

53/87
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

20x
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL



PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat

SUJET

Logiciel de Calcul des Batiments en Voiles

Proposé par :

M. BENSLIMANE

Etudié par :

MM. SARI Mustapha

KANSOU Mohamed

Dirigé par :

M. BENSLIMANE

PROMOTION JUIN 1987

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

«O»

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

«O»

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat

SUJET

Logiciel de Calcul des Batiments en Voiles

Proposé par :

M. BENSLIMANE

Etudié par :

MM. SARI Mustapha

KANSOU Mohamed

Dirigé par :

M. BENSLIMANE

PROMOTION JUIN 1987

P R E F A C E

Nous sommes parvenus à une époque où les progrès technologiques sont devenus tels que plus personne ne s'étonne à l'annonce d'un nouveau succès.

Cette avance fulgurante des techniques a entraîné des besoins croissants dans le domaine du calcul. Très vite, l'ordinateur, en accomplissant des performances spectaculaires, s'est imposé un peu partout dans le monde scientifique, et son implantation s'est tellement généralisée que l'on en arrive à considérer comme des fossiles, les rares personnes qui n'y ont pas été initiées.

La préparation de ce travail a nécessité le recours à un langage évolué, en l'occurrence le "FORTRAN 77", qui est actuellement disponible sur presque toutes les machines. Ce langage, tout en étant riche et puissant, demeure aisément assimilable et permet de s'affranchir de maintes contraintes imposées par ses anciennes versions.

Il a fallu en outre, passer en revue les différentes méthodes utilisées dans le calcul des bâtiments en voiles, nécessitant le développement d'algorithmes parfois complexes et souvent difficilement exploitables lors d'un calcul manuel.

Nous sommes particulièrement reconnaissants à monsieur BENSLIMANE, notre promoteur, qui avec ses conseils éclairés, nous a fait surmonter bien des obstacles. Nous lui sommes extrêmement redevables pour toute la gentillesse et la sollicitude dont il a fait preuve à notre égard, n'épargnant ni son temps ni sa peine pour nous venir en aide.

Notre gratitude va tout spécialement à monsieur SARI M. pour sa contribution effective à l'élaboration de ce document, ses critiques constructives et ses encouragements.

Nos remerciements s'adressent également au personnel du centre de calcul de l'Ecole Nationale Polytechnique, dont la compréhension nous fut précieuse, ainsi qu'à tous les professeurs qui ont contribué à notre formation.

*

TABLE DES MATIERES



	Page
. Chapitre I :-	
INTRODUCTION	5
. Chapitre II :-	
CALCUL DES INERTIES EQUIVALENTES	
1_ Choix d'un schéma de calcul	8
2_ Inertie équivalente	9
a)- Refends à une file d'ouvertures	10
b)- Refends à plusieurs files d'ouvertures..	14
. Chapitre III :-	
DETERMINATION DU CENTRE DE TORSION	20
. CHAPITRE IV :-	
REPARTITION DES FORCES HORIZONTALES	
A/- Efforts sismiques	27
1_ Calcul des forces dues au séisme	27
a)- Principe de calcul	28
b)- Action sismique	28
2_ Répartition des efforts sismiques	31
B/- Efforts dus au vent	36
1_ Calcul de l'effort de trainée	36
2_ Répartition des efforts dus au vent	37
. Chapitre V :-	
DISTRIBUTION DES EFFORTS SUR LES ELEMENTS DE CONTREVENTEMENT	
1_ Efforts dus à la translation	39
2_ Efforts dus à la rotation	40

. Chapitre VI :-

DISTRIBUTION DES EFFORTS DANS LES REFENDS D'UN
 BATIMENT DE GRANDE HAUTEUR

1_ Introduction	48
2_ Sollicitations horizontales	48
A/- Refends à une file d'ouvertures	49
# Etude des linteaux	50
# Etude des trumeaux	51
B/- Refends à plusieurs files d'ouvertures	57
3_ Sollicitations verticales	63

. Chapitre VII :-

DISTRIBUTION DES EFFORTS DANS LES REFENDS
 D'UN BATIMENT PEU ELEVE

1_ Introduction	66
2_ Refends à une file d'ouvertures	67
3_ Refends à plusieurs files d'ouvertures	68
. CONCLUSION	75
. ANNEXES	76

Chapitre I

I N T R O D U C T I O N

Avec l'essor des techniques de construction, la tendance architecturale s'est de plus en plus orientée vers la création de formes nouvelles et inédites. Ceci a nécessité le développement de méthodes de calcul plus rigoureuses, faisant appel à un outil mathématique sophistiqué.

L'avènement des calculateurs électroniques a marqué de manière spectaculaire l'évolution de celles-ci en diminuant les risques d'erreur et en réduisant considérablement le temps de calcul.

Progressivement, avec la nécessité de construire de plus en plus haut, les structures contreventées par des refends linéaires se sont révélées de conception sûre et économique.

Toutefois, leur comportement est difficile à modéliser et l'on se contente généralement de calculs approchés se basant sur certaines hypothèses simplificatrices; le problème se ramène alors à déterminer le domaine de validité de celles-ci.

Dans cet objectif, nous avons entrepris une étude permettant de déterminer les efforts s'exerçant sur les éléments de contreventement d'une structure en voiles d'une manière tout à fait automatique, et ce en élaborant un logiciel de calcul dont la manipulation a été rendue aussi simple que possible.

Afin de faciliter la tâche à l'utilisateur, nous avons tout naturellement opté pour le mode interactif en faisant en sorte que l'on puisse à chaque instant savoir quels calculs sont effectués, de quelle façon l'on doit introduire les données, comment se positionner sur un niveau donné du programme ...

Il se peut bien entendu, que suite à une fausse manoeuvre, l'on ait à réintroduire certains paramètres, aussi avons-nous prévu une procédure de correction à laquelle il est fait appel chaque fois que le besoin s'en fait sentir.

De la sorte, l'opérateur étant à chaque étape du programme en position de modifier les grandeurs introduites initialement, les risques d'interruption d'une exécution suite à l'introduction d'une donnée erronée sont pratiquement nuls.

Ainsi, si par exemple l'on doit répondre à une question par "oui" ou par "non" et que l'on tape un caractère quelconque autre que celui désiré, la question est posée avec émission d'un signal sonore pour rappeler à l'ordre l'utilisateur distrait. A certains niveaux du programme, l'éventail des réponses possibles étant bien connu, il y a réaffichage des textes apparaissant sur l'écran autant de fois que l'on introduit une réponse incorrecte.

Une fois que l'utilisateur s'est familiarisé avec le programme, il lui est donné la possibilité de regrouper toutes ses données dans un fichier auquel il donnera le nom de son choix.

Un menu spécialement destiné à cet effet lui permet de travailler en mode passif, c'est à dire que toutes les opérations s'effectuent directement (d'où un gain de temps appréciable) sans intervention extérieure.

Les résultats s'affichent presque instantanément sur l'écran et sont aussitôt dupliqués dans un fichier dont le nom aura été choisi au préalable.

Lorsque tous les calculs sont achevés, le programme se charge de demander si l'on désire imprimer son fichier de résultats. Dans l'affirmative, la manoeuvre s'enclenche automatiquement et l'on se retrouve en possession d'un volumineux listing. Un grain de prudence élémentaire (si ce n'est votre instinct de conservation) vous fera certainement trouver une excuse valable à présenter au responsable venu vous accuser de transformer son centre de calcul en imprimerie clandestine !

L'introduction de ces commodités permet de procéder à de nombreux calculs en faisant varier certains paramètres, rendant possible l'examen de la redistribution des sollicitations s'exerçant sur la structure.

A titre d'exemple, on pourra faire varier les dimensions des ouvertures d'un refends donné. Le tracé des courbes représentatives des efforts permettra de savoir à quel instant le voile cesse de travailler comme un refend plein pour se comporter comme un autre percé d'ouvertures de moyennes dimensions et au delà de quelle limite on pourra l'assimiler à un portique.

De la même façon, en diminuant ou en augmentant le nombre d'étages d'un bâtiment donné, nous saurons de manière précise au delà de quel niveau il cesse de se comporter comme un bâtiment court pour réagir comme un ouvrage de grande hauteur.

CHAPITRE	II	CHAPITRE	II	CH
CHAPITRE	II	CHAPITRE	II	CH
CHAPITRE	II	CHAPITR		CH
CHAPITRE	II	CHAPITR		CH
CHAPITRE	II	CHAPITR		CH
CHAPITRE	II	CHAPITR		CH

Chapitre II

CALCUL DES INERTIES EQUIVALENTES

1/- Choix d'un schéma de calcul :-

La structure ayant été conçue pour reprendre les efforts verticaux engendrés par les charges permanentes et les surcharges d'exploitation, il s'agit de la prémunir contre les sollicitations horizontales dues au vent et au séisme.

Pour cela, on prévoit des éléments de contreventement disposés dans les deux sens de manière à ce que la flèche au sommet du bâtiment soit inférieure à une certaine limite imposée par les conditions de confort et de sécurité. Chaque refend travaillera proportionnellement à son inertie propre et l'on veillera d'autant plus à respecter les dispositions constructives que le calcul est approximatif.

Dans la plupart des cas, le bâtiment possède toujours une certaine capacité d'adaptation mais la prudence recommande de se donner un schéma de calcul aussi proche que possible du comportement réel de l'ouvrage et il est impératif de le conserver de bout en bout.

Un exemple bien connu est celui du voile comportant une ou plusieurs files d'ouvertures : Il est tout à fait loisible de considérer chaque élément de refend comme un voile plein indépendant. La somme des inerties des éléments de refend est bien entendu, inférieure à l'inertie du voile composite et au moment de l'application d'une force H, celui-ci travaillera avec son inertie équivalente et reprendra donc un effort supérieur à celui prévu.

Les linteaux n'étant pas conçus en conséquence, il se crée des fissures qui font travailler le voile comme un ensemble de refends pleins indépendants. Il suffit alors de s'assurer que ces fissures ne présentent pas de risque vis-à-vis des forces verticales.

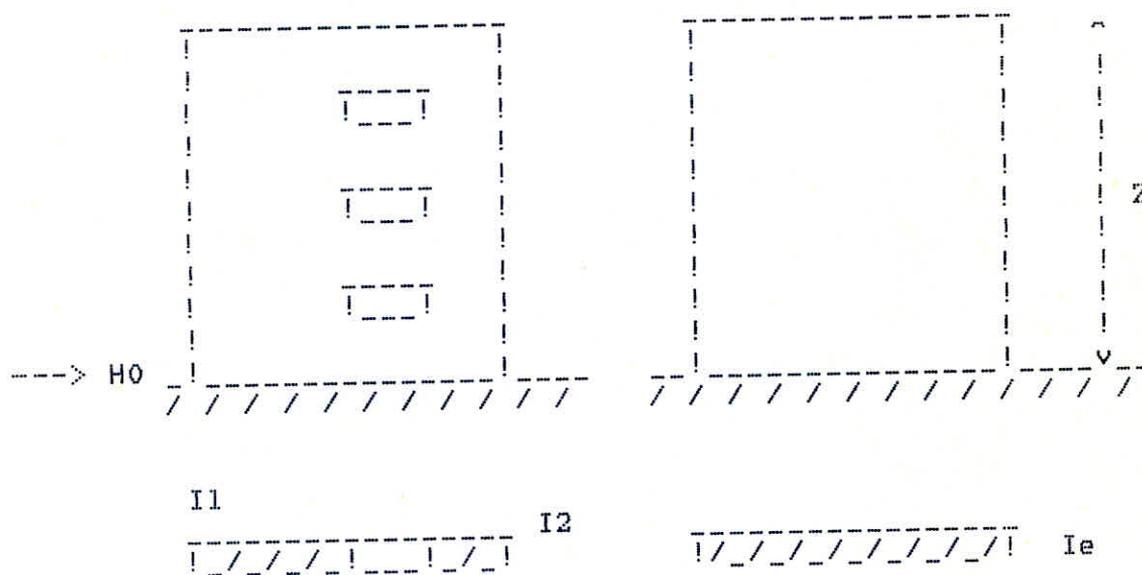
De la même façon, si l'on considère les refends présentant un ou plusieurs retours comme monolithes, il faudra conserver ce schéma jusqu'au bout et assurer ce monolithisme par la présence d'aciers.

2/- INERTIE EQUIVALENTE :-

Un artifice de calcul classique consiste à remplacer le voile présentant des ouvertures par un voile plein fictif qui, soumis à la même charge, présenterait une même flèche au sommet.

a)- Refends à une file d'ouvertures :

La méthode de calcul des refends à une file d'ouvertures a été élaborée en mai 1960 par MM. ALBIGES et GOULET pour le cas d'un vent constant. Sept ans plus tard paraissait un article publié par V. DAVIDOVICI traitant des charges verticales.



La flèche au sommet du refend plein s'exprimant par :

$$f = \frac{H0 \star Z \star \star 3}{8 \star E \star Ie}$$

et celle du refend avec ouvertures par :

$$f = \frac{H0 \star Z \star \star 3}{8 \star E \star I} + \frac{H0 \star Z \star \star 3}{E \star (I1 + I2)} - \frac{2 m c}{I} - \frac{Psi0}{Alpha \star \star 2}$$

Ou H_0 est l'effort tranchant à la base du refend,

m : le moment statique de chacun des éléments de refend par rapport au centre de gravité de l'ensemble.

I : l'inertie totale du refend

Alpha : le coefficient de monolithisme

Psi0 : le coefficient donné par des abaques, pour une cote relative égale à zéro, en fonction de Alpha

E : coefficient d'élasticité du matériau constituant le refend.

Z : hauteur du bâtiment.

On en déduit :

$$I_e = \frac{I}{\frac{16 \cdot m \cdot c}{I_1 + I_2} \cdot \frac{\Psi_0}{\text{Alpha}^2} + 1} \quad \text{dans le cas d'un}$$

voile sollicité par un chargement uniformément réparti sur sa hauteur.

Cette formule devient :

$$I_e = \frac{a_n \cdot I}{\frac{60}{11} \cdot \frac{2 \cdot m \cdot c \cdot \text{Lambda}_0}{10 \cdot \text{Alpha}^2} + 1} \quad \text{dans le cas de}$$

charges triangulaires concentrées, LAMBDA_0 étant un coefficient s'exprimant en fonction du paramètre ALPHA et de la hauteur relative KSI; a_n est donné par une table, en fonction du nombre de niveaux n .

$$a_n = \frac{11}{20} + \frac{9}{20 * n} - \frac{1}{30 * n^{**}2} - \frac{1}{30 * n^{**}3}$$

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
a _n	1,7	1,39	1,27	1,2	1,16	1,14	1,12	1,10	1,09	1,08	1,02

On prendra $a_n = 1$ si $n > 11$.

La programmation de ces formules ne présente aucune difficulté particulière. On peut par exemple suivre la démarche exposée par l'organigramme de la page suivante.

Notations :-

- t1 : largeur du premier trumeau,
- t2 : largeur du deuxième trumeau,
- e : épaisseur du refend,
- e' : épaisseur du linteau,
- h' : sa hauteur,
- J : son moment d'inertie,
- c : demi-distance entre les centres de gravité des deux éléments de refend, et
- E' : coefficient d'élasticité du matériau constituant le linteau.

/ / Lecture des paramètres de calcul / /

$$\begin{aligned} \text{Oméga}_1 &= e * t1 \\ \text{Oméga}_2 &= e * t2 \end{aligned}$$

$$m = \frac{2 * c}{1/\text{Oméga}_1 + 1/\text{Oméga}_2}$$

$$J = e' * (h'^3)/12$$

$$I1 = e * t1^3/12 \quad ; \quad I2 = e * t2^3/12$$

$$I = I1 + I2 + 2 * m * c$$

$$w = \frac{3 * E' * J}{E * (I1+I2)} * \frac{I}{m} * \frac{c}{a^3 * h}$$

$$\text{Alpha} = w * z$$

$$\text{Psi0} = \frac{1}{2} * \frac{\text{Sh}(\text{Alpha})}{\text{Alpha} * \text{Ch}(\text{Alpha})} + \frac{1}{\text{Alpha}^2} * \left(1 - \frac{1}{\text{Ch}(\text{Alpha})}\right)$$

$$\text{Lambda0} = \left(1 - \frac{2}{\text{Alpha}^2} * \frac{\text{Sh}(\text{Alpha})}{\text{Alpha} * \text{Ch}(\text{Alpha})}\right) + \frac{2}{\text{Alpha}^2} * \frac{1}{(1 - 1/\text{Ch}(\text{Alpha})) - 1/3}$$

$$I_{ev} = \frac{I}{(16 * m * c / (I1 + I2) \dots)}$$

$$I_{es} = a_n * \frac{I}{(60/11 \dots)}$$

b)- Refends à plusieurs files d'ouvertures :-

La généralisation de la méthode exposée ci-dessus aux refends munis de plusieurs files d'ouvertures a été publiée dans les annales de l'ITBTP en février 1972, sous le titre "Problèmes de contreventement", par J. DESPEYROUX et V. GUILLOT.

Elle suppose qu'aucun trumeau n'a une largeur inférieure à deux (2) mètres et considère que la distribution des forces est soit uniforme, soit triangulaire.

La flèche au sommet d'un refend à n files d'ouvertures est donnée par la formule approximative suivante :

$$f = \frac{H_0 \star Z^{\star\star 3}}{E \star (I_1 + I_2 + \dots)} \star \frac{\Psi_{i0}}{\text{Alpha}^{\star\star 2}} + \frac{H_0 \star Z^{\star\star 3}}{8 \star E \star I}$$

Où I_i est le moment d'inertie du trumeau i .

L'inertie équivalente s'exprime alors par :

$$I_e = \frac{I}{\frac{8 \star I}{(I_1 + I_2 + \dots)} \star \frac{\Psi_{i0}}{\text{Alpha}^{\star\star 2}} + 1} \quad \text{pour une charge}$$

uniformément répartie, avec $\text{Alpha} = w \star Z$

$$I_e = \frac{a_n \star I}{\frac{60}{11} \star \frac{I}{I_0} \star \frac{\text{Lambda}_0}{\text{Alpha}^{\star\star 2}} + 1} \quad \text{pour des charges}$$

concentrées triangulaires.
 w est donné par :

$$w = \frac{6 \star E'}{E \star (I_1 + I_2 + \dots + I_n)} \star \left(\frac{J_1 \star c_1^{\star\star 2}}{a_1^{\star\star 3}} + \frac{J_2 \star c_2^{\star\star 2}}{a_2^{\star\star 3}} + \dots \right)$$

La connaissance de la distance D séparant le centre de gravité du trumeau situé à l'extrémité gauche du voile et celui de l'ensemble permet de déterminer les moments statiques des trumeaux en écrivant :

$$m_1 = \Omega_1 * D$$

et, pour $i \geq 2$,

$$m_i = m_{(i-1)} + \Omega_i * (D - \text{Somme}(2 * C_j))$$

j variant de 1 à (i-1).

Avec

Ω_i : Section horizontale du trumeau i,

$2 * C_j$: entre-axes des consoles j et (j+1)

a_i : demi-largeur de l'ouverture i.

Où D satisfait à l'égalité :

$$D * (\Omega_1 + \Omega_2 + \dots) = 2 * \sum_{i=2, n} \Omega_i * (\sum_{j=1, i-1} C_j)$$

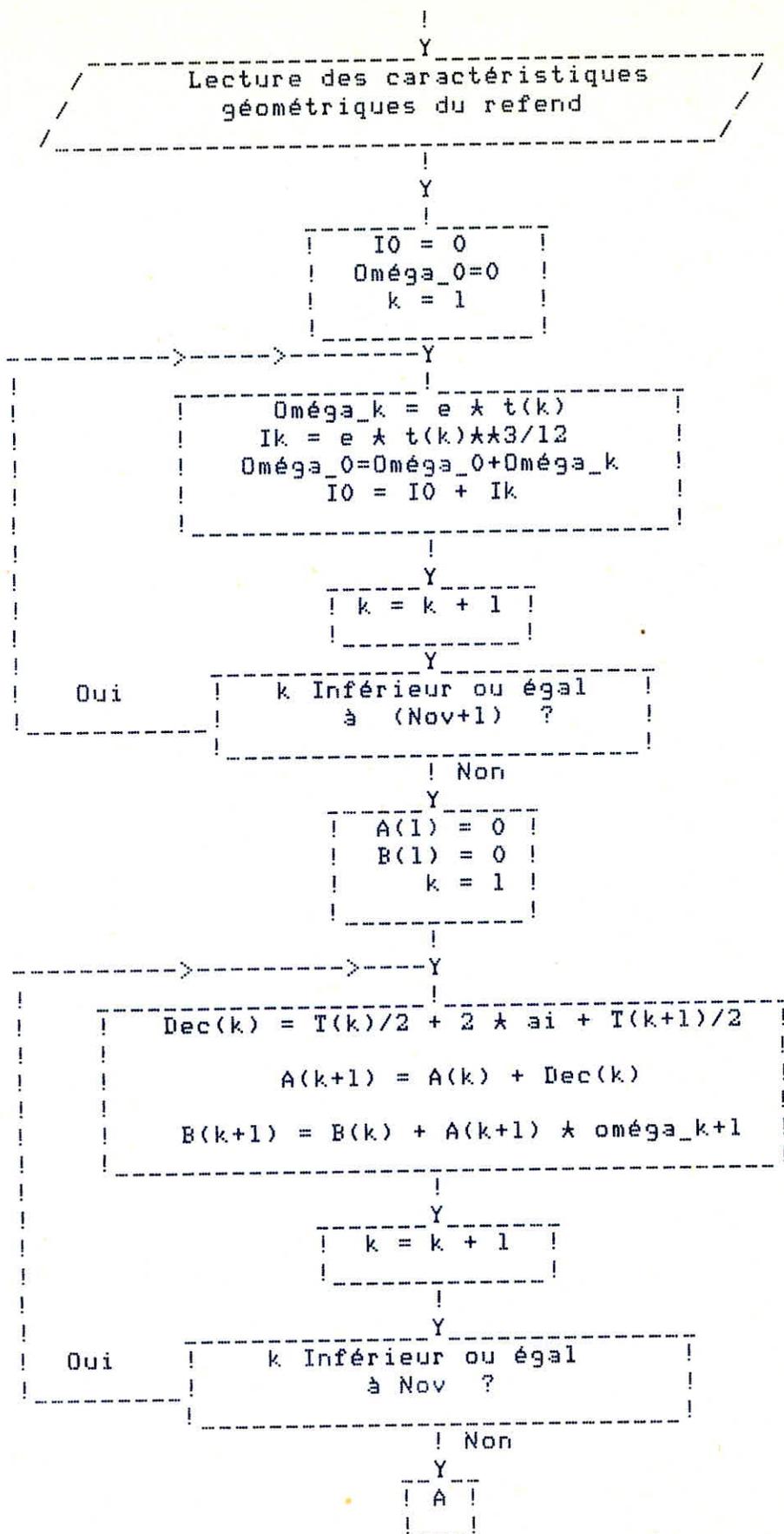
On trouvera dans les pages ci-après un organigramme exposant les étapes de calcul de l'inertie équivalente d'un refend à n files d'ouvertures.

Notations :-

t(k) : largeur du trumeau k,

Ω_k : surface de ce trumeau, et

I(k) : son inertie.



|
Y
| B |
| |
|
Y

$$w = \frac{6 * E' * Som}{E * I0 * h}$$

|
Y
| Alpha = w * Z |
| |
|
Y

$$\Psi_0 = \frac{1}{2} \frac{Sh(\alpha)}{\alpha * Ch(\alpha)} + \frac{1}{\alpha^2} * \left(1 - \frac{1}{Ch(\alpha)} \right)$$

$$\Lambda_0 = \left(1 - \frac{2}{\alpha^2} * \left(1 - \frac{Sh(\alpha)}{\alpha * Ch(\alpha)} \right) + \frac{2}{\alpha^2} * \left(1 - \frac{1}{Ch(\alpha)} \right) - \frac{1}{3} \right)$$

|
Y
|
Iev = $\frac{I}{8 * I * \Psi_0 + 1}$
|
I0 * Alpha ** 2
|

|
Y
|
Ies = $\frac{an * I}{60 * I * \Lambda_0 + 1}$
|
11 * I0 * Alpha ** 2
|

|
Y
|
Sortie des résultats
|

La prise en compte de l'éventualité de variation des dimensions des linteaux lorsque l'on passe d'une file d'ouvertures à l'autre se fait aisément. Toutefois, les ouvertures d'une même file seront considérées comme identiques pour d'une part, éviter de compliquer le problème et d'autre part, afin de satisfaire aux hypothèses sur lesquelles se fonde la méthode d'ALBIGES et GOULET.

Selon A. FUENTES, les refends percés d'ouvertures disposées de telle sorte que l'on puisse faire passer des bielles à 45° à travers le système, peuvent être considérés comme monolithiques et calculés comme tels, sous réserve de renforcer les ouvertures par un cadre de béton armé.

Remarque :-
#####

La définition de l'inertie équivalente conduit à une erreur systématique du fait que la déformée du refend avec ouvertures diffère de celle du refend plein. De ce fait, l'erreur n'est nulle qu'au sommet et à la base des refends.

On démontre que l'on réduit cette erreur en écrivant l'égalité des flèches non pas au sommet, mais à une cote relative $K_{si} \neq 0.80 * Z$ ce qui donne l'inertie équivalente optimale.

CHAPITRE III CHAPITRE III
CHAPITRE III CHAPITRE I
CHAPITRE III CHAPIT
CHAPITRE III C
CHAPITRE II
CHAPITR
CH

Chapitre III

DETERMINATION DU CENTRE DE TORSION

Une fois les inerties déterminées, il s'agit de répartir les efforts tranchants à chaque niveau sur les différents éléments participant au contreventement.

La méthode exposée ci-après est celle du centre de torsion. Elle repose sur l'hypothèse suivant laquelle le plancher est indéformable dans son plan et que par conséquent, il se déplace comme un corps solide.

Par définition, le centre de torsion (ou centre élastique) d'un groupe de refends est le point caractérisé par les propriétés suivantes :

-* - Une force dont la ligne d'action passe par le centre de torsion engendre uniquement une translation des refends suivant sa direction.

-* - Un moment dont l'axe vertical passe par le centre de torsion engendre uniquement une rotation des refends. Le sens de la rotation est le même que celui du moment.

En conséquence, nous dirons que le centre de torsion n'est autre que le centre de gravité des rigidités des refends, sachant que la rigidité d'un refend est donnée par :

$$R = \frac{12 \star E \star I}{L \star \star 3}$$

Où L est la hauteur d'étage,
I son moment d'inertie et
E son module de Young.

Dans le cas général, tous les refends ont le même module d'élasticité, la même hauteur et présentent les mêmes conditions aux appuis.

Il est donc possible de simplifier les calculs en remplaçant la rigidité par le moment d'inertie.

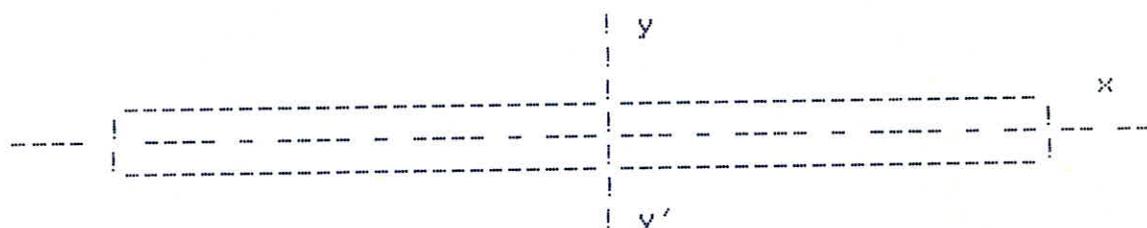
Le calcul simplifié s'applique dans les cas très fréquents où les axes principaux de la plupart des refends sont parallèles, les refends disposés selon une autre direction constituant une exception. De plus, les conditions pour effectuer les calculs avec les moments d'inertie à la place des rigidités sont respectées.

On peut donc suivre les étapes suivantes :

1)- Choix d'un système de référence Oxy disposé de telle sorte que ses axes soient parallèles aux axes principaux de la majorité des refends.

2)- Chaque refend ayant exceptionnellement des axes propres d'inertie disposés selon une direction qui ne coïncide pas avec les directions (Ox, Oy) est remplacé par deux refends fictifs dont les centres de gravité coïncident avec celui du refend réel.

3)- Détermination des inerties I_x et I_y pour chaque refend. Les refends rectangulaires dont un coté est nettement plus grand que l'autre seront considérés comme linéaires dans le cas général.



Afin d'éviter une accumulation systématique des erreurs, nous avons tout de même tenu compte des inerties dans les deux sens pour un refend plein. Toutefois, les refends comportant une ou plusieurs files d'ouvertures seront supposés avoir une inertie négligeable dans le sens de leur épaisseur.

Pour des raisons évidentes et dans le souci de faciliter la tâche à l'utilisateur en lui laissant constamment son libre arbitre, nous avons fait en sorte qu'il puisse opter pour une position quelconque du système d'axes de référence, à charge pour lui de déterminer les positions des centres de gravité dans ce système.

Le programme tiendra compte des directions des refends et lorsque l'un d'entre eux présentera une inclinaison, il sera demandé d'introduire celle-ci. Les inerties dans les deux directions seront alors fonction des inerties principales I_{xg} et I_{yg} du refend et de son angle d'inclinaison Φ par rapport à l'axe Ox et l'on écrira :

$$I_x = I_{xg} * (\text{Cos}(\text{Phi}))^{**2} + I_{yg} * (\text{Sin}(\text{Phi}))^{**2}$$

$$I_y = I_{yg} * (\text{Cos}(\text{Phi}))^{**2} + I_{xg} * (\text{Sin}(\text{Phi}))^{**2}$$

Du point de vue réalisation, il y a affichage d'un menu permettant de se brancher sur différents sous-programmes selon que le voile est plein ou présente une à plusieurs files d'ouvertures.

L'expérience montre qu'il arrive fréquemment, en traitant un voile plein, de faire appel à la procédure destinée aux voiles à une file d'ouvertures ou à celle destinée à ceux en comportant plusieurs files et inversement, d'appeler le sous-programme s'occupant des refends pleins alors que l'on est en présence d'ouvertures.

Pour éviter d'avoir à interrompre l'exécution, il a été prévu de disposer une fenêtre dans la partie supérieure de l'écran, indiquant de quelle façon l'on doit procéder pour revenir au menu. On peut de la sorte accéder à n'importe quel module, y faire un traitement donné et revenir au programme principal sans risque de déroutement.

La fenêtre est inamovible, c'est à dire qu'elle n'est pas affectée par le "scrolling" ("déroulement" de l'affichage de bas en haut). Sa "fermeture" s'effectue normalement à la sortie des modules concernés pour ne pas trop surcharger l'écran.

Pour cette raison meme, il ya "rafraichissement" de ce dernier à chaque fois que l'on n'a plus besoin d'une information, en le signalant au programme d'une manière appropriée.

Les refends profilés seront traités comme des refends linéaires indépendants. On peut donc s'attendre à l'apparition de fissures dans les lignes de jonction et l'on y remédiera en faisant une vérification au cisaillement avec application de la règle des coutures.

L'effort de cisaillement dans les sections verticales de raccordement étant donné par :

$$T_b = \frac{T * m}{I * b}$$

Ou T représente l'effort tranchant repris par le voile.

m : son moment statique,

I : son moment d'inertie et

b : sa plus petite dimension.

Il s'agit de vérifier que cet effort de cisaillement est inférieur à quatre (4) fois la contrainte admissible à la traction du béton. Si cette condition n'est pas satisfaite, on peut soit redimensionner le voile, soit ne plus faire intervenir son monolithisme dans les calculs.

A cet égard, il convient de noter que les règles PS 69 déconseillent fortement les contreventements sur un voile unique, surtout s'il est en forme de U ou de I dissymétrique.

Le fait de ne pas compter sur le monolithisme des refends nous permet d'éviter la détermination des centres de gravité des éléments présentant des décrochements en demandant à chaque fois l'emplacement et la direction des retours, ce qui à la longue devient fastidieux.

- Connaissant les distances dx séparant les voiles transversaux de l'axe Oy et les distances dy séparant les voiles longitudinaux de l'axe Ox , la détermination des coordonnées du centre de torsion dans le système d'axes de référence se fait en écrivant :

$$X_c = \frac{\text{Somme}(I_x * dx)}{\text{Somme}(I_x)}$$

$$Y_c = \frac{\text{Somme}(I_y * dy)}{\text{Somme}(I_y)}$$

On remarquera que la méthode se base sur un bien grand nombre d'approximations :

-*- Non prise en compte de la déformation des planchers aussi bien dans leur plan que dans celui qui leur est perpendiculaire.

-*- Compatibilité des déformations négligée.

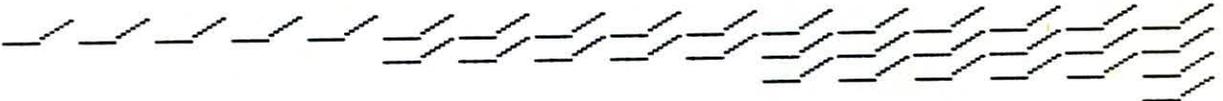
-*- Travail en torsion genée n'intervenant à aucun moment dans les calculs.

-*- Non prise en compte de la déformation relative des éléments de contreventement.

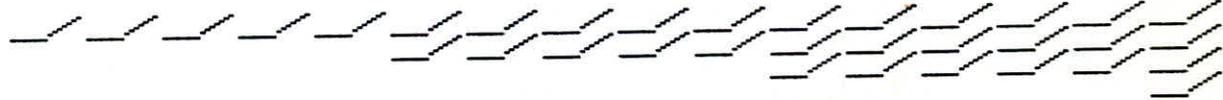
-*- La rigidité des cloisons qui est souvent considérable, n'est absolument pas prise en compte.

Il ne faudrait donc surtout pas se faire d'illusions quant à la précision des calculs uniquement parce que l'on dispose d'un outil très perfectionné : les raisons exposées ci-dessus font qu'il est inutile - sinon aberrant - de conserver à nos résultats plus de deux décimales dans certains cas, et plus de trois dans d'autres.

Un simple calcul d'incertitude ferait se récrier d'horreur l'amateur de précision le moins exigeant (et le plus endurci !)



CHAPITRE	IV	CHAPITRE	IV	CH		
	CHAPITRE	IV	CHAPITRE	IV		
		CHAPITRE	IV	CHAPITR		
			CHAPITRE	IV	CH	
				CHAPITRE	IV	
					CHAPITR	
						CH



Chapitre IV

REPARTITION DES FORCES HORIZONTALES

A/- Efforts sismiques :-

1/- Calcul des forces dues au séisme :-

Avec le développement des normes parasismiques, les décennies écoulées ont vu l'émergence de différents règlements basés sur des études statistiques ainsi que des méthodes de calcul plus ou moins récentes.

Les chapitres qui vont suivre se référeront au règlement parasismique algérien comme document de base et il sera parfois fait appel aux règles PS 69 dans un but comparatif.

Souvent, l'intensité des séismes est suffisante pour causer d'importants dommages (et parfois la ruine) aux structures des constructions, à moins que celles-ci ne soient conçues et construites de manière à résister aux effets de ce genre.

Dans cet esprit, le RPA se donne pour but de prévoir les mesures nécessaires à la conception et à l'exécution des constructions.

Il est applicable à la majorité des catégories d'ouvrages courants de configuration simple et régulière. Son domaine d'application s'étend à différents systèmes de contreventement, dont les murs en béton armé; toutefois, la distribution de rigidité sur la hauteur du bâtiment est supposée ne pas présenter de variation, tout comme dans les règles PS 69.

a)- Principe de calcul :-

Dans la conception du RPA, les forces dynamiques qui se développent dans la construction sont remplacées par un système de forces fictives dont les effets sont considérés équivalents à l'action sismique.

Le mouvement du sol pouvant se faire dans une direction quelconque, on choisira dans le cas général, les deux axes principaux du plan horizontal du bâtiment comme directions d'application des forces sismiques.

Il ne faut surtout pas perdre de vue que les calculs, qu'ils soient statiques ou dynamiques, ne représentent qu'une image conventionnelle de la réalité.

b)- Action sismique :-

Les forces sismiques horizontales totales contre lesquelles le projeteur doit prémunir la structure du bâtiment se calculent selon le RPA en écrivant :

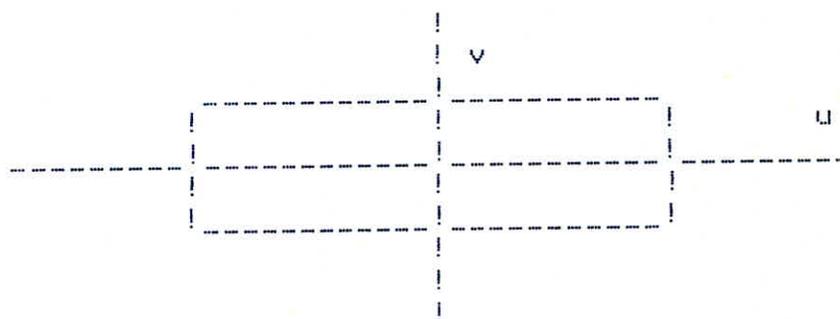
$$V = A.D.B.Q.W$$

Où A, D, B et Q sont des coefficients donnés par des tables, W étant la charge à considérer dans le calcul sismique.

Pour leur part, les règles PS 69 permettent un calcul simplifié pour les bâtiments courants, dans le cas d'intensités modérées.

Ce calcul se base sur la détermination de coefficients sismiques dans les directions choisies par le projeteur, la vérification se faisant successivement dans les deux sens.

Les coefficients sismiques horizontaux s'expriment par :



$$\text{Sigma}_u = \text{Alpha} * \text{Béta}_u * \text{Gamma} * \text{Delta}$$

$$\text{Sigma}_v = \text{Alpha} * \text{Béta}_v * \text{Gamma} * \text{Delta}$$

- Ou
- _/ Sigma_u est le coefficient calculé pour la direction longitudinale Ou,
 - _/ Sigma_v celui calculé pour la direction transversale Ov,
 - _/ Alpha est le coefficient dépendant de l'intensité nominale pour laquelle est demandée la protection de l'ouvrage. Il est donné par une échelle en fonction de cette intensité.
 - _/ Béta est le coefficient de réponse, fonction de la période du mode fondamental d'oscillation de la structure. Pour un bâtiment d'amortissement normal, il est donné par :

$$\text{Béta} = \frac{0.065}{(T)^{1/3}} \quad \text{avec un minimum}$$

de 0.05 et un maximum de 0.10 ou 0.08 suivant la nature des sols de fondation.

_ / Gamma est le coefficient de distribution applicable au plancher situé à une cote h, plancher au niveau duquel sont ramenées les charges et surcharges d'exploitation. Il est donné par :

$$\text{Gamma}(h) = h * \frac{S}{I}$$

S étant le moment statique de la construction chargée et I son moment d'inertie.

_ / Delta est le coefficient donné par des tables en fonction du mode de fondation, de la consistance du sol et des caractéristiques géophysiques.

Le coefficient sismique vertical est quant à lui, égal au plus grand des coefficients sismiques horizontaux Sigma_u et Sigma_v divisé éventuellement, par la racine carrée de Alpha, si Alpha est supérieur à 1.

Le calcul se résumant à de simples multiplications, il sera laissé à l'utilisateur le soin d'introduire au clavier la force V suivant les directions O_x et O_y .

Il lui sera alors demandé de fournir les périodes d'oscillation de la structure suivant sa grande et sa petite portée.

Ces périodes auront été calculées au préalable par une méthode appropriée conformément aux règlements en vigueur (formules empiriques ou relations exactes)

On pourra par exemple utiliser les formules forfaitaires données par le RPA :

$$T = \frac{0.09}{\text{SQRT}(L)}$$

ou L est la dimension en plan du bâtiment dans le sens de l'action sismique.

Le PS 69 permet l'utilisation de la relation suivante :

$$T = \frac{0.08 * Z}{\text{SQRT}(L)} * \text{SQRT}\left(\frac{Z}{L + Z}\right)$$

pour des contreventements par voiles de béton armé.

2/- Répartition des efforts sismiques :-

Le programme se charge d'effectuer la répartition par niveau des forces horizontales grace à la formule :

$$F_k = \frac{(V - E_t) * W_k * H_k}{\text{Somme}(W_i * H_i)}, \text{ pour } i = 1 \text{ à } n$$

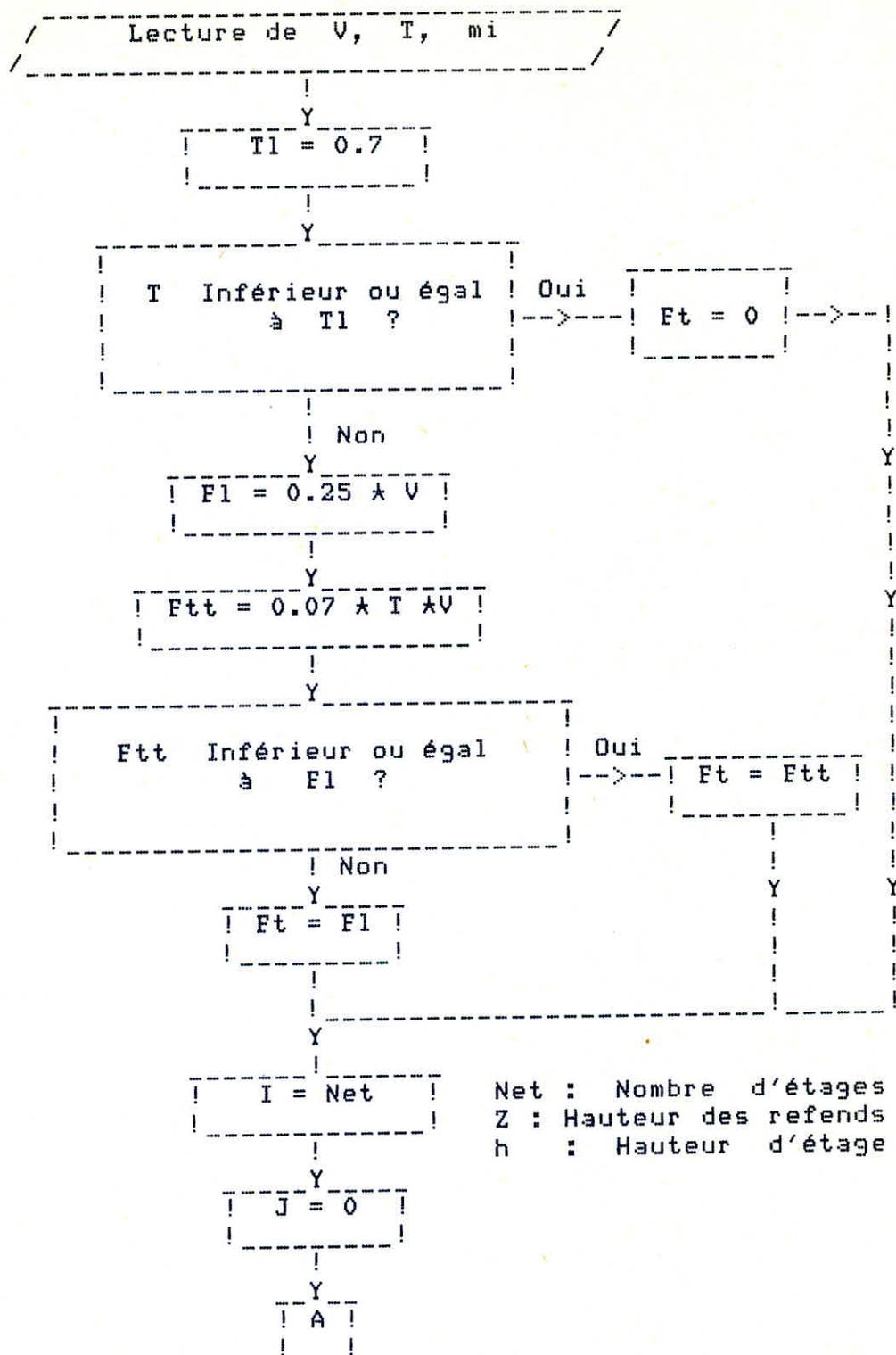
E_t étant la force concentrée appliquée au sommet de la structure. Sa valeur est donnée par :

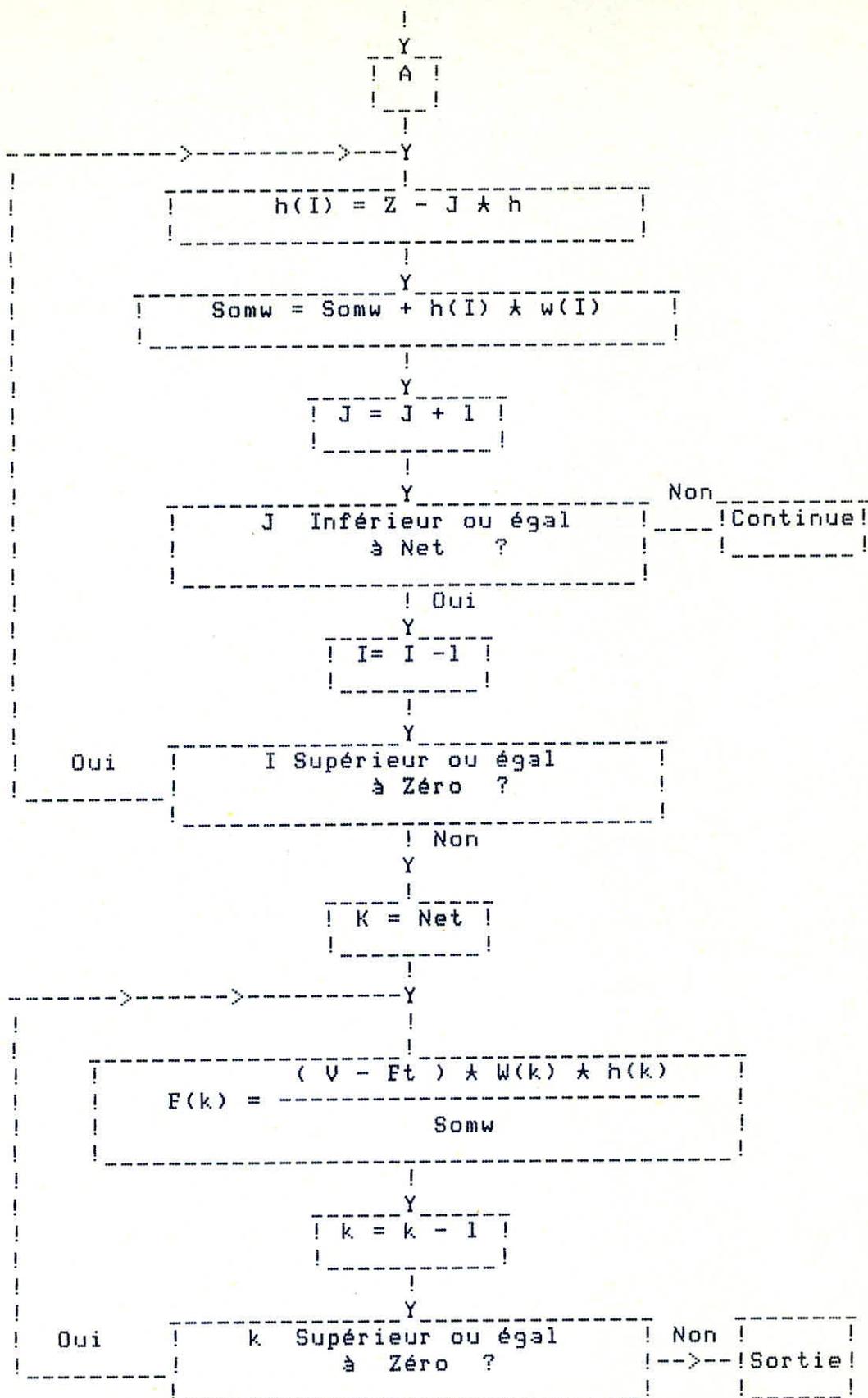
$$E_t = 0.07 * T * V$$

Dans le cas ou la période d'oscillation serait inférieure à 0.7 s, on prendra $E_t = 0$.

E_t ne devra en aucun cas dépasser 0.25 V.

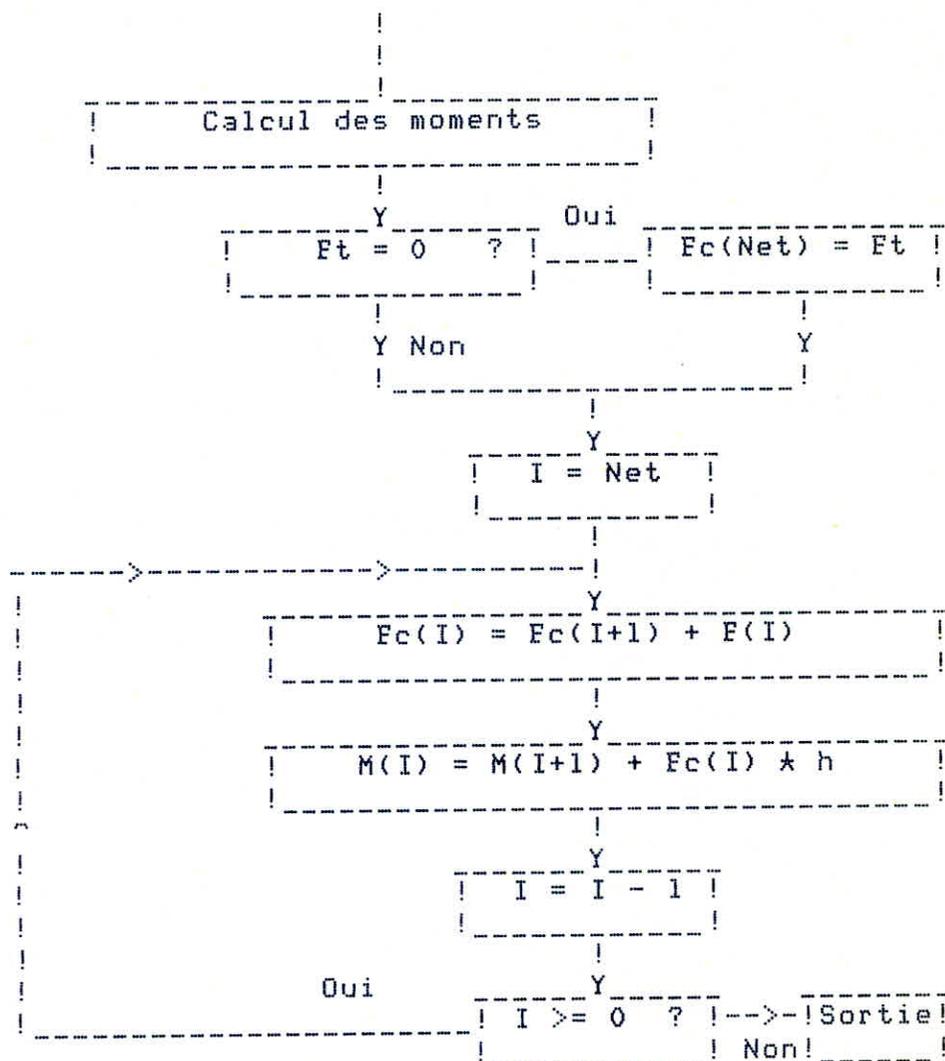
L'organigramme suivant expose la démarche suivie pour effectuer la répartition après avoir calculé les hauteurs relatives H_k comptées à partir de la base jusqu'au niveau k.





Le calcul des moments extérieurs se fera de manière fort simple en effectuant le produit des forces au dessus du niveau k par leur bras de levier.

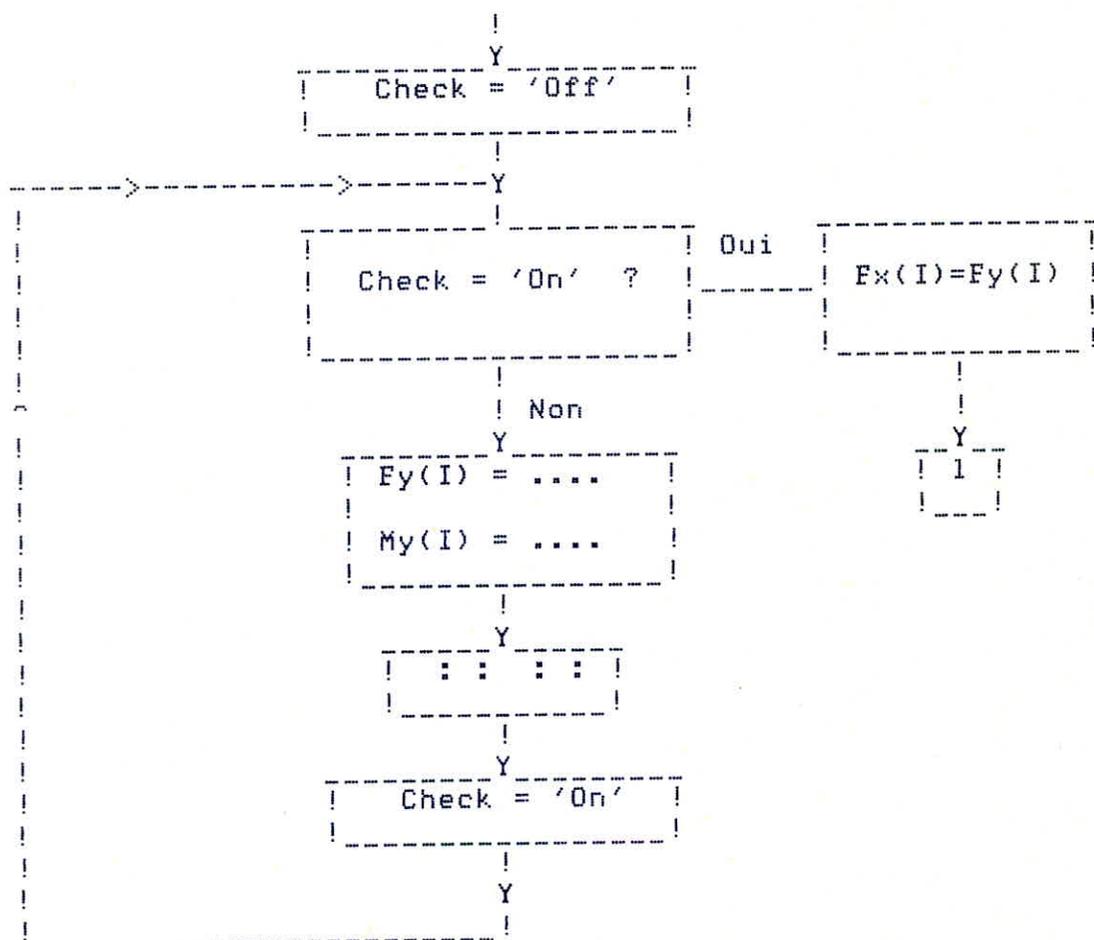
La hauteur d'étage étant constante (ce qui constitue l'une des hypothèses sur lesquelles se base la méthode d'ALBIGES et GOULET), il suffira de procéder comme suit pour avoir le moment à la cote désirée :



Remarque :-

Le calcul se faisant dans les deux directions à l'aide de formules identiques, il existe un artifice permettant d'éviter de réécrire ces formules en changeant leurs indices.

Ce procédé, connu sous le nom de "technique de l'interrupteur" consiste à placer en tête du programme une variable dite de contrôle. Initialement, sa valeur est prise égale à zéro. A la fin des calculs, elle vaudra 1 et selon qu'elle est nulle ou pas, les indices utilisés pour une direction seront convertis en ceux utilisés pour l'autre.



Ceci nous permettra en outre d'obtenir au premier passage les résultats donnés par le calcul théorique et au deuxième, ceux dérivant des prescriptions du RPA, sans avoir à reprendre la moindre partie du programme.

B) Efforts dus au vent

Le calcul au vent n'étant pas l'objet de cette étude, nous nous contenterons d'effectuer la répartition des efforts sur les différents niveaux.

1_ Calcul de l'effort de trainée :-

Il ne sera tenu compte que de l'effort de trainée T qui, étant le plus important, conditionne le dimensionnement des éléments assurant le contreventement. Sa valeur peut être tirée de la formule donnée par les règles N.V. 65 :

$$T = C_t * \text{Béta} * \text{Delta} * q * d$$

Où . C_t est le coefficient de trainée,

. Béta celui de majoration dynamique,

. Delta le facteur tenant compte des dimensions de l'ouvrage.

. q la pression normale du vent, et

. d la largeur du maître-couple (en fait égale à la largeur du bâtiment).

Le diagramme donnant T en fonction de la hauteur se rapproche dans le cas général, d'un diagramme trapézoïdal que l'on décompose pour simplifier l'étude, en une partie rectangulaire et une autre triangulaire conformément au principe de superposition des efforts.

De la sorte, nous dirons que le diagramme trapézoïdal provient de la somme d'une pression constante T_0/Z et d'une pression triangulaire $2 * T_1/Z$.

Afin d'envisager l'éventualité qu'aurait cette dernière d'être nulle, il sera demandé à l'utilisateur d'introduire les pressions au sommet et à la base de la structure.

Un test sur ces valeurs permettra de savoir si le coefficient de forme du vent est nul ou pas et l'on connaîtra de la sorte l'allure du diagramme des efforts tranchants. Ce coefficient est donné par :

$$R0 = \frac{88}{60} * \frac{T1}{T0}$$

En l'absence de vent triangulaire, le coefficient R0 s'annule et l'effort T proviendra uniquement de la partie rectangulaire.

2_ Répartition des efforts dus au vent :-

Dans le cas général, la répartition se fera par la formule :

$$T = T0 * (1 - Ksi) + T1 * (1 - Ksi**2)$$

Ou $Ksi = \frac{z}{Z}$ représente l'altitude relative.

Les efforts résultants seront déduits directement en écrivant :

$$H0 = (\text{effort du à la partie constante du diagramme}) * (\text{hauteur du bâtiment})$$

$$H1 = (\text{effort du à la partie triangulaire}) * (\text{la demi-hauteur du bâtiment})$$

Les moments résultants vaudront donc :

$$M_0 = 1/2 * H_0 * Z$$

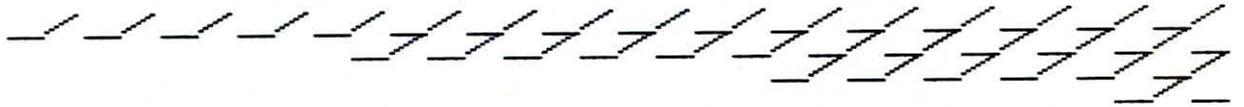
$$M_1 = 2/3 * H_1 * Z$$

et l'on obtiendra les efforts totaux en additionnant ces valeurs.

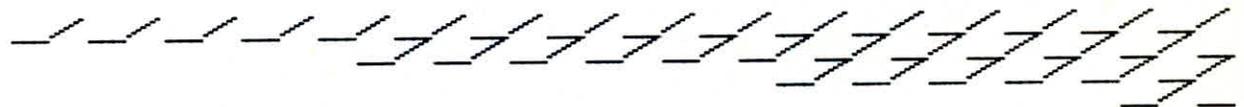
Remarque :-

#####

Dans le cas général, le calcul de l'effort de dérive est sans objet, de même que la vérification de la résonance. Par ailleurs, l'effet du poids d'un ouvrage en béton armé est presque toujours supérieur à celui du vent extrême. La justification de la pression du vent est donc inutile.



CHAPITRE V CHAPITRE V CHAP
CHAPITRE V CHAPITRE V
CHAPITRE V CHAPITRE
CHAPITRE V CHA
CHAPITRE V
CHAPITR
CH



Chapitre V

REPARTITION DES EFFORTS SUR LES ELEMENTS DE CONTREVENTEMENT

Une fois déterminés les forces ou efforts tranchants agissant au niveau de chaque plancher, il faut les répartir entre les différents éléments de contreventement.

Cette répartition se fera en utilisant la méthode du centre de torsion qui est simple, générale et facilement mise sous forme d'algorithme.

1_ Efforts dus à la translation :-

Ayant remplacé tous les voiles par des couples de refends linéaires et déterminé le centre de torsion CT , on dispose un nouveau référentiel passant par ce point et y calcule les coordonnées X_t et Y_t des voiles.

Les inerties propres des refends prises par rapport à leurs centres de gravité respectifs ne changent pas.

Une force extérieure dont la ligne d'action passe par le centre de torsion se répartira uniquement entre les refends linéaires qui lui sont parallèles. Chaque refend en reprend une proportion donnée, selon son inertie :

$$f_x = F_x * \frac{I_y}{\text{Somme}(I_y)}$$

$$f_y = F_y * \frac{I_x}{\text{Somme}(I_x)}$$

2_ Efforts dus à la rotation :-

Si la ligne d'action des forces extérieures ne passe pas par le centre de torsion, il se crée un moment égal au produit de la force considérée par son excentricité propre, d'où la nécessité de connaître la position du centre de gravité.

La détermination de celle-ci, si elle devait s'effectuer dans le programme, entraînerait des lourdeurs considérables : il faudrait demander à l'utilisateur une telle quantité d'informations que le simple fait de les introduire au clavier se révélerait plus contraignant qu'un calcul à la main.

De plus, ce logiciel se voulant applicable au plus grand nombre possible de formes, il est impossible de prévoir la répartition des masses des éléments structuraux.

Pour ces raisons même, le calcul des centres de masse se fera manuellement, le programme se chargeant de déterminer les excentricités.

Le moment de torsion se déduira aisément en posant :

$M = F \times e$, ou e est l'excentricité de la force.

Afin de faciliter la répartition des forces extérieures, on égalisera la force F à l'unité. Chaque voile reprendra donc une certaine proportion (qui sera bien entendu, inférieure et au plus égale à 1) de cette force unitaire. Il suffira alors d'effectuer une simple multiplication pour retrouver les efforts réels.

Le moment de torsion calculé plus haut sera réparti en forces à la fois dans les refends parallèles à Ox et dans ceux dans la direction Oy .

#- Ceux parallèles à Ox en reprennent une quantité

$$\text{Phi}_x = \frac{M \times X_t \times I_y}{J_{\text{Téta}}}$$

#- Ceux parallèles à Oy en reprennent

$$\text{Phi}_y = \frac{M \times Y_t \times I_x}{J_{\text{Téta}}}$$

Où $J_{\text{Téta}}$ représente le moment d'inertie polaire donné par :

$$J_{\text{Téta}} = \text{Somme}(I_x \times X_t^2) + \text{Somme}(I_y \times Y_t^2)$$

Les efforts dans les refends seront ensuite cumulés en faisant les sommes $f_x + \text{Phi}_x$ et $f_y + \text{Phi}_y$.

Le RPA 81 recommande d'annuler les efforts tranchants négatifs dus à la torsion provoquée par l'excentrement de la force appliquée par rapport au centre de torsion.

Cet excentrement sera, à chaque niveau, égal au maximum des deux valeurs :

* excentricité théorique

* 5 % de la plus grande dimension en plan du bâtiment.

Si la vérification du calcul théorique devra donner

$$\begin{aligned} \text{Somme}(f_x) &= 1 & ; & & \text{Somme}(f_y) &= 1 & & (*) \\ \text{Somme}(\text{Phi}_x) &= 0 & ; & & \text{Somme}(\text{Phi}_y) &= 0 & & \end{aligned}$$

celle effectuée en respectant les prescriptions du RPA ne vérifiera pas nécessairement les égalités du système (*) de par le fait que l'on se pénalise en évitant de soustraire à l'effort tranchant engendré par la translation, celui naissant de la rotation.

De même que le RPA 81, les règles PS 69 conseillent de vérifier la stabilité d'ensemble de la structure en supposant que la résultante des forces horizontales se trouve accidentellement excentrée par rapport à sa position théorique d'une distance :

$$e = \frac{+ 1}{- 20} * (\text{Lambda} + \text{Mu}) * (L + d)$$

Lambda étant égal à $\begin{cases} 0 & \text{Si } \frac{L_u}{L_v} \text{ est inférieur} \\ & \text{ou égal à 2.5} \\ & \left(\frac{L_u}{L_v} - 2.5 \right) & \text{Sinon.} \end{cases}$

L_u et L_v sont respectivement la longueur et la largeur du bâtiment,

d est le bras de levier de la résultante théorique des forces horizontales par rapport au centre de torsion.

μ est un coefficient égal à :

-#- Zéro si le plan de contreventement le plus sollicité équilibre une fraction $T\acute{e}ta$ des efforts horizontaux.

-#- $6 * (T\acute{e}ta - 2/3)$ si le plan de contreventement le plus sollicité équilibre une fraction $T\acute{e}ta$ des efforts horizontaux supérieure à $2/3$.

Le calcul de l'excentricité e permet la détermination des sollicitations de torsion accidentelles autres que celles provenant d'un éventuel décalage entre centres de torsion et de masse.

Dans la suite de nos calculs, nous considérerons que tous les étages sont identiques et l'on ne demandera d'introduire que les coordonnées des centres de gravité du dernier niveau et d'un étage courant.

Lecture des dimensions en plan (A,B)
 et des coordonnées du CDG (ex0, ey0)

Y
 I = 1

Xt(I) = Xg(I) - Xc ; Yt(I) = Yg(I) - Yc
 J_Teta = J_Teta + Ix(I)* Xt**2 + Iy(I)* Yt(I)**2

Y
 I = I + 1

NV : Nombre de voiles

Oui I Inferieur ou egal
 à NV ?

Non

A Supérieur à B ? Oui Sup = A

Non

Sup = B

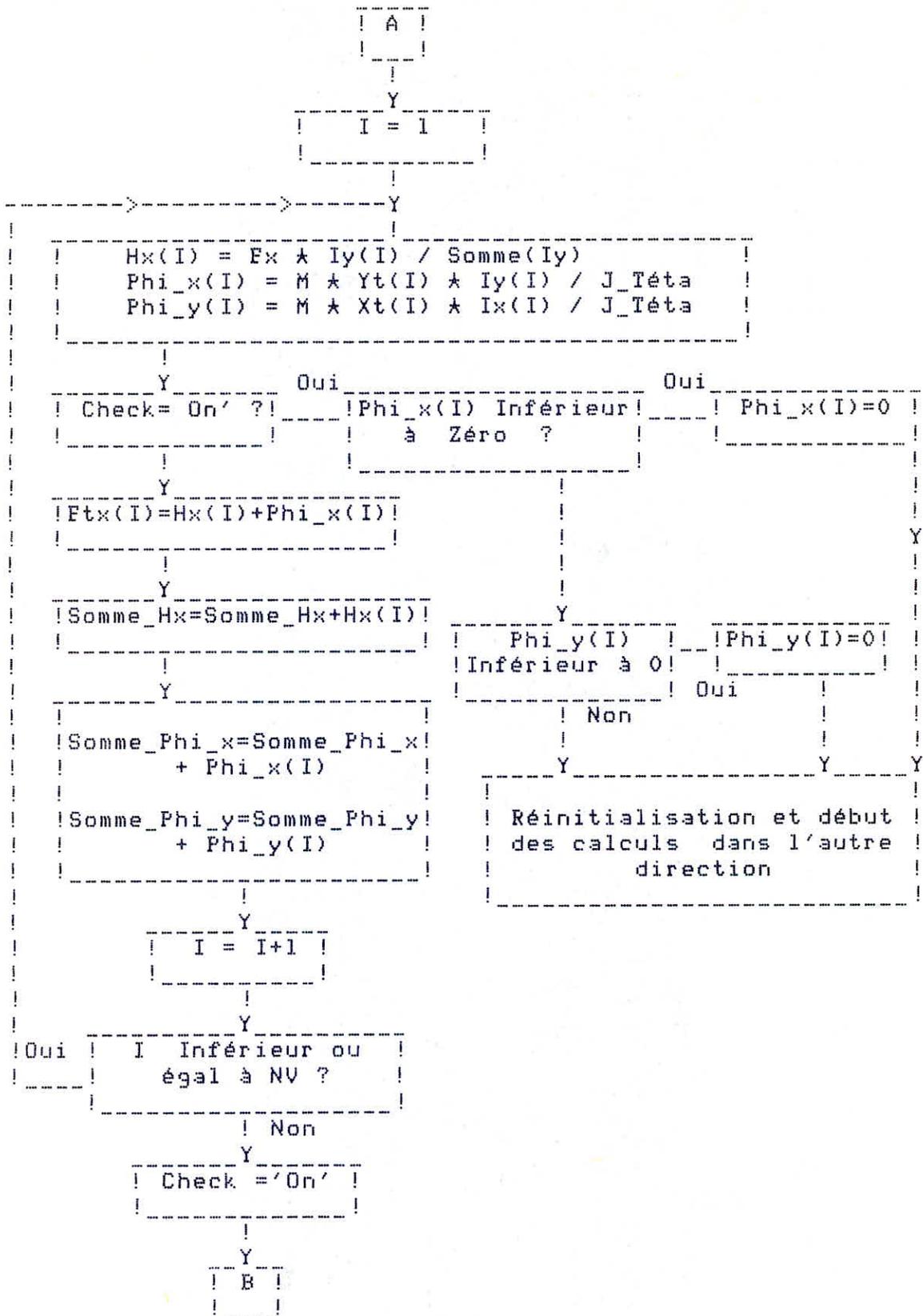
Eacc = 0.05 * Sup
 Ex = 1 ; Ey = Ey0

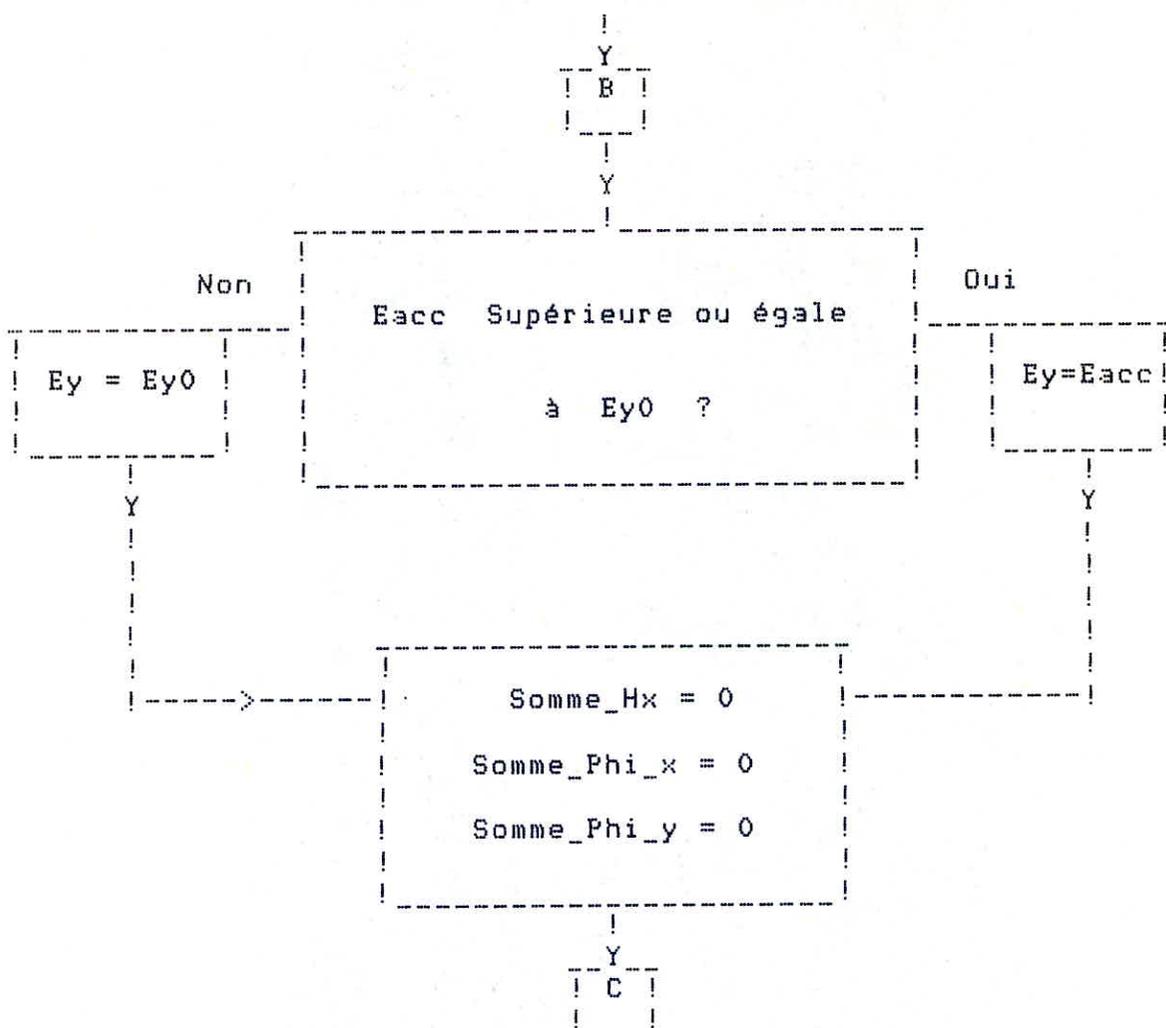
Y
 Check = 'Off'

C

M = Ex(Ey - Yc)

Y
 A





L'idéal aurait été d'envisager l'éventualité où les étages du bâtiment considéré seraient différents les uns des autres. Cela ne serait possible que si tous les étages étaient dissemblables ou que la différenciation s'effectuait avec un pas constant.

Il sera donc impossible de tenir compte des constructions comportant k étages identiques entre-eux mais différents des m autres suivants qui eux-mêmes diffèreraient des n étages les surmontant, m , n et k étant différents entre-eux et ainsi de suite.

Si l'on voulait le faire, il faudrait demander les informations nécessaires pour chaque niveau, informations dont la masse devient d'autant plus vite disproportionnée que l'ouvrage est de configuration complexe et de hauteur importante.

L'appel de l'unité chargée d'effectuer la distribution des efforts sur les éléments de contreventement s'opérant à chaque niveau, on se retrouvera très vite en présence d'une quantité impressionnante de résultats dont l'utilité s'avère discutable.

Chapitre VI

DISTRIBUTION DES EFFORTS DANS LES REFENDS

D'UN BATIMENT DE GRANDE HAUTEUR

I/- Introduction :-

Le calcul des voiles percés d'une ou plusieurs files d'ouvertures présente un intérêt pratique considérable.

Nous pouvons en gros distinguer deux types de batiments :

- *- Batiments de grande hauteur
- *- Batiments peu élevés.

Les premiers seront traités par les méthodes classiques (méthode d'ALBIGES). Pour les seconds, il est nécessaire dans certains cas de recourir à une méthode faisant appel aux différences finies.

II/- Sollicitations horizontales :-

Après avoir distribué les charges horizontales et verticales sollicitant la structure sur les différents voiles participant à son contreventement, il s'agit de déterminer de quelle manière s'effectue la répartition des efforts dans ceux-ci, en vue d'un ferrailage adéquat.

Nous ferons la distinction entre refends pleins, refends à une file d'ouvertures et refends à plusieurs files d'ouvertures. Le calcul des premiers ne présente aucune difficulté particulière et s'effectue de manière classique. Celui des refends ajourés par une ou plusieurs files d'ouvertures sera exposé dans le détail.

A)- Refends à une file d'ouvertures :-

La méthode élaborée par MM. ALBIGES et GOULET s'occupe des refends constitués de deux éléments encastrés à la base et solidarités par une file verticale de linteaux.

Elle suppose entre-autres, une répartition des efforts transmis par les linteaux, le long de la fibre moyenne de chaque trumeau et admet que le déplacement horizontal au niveau de chaque étage est identique pour les deux éléments de refend.

Une simplification habituellement introduite consiste à supposer que les planchers sont indéformables horizontalement et que l'encastrement des refends à leur base est parfait.

On admettra en outre que l'inertie des voiles est constante sur toute leur hauteur ou que sa variation suit la même loi pour tous les refends.

La première étape de calcul consiste à déterminer le paramètre Alpha considéré comme étant le "degré de concordance" entre refend monolithique et refend réel. Ce

paramètre qui, par abus de langage, est aussi connu sous le nom de coefficient de monolithisme, est fonction des caractéristiques géométriques et physiques du refend mais ne dépend pas de son épaisseur.

Trois cas peuvent alors se présenter :

1_ Alpha est compris entre 1 et 10 :

Nous sommes alors dans le cas général.

a)- Etude des linteaux :-

.....

Comme nous allons le voir, la distribution des efforts tranchants PI sur les linteaux n'est pas uniforme. Connaissant la valeur de l'effort tranchant d'ensemble H0 sollicitant le refend à sa base, et ayant déjà déterminé l'inertie totale I de celui-ci et le moment statique des trumeaux par rapport au centre de gravité de l'ensemble, nous déduisons directement la valeur de PI à la cote relative $K_{si} = z/Z$ en faisant :

$$PI = H0 * \frac{m * h * Phi}{I}$$

h étant la hauteur d'étage.

Le coefficient Phi sera calculé à partir de la relation

$$Phi(Alpha, k_{si}) = 1 - K_{si} - \frac{Alpha * Ch(Alpha * (1 - K_{si})) - Sh(Alpha * K_{si})}{Alpha * Ch(Alpha)}$$

Chaque linteau sera alors étudié comme une poutre encastree aux extrémités, et le moment d'encastrement s'obtiendra en multipliant l'effort tranchant par la demi-largeur des ouvertures.

b)- Etude des trumeaux :-

.....

Dans le cas général, les moments dans les éléments de refend se calculent en écrivant :

$$M_i = \frac{I_i}{\text{Somme}(I_i)} * (M - M * f(\Psi))$$

Pour un vent constant, cette relation s'explique sous la forme suivante :

$$M_1 = \frac{I_1}{I_1+I_2} * H_0 * Z * \left(\frac{(1-K_{\Psi})^{**2}}{2} - \frac{2 * c * m}{I} * \Psi \right)$$

$$M_2 = \frac{I_2}{I_1+I_2} * H_0 * Z * \left(\frac{(1-K_{\Psi})^{**2}}{2} - \frac{2 * c * m}{I} * \Psi \right)$$

La valeur de Psi sera tirée de la relation :

$$\begin{aligned} \Psi(\text{Alpha}, K_{\Psi}) = & \frac{1}{2} * (1-K_{\Psi})^{**2} - \frac{\text{Sh}(\text{Alpha} * (1-K_{\Psi}))}{\text{Alpha} * \text{Ch}(\text{Alpha})} + \\ & + \frac{1}{\text{Alpha}^{**2}} * \left(1 - \frac{\text{Ch}(\text{Alpha} * K_{\Psi})}{\text{Ch}(\text{Alpha})} \right) \end{aligned}$$

Pour un vent triangulaire, nous écrirons :

$$M_1 = \frac{I_1}{I_1+I_2} * (M - 2 * N * C)$$

$$M_2 = \frac{I_2}{I_1+I_2} * (M - 2 * N * C)$$

ou N sera calculé comme indiqué plus loin.

On rappelle que c représente la demi-largeur séparant les CDG des trumeaux 1 et 2 et I1, I2 leurs inerties propres.

Les efforts dus à une pression de vent trapézoïdale s'obtiennent donc en additionnant ceux dus à la pression constante aux efforts provenant de la pression triangulaire.

Le calcul des efforts normaux s'effectue en faisant le cumul des efforts tranchants PI à partir du sommet jusqu'au niveau considéré.

$$N_i = \text{Somme } (P_{i})$$

Il faudra alors vérifier l'équilibre à la base du refend en écrivant :

$$M = M_1 + M_2 + 2 * N * C$$

ou M est le moment d'ensemble repris par le refend étudié, M_1 , M_2 et N les efforts calculés à sa base.

2_ Alpha est supérieur à 10

Nous avons vu que l'effort tranchant dans les linteaux se calculait à partir de :

$$PI = H_0 * \frac{m * h * \Phi}{I}$$

Lorsque α devient assez grand ($\alpha > 10$), la variation de Φ devient linéaire et PI suit alors une distribution régulière, s'annulant au sommet et atteignant sa valeur maximale à la base; ceci s'explique par le fait que

l'influence des ouvertures a un caractère local qui fait que le mur travaille comme un voile plein. En définitive, nous aurons :

$$PI = \frac{H_0 * m * h * (1 - K_{si})}{I}$$

Le calcul de l'effort normal s'effectuera de la même façon que précédemment et l'on n'a plus à déterminer les valeurs M1 et M2.

3_ Alpha est inférieur à 1

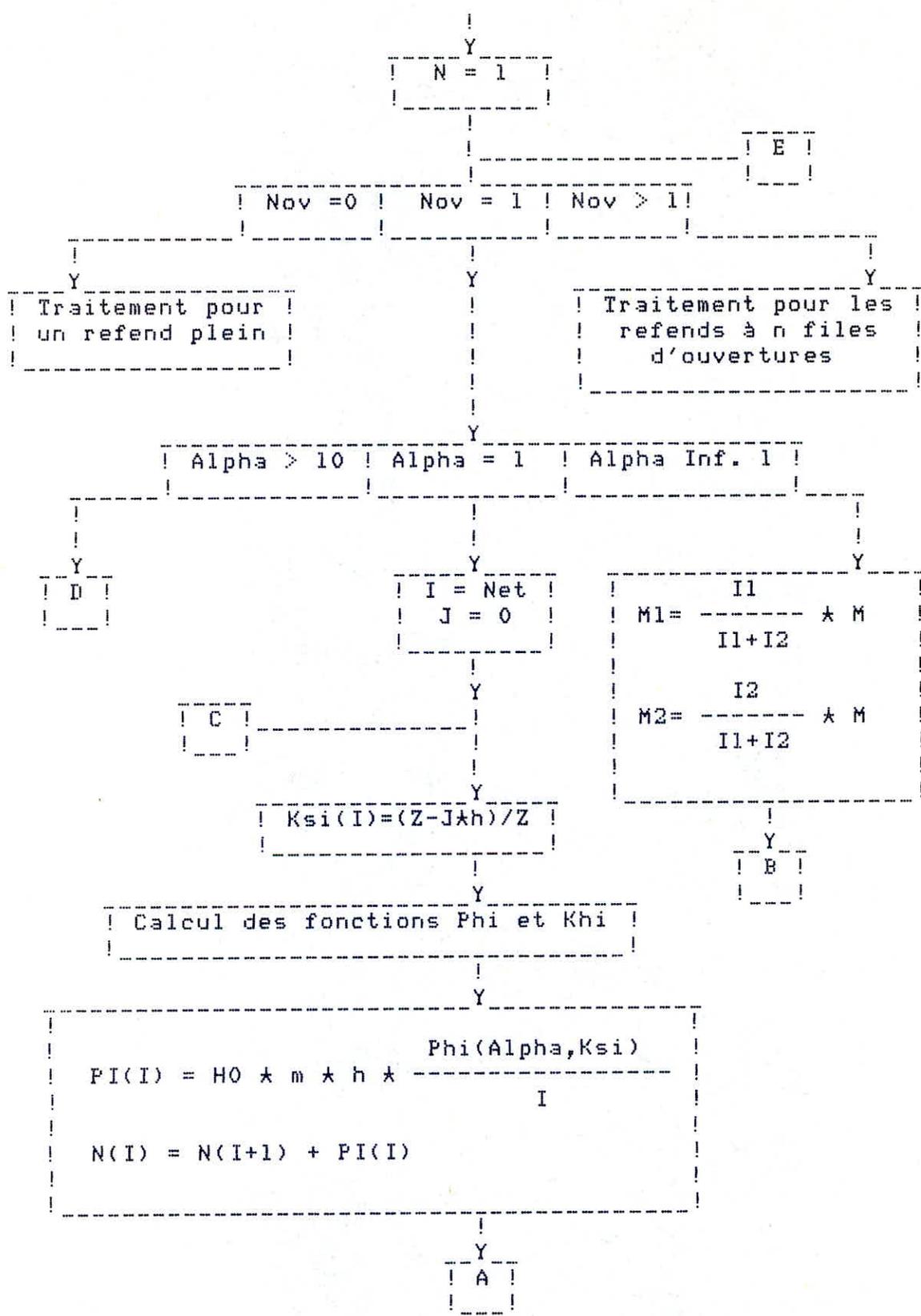
Lorsque Alpha est suffisamment petit, le coefficient Phi devient voisin de zéro, entraînant l'annulation de l'effort tranchant.

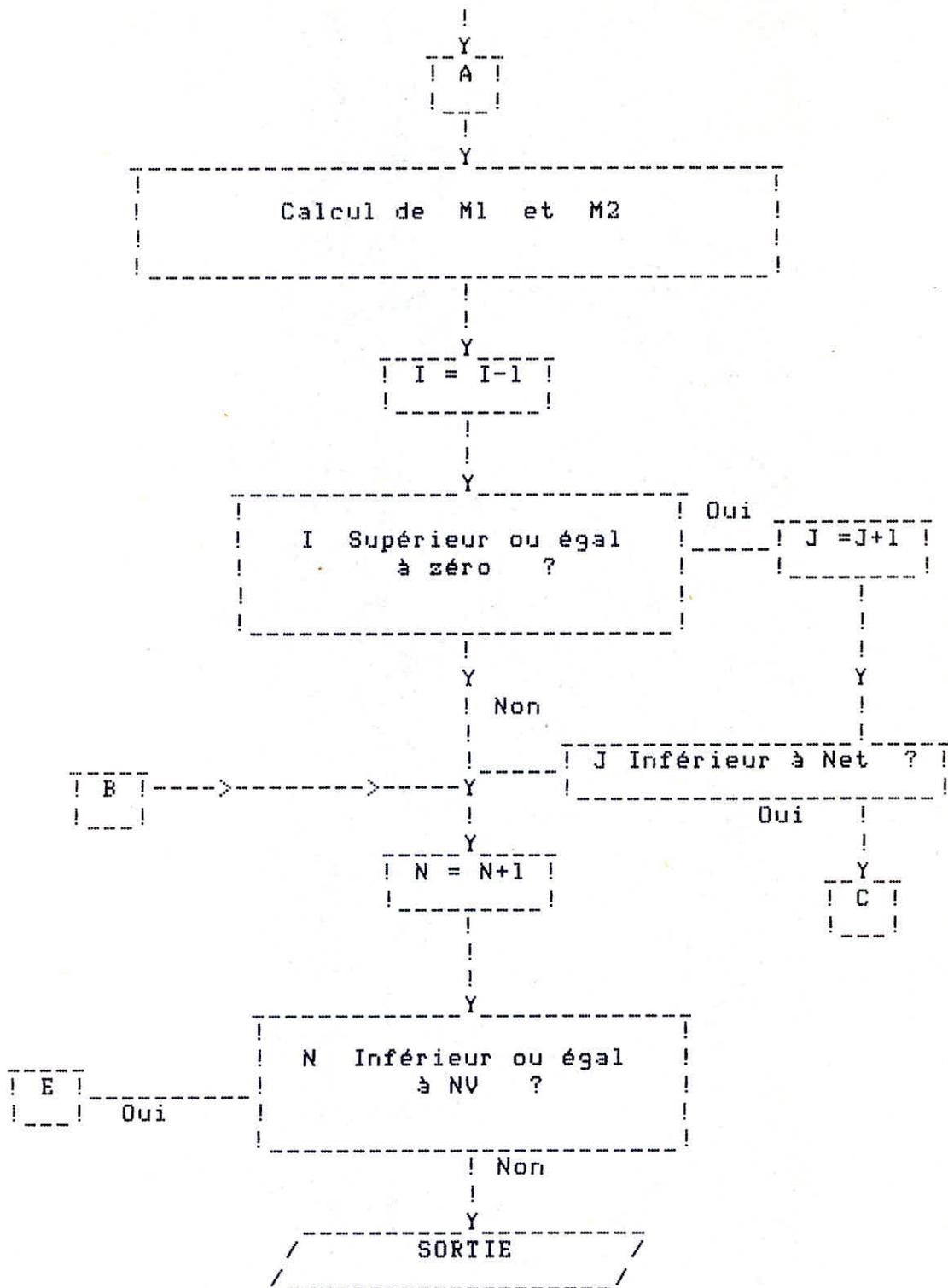
La répartition du moment fléchissant s'effectuera alors proportionnellement aux inerties des trumeaux par les relations :

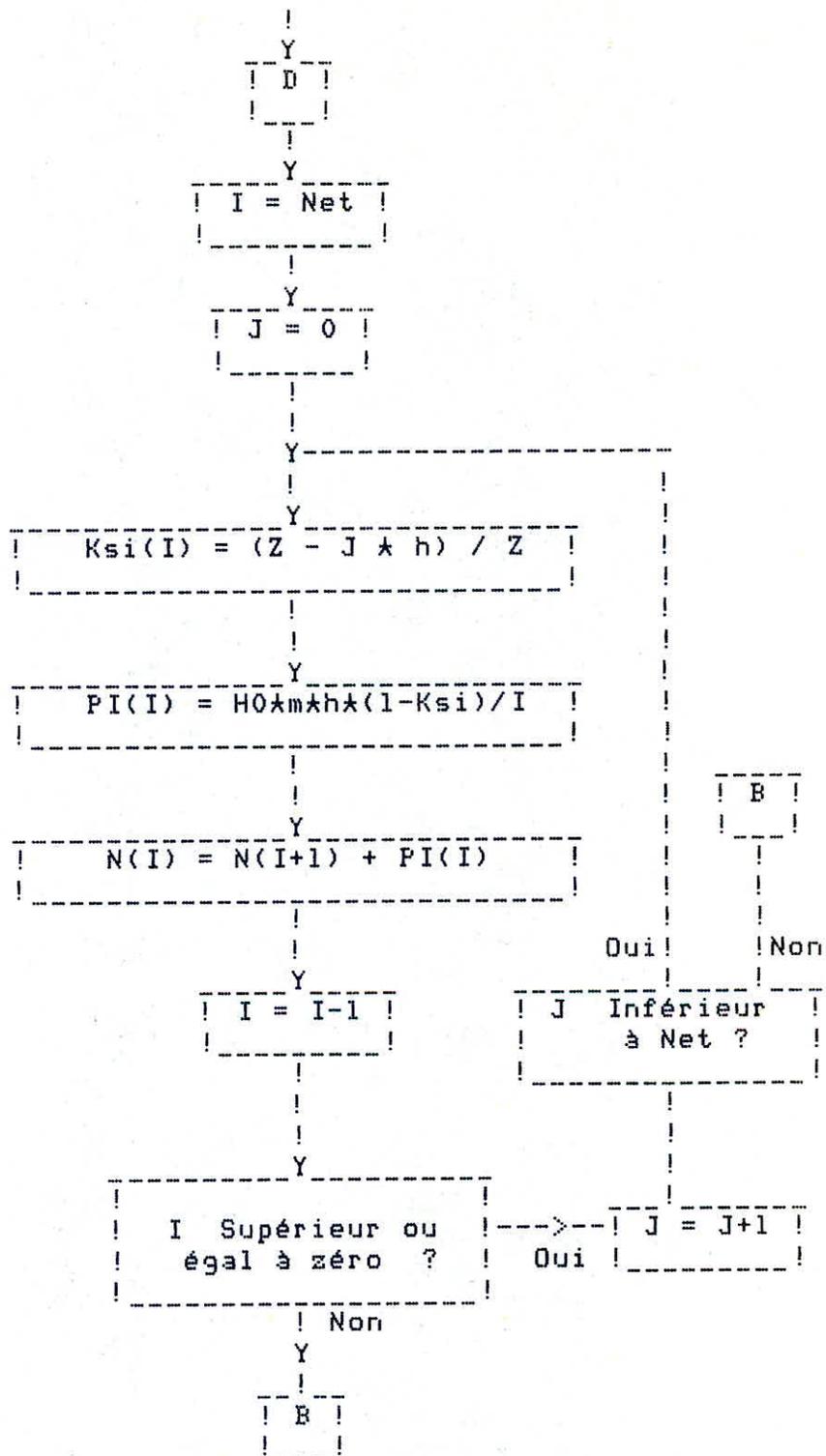
$$M_1 = \frac{I_1}{I_1 + I_2} * M$$

$$M_2 = \frac{I_2}{I_1 + I_2} * M$$

L'organigramme suivant résume la démarche à suivre pour le calcul des efforts :







B)- Refends à plusieurs files d'ouvertures :-

Dans le cas des voiles percés de plusieurs files d'ouvertures, on utilise fréquemment une méthode de calcul assez simple déduite de celle exposée plus haut : Alors que la méthode générale calcule des coefficients de monolithisme Alpha dont le nombre est égal au nombre de files d'ouvertures, celle-ci ne tient compte que d'un seul coefficient, d'où son imprécision.

Elle présente toutefois l'avantage d'être plus rapide et moins compliquée.

Le coefficient Alpha n'ayant plus de rapport avec la largeur des ouvertures, on commence tout d'abord par évaluer le pourcentage de surface des ouvertures, les surfaces étant considérées en élévation et non pas en coupe.

On a alors trois cas :-

a)- Le rapport $\frac{\text{Surface des ouvertures}}{\text{Surface totale}}$ est supérieur à

25 % environ. C'est le cas des moyennes ouvertures. Les étapes de calcul se résument en :

_ / Evaluation de Alpha

_ / Détermination des efforts tranchants PI par la relation :

$$PI(i) = H_0 \lambda h \frac{J_i \star C_i}{2 \lambda a_i \star 3 \star \text{Somme}(J_k \star C_k \star 2 / a_k \star 3)} \star \Phi_i$$

k=1,nov

Le coefficient Phi étant celui défini plus haut.

Les efforts normaux s'obtiennent en écrivant :

$$\begin{aligned}
 N_1 &= \text{Somme}(PI(1)) \\
 N_2 &= \text{Somme}(PI(2)) - \text{Somme}(PI(1)) \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 N_i &= \text{Somme}(PI(i)) - \text{Somme}(PI(i-1))
 \end{aligned}$$

De la même façon que pour les refends à une file d'ouvertures, les moments dans les trumeaux seront calculés à partir du moment extérieur en écrivant :

$$M_i = \frac{I_i}{\text{Somme}(I_i)} * (M - M * f(\Psi))$$

Dans le cas d'un vent constant, les moments dans les trumeaux seront évalués par les formules approchées suivantes:

$$M_1 = \frac{I_1}{I_1 + I_2 + I_3 + \dots} * H_0 * Z * \left(\frac{(1 - K_{\Psi})^{**2}}{2} - \Psi \right)$$

$$M_2 = \dots$$

Pour un vent triangulaire, on écrira :

$$\begin{aligned}
 M_i &= \frac{I_i}{\text{Somme}(I_i)} * (M - 2 * N_1 * (C_1 + C_2 + \dots) - \\
 &\quad 2 * N_2 * (C_2 + C_3 + \dots) - \dots)
 \end{aligned}$$

2)- Le rapport $\frac{\text{Surface des ouvertures}}{\text{Surface Totale}} = 10 \text{ à } 25 \%$

environ.

C'est le cas des petites ouvertures. Nous devons faire deux évaluations de PI : Une première avec les formules utilisées dans le cas des moyennes ouvertures et une deuxième avec la relation :

$$PI_i = H_0 * m_i * \frac{h * (1-K_{si})}{I}$$

ou m_i est le moment statique des trumeaux qui tendent à glisser par rapport au linteau considéré.

On prendra une valeur intermédiaire entre ces deux valeurs. Les moments seront obtenus à partir des relations précédentes.

C)- Le rapport $\frac{\text{Surface des ouvertures}}{\text{Surface Totale}}$ est inférieur à

10 % environ.

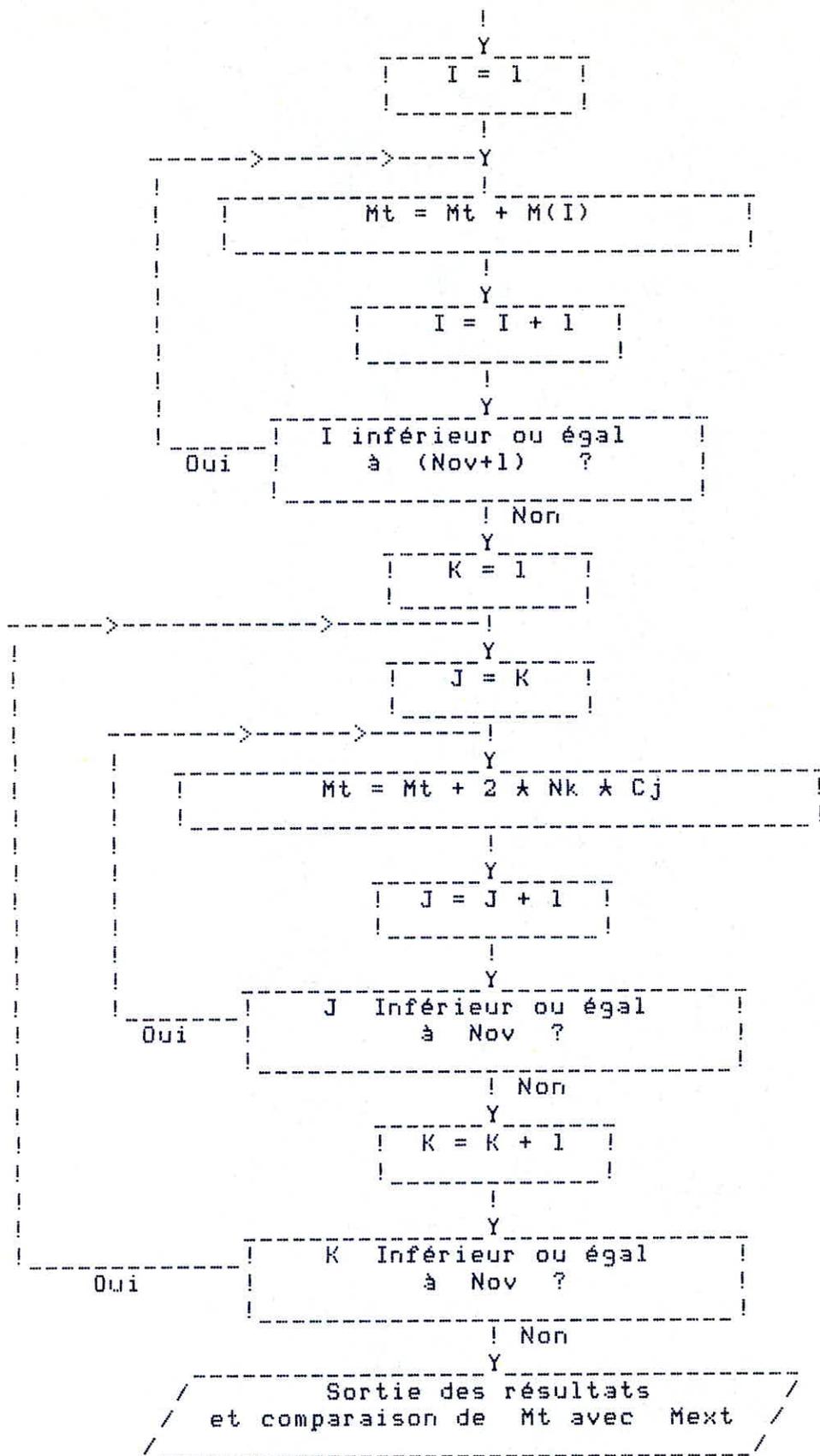
Dans ce cas, le refend est pratiquement monolithique. L'effort tranchant sera donné par :

$$PI_i = H_0 * m_i * \frac{h * (1-K_{si})}{I}$$

L'évaluation des moments M_1, M_2, \dots est sans objet. De la même façon, on vérifiera l'équilibre extérieur en écrivant:

$$M = 2 * N_1 * (C_1 + C_2 + \dots) + 2 * N_2 * (C_2 + C_3 + \dots) + \dots + \\ + M_1 + M_2 + \dots$$

L'organigramme ci-après expose la démarche suivie pour effectuer la vérification de l'équilibre. Cette vérification se fera systématiquement pour tous les voiles selon le nombre de files d'ouvertures (Nov) qui les ajourent, après avoir déterminé les moments et efforts normaux dans les trumeaux.



Nota :-

_/- Si les forces extérieures sont réparties suivant un diagramme uniforme, toutes les formules restent inchangées sauf que Phi devient Khi, khi étant le paramètre donné par :

$$\text{Khi}(\text{Alpha}, \text{Ksi}) = \left(1 - \frac{2}{\text{Alpha} \times \text{Alpha}}\right) \times \left(1 - \frac{\text{Ch}(\text{Alpha} \times (1 - \text{Ksi}))}{\text{Ch}(\text{Alpha})}\right) + \frac{2 \times \text{Sh}(\text{Alpha} \times \text{Ksi})}{\text{Alpha} \times \text{Ch}(\text{Alpha})} - \text{Ksi} \times \text{Ksi}$$

_/- Ces calculs ne sont valables que dans le cas où le diagramme des forces extérieures est uniforme. Dans le cas contraire, les moments dans les trumeaux seront estimés comme suit :

* Détermination du moment d'ensemble M sollicitant le refend (Somme des forces multipliées par leur bras de levier) à sa base.

* Calcul des moments dans les trumeaux en faisant :

$$\begin{aligned} M_t &= M_1 + M_2 + \dots \\ &= M - 2 \times N_1 \times (C_1 + C_2 + \dots) - 2 \times N_2 \times (C_2 + C_3 + \dots) \end{aligned}$$

Chaque trumeau reprendra une partie du moment extérieur proportionnellement à son inertie :

$$M1 = \frac{I1}{I1 + I2 + \dots} * Mt$$

$$M2 = \frac{I2}{I1 + I2 + \dots} * Mt$$

⋮ ⋮ ⋮ ⋮
 ⋮ ⋮ ⋮ ⋮

Si le batiment étudié est suffisamment élevé, on pourra assimiler le diagramme des forces concentrées à un diagramme uniforme. Les efforts calculés à partir des relations ci-dessus seront alors sur-évalués de 10 à 30 %.

III/- Sollicitations verticales :-

La méthode élaborée par V. DAVIDOVICI étudie l'effet des charges permanentes et d'exploitation sur un refend à une file d'ouvertures.

Elle suppose, en plus des hypothèses déjà citées, que les charges verticales sont réparties uniformément sur la hauteur du batiment.

Le programme demandera tout d'abord à l'utilisateur d'introduire les surfaces et les charges par mètre carré revenant aux voiles étudiés. La distribution de ces charges sur les trumeaux se fera en écrivant :

$$Vi = Qi * Si$$

ou Qi est la charge à considérer et
 Si la surface revenant au voile numéro i.

Le trumeau k reprendra une partie :

$$v_k = V_i \star \frac{t(k) + a_i}{L_i}$$

t(k) étant la longueur du trumeau k,

L_i la longueur du voile i et

a_i la demi-largeur de l'ouverture.

Connaissant les excentricités des charges par étage pour chaque élément de refend, on calculera la valeur du paramètre K s'exprimant par :

$$K = \frac{m}{I} \star \left(v_2 \star \left(-e_2 + \frac{I_1 + I_2}{2 \star C} \star \frac{1}{\Omega_2} \right) - v_1 \star \left(e_1 + \frac{I_1 + I_2}{2 \star C} \star \frac{1}{\Omega_1} \right) \right)$$

v₁ et v₂ étant les charges verticales revenant aux trumeaux 1 et 2, e₁ et e₂ les excentricités de ces charges.

L'effort tranchant P_I sera donné par :

$$P_I = K \star \Delta(\text{Alpha}, \text{Ksi})$$

$$\text{ou } \Delta(\text{Alpha}, \text{Ksi}) = \frac{\text{Ch}(\text{Alpha} \star (1 - \text{Ksi}))}{\text{Ch}(\text{Alpha})} - 1$$

Les moments dans les éléments de refend, provoqués par l'excentricité des charges verticales vaudront :

$$M1 = \frac{I1}{I1+I2} * \frac{Z}{h} * ((1-Ksi)*(v1*e1+v2*e2) - 2*K*c*Gamma)$$

$$M2 = \frac{I2}{I1+I2} * \frac{Z}{h} * ((1-Ksi)*(v1*e1+v2*e2) - 2*K*c*Gamma)$$

Avec $Gamma(Alpha,Ksi) = -1 + Ksi + \frac{Sh(Alpha*(1-Ksi))}{Alpha*Ch(Alpha)}$

On vérifiera que l'on a bien l'égalité :

$$N1 + N2 = Somme(v1) + Somme(v2)$$

(Ou N1 et N2 sont les efforts axiaux à la base du refend) et la somme des moments par rapport à un point donné devra être nulle pour que l'équilibre soit réalisé.

Pour ce qui est des refends à plusieurs files d'ouvertures, les efforts se déterminent par la méthode générale publiée par J. DESPEYROUX dans les annales de l'ITBTP, méthode basée sur le calcul matriciel que nous avons partiellement programmée.

Chapitre VII

DISTRIBUTION DES EFFORTS DANS LES REFENDS D'UN BATIMENT PEU ELEVE

1_ Introduction :-

L'hypothèse selon laquelle les planchers sont considérés comme indéformables dans leur plan n'est valable que si le bâtiment est assez élevé et comporte un certain nombre minimal d'étages (quatre, selon ALBIGES et GOULET, sept selon d'autres auteurs).

Lorsque le bâtiment est peu élevé, les planchers fonctionnent comme des poutres à plan moyen horizontal dont les réactions d'appui sont sensiblement égales aux forces horizontales dans les différents refends. Il faudra donc répartir dans les consoles de contreventement les réactions horizontales des planchers.

Dans le cas où le coefficient de monolithisme situe le refend étudié dans l'un des cas extrêmes, le calcul s'effectuera de manière analogue à celle déjà vue. Toutefois, lorsque l'on se trouve en présence d'ouvertures moyennes (Alpha compris entre 1 et 10), la méthode de calcul est particulière et aboutit à la résolution de systèmes d'équations différentielles.

1_ Refends à une file d'ouvertures :-

.....

Les hypothèses de base sur lesquelles repose cette méthode conduisent à admettre qu'un refend présentant des ouvertures peut être assimilé à deux éléments distincts liés par des linteaux. D'après ALBIGES et GOULET, l'effort tranchant PI dans les linteaux est calculé suivant la relation

$$\begin{aligned} PI(i+1) - (2 + w \star 2 \star h \star 2) \star PI(i) + PI(i-1) &= \\ &= - \frac{w \star 2 \star m \star h \star 3}{I} \star T(i) \end{aligned} \quad (1)$$

Où PI(i+1), PI(i), PI(i-1) sont respectivement les efforts tranchants dans les linteaux aux niveaux (i+1), (i) et (i-1).

T(i) est l'effort tranchant dû aux forces horizontales dans le refend au niveau i.

On prendra comme conditions aux limites :

-/- L'effort tranchant agissant sur le linteau fictif situé au niveau du sol est nul.

$$PI(0) = 0$$

-/- L'équilibre des moments au dernier étage, entre le linteau et les éléments de refend se traduit par :

$$PI(n) \star (1 + w \star 2 \star h \star 2) - PI(n-1) = \frac{w \star 2 \star m \star h \star 3}{I} \star T(n) \quad (2)$$

T(n) sera égal à la moitié de l'effort tranchant au dernier niveau.

Les efforts pourront être définis en fonction de la valeur de l'effort tranchant PI au premier étage, par les équations:

$$PI(2) - (2 + w \cdot h^2) \cdot PI(1) = - \frac{w \cdot m \cdot h^3}{I} \cdot T(1)$$

$$PI(3) - (2 + w \cdot h^2) \cdot PI(2) + PI(1) = - \frac{w \cdot m \cdot h^3}{I} \cdot T(2)$$

: : : : :
: : : : :

$$PI(n) - (2 + w \cdot h^2) \cdot PI(n-1) + PI(n-2) = - \frac{w \cdot m \cdot h^3}{I} \cdot T(n-1)$$

La relation (2) permet de déterminer la valeur de PI(1) en remplaçant PI(n) et PI(n-1) par leur valeur déduite de (1).

Le calcul des moments n'introduit aucune nouvelle notion. Il se fera par les relations :

$$M_1 = \frac{I_1}{I_1 + I_2} \cdot (M - 2 \cdot c \cdot N_i)$$

$$M_2 = \frac{I_2}{I_1 + I_2} \cdot (M - 2 \cdot c \cdot N_i)$$

2_ Refends à plusieurs files d'ouvertures :-
.....

L'équation fondamentale donnant l'effort tranchant PI(i) dans le linteau i est la suivante :

Les équations donnant l'effort tranchant dans les linteaux deviennent alors :

___-- Pour le dernier niveau :-

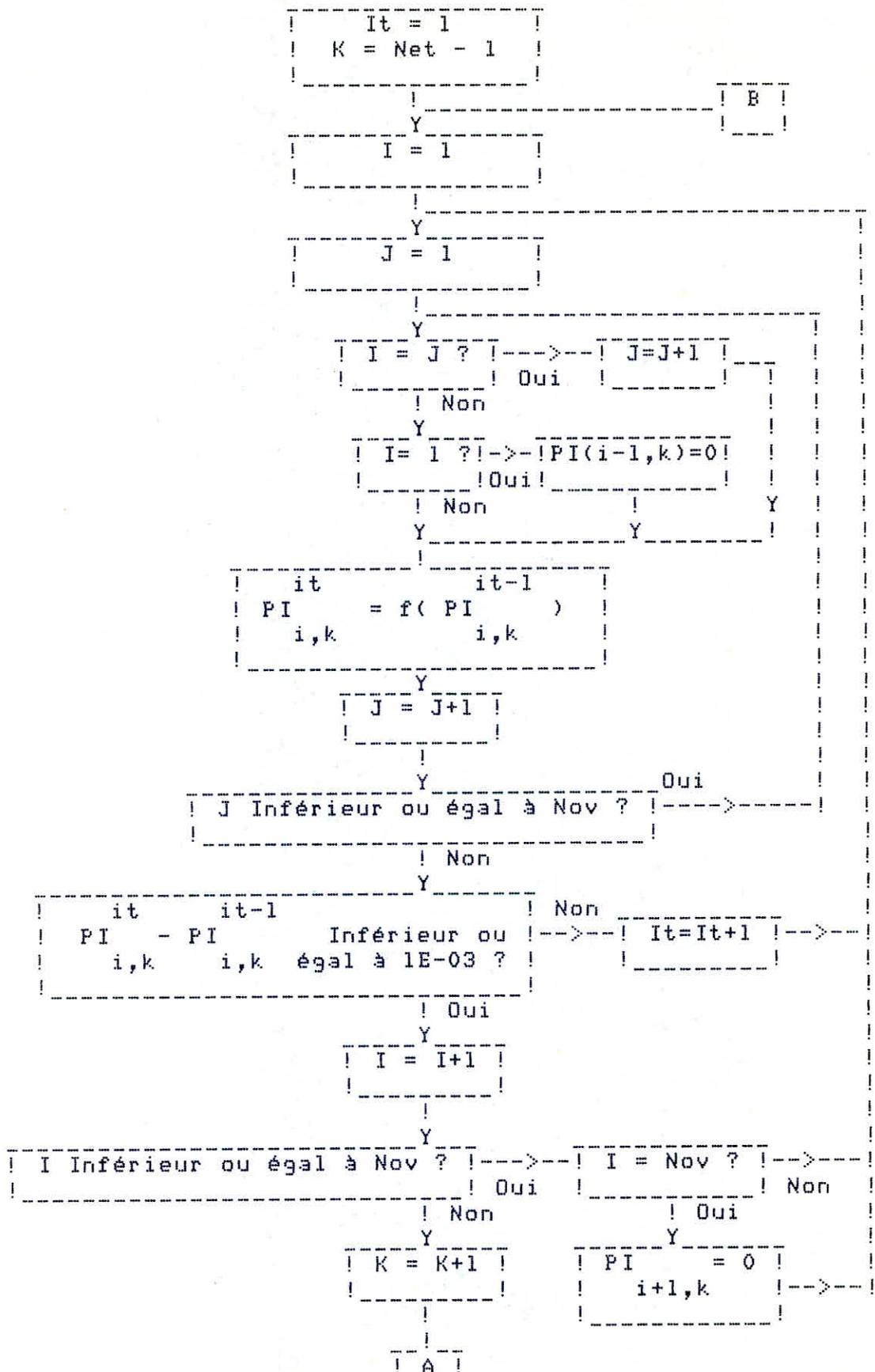
$$\begin{aligned}
 & \text{-----} \\
 & \text{-----} \\
 & \text{PI} = \frac{1}{\frac{2 \cdot a_i \cdot 3 \cdot E}{3 \cdot E' \cdot h \cdot J_i} + \frac{1}{\Omega_{\omega_i}} + \frac{1}{\Omega_{\omega_{i+1}}} + \frac{C_i \cdot 2}{I_0}} \cdot \\
 & \left(\frac{2 \cdot a_i \cdot 3 \cdot E}{3 \cdot E' \cdot h \cdot J_i} \cdot \text{PI}_{i,\text{net}-1} - \frac{C_i}{I_0} \cdot \text{Somme} \left(C_j \cdot \text{PI}_{j,\text{net}} \right)_{\substack{j=1,\text{nov} \\ j=i}} \right) + \\
 & + \left(\frac{\text{PI}_{i-1,\text{net}}}{\Omega_{\omega_i}} + \frac{\text{PI}_{i+1,\text{net}}}{\Omega_{\omega_{i+1}}} + \frac{C_i \cdot h \cdot T}{I_0} \right)
 \end{aligned}$$

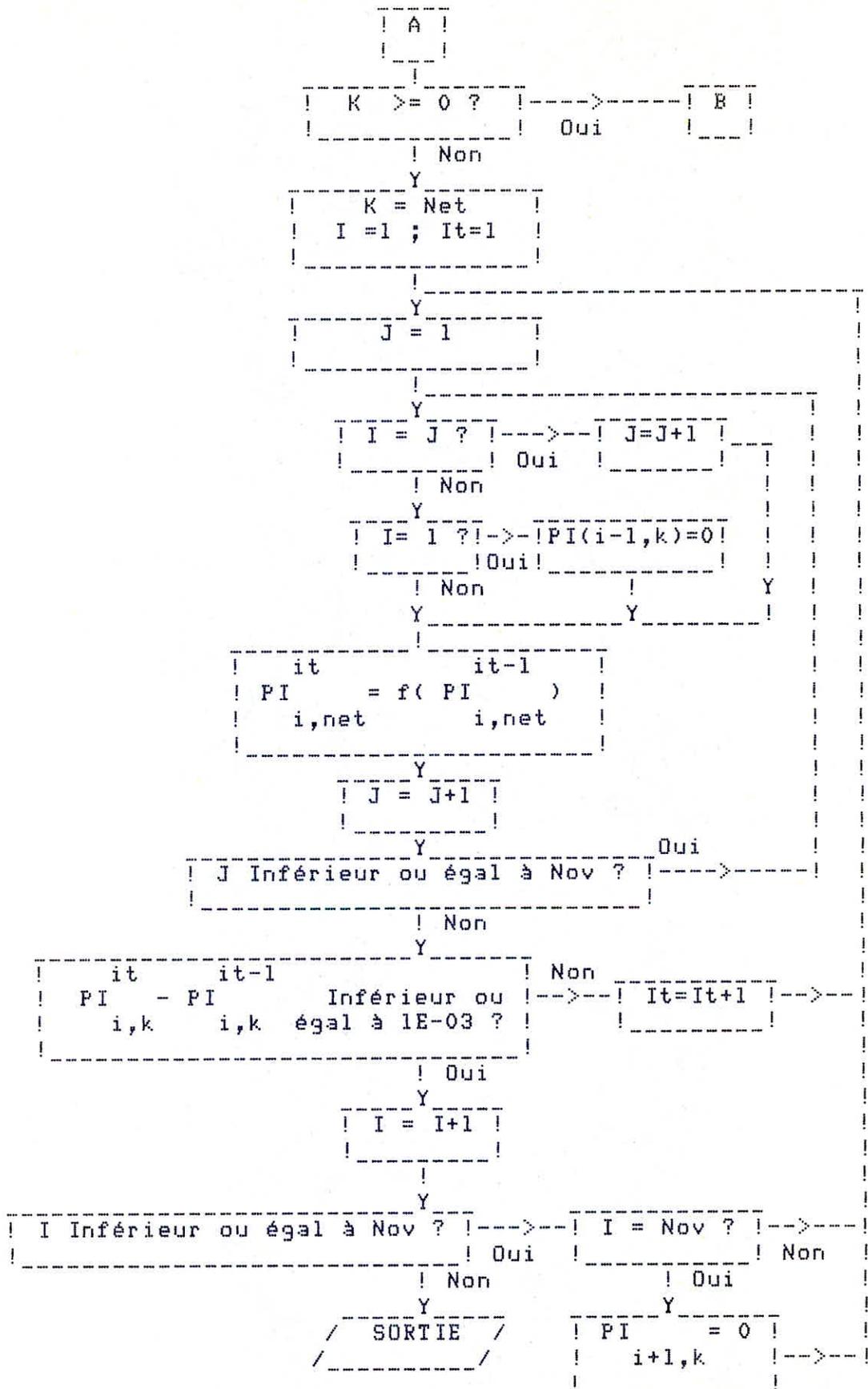
___-- Pour un étage courant :-

$$\begin{aligned}
 & \text{-----} \\
 & \text{-----} \\
 & \text{PI} = \frac{1}{\frac{4 \cdot a_i \cdot 3 \cdot E}{3 \cdot E' \cdot h \cdot J_i} + \frac{1}{\Omega_{\omega_i}} + \frac{1}{\Omega_{\omega_{i+1}}} + \frac{C_i \cdot 2}{I_0}} \cdot \\
 & \left(\frac{2 \cdot a_i \cdot 3 \cdot E}{3 \cdot E' \cdot h \cdot J_i} \cdot \left(\text{PI}_{i,k+1} + \text{PI}_{i,k-1} \right) - \right. \\
 & \left. \frac{C_i}{I_0} \cdot \text{Somme} \left(C_j \cdot \text{PI}_{j,k} \right)_{\substack{j=1,\text{nov} \\ j=i}} + \frac{\text{PI}_{i-1,k}}{\Omega_{\omega_i}} + \frac{\text{PI}_{i+1,k}}{\Omega_{\omega_{i+1}}} + \right. \\
 & \left. + \frac{C_i \cdot h \cdot T}{I_0} \right)
 \end{aligned}$$

Nous nous retrouvons finalement en présence d'un système d'équations linéaires dont la résolution sera effectuée par approximations successives. Le calcul se fait en utilisant chaque fois la dernière valeur trouvée pour une inconnue en prenant au départ la valeur zéro.

On pourra suivre le processus indiqué par l'organigramme suivant :





L'effort normal dans les éléments de refend se déduit des efforts tranchants dans les linteaux dont on calculera les moments d'encastrement par :

$$M_{ij} = T * \frac{2 * a_i}{2} = T * a_i$$

Nous avons préféré laisser le choix à l'utilisateur en lui demandant s'il considère le bâtiment étudié comme étant peu élevé ou pas. De la sorte, il pourra faire un premier calcul avec les relations utilisées dans le calcul des ouvrages de grande hauteur puis un deuxième avec celles que l'on vient d'exposer. Ceci permettra de savoir à partir de quel niveau on pourra considérer le bâtiment comme étant élevé.

On trouvera en annexe les courbes représentatives des efforts tracées en appliquant successivement les formules établies pour les bâtiments de grande hauteur et celles utilisées pour les bâtiments courants.

CONCLUSION

Tel qu'il est structuré, le programme occupe un espace-mémoire assez important et son utilisation répétitive demande un certain temps d'exécution.

Il sera certainement possible d'y apporter quelques optimisations et ce aussi bien dans les organigrammes de détail que dans les algorithmes de traduction des formules.

Par ailleurs, de par sa conception même, il nécessite un certain effort de la part de l'utilisateur qui doit lui fournir les paramètres nécessaires à sa bonne marche. Une recherche de détail permettra sans doute de réduire quelque peu le nombre de ces paramètres en effectuant leur calcul direct à chaque fois que cela est possible.

```
  *-*-*-*  
-*-*-*-*-*-*-*-*  
  *-*-*-*
```


A N N E X E S

Nous avons pris comme exemple d'application, un bâtiment (R+8) dont les caractéristiques sont les suivantes :

Hauteur des refends	:	25,2	m
Longueur du bâtiment	:	20,47	m
Largeur du bâtiment	:	18,95	m
Nombre de voiles	:	24	

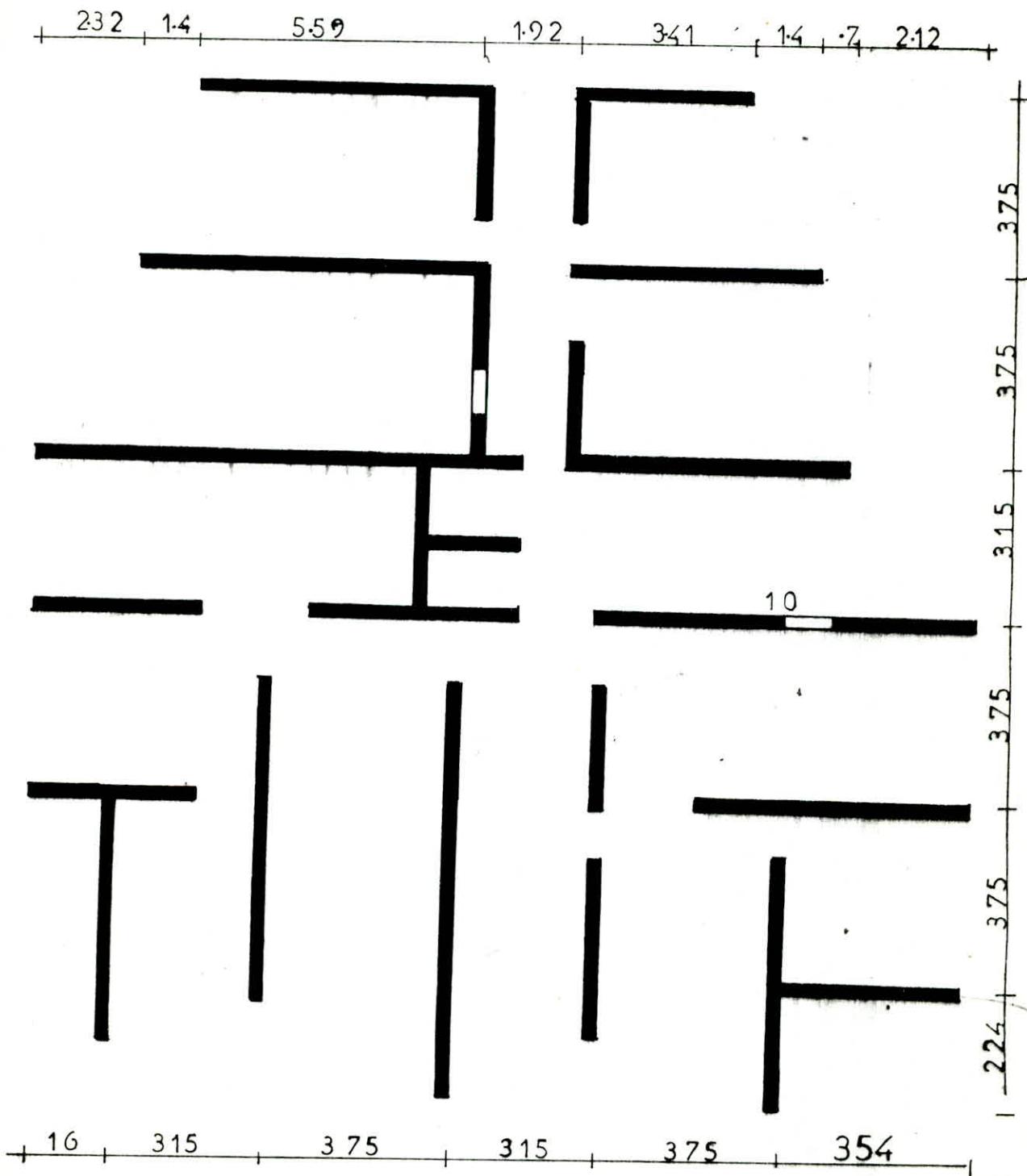
L'étude a été faite pour un vent constant, avec les pressions :

*	1,07	t/ml	longitudinalement
*	0,98	t/ml	transversalement.

Nous ne considérerons ici que le voile numéro 10, comportant une file d'ouvertures (c.f page 77) dont les caractéristiques sont :

- Longueur du refend	:	7,7	m
- Epaisseur	:	0,15	m
- Largeur des ouvertures	:	0,9	m
- Largeur du 1er trumeau	:	3,8	m
- Hauteur des linteaux	:	0,63	m
- Epaisseur des linteaux	:	0,15	m

PLAN DE CONTREVENTEMENT



1/_ Variation du pourcentage des ouvertures :

En faisant varier les dimensions de l'ouverture dans un rapport de 1 à 4 (de 0,9 à 4,1 m), ce qui nous donne un pourcentage d'ouvertures compris entre 11 et 43 %, nous obtenons les efforts reportés dans le tableau suivant (voir les courbes de la page 80) :

	<i>b = 0,9</i>	<i>1,0</i>	<i>1,1</i>	<i>1,2</i>	<i>1,3</i>	<i>1,4</i>	<i>1,5</i>
Alpha	12,6	10,5	9,0	8,0	7,2	6,6	6,1
%	11	13	15	17	19	21	23
PI(1) (t)	2,53	2,41	2,27	2,11	1,95	1,78	1,62
PI(2) (t)	2,48	2,30	2,10	1,89	1,68	1,49	1,31

Alpha	5,4	5,1	4,8	4,5	4,3	4,1	3,8
%	27	29	31	33	35	37	41
PI(1) (t)	1,32	1,19	1,07	0,96	0,86	0,77	0,60
PI(2) (t)	1,0	0,87	0,76	0,67	0,57	0,49	0,36

Les valeurs PI(1), PI(2) sont les efforts tranchants dans le linteau situé au 3ème niveau (pour lequel nous obtenons ici, d'une façon générale, l'effort tranchant maximal.)

PI(1) et PI(2) sont obtenus en appliquant respectivement les formules utilisées pour les refends percés de petites ouvertures et celles pour les refends de moyennes ouvertures.

2/_ Variation du nombre d'étages :-

Pour le meme exemple, nous avons fait varier le nombre d'étages de 9 à 2 et tracé les courbes des efforts tranchants (page 82) obtenus en appliquant les formules valables pour un batiment de grande hauteur, puis celles utilisées pour les batiments peu élevés.

BATIMENT DE FAIBLE HAUTEUR

NET	2	3	4	5	6	7	8	9
PI au niveau 2 (t)	0,0	0,05	0,11	0,20	0,28	0,39	0,50	0,61

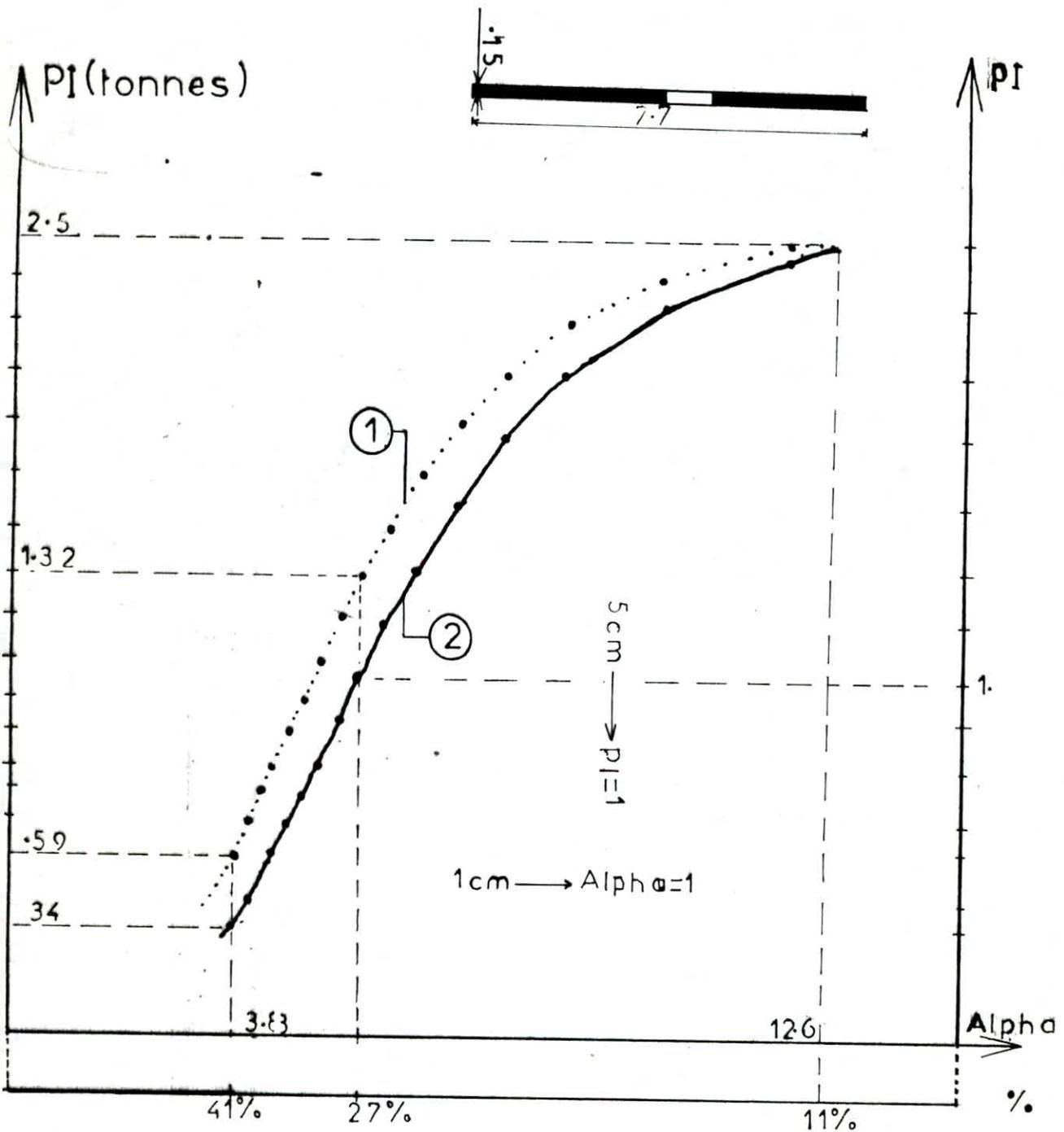
NET : Nombre d'étages.

BATIMENT ELEVE

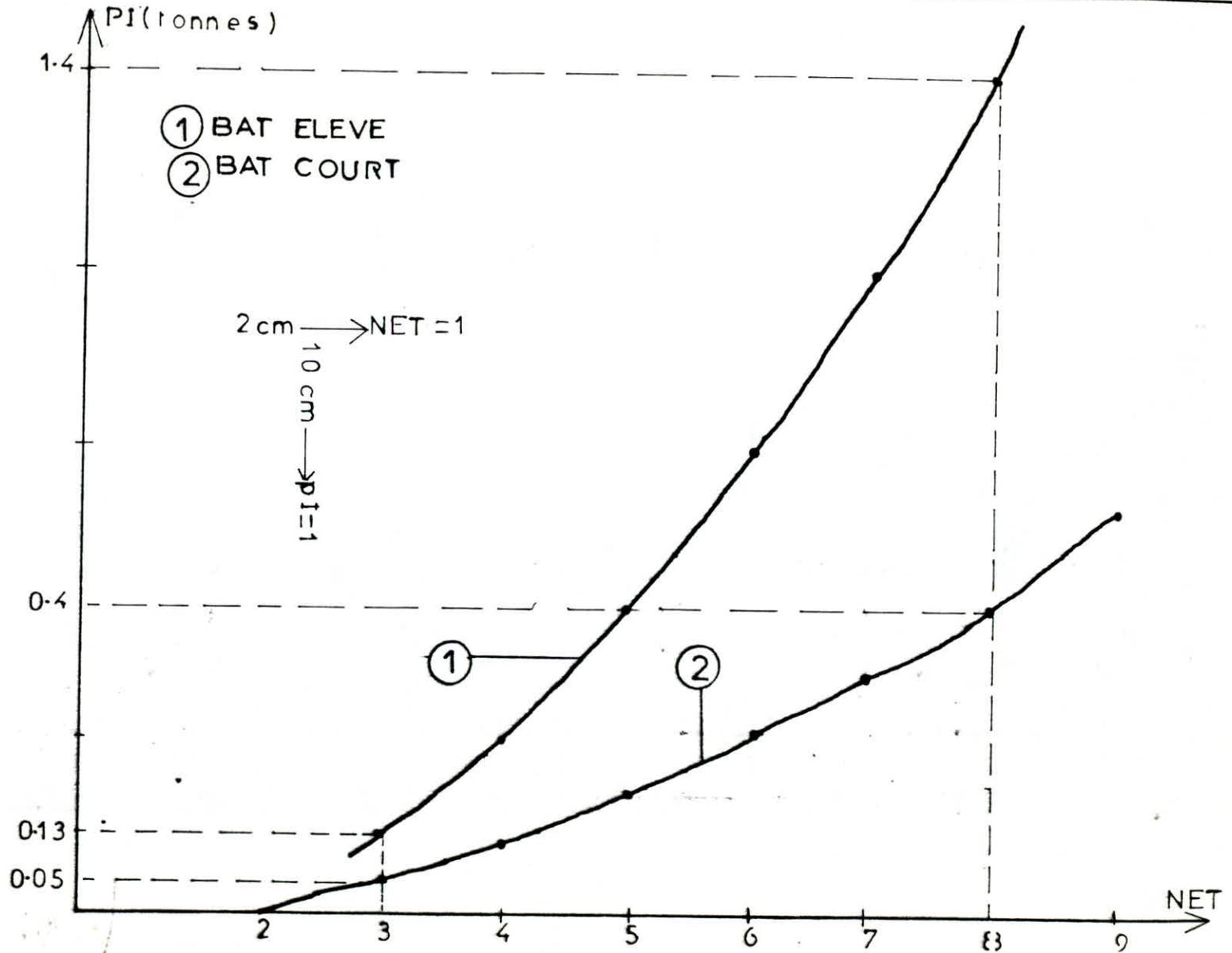
NET	2	3	4	5	6	7	8	9
PI au niveau 2 (t)	0,10	0,13	0,29	0,45	0,77	1,07	1,40	2,0

① petites ouvertures

② moyennes ouvertures



VII



C O N C L U S I O N

D'après la courbe reportée sur la page 81, nous remarquons que le coefficient de monolithisme varie avec le pourcentage des ouvertures dans une proportion inverse et l'on vérifie bien que le degré de concordance diminue au fur et à mesure que les dimensions des ouvertures augmentent et éloignent le comportement du refend étudié de celui du refend monolithique.

Les courbes (1) et (2) de la page 80 montrent que lorsque Alpha tend vers 1 par valeurs supérieures, l'effort tranchant dans les linteaux devient de plus en plus petit et tend vers zéro. Ceci revient à dire que cet effort devient négligeable pour Alpha inférieur à 1 (ce qui est le cas des grandes ouvertures).

L'écartement entre les courbes (1) et (2) augmente progressivement jusqu'à atteindre, dans notre cas, une valeur maximale de 0,32 t correspondant à Alpha = 5,4 et un pourcentage d'ouvertures de l'ordre de 27 %.

Lorsque ce pourcentage diminue, les courbes se rapprochent l'une de l'autre et finissent par se rencontrer lorsque Alpha est voisin de 12, ce qui concorde relativement bien avec la théorie.

Pour ce qui est du cas où nous faisons varier le nombre d'étages, on ne peut tirer de conclusion nette autre que le fait d'appliquer les méthodes de calcul des ouvrages de grande hauteur à un bâtiment peu élevé engendre une sur-évaluation des efforts, ce qui nous place certainement dans le domaine de la sécurité, mais pas nécessairement dans celui de l'économie.

--*****--
--*****--
--*****--
--***--
*

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

- #- ALBIGES et GOULET
"Contreventement des batiments" - CHEC

- #- M. DAUDI, M. RILI, A. SALHI
"Conception et calcul des structures soumises aux
séismes" - OPU

- #- J. DESPEYROUX, V. GUILLOT
*_ Analyse statique et dynamique des
contreventements par consoles solidarisées par
des milieux élastiques.

*_ Influence des ouvertures dans la stabilité des
batiments de grande hauteur. Refends à n files
d'ouvertures.

- Annales de l'ITBTP (N° 290, Février 1972)

- #- M. DIVER
"Calcul pratique des tours en béton armé" - DUNOD

- #- A. FUENTES
"Calcul pratique des ossatures de batiments en
béton armé. Batiments courants, batiments de
grande hauteur" - EYROLLES

- #- GOULET
*_ "Contreventement"
BOUTIN
*_ "Exemple de contreventement"
C.H.E.C, section C.H.E.B.A.P (1972-73)

- #- Règles parasismiques 1969 révisées 1982 et annexes
- EYROLLES

- #- Règlement parasismique algérien 1981

