مدنية
موجه بن مهدي
تلميذ مهندس بو عبد الله نادية

- الموضوع باعداد برنامج معلوماتي من اجل حساب عتبات الجسور وفق
الطريقة G.M.
يستهدفا مشروع لنظام الدروس هذا لاعداد برنامج معلوماتي من
اجل حساب عتبات الجسور وفق لطريقة G.M. وقد سمح لنا هذا
البرنامج المعلوماتي بتأدية الطريقة المسماة G.M المستعملة حاليا
بصفة يدوية من اجل اجراء الاجهادات المؤثرة في عتبات الجسور.

Sujet: Elaboration d'un logiciel de calcul des poutres de pont... par... le...
Résumé: méthode dite de GUYON-MASSONNET.

L'objet de ce projet de fin d'étude est d'élaborer un programme de calcul des poutres de pont. Ce programme de calcul nous a permis d'automatiser la méthode dite de GUYON-MASSONNET, utilisée manuellement à l'heure actuelle pour la détermination des efforts dans les poutres de pont.

Subject: Elaboration of a software for the design of bridge.....
Abstract: beams by the method of G. M.

The aim of my final year project is the elaboration of a computer programme for the design of bridge beams.

This software enabled us to programme the method of G.M which was used manually up to now. for the determination of internal efforts in the bridge beams.

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu mon promoteur M^{re} BENMEHDI, pour l'aide et les conseils qu'il m'a prodigués tout au long de cette année.

Je remercie également mon co-promoteur M^{re} ZOUKH pour son aide et ses conseils précieux.

Je remercie encore M^{re} MAHMOUDI Informaticien à la S.A.P.T.A pour l'aide précieuse qu'il m'a fournie pour mon travail informatique.

Enfin, je remercie l'ensemble du personnel de la S.A.P.T.A et de l'E.N.E.R.O.A pour la bonne humeur et l'ambiance de travail que j'y ai trouvée.

Dedicaces



- A ma mère
- A mon père
- A mes sœurs et mon frère
- A tous ceux qui me sont chers

Nadia

.. SOMMAIRE

INTRODUCTION

- 1_ PRESENTATION
- 2_ OIBJET DU PROGRAMME
- 3_ DOMMAINES D'APPLICATION
- 4_ DONNEES DE DEPART

CARACTERISTIQUES MECANQUES DES MATERIAUX

CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES SECTIONS

MOMENTS FLECHISSANTS NON REPARTIS

EFFORTS TRANCHANTS NON REPARTIS

COEFFICIENTS DE REPARTITION
TRANSVERSALE

REPARTITION DES MOMENTS..
FLECHISSANTS DANS LES POUTES

REPARTITION DES EFFORTS
TRANCHANTS DANS LES POUTRES.

ENVELOPPE DES EFFORTS
TRANCHANTS

ANALYSE INFORMATIQUE . .

1. DEMARCHE GENERALE
2. SOUS PROGRAMMES
3. FICHIERS
4. ORGANIGRAMME
5. PROGRAMMATION

CONCLUSION

ANNEXE

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

1. Présentation :

Le présent sujet de fin d'études m'a été proposé par la société Algérienne de Ponts et Travaux d'Art (S.A.P.T.A).

L'objet de ce projet est la conception d'un logiciel permettant de calculer les sollicitations des ponts de pont à poutres multiples par la méthode de GUYON-MASSONNET et de faire la jonction avec le logiciel qui permet de calculer et de vérifier les différentes forces de précontrainte agissantes en différents points d'une poutre en béton précontraint par armatures adhérentes (Pré-tension).

La jonction de ces deux programmes nous donne un logiciel complet de calcul automatique des ponts de pont en béton précontraint, par la méthode de GUYON-MASSONNET.

En effet, ce type d'ouvrage (pont à poutres multiples en béton précontraint) étant fréquemment

rencontré par cette société, un besoin d'automatisation des études s'est fait ressentir afin de soulager les ingénieurs des calculs fastidieux.

La programmation est effectuée dans un langage évolué, le BASIC HP, sur un mini-ordinateur de type Hewlett-Packard (HP 260).

Un exemple de calcul est traité, dont les résultats sont en fin de projet sous forme de note de calcul, et cela afin de mettre en valeur les avantages qu'on peut tirer d'un calcul automatique.

*Nota :

Le programme qui calcule les forces de précontraintes ainsi que toutes les vérifications des pontes en béton précontraint a été élaboré par le binôme MBENDALI et A. NOULAY, pour plus de précision sur ce programme voir projet de fin d'études "élaboration d'un logiciel de calcul des pontes en béton précontraint (pré-tension) à fils adhérents".

- juin 87.

2. Objet du Programme:

Le programme doit donc permettre la vérification du tablier conformément au schéma suivant:

Phase 1: Fabrication des pontes

- Calcul des forces de précontraintes
- vérification des contraintes à la mise en précontrainte.
 - 1). à la longueur d'établissement de la précontrainte.
 - 2). Au début de la zone courante.
- Etude de l'équilibre général de la zone d'about.

Phase 2: Stockage des pontes

- Une fraction des pertes différées est prise en compte, fonction de la durée du stockage.

Phase 3: Mise en place des pontes et coulage de la dalle

Phase 4: Mise en place des superstructures (chaussée, trottoirs, ...) et mise en service de l'ouvrage.

- calcul des sollicitations
- vérification à l'état limite d'utilisation.
- vérification à l'état limite ultime
- vérification des sollicitations tangentées et calcul des armatures transversales.

3. Domaines d'application :

- Le programme de calcul ne s'applique qu'à des ponts droits ou dont le biais est tel que les calculs peuvent être conduits par la méthode des ponts droits ;
- les travées indépendantes sont constituées de poutres prefabriquées précontraintes par armatures adhérentes ;
- les calculs sont effectués en travées isostatiques ;
- la largeur des ouvrages est limitée par un maximum de cinq (05) voies de circulation ;
- du fait de la méthode de répartition transversale des charges (GUYON - MASSONNET), un minimum de cinq poutres est obligatoire ;
- la largeur du tablier est par définition, prise égale à la distance entre nu extérieur de l'extrados des poutres de rives ;
- le calcul des sollicitations ne peut s'effectuer qu'avec des charges verticales .

4. Données de départ :

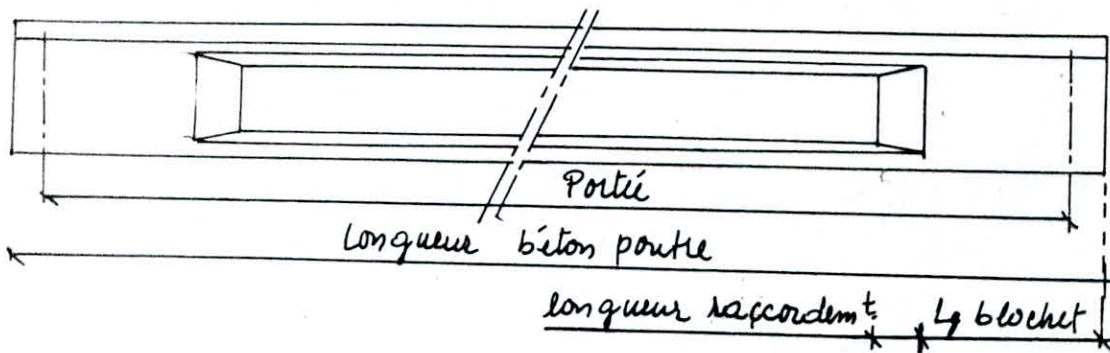
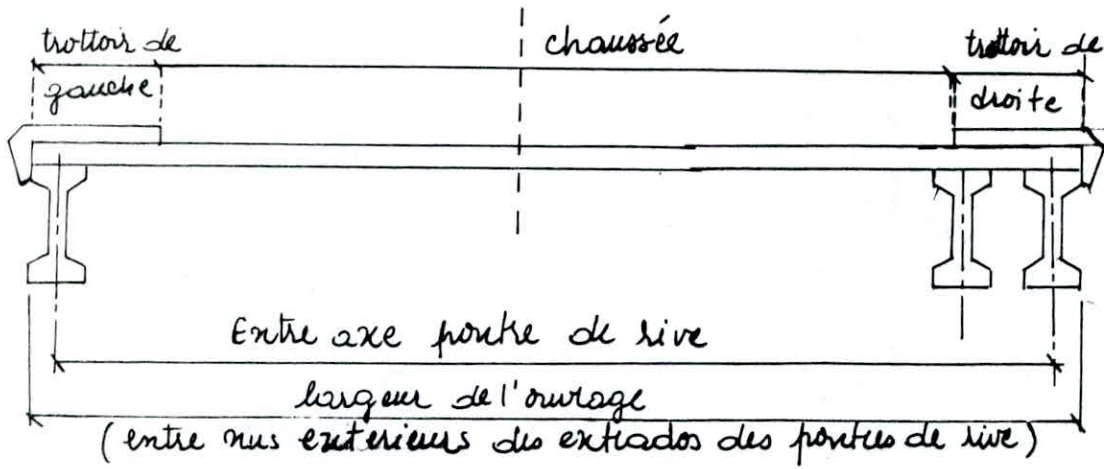
Avant de " lancer " ce programme, l'utilisateur devra connaître un certain nombre de paramètres qui sont les suivants :

Concernant l'ouvrage :

- la classe du pont ;
- la portée de la travée considérée ;
- la largeur de chaussée ;
- la largeur utile des trottoirs ;
- le nombre de pontes principales ;
- l'écartement des pontes de rives ;
- une estimation des charges permanentes ;
- le nombre de voies ;
- la largeur de la voie ;
- caractéristiques dimensionnelles de la ponte .

Concernant les matériaux :

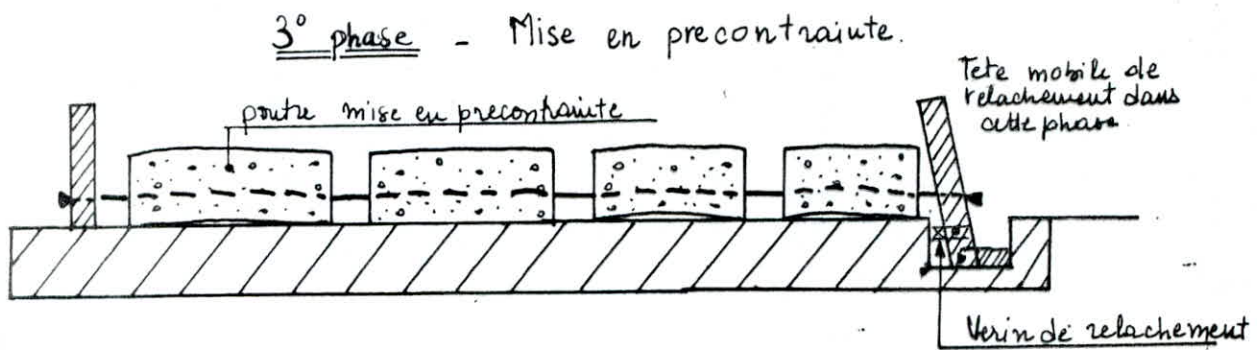
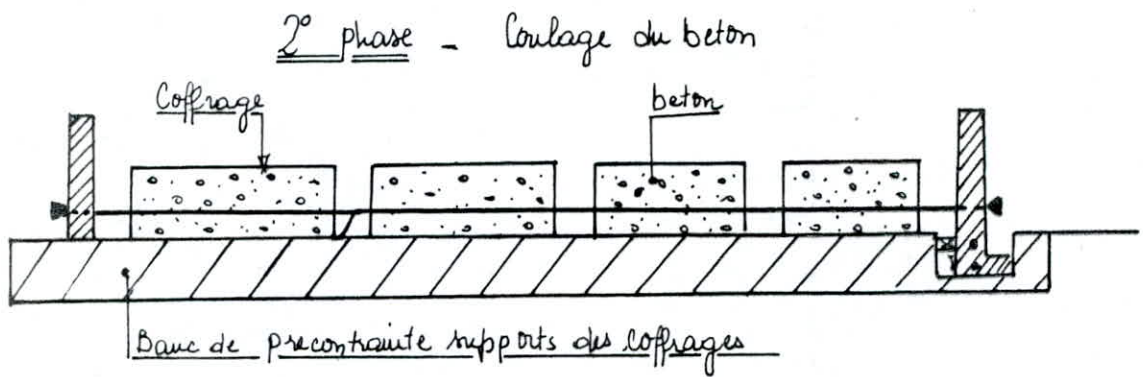
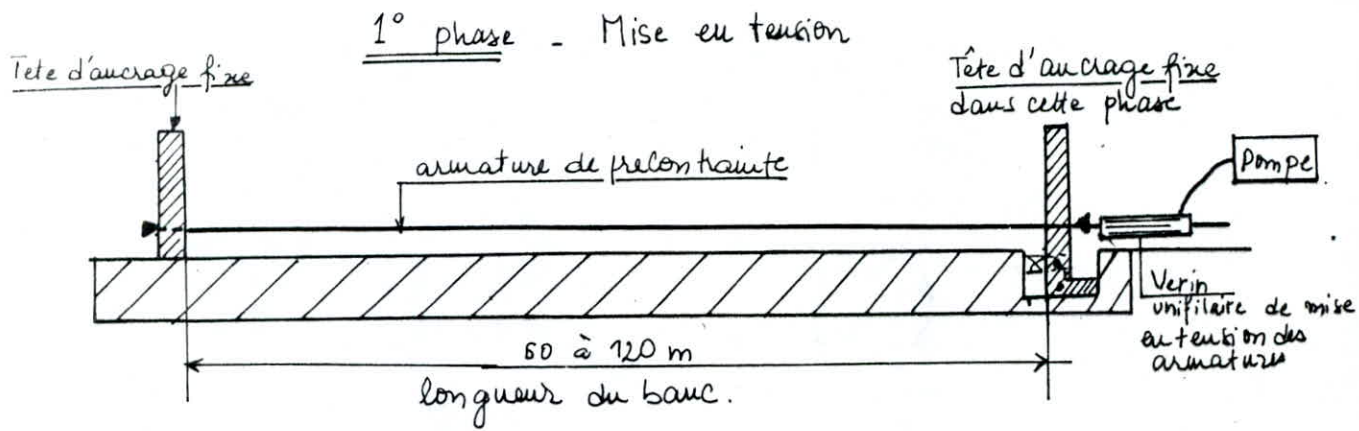
- la composition du béton précontraint
des dosages utilisés, varient de 400 à 450 kg/m³ de ciment
et dans certains cas 500 kg/m³ de ciment.
des bétons de pontes sont fermes ; on admet un
affaiblissement de 3 à 5 cm au cône d'Abrams.
- des aciers pour Armatures de précontrainte :
des armatures de précontrainte pour la pré-tension, sont
constituées de fils non ronds non lisses, ou de torons en
aciers à haute résistance, qui doivent satisfaire aux
prescriptions du titre 2 (armatures en acier à haute
résistance pour constructions en béton précontraint



Principe de la précontrainte par adhérence :

Le principe de la précontrainte par adhérence consiste à tendre des armatures de précontrainte (fils non ronds non lisses) en prenant appui sur des organes extérieurs à l'élément à fabriquer, et cela avant coulage du béton dans les coffrages entourant les armatures sur le béton en désolidarisant celles-ci des organes extérieurs. Les armatures gênées à leur adhérence au béton, réalisent la précontrainte de la poutre.

La technologie découlant de ce principe est bien connue. Elle consiste à tendre des fils ou torons dans des coffrages de 60 à 100 m de long. Les armatures prennent appui sur des têtes d'ancrage qui sont désolidarisées du coffrage et sont ancrées dans les extrémités du banc en béton support de coffrage. Après coulage et durcissement du béton dans les moules, les têtes d'ancrage (rendues mobiles) pivotent vers les poutres, et ainsi les armatures sont détendues. Voir schéma



CHARACTERISTICS

Caractéristiques des matériaux utilisés :

1. Béton :

* Béton de pontes :

- béton dosé à 400 kg/m^3 de ciment qui donne :

$$E/C = 0,42$$

- résistance caractéristique de la fonte au relâchement
7 jours, correspondant à la mise en précontrainte

COMPRESSION	TRACTION
à 7 jours = 270 bars	à 7 jours = 22,2 bars
à 28 jours = 420 bars	à 28 jours = 31,2 bars

* Béton de dalle :

- béton dosé à 350 kg/m^3 de ciment, avec un contrôle strict.

COMPRESSION	TRACTION
à 28 jours = 240 bars	à 28 jours = 20,4 bars

2. Armatures de précontrainte :

(au choix suivant le projet à étudier)

	H.L.E $\phi 7$ III TBR	Toron T12,4 III TBR	Toron 15,2 III TBR
- Section (A_p) (cm^2)	0,385	0,93	1,39
- Force de tension (F_{T6}) (daN)	5640	15400	22560
- Force de rupture garantie (F_{R6}) (daN)	6278	17360	25210
- Relaxation à 1000h (ρ_{1000}) (%)	2,5	2,5	2,5
- Relaxation à 3000h (ρ_{3000}) (%)	3	3	3
- Relaxation à 16h (ρ_{16}) (%)	0,75	0,75	0,75
- Coefficient de scellement (M_d)	1	1,4	1,4
- Coefficient de fixation (M)	1,1	1,5	1,5
- Longueur de scellement (l_{sn}) (m)	0,80	1,00	1,25
- Module d'élasticité (E_a) (bars)	$2 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^6$

3/ Armatures passives à haute adhérence:

- Fe 40 (A ou B) $d \leq 20$ $\sigma_{eg} = 4120 \text{ bars}$
- TOR $d > 20$ $\sigma_{eg} = 3920 \text{ bars}$
- FeE 50 CRANTEX $\sigma_{eg} = 4900 \text{ bars}$
- Coefficient de fissuration $M = 1,6$
- Coefficient de scellement $M_d = 1,5$

4/ Les torons:

Il existe les torons à trois fils, et les torons à 7 fils; pour la pré-tension, c'est les torons à 3 fils qui sont utilisés.

Les torons sont désignés par leur diamètre nominal.

Les caractéristiques mécaniques garanties sont:

- F_{Tg} : charge maximale à la traction
- F_{Tg} : charge limite conventionnelle d'élasticité à 0,1%
- Z_g : coefficient de striction
- A_g : l'allongement sous charge maximale.
- R_0 : relaxation isotherme à $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$

Notons que toutes les valeurs mentionnées plus haut peuvent être modifiées au niveau du programme et ceci grâce à un procédé utilisant des clés, chaque clé étant affectée d'une valeur modifiable au gré de l'utilisateur.

Pour les aciers le programme donne au choix les trois sortes d'aciers, pour choisir, il suffit d'appuyer sur

la clé correspondante.

Enfin, l'utilisateur devra aussi fixer les surcharges à prendre en compte dans le calcul, soit :

- les charges civiles;
- les charges sur trottoirs;
- les convois militaires (M_e et M_c);
- les convois exceptionnels (E et D);

Le choix se fait de la même façon, c'est à dire, à l'aide des clés; chaque clé correspond à un cas de charges, et l'utilisateur n'a qu'à choisir ses charges en appuyant sur les clés correspondantes.

CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES:

1. Caractéristiques dimensionnelles de la poutre:

La poutre préfabriquée à étudier peut être :

- Rectangulaire
- en "I" sans blochet
- en "I" avec blochet

a.1 Poutre rectangulaire:

Elle sera définie par sa longueur totale, sa base et sa hauteur.


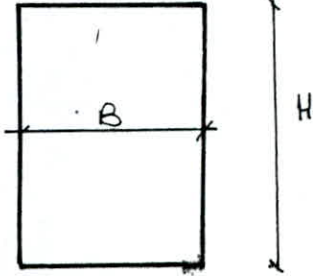
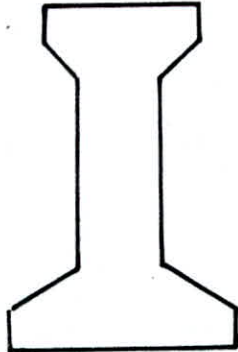
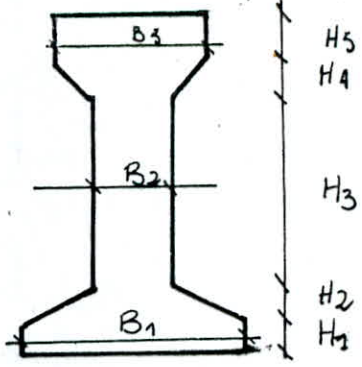
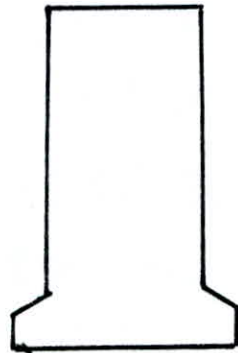
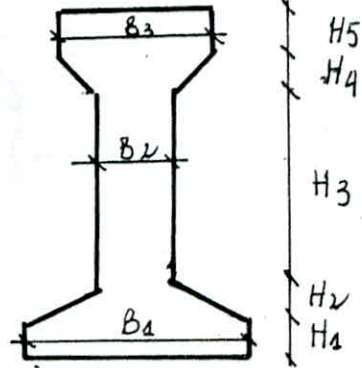
b.1 Poutre en "I" sans blochet:

C'est une poutre symétrique en double T, elle est

définie par sa longueur ainsi que les dimensions de chaque trapèze suivant le schéma ci-dessous.

c./ Poutre en "I" avec blochet:

Elle est définie par la longueur du béton de poutre, la longueur du blochet, la longueur du rifflet, ainsi que les différentes bases et hauteurs en travée.

	à l'about	en travée
Poutre		
Poutre en "I" sans blochet		
Poutre en "I" avec blochet		

La dalle est généralement coulé sur un coffrage perdu (prédalle); la dalle et la prédalle sont définies par leurs hauteurs et leurs bases.

2. Caractéristiques Géométriques:

Dans tous les cas, les caractéristiques géométriques seront calculées pour une section en travée et une section à l'about, pour chaque section le calcul se fera pour:

* Poutre seule:

- section nette $N=0$
- section Homogénéisée, $N=4$ (Pour Ponts)

* Section complète: (Poutre + Hourdis)

- section nette $N=0$
- section Homogénéisée $N=4$

a. / Association poutre - Hourdis:

Les deux bétons (celui des poutres et celui de l'Hourdis) ayant des modules d'élasticité différents. Donc il devrait tenir compte du coefficient d'équivalence. Par simplification et ceci dans le sens de la sécurité, on prendra:

$$\underline{\mu = 1.}$$

b. / Section Homogénéisée:

Dans le calcul des sections résistantes, pour la justification des contraintes normales; il est tenu compte des armatures longitudinales. La section des armatures

MOMENTS

FLECHISSANTS

NON REPARTIS

FLEXION LONGITUDINALE DE LA TRAVÉE :

1. Règlements et charges :

Tous les calculs qui font l'objet de cette étude, sont justifiés, en se basant, sur les règlements actuellement en vigueur en Algérie.

Toutes les charges que nous nous proposons de voir maintenant, sont définies par le titre II du fascicule Nr 61 de C. P. C, à l'exception du convoi routier exceptionnel qui est donné par un règlement algérien.

1.1 - charges de chaussées :

1.1.1 Système de charges A :

Ce système est applicable à tous les ponts dont les portées unitaires, ne dépassent pas 200 mètres, 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 en mètres ;

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 la voie ; ($a_2 = l_0 / l_v$).

Notons que la largeur et les longueurs des zones chargées sont choisies, de manière à produire les effets

maximaux dans l'élément d'ouvrage considéré.

1.1.2 Système de charges B:

Des trois systèmes : B_c , B_t et B_r , nous ne retiendrons que les deux premiers, car l'effet du système B_r (une roue isolée de 10 tonnes) est peu prépondérant lors de l'étude de la flexion générale.

Les systèmes s'appliquent à tous les ponts, excepté les ponts de 3^{ème} classe, où on n'appliquera pas le système B_t .

Le système B_c se compose de camions types de 30 tonnes à 3 essieux. On pourra disposer sur la chaussée, autant de files de camions que de voies de circulation; mais dans le sens longitudinal, le nombre de camions est limité à deux.

Les effets du système B_c , seront multipliés par un coefficient b_c fonction de la classe du pont et du nombre de files considérées.

Le système B_t se compose de groupes de 2 essieux dénommés tandems, chaque tandem faisant 16 tonnes. Quelle que soit le nombre de voies du pont, on ne disposera que de deux tandems de front.

De même que pour B_c , les effets de ce système seront

multipliés par un coefficient de fonction de la classe du pont.
Notons enfin que les effets de ces deux systèmes seront frappés de majoration dynamique, par le biais d'un coefficient:

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

Avec dans notre cas :

L : portée de la travée;

G : poids total de l'ouvrage dans cette travée;

S : poids total des essieux du système B qu'il est possible de placer sur cette travée;

1.1.3 Charges militaires :

Sur les itinéraires classés pour permettre la circulation des convois militaires, il y a lieu de prendre en compte les effets des véhicules susceptibles dans certains cas d'être plus défavorables que ceux des systèmes A et B.

Les convois militaires sont composés de deux classes :

- classe M80
- classe M120

Chaque classe se composant de deux systèmes distincts :

M_e et M_c.

Le système M_c se compose d'un groupe de deux essieux, chaque essieu faisant respectivement 22 tonnes et 33 tonnes, pour les classes M80 et M120.

Le système Π_c se compose de véhicules types à chenilles de poids respectifs 72 tonnes et 110 tonnes, pour les classes $\Pi 80$ et $\Pi 120$.

Les véhicules de ce dernier système peuvent circuler en convoi, à condition de respecter une distance libre entre deux chars successifs d'au moins 30,50 mètres; un seul convoi étant supposé circuler dans le sens transversal.

Notons que les majorations dynamiques sont applicables aux charges militaires, le coefficient de majoration étant calculé de la même façon que pour le système B; S représentant alors le poids total des charges militaires qu'il est possible de placer sur la travée de même section que B.

1.1.4 Charges exceptionnelles:

Sur les itinéraires classés pour permettre la circulation de convois lourds exceptionnels, les ponts seront calculés pour supporter le véhicule type suivant:

- le convoi B comporte une remorque supportant 240 tonnes, dont le poids est supposé reparti au niveau de la chaussée sur un rectangle uniformément reparti de 3,20 mètres de large et 18,60 m de long.

1.2 Charges de trottoirs :

Il existe deux types de charges de trottoir :

- les charges "locales" qui sont utilisées dans la justification des éléments du tablier ;
- les charges "générales" qui servent à la justification des ponts maîtresses.

Seules ces dernières nous intéressent ici : il y a donc lieu d'appliquer sur les trottoirs une charge uniforme de 150 kg/m^2 de façon à produire l'effet maximal envisagé.

Notons que chaque trottoir est chargé dans toute sa largeur, mais les deux trottoirs ne sont pas forcément chargés simultanément.

1.3 Effet du vent :

En ce qui concerne l'action du vent dans les circonstances courantes, on peut admettre une pression de 200 kg/m^2 sur toute surface offerte au vent, celui-ci étant supposé agir normalement à l'axe longitudinal de la chaussée.

Cependant, les effets du vent et des charges de chaussée (ou de trottoirs) n'étant pas cumulables, il s'est avéré que ce cas de charges n'était pas prépondérant,

tout au moins, pour le calcul des ponts qui font l'objet de cette étude.

2. Détermination des efforts :

Le calcul des efforts est conduit conformément aux règles nouvelles de la résistance des matériaux appliquées aux ponts.

On distinguera cependant le calcul des moments fléchissants et celui de efforts tranchants car, pour ces derniers, la répartition sur les poutres revêt une particularité de calcul qu'il est intéressant de mettre en évidence.

2.1 Moments fléchissants :

Dans un premier temps, afin de calculer les moments relevant à l'ensemble du pont, on assimile la travée isostatique à une poutre simple sur deux appuis supportant toutes les charges appliquées au pont.

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

Cette répartition se fait conformément à la théorie.

de GUYON- et - MASSONNET .

2.1.1 Répartition longitudinale :

La travée étant assimilée à une poutre bi-appuyée de longueur L , on se propose de calculer les moments fléchissants dans un certain nombre de sections, à partir de la ligne d'influence du moment pour la section considérée.

La poutre étant symétrique, on limitera les sections de calcul à la demi-travée.

On étudiera successivement les cas des charges suivantes :

- charges permanentes ;
- surcharges A ;
- surcharges B ;
- surcharges militaires ;
- surcharges exceptionnelles ;
- surcharges de trottoirs .

2.1.1.1 Charges permanentes :

Cette charge étant supposée uniformément répartie sur tout le pont, le moment en une section d'abscisse x est :

$$M(x) = Q \cdot x \frac{(L-x)}{2} \quad (\text{kg} \cdot \text{m})$$

avec :

Q : intensité de la charge permanente considérée
(kg/m) ;

L : portée de la travée (m)

Notons que le calcul de M_0 sera partagé en deux parties:

-1- trottoirs + revêtement

-2- poids propre (hourdis + poutre)

2.1.1.2 Surcharges A :

Pour obtenir le moment maximum dans la section considérée, il est nécessaire de charger la travée sur toute sa longueur. Le moment est alors calculé par la même formule que précédemment, en remplaçant Q par le produit: $A \cdot l$

avec :

A : intensité des surcharges A définie plus haut (kg/m^2)

l : largeur chargée en mètres

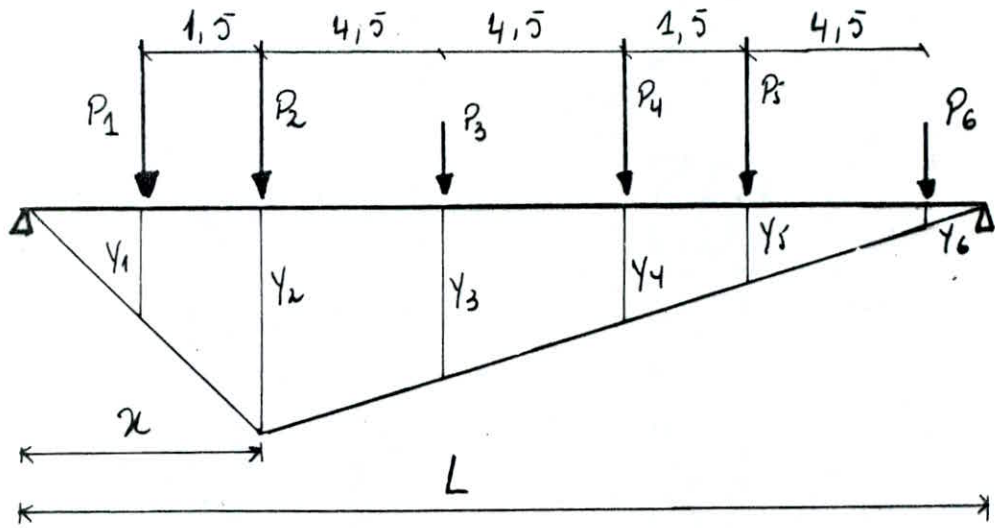
Notons qu'on fera varier la largeur chargée de sorte à charger progressivement toutes les voies de circulation.

2.1.1.3 Surcharges B :

Pour les surcharges B, il y'a lieu de rechercher non seulement les moments maximaux pour chaque section de calcul, mais aussi la section dangereuse et le moment correspondant.

a/- Système Bc :

Pour une file de lamions, on a :



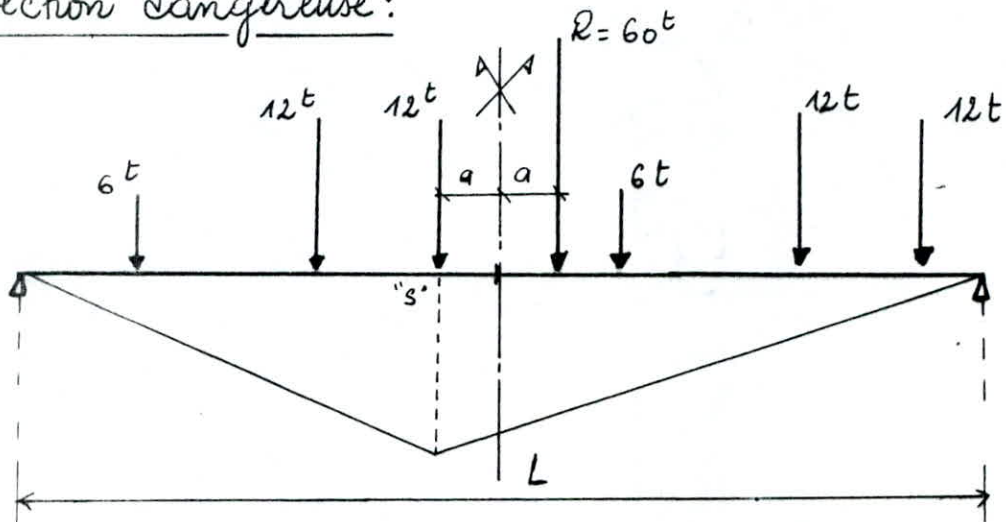
Les moments maximaux pour chaque section sont calculés à partir de la ligne d'influence, sachant qu'il doit toujours y avoir un essieu au droit de la section considérée, on a alors :

$$M(x) = \sum_{i=1}^6 P_i Y_i \quad (\text{kg.m})$$

Notons à ce sujet que le calcul automatique facilite grandement la recherche de ces moments maximaux en amenant un à un tous les essieux du convoi au droit de la section.

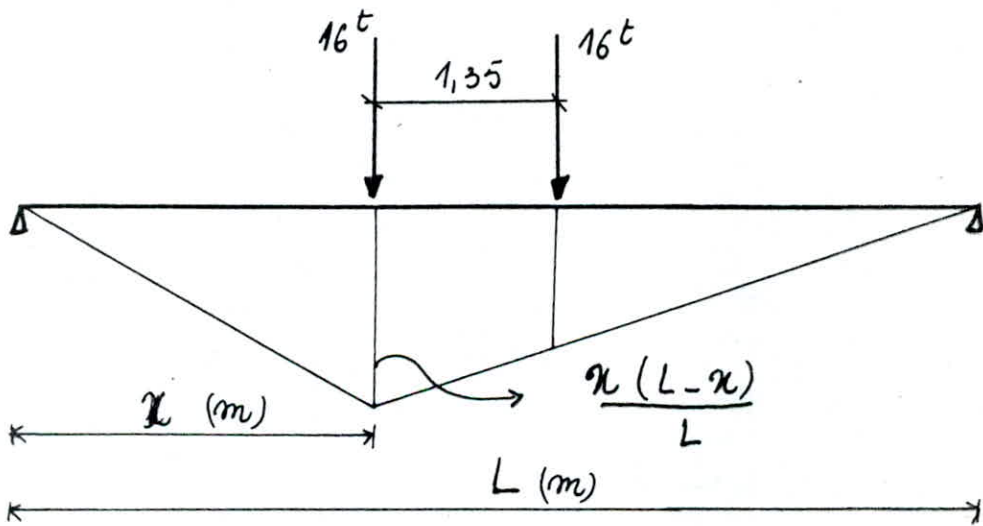
De plus le convoi Bc n'étant pas symétrique, il est prévu dans le programme de le faire circuler dans les deux sens, afin d'obtenir le moment maximum.

Section dangereuse:



b) - Système Bt:

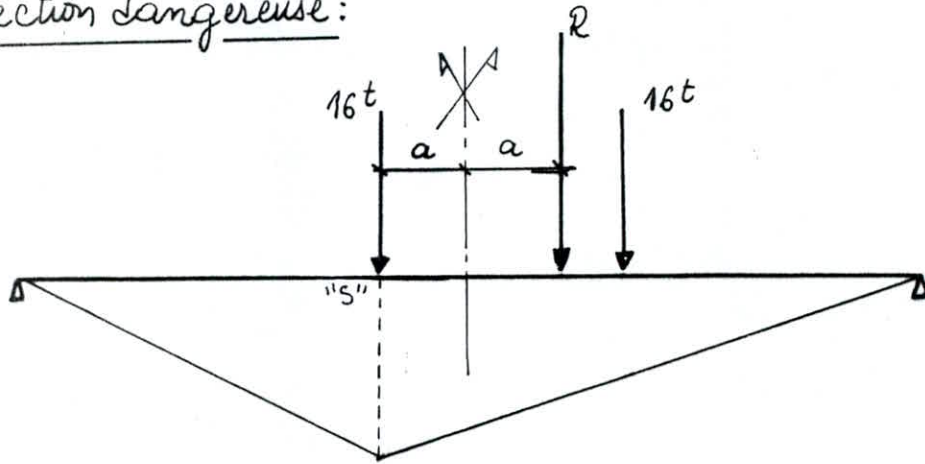
Pour le système Bt, ne comportant que deux essieux, le calcul est plus aisé. Pour un seul tandem on a:



Le moment maximum pour une section d'abscisse x se déduit immédiatement de la ligne d'influence.

$$M(x) = 16000 \frac{x}{L} (2(L-x) - 1,35) \quad (\text{kg.m})$$

Section dangereuse:



2.1.1.4 Surcharges Militaires:

Le système Π_e étant composé d'un groupe de deux essieux, on procédera exactement comme pour le système β_t , soit:

- Pour la classe M80 : (distance entre essieux : 1,50 m)

- Moment dans la section d'abscisse x :

$$M(x) = 22000 \frac{x}{L} (2(L-x) - 1,50) \quad (\text{kg. m})$$

- Abscisse de la section dangereuse : $\frac{L}{2} - 0,375$ (m).

- Pour la classe M120 : (distance entre essieux : 1,80 m)

- Moment dans la section d'abscisse x :

$$M(x) = 33000 \frac{x}{L} (2(L-x) - 1,80) \quad (\text{kg. m})$$

- Abscisse de la section dangereuse : $\frac{L}{2} - 0,450$ (m)

Pour le système Π_c , on calculera les moments en toute section d'abscisse x de la façon suivante :

- Classe M80 :

$$M(x) = 72000 x \frac{(L-x)}{L} \cdot (L - 2,45) \quad (\text{kg. m})$$

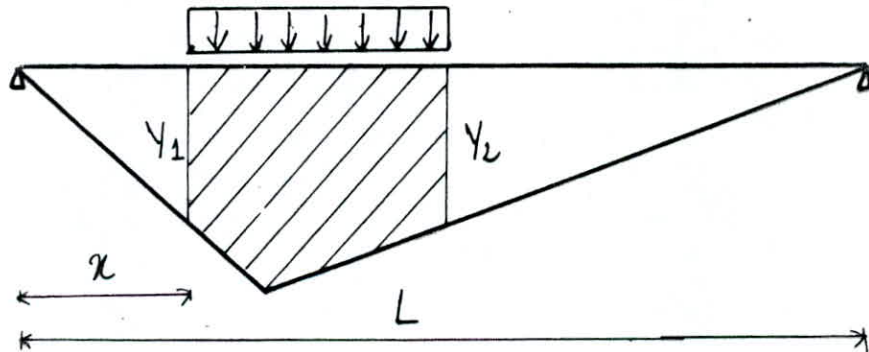
- classe $\Pi 120$:

$$M(x) = 110\,000 x \frac{(L-x)}{L^2} \cdot (L - 3,05) \quad (\text{kg.m})$$

Les formules tiennent compte d'une propriété connue de la ligne d'influence qui montre que le moment fléchissant dans une section dû à une charge uniformément répartie est maximum lorsque les ordonnées de la ligne d'influence correspondant aux extrémités de la charge sont égales.

- Position du char occasionnant le moment maximum

$$Y_1 = Y_2$$



2.1.15 Surcharges exceptionnelles:

Le convoi D étant une charge supposée uniformément répartie sur une longueur de $18,60$ m, on raisonnera de la même façon que pour le système M_c à condition toute fois que la portée de la travée soit supérieure à $18,60$ m.

Donc pour toute la section, on a :

$$- \text{si } L > 18,60 \text{ m: } M(x) = 240,000 \frac{x(L-x)}{L^2} (L-9,30)$$

$$- \text{si } L \leq 18,60 \text{ m: } M(x) = 12,9 \frac{x(L-x)}{2} \quad (\text{kg.m})$$

2.1.1.6 Surcharges de Trottoirs :

Le calcul ne présente pas de particularité, on chargera successivement un trottoir, puis les deux, et le moment pour toute section d'abscisse x est :

$$M(x) = Q \cdot \frac{x(L-x)}{2} \quad (\text{kg.m})$$

Avec :

$$Q = 150 \cdot l \quad (\text{kg.m}) ;$$

l = largeur chargée en mètres .

EFFORTS

TRANCHANTS

NON REPARTIS

Efforts tranchants non répartis :

1. Charges permanentes :

Les charges étant uniformément réparties sur tout le pont, donc le calcul de l'effort tranchant en chaque section ne pose pas de problème :

On a :

$$T(x) = Q \left(\frac{L}{2} - x \right) \quad (\text{kg})$$

Avec :

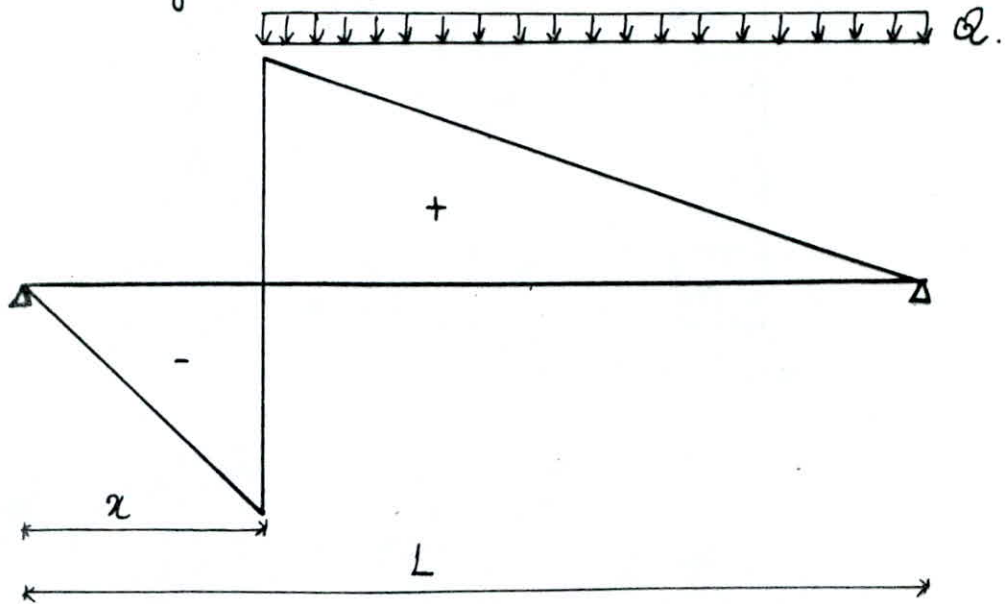
Q = intensité des charges permanentes (kg/m)

x = abscisse de la section (m)

L = portée de la travée (m)

2. Surcharges A et surcharges de trottoirs :

Pour ces deux types de surcharges, on procédera de la même manière en chargeant entre zéros de la ligne d'influence de l'effort tranchant :



Notons que l'intensité des surcharges A est différente en chaque section puisque la longueur chargée varie avec la section ; on a alors :

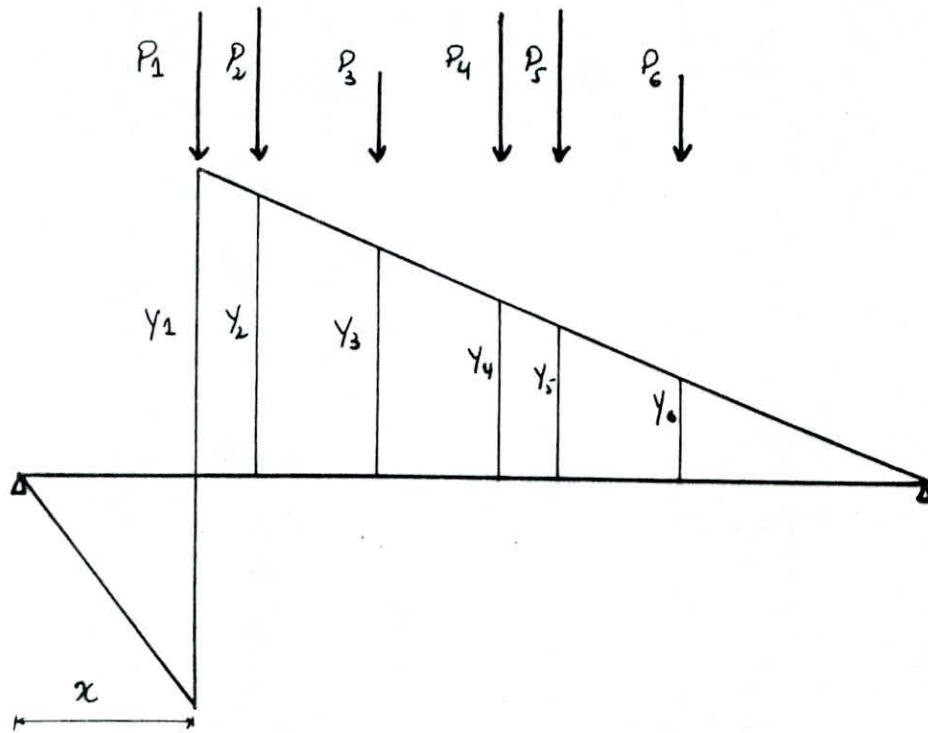
$$T(x) = \frac{Q}{2L} (L - x)^2 \quad (\text{kg})$$

3. Systèmes à essieux :

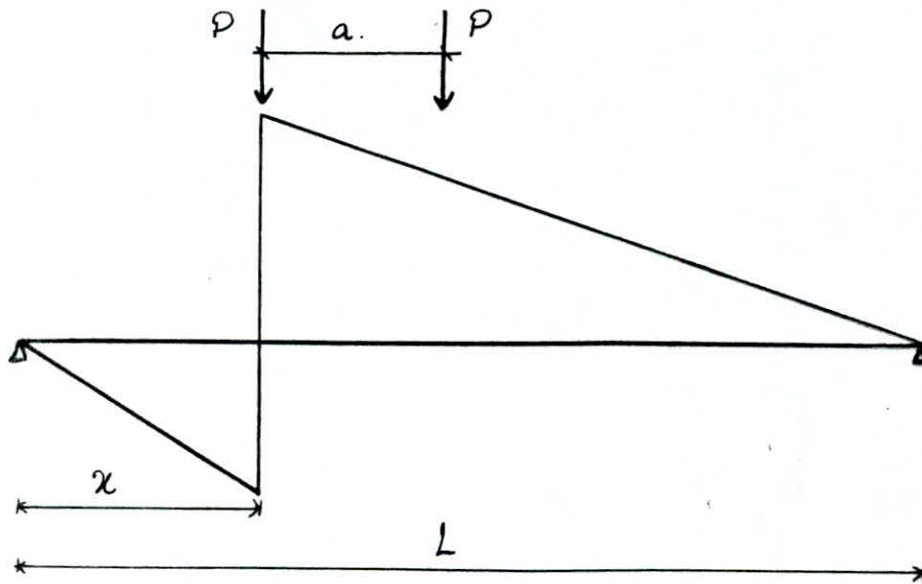
a. / Système Bc :

L'effort tranchant maximal dans chaque section est calculé par la ligne d'influence :

$$T(x) = \sum_{i=1}^n P_i \gamma_i$$



b./ Systeme B_t et M_e :



D'après la ligne d'influence on obtient :

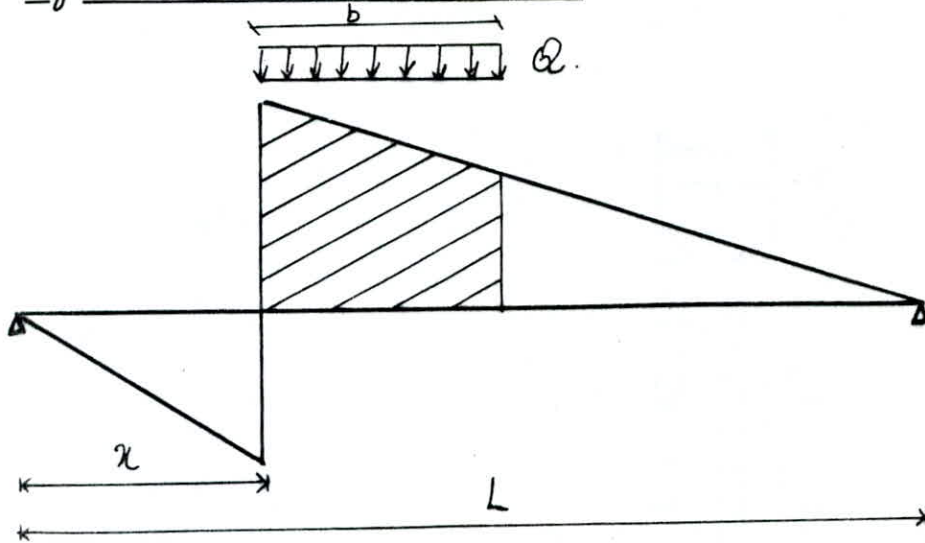
$$T(x) = \frac{P}{L} (2(L-x) - a) \quad (\text{kg})$$

Avec ; Pour B_t : $P = 16^t$; $a = 1,35 \text{ m}$.

Pour $M_e 80$: $P = 22^t$; $a = 1,50 \text{ m}$.

Pour $M_e 120$: $P = 33^t$; $a = 1,90 \text{ m}$.

4. Systèmes à chenilles (Mc) :



On obtient pour l'effort tranchant :

$$T(x) = Q \cdot \frac{b}{2L} (2(L-x) - b)$$

avec ; Pour $M_c 80$: $Q = 14690 \text{ kg/m}$; $b = 4,90 \text{ m}$.

Pour $M_c 120$: $Q = 18030 \text{ kg/m}$; $b = 6,10 \text{ m}$.

5. Système exceptionnel :

Avec les notations précédentes, on a pour le système

Δ :

$$Q = 12900 \text{ kg/m} ; b = 18,60 \text{ m}$$

D'où pour toute section x , l'effort tranchant :

- Si $L - x > 18,60$: $T(x) = Q \cdot \frac{b}{2L} (2(L-x) - b)$

- Si $L - x \leq 18,60$: $T(x) = \frac{Q}{2L} (L-x)^2$

**COEFFICIENT DE
REPARTITION
TRANSVERSALE**

1. Hypothèses :

Lorsque la rigidité de l'entretoise est supérieure ou égale à 0,3, nous devons tenir compte de la valeur exacte de cette rigidité et la méthode la plus appropriée dans ce cas est celle dite méthode de GUYON et MASSONNET, cette méthode est d'autant plus appréciée lorsqu'il s'agit de pont à poutres multiples où nous tenons compte exactement de l'effet de la résistance du pont à la torsion.

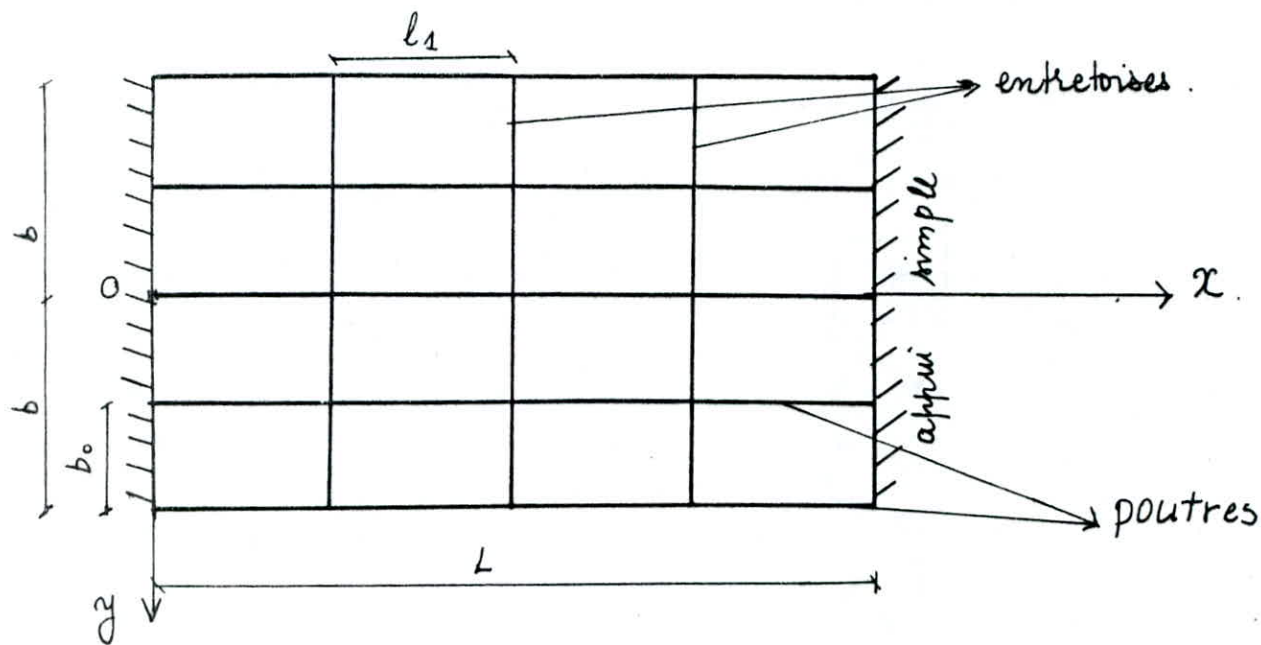
2. Principes de la méthode :

La méthode de calcul consiste essentiellement :

- à substituer au pont réel un pont à structure continue qui a même rigidités moyennes à la flexion et à la torsion que l'ouvrage réel, mais qui est analysable rigoureusement par le calcul différentiel,
- à analyser de manière approchée l'effet de la répartition transversales des charges, en admettant que cette répartition soit la même que si la distribution des charges selon l'axe du pont était sinusoïdal et de la forme :

$$P = P_0 \sin \frac{\pi x}{l}$$

où P_0 est une constante et l la portée du pont.



2.1 Les deux paramètres fondamentaux:

Le pont est constitué par m poutres espacées de b_0 mètres et par n entretroises espacées de l_1 mètres.

On désigne par:

- $B_p = EI_p$, la rigidité flexionnelle des poutres;

- $B_E = EI_E$, la rigidité flexionnelle des entretroises

E : étant le module d'élasticité longitudinal

I_p : étant l'inertie de la poutre

I_E : étant l'inertie de l'entretroise

- $C_p = GJ_p$, la rigidité torsionnelle des poutres

- $C_E = GJ_E$, la rigidité torsionnelle des entretroises.

Le pont à structure continue équivalent au pont réel aura pour rigidités flexionnelles par unité de longueur:

$$S_p = \frac{B_p}{b_1} \quad , \quad \text{et} \quad , \quad S_E = \frac{S_E}{l_1}$$

et pour rigidités torsionnelles par unité de longueur :

$$\gamma_p = \frac{C_p}{b_1} \quad , \quad \text{et} \quad , \quad \gamma_E = \frac{C_E}{l_1} \quad .$$

L'influence relative de la torsion est caractérisée par le paramètre de torsion α , qui peut évoluer selon les cas entre 0 et 1. On peut montrer que le comportement du pont est complètement défini par ce paramètre α et par le paramètre d'entretoisement θ , tels que :

$$\theta = \frac{b}{L} \sqrt{\frac{S_p}{S_E}} \quad (\text{paramètre d'entretoisement})$$

et

$$\alpha = \frac{\gamma_p + \gamma_E}{2\sqrt{S_p \cdot S_E}} \quad (\text{paramètre de torsion}).$$

Notons que dans notre cas, le calcul se fait pour pont à pontes multiples sans entretoises, donc c'est l'hourdis qui va assurer le rôle d'entretoise.

Pour le calcul de l'inertie de l'entretoise I_E , nous considérons une largeur de 1 mètre d'hourdis.

2.2 Coefficient de répartition transversale:

Sous l'effet d'une charge linéaire répartie sur une parallèle à l'axe du pont d'excentricité e et suivant la loi sinusoïdale $P' = P \sin \frac{\pi x}{L}$, on peut montrer que le pont prend une déformée de la forme:

$$W(x, y) = W(y) \sin \frac{\pi x}{L}$$

si la charge P_1 , au lieu d'être répartie sur une ligne, était uniformément étalée sur une largeur $2b$ du pont tout en restant sinusoïdale dans le sens de l'axe, le pont prendrait une déformée cylindrique:

$$W_m(x, y) = W_m \sin \frac{\pi x}{L}$$

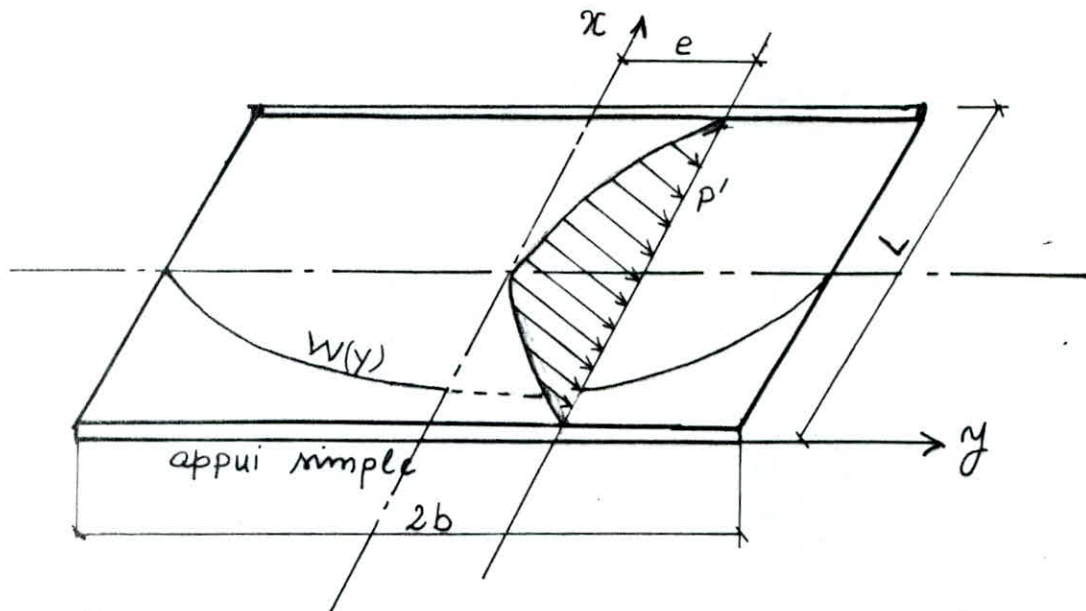
On appelle par définition, coefficient de répartition transversale, le rapport sans dimensions:

$$K(y) = \frac{W(y)}{W_m}$$

le coefficient K dépend de θ et de α , de l'excentricité e de la charge et de l'ordonnée y du pont considéré.

donc il dépend de:

1. la valeur du paramètre d'entretournement θ ;
2. la valeur du paramètre de torsion α ;
3. l'excentricité relative e/b de la charge linéaire;
4. l'ordonnée relative y/b du point du pont considéré.



Pour une valeur α , on peut avoir les valeurs de K_α correspondant à ce paramètre de torsion, pour cela on utilisera la loi d'interpolation établie par SATTLER

- Pour $0 < \alpha < 0,1$, $K_\alpha = K_0 + (K_1 - K_0) \alpha^{0,05}$

- Pour $0,1 < \alpha \leq 1$, $K_\alpha = K_0 + (K_1 - K_0) \alpha \left(1 - e^{-\frac{0,065 - \alpha}{0,663}}\right)$

- Pour $\alpha > 1$, $K_\alpha = K_0 + (K_1 - K_0) \sqrt{\alpha}$

K_0 et K_1 sont respectivement les coefficients de répartition transversale pour $\alpha = 0$ et $\alpha = 1$.

- Les valeurs de K_0 ont été calculées à l'aide de la formule suivante :

$$K_0 = 2\lambda b \frac{1}{\operatorname{sh}^2 2\lambda b - \sin^2 2\lambda b} \left(2 \operatorname{ch} \lambda (b-y) \cos (b-y) [\operatorname{sh} 2\lambda b \dots \right.$$

$$\dots \cos \lambda (b-e) \operatorname{ch} \lambda (b+e) - \sin 2\lambda b \operatorname{ch} \lambda (b-e) \cos \lambda (b+e)] +$$

$$+ [(-\operatorname{ch} \lambda (b-y) \sin \lambda (b-y) + \operatorname{sh} \lambda (b-y) \cos \lambda (b-y)] \dots$$

$$\dots \left\{ \operatorname{sh} 2\lambda b [\sin \lambda (b-e) \operatorname{ch} \lambda (b+e) - \cos \lambda (b-e) \operatorname{sh} \lambda (b+e)] \right.$$

$$\left. + \sin 2\lambda b [\operatorname{sh} \lambda (b-e) \cos \lambda (b+e) - \operatorname{ch} \lambda (b-e) \sin \lambda (b+e)] \right\}$$

sans cette formule la notation λ a la signification suivante :

$$\lambda = \frac{\pi}{e\sqrt{2}} \sqrt[4]{\frac{I_P}{I_E}}$$

- Les valeurs de K_1 ont été calculées à l'aide de la formule suivante :

$$K_1 = \frac{\sigma}{2 \operatorname{sh}^2 \sigma} \left[(\sigma \operatorname{ch} \sigma + \operatorname{sh} \sigma) \operatorname{ch} \theta \chi - \theta \chi \operatorname{sh} \sigma \operatorname{sh} \theta \chi + \dots \right. \\ \left. - \frac{P_\beta P_\gamma}{3 \operatorname{sh} \sigma \operatorname{ch} \sigma - \sigma} + \frac{Q_\beta Q_\gamma}{3 \operatorname{sh} \sigma \operatorname{ch} \sigma + \sigma} \right]$$

en posant :

$$P_\mu = (\sigma \operatorname{ch} \sigma - \operatorname{sh} \sigma) \operatorname{ch} \theta \mu - \operatorname{sh} \sigma \theta \mu \operatorname{sh} \theta \mu;$$

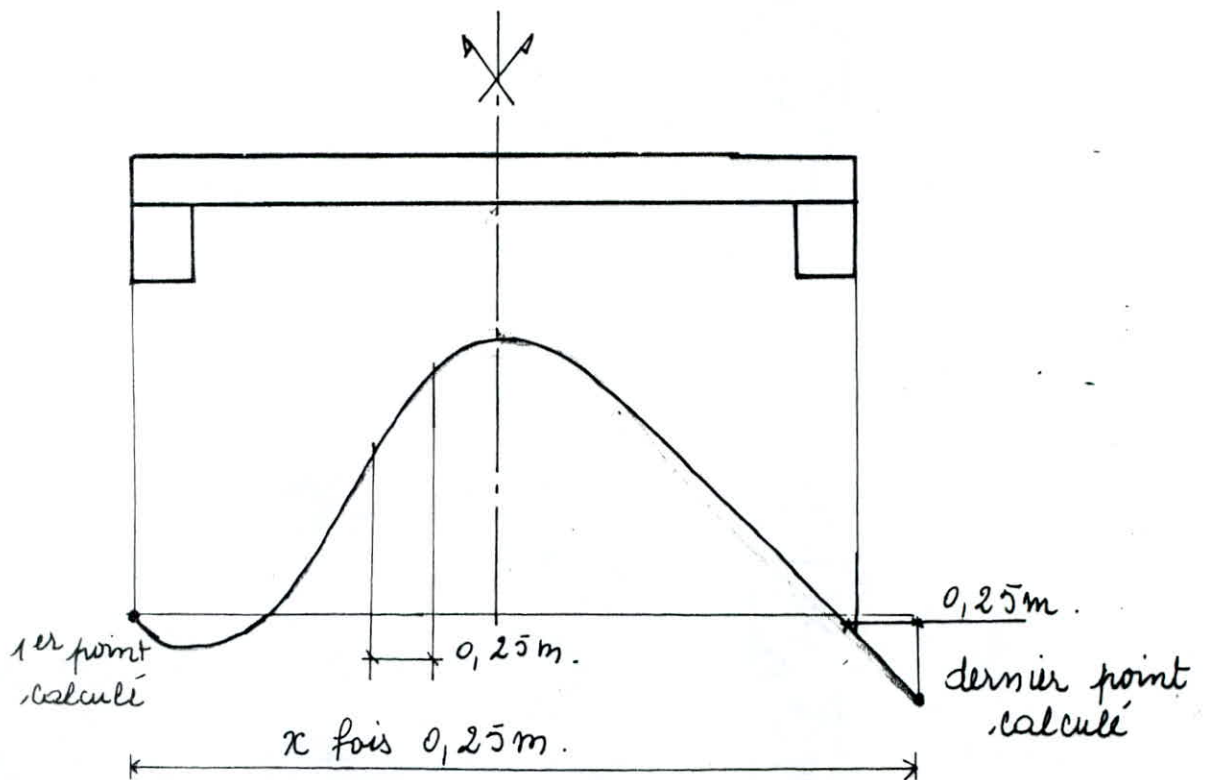
$$Q_\mu = (2 \operatorname{sh} \sigma + \sigma \operatorname{ch} \sigma) \operatorname{sh} \theta \mu - \operatorname{sh} \sigma \theta \mu \operatorname{ch} \theta \mu.$$

avec :

$$\theta = \frac{b}{l} \sqrt[4]{\frac{I_P}{I_E}}, \quad \chi = \frac{\pi e}{b}, \quad \beta = \frac{\pi y}{b}, \quad \sigma = \theta \pi, \quad \gamma = \pi - |\beta - \chi|$$

$\frac{e}{b}$ = l'excentricité relative de la charge linéaire $P(x)$;
 $\frac{y}{b}$ = l'ordonnée relative du point du pont considéré.

Notons que dans le programme de calcul, les valeurs de K_2 sont calculées tous les 0,25m, ces valeurs se lisent de la gauche vers la droite.



La précision de la valeur K_2 en rive n'est parfaite que pour un pont symétrique dont les trottoirs et chaussées sont des multiples de 0,25 m.

2.3 Calcul des paramètres θ et α :

* Calcul de θ :

Soit I_p l'inertie moyenne de la poutre qui sera calculée de la façon suivante :

$$I_p = I_m = I_0 + \frac{8}{3\pi} (I - I_0)$$

où I_0 et I sont les moments d'inertie respectivement à l'appui et en travée de la section complète avec

$$n = 0 \dots$$

* Calcul de α :

Pour le calcul des rigidités torsionnelles Γ_p , nous décomposons la section en sections rectangulaires élémentaires,

on a :
$$\alpha = \frac{\gamma_p + \gamma_E}{2\sqrt{I_p I_E}}$$

avec :
$$\gamma_p = \frac{C_p}{b_1} = \frac{G \Gamma_p}{b_1} \quad \text{et} \quad \gamma_E = \frac{C_E}{l_1} = \frac{G \Gamma_E}{l_1}$$

si nous prenons $G \approx \frac{E}{2}$ ($\nu=0$), nous aurons :

$$\alpha = \frac{\frac{\Gamma_p}{b_1} + \frac{\Gamma_E}{l_1}}{4\sqrt{\frac{I_p \cdot I_E}{b_1 \cdot l_1}}}$$

avec :

Γ_p = inertie de torsion de la poutre

Γ_E = inertie de torsion de l'entretoise

* Calcul de Γ_p et Γ_E :

L'inertie de torsion d'un rectangle de longueur b et de hauteur h est :

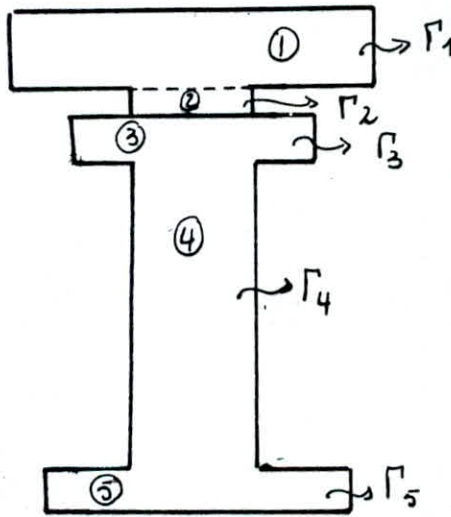
$$\Gamma = (K)_{b/h} \cdot b \cdot h^3 \quad \text{avec} \quad b/h > 1.$$

K prenant les valeurs suivantes en fonction du rapport b/h (DOSSIER PRAB. SETRA)

rapport b/h	1	1,2	1,5	1,75	2,0	2,25	2,50	3	4	5	10	∞
K	0,141	0,166	0,196	0,213	0,229	0,24	0,248	0,263	0,291	0,292	0,312	0,333

Pour tenir compte de la distribution réelle des contraintes de cisaillement dans les sections de rapport b/h élevé, nous avons convenu d'appliquer les corrections suivantes dans l'application de la formule ci-dessus :

- Pour l'âme des poutres, le coefficient K est calculé avec une hauteur double de la hauteur réelle ;
- Pour le hourdis, la valeur de Γ à retenir n'est que la moitié de celle donnée par la formule générale



$$\Gamma_p = \sum_{i=1}^5 \Gamma_i$$

3. Cas de charges étudiés :

Tous les cas de charges, contenus dans le fascicule 61. II peuvent être pris en considération et qui sont :

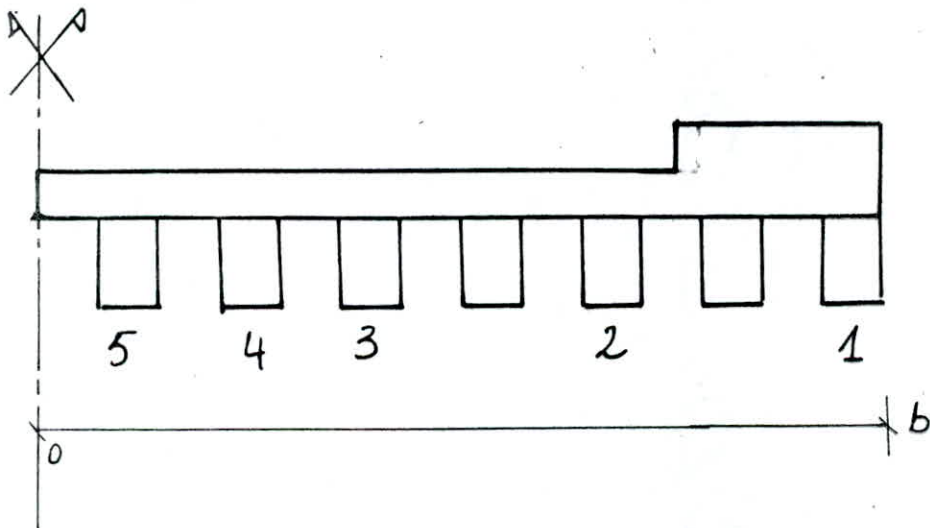
- trottoirs : charges libres : 150 kg/m^2
- charge A(l)
- convoi Bc
- convoi Bt

- 1180
 - 1120
- } charges Militaires
- Convoi type D
 - Convoi type E
- } Convois exceptionnels

4. Abcisses des fibres étudiées :

Les abcisses sont comptées à partir de l'axe de la pontaison.
Le programme de calcul détermine ensuite l'abcisse de la fibre la plus défavorable.

5 fibres théoriques sont ainsi définies :



5- la poutre le plus près possible de l'axe de la pontaison correspondant à la section 0 ;

4- la poutre voisine de la poutre 5 correspondant à la section $b/4$;

3- la poutre le plus près possible du quart de l'ouvrage correspondant à la section $b/2$;

2- la poutre le plus près de l'arête de la bordure

de trottoir, correspondant à la section 3b/4;

1. la poutre du bord de la dalle, correspondant à la section b.

5. Coefficients de répartition transversale:

* Cas de charges localisées:

On calcule les ordonnées y_i de la ligne d'influence de K_α sous chaque surcharge, le coefficient K_α sera obtenu par la formule ci-après:

$$K_\alpha = \frac{\sum P_i y_i}{\sum P_i}$$

dans le sens transversal, les P_i ont même valeur, la formule devient:

$$K_\alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

avec:

n : le nombre de fils de roues ou de chenilles

* Cas de surcharges et charges uniformément réparties dans le sens transversal:

On calcule les aires des lignes d'influence de K_α , on

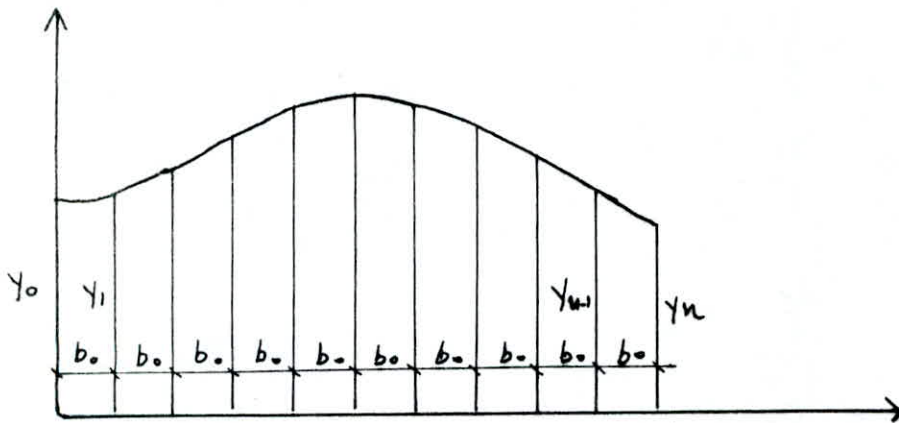
aura:
$$K_\alpha = \frac{\Omega}{l}$$

avec: Ω = aire d'influence

l = largeur chargée

L'aire Ω sera calculée par la méthode des trapèzes:

$$\Omega = \frac{b}{2} \left[y_0 + 2(y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1}) + y_n \right]$$



Notons que pour les deux types de charges, nous avons envisager toutes les dispositions transversales des charges pour avoir le coefficient K_a maximal ; et cela pour les différentes sections à savoir :

$$b, 3b/4, b/2, b/4, 0$$

Paramètres d'entrée

- abscisse de la fibre
- caractéristiques du pont
- caractéristiques géométriques

Calcul de α, θ

Calcul de k_0, k_1

$0 < \theta < 0,1$

Q_{ui}

$k_\alpha = k_1 + (k_1 - k_0) \alpha^{0,05}$

NON

$0,1 < \theta \leq 1$

Q_{ui}

$k_\alpha = k_0 + (k_1 - k_0) \cdot \alpha^{\frac{1 - (0,065 \cdot \theta)}{0,445}}$

NON

$k_\alpha = k_0 + (k_1 - k_0) \cdot \sqrt{\alpha}$

Calcul du coefficient de répartition pour chaque cas de charges (suivant l'existence)

SUBEND

**REPARTITION
DES MOMENTS
FLECHISSANTS**

Calcul des moments fléchissants dans les pontes :

Le moment fléchissant qui revient à chaque poutre sous les sollicitations, sera donné selon la méthode de GUYON-MASSONNET.

6.1 Charges de trottoirs :

$$\text{Moment par poutre} = \frac{M_u \cdot \max(\sum K_{\alpha} \text{ trottoir de gauche et/ou de droite})}{N_b}$$

avec :

N_b = nombre de poutres ;

M_u = moment sur tout le pont ;

Notons qu'on ne retient que les valeurs positives de K_{α} .

6.2 Charges $A(l)$:

• Coefficient de classe par voie chargée : les coefficients correspondent au produit $a_1 \cdot a_2$ pour le cas d'une, deux, trois, quatre ou cinq

voies chargées. Dans le sens transversal le programme charge chaque voie l'une après l'autre qu'il place dans la position la plus défavorable, et donne le coefficient de répartition transversale correspondant à la voie chargée en commençant par la voie d'extrême gauche, puis la 2^{ème}, la 3^{ème}, etc...

- Moment M_u : c'est le moment revenant à tout le pont avec une densité de charge égale à $A(l)$ en kg/m^2 . Le programme recherche la combinaison de voies qui donne l'effet le plus défavorable.

$$\text{Moment par pont} = \frac{M_u [\sum K_\alpha (i \text{ voies}) \cdot a_1 (i \text{ voies}) \cdot a_2]}{N_b}$$

6.3 Charge B_c :

- Les coefficients de répartition sont calculés pour 1, 2, 3, 4 ou 5 voies chargées dans la position la plus défavorable.

- M_u : moment pour tout le pont produit par le convoi type de deux camions de 30 tonnes.

- Coefficient dynamique δ : c'est le maximum des coefficients calculés sous B_c, B_t .

- Moment par pont:
$$\frac{M_u \cdot \max [\sum K_\alpha (i \text{ voies}) \cdot b_c (i \text{ voies})] \cdot \delta}{N_b}$$

avec:

b_c : coefficient de classe par nombre de voies chargées; ce coefficient correspond au coefficient b_c pour 1, 2, 3, 4, ou 5 voies chargées.

6.4 Charge B_t :

- Les coefficients de répartition sont calculés pour 1 ou 2 voies chargées dans la position la plus défavorable.

- M_u : c'est le moment de tout le pont produit par le convoi B_t .

- Coefficient dynamique δ : c'est le maximum des coefficients calculés sous B_c ou B_t .

- Coefficient de classe: les coefficients correspondent au coefficient b_t pour les ouvrages de première et de deuxième classe.

- le moment par pont: $\frac{M_u \cdot \max[\sum K_\alpha(j \text{ voies}) \cdot b_t(j \text{ voies})]}{\delta}$

6.5 Convois militaires M_80 et M_{120} : N_b

- Pas de coefficient de classe

- Coefficient de répartition: c'est celui donné par la position la plus défavorable du char sur l'ouvrage.

- M_u : c'est le moment de tout le pont produit par un char.

- Coefficient dynamique δ : c'est celui propre au cas de charge.

- Moment par pont: $\frac{M_u \cdot \sum K_\alpha \cdot \delta}{N_b}$

6.6 Convois exceptionnels type D N_b et E:

Même calcul que pour les charges militaires mais pas de coefficient dynamique.

- Moment par pont: $\frac{M_u \cdot \sum K_\alpha}{N_b}$

6.7 Récapitulatif pour chaque fibre :

Pour chaque fibre on retient :

* Charges civiles et charges trottoirs :

Le moment maximum des charges civiles et charges trottoirs :

c'est le maximum des moments pondérés par les γ_{ac} de A, B_c, B_t plus le moments de la charge trottoirs qui donnent, avec les superstructures, l'effet le plus défavorable.

* Charges militaires ou exceptionnelles et charges trottoirs

Le moment maximum des charges militaires ou exceptionnelles et charges trottoirs : c'est le maximum des moments de M80 et M120, D et E (suivant leur existence) plus le moment de la charge trottoirs qui donnent, avec les superstructures, l'effet le plus défavorable.

En l'absence de ces charges, seul le moment dû à la charge trottoirs est retenu.

* Superstructures (charges permanentes) :

Le moment maximum des superstructures est le moment (combiné avec les cas de charges précédents) du poids mort des trottoirs et garde corps plus le revêtement de chaussée.

Les charges sont réparties sur toutes les poutres suivant

la methode de GUYON - MASSONNET .

Notons que tous ces moments sont ponderés par les coefficients γ_{Q1} et γ_{Qc} correspondant à l'état limite ultime et à l'état limite d'utilisation.

Les coefficients γ_Q sont définis par plusieurs textes officiels, notamment par l'article 16 de l'I.P.2, ils sont récapitulés dans le tableau ci-dessous pour les cas les plus courants :

Actions	Sollicitations ultimes	Sollicitations d'utilisation
1. Actions de longue durée		
γ_{Q1}	1, 1'	1
γ_{Q12}	0, 9	1
2. Actions intermittentes		
γ_{Qc}		
2.1 - chaussée		
A	1, 33	1, 2
B (B_c, B_t, B_r)	1, 33	1, 2
M	1, 1	1
E	1, 1	1
2.2 - trottoirs		
locale (450 kg/m ²)	1, 33	1
locale (roue de B^t)	1, 33	0
générale (150 kg/m ²)	1, 33	1
Garde corps	1, 33	1

**REPARTITION
DES EFFORTS
TRINCHANTS**

7. Calcul des sollicitations tangentielles sous les diverses actions et pour chaque fibre :

7.1 Charge de trottoirs :

Effort tranchant V par pontre : $V_1 + V_2$ tel que

$$V_1 = \frac{\text{Effort tranchant non réparti (charge trottoirs)} \cdot (\sum K_{\alpha} \text{ trottoir gauche et/ou trottoir droite}) \cdot \gamma_{ac}}{N_b}$$

$$V_2 = \frac{\text{Effort tranchant non réparti (Poids mort)} \cdot (\sum K_{\alpha} \text{ trottoir gauche} + \sum K_{\alpha} \text{ trottoir droite}) \cdot \gamma_{a1}}{N_b}$$

Notons que lorsque les K_{α} sont négatifs, les trottoirs sont supposés non chargés.

Dans ce calcul les charges disposées entre l'appui et l'abscisse $H_t/2$ n'ont pas été prises en compte.

avec : H_t : hauteur totale de la pontre;

N_b : nombre de pontre.

7.2 Charge $A(l)$:

Effort tranchant V par pontre :

$$V = \frac{\text{Effort tranchant non réparti de } A(l) \cdot \text{MAX}(\sum K_{\alpha} (i \text{ voies} \cdot a_1 (i \text{ voies}) \cdot a_2)) \cdot \gamma_{ac}}{N_b}$$

Pour ce cas de charge le programme recherche la combinaison des voies qui donne l'effet le plus défavorable.

De même que pour les charges de trottoirs, les charges disposées entre l'appui et l'abaisse $Ht/2$ n'ont pas été prises en compte.

7.3 Charge B_c :

Nous allons utiliser la disposition suivant PRAD 73 § 3.23: l'essieu le plus proche est placé à une distance $2Ht$ de cet appui.

Calcul de l'effort tranchant proprement dit:

Soit a : l'abscisse longitudinale de la charge P , comptée à partir de l'axe de l'appui;

e : l'espacement entre poutres.

a/- Si $a=0$, la répartition transversale se fait en supposant le hourdis articulé sur les poutres;

b/- si $a \geq 4e$, la répartition transversale obéit aux hypothèses GUYON-MASSONNET;

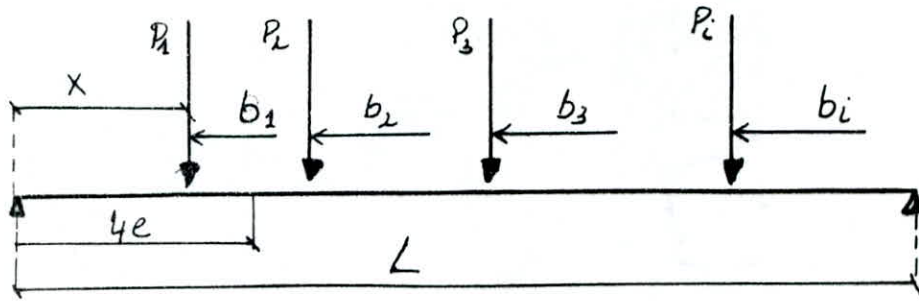
c/- si $0 < a < 4e$, la répartition transversale se fait de la manière suivante:

- la fraction $(1 - \frac{a}{4e})P$ se répartit en supposant le hourdis articulé sur les poutres ($P =$ poids d'une roue)

- la fraction $(\frac{a}{4e})P$ se répartit selon la méthode GUYON-MASSONNET ($P =$ poids d'un essieu)

l'effort tranchant V par poutre:

$$V = V_0 \cdot b_c \cdot \delta \cdot \gamma_Q.$$



$$V_1 = P_1 \left[\frac{1-a}{4e} \right] \frac{b_1}{L} + P_1 \frac{a}{4e} \cdot \frac{b_1}{L} \cdot \frac{K\alpha}{N_b}$$

$$V_2 = P_2 \cdot \frac{b_2}{L} \cdot \frac{K\alpha}{N_b}$$

$$V_3 = P_3 \frac{b_3}{L} \cdot \frac{K\alpha}{N_b}$$

$$V_i = P_i \frac{b_i}{L} \cdot \frac{K\alpha}{N_b}$$

$$V_0 = V_1 + V_2 + V_3 + V_i$$

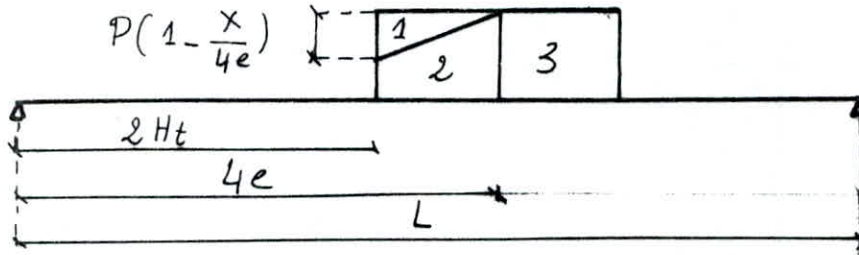
7.4 Charge \$B_t\$:

On utilise la même méthode que pour le système \$B_c\$
l'effort tranchant par pontre :

$$V = V_0 \cdot b_t \cdot \delta \cdot \gamma_a.$$

7.5 Convors Militaires M80 et M120 :

Le début du convoi est placé à une distance \$2H_t\$
de l'appui :



- la charge 1 : (fraction $1 - \frac{a}{4e}$) P est répartie sur les poutres en supposant le Hourdis articulé ($P =$ charge au ml pour un patin) ;
 - la charge 2 : (fraction $\frac{a}{4e}$) P est répartie selon GUYON-MASSONNET ($P =$ charge au ml pour 2 patins) ;
 - la charge 3 : (P) est répartie totalement selon GUYON-MASSONNET ($P =$ charge au ml pour deux patins)
- d'où l'effort tranchant V par poutre :

$$V = V_{\text{total}} \cdot \delta (\text{charge}) \cdot \gamma_Q.$$

7.6 Convois exceptionnels types Det E :

Le calcul se fait de la même façon que pour les charges militaires mais sans coefficient dynamique, qui n'est pas à prendre en compte.

7.7 Revêtement de chaussée :

$$\text{Effort tranchant par poutre} : T \cdot \gamma_Q \cdot \frac{\sum K_a}{N_b}$$

avec :

$T =$ l'effort tranchant total non réparti ;

$N_b =$ nombre de poutres.

Notons que dans ce cas, les charges disposés

entre l'appui et l'abscisse $H/2$ ne sont pas prises en compte avec H = hauteur de la poutre seule.

8. Récapitulatif :

- Abscisse défavorable à l'état limite d'utilisation

On retiendra les combinaisons les plus défavorables pour avoir :

- l'effort tranchant maxi poutre + dalle ;
- l'effort tranchant maxi charge + trottoir + revêtement .

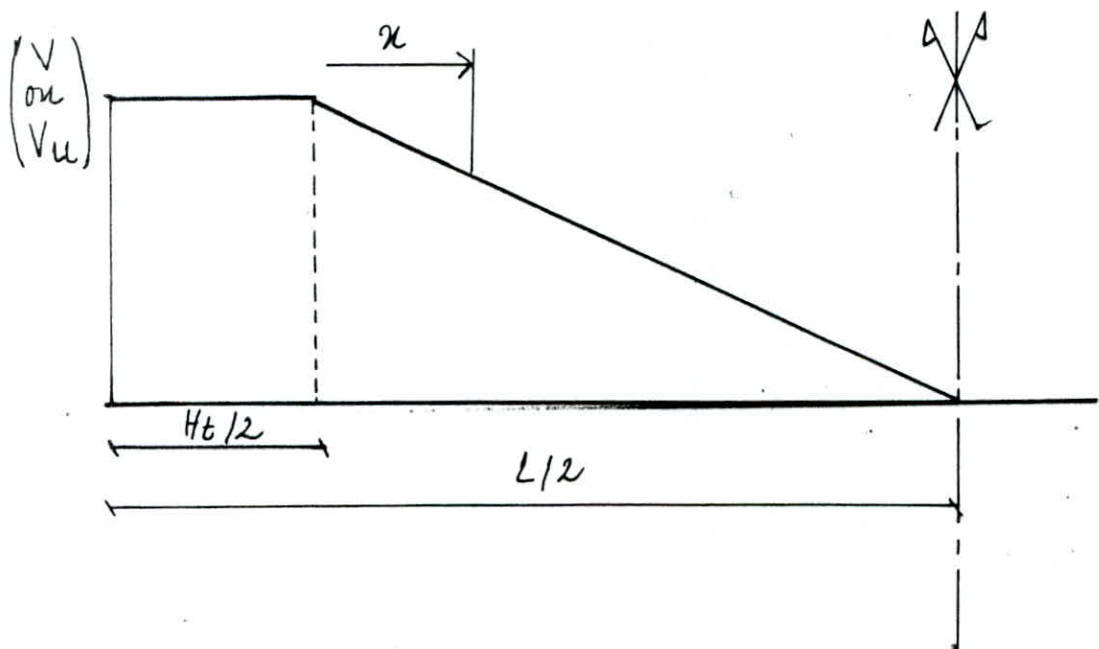
- Abscisse défavorable à l'état limite ultime :

Ils sont calculés à partir des efforts tranchants cités précédemment pour l'état limite d'utilisation pour avoir :

- l'effort tranchant maxi poutre + dalle
- l'effort tranchant maxi charge + trottoir + revêtement

9. Enveloppe des efforts tranchants :

9.1 Enveloppe pour le poids mort poutre + dalle :



$$- x \leq H_t/2 \quad \begin{cases} V_x = V \\ V_{ux} = V_u \end{cases}$$

$$- x > H_t/2 \quad V_x \text{ ou } V_{ux} = \begin{bmatrix} V \\ V_{ux} \end{bmatrix} \left[1 - \frac{x - H_t/2}{L/2 - H_t/2} \right]$$

9.2 Enveloppe pour la combinaison "trottoirs + revêtement + charges":

i- / trottoirs + revêtement:

Pour une fibre donnée, à une abscisse x les efforts tranchants correspondant aux trottoirs et revêtement seront calculés selon la formule précédente.

ii- / Surcharges:

Pour $0 \leq x \leq 2H_t$, l'effort tranchant dû aux surcharges étant constant, car elles sont disposées d'une abscisse $x = 2H_t$ à partir de l'appui, pour cela on recherche la combinaison la plus défavorable obtenue sur appui.

H_t étant la hauteur totale de la poutre.

ANALYSE

INFORMATIQUE

Afin de mener à bien l'élaboration de ce programme, il faut tout d'abord se fixer une démarche à la fois simple et rigoureuse qui, à partir des données initiales, nous mènera à l'édition d'une note de calcul définitive.

C'est cet enchaînement logique des différentes étapes de calcul que nous avons essayé de mettre ici en évidence.

I. Entrée des données :

L'entrée des données se fait de deux façons différentes :

a) - Entrée des données directe :

C'est l'entrée des données la plus couramment utilisée à l'aide de l'instruction "INPUT", elle a été utilisée surtout pour les données telles que les différentes longueurs, les caractéristiques de l'ouvrage ainsi que de la poutre.

b) - Entrée des données à l'aide des clés :

Elle est utilisée lorsqu'il y'a un choix à faire entre deux ou plusieurs valeurs ou données telles que le choix des systèmes ou convois de charges à appliquer, et ceci se fait grâce à l'instruction "ON KEY"; pour le choix, il suffit d'appuyer sur la clé correspondante.

II. Sous programmes:

Le programme développé ici nécessitant de nombreux calculs (souvent répétitifs), il aurait été peu pratique de l'écrire sans l'utilisation de sous-programmes.

C'est pourquoi il se compose dans sa forme définitive d'un programme principal dont le rôle est de "gérer" les nombreux sous-programmes

(pas moins de 40) qui font l'essentiel des calculs. Notons que cette conception a les avantages suivants:

- * le programme principal étant peu surchargé, il est facile à lire et éventuellement à modifier,
- * les sous-programmes étant indépendants, ils sont écrits séparément et la modification éventuelle d'un calcul se fera directement sur le sous-programme correspondant.

Nous nous proposons donc de présenter les principaux sous-programmes utilisés:

- Delta: à partir des caractéristiques du pont (classe, nombre de voies, portée...), le sous-programme calcule les coefficients de majoration dynamique à adopter pour les systèmes B et M.

- geo: ce sous-programme calcule les caractéristiques géométriques de la porte.

Nomfree: ce sous programme calcule les moments dus aux charges permanentes.

M_a, M_{bc}, M_{bt}, M_m, M_o, M_e, M_t: les sous programmes calculent les moments dus aux surcharges civiles (A, B_c, B_t), militaires (M), exceptionnelles (D, E) et sur trottoirs (T).

T_a, T_{bc}, T_{bt}, T_m, T_o, T_e, T_t: les sous programmes calculent les efforts tranchants non repartis dus aux surcharges civiles (A, B_c, B_t), militaires (M), exceptionnelles (D, E) et sur trottoirs (T).

Nka_{lp}: ce sous programme calcule les coefficients de répartition transversale suivant la méthode de GUYON-MASSONNET.

- Répartition: la répartition des moments fléchissants et des efforts tranchants se fait suivant la méthode de GUYON-MASSONNET.

- COMBT: ce sous programme recherche après combinaison des cas de charges, les valeurs extrêmes des moments à prendre en compte dans le calcul et la vérification de la poutre en béton précontraint.

- COMBT: ce sous programme recherche après combinaison des cas de charges, les valeurs extrêmes des efforts tranchants à prendre en compte dans la vérification des sollicitations tangentielles.

- Enveloppe: ce nous programme détermine l'enveloppe des efforts tranchants pour "poids mort poutre + dalle" et pour la combinaison la plus défavorable "trottoir + revêtement + charge"

BPP: après avoir déterminé :

- la valeur du moment max des superstructures ;
- la valeur du moment max des surcharges d'exploitation ;
- la valeur max de l'effort tranchant "poutre + dalle";
- la valeur max de l'effort tranchant "charge + trottoir + revêtement".

nous avons fait la jonction avec le programme vérificateur de la poutre en béton précontraint par fils adhérents qui a été déjà élaboré (voir projet de fin d'études : élaboration d'un logiciel d'une poutre en béton précontraint par fils adhérents (pré-tension) - juin 87.).

Les différentes étapes de calcul et de vérification de ce programme sont :

- * Calcul des forces de précontrainte,
- * vérification des abouts à la mise en précontrainte,
- * vérification à l'état limite d'utilisation,
- * vérification à l'état limite ultime

* Vérification des sollicitations tangentées .

Résultats : le programme permet d'éditer les résultats dans une note de calcul .

III Transfert des constantes du programme principal aux sous programmes :

Le transfert des constantes du programme principal aux différents sous programmes se fait à l'aide de l'instruction "COM" suivie des différents noms de constantes .

Il est important de respecter l'ordre de ces constantes suivant le "COM" dans le programme principal et le sous programme .

IV Chargement des sous programmes :

Le chargement des sous programmes se fait à l'aide de l'instruction "LOAD SUB" nom du sous programme", cette instruction permet d'appeler le sous programme du fichier central et de le charger directement à la suite du programme principal .

V Exécution des sous programmes :

L'exécution se fait grâce à l'instruction "CALL", cette instruction doit être suivie du nom du sous programme et des différents paramètres d'entrée et de sortie qui sont nécessaires aux différents calculs de ce sous programme .

Il est noté que chaque sous programme après son exécution est directement déchargé du programme principal, et cela pour une raison de capacité mémoire.

VI Fichiers :

La notion de fichier est très intéressante lorsque dans un programme la quantité d'informations à traiter est importante.

Ainsi dans ce programme de calcul, tous les résultats intermédiaires sont stockés dans les fichiers numérotés. Cette méthode possède l'avantage suivant :

- gain très important de place en mémoire centrale par rapport à l'utilisation des tableaux,
- Possibilité d'imprimer des résultats à n'importe quel moment directement à partir d'un fichier.

VII Programmation :

Le programme est élaboré sur un mini-ordinateur de type Hewlett-Packard, 260.

Cette machine étant orientée "gestion", elle ne laisse à l'utilisateur, dans sa configuration actuelle, qu'un espace mémoire de 64 kilo-octets, ce qui est relativement peu pour des applications scientifiques.

Heureusement, nous pouvons pallier à cet inconvénient en utilisant des fichiers, et en concevant un

programme structuré grâce à la notion de sous-programmes indépendants.

Le langage de programmation est un BASIC interprété très évolué qui emprunte de nombreuses instructions à des langages scientifiques tels que PASCAL et FORTRAN. Le langage présente de nombreux avantages tels que :

- Une initiation rapide due à la simplicité des instructions,
- le repérage et la correction facile des erreurs grâce à un diagnostic clair affiché à l'écran,
- l'introduction des données sous forme "conversationnelle" qui rend les programmes particulièrement commode à utiliser.

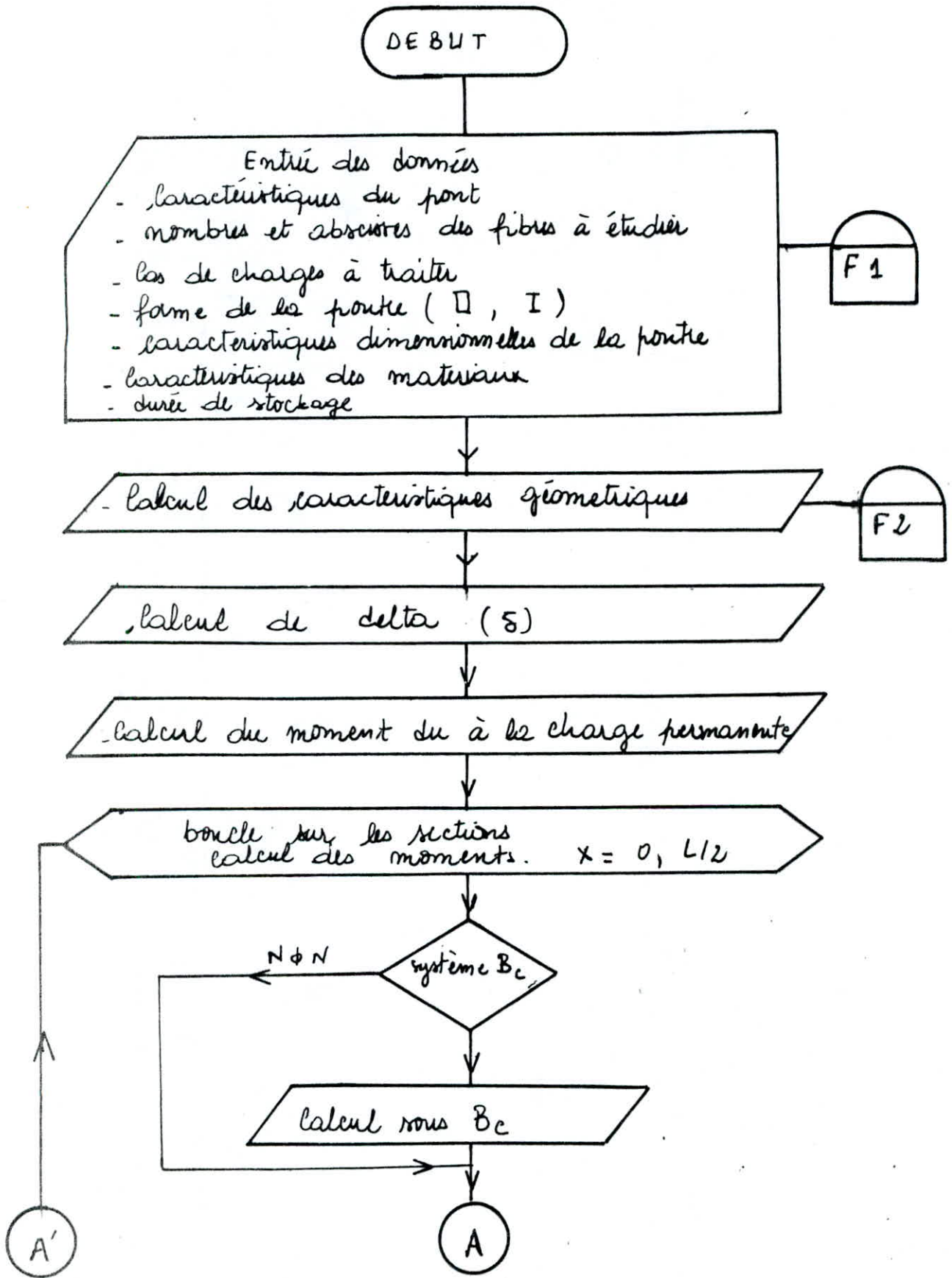
VIII Organigramme :

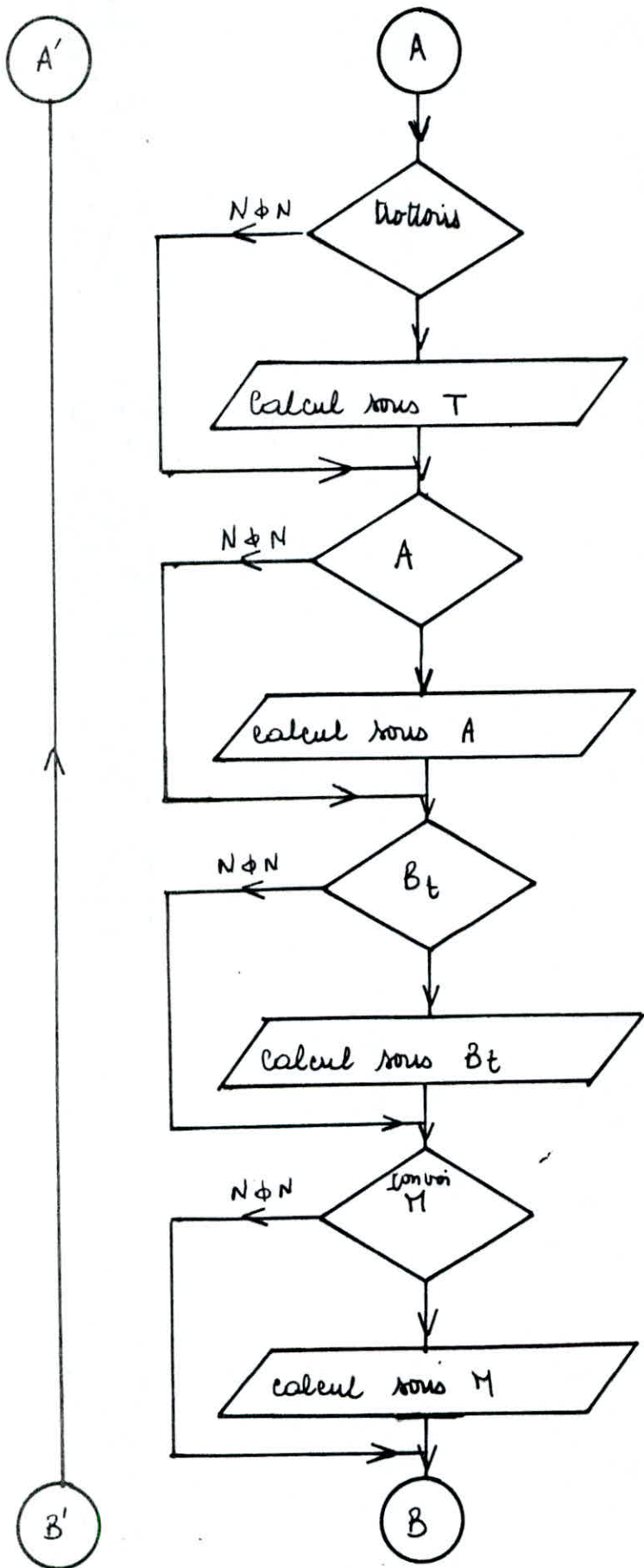
Arrivés à ce stade de l'analyse, nous connaissons :

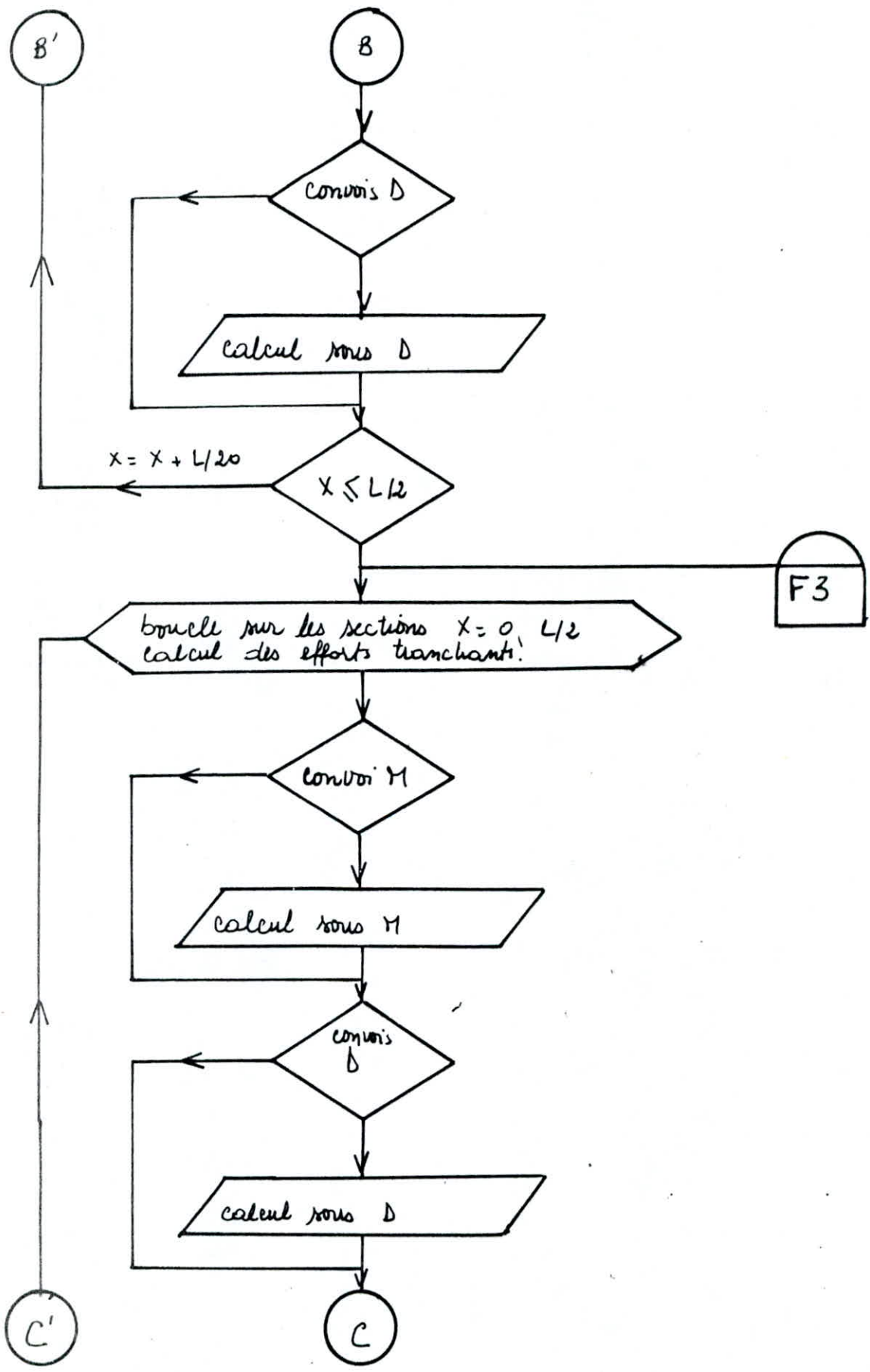
- la logique du programme,
- les sous programmes,
- les fichiers.

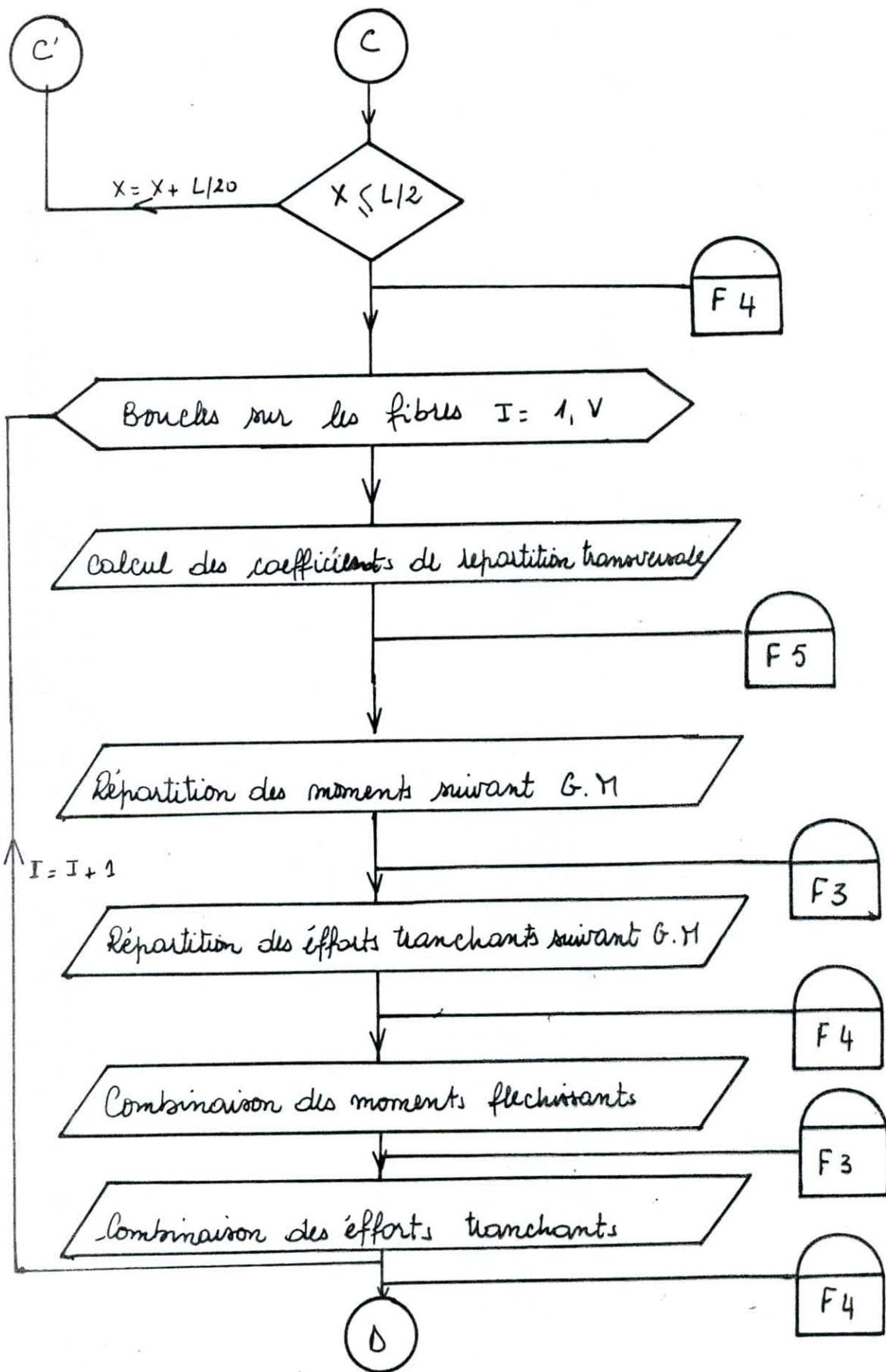
À partir de ces données, il ne reste plus qu'à élaborer l'organigramme général devant aboutir à l'écriture du programme proprement dit.

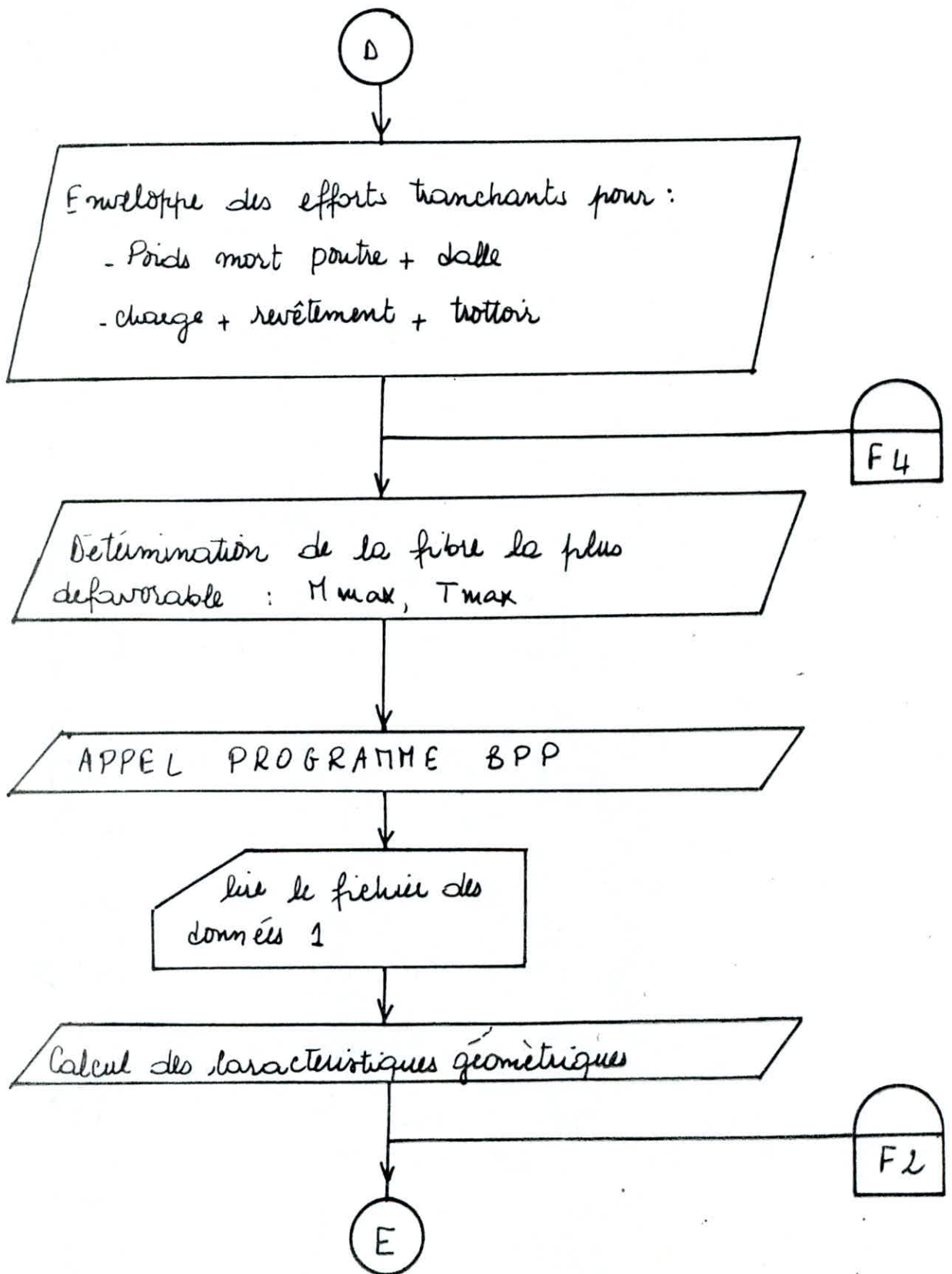
C'est cet organigramme qui est exposé dans les pages suivantes.

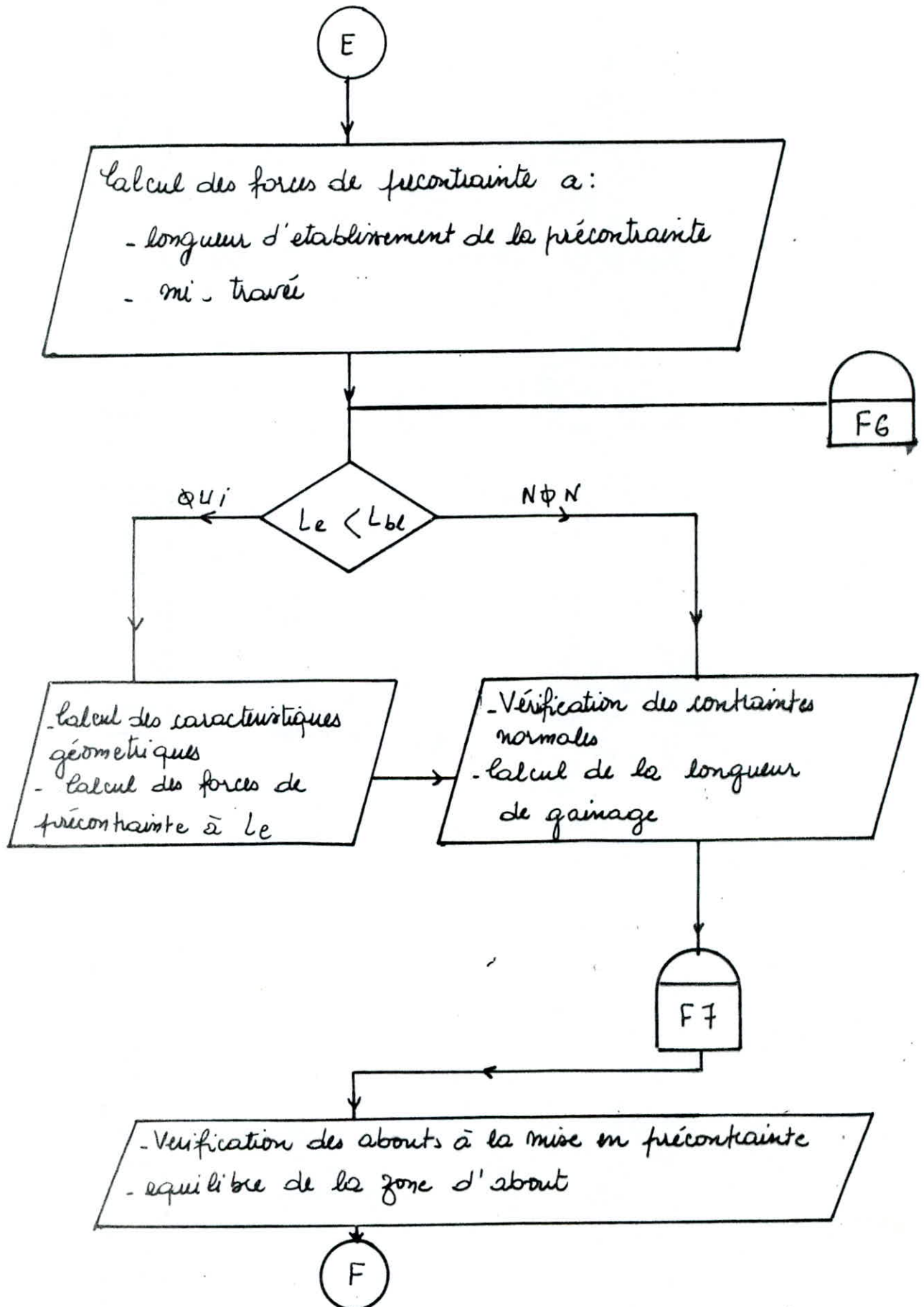


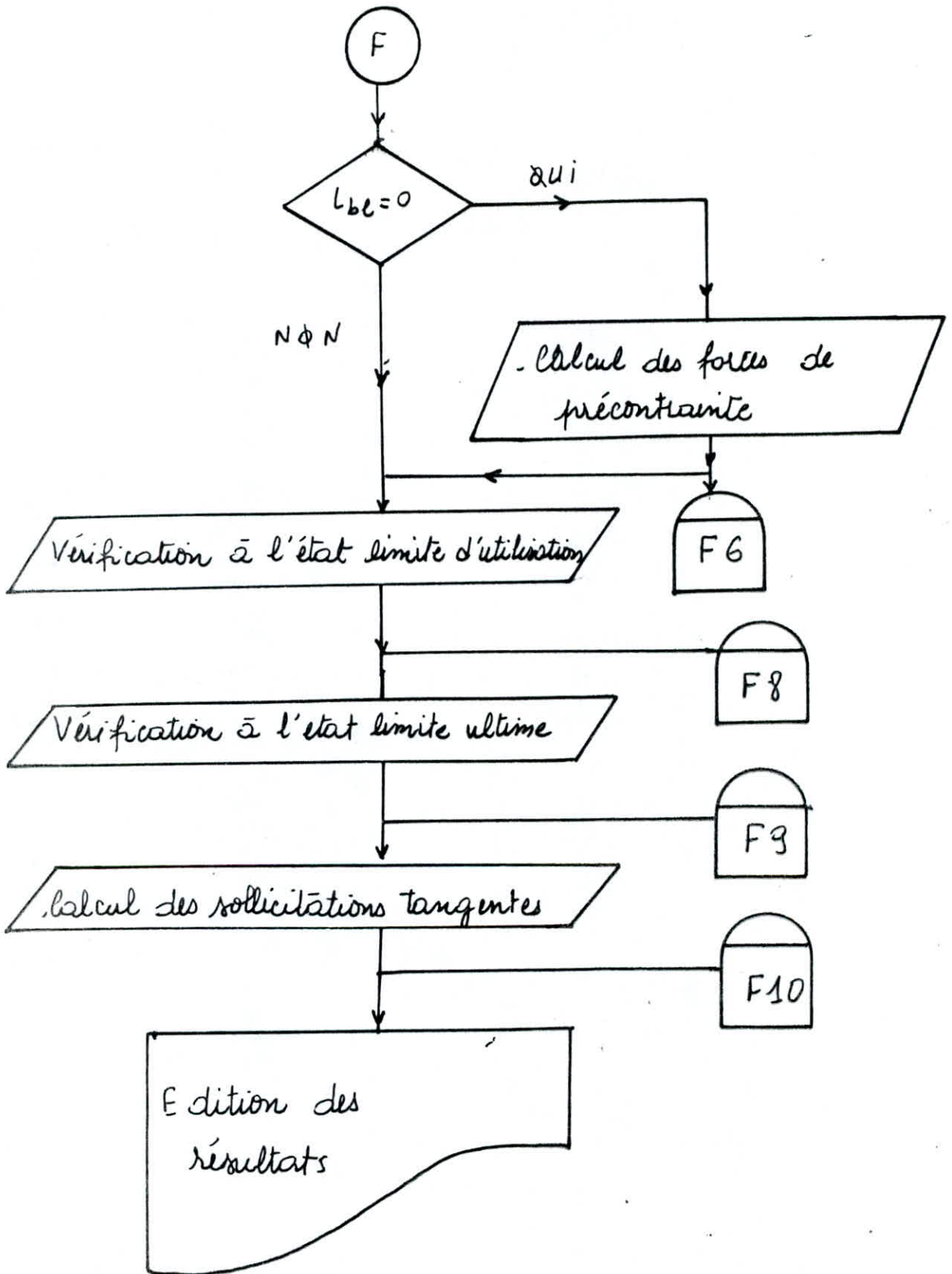












(CONCLUSION)

A travers la présente étude, nous voyons comment les ingénieurs, débarrassés des calculs laborieux grâce au calcul automatique, peuvent se consacrer entièrement aux problèmes de conception des ouvrages. Enfin pour résumer les principaux avantages d'un calcul automatique, nous citons :

- la rapidité du calcul,
- la précision du calcul,
- la possibilité de faire de réelles études technico-économiques,
- la possibilité de standardiser les ouvrages et de réaliser les dessins d'exécution sur table traçante électronique.

ANNEXE

ABSCISSE DE LA FIBRE A ETUDIER =+1.562METRES PAR RAPPORT A L'AXE D'INEPTIE DES POUTRES

LIGNE D'INFLUENCE DU COEF. DE REPARTITION TRANSVERSALE A INTERVALLES DE 0.25 METRES

-0.2350	-0.1942	-0.1531	-0.1114	-0.0696	-0.0242	+0.0224	+0.0716
+0.1243	+0.1810	+0.2424	+0.3091	+0.3818	+0.4608	+0.5468	+0.6399
+0.7403	+0.8480	+0.9628	+1.0841	+1.2110	+1.3422	+1.4762	+1.6106
+1.7427	+1.8691	+1.9855	+2.0870	+2.1676	+2.2202	+2.2366	+2.2093
+2.1336	+2.0046	+1.8162	+1.5877	+1.2317	+0.7640	+0.1400	-0.2920
-1.0112	-1.8502	-2.8190	-3.9200	-5.1765	-6.5773	-8.1306	-9.8369
-11.6928	+0.0000						

* Cas de Charge *	* Nbre de voies chargees *	* Coefficients Dynamiques *	* Coeff. de Repartition *	* Moments (daN*m) *		
* Charge *	* Nbre *	* Coef. Classe *	* M a x i m u m *	* Unitaire *	* Par poutre *	* Nbre de voie(s) *
TROTTOIRS			*(1) -0.80			
			*(2) -5.963		* 42768	* 0
A(L)	1	1.00	* +0.817			
	2	1.00	* +1.456		* 638824	* 145198
Bc	1	1.20	* +1.874			
	2	1.07	* +1.564		* 433350	* 104041
Bt	1	1.00	* +1.874			
	2	1.00	* +1.318		* 370400	* 74106
Mcl20	1	1.07	* +1.548		* 589849	* 81260

Coefficients de Repartition Transversale - (1)=Trottoir de gauche - (2)=Trottoir de droite

RECAPITULATIF POUR CETTE FIBRE

	* Moments (en daN*m) a l'etat *	
	* Limite ultime *	* Limite d'utilisation *
* CHARGES CIVILES ET SUR TROTTOIRS	* 155001	* 102064
* CHARGES MILITAIRES OU EXCEPT. ET SUR TROTTOIRS	* 124482	* 079716
* SUPERSTRUCTURES	* 025911	* 019630

ABSCISSE DE LA FIBRE A ETUDIER =+2.605METRES PAR RAPPORT A L'AXE D'INERTIE DES POUTRES

LIGNE D'INFLUENCE DU COEF. DE REPARTITION TRANSVERSALE A INTERVALLES DE 0.25 METRES

-0.1493	-0.1319	-0.1142	-0.0961	-0.0773	-0.0575	-0.0361	-0.0128
+0.0130	+0.0417	+0.0739	+0.1103	+0.1514	+0.1978	+0.2502	+0.3090
+0.3748	+0.4481	+0.5293	+0.6185	+0.7159	+0.8215	+0.9349	+1.0556
+1.1828	+1.3152	+1.4513	+1.5887	+1.7250	+1.8566	+1.9797	+2.0892
+2.1795	+2.2437	+2.2738	+2.2616	+2.2025	+2.0916	+1.9230	+1.6897
+1.3837	+0.9966	+0.5190	-0.0585	-0.7458	-1.5524	-2.4879	-3.5607
-4.7785	+0.0000						

```

*****
*   Cas   * Nbre de voies chargees * Coefficients * Coeff. de Repartition *           M o m e n t s (daN*m)
*   de    * -----!-----* -----* -----* -----* -----* -----*
* Change  * Nbre   ! Coef. Classe * Dynamiques *           M a x i m u m *           U n i t a i n e   !   P a r   p o u t r e   (Nbre de voi
*****
* TROTTOIRS *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
*   *   !   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
*   *   !   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
*****
* A(L)     *   1   !   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
*   *   2   !1.00 *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
*****
* Bc       *   1   !   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
*   *   2   !1.20 *1.07 *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
*****
* Bt       *   1   !   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
*   *   2   !1.00 *1.07 *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
*****
* Mci20    *   1   !   *1.07 *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *   *
*****
Coefficients de Repartition Transversale - (1)=Trottoir de gauche - (2)=Trottoir de droite

```

ABSCISSE DE LA FIBRE A ETUDIER =+3 644METRES PAR RAPPORT A L'AXE D'INERTIE DES POUTRES

LIGNE D'INFLUENCE DU COEF. DE REPARTITION TRANSVERSALE A INTERVALLES DE 0.25 METRES

- 0594	- 0576	- 0557	- 0535	- 0509	- 0477	- 0435	- 0382
- 0315	- 0228	- 0120	+ 0015	+ 0181	+ 0383	+ 0628	+ 0919
+ 1263	+ 1667	+ 2136	+ 2675	+ 3291	+ 3989	+ 4774	+ 5649
+ 6616	+ 7677	+ 8832	+ 1 0076	+ 1 1405	+ 1 2809	+ 1 4275	+ 1 5785
+ 1 7317	+ 1 8841	+ 2 0322	+ 2 1715	+ 2 2967	+ 2 4014	+ 2 4781	+ 2 5188
+ 2 5183	+ 2 4721	+ 2 3744	+ 2 2182	+ 1 9954	+ 1 6971	+ 1 3133	+ 8336
+ 2469	+ 0 0000						

```

*****
* Cas * Nbre de voies chargees * Coefficients * Coeff. de Repartition * Moments (daNm) *
* de *
* Charge * Nbre * Coef. Classe * Dy * Maximum * Unitaire * Par poutre * Nbre de voie(s) *
*****
* TROTTOIRS *
* * * * *
* (1) - 047 *
* (2) + 2.211 *
* 42768 * 7881 *
*****
* A(L) * 1 * 1.00 * * + 188 *
* 2 * 1.00 * + 1.855 * 638824 * 130512 * 2 *
*****
* Bc * 1 * 1.20 * + 1.07 * + 1.880 *
* 2 * 1.20 * + 1.07 * + 1.328 * 433350 * 104365 * 1 *
*****
* Bt * 1 * 1.00 * + 1.07 * + 1.771 *
* 2 * 1.00 * + 1.07 * + 1.042 * 370400 * 70043 * 1 *
*****
* Mc120 * 1 * 1.07 * + 1.07 * + 1.643 * 589849 * 86250 * 1 *
*****
Coefficients de Repartition Transversale - (1)=Trottoir de gauche - (2)=Trottoir de droite
    
```

RECAPITULATIF POUR CETTE FIBRE

```

*****
* Moments (en daNm) a l'etat *
* Limite ultime * Limite d'utilisation *
*****
* CHARGES CIVILES ET SUR TROTTOIRS * 153478 * 108520 *
* CHARGES MILITAIRES OU EXCEPT. ET SUR TROTTOIRS * 128995 * 090749 *
* SUPERSTRUCTURES * 023290 * 017644 *
*****
    
```


ABSCISSE DE LA FIBRE A ETUDIER =+4.682METRES PAR RAPPORT A L'AXE D'INERTIE DES POUTRES

LIGNE D'INFLUENCE DU COEF. DE REPARTITION TRANSVERSALE A INTERVALLES DE 0.25 METRES

+ 0252	+ 0161	+ 0070	- 0019	- 0106	- 0191	- 0272	- 0348
- 0418	- 0480	- 0532	- 0572	- 0596	- 0602	- 0585	- 0541
- 0465	- 0350	- 0191	+ 0019	+ 0289	+ 0627	+ 1041	+ 1540
+ 2134	+ 2832	+ 3645	+ 4582	+ 5651	+ 6861	+ 8218	+ 9728
+1.1393	+1.3213	+1.5185	+1.7301	+1.9546	+2.1902	+2.4342	+2.6829
+2.9318	+3.1751	+3.4056	+3.6149	+3.7973	+3.9473	+4.0583	+4.1215
+4.1265	+0.0000						

```

*****
*      Cas      * Nbre de voies chargees * Coefficients * Coeff. de Repartition *      Moments (daN*m)      *
*      de      *-----*-----*-----*-----*-----*-----*
* Charge      * Nbre  ! Coef. Classe* Dy      *      Unitaire      ! Par poutre      !Nbre de voie(s) *
*****
*   TROTTOIRS *      *      *      *      *      *      *      *
*      *      *      *      *      *      *      *      *
*      *      *      *      *      *      *      *      *
*   A(L)      *  1  !      *      *      *      *      *      *
*      *  2  !1.00 *      *      *      *      *      *      *
*      *      *      *      *      *      *      *      *
*   Bc        *  1  !      *      *      *      *      *      *
*      *  2  !1.20 * 1.07 *      *      *      *      *      *      *
*      *      *      *      *      *      *      *      *
*   Bt        *  1  !      *      *      *      *      *      *
*      *  2  !1.00 * 1.07 *      *      *      *      *      *      *
*      *      *      *      *      *      *      *      *
*   Mc120     *  1  !      * 1.07 *      *      *      *      *      *      *
*****
Coefficients de Repartition Transversale - (1)=Trottoir de gauche - (2)=Trottoir de droite
    
```

RECAPITULATIF POUR CETTE FIBRE

```

*****
*      Moments (en daN*m) a l'etat      *
*      Limite ultime      ! Limite d'utilisation *
*****
* CHARGES CIVILES ET SUR TROTTOIRS      *      125607      !      096840      *
* CHARGES MILITAIRES OU EXCEPT ET SUR TROTTOIRS *      113375      !      088217      *
* SUPERSTRUCTURES      *      016921      !      012819      *
*****
    
```


ABSCISSE DE LA FIBRE A ETUDIER =+5.725METRES PAR RAPPORT A L'AXE D'INERTIE DES POUTRES

LIGNE D'INFLUENCE DU COEF. DE REPARTITION TRANSVERSALE A INTERVALLES DE 0.25 METRES

+ .1075	+ .0893	+ .0711	+ .0529	+ .0347	+ .0165	- .0018	- .0203
- .0389	- .0577	- .0766	- .0957	- .1148	- .1337	- .1522	- .1700
- .1867	- .2017	- .2144	- .2241	- .2298	- .2306	- .2253	- .2125
- .1907	- .1584	- .1135	- .0543	+ .0215	+ .1161	+ .2318	+ .3711
+ .5364	+ .7303	+ .9551	+ 1.2132	+ 1.5065	+ 1.8368	+ 2.2056	+ 2.6134
+ 3.0604	+ 3.5458	+ 4.0677	+ 4.6230	+ 5.2069	+ 5.8130	+ 6.4328	+ 7.0556
+ 7.6713	+ 0.0000						

```

*****
*   Cas      * Nbre de voies chargees * Coefficients * Coeff. de Repartition *      M o m e n t s (daN*m)
*   de      * -----!-----*
*   Charge  * Nbre  ! Coef Classe* Dynamiques *      M o m e n t s (daN*m) *      Unitaire  ! Par poutre  !Nbre de voie(s) *
*****
*   TROTTOIRS *      *      *      *      *      *      *      *
*      *      *      *      *      *      *      *      *
*      *      *      *      *      *      *      *      *
*   A(L)      *      1  !      *      *      *      *      *      *      *
*      *      2  ! 1.00 *      *      *      *      *      *      *      *
*****
*   Bc        *      1  !      *      *      *      *      *      *      *
*      *      2  ! 1.20 * 1.07 *      *      *      *      *      *      *
*****
*   Bt        *      1  !      *      *      *      *      *      *      *
*      *      2  ! 1.00 * 1.07 *      *      *      *      *      *      *
*****
*   Mc120     *      1  !      * 1.07 *      *      *      *      *      *      *
*****
Coefficients de Repartition Transversale - (1)=Trottoir de gauche - (2)=Trottoir de droite
    
```

RECAPITULATIF POUR CETTE FIBRE

	* Moments (en daN*m) a l'etat *	
	* Limite ultime	* Limite d'utilisation *

* CHARGES CIVILES ET SUR TROTTOIRS	* 092969	* 079760
* CHARGES MILITAIRES OU EXCEPT. ET SUR TROTTOIRS	* 092299	* 079732
* SUPERSTRUCTURES	* 011934	* 009041

RECAPITULATIF DE LA FIBRE LA PLUS DEFAVORABLE 2.605 m

DONT LE TOTAL DES ACTIONS INTERMITTENTES ET PERMANENTES (HORS POIDS PROPRE) EST LE PLUS DEFAVORABLE

```
*****
*
*                                MOMENTS EN daN*m                                *
*
*  A L'ETAT LIMITE ULTIME *  A L'ETAT LIMITE  D'UTILISATION *
*
*****
*
*  ACTIONS INTERMITTENTES D'EXPLOITATION *      158680      !      108520      *
*
*
*  ACTIONS PERMANENTES DES SUPERSTRUCTURES*      27485      !      20822      *
*
*****
```

CALCUL DES SOLLICITATIONS TANGENTES

EFFORTS TRANCHANTS (daN) A L'ETAT LIMITE D'UTILISATION, (A L'APPUI)

FIBRE	TROTT	A(1)	Bc	Bt	Mc80	Mc120	Me80	Me120	D	E	P. Mort	P. M Trot	Reveté
+1.562!	-43!	+22254!	+5261!	+7171!	+0!	+12482!	+0!	+0!	+0!	+0!	+14895!	+0!	+3680!
+2.605!	-42!	+23606!	+5295!	+7257!	+0!	+12664!	+0!	+0!	+0!	+0!	+14895!	+0!	+3904!
+3.644!	+1185!	+20003!	+5267!	+6916!	+0!	+13164!	+0!	+0!	+0!	+0!	+14895!	+4740!	+3308!
+4.682!	+2288!	+7267!	+4956!	+5939!	+0!	+12015!	+0!	+0!	+0!	+0!	+14895!	+9154!	+2403!
+5.725!	+3191!	+5125!	+4568!	+4824!		181!	+0!	+0!	+0!	+0!	+14895!	+12763!	+1695!

EFFORTS TRANCHANTS (daN) A L'ETAT LIMITE ULTIME, (A L'APPUI)

FIBRE	TROTT	A(1)	Bc	Bt	Mc80	Mc120	Me80	Me120	D	E	P. Mort	P. M Trot	Reveté
+1.562!	-69!	+29598!	+6998!	+9538!	+0!	+16476!	+0!	+0!	+0!	+0!	+19661!	+0!	+4858!
+2.605!	-67!	+31396!	+7042!	+9652!	+0!	+16717!	+0!	+0!	+0!	+0!	+19661!	+0!	+5153!
+3.644!	+1891!	+26605!	+7005!	+9198!	+0!	+17377!	+0!	+0!	+0!	+0!	+19661!	+6256!	+4367!
+4.682!	+3652!	+9665!	+6592!	+7898!	+0!	+15860!	+0!	+0!	+0!	+0!	+19661!	+12083!	+3173!
+5.725!	+5093!	+6816!	+6076!	+6416!	+0!	+13439!	+0!	+0!	+0!	+0!	+19661!	+16848!	+2237!

ABSCISSE FIBRE DEFAVORABLE A L'ETAT LIMITE D'UTILISATION = 3.644 m

Effort Tranchant Maxi Poutre+Dalle = +14895 daN
 Charge+Trottoir+Revetement = +32685 daN

ABSCISSE FIBRE DEFAVORABLE A L'ETAT LIMITE ULTIME = 3.644 m

Effort Tranchant Maxi Poutre+Dalle = +19661 daN
 Charge+Trottoir+Revetement = +43392 daN

EFFORT TRANCHANT POUR REPRISE POUTRE-DALLE = 43392 daN (A L'ETAT LIMITE ULTIME)

ETAT LIMITE ULTIME

*** ENVELOPPES DES EFFORTS TRANCHANTS (daN) ***

ETAT LIMITE D'UTILISATION

Distance de l'appui	Charge+Trot+Revetement	Poutre+Dalle	Distance de l'appui	Charge+Trot+Revetement	Poutre+Dalle
.750	43392	19661	.750	32685	14895
1.500	67816	18379	1.500	51150	13924
3.000	64408	15815	3.000	48574	11981
4.000	14835	14105	4.000	11238	10686
5.000	13985	12395	5.000	10594	9390
6.000	13135	10686	6.000	9950	8095
7.000	12284	8976	7.000	9306	6800
8.000	11434	7266	8.000	8662	5505
9.000	10584	5556	9.000	8018	4209
10.000	9734	3847	10.000	7374	2914
11.000	8884	2137	11.000	6730	1619
12.000	8034	427	12.000	6086	324

VERIFICATION
DE LA POUTRE
EN BETON PRECONTRAIT
PAR FILS ADHERENTS
(pre-tension)

DONNEES ET HYPOTHESES DE CALCUL

POUTRE :

-Longueur (m) = 25.50
 -Blochet (m) = 2.35
 -Siffllet (m) = .40
 -Distance axe de l'appui/ext d'about (m) = 50.00
 -Nombre d'etais = 0.00
 -Duree de stockage (j) = 90.00

LONGUEUR DU BANC:

-(m) = 66.00

ARMATURES DE PRECONTRAINTE

-Type T 12,4 III TBR

-Section Ap(cm2) = 93	-Relaxation a 16 h(%) = .75
-Force de tension Ftg(dan)= 15400 00	-Coefficient de scellement = 1.40
-Force de rupture Frg(dan)= 17360 00	-Coefficient de fissuration= 1.50
-Relaxation a 1000 h(%) = 2.50	-Longueur de scellement (m)= 1.00
-Relaxation a 3000 h(%) = 3 00	-Module d'elasticite (bars)=1900000.00

SUPERSTRUCTURE :

-Revetement (dan/m2) = 176 00

Kb= 1.00	Kc= 2.30	Ec=2.75E+4	r(t)= .20	r(infini)=1
COEFFICIENT DE DILATATION ALPHA = .00				
DELTA DE TETA = 50.00 °c				
PENTREE D'ANCRAGE G= .01 metres				
ETUVAGE ESTIMEE à 1.00 %				
RESISTANCE DE LA POUTRE AU RELACHEMENT				
7 jours correspondant a la mise en precontrainte				
COMPRESSION		TRACTION		
a 7 jours = 270.00 bars	a 7 jours = 22.20 bars			
a 28 jours = 420.00 bars	a 28 jours = 31.20 bars			
DE LA DALLE				
a 28 jours = 240.00 bars	a 28 jours = 20.40 bars			
Kd(7 jours)= 1.40		R016= .75 %		

ZONE D'ABOUT

CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES (cm)

DALLE = B1 B2 H
 104.1 104.1 16.0
 30.0 30.0 4.0

POUTRE = B1 B2 H
 35.0 35.0 110.7
 35.0 50.0 4.3
 50.0 50.0 15.0

NOMBRE ET POSITION DES ARMATURES DE PRECONTRAINTE ACTIVES PAR RAPPORT A LA FIBRE INFERIEURE DE LA POUTRE

2 armatures situees a 6.5 de la base
3 armatures situees a 11.0 de la base
2 armatures situees a 15.5 de la base
2 armatures situees a 20.0 de la base
2 armatures situees a 24.5 de la base
2 armatures situees a 29.0 de la base
2 armatures situees a 38.0 de la base
2 armatures situees a 65.0 de la base
17.00 ARMATURES AU TOTAL (Barycentre D' = 25.29 cm)

CARACTERISTIQUES DE LA POUTRE (Epaisseur fictive = 27.18 cm)

N	S cm ²	I cm ⁴	V cm	V' cm	E cm	Z cm	I/V cm ³	I/V' cm ³
0	4807.14	7188176	68.02	61.98	-36.69	88.79	105683.48	115968.40
4	4870.38	7291069	68.49	61.51	-36.21	88.81	106450.64	118539.47

 CARACTERISTIQUES DE LA SECTION COMPLETE

N	S cm ²	I cm ⁴	V cm	V' cm	E cm	Z cm	I/V cm ³	I/V' cm ³
0	6553.81	15296679	66.87	83.13	-57.83	109.20	228738.93	184017.89
4	6617.05	15525033	67.43	82.57	-57.28	109.36	230250.64	188015.10

ZONE COURANTE

 CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES (cm)

DALLE =		
B1	B2	H
104.1	104.1	16.0
30.0	30.0	4.0

POUTRE =		
B1	B2	H
35.0	35.0	27.0
35.0	15.0	8.0
15.0	15.0	70.0
15.0	50.0	10.0
50.0	50.0	15.0

 NOMBRE ET POSITION DES ARMATURES DE PRECONTRAINTE ACTIVES PAR RAPPORT A LA FIBRE INFERIEURE DE LA POUTRE

5	armatures situees a	6.5	de la base
5	armatures situees a	11.0	de la base
4	armatures situees a	15.5	de la base
2	armatures situees a	20.0	de la base
2	armatures situees a	24.5	de la base
2	armatures situees a	29.0	de la base
2	armatures situees a	38.0	de la base
2	armatures situees a	65.0	de la base
24.00	ARMATURES AU TOTAL (Barycentre D' = 20.94 cm)		

 CARACTERISTIQUES DE LA POUTRE (Epaisseur fictive = 17.44 cm)

N	S cm ²	I cm ⁴	V cm	V' cm	E cm	Z cm	I/V cm ³	I/V' cm ³
---	----------------------	----------------------	---------	----------	---------	---------	------------------------	-------------------------

0	3270.00	6420924	67.36	62.64	-41.70	97.10	95322.38	102505.33
4	3359.28	6595413	68.47	61.53	-40.59	97.07	96327.81	107187.45

CARACTERISTIQUES DE LA SECTION COMPLETE

N	S cm ²	I cm ⁴	V cm	V' cm	E cm	Z cm	I/V cm ³	I/V' cm ³
0	5055.60	13618975	59.57	90.43	-69.49	115.92	228628.81	150599.18
4	5144.88	14066018	60.77	89.23	-68.29	116.13	231447.91	157644.86

CALCUL DES FORCES DE PRECONTRAINT

A LA LONGUEUR D'ETABLISSEMENT DE LA PRECONTRAINT

HYPOTHESES RELATIVES AU RETRAIT ET AU FLUAGE
 A LA MISE EN PRECONTRAINE 2.50575
 AU COULAGE DE LA DALLE 1.34237

TENSION INITIALE = 14630.00000

PERTE D'ANCRAGE = 133.86364
 PERTE PAR RELAXATION SUR BANC = 108.72102
 PERTE PAR RETRAIT INSTANTANEE = 50.50118
 PERTE THERMIQUE = 883.50000

TENSION AVANT RELACHEMENT = 13453.41416

LONGUEUR D'ETABLISSEMENT DE LA PRECONTRAINT Le = 1.31770

MOMENT DU AU POIDS MORT = 13303.64046
 PRECONTRAINT = 86.96155
 DECOMPRESSION DUE AU POIDS MORT = -6.79043
 CONTRAINT DE COMPRESSION RESIDUELLE = 80.17112

PERTE CORRESPONDANTE= 513.17248

TENSION PROBABLE AU RELACHEMENT= 12940.66416
VALEURS CARACTERISTIQUES DES TENSIONS a X = .81770

MAXIMUM P1 13570.79335
MINIMUM P2 12309.69002

PRECONTRAINTE MAXIMUM

FIBRE SUPERIEURE-32.10080
FIBRE INFERIEURE 120.98122

PRECONTRAINTE MINIMUM

FIBRE SUPERIEURE-29.11774
FIBRE INFERIEURE 109.73871

PERTES DIFFEREES A L'ABSCISSE

X = .81770

SUR POUTRE SEUL AU STOCKAGE

PERTES PAR RETRAIT TOTAL	= 252.50589
PERTES PAR RETRAIT DEJA EFFECTUE	= 50.50118
PERTES PAR RETRAIT DIFFEREES	= 202.00472
PERTES PAR RELAXATION DIFFEREES	= 606.95845
PERTES PAR FLUAGE ESTIMEE	= 584.00000
TERME DE CONCOMITANCE	= -140.61875

VERIFICATION DU FLUAGE ESTIMEE

PRECONTRAINTE	= 86.96155
DECOMPRESSION DU AU POIDS MORT	= -4.12668
VARIATION DE PRECONTRAINTE	= -8.41578
CONTRAINTE DE COMPRESSION RESIDUELLE	= 74.41909
PERTES DUES AU FLUAGE	= 584.87578

PERTE DURANT LE STOCKAGE DE LA POUTRE 753.81194

VALEURS CARACTERISTIQUES DES PERTES SUR LA POUTRE a X = .81770

VALEUR MAXIMUM 904.57433
VALEUR MINIMUM 603.04955

PRECONTRAINTE MAXIMUM

FIBRE SUPERIEURE 2.13971
FIBRE INFERIEURE-8.06412

PRECONTRAINTE MINIMUM

FIBRE SUPERIEURE 1.42647

SUR SECTION COMPLETE AU STADE FINAL

PERTES PAR RETRAIT TOTAL	= 252.50589
PERTES PAR RETRAIT DÉJÀ EFFECTUÉ	= 50.50118
PERTES PAR RETRAIT DIFFÉREES	= 202.00472
PERTES PAR RELAXATION DIFFÉREES	= 606.95845
PERTES PAR FLUAGE ESTIMÉE	= 589.00000
TERME DE CONCOMITANCE	= -141.51327

VERIFICATION DU FLUAGE ESTIMÉE

VARIATION DE PRECONTRAINTÉ	= -3.17208
DECOMPRESSION DUE AL'HOUDIS +COFFRAGE	= -2.52350
DECOMPRESSION DUE AU REVETEMENT	= -.67069
PERTES DUE AU FLUAGE	= 589.71441

PERTE DURANT LE STOCKAGE DE LA POUTRE	= 753.81194
---------------------------------------	-------------

PERTES DIFFÉREES SUR SECTION COMPLETE	= 502.63795
---------------------------------------	-------------

VALEURS CARACTERISTIQUES DES PERTES SUR LA POUTRE à X = .81770

VALEUR MAXIMUM	603.16554
VALEUR MINIMUM	402.11036

PRECONTRAINTÉ MAX DE LA POUTRE

FIBRE SUPERIEURE	.25258
FIBRE INFÉRIEURE	-4.78706

PRECONTRAINTÉ MIN DE LA POUTRE

FIBRE SUPERIEURE	.16839
FIBRE INFÉRIEURE	-3.19137

PRECONTRAINTÉ MAX DU HOUDIS

FIBRE SUPERIEURE	1.02791
------------------	---------

PRECONTRAINTÉ MIN DU HOUDIS

FIBRE SUPERIEURE	.68527
------------------	--------

VALEURS CARACTERISTIQUES DES TENSIONS à X = .81770

MAXIMUM P1	= 12565.63343
MINIMUM P2	= 10801.95015

CONTRAINTES DANS LE BETON DUES A LA PRECONTRAINTÉ à X = .81770

PRECONTRAINTÉ MINIMUM

FIBRE SUPERIEURE	-26.72545
FIBRE INFÉRIEURE	96.88753

PRECONTRAINTE MAXIMUM

FIBRE SUPERIEURE-30.50594
FIBRE INFERIEURE 112.41377

CALCUL DES FORCES DE PRECONTRAINTE

A MI TRAVEE

HYPOTHESES RELATIVES AU RETRAIT ET AU FLUAGE
A LA MISE EN PRECONTRAINE 2.89340
AU COULAGE DE LA DALLE 1.55004

TENSION INITIALE = 14630.00000

PERTE D'ANCRAGE = 133.86364
PERTE PAR RELAXATION SUR BANC = 108.72102
PERTE PAR RETRAIT INSTANTANEE = 58.92460
PERTE THERMIQUE = 883.50000

TENSION AVANT RELACHEMENT= 13444.99074

LONGUEUR D'ETABLISSEMENT DE LA PRECONTRAINTE $L_e = 1.31770$

MOMENT DU AU POIDS MORT = 67869.84375
PRECONTRAINTES = 174.52652
DECOMPRESSION DUE AU POIDS MORT = -44.07988
CONTRAINTES DE COMPRESSION RESIDUELLE = 130.44663

PERTE CORRESPONDANTE= 834.98421

TENSION PROBABLE AU RELACHEMENT= 12610.49074

VALLEURS CARACTERISTIQUES

MAXIMUM P1 13306.60522
MINIMUM P2 11913.40784

PRECONTRAINTE MAXIMUM

FIBRE SUPERIEURE-42.05240
FIBRE INFERIEURE 227.58830

PRECONTRAINTE MINIMUM

FIBRE SUPERIEURE-37.64953
FIBRE INFERIEURE 203.75988

PERTES DIFFEREES A L'ABSCISSE

X = 12.25000

SUR POUTRE SEUL AU STOCKAGE

PERTES PAR RETRAIT TOTAL = 294.62301
 PERTES PAR RETRAIT DEJA EFFECTUE = 58.92460
 PERTES PAR RETRAIT DIFFEREES = 235.69841
 PERTES PAR RELAXATION DIFFEREES = 533.91029
 PERTES PAR FLUAGE ESTIMEE = 1017.00000
 TERME DE CONCOMITANCE = -218.39366

VERIFICATION DU FLUAGE ESTIMEE

PRECONTRAINTE = 174.52652
 DECOMPRESSION DU AU POIDS MORT = -40.69043
 VARIATION DE PRECONTRAINTE = -21.70376
 CONTRAINTE DE COMPRESSION RESIDUELLE = 112.13233
 PERTES DUES AU FLUAGE = 1017.60999

PERTE DURANT LE STOCKAGE DE LA POUTRE 943.64826

VALEURS CARACTERISTIQUES DES PERTES SUR LA POUTRE à X = 12.25000

VALEUR MAXIMUM 1132.37791
 VALEUR MINIMUM 754.91861

PRECONTRAINTE MAXIMUM

FIBRE SUPERIEURE 3.57861
 FIBRE INFERIEURE -19.36752

PRECONTRAINTE MINIMUM

FIBRE SUPERIEURE 2.38574
 FIBRE INFERIEURE -12.91168

SUR SECTION COMPLETE AU STADE FINAL

PERTES PAR RETRAIT TOTAL = 294.62301
 PERTES PAR RETRAIT DEJA EFFECTUE = 58.92460
 PERTES PAR RETRAIT DIFFEREES = 235.69841
 PERTES PAR RELAXATION DIFFEREES = 533.91029
 PERTES PAR FLUAGE ESTIMEE = 942.00000
 TERME DE CONCOMITANCE = -205.31827

VERIFICATION DU FLUAGE ESTIMEE

VARIATION DE PRECONTRAINTE = -7.45948
 DECOMPRESSION DUE AL'HOUDIS +COFFRAGE = -24.88259
 DECOMPRESSION DUE AU REVETEMENT = -7.01473
 PERTES DUE AU FLUAGE = 942.64134

PERTE DURANT LE STOCKAGE DE LA POUTRE = 943.6426

PERTES DIFFEREES SUR SECTION COMPLETE = 562.6428

VALEURS CARACTERISTIQUES DES PERTES SUR LA POUTRE a X = 12.25000

VALEUR MAXIMUM 675.17061
VALEUR MINIMUM 450.11374

PRECONTRAINTE MAX DE LA POUTRE

FIBRE SUPERIEURE .06654
FIBRE INFERIEURE

PRECONTRAINTE MIN DE LA POUTRE

FIBRE SUPERIEURE .04436
FIBRE INFERIEURE -7.12174

PRECONTRAINTE MAX DU HOURDIS

FIBRE SUPERIEURE 1.72025

PRECONTRAINTE MIN DU HOURDIS

FIBRE SUPERIEURE 1.14683

VALEURS CARACTERISTIQUES DES TENSIONS a X = 12.25000

MAXIMUM P1 = 12101.57288
MINIMUM P2 = 10105.85932

CONTRAINTES DANS LE BETON DUES A LA PRECONTRAINTE a X = 12.25000

PRECONTRAINTE MINIMUM

FIBRE SUPERIEURE -34.00438
FIBRE INFERIEURE 173.70975

PRECONTRAINTE MAXIMUM

FIBRE SUPERIEURE -39.62230
FIBRE INFERIEURE 207.55489

CALCUL DES FORCES DE PRECONTRAINTE

AU DEBUT DE LA SECTION COURANTE

HYPOTHESES RELATIVES AU RETRAIT ET AU FLUAGE

A LA MISE EN PRECONTRAINTE 2.89340

U. 300.000 DE LA POUTRE

CONTRAINTE DE COMPRESSION RESIDUELLE = 88.92710
PERTES DUES AU FLUAGE = 807.02065

PERTE DURANT LE STOCKAGE DE LA POUTRE 868.06147

VALEURS CARACTERISTIQUES DES PERTES SUR LA POUTRE à X = 2.25000

VALEUR MAXIMUM 1041.67376
VALEUR MINIMUM 694.44917

PRECONTRAINTE MAXIMUM

FIBRE SUPERIEURE 1.52246
FIBRE INFERIEURE-11.86715

PRECONTRAINTE MINIMUM

FIBRE SUPERIEURE 1.01497
FIBRE INFERIEURE-7.91144

SUR SECTION COMPLETE AU STADE FINAL

PERTES PAR RETRAIT TOTAL = 305.31955
PERTES PAR RETRAIT DEJA EFFECTUE = 61.06391
PERTES PAR RETRAIT DIFFEREES = 244.25564
PERTES PAR RELAXATION DIFFEREES = 577.98998
PERTES PAR FLUAGE ESTIMEE = 794.00000
TERME DE CONCOMITANCE = -183.89112

VERIFICATION DU FLUAGE ESTIMEE

VARIATION DE PRECONTRAINTE = -5.29930
DECOMPRESSION DUE AL'HOUDIS +COFFRAGE = -7.43389
DECOMPRESSION DUE AU REVETEMENT = -2.34019
PERTES DUE AU FLUAGE = 794.62758

PERTE DURANT LE STOCKAGE DE LA POUTRE = 868.06147

PERTES DIFFEREES SUR SECTION COMPLETE = 564.29303

VALEURS CARACTERISTIQUES DES PERTES SUR LA POUTRE à X = 2.25000

VALEUR MAXIMUM 677.15164
VALEUR MINIMUM 451.43443

PRECONTRAINTE MAX DE LA POUTRE

FIBRE SUPERIEURE .04727
FIBRE INFERIEURE-7.58905

PRECONTRAINTE MIN DE LA POUTRE

FIBRE SUPERIEURE .03151
FIBRE INFERIEURE-5.05936

TENSION INITIALE = 14630.00000

PERTE D'ANCRAGE = .133.86364
PERTE PAR RELAXATION SUR BANC = 108.72102
PERTE PAR RETRAIT INSTANTANEE = 61.06391
PERTE THERMIQUE = 883.50000

TENSION AVANT RELACHEMENT= 13442.85143

LONGUEUR D'ETABLISSEMENT DE LA PRECONTRAINTE L_e = 131.76996

MOMENT DU AU POIDS MORT = 26119.84375
PRECONTRAINTE = 113.91082
DECOMPRESSION DUE AU POIDS MORT = -15.19199
CONTRAINTE DE COMPRESSION RESIDUELLE = 98.71883

PERTE CORRESPONDANTE= 631.89565

TENSION PROBABLE AU RELACHEMENT= 12811.35143
VALEURS CARACTERISTIQUES DES TENSIONS a $X = 2.25000$

MAXIMUM P1 13467.36463
MINIMUM P2 12154.54694

PRECONTRAINTE MAXIMUM

FIBRE SUPERIEURE-19.68326
FIBRE INFERIEURE 153.42548

PRECONTRAINTE MINIMUM

FIBRE SUPERIEURE-17.76451
FIBRE INFERIEURE 138.46935

PERTES DIFFEREES A L'ABSCISSE

$X = 2.25000$

SUR POUTRE SEUL

PERTES PAR RETRAIT TOTAL = 305.31955
PERTES PAR RETRAIT DEJA EFFECTUE = 61.06391
PERTES PAR RETRAIT DIFFEREES = 244.25564
PERTES PAR RELAXATION DIFFEREES = 577.98998
PERTES PAR FLUAGE ESTIMEE = 806.50000
TERME DE CONCOMITANCE = -186.10507

VERIFICATION DU FLUAGE ESTIMEE

PRECONTRAINTE = 113.91082
DECOMPRESSION DU AU POIDS MORT = -12.15663
VARIATION DE PRECONTRAINTE = -12.82709

PRECONTRAINTE MAX DU HOURDIS

FIBRE SUPERIEURE 1.22209

PRECONTRAINTE MIN DU HOURDIS

FIBRE SUPERIEURE .81472

VALEURS CARACTERISTIQUES DES TENSIONS a X = 2.25000

MAXIMUM P1 = 12321.48103

MINIMUM P2 = 10435.72154

CONTRAINTES DANS LE BETON DUES A LA PRECONTRAINTE a X = 2.25000

PRECONTRAINTE MINIMUM

FIBRE SUPERIEURE-16.19478

FIBRE INFERIEURE 119.01315

PRECONTRAINTE MAXIMUM

FIBRE SUPERIEURE-18.63677

FIBRE INFERIEURE 140.45468

VERIFICATION DES ABOUTS A LA MISE EN PRECONTRAINTE

VERIFICATION DES CONTRAINTES NORMALES

LONGUEUR MIN D'ETABLISSEMENT DE LA PRECONTRAINTE X1= 1.32 (m)

LONGUEUR MAX D'ETABLISSEMENT DE LA PRECONTRAINTE X2= 1.59 (m)

*CONTRAINTES A LA DISTANCE X= 1.32 (m)

(precontrainte seul N0=-32.10 (bars); N1= 120.98 (bars))

	Contraintes (bars)	Contraintes admissibles (bars)
FIBRE SUPERIEURE	= -19.764 >	-39.960
NIVEAU SUPERIEURE SECTION ENROBAGE	= 41.049 >	-22.200
NIVEAU INFERIEURE SECTION ENROBAGE	= 107.202 >	-22.200
FIBRE INFERIEURE	= 109.739 <	180.000

CONTRAINTE FICTIVE A L'ABOUT = 86.39 bars; (admissible = 207.69 bars)

HAUTEUR TENDUE EN FIBRE SUPERIEURE= 19.34 (m)

SECTION D'ARMATURE = 5.49 (cm2)

VERIFICATION APRES LES GAINAGES

LONGUEUR DE GAINAGE NECESSAIRE Lg= 4.85 (m)

CONTRAINTES A LA DISTANCE X= 6.17 (m)

(precontrainte seul N0=-42.05 (bars); N1= 227.59 (bars))

	Contraintes (bars)	Contraintes admissibles (bars)
FIBRE SUPERIEURE	= 9.126 >	-39.960
NIVEAU SUPERIEURE SECTION ENROBAGE	= 89.365 >	-22.200
NIVEAU INFERIEURE SECTION ENROBAGE	= 176.649 >	-22.200
FIBRE INFERIEURE	= 179.996 <	180.000

LA CONTRAINTE EN FIBRE SUPERIEURE EST POSITIVE AUCUNE ARMATURE N'EST NECESSAIRE

DEBUT DU I

(precontrainte seul N0=-19.60 (bars); N1= 153.43 (bars))

	Contraintes (bars)	Contraintes admissibles (bars)
FIBRE SUPERIEURE	= 7.170	> -39.960
NIVEAU SUPERIEURE SECTION ENROBAGE	= 64.124	> -22.200
NIVEAU INFERIEURE SECTION ENROBAGE	=126.078	> -22.200
FIBRE INFERIEURE	=128.454	< 180.000

EQUILIBRE DE LA ZONE D'ABOUT

Y	M1(DIAGR)	M2(CABLES)	M=M1+M2	V1(CABLES)	V2(CABLES)	V=V1+V2	To1	To2	To
cm	dan.cm	dan.cm	dan.cm	dan	dan	dan	bars	bars	bars
6.5-E	+0	+0	+0	+0	+0	+0	+0.00	+0.00	+0.00
6.5+E	+125092	+0	+125092	+0	+0	+0	+0.00	+0.00	+0.00
11.0-E	+125092	+0	+125092	-38075	+0	-38075	-11.56	+ 57	+11.56
11.0+E	+352907	+0	+352907	-38075	+27142	-10934	-3.32	+ 57	+3.32
15.5-E	+352907	-122137	+230770	-62978	+27142	-35836	-10.88	+ 92	+10.88
15.5+E	+690050	-122137	+567912	-62978	+67854	+4876	+1.48	+ 92	+2.40
20.0-E	+690050	-427480	+262570	-86378	+67854	-18524	-7.41	+1.66	+7.41
20.0+E	+1124010	-427480	+696531	-86378	+94996	+8618	+3.45	+1.66	+5.10
24.5-E	+1124010	-854960	+269051	-104944	+94996	-9949	-4.31	+ 64	+4.31
24.5+E	+1630162	-854960	+775202	-104944	+122137	+17193	+7.46	+ 64	+8.09
29.0-E	+1630162	-1404577	+225584	-119872	+122137	+2265	+ 98	+ 66	+1.64
29.0+E	+2201611	-1404577	+797034	-119872	+149279	+29406	+12.75	+ 66	+13.41
33.5	+2201611	-2076331	+125279	-133966	+149279	+15313	+6.64	+1.17	+7.81
38.0-E	+2834602	-2076331	+758271	-133966	+176420	+42455	+18.41	+1.17	+19.58
38.0+E	+3525380	-2870223	+655157	-147225	+176420	+29196	+12.66	+1.65	+14.31
42.5	+3525380	-3664114	-138734	-159649	+176420	+16772	+7.27	+2.08	+9.36
47.0	+4270189	-3664114	+606075	-159649	+203562	+43913	+19.04	+2.08	+21.13
51.5	+5065273	-4580143	+485130	-171238	+203562	+32324	+14.02	+2.47	+16.49
56.0	+5906877	-5496171	+410706	-181993	+203562	+21569	+9.35	+2.82	+12.18
60.5	+6791245	-6412200	+379045	-191914	+203562	+11648	+5.05	+3.13	+8.18
65.0-E	+7714621	-7328228	+386393	-201000	+203562	+2562	+1.11	+3.39	+4.50
65.0+E	+8673250	-8244257	+428993	-209251	+203562	-5689	-2.47	+3.61	+2.47
69.5	+8673250	-9160286	-487036	-216667	+203562	-13105	-5.68	+3.78	+5.68
74.0	+9663376	-9160286	+503090	-216667	+230703	+14036	+6.09	+3.78	+9.87
78.5	+10681243	-10198451	+482792	-223249	+230703	+7454	+3.23	+3.92	+7.15
83.0	+11723096	-11236617	+486479	-228997	+230703	+1707	+ 74	+4.01	+4.75
87.5	+12785179	-12274783	+510396	-233910	+230703	-3206	-1.39	+4.06	+1.39
92.0	+13863736	-13312948	+550788	-237988	+230703	-7285	-3.16	+4.06	+3.16
96.5	+14955012	-14351114	+603898	-241232	+230703	-10528	-4.57	+4.02	+4.57
101.0	+16055251	-15399280	+665971	-243641	+230703	-12037	-5.61	+3.94	+5.61
105.5	+17160697	-16427445	+733252	-245215	+230703	-14512	-6.29	+3.82	+6.29
110.0	+18267595	-17465611	+801984	-245955	+230703	-15252	-6.61	+3.65	+6.61
114.5	+19372189	-18503777	+868413	-245860	+230703	-15147	-6.57	+3.44	+6.57
119.0	+20470724	-19541942	+928781	-244931	+230703	-14288	-6.17	+3.19	+6.17
123.5	+21559443	-20580108	+979335	-243167	+230703	-12444	-5.41	+2.90	+5.41
128.0	+22634591	-21618274	+1016318	-240569	+230703	-9485	-4.28	+2.56	+4.28
130.0	+23692413	-22656439	+1035974	-237136	+230703	-6437	-2.79	+2.18	+2.79

 * VERIFICATION VIS A VIS DES MOMENTS *

Moment NEGATIF Maxi= -32.10 dan.cm
 Moment POSITIF Maxi= 13570.79 dan.cm
 Moment Maxi en valeur absolue = 32.10 dan.cm

Contrainte de Traction -555373.98 bars a la cote Y= 225584.47 cm de la Fibre INFERIEURE
 Contraint Admissible 28.86 bars

Armatures pour Moment NEGATIF A1= 5.48 cm² a repartir sur 26.00 a partir de l'about
 (non cumulees avec les armatures tranchant)
 Armatures pour Moment POSITIF A2= 3.07 cm² a repartir entre les distances 52.00 et 105.00 cm

 * VERIFICATION VIS A VIS DE L'EFFORT TRANCHANT *

Contrainte de cisaillement MAXIMUM 131.77 bars a la cote Y= 1.25 cm de la fibre INFERIEURE
 Contrainte de Cisaillage Admissible 33.30 bars

Armatures Totales reparties sur 52.75 cm a partir de l'about A= 21.13 cm²

 LE POURCENTAGE MINIMAL SUP 69.50 cm donne une Section de 11.74 cm²

 * ARMATURES POUR EFFORTS D'ECLATEMENT *

 Pourcentage d'effort a reprendre F% = 15925.87 %
 Section Totale des Frettes A= 13.84 cm² a repartir sur 25.00 cm a partir de l'About

VERIFICATION A L'ETAT LIMITE D'UTILISATION

MOMENT EN VALEUR CARACTERISTIQUES DES ACTIONS DE LONGUE DUREE

CONTRAINTES AMENEES PAR LES CHARGES

	MOMENT	IF I POUTRE	IS ENROBAGE	IF S POUTRE	IF J HOURDIS	IF S HOURDIS
*POUTRE	62651.09	-61.12	-58.63	65.73	0.00	0.00
*HOURDIS	38311.74	-37.38	-35.96	40.19	0.00	0.00
*S-STRUCTURES	24025.39	-15.95	-15.50	6.98	0.98	0.00
*EXPLOITATION	124204.22	-78.79	-76.54	36.00	36.00	0.00
*TOTAL 1	---	-193.24	-196.53	148.90	42.98	64.17

ESTIMATION DUES AU RETRAIT DIFFERENTIEL ET AU FLUAGE GENE


```

*****
*          MOMENT  ! F.I.POUTRE ! S.ENROBAGE  ! F.S.POUTRE  ! F.I.HOURDIS  ! F.S.HOURDIS*
*****
*RETRAIT.DIFF ! ---- ! -4.80 ! -4.48 ! 11.54 ! -7.89 ! -5.88 *
*FLUAGE.GENE  ! ---- ! .67 ! .62 ! -1.91 ! 4.87 ! -2.72 *
*TOTAL 2      ! ---- ! -4.13 ! -3.86 ! 9.63 ! -3.02 ! -8.59 *
*****

```

CONTRAINTES FINALES

```

*****
*          MOMENT  ! F.I.POUTRE ! S.ENROBAGE  ! F.S.POUTRE  ! F.I.HOURDIS  ! F.S.HOURDIS*
*****
*PRECONTRAITE ! ---- ! 173.71 ! 169.64 ! -34.00 ! .07 ! 1.72 *
*TOTAL 1      ! ---- ! -193.24 ! -186.53 ! 148.90 ! 42.98 ! 64.17 *
*TOTAL 2      ! ---- ! -4.13 ! -3.86 ! 9.63 ! -3.02 ! -8.59 *
*TOTAL FINAL  ! ---- ! -23.66 ! -20.75 ! 124.52 ! 39.97 ! 55.58 *
*****

```

VERIFICATION DES CONTRAINTES ADMISSIBLES EN GENRE IIB SOUS CHARGES TOTALES

CONTRAINTES DE TRACTION ADMISSIBLES : (bars)

* HORS ZONE D'ENROBAGE = -49.92
 * DANS ZONE D'ENROBAGE = -31.20

CONTRAINTES DE COMPRESSION ADMISSIBLES : (bars)

* DANS LA POUTRE = 233.33
 * DANS LA TABLE DE COMPRESSION = 133.33

ARMATURES DU VOLUME DE TRACTION : (cm²)

* HAUTEUR DU VOLUME DE TRACTION = 20.75
 * SECTION D'ARMATURES NECESSAIRE = 3.59

ARMATURES ACTIVES PRISES EN COMPTE

5.00 ARMATURES ACTIVES SITUEES A 6.50 cm DE LA BASE
 5.00 ARMATURES ACTIVES SITUEES A 11.00 cm DE LA BASE

SOIT UNE SECTION TOTALE DE = 9.30 cm²

* NOMBRES *	POSITION	* VARIATION	* FORCE
D'ARMATURES	/BASE (cm)	* D'ALLONGEMENT	* TOTALE (daN)
* 5.0 *	* 6.50 *	* +8.26/1000 *	* 65950
* 5.0 *	* 11.00 *	* +7.89/1000 *	* 65950
* 4.0 *	* 15.50 *	* +7.52/1000 *	* 52760
* 2.0 *	* 20.00 *	* +7.15/1000 *	* 26380
* 2.0 *	* 24.50 *	* +6.78/1000 *	* 26380
* 2.0 *	* 29.00 *	* +6.42/1000 *	* 26380
* 2.0 *	* 38.00 *	* +5.68/1000 *	* 26380
* 2.0 *	* 65.00 *	* +3.47/1000 *	* 26380

FORCE DE PRECONTRAITE MINIMUM 10105.859(daN) ! ALLONGEMENT CORRESPONDANT = 5.72/1000

RACCOURSSICEMENT DU BETON 3.50/1000 ! RESISTANCE DE CALCUL DU BETON =160.00

POSITION DE L'AXE NEUTRE 42.71 (cm) ! C.D.G DU BETON =16.61

FORCES DES ARMATURES DE PRECONTRAITE =316560 (daN) ! FORCE RESULTANTE DU BETON COMPRI ME =365029.33

SURTENSION DES ARMATURES DE PRECONTRAITE =74019.38 (daN) ! C.D.G PONDERE/F.I=18.94

MOMENT RESISTANT = 386753.95

POIDS MORT (poutre + hourdis) = 133270.95
 SUPERSTRUCTURES = 31713.52
 CHARGES D'EXPLOITATION = 166433.66
 MOMENT APPLIQUE A L'ETAT LIMITE ULTIME 331418.13

VERIFICATION DES SOLLICITATIONS TANGENTES

D	Zp	Zm	To1	bars	bars	bars	bars	IT0
cm	cm	cm	bars	bars	bars	bars	bars	bars
+6.50	+376.57	+589.25	-11.56	+1.04	+1.47	-10.29	+2.52	
+11.00	+231.38	+358.28	-10.88	+1.70	+2.43	-9.68	+4.13	
+15.50	+171.10	+261.99	-7.41	+2.38	+3.44	-6.59	+5.82	
+20.00	+143.44	+217.44	+7.46	+3.92	+5.71	+16.26	+9.63	
+24.50	+127.52	+191.36	+12.75	+4.41	+6.49	+22.24	+10.89	
+29.00	+116.09	+172.23	+18.41	+4.84	+7.21	+28.43	+12.05	
+33.50	+107.67	+157.72	+12.66	+5.22	+7.87	+24.36	+13.09	
+38.00	+101.40	+146.45	+19.04	+5.54	+8.48	+30.97	+14.02	
+42.50	+96.73	+137.56	+14.02	+5.81	+9.03	+27.31	+14.83	
+47.00	+93.32	+130.47	+9.35	+6.02	+9.52	+23.86	+15.54	
+51.50	+90.95	+124.79	+5.05	+6.18	+9.95	+20.62	+16.13	
+56.00	+89.48	+120.25	-2.47	+6.28	+10.32	-2.20	+16.60	
+60.50	+88.83	+116.66	-5.68	+6.32	+10.64	-5.06	+16.97	
+65.00	+88.96	+113.87	+6.09	+6.31	+10.90	+22.63	+17.22	
+69.50	+89.89	+111.79	+3.23	+6.25	+11.11	+20.23	+17.36	
+74.00	+91.65	+110.34	+7.74	+6.13	+11.25	+18.04	+17.38	
+78.50	+94.35	+109.49	-1.39	+5.95	+11.34	-1.24	+17.29	
+83.00	+98.16	+109.20	-3.16	+5.72	+11.37	-2.81	+17.09	
+87.50	+103.33	+109.46	-4.57	+5.44	+11.34	-4.06	+16.78	
+92.00	+110.26	+110.28	-5.61	+5.09	+11.26	-4.99	+16.35	
+96.50	+119.58	+111.69	-6.29	+4.70	+11.12	-5.60	+15.81	
+101.00	+132.33	+113.74	-6.61	+4.24	+10.92	-5.89	+15.16	
+105.50	+150.32	+116.48	-6.57	+3.74	+10.66	-5.85	+14.40	
+110.00	+177.00	+120.03	-6.17	+3.17	+10.34	-5.49	+13.52	
+114.50	+219.86	+124.51	-5.41	+2.56	+9.97	-4.81	+12.53	
+119.00	+298.65	+130.12	-4.28	+1.88	+9.54	-3.81	+11.42	
+123.50	+487.85	+137.12	-2.79	+1.15	+9.05	-2.48	+10.21	
+128.00	\$\$\$\$\$\$	+145.90	-0.94	+0.37	+8.51	-0.84	+8.88	
+130.00	\$\$\$\$\$\$	+150.51	-0.00	+0.00	+8.25	-0.00	+8.25	

ST0=0.89*T01+T03+T04 , IT0=T03+T04

* REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES *

* R. BARRES . C. MASSONNET

Le calcul des grillages de poutres et dalles
orthotropes

* Projet de fin d'études - juin 84 -

Calcul automatique de tablier mixte isostatique

* Projet de fin d'études - juin 87 -

Pont à poutres multiples en béton précontraint
pré-tension à fils adhérents

* Projet de fin d'études - juin 87 -

Elaboration d'un logiciel d'une poutre en béton
précontraint par fils adhérents - pré-tension -

* Cours ponts.

* Annales de l'institut technique du bâtiment
et des travaux publics ; serie : Théories et méthode
de calcul.

* G. Dreux.

Pratique du béton précontraint

