

NS 20038 (4)
E. 1

THESE de DOCTEUR-INGENIEUR

présentée

à l'ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES

par

Francisco MILLANES MATO

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR-INGENIEUR

Sujet de la Thèse : Ancrages par bossage dans les
hourdis de ponts.

I.- Etude théorique et expérimentale

SOUTENUE LE 11 JUIN 1979 DEVANT LE JURY COMPOSE DE:

M. Jean SALENÇON	Président
MM. Robert CHAUSSIN	Examineurs
Michel FREMOND	
Michel KAVYRCHINE	
Jean LEMAITRE	
Jacques TRINH	



THESE de DOCTEUR-INGENIEUR

présentée

à l'ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES

par

Francisco MILLANES MATO

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR-INGENIEUR

Sujet de la Thèse : Ancrages par bossage dans les
hourdis de ponts.

I.- Etude théorique et expérimentale

SOUTENUE LE 11 JUIN 1979 DEVANT LE JURY COMPOSE DE :

M. Jean SALENÇON	Président
MM. Robert CHAUSSIN	Examineurs
Michel FREMOND	
Michel KAVYRCHINE	
Jean LEMAITRE	
Jacques TRINH	

A todos los que trabajamos juntos
en MART - 2 (Octubre 1973 -
Octubre 1976)

REMERCIEMENTS

Je tiens à présenter mes respectueux remerciements à M. SALENÇON, Responsable de la Formation au Doctorat à l'E N P C, qui a bien voulu me permettre d'effectuer cette recherche sous sa direction.

Qu'il me soit permis d'y associer M.M. les Professeurs LEMAITRE, FREMOND et CHAUSSIN, pour l'intérêt bienveillant qu'ils ont accordé à ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude à M. KAVYRCHINE qui m'a fait l'honneur de m'accueillir au Service d'Etude des Structures, et qui a manifesté un intérêt constant pour le sujet de la thèse.

Ma sincère reconnaissance à M. TRINH, Ingénieur au Service d'Etude des Structures, pour l'intérêt et les enseignements qu'il m'a accordés pendant tout ce travail.

Je ne saurais oublier M.M. DEMOULIN, VILLATOUX et AUDOUSSET, Ingénieurs au Service Informatique, dont l'aide a été constante au cours de la mise au point des programmes.

Qu'il me soit permis d'exprimer mes sincères remerciements à tout le Personnel, tant du Centre d'Essais des Structures, que de la Bibliothèque et du Service de Reproduction, pour les services qui m'ont été gentiment rendus.

Je ne veux pas oublier Alicia, Sol et Jean Marie qui m'ont beaucoup aidé lors de l'exécution matérielle de la thèse.

J'exprime ma sympathie la plus sincère aux Ingénieurs et Camarades Stagiaires Bernard, Alain, Ahmed, Reza, Jean Marie, Philippe, Nabil, Antonio, Michel, Mohamed, Nader, Ali, Michel, pour la chaleureuse ambiance et l'amitié dont ils m'ont entouré.

Je remercie enfin l'Ecole Nationale des Ponts et
Chaussées pour l'octroi d'une bourse d'études qui a
contribué à mon séjour à PARIS.

TABLE DE MATIERES

	Pages
CHAPITRE 1 - INTRODUCTION	1
1.1. - Généralités	1
1.2. - Objet et intérêt de l'étude	2
1.3. - Position du problème	4
1.4. - Revue des études antérieures - Recherche du L.C.P.C.	5
1.5. - Plan d'étude	11
 CHAPITRE 2 - APPLICATION DE LA METHODE DES COUPURES	 15
2.1. - Principe du calcul et hypothèses principales	15
2.2. - Améliorations apportées	17
2.3. - Résolution de la méthode	20
2.3.1. Convention de signes et dimensions	20
2.3.2. Calcul des différentes sous-structures	20
2.3.2.1. Bandes n'ayant pas de bossages	20
2.3.2.2. Bandes comportant un bossage	34
2.3.3. Conditions de liaison hourdis-parois latérales	46
2.3.4. Formation du système d'équations	49
2.3.5. Résolution du système	51
2.3.6. Obtention des contraintes	52
2.3.6.1. Bandes n'ayant pas d'ancrage	52
2.3.6.2. Bandes munies de bossage	52
2.3.7. Programmation sur ordinateur	53
Organigramme	54
2.4. - Limitations de la méthode	55
 CHAPITRE 3 - APPLICATION DE LA METHODE DES ELEMENTS FINIS	 57
3.1. - Introduction	57
3.2. - Calcul des structures en béton armé par la méthode des éléments finis	57
3.2.1. Considérations générales	58
3.2.2. Approximation du calcul non linéaire par l'intermédiaire d'une suite d'analyses linéaires	59

A - ETUDE BIDIMENSIONNELLE

3.3. - Idéalisisation de la structure en éléments finis	63
3.3.1. Type d'éléments	63
3.3.2. Convention de signes	64
3.3.3. Eléments de béton	64
3.3.4. Eléments d'acier	66
3.3.5. Eléments de liaison hourdis-parois latérales	68
3.4. - Lois de comportement des matériaux	69
3.4.1. Acier	69
3.4.2. Béton	69
3.4.2.1. Résistance	72
3.4.2.2. Valeurs des déformations ultimes	75
3.4.2.3. Les lois contraintes-déformations	75
3.4.3. Obtention de la matrice $[D]_T$ pour le béton non fissuré	
3.4.3.1. Hypothèses	81
3.4.3.2. Définition de $[D^*]_T$ en coordonnées locales	82
3.4.3.3. Expression de $[D]_T$ en coordonnées globales	88
3.4.4. Obtention de la matrice $[D]_T$ pour le béton fissuré	89
3.5. - La matrice de raideur $[K]_T$ globale	91
3.5.1. Obtention	91
3.5.2. Stockage	92
3.6. - Résolution du système	93
3.7. - Calcul des contraintes	94
3.7.1. Evaluation des forces non équilibrées	94
3.7.2. Evaluation des contraintes aux noeuds des éléments	96
3.8. - Programme de calcul bidimensionnel	97
Organigramme	98

B - <u>ETUDE COMBINEE DES EFFORTS PLANS ET DE FLEXION</u>	
3.9. - Généralités	101
3.10.- Hypothèses adoptées	101
3.11.- Type d'élément utilisé	104
3.12.- Obtention de la matrice de raideur tangente $[K]_T$, et résolution du problème	107
3.13.- Obtention des forces non équilibrées	111
3.14.- Programmation par ordinateur	112
Organigramme	115
 CHAPITRE 4 - ETUDE EXPERIMENTALE	 119
4.1. - Programme des essais	119
4.2. - Corps d'épreuve	120
4.2.1. Caractéristiques géométriques	120
4.2.2. Armatures passives	121
4.2.2.1. Ferrailage des âmes	121
4.2.2.2. Ferrailage du hourdis	125
4.2.3. Le béton	125
4.2.4. Câble de précontrainte	126
4.3. - Exécution des essais	126
4.3.1. Dispositif expérimental	127
4.3.2. Dispositif de mesure	127
4.3.2.1. Jauges béton	127
4.3.2.2. Jauges acier	127
4.3.3. Tableau de chargement et phases de mesure	128
 CHAPITRE 5 - ANALYSE DES RESULTATS	 133
5.1. - Résultats obtenus par la méthode des coupures	133
5.1.1. Cas étudiés	133
5.1.2. Influence du rapport $\gamma = b_0/b$, et des conditions d'encastrement	135
5.1.2.1. Vérification des conditions d'équilibre	135
5.1.2.2. Etude des contraintes longitudinales	136

5.1.2.3. Contraintes transversales σ_y	146
5.1.2.4. Etat de contraintes dans les parois latérales	147
5.1.2.5. Contraintes principales	150
5.1.3. Influence de la longueur du bossage	151
5.1.4. Influence des dimensions relatives bossage-hourdis et de l'excentrement du câble	152
5.1.5. Effet du groupement de bossages	154
5.1.5.1. Deux bossages	154
5.1.5.2. Trois bossages	161
5.2. - Résultats obtenus par la méthode des éléments finis	165
5.2.1. Etude bidimensionnelle	166
5.2.2. Etude tridimensionnelle	171
5.2.3. Influence d'une traction uniforme dans le hourdis	187
5.3. - Comparaison avec les résultats expérimentaux	188
5.3.1. Corps d'épreuve à échelle réduite	188
5.3.1.1. Un seul bossage (corps d'épreuve A)	191
5.3.1.2. Deux bossages (corps d'épreuve B)	194
5.3.1.3. Trois bossages (corps d'épreuve C)	198
5.3.2. Corps d'épreuve à grandeur réelle	199
CHAPITRE 6 - CONCLUSIONS	205
BIBLIOGRAPHIE	217

CHAPITRE I

INTRODUCTIONI.1. - Généralités

Le présent travail concerne un point important dans la construction des ponts : le comportement des bossages d'ancrage de câbles de précontrainte.

La construction de ponts par encorbellements successifs a connu depuis 1970 environ un développement particulièrement important. Ce procédé permet de supprimer le cintre et d'économiser beaucoup de coffrage et s'est avéré économique pour franchir des portées comprises entre 50 et 150 mètres environ, et quand un cintre est coûteux ou impossible.

Rappelons tout d'abord que cette technique consiste à construire le tablier du pont en console, par avancées successives à partir des appuis (piles ou culées) sur lesquels il est encastré (provisoire ou définitivement). Ce qui permet de se passer des cintres et des échafaudages continus au sol. Chaque tranche de tablier, appelée voussoir, est construite en encorbellement à partir de la précédente, et assemblée à elle par la mise en tension de câbles enfilés au travers de la partie déjà construite dans des gaines réservées à cet effet, puis tendus et ancrés à l'extrémité libre du nouveau voussoir.

Pendant la construction, l'ouvrage fonctionne en console, sous l'action de son propre poids et ses surcharges de chantier. Les premiers ouvrages étaient articulés en milieu de travée, mais ce système présente quelques inconvénients :

a) Les flèches prises par les consoles au cours de la construction, ne peuvent être estimées que de façon approximative. Il y a donc un risque appréciable d'avoir des différences de niveau importantes entre les extrémités des deux consoles au moment de l'assemblage. Si bien que l'égalité des niveaux peut être rétablie, cela ne permet pas celle des pentes et un point anguleux apparaît.

b) Même si cette continuité des pentes est obtenue initialement, le fluage ultérieur du béton entraîne toujours une cassure du profil en long, à la clé.

c) En outre, les articulations sont des pièces délicates, dont la tenue dans le temps pose des problèmes.

C'est en raison de ces inconvénients que les systèmes à articulation de clé ont fini par être abandonnés au profit des systèmes continus. La continuité est réalisée par précontrainte, grâce à des câbles enfilés après bétonnage du voussoir de clé, et tendus après durcissement de celui-ci.

A la lumière de ce que nous venons d'exposer plus haut, nous voyons que les câbles peuvent se regrouper en deux familles :

a) Les câbles de fléaux : mis en oeuvre à la construction, pour assembler les voussoirs successifs, à l'extrémité desquels ils sont ancrés, en général dans les âmes des poutres, parfois dans le hourdis supérieur. Cet ancrage se fait rarement au moyen des bossages car ils compliquent la construction et la manoeuvre des coffrages intérieurs, et la mise en tension.

b) Les câbles de continuité : la plupart sont situés à proximité de la fibre inférieure du caisson et sont alors, soit relevés dans les âmes et ancrés dans des encoches aménagées dans l'extrados de l'ouvrage, soit filants dans le hourdis inférieur et ancrés dans des bossages faisant saillie au dessus de celui-ci. La paroi supérieure du hourdis inférieur n'étant pas coffrée, la construction des bossages ne pose pas de problème.

1.2. - Objet et intérêt de l'étude. -

Les examens faits sur certaines constructions en béton précontraint, ont révélé des fissurations inattendues auprès des bossages d'ancrage des câbles de continuité sur le hourdis inférieur du caisson. L'introduction d'un effort concentré élevé sur un élément en général mince, et d'une façon excentrée à cause du bossage, risque d'entraîner des sollicitations importantes.

Dans un certain nombre d'ouvrages à poutre-caisson, on a constaté des fissures dans le hourdis inférieur qui partent de l'arrière des bossages des ancrages et se développent en avant de ceux-ci, vers les âmes, en suivant une direction inclinée, sensiblement entre 35 et 45° sur l'axe longitudinal du tablier.

Les fissures se propagent parfois jusque dans les âmes. Le phénomène peut être exceptionnellement important (voir fig 1.1), avec des fissures qui atteignent une ouverture de 2 mm et rejoignent, dans certains cas, pratiquement le hourdis supérieur.

Des fois, la fissuration peut se développer en arrière des bossages et atteindre les joints de voussoirs qui se trouvent ainsi décomprimés,

et peuvent s'ouvrir sous les charges et les sollicitations thermiques.

Ces fissures, dues à la diffusion de la précontrainte, se trouvent parfois aggravées par la morphologie des ouvrages : trop grand nombre de câbles ancrés dans le hourdis, dimensions du bossage et du hourdis disproportionnées, ferrailage insuffisant, etc...

On voit donc l'intérêt pratique d'une bonne connaissance du fonctionnement de ce type d'ancrage, ainsi que de l'état de sollicitations dans le hourdis au voisinage du bossage. Le caractère tridimensionnel du problème le rend assez complexe, ce qui explique que peu d'études lui aient été dédiées jusqu'ici.

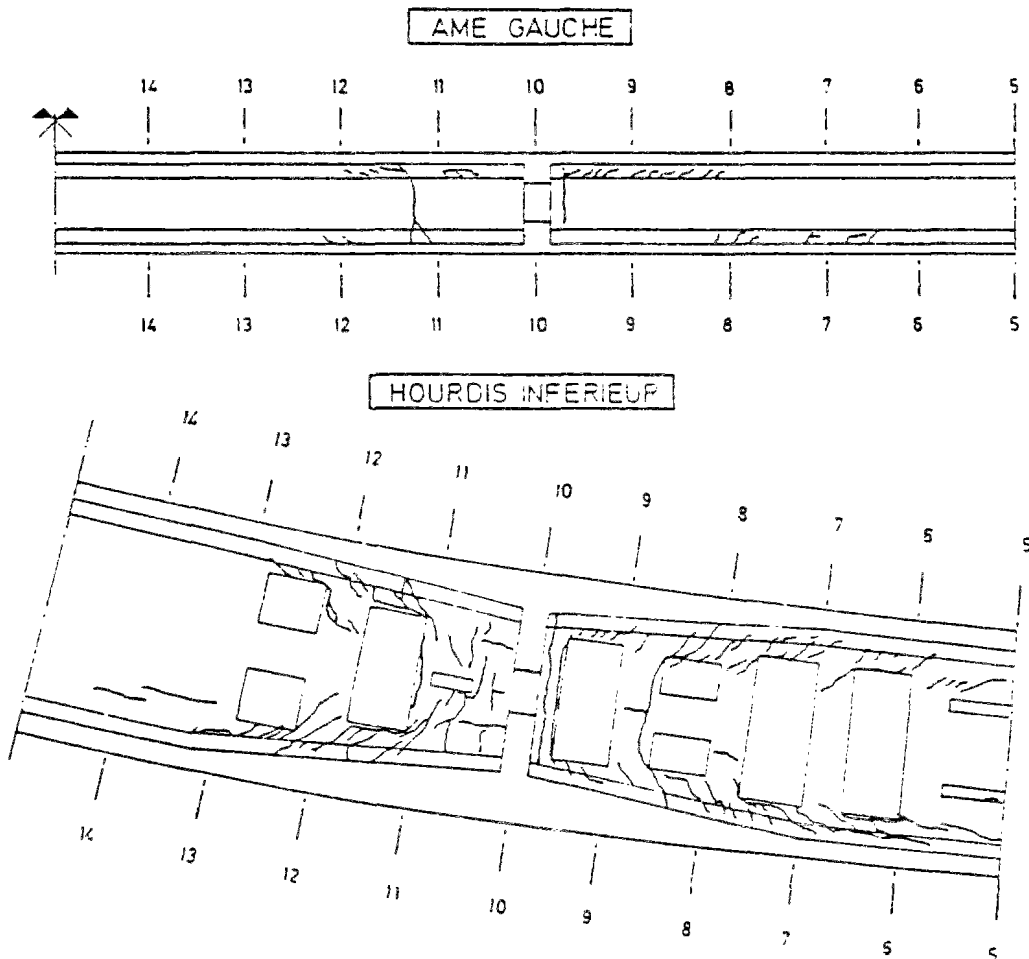


FIG 1.1

1.3. - Position du problème. -

Sur le plan pratique, nous pouvons cerner le problème de résistance de cette partie d'ouvrage en abordant séparément les quatre aspects suivants :

a) La question de la diffusion de la précontrainte dans le bossage. Celui-ci constitue une pièce prismatique en béton sur laquelle est appliquée, moyennant un vérin de mise en tension, et une plaque de répartition, une force concentrée. Ce premier aspect n'est pas très loin du problème de l'ancrage d'un câble à l'about d'une poutre.

b) L'étude du plan de jonction du bossage au hourdis, c'est-à-dire, la recherche de la couture d'attache du bossage au hourdis.

c) L'équilibre de la poussée au vide induite par la courbure du câble dans la zone de raccord avec la fibre moyenne du hourdis.

d) La répartition des contraintes dans le hourdis, notamment la concentration des contraintes et leur localisation (traction d'entraînement derrière le bossage, flexions locales, etc.). Il s'agit de l'étude de la diffusion d'une force de précontrainte qui s'applique au moyen d'un bossage, dans un voile mince qui est partiellement encastré sur les âmes latérales.

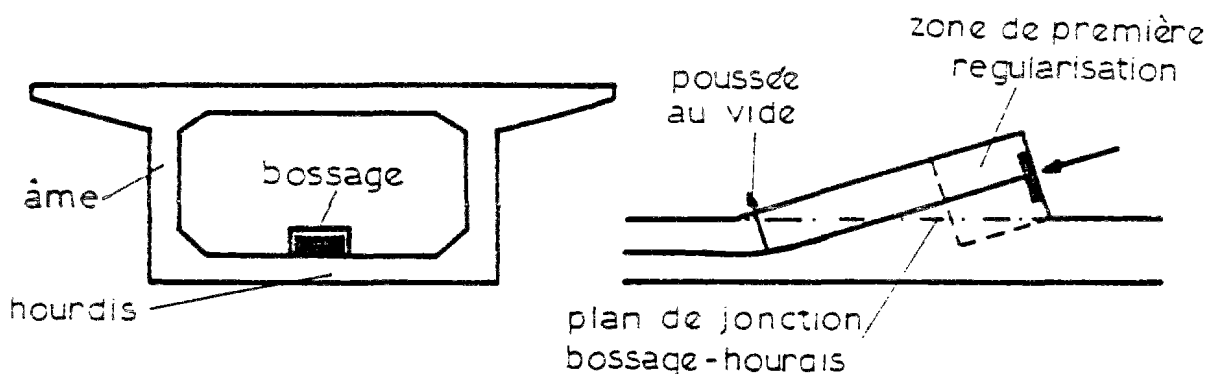


FIG 1.2

1.4. - Revue des études antérieures - Recherche au L.C.P.C. -

— Alors que les ancrages aux abouts des poutres ont fait l'objet de recherches déjà anciennes, qui ont abouti à des méthodes de dimensionnement satisfaisantes (réf 1 et 2), il n'existe pas encore à l'heure actuelle que très peu de publications concernant les recherches sur les ancrages par bossage.

Le cas de l'ancrage placé à l'intérieur d'un voile de béton (les ancrages passifs noyés) a été étudié théorique et expérimentalement par plusieurs auteurs : W. SCHLEE (réf 3 et 4), J. EIBL et G. IVANYI (réf 5) et OULITSKI et autres (réf 6).

Ces recherches montrent l'existence de deux zones de contraintes de traction :

- a) Une zone de traction d'entraînement derrière l'ancrage, dans laquelle les tractions sont fortes et décroissent rapidement lorsqu'on s'éloigne de l'ancrage,
- b) Une zone de traction transversale d'éclatement, devant l'ancrage, avec des contraintes plus faibles, qui se répartissent sur une longueur plus grande.

Les résultats semblent montrer que la fissuration reste acceptable avec un besoin d'armatures relativement réduit.

— Les études précédentes sont restées dans le domaine bidimensionnel. Elles n'ont pas étudié les ancrages par bossage, où l'application inclinée de la charge, au moyen d'une pièce de grand raideur par rapport au hourdis, entraîne l'apparition des flexions locales qui rendent le problème tridimensionnel.

Cette question a été abordée au S.E.S et dernièrement au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (L.C.P.C.). La recherche du L.C.P.C, à la fois sur le plan théorique et expérimental (réf 7,8), était très poussée du point de vue du calcul élastique, et comportait une étude expérimentale d'un ancrage par bossage centré dans une plaque appuyée sur la tranche à un about. La plaque du hourdis (fig 1.3) avait les bords libres. L'influence de l'encastrement du hourdis dans les âmes latérales

du caisson, n'y a pas été prise en compte.

Nous allons dans ce qui suit résumer les points essentiels de l'étude du LCPC par M. LY :

— Son étude portait sur un corps d'épreuve dont les dimensions sont indiquées dans la fig 1.3.

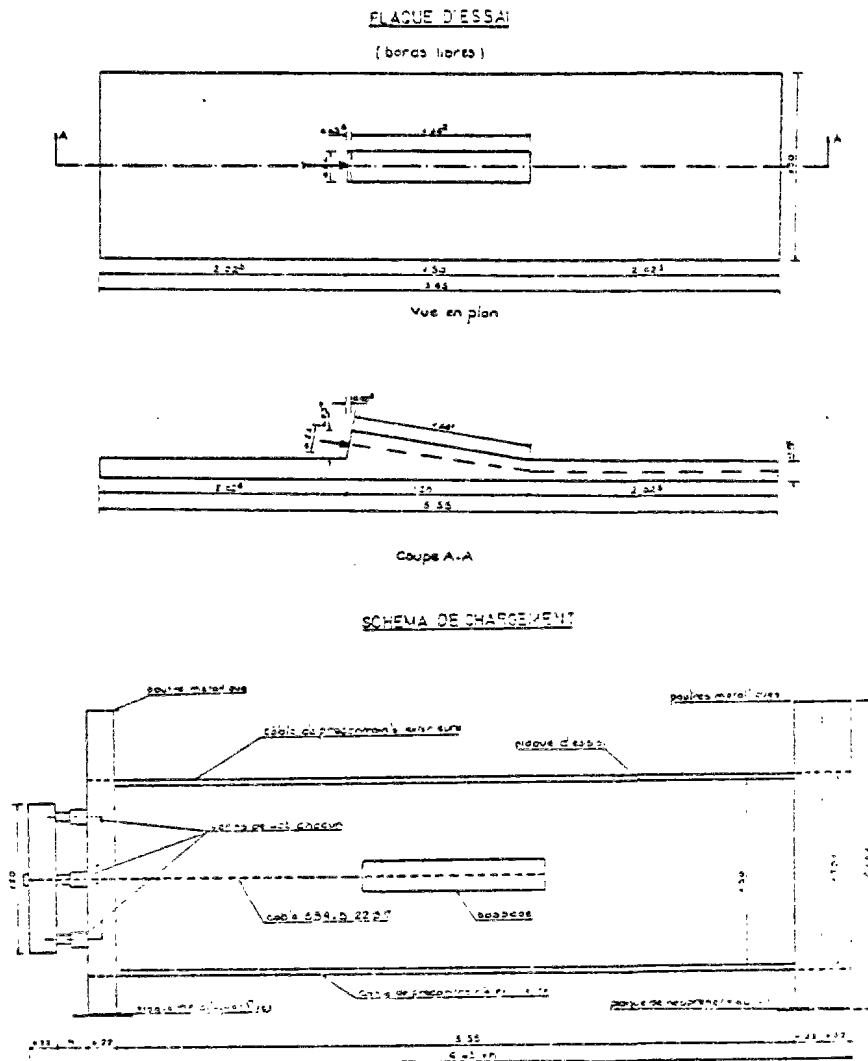


FIG 1.3.

Le travail comporte trois types d'analyse différents.

1. - La première a été une adaptation de la méthode proposée par W. SCHLEE (réf 3 et 4), pour calculer l'état de contraintes dans une poutre de grande hauteur, à bords libres, munie d'un ancrage interne appliqué dans son plan.

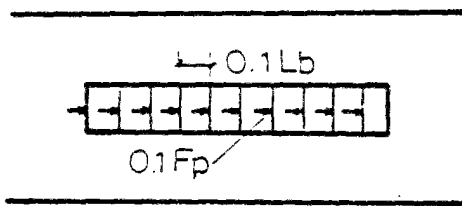
Il s'agit d'une méthode élastique bidimensionnelle, dont la solution est déterminée par l'intermédiaire d'une fonction d'Airy de la forme :

$$\phi(x,y) = \sum \frac{1}{\rho_n^2} (A_n + \beta_n x B_n) e^{-\beta_n x} \cos \beta_n y \quad , \text{ avec } \beta_n = \frac{(2n-1)\pi}{4b} \quad \text{et}$$

'b' la demi-largeur de la plaque.

Les résultats obtenus avec cette méthode, lui ont permis de dimensionner le hourdis du corps d'épreuve qui a été soumis ensuite aux essais.

Les contraintes obtenues au niveau du plan moyen de la plaque, à partir des essais, étaient beaucoup plus faibles que celles trouvées analytiquement avec cette méthode, le rapport étant d'un tiers. Par contre, si la charge, au lieu d'être appliquée brutalement comme dans le cas d'un ancrage interne, était supposée s'appliquer progressivement par fractions égales



tout le long du bossage, les résultats du calcul s'approchaient de ceux des essais. Le bossage, par l'inertie supplémentaire qu'il apporte, joue donc un rôle important de répartition de la force en précontrainte.

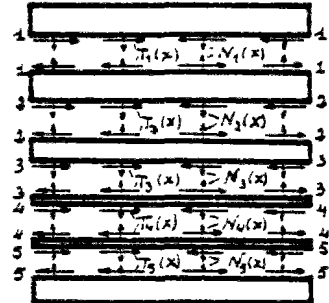
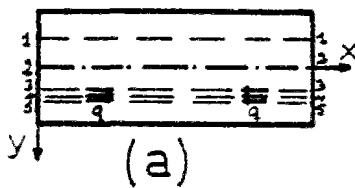
FIG 1.4

2. - La méthode de SCHLEECH ne permet pas de tenir compte de la rigidité du bossage et des effets de flexion dus à l'excentrement du câble de précontrainte par rapport au centre de gravité de chaque section. LY a mis au point une deuxième méthode qui permet d'obtenir les flexions locales qui apparaissent au voisinage du bossage. Il s'agit de la "méthode des coupures", que nous allons reprendre, et qui sera présentée en détail au chapitre 2.

Cette méthode avait été déjà utilisée par OULITSKI (ref 6) dans le calcul de l'état de contraintes d'une plaque munie d'un ancrage interne. Il décomposait la plaque en bandes finies parallèles à l'axe des 'x' et développait les efforts hyperstatiques libérés $N(x)$ et $T(x)$ en séries de Fourier (fig 1.5) :

$$T(x) = \sum t_n \cos \lambda_n x \quad ; \quad N(x) = \sum s_n \sin \lambda_n x \quad ; \quad \lambda_n = \frac{n\pi}{L}$$

Schéma de partage d'une
plaque en bandes.



(b)

FIG 1.5

Les coefficients t_n et s_n , étaient obtenus par les conditions de compatibilité des déformations aux bords de chaque élément.

LY a pris aussi en compte les efforts de flexion, en approchant la bande longitudinale qui contient le bossage par une poutre à raideur variable.

3. - La méthode des coupures a permis d'obtenir une représentation assez approchée de l'état de sollicitations dans le hourdis, en tenant compte des importantes flexions locales qui y apparaissent.

Cependant, elle ne permettait pas d'avoir une idée sur ce qui se passe ni dans le bossage proprement dit, ni dans le plan de couture bossage-hourdis.

Il lui a donc fallu d'étudier la pièce avec la méthode des éléments finis élastiques, ce qui d'une part a servi de vérification à la méthode des coupures, et d'autre part a fourni les renseignements qui manquaient. Cette étude a été faite avec deux programmes : un premier bidimensionnel qui a étudié un modèle plan obtenu en coupant le bossage suivant le plan 'xoz' (fig 1.6), et l'autre tridimensionnel.

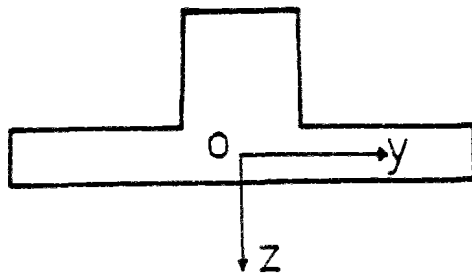


FIG 1.6

Dans la fig 1.7 nous montrons les courbes des contraintes de surface et d'éclatement obtenues par LY. On constate l'existence dans le bossage d'une zone de traction d'éclatement, et sur les onglets bordant la plaque d'ancrage une zone de traction de surface. Le

maximum des tractions d'éclatement apparaît à la surface et non dans l'axe du bossage. Dans le tableau 1 nous indiquons les principaux résultats du calcul, ainsi que ceux obtenus d'après l'Instruction provisoire pour le calcul des ouvrages en béton précontraint (réf 2), concernant la zone de première régularisation.

	Tractions d'éclatement		Tractions de surface TS/F
	T_e/F	$\sigma_{y\max}/P_0$	
Eléments finis	0.115 (a)	1. (a)	0.048
	0.097 (b)	0.52 (b)	
Instruction provisoire	0.063	0.52 (b)	0.053
Mesure		0.64	

TABLEAU 1

(a) en surface

(b) à l'axe du câble

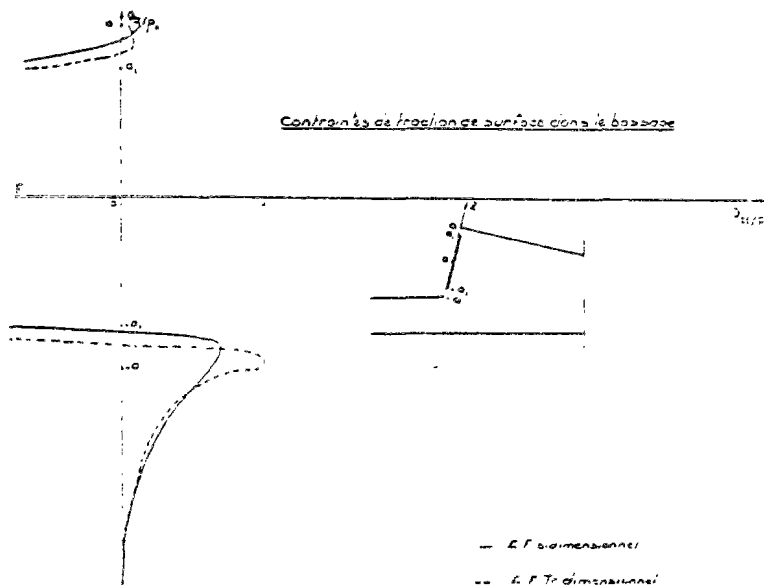


FIG 17-a

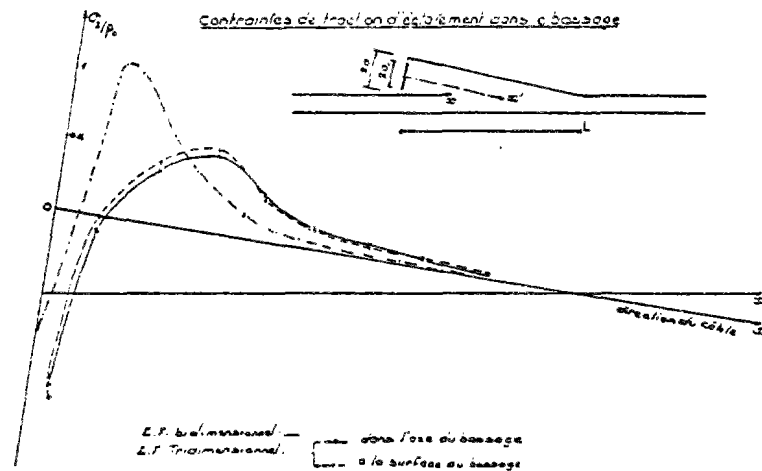


FIG 1.7-b

On constate que l'Instruction Provisoire conduit à une sous-estimation des tractions d'éclatement. En tout cas, puisque le bossage a tenu lors des essais, les auteurs pensent que les directives du règlement sont transposables au cas du bossage moyennant deux adaptations : les armatures destinées à résister les tractions de surface doivent être prolongées jusqu'à la face inférieure de la plaque; les armatures concernant les tractions d'éclatement doivent être légèrement renforcées et disposées en tenant compte que le maximum se trouve en surface du bossage.

En ce qui concerne le plan de jonction bossage-hourdis, les courbes obtenues par LY sont montrées dans la fig 1.8. Ces résultats montrent que la contrainte verticale σ_2 au niveau du plan de jonction est nulle sauf près de l'ancrage et dans la zone de courbure du câble (poussée au vide). La résultante des tractions près de l'ancrage vaut $0.040F$, ce qui correspond à la valeur de la traction de surface et est très éloignée de la traction qui résulterait d'un schéma de résistance de console courte ($0.091F$).

L'allure des cisaillements est à peu près constante avec une petite pointe due à l'application brutale de la charge. Il apparaît donc que la transmission (tout au moins en phase élastique) se fait par cisaillement et que les armatures de couture doivent être réparties sur toute la longueur du bossage, en prolongeant toutefois l'armature de surface du bossage jusqu'à la fibre inférieure du hourdis.

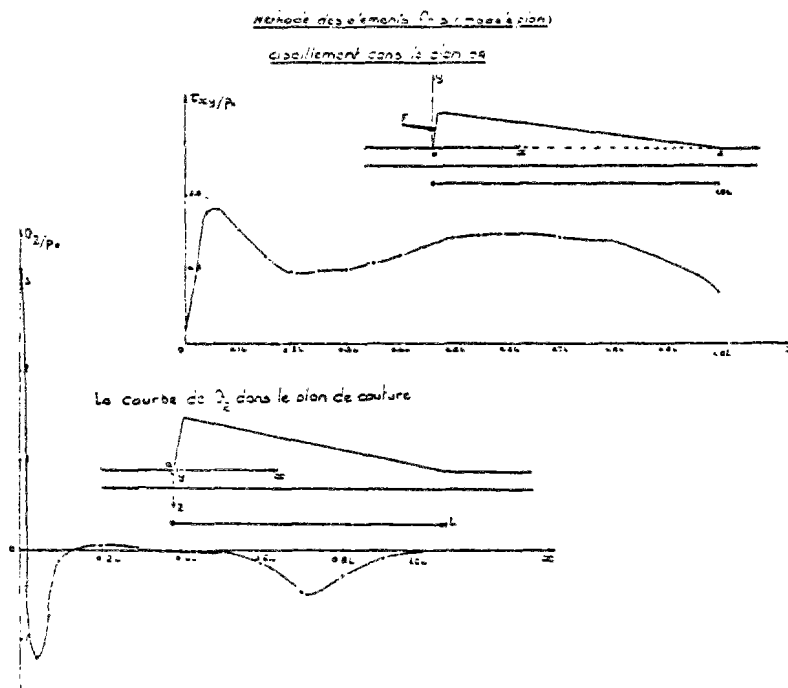


FIG 1.8

1.5. - Plan d'étude. -

— Une étude expérimentale sur le sujet a été entreprise au Service d'Etude des Structures (CEBTP) en 1974, à la demande conjointe du SETRA et de l'UTI (réf 9). Elle portait sur quatre essais, en grandeur réelle, simulant l'ancrage par bossage d'un câble dans un voile en béton, bordé de deux âmes perpendiculaires (section droite en forme de H). Ces essais ont permis d'examiner les différents aspects du problème, déjà cités au paragraphe 1.3.

— Notre étude comporte deux parties : une théorique et une autre expérimentale.

Le travail théorique prend comme point de départ la recherche du LCPC. Ces travaux sont à notre avis, assez complets dans le domaine élastique, mais ils sont susceptibles d'être améliorés sur deux points importants :

- a) son analyse portait sur l'étude théorique et expérimentale du comportement d'un voile en béton, muni d'un bossage centré, avec les bords latéraux libres. Néanmoins, en réalité le hourdis est bordé latéralement par les âmes du caisson, qui établissent certaines restrictions aux déplacements des bords de la pièce, ce qui risque d'entraîner des variations importantes dans les valeurs des contraintes au niveau de plan moyen du hourdis, ainsi que des flexions locales qui apparaissent au voisinage du bossage.
- b) L'étude est limitée au domaine élastique, sans tenir compte des redistributions importantes qui doivent se produire par suite de la fissuration et du comportement non linéaire du béton en compression.

Bien que ces deux facteurs doivent certainement influencer les distributions des contraintes dans le hourdis, nous considérons que les conclusions tirées alors à propos de la diffusion de la précontrainte à l'intérieur du bossage proprement dit, ainsi que le mécanisme de transmission des efforts dans le plan de jonction hourdis-bossage, ne doivent pas être affectés par ceux-ci, car il s'agit des phénomènes très localisés.

— Nous allons donc nous limiter à l'étude de la sollicitation du hourdis par suite de l'application d'une force de précontrainte au moyen d'un bossage (ou de plusieurs), c'est-à-dire au point d) du paragraphe 1.3.

Notre étude théorique comporte deux parties :

1. - Une analyse élastique, qui va reprendre la méthode des coupures utilisée au LCPC, mais en essayant de mieux approcher les conditions sur les bords qui existent dans la réalité. La méthode mise au point va être utilisée pour étudier l'influence, sur les distributions de contraintes dans le hourdis, de certains paramètres, notamment les dimensions relatives du bossage et l'effet du groupement de plusieurs ancrages.
2. - Une analyse non linéaire, qui va nous permettre d'étudier le comportement de la pièce jusqu'à la rupture. Ce qui exige la mise au point d'un programme aux éléments finis non linéaires qui tient compte de la présence des aciers, de la fissuration du béton et de son comportement non linéaire en compression.

La méthode va être aussi utilisée pour étudier l'effet d'un état général de sollicitations (de compression ou de traction) régnant dans la zone de l'ancrage, sur le phénomène local de diffusion de la précontrainte.

— L'étude expérimentale réalisée est une continuation de la recherche de 1974, notamment dans le cas de plusieurs ancrages relativement groupés dans un hourdis en compression.

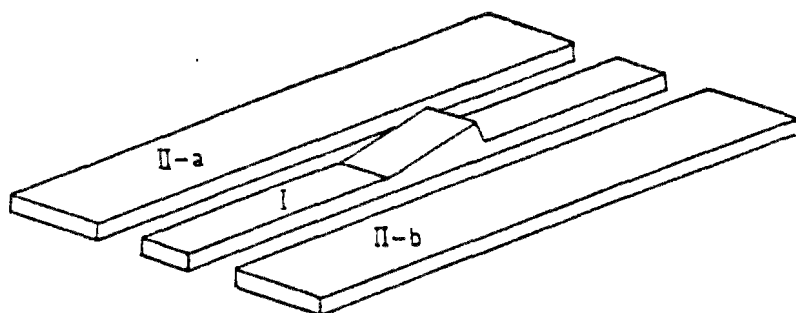
CHAPITRE 2

APPLICATION DE LA METHODE DES COUPURES

La méthode des coupures, utilisée par LY KIM TY (réf.7), permet d'étudier d'une façon analytique l'état de contraintes d'une plaque munie d'un bossage. Elle prend en compte la rigidité du bossage, nettement supérieure à celle de la plaque, ainsi que les effets de la flexion due à l'excentrement du câble par rapport au centre de gravité de la dalle, à son inclinaison et à la forme du bossage. Ce dernier est une pièce à inertie variable dont la ligne moyenne est aussi excentrée par rapport au plan moyen de la plaque.

2.1. Principe du calcul et hypothèses principales

Ce calcul, comme l'on a déjà dit dans le premier chapitre, est une adaptation améliorée de la méthode présentée par OULITSKI et VALOUYVA (réf. 6) pour l'étude plane d'une plaque munie d'ancrages noyés.



Le principe consiste à découper longitudinalement la plaque en bandes : celle comportant le bossage et celles adjacentes (fig.2.1).

Fig. 2.1

Pour des raisons de calcul, nous avons pris la structure suivante (fig. 2.2) :

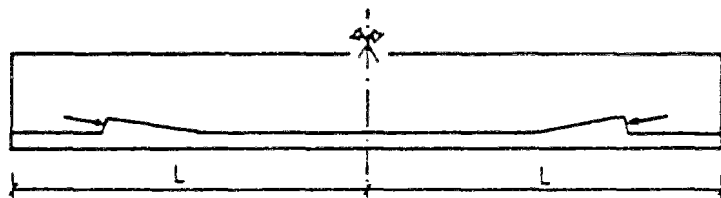


Fig. 2.2

Il suffit de considérer une longueur L suffisamment grande pour que l'on obtienne dans l'axe de symétrie la distribution de contraintes de NAVIER,

et aux extrémités des contraintes nulles.

La structure est donc divisée en trois sous structures. Il faut évidemment, appliquer le long des coupures, les efforts internes libérés (fig.2.3):

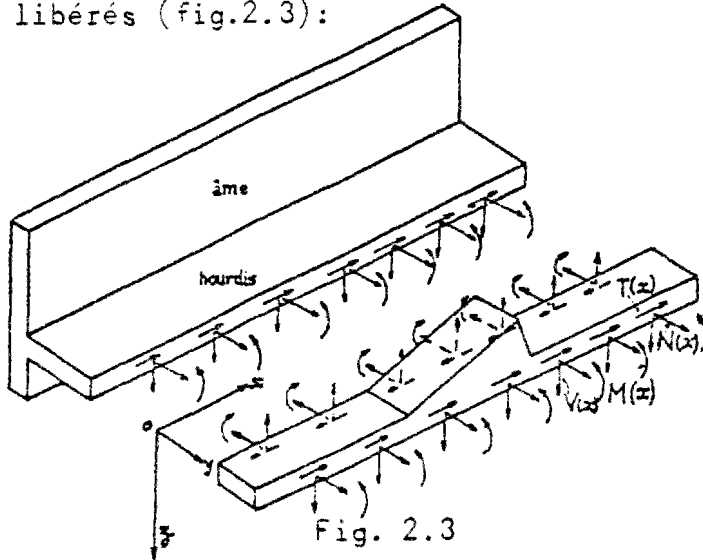


Fig. 2.3

- un effort normal $N(x)$;
- des efforts tangents :
 $T(x)$ parallèle à \overline{Ox}
 (cisaillement),
 $V(x)$ parallèle à \overline{Oz}
 (réaction verticale);
- un moment transversal
 $M(x)$ d'axe \overline{Ox} .

Ces efforts internes sont les inconnues du problème.

On les suppose développés en séries de Fourier sous les formes suivantes :

$$\begin{aligned} N(x) &= \sum_n f_n \cos \alpha_n x \\ T(x) &= \sum_n t_n \sin \alpha_n x \\ V(x) &= \sum_n v_n \cos \alpha_n x \\ M(x) &= \sum_n m_n \cos \alpha_n x \end{aligned}$$

$$\text{avec } \alpha_n = \frac{n\pi}{2L}, \quad n=1,3,5\dots$$

(avec le type de développement choisi, il est facile de vérifier que les termes pairs deviennent nuls).

Par symétrie, par rapport à $x=0$, les fonctions $N(x)$, $V(x)$ et $M(x)$, doivent être choisies paires et la fonction $T(x)$, impaire.

On peut pour la même raison n'étudier que le quart de la structure. Nous avons donc $4N$ inconnues par coupure, N étant le nombre de termes de Fourier considérés, (du fait de la petite capacité de l'ordinateur utilisé, nous nous sommes limités à 30, précision qui nous paraît suffisante).

Les coefficients f_n , t_n , v_n et m_n , étant supposés connus, l'état de contraintes dans les différentes sous structures est ainsi obtenu:

- Pour les bandes ne comportant pas de bossage, on peut calculer la solution élastique exacte d'après les méthodes traditionnelles de l'élasticité bidimensionnelle et de la flexion des plaques minces.
- Pour les bandes munies de bossage, on aura une solution approchée en traitant le bossage décomposé en 10 sections de hauteur constante (fig.2.4), afin de pouvoir intégrer numériquement.



Pour certaines sollicitations (flexion, torsion), nous ferons un calcul comme poutre.

Fig. 2.4

Pour les efforts plans, nous utiliserons la formulation correspondante à l'élasticité bidimensionnelle, en introduisant des coefficients correcteurs pour tenir compte de l'accroissement de la rigidité apporté par le bossage (cf. ci-après).

Les équations permettant de résoudre le problème, sont obtenues par égalisation des travaux exécutés par les efforts inconnus le long de deux bords de chaque coupure.

2.2. Améliorations apportées

— Par rapport au calcul du LCPC, nous avons proposé des améliorations sur deux points, de façon à mieux s'approcher des conditions réelles du problème :

1 - Nous avons considéré qu'il était intéressant d'étendre l'étude aux effets entraînés par le groupement de plusieurs bossages.

Le programme mis au point, permet donc d'envisager l'existence de plusieurs ancrages, jusqu'à quatre, à condition de respecter la symétrie par rapport à l'axe médian longitudinal \overline{Ox} (fig.2.5)

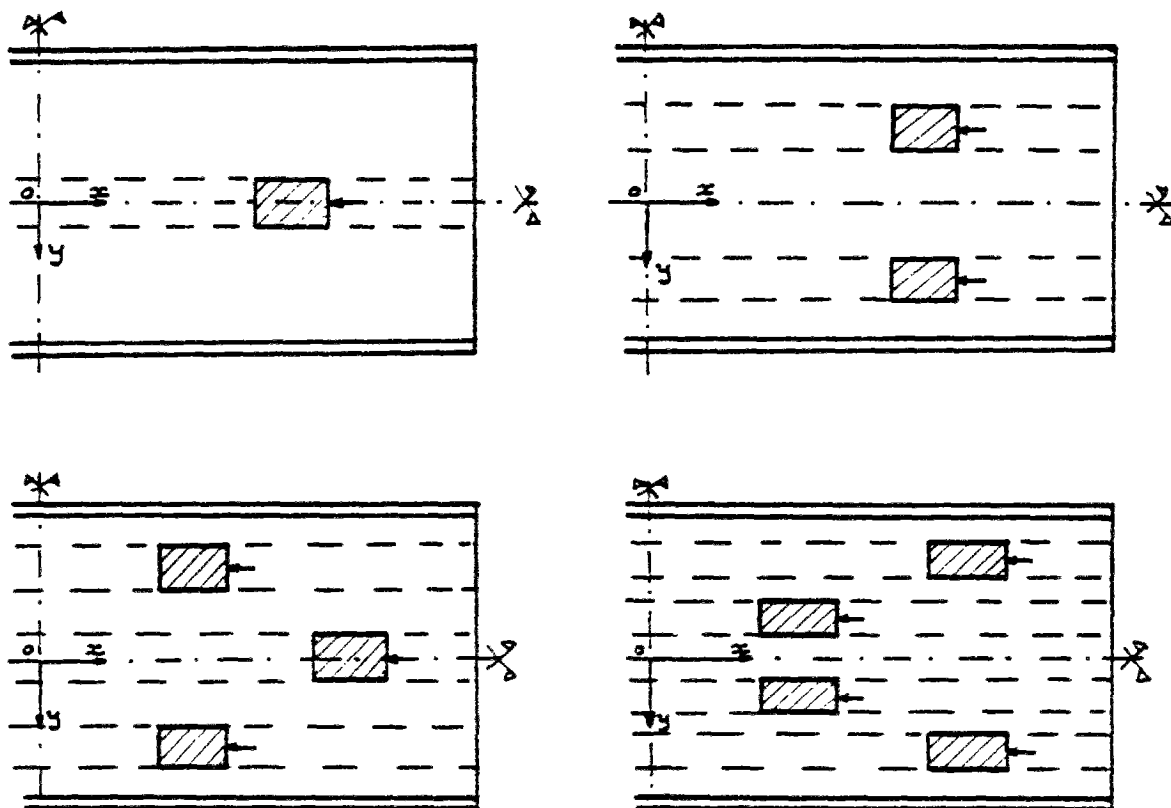


Fig. 2.5

2. LY a abordé le problème d'une plaque à bords libres. Pourtant, la situation réelle est assez différente. Il avait prévu la possibilité d'une modification de la méthode qui permettrait d'établir les conditions d'encastrement parfait aux bords, ce qui fournirait l'autre borne à la situation réelle. Cette façon de procéder est acceptable pour les déplacements tels que : le ' v ' (dans le sens transversal \overrightarrow{OY}) la flèche ' w ' et la rotation transversale ' φ_y '. Elle ne l'est plus quand il s'agit des déplacements longitudinaux ' u ' (dans le sens de l'axe \overrightarrow{OX}). En fait, la situation réelle est un encastrement élastique, vis-à-vis des déplacements ' u ', entre le hourdis et les âmes du caisson, de façon que la diffusion longitudinale de la précontrainte, qui commence dans le hourdis, se poursuit dans les âmes, pour aboutir loin du bossage à une distribution des contraintes σ_x de Navier. L'hypothèse d'encastrement parfait oblige des déplacements ' u ' nuls tout le long de la jonction hourdis-parois latérales. De cette façon, la force de la précontrainte se transmet entièrement, et très rapidement, aux âmes. C'est-à-dire à l'encastrement. Pas trop loin du bossage, les contraintes σ_x sur le hourdis deviennent nulles, ce qui n'est pas la réalité.

— Nous proposons donc d'établir des conditions de bords plus représentatives de la réalité, de la manière suivante :

- Les flèches $\omega(x)$ sont considérées égales à zéro tout le long de la jonction hourdis-âmes. Cette hypothèse est suffisamment correcte du fait de l'énorme rigidité des âmes dans leur plan, par rapport à celle du hourdis travaillant transversalement à son plan moyen.

- Les rotations transversales $\varphi_y(x)$, sont également considérées comme nulles. Dans ce cas, les flexions transversales obtenues seront plus importantes que dans la réalité. Le hourdis et les âmes ont sensiblement une même rigidité par rapport aux efforts de flexion transversale. Les effets seront de toute façon négligeables si le bossage n'est pas trop près des âmes. La situation réelle peut être supposée comme intermédiaire entre notre calcul et celui de LY.

- Les déplacements transversaux $v(x)$, ne seront pas restreints. La grande rigidité du hourdis dans son plan, par rapport à celle des âmes travaillant transversalement, rend vraisemblable cette hypothèse de bords libres.

- Quant aux déplacements longitudinaux $u(x)$, on va tenir compte de la diffusion des efforts longitudinaux dans les âmes. Il sera donc nécessaire de pratiquer une nouvelle coupure le long de la jonction hourdis-âmes (fig.2.6).

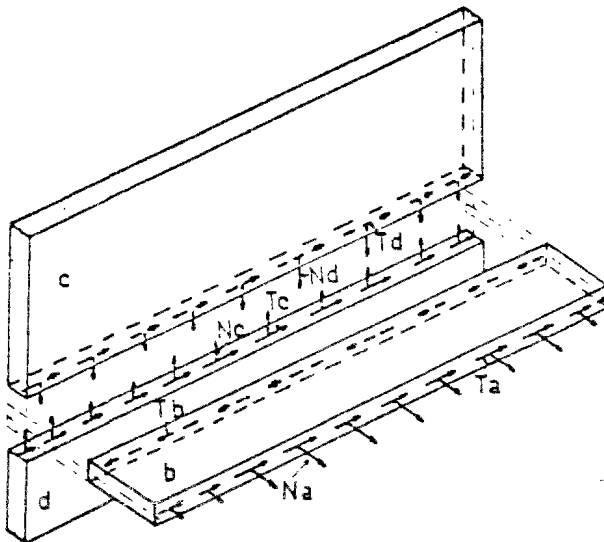


Fig. 2.6

Les deux équations d'équilibre sont :

$$T_b(x) = T_c(x) + T_d(x) ;$$

$$N_c(x) = N_d(x) ,$$

et les trois de compatibilité des déplacements :

$$u_b(x) = u_c(x) = u_d(x) ;$$

$$v_c(x) = v_d(x) ,$$

Elles nous permettent de relier les cinq inconnues subélémentaires $T_b(x)$, $T_c(x)$, $T_d(x)$, $N_c(x)$ et $N_d(x)$ aux efforts $T_a(x)$, et $N_a(x)$. Le nombre d'inconnues du problème n'augmente donc pas, tout en permettant de mieux simuler la situation réelle. La formulation complète sera indiquée ultérieurement.

2.3. Résolution de la méthode

2.3.1. Conventions de signes et dimensions

Les efforts $N(x)$, $T(x)$, $V(x)$ et $M(x)$, agissant sur une sous-structure quelconque, sont positifs quand ils ont le sens indiqué à la figure 2.3. Quant aux dimensions, les déplacements sont mesurés en cm, les efforts plans $T(x)$ et $N(x)$ en kg/cm^2 (comme des contraintes); et les efforts de flexion $V(x)$ et $M(x)$ en kg/cm et kg.cm/cm , respectivement.

2.3.2. Calcul des différentes sous-structures

Le découpage de la structure en sous-structures, tel qu'il est montré dans la fig. 2.3., ramène le problème à la résolution d'un certain nombre de cas simples.

2.3.2.1. Bandes n'ayant pas de bossage

Nous obtenons la solution séparément pour chaque type de sollicitation.

A - Calcul sous une sollicitation normale (fig. 2.7.)

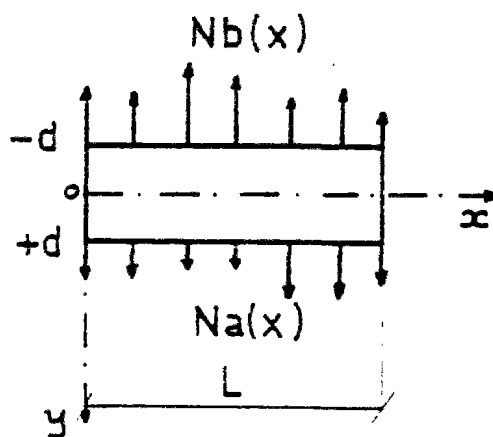


Fig. 2.7

Supposons les efforts développés en séries de Fourier :

$$N_a(x) = \sum_n f_{an} \cos \alpha_n x ;$$

$$N_b(x) = \sum_n f_{bn} \cos \alpha_n x ;$$

$$\alpha_n = \frac{n\pi}{2L} , n = 1, 3, 5 \dots$$

La solution élastique exacte d'une plaque chargée dans son plan (réf. 10) se ramène à résoudre l'équation :

$$\Delta \Delta \Phi = 0.$$

Nous allons prendre une fonction d'Airy de la forme :

$$\Phi = \sum_n \Phi_n(y) \cos \alpha_n x , \quad \Phi_n(y) \text{ étant de la forme :}$$

$$\Phi_n(y) = I_n \operatorname{ch} \alpha_n y + J_n \operatorname{sh} \alpha_n y + K_n y \operatorname{ch} \alpha_n y + L_n y \operatorname{sh} \alpha_n y .$$

Les expressions des contraintes, prennent la forme :

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} = \sum_n \cos \alpha_n x [I_n \alpha_n^2 \operatorname{ch} \alpha_n y + J_n \alpha_n^2 \operatorname{sh} \alpha_n y + K_n \alpha_n (2 \operatorname{sh} \alpha_n y + \alpha_n y \operatorname{ch} \alpha_n y) + L_n \alpha_n (2 \operatorname{ch} \alpha_n y + \alpha_n y \operatorname{sh} \alpha_n y)] = \sum_n \sigma_{xn} \cos \alpha_n x ;$$

$$\sigma_y = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} = \sum_n -\cos \alpha_n x [I_n \alpha_n^2 \operatorname{ch} \alpha_n y + J_n \alpha_n^2 \operatorname{sh} \alpha_n y + K_n \alpha_n^2 y \operatorname{ch} \alpha_n y + L_n \alpha_n^2 y \operatorname{sh} \alpha_n y] = \sum_n -\sigma_{yn} \cos \alpha_n x ;$$

$$\tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} = \sum_n \sin \alpha_n x [I_n \alpha_n^2 \operatorname{sh} \alpha_n y + J_n \alpha_n^2 \operatorname{ch} \alpha_n y + K_n \alpha_n (\operatorname{ch} \alpha_n y + \alpha_n y \operatorname{sh} \alpha_n y) + L_n \alpha_n (\operatorname{sh} \alpha_n y + \alpha_n y \operatorname{ch} \alpha_n y)] = \sum_n \tau_{xyn} \sin \alpha_n x .$$

(A)

Conditions aux bords

Au bord $y=+d$, on a $\tau_{xy} = 0$, et $\sigma_y = \sum_n p_{an} \cos \alpha_n x$;

" " $y=-d$, " " $\tau_{xy} = 0$ " " $\sigma_y = \sum_n p_{bn} \cos \alpha_n x$.



En les substituant dans les équations (A), on obtient :

$$I_n \alpha_n \operatorname{sh} \gamma_n + J_n \alpha_n \operatorname{ch} \gamma_n + K_n [\operatorname{ch} \gamma_n + \gamma_n \operatorname{sh} \gamma_n] + L_n [\operatorname{sh} \gamma_n + \gamma_n \operatorname{ch} \gamma_n] = 0 \quad (a) ;$$

$$-I_n \alpha_n \operatorname{sh} \gamma_n + J_n \alpha_n \operatorname{ch} \gamma_n + K_n [\operatorname{ch} \gamma_n + \gamma_n \operatorname{sh} \gamma_n] - L_n [\operatorname{sh} \gamma_n + \gamma_n \operatorname{ch} \gamma_n] = 0 \quad (b) ;$$

$$I_n \operatorname{ch} \gamma_n + J_n \operatorname{sh} \gamma_n + K_n d \operatorname{ch} \gamma_n + L_n d \operatorname{sh} \gamma_n = -\frac{p_{an}}{\alpha_n^2} \quad (c) ;$$

$$I_n \operatorname{ch} \gamma_n - J_n \operatorname{sh} \gamma_n - K_n d \operatorname{ch} \gamma_n + L_n d \operatorname{sh} \gamma_n = -\frac{p_{bn}}{\alpha_n^2} \quad (d) ;$$

avec $\gamma_n = \alpha_n d$

Les deux premières équations donnent :

$$K_n = -J_n \frac{\alpha_n \operatorname{ch} \gamma_n}{\operatorname{ch} \gamma_n + \gamma_n \operatorname{sh} \gamma_n} \quad (e) ;$$

$$L_n = -I_n \frac{\alpha_n \operatorname{sh} \gamma_n}{\operatorname{sh} \gamma_n + \gamma_n \operatorname{ch} \gamma_n} \quad (f) ;$$

et les deux dernières :

$$K_n = \frac{-\frac{(f_{an} - f_{bn})}{\alpha_n^2} - 2 J_n \operatorname{sh} \gamma_n}{2 d \operatorname{ch} \gamma_n} \quad (g) ;$$

$$L_n = \frac{-\frac{(f_{an} + f_{bn})}{\alpha_n^2} - 2 I_n \operatorname{ch} \gamma_n}{2 d \operatorname{sh} \gamma_n} \quad (h).$$

En égalisant (e) et (g), et puis (f) et (h), on obtient:

$$\begin{aligned} I_n &= -\frac{(f_{an} + f_{bn})}{\alpha_n^2} \frac{\operatorname{sh} \gamma_n + \gamma_n \operatorname{ch} \gamma_n}{\operatorname{sh} 2\gamma_n + 2\gamma_n} \\ J_n &= -\frac{(f_{an} - f_{bn})}{\alpha_n^2} \frac{\operatorname{ch} \gamma_n + \gamma_n \operatorname{sh} \gamma_n}{\operatorname{sh} 2\gamma_n - 2\gamma_n} \end{aligned}$$

et en utilisant (e) et (f),

(I)

$$\begin{aligned} K_n &= \frac{(f_{an} - f_{bn})}{\alpha_n} \frac{\operatorname{ch} \gamma_n}{\operatorname{sh} 2\gamma_n - 2\gamma_n} \\ L_n &= \frac{(f_{an} + f_{bn})}{\alpha_n} \frac{\operatorname{sh} \gamma_n}{\operatorname{sh} 2\gamma_n + 2\gamma_n} \end{aligned}$$

Les coefficients I_n , J_n , K_n et L_n étant connus, on a complètement défini la distribution des contraintes, et donc des déformations, dans la sous-structure.

Expression des déplacements

D'après la formulation (A), les contraintes ont une expression de la forme :

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{\delta^2 \Phi}{\delta y^2} = \sum_n \sigma_{xn} \cos \alpha_n x \\ \sigma_y &= \frac{\delta^2 \Phi}{\delta x^2} = \sum_n -\sigma_{yn} \cos \alpha_n x \\ \tau_{xy} &= \frac{\delta^2 \Phi}{\delta x \delta y} = \sum_n \tau_{xy n} \sin \alpha_n x \end{aligned} \right\} \alpha_n = \frac{n\pi}{2L} ; n=1,3,5\dots$$

où σ_{xn} , σ_{yn} , $\tau_{xy n}$ sont seulement fonction de 'y'.

D'après les équations de l'élasticité, on a :

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu \sigma_y] = \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{1}{E} \sum_n (\sigma_{xn} + \nu \sigma_{yn}) \cos \alpha_n x ;$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu \sigma_x] = \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{1}{E} \sum_n (\sigma_{yn} + \nu \sigma_{xn}) \cos \alpha_n x ;$$

$$\gamma_{xy} = \frac{2[1+\nu]}{E} \tau_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{2[1+\nu]}{E} \sum_n \tau_{xy_n} \sin \alpha_n x.$$

Le déplacement 'u' est :

$$u(x, y) = u(0, y) + \int_0^x \frac{\partial u}{\partial x} dx = u(0, y) + \int_0^x \varepsilon_x dx .$$

Par symétrie : $u(0, y) = 0$, donc :

$$\underline{u(x, y)} = \frac{1}{E} \int_0^x \sum_n (\sigma_{xn} + \nu \sigma_{yn}) \cos \alpha_n x dx = \frac{1}{E} \sum_n \frac{1}{\alpha_n} (\sigma_{xn} + \nu \sigma_{yn}) \sin \alpha_n x . \quad (a')$$

Quant au déplacement 'v' :

$v(x, y) = v(L, y) + \int_L^x \frac{\partial v}{\partial x} dx$. Si l'on prend une longueur 'L' suffisamment grande, les déplacements pour $x = \pm L$ peuvent être négligés, donc :

$$v(x, y) = \int_L^x \left(\frac{2(1+\nu)}{E} \sum_n \tau_{xy_n} \sin \alpha_n x - \frac{\partial u}{\partial y} \right) dx = \frac{2(1+\nu)}{E} \sum_n \left(\frac{-\tau_{xy_n}}{\alpha_n} \right) \cos \alpha_n x +$$

$$+ \frac{1}{E} \sum_n \frac{\partial}{\partial y} \frac{(\sigma_{xn} + \nu \sigma_{yn})}{\alpha_n^2} \cos \alpha_n x .$$

L'expression de $\frac{\partial}{\partial y} \frac{(\sigma_{xn} + \nu \sigma_{yn})}{\alpha_n^2}$ est obtenue en dérivant (A) :

$$\frac{\partial}{\partial y} \frac{(\sigma_{xn} + \nu \sigma_{yn})}{\alpha_n^2} = \psi_n(y) = (1+\nu) [\alpha_n I_n \text{sh} \alpha_n y + \alpha_n J_n \text{ch} \alpha_n y + K_n (\text{ch} \alpha_n y + \alpha_n y \text{sh} \alpha_n y) +$$

$$+ L_n (\text{sh} \alpha_n y + \alpha_n y \text{ch} \alpha_n y)] + 2 [K_n \text{ch} \alpha_n y + L_n \text{sh} \alpha_n y] . \quad (b')$$

Par conséquent :

$$\underline{v(x, y)} = \frac{1}{E} \sum_n \left[-2(1+\nu) \frac{\tau_{xy_n}}{\alpha_n} + \psi_n(y) \right] \cos \alpha_n x , \quad (c')$$

où les expressions de σ_{xn} , σ_{yn} et τ_{xy_n} , sont données par (A).

a) Déplacements 'u' :

a.1) Bord $y = +d$:

$$u(x, d) = \frac{1}{E} \sum_n \sin \alpha_n x \left[(\alpha_n I_n (1+\nu) + \gamma_n K_n (1+\nu) + 2L_n) \operatorname{ch} \gamma_n + (\alpha_n J_n (1+\nu) + L_n \gamma_n (1+\nu) + 2K_n) \operatorname{sh} \gamma_n \right] \\ = \frac{1}{E} \sum_n \sin \alpha_n x \left[2(L_n \operatorname{ch} \gamma_n + K_n \operatorname{sh} \gamma_n) + (1+\nu)(\alpha_n I_n \operatorname{ch} \gamma_n + \alpha_n J_n \operatorname{sh} \gamma_n + \gamma_n L_n \operatorname{sh} \gamma_n + \gamma_n K_n \operatorname{ch} \gamma_n) \right] \quad (d')$$

Avec

$$\gamma_n = \alpha_n d$$

Mais d'après (I) :

$$\alpha_n I_n \operatorname{ch} \gamma_n + \gamma_n L_n \operatorname{sh} \gamma_n = - \frac{(f_{an} + f_{bn})}{2 \alpha_n} ;$$

$$\alpha_n J_n \operatorname{sh} \gamma_n + \gamma_n K_n \operatorname{ch} \gamma_n = - \frac{(f_{an} - f_{bn})}{2 \alpha_n} .$$

Si l'on substitue en (d'), on arrive à :

(II-a)

$$u_N(x, d) = \frac{1}{E} \sum_n \left[\frac{A(d)}{\alpha_n} f_{an} + \frac{B(d)}{\alpha_n} f_{bn} \right] \sin \alpha_n x ,$$

avec, $A(d) = 2[\hat{L}_n \operatorname{ch} \gamma_n + \hat{K}_n \operatorname{sh} \gamma_n] - (1+\nu) ;$
 $B(d) = 2[\hat{L}_n \operatorname{ch} \gamma_n - \hat{K}_n \operatorname{sh} \gamma_n] ;$
 et $\hat{L}_n = \frac{\operatorname{sh} \gamma_n}{\operatorname{sh} 2\gamma_n + 2\gamma_n} , \quad \hat{K}_n = \frac{\operatorname{ch} \gamma_n}{\operatorname{sh} 2\gamma_n - 2\gamma_n} .$

a.2) Bord $y = -d$:

$$u(x, -d) = \frac{1}{E} \sum_n \sin \alpha_n x \left[2(L_n \operatorname{ch} \gamma_n - K_n \operatorname{sh} \gamma_n) + (1+\nu)(\alpha_n I_n \operatorname{ch} \gamma_n + \gamma_n L_n \operatorname{sh} \gamma_n - \alpha_n J_n \operatorname{sh} \gamma_n - \gamma_n K_n \operatorname{ch} \gamma_n) \right] ,$$

et en agissant de même qu'auparavant:

(II-b)

$$u_N(x, -d) = \frac{1}{E} \sum_n \left[\frac{B(d)}{\alpha_n} f_{an} + \frac{A(d)}{\alpha_n} f_{bn} \right] \sin \alpha_n x$$

b) Déplacements 'v' :

b.1) Bord $y = +d$:

Le long des bords, τ_{xy} est nul, donc $\tau_{xy} \equiv 0$.

$$v(x, d) = \frac{1}{E} \sum_n \Psi_n(d) \cos \alpha_n x = \frac{1}{E} \sum_n \left[(1+\nu)(\alpha_n I_n \operatorname{sh} \gamma_n + \alpha_n \gamma_n \operatorname{ch} \gamma_n + K_n (\operatorname{ch} \gamma_n + \gamma_n \operatorname{sh} \gamma_n) + L_n (\operatorname{sh} \gamma_n + \gamma_n \operatorname{ch} \gamma_n)) + 2(K_n \operatorname{ch} \gamma_n + L_n \operatorname{sh} \gamma_n) \right] \cos \alpha_n x. \quad (e')$$

D'après (I) :

$$\alpha_n I_n \operatorname{sh} \gamma_n + \gamma_n L_n \operatorname{ch} \gamma_n + L_n \operatorname{sh} \gamma_n = 0,$$

$$\alpha_n \gamma_n \operatorname{ch} \gamma_n + \gamma_n K_n \operatorname{sh} \gamma_n + K_n \operatorname{ch} \gamma_n = 0$$

Si l'on substitue dans (e') :

$$v(x, d) = \frac{1}{E} \sum_n 2 [K_n \operatorname{ch} \gamma_n + L_n \operatorname{sh} \gamma_n] \cos \alpha_n x.$$

$$v_N(x, d) = \frac{1}{E} \sum_n \left[\frac{C(d)}{\alpha_n} f_{an} + \frac{D(d)}{\alpha_n} f_{bn} \right] \cos \alpha_n x,$$

avec,

$$C(d) = 2 [\hat{K}_n \operatorname{ch} \gamma_n + \hat{L}_n \operatorname{sh} \gamma_n];$$

$$D(d) = 2 [\hat{L}_n \operatorname{sh} \gamma_n - \hat{K}_n \operatorname{ch} \gamma_n],$$

où \hat{L}_n et \hat{K}_n sont les mêmes qu'en (II)

(III-a)

b.2) Bord $y = -d$:

De la même façon qu'auparavant :

$$v_N(x, -d) = -\frac{1}{E} \sum_n \left[\frac{D(d)}{\alpha_n} f_{an} + \frac{C(d)}{\alpha_n} f_{bn} \right] \cos \alpha_n x$$

(III-b)

B - Calcul sous une sollicitation tangente (fig. 2.8)

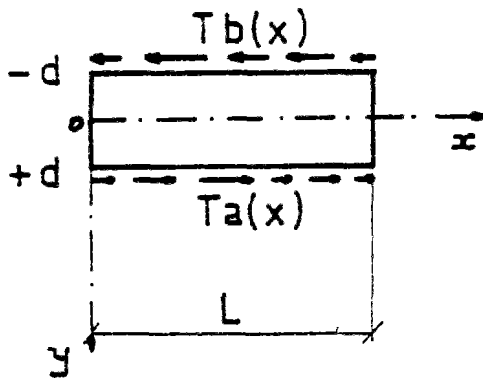


Fig. 2.8

Supposons les efforts développés en séries de Fourier :

$$T_a(x) = \sum_n t_{an} \sin \alpha_n x ;$$

$$T_b(x) = \sum_n t_{bn} \sin \alpha_n x .$$

On a les conditions aux bords suivantes :

Au bord $y = +d$, on a $\sigma_y = 0$, et $\tau_{xy} = \sum_n t_{an} \sin \alpha_n x$;

" " $y = -d$, on a $\sigma_y = 0$, et $\tau_{xy} = \sum_n t_{bn} \sin \alpha_n x$.

Et par une démarche analogue à celle suivie lors du calcul précédent, nous obtenons les expressions :

$$I_n = - \frac{(t_{an} - t_{bn})}{\alpha_n^2} \frac{\gamma_n \operatorname{sh} \gamma_n}{\operatorname{sh} 2\gamma_n + 2\gamma_n} ;$$

$$J_n = - \frac{(t_{an} + t_{bn})}{\alpha_n^2} \frac{\gamma_n \operatorname{ch} \gamma_n}{\operatorname{sh} 2\gamma_n - 2\gamma_n} ;$$

$$K_n = \frac{(t_{an} + t_{bn})}{\alpha_n} \frac{\operatorname{sh} \gamma_n}{\operatorname{sh} 2\gamma_n - 2\gamma_n} ;$$

$$L_n = \frac{(t_{an} - t_{bn})}{\alpha_n} \frac{\operatorname{ch} \gamma_n}{\operatorname{sh} 2\gamma_n + 2\gamma_n} .$$

(IV)

$$u_T(x, d) = \frac{1}{E} \sum_n \left(\frac{E(d)}{\alpha_n} \tan + \frac{F(d)}{\alpha_n} t_{bn} \right) \sin \alpha_n x ;$$

avec, $E(d) = 2[\hat{K}_n \operatorname{sh} \gamma_n + \hat{L}_n \operatorname{ch} \gamma_n] ;$
 $F(d) = 2[\hat{K}_n \operatorname{sh} \gamma_n - \hat{L}_n \operatorname{ch} \gamma_n] ;$

$$\hat{K}_n = \frac{\operatorname{sh} \gamma_n}{\operatorname{sh} 2\gamma_n - 2\gamma_n} ; \quad \hat{L}_n = \frac{\operatorname{ch} \gamma_n}{\operatorname{sh} 2\gamma_n + 2\gamma_n} .$$

$$u_T(x, -d) = -\frac{1}{E} \sum_n \left(\frac{F(d)}{\alpha_n} \tan + \frac{E(d)}{\alpha_n} t_{bn} \right) \sin \alpha_n x .$$

$$v_T(x, d) = \frac{1}{E} \sum_n \left(\frac{G(d)}{\alpha_n} \tan + \frac{H(d)}{\alpha_n} t_{bn} \right) \cos \alpha_n x ;$$

avec, $G(d) = 2[\hat{K}_n \operatorname{ch} \gamma_n + \hat{L}_n \operatorname{sh} \gamma_n] - (1 + \nu) ;$
 $H(d) = 2[\hat{K}_n \operatorname{ch} \gamma_n - \hat{L}_n \operatorname{sh} \gamma_n] ;$

K_n et L_n sont les mêmes qu'en (V) .

$$v_T(x, -d) = \frac{1}{E} \sum_n \left(\frac{H(d)}{\alpha_n} \tan + \frac{G(d)}{\alpha_n} t_{bn} \right) \cos \alpha_n x .$$

C - Calcul sous une sollicitation de flexion

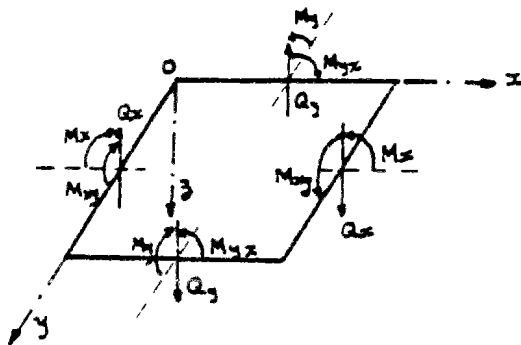


Fig. 2.9

On utilisera la solution élastique de la flexion des plaques minces (réf. 11). L'équation résolvant le problème est:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q}{D} = 0$$

Les efforts (fig.2.9) prennent la forme :

$$M_x = -D \left[\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right] ;$$

$$M_y = -D \left[\frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \right] ;$$

$$M_{xy} = -M_{yx} = D [1 - \nu] \frac{\partial^2 \omega}{\partial x \partial y} ;$$

$$Q_x = \frac{\partial M_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial M_x}{\partial x} = -D \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right] ;$$

$$Q_y = \frac{\partial M_x}{\partial x} - \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} = -D \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right] ;$$

avec :

$$D = \frac{E h^3}{12(1 - \nu^2)} .$$

Les efforts verticaux Q_x , Q_y et les moments de torsion M_{xy} , M_{yx} le long des bords, peuvent être assimilés à un seul effort vertical équivalent :

$$V_x = \left[Q_x - \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} \right] = -D \left[\frac{\partial^3 \omega}{\partial x^3} + (2 - \nu) \frac{\partial^3 \omega}{\partial x \partial y^2} \right] ;$$

$$V_y = \left[Q_y + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} \right] = -D \left[\frac{\partial^3 \omega}{\partial y^3} + (2 - \nu) \frac{\partial^3 \omega}{\partial x^2 \partial y} \right] .$$

Nous allons utiliser la solution proposée par Lévy :

$$\omega = \sum_n \omega_n(y) \cos \alpha_n x \quad \left(\alpha_n = \frac{n\pi}{2L} ; n = 1, 3, 5 \dots \right)$$

$\omega_n(y)$ étant :

$$\omega_n(y) = I_n \operatorname{ch} \alpha_n y + J_n \operatorname{sh} \alpha_n y + K_n y \operatorname{ch} \alpha_n y + L_n y \operatorname{sh} \alpha_n y$$

Les expressions générales des efforts prennent donc la forme :

$$M_x = D \sum_n \alpha_n^2 [(1-\nu) \operatorname{ch} \alpha_n y I_n + (1-\nu) \operatorname{sh} \alpha_n y J_n + [(1-\nu) y \operatorname{ch} \alpha_n y - \frac{2\nu}{\alpha_n} \operatorname{sh} \alpha_n y] K_n + [(1-\nu) y \operatorname{sh} \alpha_n y - \frac{2\nu}{\alpha_n} \operatorname{ch} \alpha_n y] L_n] \cos \alpha_n x ;$$

$$M_y = -D \sum_n \alpha_n^2 [(1-\nu) \operatorname{ch} \alpha_n y I_n + (1-\nu) \operatorname{sh} \alpha_n y J_n + [(1-\nu) y \operatorname{ch} \alpha_n y + \frac{2}{\alpha_n} \operatorname{sh} \alpha_n y] K_n + [(1-\nu) y \operatorname{sh} \alpha_n y + \frac{2}{\alpha_n} \operatorname{ch} \alpha_n y] L_n] \cos \alpha_n x ;$$

$$M_{xy} = -M_{yx} = -D(1-\nu) \sum_n \alpha_n^2 [\operatorname{sh} \alpha_n y I_n + \operatorname{ch} \alpha_n y J_n + [y \operatorname{sh} \alpha_n y + \frac{\operatorname{ch} \alpha_n y}{\alpha_n}] K_n + [y \operatorname{ch} \alpha_n y + \frac{\operatorname{sh} \alpha_n y}{\alpha_n}] L_n] \sin \alpha_n x ;$$

$$V_x = D \sum_n \alpha_n^3 [(1-\nu) \operatorname{ch} \alpha_n y I_n + (1-\nu) \operatorname{sh} \alpha_n y J_n + [(1-\nu) y \operatorname{ch} \alpha_n y + \frac{2(2-\nu)}{\alpha_n} \operatorname{sh} \alpha_n y] K_n + [(1-\nu) y \operatorname{sh} \alpha_n y + \frac{2(2-\nu)}{\alpha_n} \operatorname{ch} \alpha_n y] L_n] \sin \alpha_n x ;$$

$$V_y = D \sum_n \alpha_n^3 [(1-\nu) \operatorname{sh} \alpha_n y I_n + (1-\nu) \operatorname{ch} \alpha_n y J_n + [(1-\nu) y \operatorname{sh} \alpha_n y - \frac{(1+\nu)}{\alpha_n} \operatorname{ch} \alpha_n y] K_n + [(1-\nu) y \operatorname{ch} \alpha_n y - \frac{(1+\nu)}{\alpha_n} \operatorname{sh} \alpha_n y] L_n] \cos \alpha_n x .$$

(B)

Conditions aux bords (fig. 2.10)

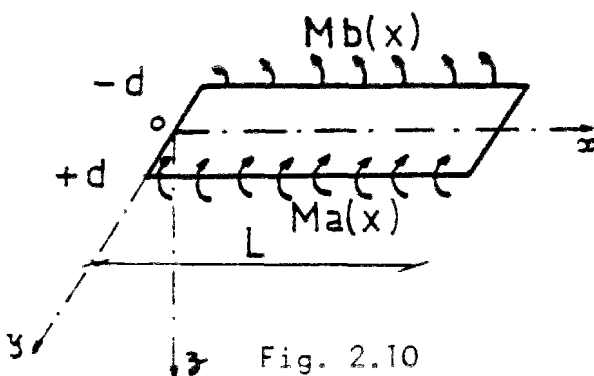


Fig. 2.10

Supposons les moments fléchissants développés en séries de Fourier :

$$M_a(x) = \sum_n m_{an} \cos \alpha_n x ;$$

$$M_b(x) = \sum_n m_{bn} \cos \alpha_n x .$$

Au bord $y = +d$, on a : $V_y = 0$ et $M_y = \sum_n m_{an} \cos \alpha_n x$;

Au bord $y = -d$, on a : $V_y = 0$ et $M_y = \sum_n m_{bn} \cos \alpha_n x$.

En les substituant dans les équations (B) on arrive à :

$$K_n = \frac{-\alpha_n(1-\nu) \operatorname{ch} \gamma_n}{(1-\nu) \gamma_n \operatorname{sh} \gamma_n - (1+\nu) \operatorname{ch} \gamma_n} \gamma_n \quad ; \quad (a)$$

$$L_n = \frac{-\alpha_n(1-\nu) \operatorname{sh} \gamma_n}{(1-\nu) \gamma_n \operatorname{ch} \gamma_n - (1+\nu) \operatorname{sh} \gamma_n} I_n \quad ; \quad (b)$$

$$K_n = \frac{-\frac{(m_{an}-m_{bn})}{2D\alpha_n} - \alpha_n(1-\nu) \operatorname{sh} \gamma_n \gamma_n}{(1-\nu) \gamma_n \operatorname{ch} \gamma_n + 2 \operatorname{sh} \gamma_n} \quad ; \quad (c)$$

$$L_n = \frac{-\frac{(m_{an}+m_{bn})}{2D\alpha_n} - \alpha_n(1-\nu) \operatorname{ch} \gamma_n I_n}{(1-\nu) \gamma_n \operatorname{sh} \gamma_n + 2 \operatorname{ch} \gamma_n} \quad . \quad (d)$$

En égalisant (a) et (c), et puis (b) et (d), on obtient :

$$I_n = \frac{(m_{an} + m_{bn})}{2D(1-\nu)\alpha_n^2} \frac{(1-\nu) \gamma_n \operatorname{ch} \gamma_n - (1+\nu) \operatorname{sh} \gamma_n}{\beta_n} ;$$

$$\gamma_n = \frac{(m_{an} - m_{bn})}{2D(1-\nu)\alpha_n^2} \frac{(1-\nu) \gamma_n \operatorname{sh} \gamma_n - (1+\nu) \operatorname{ch} \gamma_n}{\delta_n} ;$$

avec , $\beta_n = \frac{(3+\nu)}{2} \operatorname{sh} 2\gamma_n - (1-\nu) \gamma_n$;

$$\delta_n = \frac{(3+\nu)}{2} \operatorname{sh} 2\gamma_n + (1-\nu) \gamma_n .$$

et en utilisant (a) et (b),

(VII)

$$K_n = -\frac{(m_{an}-m_{bn})}{2D(1-\nu)\alpha_n^2} \frac{\alpha_n(1-\nu) \operatorname{ch} \gamma_n}{\delta_n} ;$$

$$L_n = -\frac{(m_{an}+m_{bn})}{2D(1-\nu)\alpha_n^2} \frac{\alpha_n(1-\nu) \operatorname{sh} \gamma_n}{\beta_n} .$$

Une fois que les coefficients I_n , J_n , K_n et L_n sont connus, il est possible d'obtenir les efforts, et par conséquent les déformations dans tous les points de la sous-structure.

Expression des déplacements.-

Les flèches sont :

$$\omega(x, y) = \sum_n [I_n \operatorname{ch} \alpha_n y + J_n \operatorname{sh} \alpha_n y + K_n y \operatorname{ch} \alpha_n y + L_n y \operatorname{sh} \alpha_n y] \cos \alpha_n x. \quad (a')$$

Les rotations transversales sont obtenues par dérivation :

$$\varphi_y(x, y) = \frac{\partial \omega(x, y)}{\partial y} = \sum_n [\alpha_n I_n \operatorname{sh} \alpha_n y + \alpha_n J_n \operatorname{ch} \alpha_n y + K_n [\operatorname{ch} \alpha_n y + y \alpha_n \operatorname{sh} \alpha_n y] + L_n [\operatorname{sh} \alpha_n y + y \alpha_n \operatorname{ch} \alpha_n y]] \cos \alpha_n x. \quad (b')$$

En faisant $y = \pm d$ dans les expressions (a') et (b'), nous arrivons aux expressions suivantes :

$$\omega_M(x, d) = \frac{1}{2D(1-\nu)} \sum_n \left[\frac{M(d)}{\alpha_n^2} m_{an} + \frac{N(d)}{\alpha_n^2} m_{bn} \right] \cos \alpha_n x,$$

avec,

$$M(d) = \hat{I}_n \operatorname{ch} \gamma_n + \hat{J}_n \operatorname{sh} \gamma_n + \hat{K}_n \gamma_n \operatorname{ch} \gamma_n + \hat{L}_n \gamma_n \operatorname{sh} \gamma_n;$$

$$N(d) = \hat{I}_n \operatorname{ch} \gamma_n - \hat{J}_n \operatorname{sh} \gamma_n - \hat{K}_n \gamma_n \operatorname{ch} \gamma_n + \hat{L}_n \gamma_n \operatorname{sh} \gamma_n;$$

$$\hat{I}_n = \frac{(1-\nu) \gamma_n \operatorname{ch} \gamma_n - (1+\nu) \operatorname{sh} \gamma_n}{\beta_n};$$

$$\hat{J}_n = \frac{(1-\nu) \gamma_n \operatorname{sh} \gamma_n - (1+\nu) \operatorname{ch} \gamma_n}{\delta_n};$$

$$\hat{K}_n = - \frac{(1-\nu) \operatorname{ch} \gamma_n}{\delta_n};$$

$$\hat{L}_n = - \frac{(1-\nu) \operatorname{sh} \gamma_n}{\beta_n};$$

β_n et δ_n sont donnés par (VII).

$$\omega_M(x, -d) = \frac{1}{2D(1-\nu)} \sum_n \left[\frac{N(d)}{\alpha_n^2} m_{an} + \frac{M(d)}{\alpha_n^2} m_{bn} \right] \cos \alpha_n x.$$

(VIII)

$$\varphi_{yM}(x, d) = \frac{1}{D(1-\nu)^2} \sum_n \left[\frac{O(d)}{\alpha_n} m_{an} + \frac{P(d)}{\alpha_n} m_{bn} \right] \cos \alpha_n x;$$

$$\varphi_{yM}(x, -d) = \frac{-1}{D(1-\nu)^2} \sum_n \left[\frac{P(d)}{\alpha_n} m_{an} + \frac{O(d)}{\alpha_n} m_{bn} \right] \cos \alpha_n x,$$

avec,

$$O(d) = \hat{L}_n \operatorname{sh} \gamma_n + \hat{K}_n \operatorname{ch} \gamma_n;$$

$$P(d) = \hat{L}_n \operatorname{sh} \gamma_n - \hat{K}_n \operatorname{ch} \gamma_n;$$

\hat{L}_n et \hat{K}_n sont les mêmes qu'en (VIII). (IX)

D - Calcul sous une sollicitation verticale (fig. 2.11)

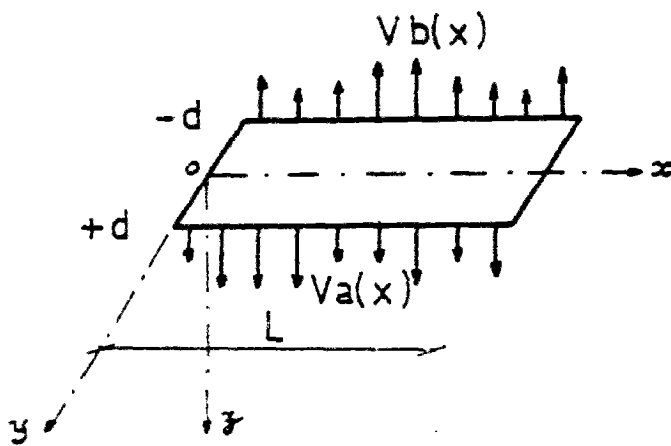


Fig. 2.11

Les efforts ont la forme suivante :

$$V_a(x) = \sum_n v_{an} \cos \alpha_n x ;$$

$$V_b(x) = \sum_n v_{bn} \cos \alpha_n x .$$

On a les conditions aux bords suivantes :

Au bord $y = +d$, on a $M_y = 0$, et $V_y = \sum_n v_{an} \cos \alpha_n x$;

" " $y = -d$, on a $M_y = 0$, et $V_y = \sum_n v_{bn} \cos \alpha_n x$.

En effectuant le même calcul que précédemment, nous obtenons les expressions :

$$I_n = \frac{(\nu_{an} - \nu_{bn})}{2D(1-\nu)\alpha_n^3} \frac{(1-\nu)\gamma_n \operatorname{sh} \gamma_n + 2 \operatorname{ch} \gamma_n}{\beta_n};$$

$$J_n = \frac{(\nu_{an} + \nu_{bn})}{2D(1-\nu)\alpha_n^3} \frac{(1-\nu)\gamma_n \operatorname{ch} \gamma_n + 2 \operatorname{sh} \gamma_n}{\delta_n};$$

$$K_n = -\frac{(\nu_{an} + \nu_{bn})}{2D(1-\nu)\alpha_n^3} \frac{\alpha_n(1-\nu)\operatorname{sh} \gamma_n}{\delta_n};$$

$$L_n = -\frac{(\nu_{an} - \nu_{bn})}{2D(1-\nu)\alpha_n^3} \frac{\alpha_n(1-\nu)\operatorname{ch} \gamma_n}{\beta_n},$$

(X)

où β_n et δ_n sont données par (VII).

$$\omega_v(x, d) = \frac{-1}{D(1-\nu)^2} \sum_n \left[\frac{Q(d)}{\alpha_n^3} \nu_{an} + \frac{R(d)}{\alpha_n^3} \nu_{bn} \right] \cos \alpha_n x;$$

$$\omega_v(x, -d) = \frac{1}{D(1-\nu)^2} \sum_n \left[\frac{R(d)}{\alpha_n^3} \nu_{an} + \frac{Q(d)}{\alpha_n^3} \nu_{bn} \right] \cos \alpha_n x,$$

(XI)

avec, $Q(d) = \hat{L}_n \operatorname{ch} \gamma_n + \hat{K}_n \operatorname{sh} \gamma_n;$

$$R(d) = -\hat{L}_n \operatorname{ch} \gamma_n + \hat{K}_n \operatorname{sh} \gamma_n,$$

\hat{L}_n et \hat{K}_n sont les mêmes qu'en (XII).

$$\varphi_{yv}(x, d) = \frac{1}{2D(1-\nu)} \sum_n \left[\frac{S(d)}{\alpha_n^2} v_{an} + \frac{T(d)}{\alpha_n^2} v_{bn} \right] \cos \alpha_n x;$$

$$\varphi_{yv}(x, -d) = \frac{1}{2D(1-\nu)} \sum_n \left[\frac{T(d)}{\alpha_n^2} v_{an} + \frac{S(d)}{\alpha_n^2} v_{bn} \right] \cos \alpha_n x,$$

avec, $S(d) = \hat{I}_n \operatorname{sh} \gamma_n + \hat{J}_n \operatorname{ch} \gamma_n + \hat{K}_n [\operatorname{ch} \gamma_n + \gamma_n \operatorname{sh} \gamma_n] + \hat{L}_n [\operatorname{sh} \gamma_n + \gamma_n \operatorname{ch} \gamma_n];$

$$T(d) = -\hat{I}_n \operatorname{sh} \gamma_n + \hat{J}_n \operatorname{ch} \gamma_n + \hat{K}_n [\operatorname{ch} \gamma_n + \gamma_n \operatorname{sh} \gamma_n] - \hat{L}_n [\operatorname{sh} \gamma_n + \gamma_n \operatorname{ch} \gamma_n],$$

et,

$$\hat{I}_n = \frac{(1-\nu) \gamma_n \operatorname{sh} \gamma_n + 2 \operatorname{ch} \gamma_n}{\beta_n};$$

$$\hat{J}_n = \frac{(1-\nu) \gamma_n \operatorname{ch} \gamma_n + 2 \operatorname{sh} \gamma_n}{\delta_n};$$

$$\hat{K}_n = -\frac{(1-\nu) \operatorname{sh} \gamma_n}{\delta_n};$$

$$\hat{L}_n = -\frac{(1-\nu) \operatorname{ch} \gamma_n}{\beta_n},$$

où β_n et δ_n sont celles de (VII).

(XII)

2.3.2.2. Bandes comportant un bossage (fig. 2.12)

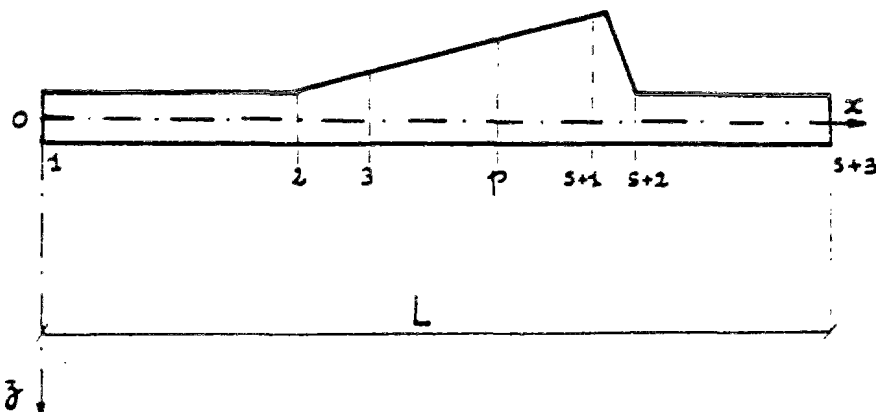


Fig. 2.12

s = nombre de subdivisions du bossage

Pour les bandes munies d'un bossage, on ne peut pas établir une solution analytique exacte. Il faudra donc faire des hypothèses approximatives, lesquelles vont dépendre du type de déplacement et du type d'effort.

Les déplacements totaux seront obtenus par addition des déplacements élémentaires dus à des chacun des efforts sur les coupures, plus ceux dus à la précontrainte :

$$u = u_N + u_T + \cancel{u_M} + u_V + u_{PR} \quad ;$$

$$v = v_N + v_T + \cancel{v_M} + \cancel{v_V} + v_{PR} \quad ;$$

$$w = \cancel{w_N} + w_T + w_M + w_V + w_{PR} \quad ;$$

$$\varphi_y = \cancel{\varphi_{yN}} + \cancel{\varphi_{yT}} + \varphi_{yM} + \varphi_{yV} + \cancel{\varphi_{yPR}} \quad .$$

La présence du bossage fait qu'aucune des composantes n'est nulle, mais nous pouvons néanmoins négliger les suivantes :

$$w_N, \varphi_{yN}, \varphi_{yT}, u_M, v_M, v_V \text{ et } \varphi_{yPR}.$$

2.3.2.2.1. Hypothèses approximatives

a) Les fonctions u_V , w_T et w_{PR} , sont obtenues en supposant que la bande se comporte comme une poutre en flexion.

b) Les fonctions u_N , u_T , v_N et v_T sont obtenues par la même méthode que pour les bandes n'ayant pas de bossage. L'influence de la rigidité variable du bossage est introduite d'une façon approchée.

Les expressions (II), (III), (V) et (VI), montrent que les déplacements 'u', 'v' d'une bande à épaisseur constante prennent une forme telle que celle qui suit :

$$u(x) = \frac{1}{E} \sum_n \theta_n \sin \alpha_n x \quad \text{et} \quad v(x) = \frac{1}{E} \sum_n \theta_n \cos \alpha_n x,$$

Pour une bande à épaisseur variable, nous supposons que les déplacements pour une valeur x , ($x_p < x < x_{p+1}$), ont pour expression :

$$- u(x) = u(x_p) + \frac{K_p}{E} \sum_n \theta_n (\sin \alpha_n x - \sin \alpha_n x_p),$$

$$\text{avec} \quad u(x_p) = \sum_{r=1}^{r=p-1} \frac{K_r}{E} \sum_n \theta_n (\sin \alpha_n x_{r+1} - \sin \alpha_n x_r).$$

$$- v(x) = v(x_{p+1}) + \frac{K_p}{E} \sum_n \theta_n (\cos \alpha_n x - \cos \alpha_n x_{p+1});$$

$$\text{avec, } v(x_{p+1}) = \sum_{r=p+1}^{r=s+2} \frac{K_r}{E} \sum_n \theta_n (\cos \alpha_n x_r - \cos \alpha_n x_{r+1}).$$

En séparant les termes constants de ceux qui sont fonction de 'x' et en simplifiant, nous arrivons à des expressions du type :

Pour $x_p < x < x_{p+1}$:

$$u(x) = \frac{1}{E} \sum_n \theta_n [u_{00} + u_{01} \sin \alpha_n x],$$

avec,

$$u_{00} = \sum_{r=2}^{r=p} [K_{r-1} - K_r] \sin \alpha_n x_r \quad (p \neq 1);$$

$$u_{00} = 0 \quad (p=1); \quad u_{01} = K_p,$$

(XIII)

et,

$$v(x) = \frac{1}{E} \sum_n \theta_n [v_{00} + v_{01} \cos \alpha_n x],$$

$$\text{avec, } v_{00} = \sum_{r=p+1}^{r=s+2} [K_r - K_{r-1}] \cos \alpha_n x_r \quad (p \neq s+2);$$

$$v_{00} = 0 \quad (p=s+2); \quad v_{01} = K_p.$$

Les coefficients K_i , affectés à chacune des zones de la bande, essaient de tenir compte de l'influence de la rigidité variable de chaque zone.

Leur évaluation sera montrée ultérieurement.

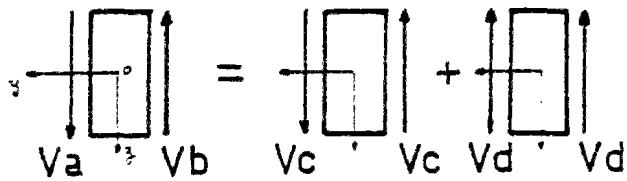
Les fonctions θ_n , sont déduites de façon immédiate des expressions (II), (III), (V) et (VI), selon le type d'effort considéré.

c) Les fonctions ω_m , φ_{ym} , ω_v et φ_{yv} sont décomposées en deux :

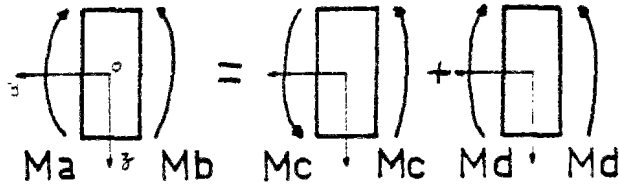
$$\omega = \omega' + \omega''$$

$$\varphi_y = \varphi_y' + \varphi_y''$$

déoulant à leur tour de la décomposition de la sollicitation en deux cas différents (fig. 2.13).



Les fonctions ω'_M et φ'_{yM} , sont obtenues d'une étude en poutre de la bande soumise à un couple de moments $M_c(x)$.



Les fonctions ω'_V et φ'_{yV} , sont déduites de la même façon pour la bande soumise à une paire de forces $V_c(x)$.

$$V_c = \frac{V_a + V_b}{2}$$

$$V_d = \frac{V_b - V_a}{2}$$

$$M_c = \frac{M_b - M_a}{2}$$

$$M_d = \frac{M_a + M_b}{2}$$

Fig. 2.13

Les fonctions ω''_M et φ''_{yM} , et d'autre part ω''_V et φ''_{yV} , sont obtenues à partir des expressions propres de la flexion des plaques minces à épaisseur constante (VIII), (IX), (XI) et (XII), mais en y ajoutant des coefficients correcteurs dus à la rigidité variable du bossage. On aura donc des expressions de la forme :

$$\omega''(x) = \frac{1}{D} \sum_n \theta_n [v_{00} + v_{01} \cos \alpha_n x] ;$$

$$\varphi''(x) = \frac{1}{D} \sum_n \theta_n [v_{00} + v_{01} \cos \alpha_n x] ,$$

où v_{00} et v_{01} prennent la forme décrite en (XIII)

(XIV)

Les expressions de θ_n se dégagent des formules (VIII), (IX), (XI) et (XII), selon le type d'effort considéré.

d) Quant à l'évaluation des coefficients K_i , affectés à chacune des zones découpées dans la sous-structure, et qui essaient de prendre en compte les effets de la rigidité variable du bossage, nous avons adopté différents critères selon les types des déplacements et des efforts intervenant :

- évaluation de \mathcal{U}_N : les coefficients K_i^{NN} sont évalués comme le rapport entre les raccourcissements de la fibre moyenne du hourdis dans les cas 1 et 2 de la fig. 2.14-a.

- évaluation de la φ_{yM} : les coefficients K_i^{MM} sont évalués comme le rapport entre les rotations dans les cas 1 et 2 de la fig. 2.14-b.

- évaluation de u_T : les coefficients K_i^{TT} sont obtenus comme le rapport des contraintes au niveau du plan moyen du hourdis dans les cas 1 et 2 de la fig. 2.14-c, et avec l'hypothèse que la section reste plane (flexion composée) :

$$\sigma' = \frac{\sigma e}{h_i} + \frac{\sigma e (h_i - e)(h_i - e)}{2 \cdot 2 \cdot h_i^3 / 12} = \sigma e \left[1/h_i + 3(h_i - e)^2/h_i^3 \right]$$

$$K_i^{TT} = \frac{\sigma'}{\sigma} = e \left[1/h_i + 3(h_i - e)^2/h_i^3 \right]$$

- évaluation de ω_V : les coefficients K_i^{VV} sont calculés comme le rapport des inerties de flexion entre le hourdis et la section 'i' :

$$K_i^{VV} = e^3/h_i^3$$

Pour les fonctions restantes nous utilisons des combinaisons entre ces coefficients :

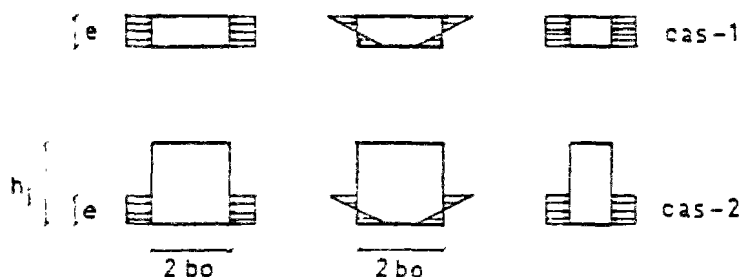


Fig. 2.14-a Fig. 2.14-b Fig. 2.14-c

évaluation u_N : $K_i^{NT} = 0.5 [K_i^{TT} + K_i^{NN}]$

" \mathcal{U}_T : $K_i^{TN} = K_i^{NT}$

" ω_M : $K_i^{MV} = 0.5 [K_i^{MM} + K_i^{VV}]$

" φ_{yV} : $K_i^{VM} = K_i^{MV}$

Pour l'obtention de K_i^{NN} et K_i^{MM} , nous avons calculé la solution élastique exacte des cas-2 des figures 2.14-a et 2.14-b. Chaque cas a été décomposé en cas symétrique et cas antisymétrique (fig. 2.15). La solution a été obtenue d'après la méthode présentée par Gerald PICKETT (réf. 12)

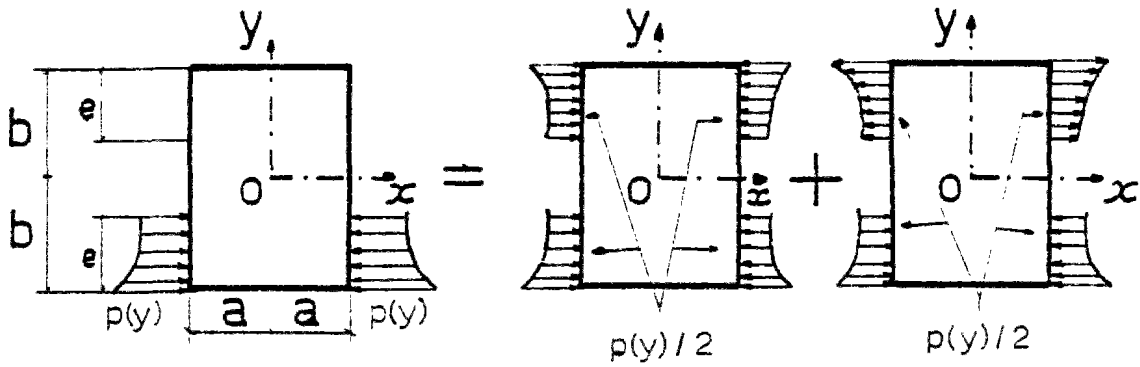
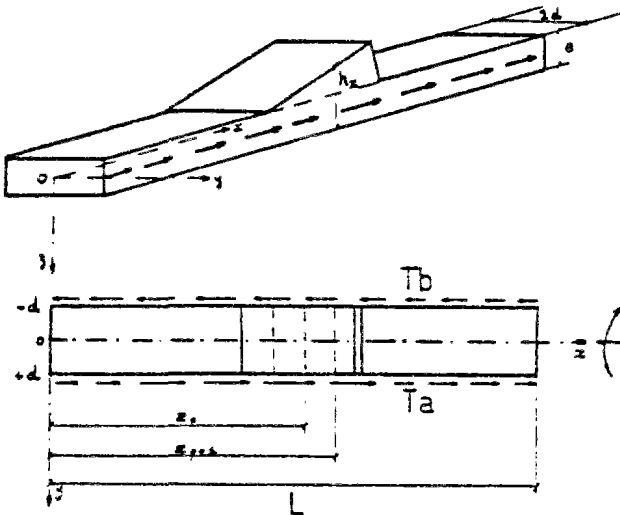


Fig. 2.15

2.3.2.2.2. Calcul des fonctions déplacements obtenues^{en} supposant que la bande travaille comme une poutre

A. Flèches ω_T dues aux cisaillements le long des coupures (fig.2.16)



$$T_a(x) = \sum_n \tan \sin \alpha_n x ;$$

$$T_b(x) = \sum_n t_{bn} \sin \alpha_n x ;$$

$$\frac{dN(x)}{dx} = -e [T_a(x) - T_b(x)] = -eT'(x) ;$$

Pour $x=L, N(L)=0$, donc :

$$N(x) = \int_L^x \frac{dN(x)}{dx} dx = e \sum_n \frac{t'_n(x)}{\alpha_n} \cos \alpha_n x ;$$

$$M_b(x) = \frac{e(h_x - e)}{2} \sum_n \frac{t'_n(x)}{\alpha_n} \cos \alpha_n x .$$

Fig.2.16

La flèche d'un point 'x' tel que : $x_p < x < x_{p+1}$, est :

$$\omega(x) = \omega_0 - \int_0^x \frac{\mathcal{M}(\delta)}{E I(\delta)} (x - \delta) d\delta = \omega_0 - \frac{1}{E} \sum_{r=1}^{p-1} \int_{x_r}^{x_{r+1}} \frac{\mathcal{M}(\delta)}{I_r} (x - \delta) d\delta - \frac{1}{E} \int_{x_p}^x \frac{\mathcal{M}(\delta)}{I_p} (x - \delta) d\delta ,$$

et en intégrant :

$$w(x) = w_0 - \frac{e}{2E} \sum_{r=1}^{p-1} \frac{(h_r - e)}{I_r} \sum_n \frac{t'_n}{\alpha_n^2} \left[x \sin \alpha_n \delta - \delta \sin \alpha_n \delta - \frac{\cos \alpha_n \delta}{\alpha_n} \right]_{x_r}^{x_{r+1}} - \frac{e}{2E} \frac{(h_p - e)}{I_p} \sum_n \frac{t'_n}{\alpha_n^2} \left[x \sin \alpha_n \delta - \delta \sin \alpha_n \delta - \frac{\cos \alpha_n \delta}{\alpha_n} \right]_{x_p}^x.$$

Donc,

(XV)

Pour $x_p < x < x_{p+1}$,

$$w_T(x, \pm d) = -\frac{e}{2E} \sum_n \frac{(\tan - t_{bn})}{\alpha_n^2} [w_0 + w_1 + w_2 x + w_3 \cos \alpha_n x],$$

avec

$$w_1 = - \left[\sum_{r=1}^{p-1} \rho_r \left[\delta \sin \alpha_n \delta + \frac{\cos \alpha_n \delta}{\alpha_n} \right]_{x_r}^{x_{r+1}} \right] + \rho_p \left[x_p \sin \alpha_n x_p + \frac{\cos \alpha_n x_p}{\alpha_n} \right];$$

$$w_2 = \left[\sum_{r=1}^{p-1} \rho_r [\sin \alpha_n \delta]_{x_r}^{x_{r+1}} \right] - \rho_p \sin \alpha_n x_p;$$

$$w_3 = -\rho_p / \alpha_n \quad ; \quad \rho_r = \frac{h_r - e}{I_r};$$

$$w_0 = -[w_1 + w_2 L], \quad w_1 \text{ et } w_2 \text{ obtenues avec } p=s+2$$

Cela revient à établir $w_T(L) = 0$.

B. Déplacements u, v dus aux efforts verticaux le long des coupures (fig. 2.17)

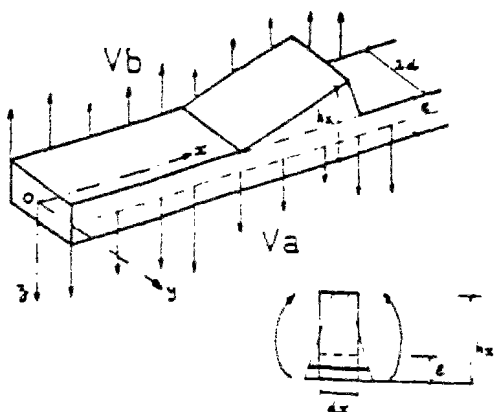


Fig 2.17

$$V_a(x) = \sum_n V_{an} \cos \alpha_n x;$$

$$V_b(x) = \sum_n V_{bn} \cos \alpha_n x;$$

$$\frac{dQ(x)}{dx} = -[V_a(x) - V_b(x)] = -V'(x).$$

Par symétrie $Q(0) = 0$, donc :

$$Q(x) = \int_0^x \frac{dQ(x)}{dx} dx = -\sum_n \frac{V'_n}{\alpha_n} \sin \alpha_n x.$$

On peut aussi considérer que $\mathcal{M}(L)=0$, donc :

$$\mathcal{M}(x) = \int_L^x Q(x) dx = \sum_n \frac{V'_n}{\alpha_n^2} \cos \alpha_n x.$$

La contrainte au niveau du plan moyen de la plaque, est :

$$\sigma_x(x) = \frac{\mathcal{M}(x)}{I(x)} \frac{(hx-e)}{2} = \sum_n \frac{V'_n (hx-e)}{2 \alpha_n^2 I_x} \cos \alpha_n x.$$

Et le déplacement 'u' :

$$u = \int_0^x \frac{\sigma_x(x)}{E} dx = \frac{1}{E} \left[\sum_{r=1}^{p-1} \left[\frac{(hr-e)}{2 I_r} \sum_n \frac{V'_n}{\alpha_n^2} \frac{[\sin \alpha_n x]_{x_r}^{x_{r+1}}}{\alpha_n} \right] + \frac{(hp-e)}{2 I_p} \sum_n \frac{V'_n}{\alpha_n^2} \frac{[\sin \alpha_n x]_{x_p}^x}{\alpha_n} \right]$$

Pour $x_p < x < x_{p+1}$,

$$u_v(x, \pm d) = \frac{1}{2E} \sum_n \frac{(V_{an} - V_{bn})}{\alpha_n^3} [u_1 + u_2 \sin \alpha_n x],$$

avec, $u_1 = \left[\sum_{r=1}^{p-1} \rho_r [\sin \alpha_n x]_{x_r}^{x_{r+1}} \right] - \rho_p \sin \alpha_n x_p ;$

$$u_2 = \rho_p ; \quad \rho_r = \frac{(hr-e)}{I_r} .$$

(XVI)

C. Déplacements W'_y et φ'_y dus à l'étude torsion d'une poutre soumise à une paire de forces (fig. 2.18)

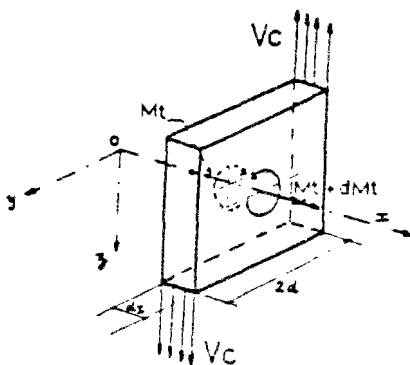


Fig. 2.18

$$\frac{d \mathcal{M}_T(x)}{dx} = -2 d V'_c(x) = -[V'_2(x) + V'_b(x)] d = -V''(x) d.$$

Par symétrie, $\mathcal{M}_T(0) = 0$,

$$\mathcal{M}_T(x) = \int_0^x -d V''(x) dx = -d \sum_n \frac{\sin \alpha_n x}{\alpha_n} V'_n ;$$

$$\varphi'_y(x) = \varphi'_y(0) + \int_0^x \frac{\mathcal{M}_T(x)}{G I_T(x)} dx = \varphi'_y(0) +$$

$$+ \frac{d}{G} \left[\left(\sum_{r=1}^{p-1} \frac{1}{I_{Tr}} \sum_n \frac{V_n'}{\alpha_n^2} [\cos \alpha_n x]_{z_r}^{z_{r+1}} \right) + \frac{1}{I_{Tp}} \sum_n \frac{V_n'}{\alpha_n^2} [\cos \alpha_n x]_{z_p}^z \right].$$

Pour $x_p < x < x_{p+1}$

$$\varphi'_{y_v}(x, \pm d) = \frac{d}{G} \sum_n \frac{(V_{an} + V_{bn})}{\alpha_n^2} (\varphi_0 + \varphi_1 + \varphi_2 \cos \alpha_n x) ;$$

avec,

$$\varphi_1 = \left[\sum_{r=1}^{p-1} \rho_r [\cos \alpha_n \delta]_{z_r}^{z_{r+1}} \right] - \rho_p \cos \alpha_n x_p ;$$

$$\varphi_2 = \rho_p ;$$

$\varphi_0 = -\varphi_1(L)$, obtenue avec $p = s + 2$; cela revient à obliger $\varphi'_{y_v}(L) = 0$;

$$\rho_r = \frac{1}{I_{Tr}} ;$$

$$I_{Tr} = q_r \frac{1}{3} a^3 b \left[1 - \frac{192}{\pi^5} \frac{a}{b} \sum_{n=1,3,5,\dots} (1/n^5) \operatorname{th}(n\pi b/2a) \right] ;$$

(voir TIMOSHENKO, réf. 10),

avec , $a = \min(2d, h_r)$;

$b = \max(2d, h_r)$.

$$q_r = \begin{cases} 0.5 & \text{pour } r=1 \quad \text{ou} \quad r=s+2, \\ 1 & \text{dans les autres cas.} \end{cases} \quad (\text{XVII})$$

Et les flèches sont :

$$w'_v(x, \pm d) = \pm \frac{d^2}{G} \sum_n \frac{(V_{an} + V_{bn})}{\alpha_n^2} (\varphi_0 + \varphi_1 + \varphi_2 \cos \alpha_n x) \quad (\text{XVIII})$$

D. Déplacements w'_m et φ'_{y_m} dus à l'étude torsion d'une poutre soumise à un couple de moments (fig. 2.19)

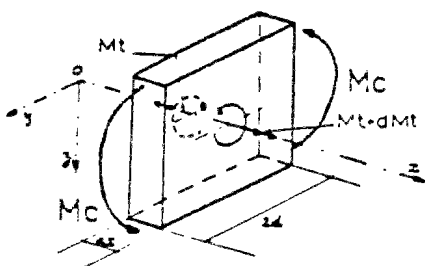


Fig. 2.19

Ici, $\frac{dM_T(x)}{dx} = -2M_c(x) = -[M_b(x) - M_a(x)]$,
et en agissant de même que dans le cas précédent :

$$\varphi'_{yM}(x, \pm d) = \frac{1}{G} \sum_n \frac{(m_{bn} - m_{an})}{\alpha_n^2} [\varphi_0 + \varphi_1 + \varphi_2 \cos \alpha_n x], \quad (\text{XIX})$$

et,

$$\omega'_M(x, \pm d) = \pm \frac{d}{G} \sum_n \frac{(m_{bn} - m_{an})}{\alpha_n^2} [\varphi_0 + \varphi_1 + \varphi_2 \cos \alpha_n x]. \quad (\text{XX})$$

E. Flèches ω_{PR} dues à la précontrainte (fig. 2.20)

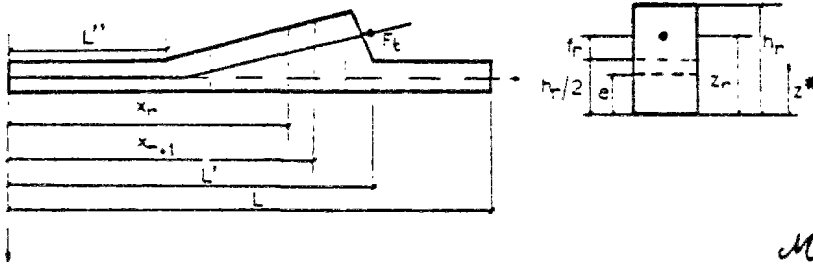


Fig. 2.20

La loi des moments fléchissants a la forme :

$$\begin{aligned} \mathcal{M}(x) &= 0 \quad \text{pour } x > L'; \\ \mathcal{M}(x) &= F_t \cos \beta_r f_r \quad \text{pour } 0 < x < L', \end{aligned}$$

avec $f_r = z_r - h_r/2$

et

$$\cos \beta_r = \cos(\text{arc.tg. } \frac{z_{r+1} - z_r}{x_{r+1} - x_r}).$$

Les formules de Bresse donnent :

$$\omega(x) = \omega(0) - \int_0^x \frac{\mathcal{M}(\delta)}{EI(\delta)} (x - \delta) d\delta ;$$

$$\varphi_x(x) = \varphi_x(0) - \int_0^x \frac{\mathcal{M}(\delta)}{EI(\delta)} d\delta, \quad \text{et par symétrie : } \varphi_x(0) = 0.$$

Sections $0 < x < L'$:

$$\omega(x) = \omega_0 - \frac{F_t}{E} \sum_{r=1}^{p-1} \frac{f_r \cos \beta_r}{I_r} \left[x\delta - \frac{\delta^2}{2} \right]_{x_r}^{x_{r+1}} - \frac{F_t}{E} \frac{f_p \cos \beta_p}{I_p} \left[x\delta - \frac{\delta^2}{2} \right]_{z_p}^x ;$$

$$\varphi_x(x) = -\frac{F_t}{E} \sum_{r=1}^{p-1} \frac{f_r \cos \beta_r}{I_r} [x_{r+1} - x_r] - \frac{F_t}{E} \frac{f_p \cos \beta_p}{I_p} [x - x_p].$$

Sections $x > L'$:

$$\omega(x) = \omega(L') + \varphi_x(L') (x - L'),$$

où $\omega(L')$ et $\varphi_x(L')$ sont obtenues en prenant $x = L'$ dans les expressions précédentes.

On a donc, pour $x_p < x < x_{p+1}$,

Si $0 < x < L'$:

$$w_{p2} = -\frac{F_T}{E} [w_4 + w_5 + w_6 x + w_7 x^2] ,$$

avec,

$$w_5 = -\left[\sum_{r=2}^{r=p-1} \frac{\rho_r}{2} (x_{r+1}^2 - x_r^2) \right] + \frac{\rho_p}{2} x_p^2 ;$$

$$w_6 = \left[\sum_{r=2}^{r=p-1} \rho_r (x_{r+1} - x_r) \right] - \rho_p x_p ;$$

$$w_7 = \rho_p / 2 ; \quad \rho_r = \frac{f_r \cos \beta_r}{I_r} .$$

(XXI)

Si $x > L'$:

$$w_{p2} = -\frac{F_T}{E} [w_4 + w_8 + w_9 x] ,$$

avec,

$$w_8 = \left[\sum_{r=1}^{r=s+1} \rho_r [L'\delta - \delta^2/2]_{x_r}^{x_{r+1}} \right] - L' \sum_{r=1}^{r=s+1} \rho_r (x_{r+1} - x_r) ;$$

$$w_9 = \sum_{r=1}^{r=s+1} \rho_r [x_{r+1} - x_r] ;$$

$$w_4 = -[w_9(L) + L w_9(L)], \text{ cela revient à imposer } w(L)=0 .$$

F. Déplacements u_{p2} et v_{p2} dus à la précontrainte

On va faire une étude plane. L'influence du bossage est prise en compte en considérant que la contrainte σ_x est celle qui correspond à la fibre du plan moyen du hourdis.

$$\sigma_x(x) = \frac{-F_T \cos \beta_x}{2d h_x} \left[1 - \frac{6fx}{h_x} \left[1 - \frac{e}{h_x} \right] \right] ,$$
 l'effort normal est donc :

$$N_x(x) = \frac{-F_T e \cos \beta_x}{h_x} \left[1 - \frac{6fx}{h_x} \left[1 - \frac{e}{h_x} \right] \right] .$$

Le calcul est décomposé en deux parties (fig. 2.21) : une avec les déformations ϵ_y empêchées et autre dans laquelle on applique dans le sens inverse les contraintes σ_y nécessaires pour empêcher les ϵ_y du cas précédent :

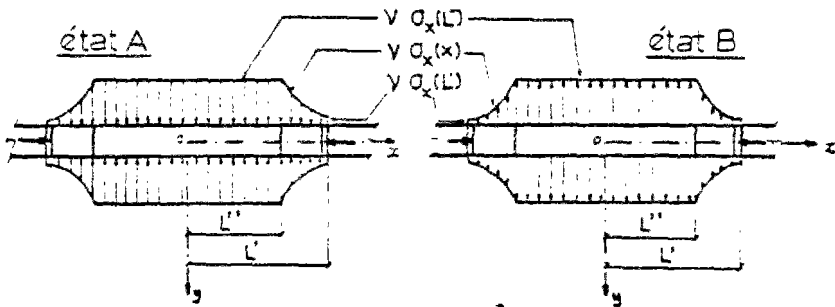


Fig.2.21-a

Fig. 2.21-b

$$u_{PA} = u_{PA A} + u_{PA B} ;$$

$$v_{PA} = v_{PA B}$$

Obtention de $u_{PA A}$:

$$\epsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu \sigma_y] = \frac{\sigma_x}{E} (1 - \nu^2), \text{ et puisque } \epsilon_y = (\sigma_y - \nu \sigma_x)/E = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sigma_y = \nu \sigma_x \Rightarrow u_x = \int_0^x \epsilon_x dx = -\frac{(1-\nu^2)}{E} \frac{F_T}{2d} \int_0^x \frac{\cos \beta x}{h_x} \left[1 - \frac{6\beta x}{h_x} \left[1 - \frac{e}{h_x} \right] \right] dx.$$

Si l'on intègre :

Pour $x_p < x < x_{p+1}$:

Si $0 < x < L'$:

$$u_{PA A}(x, \pm d) = -\frac{F_T(1-\nu^2)}{2dE} [u_3 + u_4 x],$$

avec,

$$u_3 = \left[\sum_{r=1}^{p-1} \rho_r (x_{r+1} - x_r) \right] - \rho_p x_p ;$$

$$u_4 = \rho_p ; \quad \rho_r = \frac{\cos \beta r}{h_r} \left[1 - \frac{6\beta r}{h_r} \left[1 - \frac{e}{h_r} \right] \right].$$

(XXII)

Si $x > L'$:

$$u_{PA A}(x, \pm d) = u_5 \frac{-F_T(1-\nu^2)}{2dE} ,$$

avec,

$$u_5 = u(L') = \sum_{r=1}^{s+1} \rho_r (x_{r+1} - x_r) .$$

Obtention de U_{paa} et V_{paa} :

Ils sont obtenus d'après les expressions correspondantes à la sous-structure soumise à deux efforts normaux $N_a(x)$ et $N_b(x)$ le long de la coupure, en faisant $f_{an} = f_{bn} = p_n$, c'est-à-dire, avec $N_a(x) = N_b(x) = \sum_{n=1,3,\dots} p_n \cos \alpha_n x$, où les p_n sont obtenus en développant en Séries de Fourier les contraintes σ_y de la fig. 2.21-b :

$$p_n = \frac{2}{L} \int_0^L f(x) \cos \frac{n\pi x}{2L} dx = \frac{2}{L} \sum_{r=1}^{n+1} \nu \frac{F_T}{2d} \rho_r \frac{2L}{n\pi} \left[\sin \frac{n\pi \delta}{2L} \right]_{x_r}$$

$$p_n = \frac{4 F_T \nu}{2d n \pi} \sum_{r=1}^{n+1} \rho_r \left[\sin \frac{n\pi \delta}{2L} \right]_{x_r}, \quad (\text{XXIII})$$

avec, $\rho_r = \frac{\cos \beta_r}{h_r} \left[1 - \frac{6 \beta_r}{h_r} \left[1 - \frac{e}{h_r} \right] \right]$.

2.3.3. Conditions de liaison hourdis-parois latérales

Les conditions aux bords latéraux du hourdis, ont déjà été expliquées dans le paragraphe 2.2. Nous pouvons les résumer telles que voici :

$$w(x) = 0 \quad ; \quad v(x), \text{ libre} \quad ;$$

$$\varphi_y(x) = 0 \quad ; \quad u(x) (\text{hourdis}) = u(x) (\text{parois latérales})$$

tout le long de la ligne de jonction.

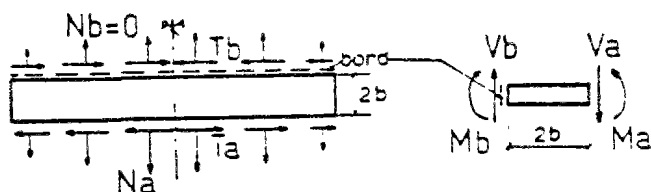


Fig. 2.22

Nous allons maintenant établir les expressions analytiques de ces conditions, qui vont permettre d'exprimer les efforts inconnus :

$N_b(x)$, $T_b(x)$, $M_b(x)$ et $V_b(x)$, agissant sur le côté $y = -b$ de la bande

extrême du hourdis (fig.2.22), en fonction des efforts inconnus

$N_a(x)$, $T_a(x)$, $M_a(x)$ et $V_a(x)$, agissant sur le côté $y = +b$. Le nombre total d'inconnues à résoudre est donc :

$4 \times N \times n_c$, avec N = nombre de termes du développement de Fourier et n_c = le nombre de coupures.

A. Etude plane (fig.2.6)

L'hypothèse $v_b(x, -b)$ libre, entraîne $N_b(x) = 0$ et donc $f_{bn} = 0$.
Puis, nous avons les équations de compatibilité des déplacements :

$$u_b(x, -b) = u_c(x, c) = u_d(x, -d),$$

$$v_c(x, c) = v_d(x, -d),$$

avec,

$$u_b(x, -b) = \frac{1}{E} \sum_n \left[\frac{B(b)}{\alpha_n} f_{bn} - \frac{F(b)}{\alpha_n} t_{bn} - \frac{E(b)}{\alpha_n} t_{bn} \right] \sin \alpha_n x ;$$

$$u_c(x, c) = \frac{1}{E} \sum_n \left[\frac{A(c)}{\alpha_n} f_{cn} + \frac{E(c)}{\alpha_n} t_{cn} \right] \sin \alpha_n x ;$$

$$u_d(x, -d) = \frac{1}{E} \sum_n \left[\frac{A(d)}{\alpha_n} f_{dn} + \frac{E(d)}{\alpha_n} t_{dn} \right] \sin \alpha_n x ;$$

$$v_c(x, c) = \frac{1}{E} \sum_n \left[\frac{C(c)}{\alpha_n} f_{cn} + \frac{G(c)}{\alpha_n} t_{cn} \right] \cos \alpha_n x ;$$

$$v_d(x, -d) = \frac{1}{E} \sum_n \left[\frac{-C(d)}{\alpha_n} f_{dn} - \frac{G(d)}{\alpha_n} t_{dn} \right] \cos \alpha_n x ,$$

(voir formules (II), (III), (V), et (VI)).

Par équilibre, nous avons aussi :

$$N_c(x) = N_d(x) \longrightarrow f_{cn} = f_{dn} = f_n , \quad (a)$$

$$T_b(x) = T_c(x) + T_d(x) \longrightarrow t_{bn} = t_{cn} + t_{dn} , \quad (b)$$

et,

$$u_c = u_d \longrightarrow [A(c) - A(d)] f_n = \alpha f_n = E(d) t_{dn} - E(c) t_{cn} =$$

$$= E(d) t_{bn} - [E(c) + E(d)] t_{cn} \longrightarrow$$

$$\alpha f_n = E(d) t_{bn} - \gamma t_{cn} , \text{ où } \gamma = E(c) + E(d) , \quad (c)$$

$$v_c = v_d \rightarrow [C(c) + C(d)] f_n = \beta f_n = -(G(d) t_{dn} + G(c) t_{cn}) = \\ = -G(d) t_{bn} - (G(c) - G(d)) t_{cn},$$

Mais, dans les expressions (II) et (VI), on peut voir que $G(d) = A(d)$.
Ce résultat aurait pu être obtenu par application du théorème de la
réciprocité. On a donc, $\beta f_n = -A(d) t_{bn} - \alpha t_{cn}$. (d)

(c) et (d) $\rightarrow t_{cn} = \frac{\beta E(d) + \alpha A(d)}{\beta \gamma - \alpha^2} t_{bn}$;

$f_{cn} = f_{dn} = f_n = -\frac{\alpha E(d) + \gamma A(d)}{\beta \gamma - \alpha^2} t_{bn}$;

avec,

$\gamma = E(c) + E(d)$;
 $\alpha = A(c) - A(d)$;
 $\beta = C(c) + C(d)$;

(b) $\rightarrow t_{dn} = \frac{\beta E(c) - \alpha A(c)}{\beta \gamma - \alpha^2} t_{bn}$.

(XXIV-a)

Et $u_b = u_c \rightarrow B(b) f_{an} - F(b) t_{an} - E(b) t_{bn} = A(c) f_n + E(c) t_{cn}$, en
remplaçant f_n et t_{cn} par les expressions (XXIV - a), on arrive à :

$t_{bn} = \frac{B(b)}{\delta + E(b)} f_{an} - \frac{F(b)}{\delta + E(b)} t_{an}$;

avec,

$\delta = \frac{\beta E(c) E(d) - E(c) A(d)^2 - E(d) A(c)^2}{\beta \gamma - \alpha^2}$.

(XXIV-b)

Les équations (XXIV) permettent de définir les trois sous-structures
(b, c et d, de la fig. 2.6) uniquement en fonction des efforts $N_a(x)$
et $T_a(x)$ le long de la coupure.

B - Etude à flexion

Il faut maintenant imposer $w(x) = \varphi_y(x) = 0$ le long de la jonction hourdis-parois.

En se reportant aux formules (VIII), (IX), (XI) et (XII) :

$$w(x, -b) = 0 \longrightarrow \frac{1}{2} (N(b)m_{an} + M(b)m_{bn}) + \frac{1}{\alpha_n(1-\nu)} (R(b)v_{an} + Q(b)v_{bn}) = 0 ;$$

$$\varphi_y(x, -b) = 0 \longrightarrow \frac{-1}{(1-\nu)} (P(b)m_{an} + O(b)m_{bn}) + \frac{1}{2\alpha_n} (T(b)v_{an} + S(b)v_{bn}) = 0 ,$$

ce qui donne :

(XXV)

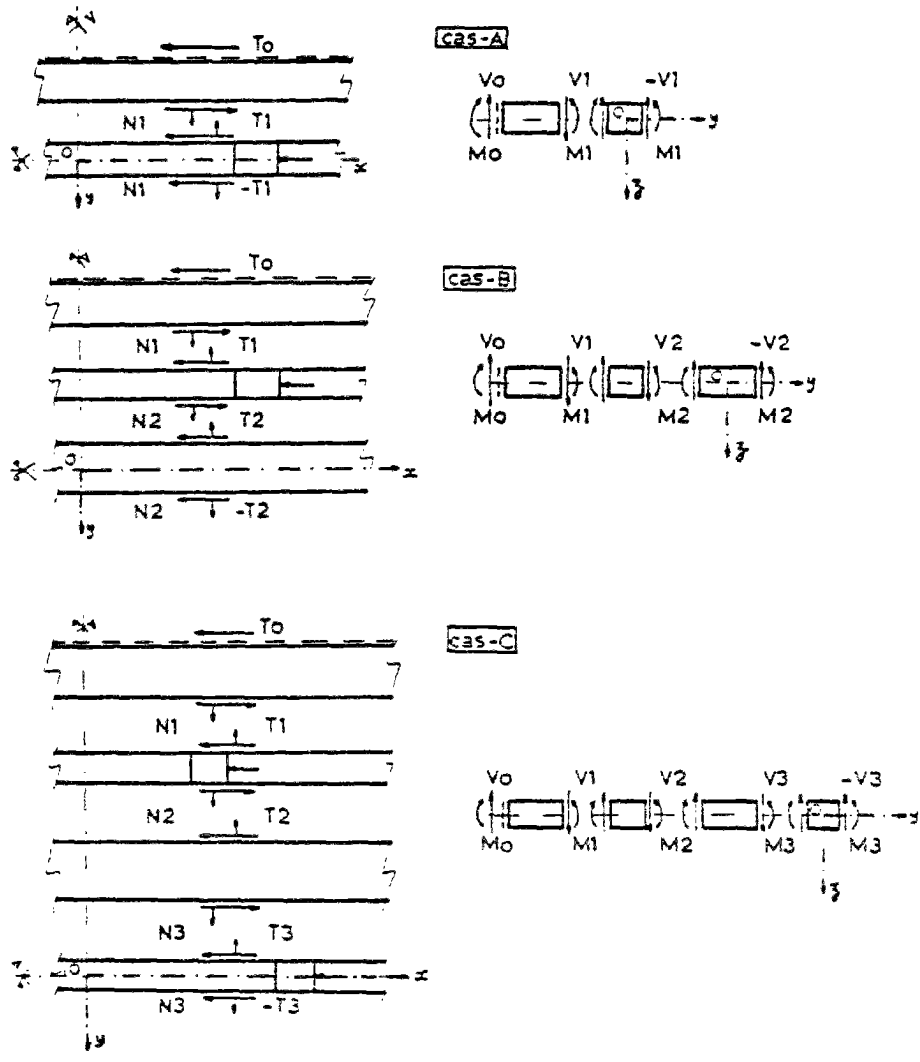
$$v_{bn} = \frac{1}{\psi} \left[\frac{-1}{2(1-\nu)} [O(b)N(b) - P(b)M(b)] m_{an} + \left[\frac{T(b)M(b)}{4\alpha_n} + \frac{O(b)R(b)}{\alpha_n(1-\nu)^2} \right] v_{an} \right] ;$$

$$m_{bn} = \frac{1}{\psi} \left[\left[\frac{N(b)S(b)}{4\alpha_n} + \frac{P(b)Q(b)}{\alpha_n(1-\nu)^2} \right] m_{an} + \frac{1}{2\alpha_n^2(1-\nu)} [R(b)S(b) - T(b)Q(b)] v_{an} \right] ,$$

$$\text{avec, } \psi = -\frac{1}{\alpha_n} \left[\frac{M(b)S(b)}{4} + \frac{Q(b)O(b)}{(1-\nu)^2} \right] .$$

2.3.4. Formation du système d'équations

En établissant les conditions aux limites dans les termes du paragraphe précédent, on ramène le problème à la détermination de $4 \times N \times n_c$ inconnues (fig. 2.23). 'N' étant le nombre de termes du développement de Fourier, et n_c le nombre de coupures.



cas	A	B	C
nombre bossages (nb)	1	2	3
nombre coupures (nc)	1	2	3
Inconnues	4N	8N	12N

Fig. 2.23

En prenant l'égalité des déplacements u, v, w, φ_y tout le long des deux lèvres de chaque coupure, nous parvenons à un système de $4 n_c$ équations de la forme :

$$\sum_n \left[a_n + b_n x + c_n x^2 + d_n \begin{cases} \sin \alpha_n x \\ \text{ou} \\ \cos \alpha_n x \end{cases} \right] + K = 0 \quad ;$$

où a_n, b_n, c_n, d_n et K sont obtenus à partir des expressions (I) à (XXV). Ils sont une combinaison de certains coefficients et des inconnues du problème.

En multipliant chacune des équations par $\begin{cases} \sin \alpha_m x \\ \text{ou} \\ \cos \alpha_m x \end{cases}$, avec $m = 1, 3, 5 \dots (2N-1)$, et en intégrant entre les limites $x = -L$ et $x = L$, on obtient N équations de chacune des $4 n_c$ précédentes.

Nous parvenons ainsi à un système de $4 n_c N$ équations pour résoudre le problème. Cela revient aussi à écrire, le long de chaque coupure, l'égalité des travaux effectués par chacune des N composantes (f_n, t_n, w_n , et v_n) des quatre efforts inconnus (N, T, M et V).

Le système, auquel nous arrivons, a la forme suivante :

$$\left[\sum_n \delta_{jnm}^{NW} f_{in} + \sum_n \delta_{jnm}^{TN} t_{in} + \sum_n \delta_{jnm}^{MM} m_{in} + \sum_n \delta_{jnm}^{VN} v_{in} \right]_{i=1, n_c} = -\delta_{jm}^{PN} ;$$

$$\left[\sum_n \delta_{jnm}^{NT} f_{in} + \sum_n \delta_{jnm}^{TT} t_{in} + \sum_n \delta_{jnm}^{MT} m_{in} + \sum_n \delta_{jnm}^{VT} v_{in} \right]_{i=1, n_c} = -\delta_{jm}^{PT} ;$$

$$\left[\sum_n \delta_{jnm}^{NM} f_{in} + \sum_n \delta_{jnm}^{TM} t_{in} + \sum_n \delta_{jnm}^{MM} m_{in} + \sum_n \delta_{jnm}^{VM} v_{in} \right]_{i=1, n_c} = -\delta_{jm}^{PM} ;$$

$$\left[\sum_n \delta_{jnm}^{NV} f_{in} + \sum_n \delta_{jnm}^{TV} t_{in} + \sum_n \delta_{jnm}^{MV} m_{in} + \sum_n \delta_{jnm}^{VV} v_{in} \right]_{i=1, n_c} = -\delta_{jm}^{PV} ;$$

$n = 1, 3, 5 \dots (2N-1); \quad m = 1, 3, 5 \dots (2N-1); \quad j = 1, 2, n_c$

Un terme quelconque δ_{jnm}^{TN} représente par exemple le travail effectué par $f'_{jm} = \sin \frac{n\pi x}{2L}$ dans les déplacements induits par $t'_{in} = \cos \frac{n\pi x}{2L}$.

C'est la présence du bossage qui fait que les termes δ_{jnm} , avec $n \neq m$, ne soient pas nuls.

2.3.5. Résolution du système

Pour la résolution du système d'équations, nous avons utilisé la méthode itérative de Gauss-Seidel, avec un coefficient de surrelaxation variable au cours des itérations (méthode présentée par F.G. LEHMAN (réf. 13)).

2.3.6. Obtention des contraintes

Une fois que les coefficients f_{in} , t_{in} , m_{in} , v_{in} , sont connus, on peut connaître l'état de contraintes en tout point de la structure.

2.3.6.1. Bandes n'ayant pas d'ancrage

Les contraintes sont obtenues par addition des différents états élémentaires :

$$\sigma_x = \sigma_x^N + \sigma_x^T + \sigma_x^M + \sigma_x^V ;$$

$$\sigma_y = \sigma_y^N + \sigma_y^T + \sigma_y^M + \sigma_y^V ;$$

$$\tau_{xy} = \tau_{xy}^N + \tau_{xy}^T + \tau_{xy}^M + \tau_{xy}^V .$$

Les contraintes dues aux efforts normal et tangent sont constantes dans toute la section. Elles sont calculées d'après les expressions (A) du paragraphe 2.3.2.1. Celles dues aux moments fléchissants et aux efforts verticaux, présentent une variation linéaire sur la hauteur de la section, et sont calculées d'après :

$$\sigma_x = \frac{12 M_x z}{e^3} \quad ; \quad \sigma_y = \frac{12 M_y z}{e^3} \quad ; \quad \tau_{xy} = - \frac{12 M_{xy} z}{e^3} ,$$

'e' étant l'épaisseur de la dalle.

Les valeurs de M_x , M_y et M_{xy} , sont obtenues d'après les expressions (B) du paragraphe 2.3.2.1.

2.3.6.2. Bandes munies d'un bossage

Dans le bossage, il faudra ajouter l'état de contraintes $d\sigma$ à la précontrainte : σ_x^{PR} , σ_y^{PR} et τ_{xy}^{PR} .

Comme l'on a déjà vu lors de la description de ces sous-structures, l'état de sollicitations est décomposé en plusieurs cas simples dont la résolution se fait, soit par approximation des expressions obtenues pour les bandes sans bossage, en ajoutant des coefficients correcteurs 'K' qui tiennent compte de la plus grande raideur du bossage, soit par une étude poutre. Le choix est fonction du type de sollicitation. On va suivre le même critère pour l'obtention des contraintes.:

I - Quand on applique les formules de plaques à épaisseur constante, aux points du bossage, les mêmes coefficients K sont utilisés lors de l'évaluation des contraintes.

2 - Les contraintes calculées par une étude ou poutre, sont la somme de
a) Contraintes dues à la précontrainte (fig. 2.20 et 2.21) :

Le calcul de la précontrainte a été fait en deux étapes (cf. paragraphe 2.3.2.2.2.F). Les contraintes dans l'état 'B' sont calculées comme dans 1). Quant à celles de l'état 'A' :

$$\sigma_x = \begin{cases} \frac{-F_T \cos \beta r}{h_t \cdot 2d} \left[1 - \frac{12 f_r}{h_r} \left[\frac{1}{3} - \frac{z^*}{h_r} \right] \right] & (\text{pour } x < L', \text{ et } x_r < x < x_{r+2}); \\ 0 & (\text{pour } x > L'); \end{cases}$$

$$\sigma_y = \nu \sigma_x \quad ; \quad \tau_{xy} = 0.$$

b) Contraintes dues à la flexion entraînée par les efforts de cisaillement le long des coupures :

$$\sigma_x = \frac{N(x)}{2d h_x} + \frac{12 M(x) [h_x/2 - z^*]}{2d h_x^3} \quad ; \quad \sigma_y = \tau_{xy} = 0,$$

avec :

$$M(x) = \sum_n \frac{(\tan \alpha_n - \tan \beta_n)}{\alpha_n} (\cos \alpha_n x) \frac{e(h_x - e)}{2} ;$$

$$N(x) = \sum_n \frac{(\tan \alpha_n - \tan \beta_n)}{\alpha_n} (\cos \alpha_n x) \cdot e.$$

c) Contraintes dues à la torsion entraînée par les moments fléchissants et les efforts verticaux :

$$\sigma_x = \sigma_y = 0 ;$$

$$\tau_{xy} = \begin{cases} \frac{-12 M_T(x) z}{2 d e^3} & (\text{en dehors du bossage}) ; \\ \frac{-2 M_T(x)}{W_T \cdot h_x} \left(\frac{h_x}{2} - z^* \right) & (\text{à l'intérieur du bossage}) ; \\ \text{avec } W_T = \frac{2 d h_x^2}{3 + 1.8 n} ; n = \frac{a}{b} ; a > b & (\text{TIMOSHENKO, réf. 10}). \end{cases}$$

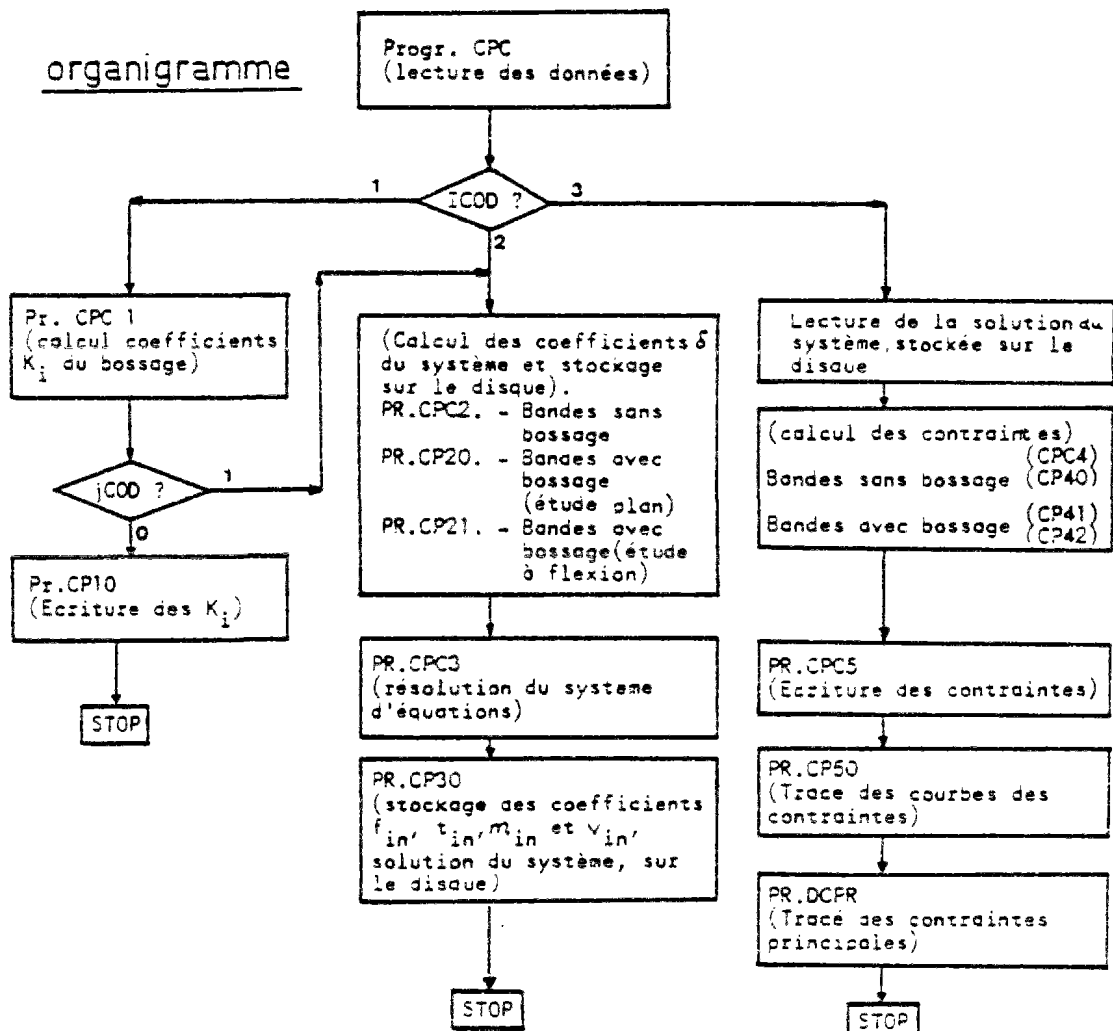
2.3.7. Programmation sur ordinateur

Nous avons mis au point un programme de calcul qui nous permet d'obtenir l'état de contraintes élastiques en tout point de la structure, par la théorie que nous venons d'exposer.

Le programme peut analyser l'effet du regroupement de bossages. On peut y introduire jusqu'à quatre bossages sous la seule condition de respecter la symétrie par rapport à l'axe de la pièce. Avec un ordinateur de plus grande capacité, on pourrait augmenter le nombre d'ancrages.

Du fait de la petite capacité de l'ordinateur utilisé (9 K accessibles) on s'est vu obligé de découper le programme en plusieurs sous-programmes et surtout, de stocker sur les disques une grande quantité de résultats intermédiaires, en particulier, les coefficients δ du système d'équations, ainsi que les solutions f_{in} , t_{in} , m_{in} et v_{in} de celui-ci.

Les sous-routines BWR et SWO, sont spécifiques aux transferts entre la mémoire centrale et le disque. Cela est important parce que lors du calcul et même lors de la résolution du système d'équations, seulement une petite partie des coefficients peut être gardé en mémoire.



Les listings du programme sont groupés dans l'Annexe B.

2.4. Limitations de la méthode

La méthode telle qu'elle a été exposée, et comme l'on verra plus loin dans l'analyse des résultats, s'est avérée être un moyen satisfaisant pour obtenir l'état des contraintes dans le hourdis. Elle nous permet de connaître les flexions dangereuses qui se produisent, ainsi que les effets du regroupement de bossages et ceux dus à la variation de différents paramètres intervenant dans le problème.

Il nous faut néanmoins dégager ses principales limitations pour mieux connaître la portée des résultats obtenus :

1° - La méthode est élastique. Elle ne prend pas en compte les phénomènes de fissuration et de non linéarité du béton, ainsi que de la présence des aciers passifs.

2° - Elle ne permet d'étudier ni la diffusion de la précontrainte dans le bossage, ni les effets locaux dus à la poussée au vide du câble. Ceux-ci sont des phénomènes tridimensionnels, qui ont été étudiés par la méthode des éléments finis par LY .

3° - Elle suppose tous les efforts inconnus développés en séries de Fourier. Mais celles-ci s'adaptent mal à proximité des points de discontinuité.

4° - L'hypothèse de déformation plane des sections, utilisée dans les équations des plaques minces et des poutres, est assez vraisemblable sauf au droit de zones de forte discontinuité de section, ce qui doit certainement y entraîner des déformations non planes.

5° - Les équations sont établies en égalisant les travaux totaux des efforts inconnus tout le long des coupures. Cela n'assure pas forcément la compatibilité des déplacements, voir des déformations, point par point à la coupure, mais celle des travaux sur toute la longueur.

— Les limitations 3, 4, 5 produisent une forte pointe des contraintes calculées dans la zone de forte discontinuité géométrique, qui existe juste derrière l'ancrage. Cette pointe, dans la réalité, est nettement plus adoucie (cf. chapitre 5).

CHAPITRE 3

APPLICATION DE LA METHODE DES ELEMENTS FINIS3.1. - Introduction

La méthode des coupures nous a permis d'obtenir, d'une façon approchée, la distribution des contraintes dans le hourdis, en tenant compte des flexions locales dues à la charge excentrée par l'intermédiaire d'un bossage relativement rigide par rapport au hourdis.

Cette étude, limitée au domaine de l'élasticité linéaire, est complétée ici par une autre qui va essayer de mieux approcher l'état de contraintes dans la plaque, au fur et à mesure de l'augmentation de la précontrainte. On aborde donc le problème de non-linéarité due à la fissuration, au comportement non-linéaire du béton en compression, non homogénéité béton-armatures, etc.

Cette étude est abordée par la méthode des éléments finis, au moyen d'un programme qui prend en compte toutes les conditions de non-linéarité que l'on vient de citer.

Pour des raisons de capacité d'ordinateur, cette étude a été menée en deux phases :

- En une première, nous nous sommes limités aux efforts dans le plan moyen du hourdis, sans y tenir compte des flexions locales qui apparaissent (étude bidimensionnelle).

- Dans la deuxième, en conservant la structure générale du programme bidimensionnel, et aux dépens d'une réduction du nombre total d'éléments, nous avons incorporé l'étude des phénomènes de flexion.

3.2. - Calcul des structures en béton armé par la méthode des éléments finis.

3.2.1. - Considérations générales

—L'évaluation analytique des contraintes et des déformations dans les structures de béton armé, au fur et à mesure de l'augmentation des charges, est d'une grande complexité. Parmi les aspects de ce type de structures qui ne peuvent pas être abordés par des méthodes de calcul traditionnelles, nous pouvons citer :

1. - la non homogénéité, nous avons deux matériaux différents : l'acier et le béton ;

2. - le changement de la structure au fur et à mesure du chargement, du fait de la fissuration du béton ;

3. - le béton aussi bien que l'acier, ne présentent pas un comportement linéaire jusqu'à la rupture. Pour l'acier, le comportement est assez proche d'un diagramme σ - ϵ élastoplastique. Pour le béton le problème se complique, non seulement du fait de la non-linéarité de la relation σ - ϵ dans les fortes compressions, mais surtout à cause du caractère bidimensionnel de son état de contraintes dans la plupart des structures. Les lois de comportement et les critères de rupture sous des efforts combinés, sont complexes et fonctions de nombreux paramètres dont l'influence n'est toujours pas décelée. Jusqu'à présent, on dispose uniquement de résultats sous une application proportionnelle de la charge : $\alpha = \sigma_x / \sigma_{xx}$, constante le long de l'essai ;

4. - les déformations du béton varient dans le temps, à cause surtout des phénomènes de fluage et de retrait ;

5. - il existe en plus une série de phénomènes peu connus et dont l'influence n'est pas négligeable : effet de goujon dans les aciers, adhérence béton-acier, glissements entre le béton et l'acier dus à la perte de l'adhérence au delà d'un certain point, engrènement entre les deux faces des fissures, etc. Tous ces facteurs ne sont pas aisément évaluables et leur prise en compte ne peut se faire que d'une façon grossière.

Le problème peut donc être défini comme "inélastique et non-linéaire pour un corps anisotrope et non-homogène".

— La première application de la méthode des éléments finis aux structures en béton armé date de 1967, par NGO & SCORDELIS (réf 14). Depuis, de nombreux travaux ont été présentés. Dans l'annexe A , nous présentons une mise au jour de l'état d'avancement des recherches sur ce point.

3.2.2. - Approximation du calcul non-linéaire par l'intermédiaire d'une suite d'analyses linéaires.

— Nous allons nous limiter à l'étude des phénomènes de courte durée avec un chargement monotone, c'est-à-dire, sans considérer des cycles chargement-déchargement.

Les causes principales de non-linéarité qui vont être prises en compte sont de deux ordres :

a) fissuration du béton. C'est la principale puisqu'elle entraîne d'importantes redistributions de contraintes dans la structure;

b) comportement non-linéaire du béton sous charges biaxiales et écoulement de l'acier au delà de sa limite élastique.

Nous allons aussi supposer que les déformations restent dans les limites de la théorie de petits déplacements. Il n'y aura donc pas de phénomènes de non-linéarité géométriques.

— La méthode des éléments finis a connu un tel essor depuis son apparition aux alentours de 1960 que nous ne considérons pas nécessaire de rappeler ici ses fondements. Son application au calcul linéaire de structures peut être schématisé comme suit (nous suivons la nomenclature et la formulation utilisées par ZIENKIEWICZ (réf 15)) :

a) On adopte une fonction de déplacements continue à l'intérieur de chaque élément : $\{f\}^e = [N]^e \{\delta\}^e$, qui relie les déplacements en tout point de l'élément à ceux des noeuds. Cette fonction doit accomplir certaines conditions de convergence.

b) Par différentiation d'après les formules d'élasticité, on obtient la relation entre les déformations à l'intérieur de l'élément et les déplacements aux noeuds.

$$\{\varepsilon\}^e = [B]^e \{\delta\}^e \quad (1)$$

c) Les contraintes et les déformations sont liées par une relation linéaire de la forme : $\{\sigma\}^e = \{\sigma_0\}^e + [D]^e \{\varepsilon - \varepsilon_0\}^e$ (2) ; où $\{\sigma_0\}^e$ et $\{\varepsilon_0\}^e$ sont les valeurs de $\{\sigma\}^e$ et $\{\varepsilon\}^e$ à l'état zéro.

d) Par application du théorème des travaux virtuels dans tous les éléments, et en imposant l'égalité des déplacements des noeuds communs aux différents éléments de la structure, on arrive à une équation du type :

$$\{R^*\} = \{R\} - \{F\}_p - \{F\}_{\varepsilon_0} - \{F\}_{\sigma_0} = [K] \{\delta\} \quad (3) ; \text{ avec,}$$

$[K]$ = matrice de raideur de la structure,

$\{R\}$ = vecteur de forces extérieures agissant sur les noeuds,

$\{F\}_p$ = vecteur des forces nodales dues aux charges réparties,

$\{F\}_{\varepsilon_0}$ = " " " " " " " déformations initiales,

$\{F\}_{\sigma_0}$ = " " " " " " " contraintes initiales,

présentes dès le départ de l'analyse.

Ces vecteurs et matrices sont obtenus par assemblage de ceux propres à chaque élément, dont les expressions sont :

$$\{F\}_p^e = - \int_e [N]^e \{p\}^e dVol.$$

$\{p\}^e$ = vecteurs des charges réparties

$$\{F\}_{\varepsilon_0}^e = - \int_e [B]^e [D]^e \{\varepsilon_0\}^e dVol.$$

$$\{F\}_{\sigma_0}^e = \int_e [B]^e \{\sigma_0\}^e dVol.$$

$$[k]^e = \int_e [B]^e [D]^e [B]^e dVol.$$

e) La résolution du système d'équations (3), permet d'obtenir les déplacements aux noeuds $\{\delta\}$, lesquels, moyennant les équations (1) et (2), donnent les contraintes et les déformations en tout point de la structure.

— Dans notre cas, la non-linéarité affecte seulement le comportement des matériaux. Ceux-ci sont supposés suivre une loi de la forme $\sigma = g(\varepsilon)$, 'g' étant une fonction non linéaire qui sera définie plus loin.

Par conséquent, la matrice $[D]^e$ n'est pas constante mais elle varie, pour chaque élément, en fonction de l'état de contraintes et de déformations à chaque moment.

Nous allons appliquer la charge par étapes (fig 3.1.a). A chaque étape, nous calculons les augmentations des déplacements, des déformations et des contraintes dues aux incréments des charges que l'on a appliqué.

Le problème étant non linéaire, la résolution de chaque étape doit se faire nécessairement de façon itérative (fig. 3.1 b) :

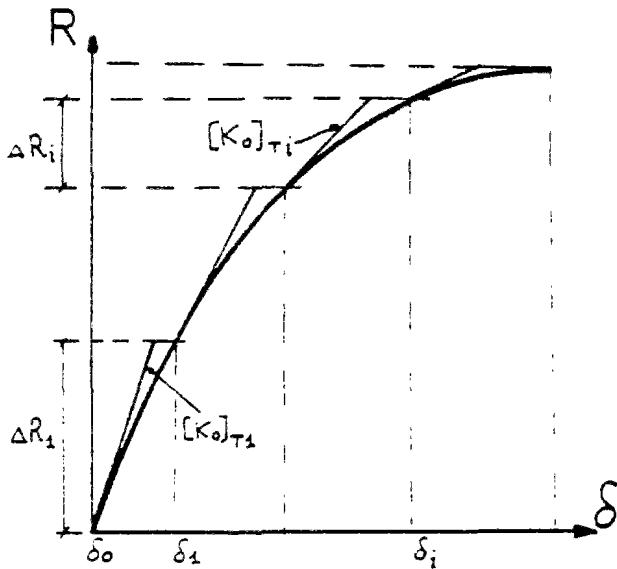


FIG. 3.1 a

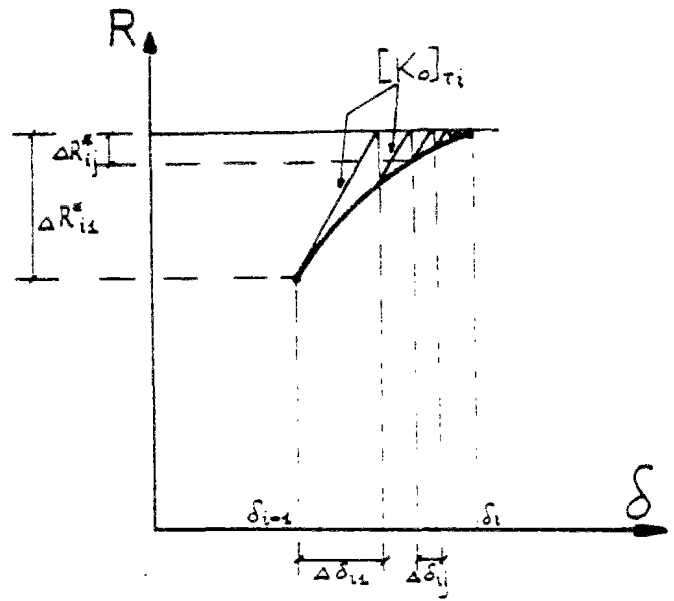


FIG. 3.1 b

Les équations (1), (2) et (3), servant à la résolution du problème, prennent pour l'étape 'i' et l'itération 'j' la forme suivante :

$$\{\Delta \varepsilon\}_{ij}^e = [B]^e \{\Delta \delta\}_{ij}^e \quad ; \quad (1')$$

$$\{\Delta \sigma\}_{ij}^e = [D]_{ij}^e \{\Delta \varepsilon\}_{ij}^e \quad ; \quad (2')$$

$$\{\Delta R^*\}_{ij} = [K]_{ij} \{\Delta \delta\}_{ij} \quad . \quad (3')$$

Les matrices $[D]_{ij}^e$, et par conséquent $[K]_{ij} = \sum_e \int_e [B]^e{}^T [D]_{ij}^e [B]^e dVol.$, ne sont pas modifiées au cours des itérations 'j' de chaque étape. Elles demeurent constantes et sont calculées, à partir des lois de comportement des matériaux $\sigma = g(\varepsilon)$, pour les valeurs finales de $\{\varepsilon\}_{i-1}^e$ et de $\{\sigma\}_{i-1}^e$ obtenues dans le calcul de l'étape précédente.

La diminution de la convergence que cela entraîne est contrecarrée par la réduction du temps de calcul que suppose l'obtention des matrices $[D]^e$ et $[K]$ une seule fois par étape. On a donc,

$$\begin{aligned} [D]_{ij}^e &= [D_0]_{Ti} & \forall j & ; \\ [K]_{ij} &= [K_0]_{Ti} & \forall j & , \end{aligned}$$

En vue d'améliorer la convergence, nous travaillons avec leurs expressions tangentés.

La démarche suivie pour la résolution d'une étape 'i' peut être schématisée comme suit : on résout d'abord $\{\Delta\delta\}_{i2} = [K_0]_{Ti}^{-1} \{\Delta R^q\}_{i2}$, où le vecteur $\{\Delta R^q\}_{i2}$ est égal à $\{\Delta R\}_i$, c'est à dire, au vecteur des forces extérieures appliquées aux noeuds à l'étape 'i' (nous ne considérons pas de charges réparties).

Les équations (1') et (2') nous permettent de calculer les $\{\Delta\varepsilon\}_{i2}^e$ et les $\{\Delta\sigma\}_{i2}^e$, ainsi que leurs valeurs finales : $\{\varepsilon\}_{i2}^e = \{\varepsilon\}_{i0}^e + \{\Delta\varepsilon\}_{i2}^e$ et $\{\sigma\}_{i2}^e = \{\sigma\}_{i0}^e + \{\Delta\sigma\}_{i2}^e$.

Mais, d'après les lois de comportement des matériaux $\sigma = g(\varepsilon)$, on trouve que pour le champ de déformations atteint, à chaque élément lui correspond un état de contraintes $\{\sigma^q\}_{i2}^e = g[\{\varepsilon\}_{i2}^e]$ différent de celui calculé. La différence $\{\sigma'\}_{i2}^e = \{\sigma\}_{i2}^e - \{\sigma^q\}_{i2}^e$ représente "les contraintes non équilibrées" qui ne peuvent pas être reprises par le matériau, sous le champ de déformations existant. Ces "contraintes non équilibrées" sont ensuite redistribuées élastiquement sur la structure pour rétablir l'équilibre :

$\{\Delta\delta\}_{i2} = [K_0]_{Ti}^{-1} \{\Delta R^q\}_{i2}$, où le vecteur $\{\Delta R^q\}_{i2}$ représente donc "les forces nodales non-équilibrées" qu'il faut réappliquer sur la structure. Son expression, fonction des contraintes non équilibrées $\{\sigma'\}_{i2}^e$ de la dernière itération, est la suivante :

$$\{\Delta R^q\}_{i2} = \sum_e \int_e [B]^T \{\sigma'\}_{i2}^e dVol. \quad (\text{elle est obtenue par application du principe des travaux virtuels}).$$

Les itérations se poursuivent jusqu'à ce que les contraintes non équilibrées deviennent négligeables dans tous les éléments.

La méthode a été présentée par ZIENKIEWICZ, VALLIAPAN et KING (réf 16 et 17) sous le nom de "méthode de transfert de contraintes".

A) ETUDE BIDIMENSIONNELLE. -

3.3. - Idéalisation de la structure en éléments finis. -

3.3.1. - Type d'éléments. -

Nous allons considérer trois différents types d'éléments :

a) Eléments de béton. - Ils sont pris triangulaires et affectés d'une épaisseur constante. On va donc négliger la réduction de la section due à la présence des armatures.

Etant donné que l'étude est bidimensionnelle, la présence du bossage est prise en compte en supposant que la transmission de la précontrainte se répartit uniformément sur toute la surface de jonction bossage-hourdis (fig 3.2). Cette hypothèse est basée sur les résultats de LY (voir

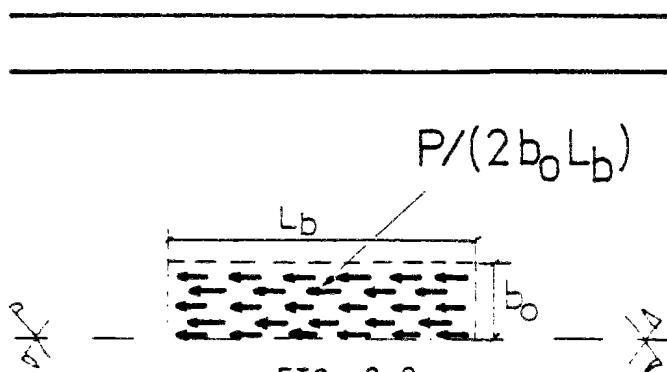


FIG. 3.2.

paragraphe 1.4). Son étude élastique plan, d'après la méthode de Schlee, ainsi que la courbe des contraintes de cisaillement le long du plan de jonction bossage-hourdis, obtenue par son calcul par éléments finis, montrent que cette simplifi-

cation est acceptable.

b) Eléments d'acier : Ils sont filiformes, c'est-à-dire, ils travaillent seulement dans le sens de la longueur de l'élément.

Puisque l'étude est plane, ils sont affectés d'une section qui est la somme de celles des aciers placés sur les faces supérieure et inférieure du hourdis.

Nous négligeons dans notre étude les déplacements relatifs acier - béton, dus à la perte de l'adhérence parfaite. L'acier et le béton ont donc des noeuds communs.

c) Éléments de jonction hourdis-parois latérales. - Il s'agit d'éléments à dimension géométrique nulle et dont la mission consiste à reproduire l'encastrement élastique hourdis-parois, en ce qui concerne les déplacements dans le sens de l'axe de la pièce, conformément aux considérations faites lors de l'exposition de la méthode des coupures.

3.3.2. - Convention de signes. -

Elle est montrée dans le schéma de la fig. 3.3.

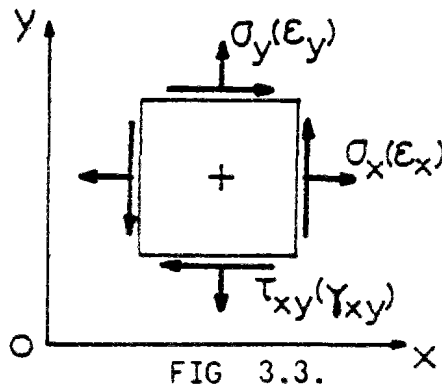


FIG 3.3.

3.3.3. - Éléments de béton (fig 3.4.)

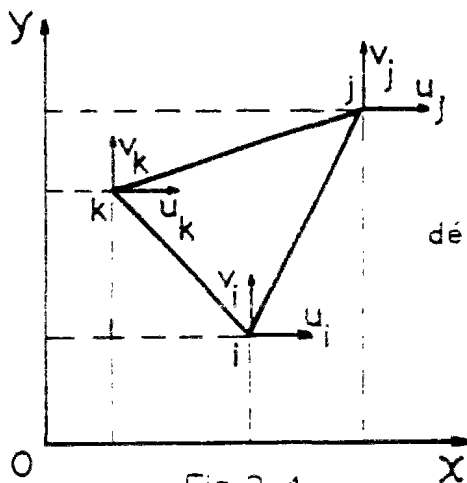


Fig. 3.4

- L'ordre de numérotation des noeuds

i, j, k, doit respecter le sens trigonométrique.

- On a les vecteurs :

de déplacements : de contraintes : de déformations :

$$\{\delta\}^e = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \\ u_k \\ v_k \end{Bmatrix}^e \quad \{\sigma\}^e = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}^e \quad \{\epsilon\}^e = \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}^e$$

— On va choisir une fonction-déplacement linéaire à l'intérieur de chaque élément :

$$u(x, y) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y$$

$$v(x, y) = \alpha_4 + \alpha_5 x + \alpha_6 y$$

Les six coefficients sont obtenus par les six conditions :

$u_\ell = u(x_\ell, y_\ell)$, $v_\ell = v(x_\ell, y_\ell)$, $\ell = i, j, k$, ce qui donne les fonctions-déplacements suivantes :

$$u = \frac{1}{2\Delta} [(a_i + b_i x + c_i y) u_i + (a_j + b_j x + c_j y) u_j + (a_k + b_k x + c_k y) u_k]$$

$$v = \frac{1}{2\Delta} [(a_i + b_i x + c_i y) v_i + (a_j + b_j x + c_j y) v_j + (a_k + b_k x + c_k y) v_k]$$

$$\text{avec : } \begin{array}{lll} a_i = x_j y_k - x_k y_j & b_i = y_j - y_k & c_i = x_k - x_j \\ a_j = x_k y_i - x_i y_k & b_j = y_k - y_i & c_j = x_i - x_k \\ a_k = x_i y_j - x_j y_i & b_k = y_i - y_j & c_k = x_j - x_i \end{array}$$

$$2\Delta = 2 \times \text{Surface élément} = \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{vmatrix}$$

Cette fonction-déplacement vérifie automatiquement la continuité des déplacements entre les éléments adjacents, puisqu'elle donne une variation linéaire des déplacements le long des bords du triangle.

— D'après les formules d'élasticité :

$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \quad \epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$$

et par conséquent, on a une relation entre déformations et déplacements dans l'élément, de la forme :

$$\{\epsilon\}^e = \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}^e = [B]^e \{\delta\}^e \quad \text{avec, } [B]^e = \frac{1}{2\Delta} \begin{bmatrix} b_i & 0 & b_j & 0 & b_k & 0 \\ 0 & c_i & 0 & c_j & 0 & c_k \\ c_i & b_i & c_j & b_j & c_k & b_k \end{bmatrix}$$

[3x1] [3x6] [6x1]

La matrice $[B]^e$ est indépendante des coordonnées de chaque point. Il s'agit donc d'éléments à déformation constante.

— La relation contraintes-déformations est de la forme :

$$\{\sigma\}^e = \{\sigma_0\}^e + [D]^e \{\epsilon - \epsilon_0\}^e. \quad \text{L'expression de la matrice } [D] \text{ sera étudiée plus loin.}$$

— La matrice de raideur de l'élément est :

$$[K]^e = \int_e [B]^e{}^T [D]^e [B]^e h dx dy = [B]^e{}^T [D]^e [B]^e h \Delta ,$$

[6×6]

[6×3] [3×3] [3×6]

'h' étant l'épaisseur du hourdis et Δ la surface de l'élément.

— L'équation d'équilibre pour l'élément est :

$$\{F\}^e = [K]^e \{\delta\}^e$$

[6×1] [6×6] [6×1]

où le vecteur des forces nodales

$$\{F\}^e \text{ est : } \{F\}^e = \begin{Bmatrix} F_{x_i} \\ F_{y_i} \\ F_{x_j} \\ F_{y_j} \\ F_{x_x} \\ F_{y_x} \end{Bmatrix}$$

3.3.4. - Éléments d'acier (fig 3.5). -

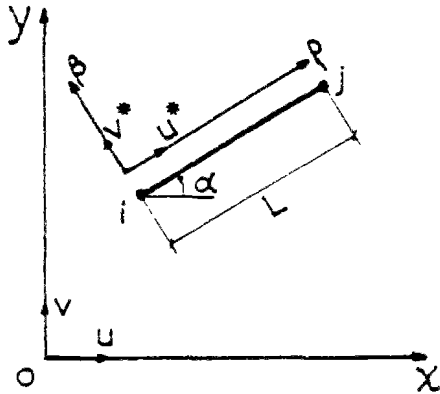


FIG 3.5

— Nous avons les vecteurs :
de déplacements

$$\{\delta\}^e = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \end{Bmatrix}^e$$

[4×1]

$$\{\delta^*\}^e = \begin{Bmatrix} u_i^* \\ v_i^* \\ u_j^* \\ v_j^* \end{Bmatrix}^e$$

[4×1]

(coord. globales)

(coord. locales)

de contraintes : $\{\sigma^*\}^e$ [1×1]

et de deformations : $\{\epsilon^*\}^e$ [4×1],
les deux en coordonnées locales.

— La fonction-déplacement est choisie linéaire à l'intérieur de l'élément. Exprimée en coordonnées locales, elle a la forme :

$$u^* = \gamma_1 + \gamma_2 \rho \quad \text{avec les conditions limites : } \begin{cases} \rho=0 \rightarrow u^* = u_i^* \\ \rho=L \rightarrow u^* = u_j^* \end{cases}$$

Donc, $u^* = (1 - \rho/L) u_i^* + (\rho/L) u_j^*$

— La relation déplacements-déformations en coordonnées locales est :

$$\{ \varepsilon^* \}^e = \left\{ \frac{\partial u^*}{\partial \rho} \right\}^e = [-1/L, 1/L] \begin{Bmatrix} u_i^* \\ u_j^* \end{Bmatrix}^e = \frac{1}{L} [-1, 0, 1, 0] \begin{Bmatrix} \delta^* \\ \delta^* \end{Bmatrix}^e$$

$[1 \times 1] \qquad \qquad \qquad [1 \times 4] \qquad [4 \times 1] \qquad [4 \times 1]$

La matrice $[B^*]^e$ est donc : $[B^*]^e = \frac{1}{L} [-1, 0, 1, 0]$

$[1 \times 4]$

— La relation contraintes-déformations sera étudiée plus loin .

— La matrice de raideur de l'élément en coordonnées locales est :

$$[K^*]^e = \int_0^L [B^*]^{eT} [D^*]^e [B^*]^e S_\phi \alpha \rho = [B^*]^{eT} [D^*]^e [B^*]^e S_\phi L$$

$[4 \times 4] \qquad \qquad \qquad [4 \times 1] \quad [1 \times 1] \quad [1 \times 4]$

S_ϕ étant la section des aciers.

— L'équation d'équilibre pour l'élément est

$$\{ F^* \}^e = [K^*]^e \{ \delta^* \}^e \quad \text{avec} \quad \{ F^* \}^e = \begin{Bmatrix} F_{x_i}^* \\ F_{y_i}^* \\ F_{x_j}^* \\ F_{y_j}^* \end{Bmatrix}$$

$[4 \times 1] \quad [4 \times 4] \quad [4 \times 1]$

— Si l'on passe aux coordonnées globales :

$$\{ F \}^e = \begin{Bmatrix} F_{x_i} \\ F_{y_i} \\ F_{x_j} \\ F_{y_j} \end{Bmatrix}^e = [T]^{eT} \{ F^* \}^e, \quad \text{avec} \quad [T]^e = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}^e$$

$$\{ \delta^* \}^e = [T]^e \{ \delta \}^e.$$

Donc,

$$\{ \varepsilon^* \}^e = [B^*]^e [T]^e \{ \delta \}^e = [B]^e \{ \delta \}^e, \quad \text{où} \quad [B]^e = \frac{1}{L} [-c, -s, c, s]$$

$$\{ F \}^e = [T]^{eT} \{ F^* \}^e = [T]^{eT} [K^*]^e [T]^e \{ \delta \}^e = [K]^e \{ \delta \}^e$$

avec

$$[K]^e = \frac{S_\phi [D^*]^e}{L} \begin{bmatrix} c^2 & sc & -c^2 & -sc \\ sc & s^2 & -sc & -s^2 \\ -c^2 & -sc & c^2 & sc \\ -sc & -s^2 & sc & s^2 \end{bmatrix}, \quad \text{et} \quad \begin{cases} c = \cos \alpha \\ s = \sin \alpha \end{cases}$$

3.3.5. - Éléments liaison hourdis-parois latérales (fig 3.6)

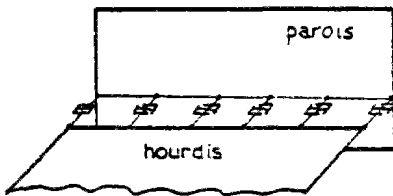
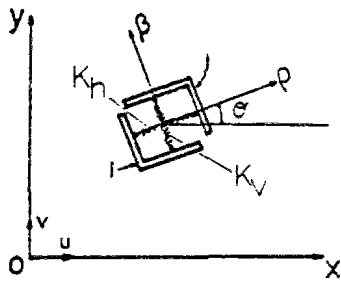


FIG 3.6

— Nous allons utiliser des "éléments-ressort" semblables à ceux proposés par NGO & SCORDELIS (réf14), pour reproduire le phénomène d'adhérence acier-béton. Dans notre cas, nous prenons comme constantes du ressort :

$K_v = 0$ (déplacements transversales libres)

K_h = un nombre suffisamment élevé pour garantir la quasi égalité des déplacements longitudinaux des deux côtés de la ligne

de jonction, mais pas trop pour qu'il ne pose pas de problèmes numériques lors de la résolution du système d'équations. Pour les cas étudiés, la valeur 10^8 s'est avérée être acceptable.

L'angle θ vaut toujours zéro. On peut donc travailler en coordonnées globales :

$$\{\delta\}^e = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \end{Bmatrix}^e$$

[4x1]

$$\{\varepsilon\}^e = \begin{Bmatrix} \varepsilon_h \\ \varepsilon_v \end{Bmatrix}^e ; \quad \{\sigma\}^e = \begin{Bmatrix} \sigma_h \\ \sigma_v \end{Bmatrix}^e$$

[2x1] [2x1]

ε_h et ε_v représentent des déplacements relatifs. Ils sont donc mesurés en cm.

σ_h et σ_v représentent les forces transmises par l'intermédiaire du ressort. Elles sont donc mesurées en kg.

— La relation entre déplacements des noeuds et "déformations" du ressort est :

$$\{\varepsilon\}^e = [B]^e \{\delta\}^e \quad \text{avec,} \quad [B]^e = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[2x1] [2x4] [4x1]

— Celle entre les "déformations" du ressort et les forces transmises est :

$$\{\sigma\}^e = [D]^e \{\varepsilon\}^e \quad \text{avec,} \quad [D]^e = \begin{bmatrix} K_h & 0 \\ 0 & K_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10^8 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

[2x1] [2x2] [2x1]

L'équation d'équilibre s'écrit :

$$\{F\}^e = \begin{Bmatrix} F_{x_i} \\ F_{y_i} \\ F_{x_j} \\ F_{y_j} \end{Bmatrix} = [K]^e \{\delta\}^e \quad \text{avec, } [K]^e = [B]^e{}^T [D]^e [B]^e = \begin{bmatrix} 10^8 & 0 & -10^8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -10^8 & 0 & 10^8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

[4x1] [4x4] [4x1]

3.4. - Lois de comportement des matériaux. -

3.4.1. - Acier. -

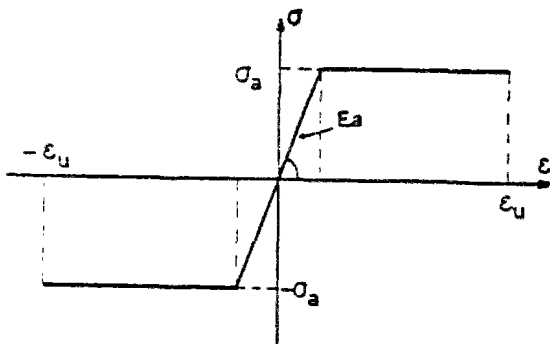


FIG 3.7

Les éléments d'acier sont supposés suivre une loi σ - ϵ uniaxiale-élasto-plastique parfaite (fig 3.7). Les comportements en traction et en compression sont identiques.

On a donc :

$$\sigma = f(\epsilon) = \begin{cases} E_a \epsilon & \text{si } \epsilon < \sigma_a / E_a \\ \sigma_a & \text{si } \epsilon \geq \sigma_a / E_a \end{cases}$$

Et la loi incrémentale tangente :

$$\{\Delta \sigma\} = [D]_T \{\Delta \epsilon\}, \quad \text{avec } [D]_T = \begin{cases} E_a & \text{si } \epsilon < \sigma_a / E_a \\ 0 & \text{si } \epsilon \geq \sigma_a / E_a \end{cases}$$

3.4.2. - Le béton. -

— C'est précisément dans l'adoption du modèle le plus approprié pour reproduire le comportement non linéaire du béton sous des sollicitations biaxiales, ainsi que les critères de rupture et de fissuration, que réside l'une des plus grandes difficultés du calcul de structures en béton armé par éléments finis.

Les premiers travaux sur ce sujet (NGO & SCORDELIS, réf 14) ont abordé le problème par le biais de la considération d'un comportement linéaire du béton, et de la prédéfinition des fissures en position et longueur. Le maillage incorporait donc les fissures, en considérant des noeuds différents aux deux côtés.

Ensuite, de nombreux auteurs ont abordé le problème de façon plus complexe. Une étude bibliographique sur ce point est présentée dans l'annexe A .

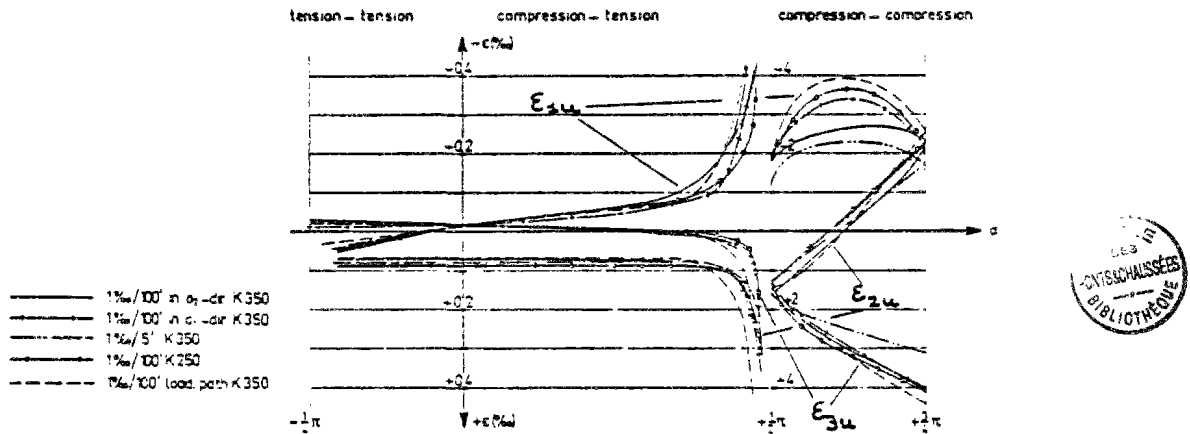
— Nous allons utiliser comme base de notre calcul, les résultats des essais effectués par KUPFER (réf 18 et 19). Ceux-ci ont été faits sur des éprouvettes carrées en forme de plaque, soumises à des sollicitations dans leur plan. Les dimensions des éprouvettes étaient 20 cm x 20 cm x 5 cm. Les charges étaient appliquées par l'intermédiaire des brosses d'acier, constituées par un grand nombre de petites barres en acier individuelles et assemblées de façon à constituer un paquet. Elles doivent être suffisamment souples pour pouvoir suivre les déformations de la pièce de façon indépendante, sans entraîner des contraintes transversales sur la surface d'application de la charge. En même temps, elles doivent avoir une résistance au flambement suffisante. Grâce à l'emploi des colles synthétiques modernes, des efforts de traction peuvent aussi s'appliquer.

La recherche de KUPFER portait sur toutes les combinaisons possibles de sollicitations biaxiales : bicompression (C-C), bitraction (T-T) et compression — traction (C-T). Des recherches postérieures, utilisant un système d'application de la charge similaire, ont abouti à des résultats semblables : NELISSEN (réf 20); LIU et autres (réf 21); BUYUKOZTURK et autres (réf 22); CARINO et autres (réf 23); TASUJI et autres (réf 24).

— Toutes ces recherches ont été effectués sur des essais où la charge a été appliquée proportionnellement (c'est-à-dire, en maintenant constant pendant l'essai le rapport entre les contraintes appliquées sur les deux côtés de l'éprouvette).

Bien que plusieurs auteurs aient confirmé la faible dépendance des valeurs des contraintes de rupture vis-à-vis de la façon d'appliquer la charge, cela n'est pas forcément vrai en ce qui concerne les valeurs des déformations ultimes, et donc, les lois σ - ϵ , qui sont très sensibles à la qualité du béton, à la vitesse l'application de la charge et au chemin de chargement suivi.

On a donc une certaine imprécision quand nous adoptons des diagrammes σ - ϵ obtenus sous charge proportionnelle, pour reproduire le comportement réel du béton dans les zones où, par suite des phénomènes de non linéarité, se produisent d'importantes variations aussi bien dans les rapports entre les contraintes principales que dans leurs directions.



The influence of the way of loading on the maximum deformations under biaxial loading.

FIG 3.8 (NELISSEN, (réf. 20))

— A titre d'exemple, nous présentons les courbes obtenues par NELISSEN pour étudier l'influence de différents paramètres sur les valeurs des déformations (fig 3.8) et des contraintes (fig 3.9) en rupture, d'une éprouvette soumise à de différents états de sollicitation biaxiale.

La fig 3.8 donne les valeurs des déformations ultimes dans les trois directions principales ϵ_{1u} , ϵ_{2u} , ϵ_{3u} , en fonction de $\alpha = \text{arc.tg.}(-\sigma_1/\sigma_{12})$, ($\alpha = 0$ correspond à une sollicitation de traction uniaxiale).

La fig 3.9 donne les valeurs des résistances ultimes, rapportées à la résistance sur prisme (σ_p).

Les facteurs dont l'influence a été étudiée sont :

- a) qualité du béton : 250 et 350 bars (à 28 jours d'âge) ;
- b) la vitesse d'application de la charge, avec deux taux : $d\epsilon/dt = 1\text{‰}/100'$ et $d\epsilon/dt = 1\text{‰}/5'$;

c) le chemin de chargement : tous les essais ont été réalisés avec une augmentation proportionnelle de la charge, sauf un dans lequel on a suivi un chemin de chargement arbitraire ;

d) la direction dans laquelle on a maintenu le taux de déformation constant ($d\epsilon/dt = k$) pendant l'essai.

Les figures montrent que l'influence de tous ces facteurs sur les contraintes en rupture n'est pas trop importante. Par contre, les déformations en sont très affectées, en particulier ϵ_{1u} , dans la région de bicompression.

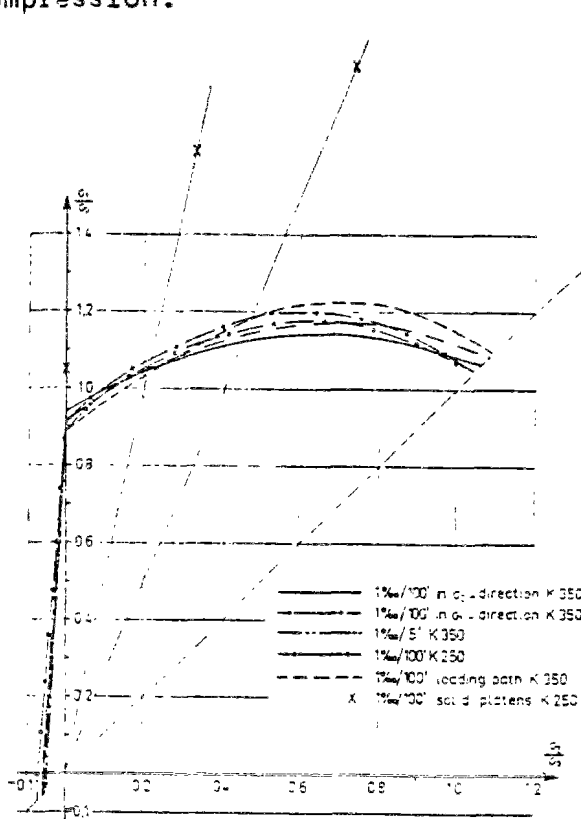


FIG 3.9 (NELISSEN, réf20)

The influence of the way of loading on the ultimate load under biaxial loading.

— Les essais de KUPFER portaient sur trois bétons de qualité de différente. Dans ce qui suit, nous allons nous limiter aux résultats concernant les bétons de qualité moyenne ($\beta_p \approx 300$ bars).

3.4.2.1. - Résistance du béton. -

— Nous présentons dans la fig 3.10, les courbes des résistances ultimes obtenues par KUPFER, pour n'importe quelle combinaison des contraintes principales.

Les courbes sont présentées de façon adimensionnelle, avec les résistances rapportées à la résistance β_p sur prisme.

Dans la fig 3.11, nous présentons les domaines C-T et T-T de façon plus détaillée.

— Dans la zone T-T, les résistances obtenues s'avèrent indépendantes du rapport de contraintes, et sensiblement égales à sa valeur uniaxiale.

Nous voulons cependant noter que de récentes recherches (réf 24) ont abouti à des résultats différents : elles ont obtenu une augmentation

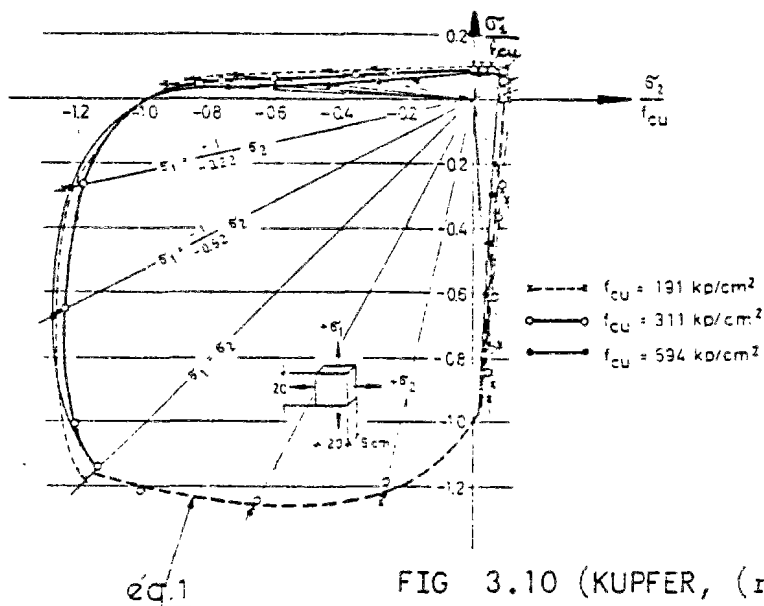


FIG 3.10 (KUPFER, (réf.19))

de la résistance à bitraction par rapport aux valeurs uniaxiales,

Nous allons supposer une résistance à la traction, constante dans le domaine T-T, et donnée par la formule (réf.19) :

$$\frac{\sigma_{T,u}}{\beta_p} = \frac{0.64}{\sqrt{\beta_p}}$$

— Dans le domaine C-C, la parabole proposée par KUPFER, s'accorde assez bien aux résultats des essais (fig 3.10) :

$$\left(\frac{\sigma_1}{\beta_p} + \frac{\sigma_2}{\beta_p} \right)^2 - \frac{\sigma_1}{\beta_p} - 3.65 \frac{\sigma_2}{\beta_p} = 0 \quad (1) ;$$

avec σ_1 et σ_2 données en valeur absolue et $\sigma_1 > \sigma_2$.

L'équation (1) peut être exprimée en fonction du rapport α entre les deux contraintes principales :

si nous prenons

$$\sigma_2 = \sigma_1 \alpha \quad (0 < \alpha < 1)$$

$$\left(\frac{\sigma_1}{\beta_p} \right)^2 (1 + \alpha)^2 = \frac{\sigma_1}{\beta_p} (1 + 3.65\alpha) \longrightarrow$$

$$\sigma_{1,u} = \frac{(1 + 3.65\alpha)}{(1 + \alpha)^2} \beta_p$$

$$\sigma_{2,u} = \sigma_{1,u} \cdot \alpha$$

— Dans le domaine C-T, existent deux sous-zones de comportement différent, selon que les tractions ou les compressions soient dominantes. La séparation des deux zones peut être établie pour une valeur de

$$\alpha = \frac{\text{traction}}{\text{compression}} \quad \text{égale à } 1/15 \text{ environ (voir annexe A)}.$$

a) Pour $|\alpha| > 1/15$, nous prenons une droite qui passe par le point correspondant à l'essai uniaxial :

$$\alpha = \frac{\sigma_2 (\text{traction})}{\sigma_1 (\text{compression})} \quad ; \quad -1/15 > \alpha > -\infty$$

$$\sigma_{1u} = \frac{0.64 \beta_p}{\alpha \sqrt[3]{\beta_p} - 0.366} < 0 \quad ; \quad \sigma_{2u} = \sigma_{1u} \cdot \alpha > 0$$

b) Pour $|\alpha| < 1/15$, nous utilisons une parabole analogue à celle du domaine C-C, mais avec un coefficient 'm' qui, au lieu de valoir 3.65, est ajusté en imposant que pour $|\alpha| = 1/15$, la parabole raccorde la droite utilisée dans l'autre sous-zone :

$$\text{Ainsi donc, } \frac{\sigma_2}{\beta_p} = \frac{-(1+m\alpha)}{(1+\alpha)^2} = \frac{0.64}{-\sqrt[3]{\beta_p}/15 - 0.366} \rightarrow m = \frac{15 \sqrt[3]{\beta_p} - 43.055}{\sqrt[3]{\beta_p} + 5.492}$$

et,

$$\sigma_{1u} = - \frac{(1+m\alpha)}{(1+\alpha)^2} \beta_p < 0 \quad ; \quad -1/15 < \alpha < 0$$

$$\sigma_{2u} = \sigma_{1u} \cdot \alpha > 0$$

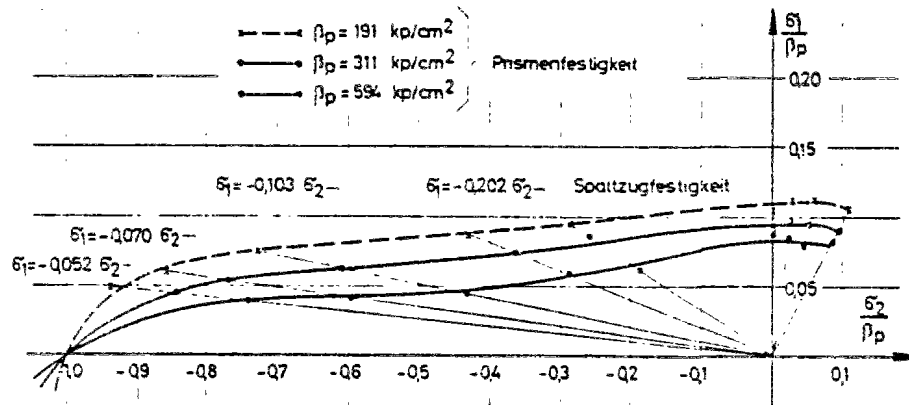


FIG 3.11. KUPFER (réf. 19)

3.4.2.2. - Valeurs des déformations ultimes. -

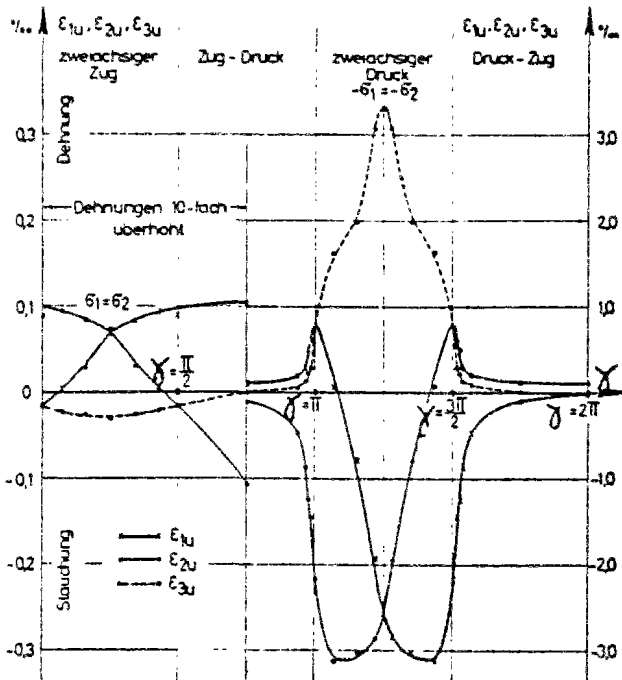


FIG 3.12.

Les valeurs des déformations ultimes dans les trois directions principales ϵ_{1u} , ϵ_{2u} et ϵ_{3u} sont montrées dans la fig 3.12, en fonction de $\gamma = \text{arc.tg.}(1/\alpha)$ avec $\alpha = \sigma_2/\sigma_1$. Ces valeurs correspondent aux essais de KUPFER.

3.4.2.3. - Les lois contraintes-déformations. -

Les fig 3.13, 3.14 et 3.15 montrent les courbes expérimentales de KUPFER qui vont servir de base à notre modèle. Celui-ci comporte une formulation analytique des lois $\sigma-\epsilon$, englobant toutes les combinaisons possibles de contraintes T-T, T-C et C-C, qui est fonction du rapport α entre les contraintes principales.

Cette formulation est complètement déterminée en fonction de certains paramètres dont la définition est simple, à savoir :

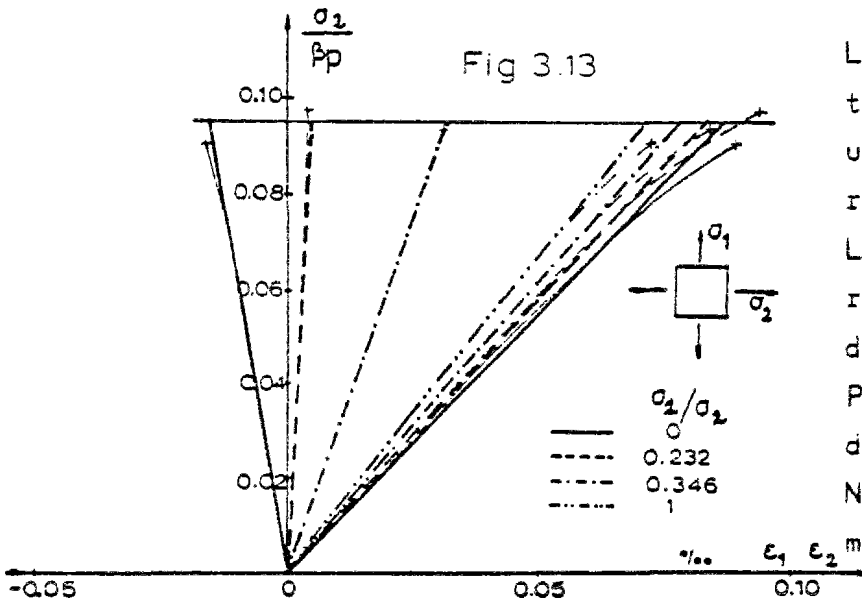
- Les modules E_0 et ν_0 , tirés des essais de compression uniaxiale du béton.

- Les contraintes σ_{iu} en rupture, dont l'expression analytique a été présentée dans le paragraphe 3.4.2.1., en fonction de la résistance en compression uniaxiale sur prisme β_p , et du rapport α des contraintes principales.

- Les déformations en rupture ϵ_{iu} , qui ont été rapportées dans le paragraphe 3.4.2.2, en fonction de α .

Dans les fig 3.13 à 3.15, les courbes fines correspondent aux résultats expérimentales de KUPFER, et celles en gros traits, au modèle analytique proposé, qui est basé dans les travaux de LIU (réf. 25) et CEDOLIN (réf. 26).

A) Domaine T-T. -



Le béton présente un comportement quasiment linéaire avec une courbure négligeable, apparaissant peu avant la rupture. Les essais ont aussi donné une réduction d'environ 10 %, dans la valeur du module de Poisson, par rapport aux essais de compression.

Nous allons donc utiliser un modèle isotrope et élastique

qui peut être défini au moyen des lois classiques de l'élasticité, lesquelles, rapportées aux contraintes principales, ont la forme :

$$\sigma_1 = \frac{E_0}{1 - (\nu_0^T)^2} [\epsilon_1 + \nu_0^T \epsilon_2]$$

[I]

$$\sigma_2 = \frac{E_0}{1 - (\nu_0^T)^2} [\epsilon_2 + \nu_0^T \epsilon_1]$$

avec $\nu_0^T = 0.9 \nu_0$, ν_0 étant le module de Poisson obtenu dans l'essai de compression uniaxiale.

B) Domaine C-C. -

Dans cette zone, les courbes $\sigma - \epsilon$ ont une allure semblable à celle des courbes obtenues dans l'essai de compression uniaxiale : forte courbure par rapport à la tangente à l'origine, et tangente pratiquement horizontale à la rupture.

Nous allons donc utiliser des expressions analytiques analogues à celle proposée par SAENZ (réf 27) pour le cas uniaxial :

$$\sigma_1 = \frac{A + B \varepsilon_1}{1 + C \varepsilon_1 + D \varepsilon_1^2} \quad (1), \text{ les paramètres } A, B, C \text{ et } D \text{ sont}$$

obtenus en se donnant les conditions suivantes :

- a) Pour $\varepsilon_1 = 0 \longrightarrow \sigma_1 = 0$
- b) Pour $\varepsilon_1 = \varepsilon_{1u} \longrightarrow \sigma_1 = \sigma_{1u}$
- c) Pour $\varepsilon_1 = 0 \longrightarrow (d\sigma_1/d\varepsilon_1) = E_0^*$
- d) Pour $\varepsilon_1 = \varepsilon_{1u} \longrightarrow (d\sigma_1/d\varepsilon_1) = 0$

En effectuant les calculs, nous arrivons à

$$A = 0 ; B = E_0^* ; D = \frac{1}{\varepsilon_{1u}^2} \quad \text{et} \quad C = \frac{1}{\varepsilon_{1u}} \left[\frac{E_0^*}{E_S} - 2 \right], \text{ avec } E_S = \frac{\sigma_{1u}}{\varepsilon_{1u}}$$

E_0^* est la pente à l'origine de la courbe, et sa valeur peut être obtenue à partir des lois élastiques :

si l'on suppose un état de compressions biaxiales, tel que :

$$\sigma_3 = \sigma_2 \alpha ; \text{ avec } \sigma_1 < \sigma_2 < 0 \quad |\sigma_1| > |\sigma_2| \quad 0 < \alpha < 1$$

nous obtenons pour la courbe $\sigma_1 - \varepsilon_1$:

$$\varepsilon_1 = (\sigma_1 - \nu_0 \sigma_3) / E_0 = \sigma_1 (1 - \nu_0 \alpha) / E_0 \quad \sigma_1 = \frac{E_0 \varepsilon_1}{(1 - \nu_0 \alpha)} \quad E_0^* = \frac{E_0}{1 - \nu_0 \alpha}$$

et pour la courbe $\sigma_1 - \varepsilon_2$:

$$\varepsilon_2 = (\sigma_2 - \nu_0 \sigma_1) / E_0 = \sigma_1 (\alpha - \nu_0) / E_0 \quad \sigma_1 = \frac{E_0 \varepsilon_2}{(\alpha - \nu_0)} \quad E_0^* = \frac{E_0}{\alpha - \nu_0}$$

Si nous remplaçons les paramètres A, B, C, D de l'expression (1) par les valeurs que l'on vient de calculer, nous aboutissons aux lois suivantes :

$$\sigma_1 = \frac{E_0 \varepsilon_1}{(1 - \nu_0 \alpha) \left[1 + \left[\frac{E_0}{(1 - \nu_0 \alpha)} \frac{\varepsilon_{1u}}{\sigma_{1u}} - 2 \right] \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_{1u}} \right) + \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_{1u}} \right)^2 \right]} \quad [\text{II-a}]$$

$$\sigma_1 = \frac{E_0 \varepsilon_2}{(\alpha - \nu_0) \left[1 + \left[\frac{E_0}{(\alpha - \nu_0)} \frac{\varepsilon_{2u}}{\sigma_{2u}} - 2 \right] \left(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_{2u}} \right) + \left(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_{2u}} \right)^2 \right]} \quad [\text{II-b}]$$

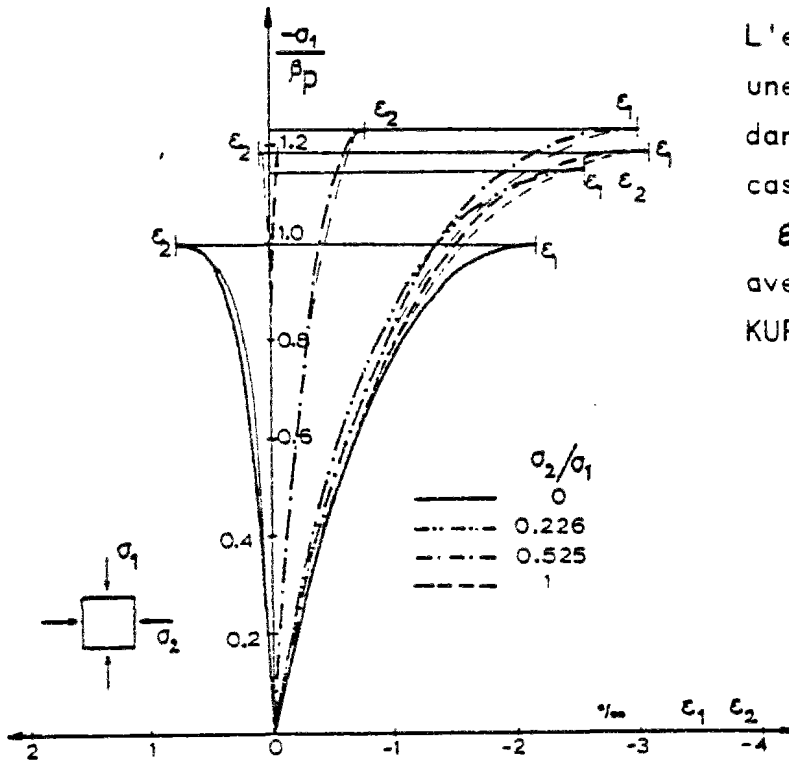


FIG 3.14

L'expression (II-b) présente une singularité mathématique dans le cas $\alpha = 0$. Pour ce cas nous prenons une loi

$\epsilon_2 = 0$ qui s'accorde bien avec la courbe obtenue par KUPFER pour $\alpha \approx 0.2$

C) Domaine C-T. -

— Dans cette zone, les courbes montrent une transition graduelle entre la linéarité propre du domaine T-T et la non linéarité de celui des bicompressions. La transition se fait en fonction du rapport α entre les tractions et les compressions.

— Les courbes expérimentales montrent que les diagrammes sont encore non-linéaires, mais que l'hypothèse de pente nulle à la rupture n'est plus valable. Par conséquent, nous allons réduire d'un le nombre de paramètres de l'équation (1) de SRENZ:

$$\sigma_1 = \frac{A + B \epsilon_1}{1 + C \epsilon_1} \quad (2) \text{ et ne pas imposer la condition d) (pente nulle à la rupture).}$$

Les valeurs des paramètres sont maintenant :

$$A = 0 \quad ; \quad B = E_0^\alpha \quad \text{et} \quad C = \frac{1}{\epsilon_{1u}} \left[\frac{E_0^\alpha}{E_s} - 1 \right] \quad (3), \text{ et les expressions définitives}$$

des lois σ - ε :

$$\sigma_1 = \frac{E_0 \varepsilon_1}{(1-\nu_0 \alpha) \left[1 + \left[\frac{E_0}{(1-\nu_0 \alpha)} \frac{\varepsilon_{1u}}{\sigma_{1u}} - 1 \right] \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_{1u}} \right) \right]} \quad [\text{III-a}]$$

$$\sigma_2 = \frac{E_0 \varepsilon_2}{(\alpha - \nu_0) \left[1 + \left[\frac{E_0}{(\alpha - \nu_0)} \frac{\varepsilon_{2u}}{\sigma_{2u}} - 1 \right] \left(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_{2u}} \right) \right]} \quad [\text{III-b}]$$

avec $\sigma_1 < 0 < \sigma_2$; $\sigma_2 = \sigma_1 \alpha$ $-\infty < \alpha < 0$
(compr.) (tract.) (tract. simple) (compr. simple)

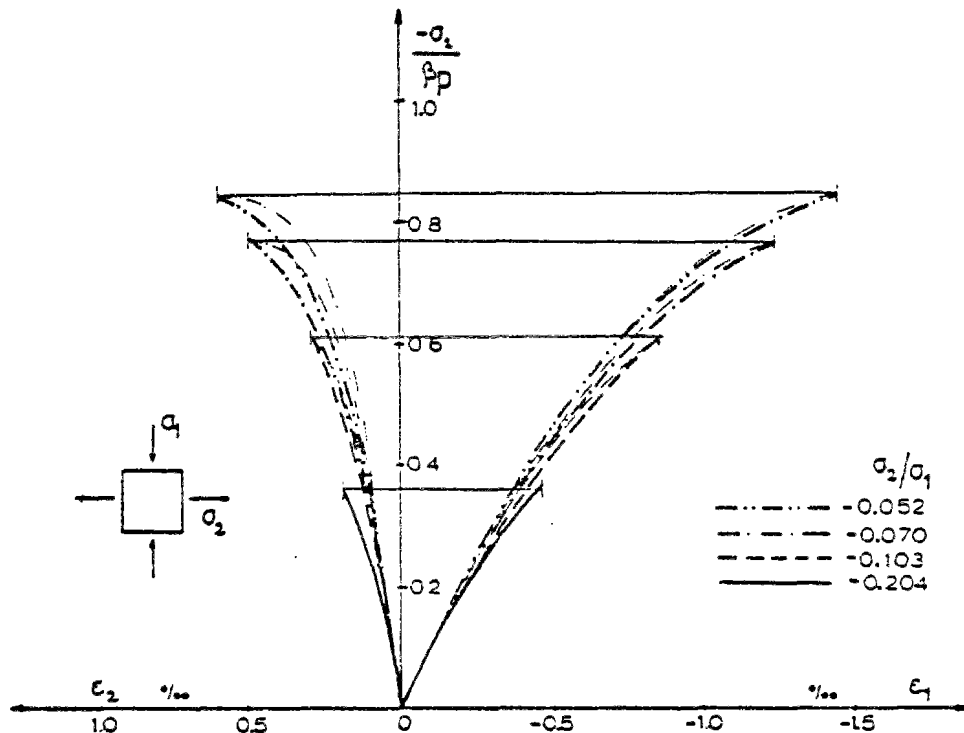


FIG 3.15

— Ces expressions, valables dans la zone moyenne du domaine C-T, doivent être raccordées à celles utilisées dans les domaines C-C et C-T, de façon à garantir une transition graduelle dans la formulation, condition nécessaire pour que la convergence de la résolution numérique soit bonne.

— La comparaison des expressions (II) et (III) montre qu'une transition graduelle peut être facilement obtenue moyennant un coefficient γ , fonction de α , qui varie linéairement entre $\alpha = 0$ (compression uniaxiale) et une valeur de α pour laquelle on peut considérer que le comportement du béton n'est plus le propre des compressions. Nous avons fixé cette valeur, de façon arbitraire, $\alpha = -0.10$.

La formulation pour la zone $-0.1 < \alpha < 0$ est donc :

$$\sigma_1 = \frac{E_0 E_1}{(1 - \nu_0 \alpha) \left[1 + \left[\frac{E_0}{(1 - \nu_0 \alpha)} \frac{E_{1u}}{\sigma_{1u}} - 1 - \gamma(\alpha) \right] \left(\frac{E_1}{E_{1u}} \right) + \gamma(\alpha) \left(\frac{E_1}{E_{1u}} \right)^2 \right]} \quad \text{[IV-a]}$$

et

$$\sigma_1 = \frac{E_0 E_2}{(\alpha - \nu_0) \left[1 + \left[\frac{E_0}{(\alpha - \nu_0)} \frac{E_{2u}}{\sigma_{2u}} - 1 - \gamma(\alpha) \right] \left(\frac{E_2}{E_{2u}} \right) + \gamma(\alpha) \left(\frac{E_2}{E_{2u}} \right)^2 \right]} \quad \text{[IV-b]}$$

avec, $\gamma(\alpha) = 1 + 10\alpha$

Ces expressions peuvent englober les (II) et (III) si nous définissons la fonction $\gamma(\alpha)$, comme suit :

$$\begin{aligned} \gamma(\alpha) &= 1 && \text{en C-C} \\ \gamma(\alpha) &= 1 + 10\alpha && \text{en C-T, avec } 0 > \alpha > -0.1 \\ \gamma(\alpha) &= 0 && \text{en C-T, avec } -0.1 > \alpha \end{aligned}$$

— Quant au raccord avec la zone T-T, il suffit de remarquer que la valeur du coefficient C dans l'expression (2) est : $C = \frac{1}{E_{1u}} \left[\frac{E_0^*}{E_s} - 1 \right]$. Si $E_0^* = E_s$, C vaut 0 et la loi $\sigma_1 - E_1$ devient linéaire : $\sigma_1 = B E_1$. La valeur de α pour laquelle C = 0, est obtenue en résolvant l'équation $E_0^* = \frac{E_0}{(1 - \nu_0 \alpha)} = \frac{\sigma_{1u}}{E_{1u}} = E_s$ (où σ_{1u} et E_{1u} sont fonction de α). Au delà de cette valeur de α , les expressions approchées de σ_{1u} et E_{1u} en fonction de α , peuvent donner une valeur de C négative, situation sans aucun sens physique qu'il convient d'éviter.

Pour le béton que nous considérons, et à partir des courbes de KUPFER, nous obtenons que pour $\alpha = -0.5$, $E_s \approx 0.8 E_0$. Ce qui suppose la quasi-linéarité de la courbe.

Nous allons donc nous arrêter là, et supposer que les expressions (IV) ne sont applicables que pour $\alpha > -0.5$, au delà de quoi (tractions encore plus fortes), le comportement du béton est linéaire et élastique, régi par les équations (I), propres au domaine T-T, assurant en même temps une transition graduelle des valeurs de ν_0 :

$$\nu_0^{CT} = \nu_0 (0.9 - 0.05/\alpha)$$

où ν_0 = mod. poisson à compression
et $-\infty < \alpha < -0.5$
(traction uniaxiale)

3.4.3. - Obtention de la matrice $[D]_T$ pour le béton non fissuré

Pour l'application de la méthode des éléments finis, telle qu'elle a été décrite dans les paragraphes 3.2 et 3.3, il nous faut obtenir l'expression de la matrice $[D]$ tangente, qui met en rapport les augmentations des contraintes et des déformations à chaque étape du chargement.

3.4.3.1. - Hypothèses. -

Voici un résumé des hypothèses adoptées en vue de la définition de la matrice $[D]_T$:

a) On suppose un état de contraintes plan dans le béton ($\sigma_z = 0$).

b) On suppose que le comportement du béton n'est pas affecté par la présence des armatures, et que par conséquent on peut utiliser les résultats des essais réalisés sur un béton non armé.

c) On va se rapporter aux lois de comportement du béton sous charge biaxiale, fournies par les essais de KUPFER pour un béton de qualité moyenne ($\beta_p \approx 310$ bars), dont une formulation analytique a été présentée dans le paragraphe précédent.

d) Il est hors de notre propos de prendre en compte des phénomènes à long terme (fluage, retrait, relaxation des aciers).

e) On suppose la charge appliquée de façon monotone croissante, sans cycles de chargement et déchargement. Dans les zones où certains déchargements se produisent (si l'on considère par exemple l'existence d'une petite précompression initiale dans le béton, auquel on va superposer le phénomène de la diffusion locale de la précontrainte), nous supposons qu'ils suivent la même loi σ - ϵ que pour les chargements. Cela n'est pas erroné puisque, dans ces cas, on reste encore en zone linéaire.

f) Les déformations tangentées sont supposées indépendantes des contraintes principales, et vice versa.

g) On suppose l'existence d'un potentiel élastique, c'est-à-dire, que le travail effectué par les forces internes au cours des déformations élastiques se transforme complètement en énergie potentielle emmagasinée dans le corps.

h) On suppose un comportement isotrope normalement au plan des contraintes principales, de même que pour le cas d'une sollicitation uniaxiale on suppose une isotropie par rapport aux directions non sollicitées.

i) On approxime les lois σ - ϵ non linéaires de façon linéaire à l'intérieur de chaque étape d'augmentation de la charge. La loi de déformation incrémentielle utilisée est obtenue tangentielllement à partir de l'état σ - ϵ préalable, en supposant que les caractéristiques du matériau demeurent constantes dans l'intervalle.

j) Le comportement non linéaire du béton sous un état déterminé de contraintes biaxiales, entraîne une anisotropie dans la réponse du matériau face à une nouvelle sollicitation, anisotropie qui varie au cours du chargement et dont les directions principales d'anisotropie correspondent aux contraintes principales à chaque moment.

3.4.3.2. - Définition de $[D^*]_T$ en coordonnées locales. -

— Le problème posé est donc celui de la définition, pour un état de contraintes et de déformations donné, d'une relation incrémentielle entre σ et ϵ qui soit linéaire, élastique et anisotrope selon les deux directions principales et qui représente approximativement le comportement du béton pendant l'augmentation de la charge dans la nouvelle étape.

— Cette expression doit avoir la forme générale (LEKHNITSKII, réf 28) :

$$\begin{Bmatrix} d\epsilon_1 \\ d\epsilon_2 \\ d\gamma_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d\sigma_1 \\ d\sigma_2 \\ d\tau_{12} \end{Bmatrix} \quad \begin{array}{l} a_{ij} \text{ sont les coefficients} \\ \text{de déformation du matériau} \\ \text{(en nombre de 12)} \end{array}$$

$$\text{et } d\epsilon_3 = a_{41} d\sigma_1 + a_{42} d\sigma_2 + a_{43} d\tau_{12} \quad (1)$$

Si l'on suppose l'existence d'un potentiel élastique (\bar{V}) :

$$d\sigma_1 = \frac{\partial(d\bar{V})}{\partial(d\varepsilon_1)} \quad \text{et} \quad d\sigma_2 = \frac{\partial(d\bar{V})}{\partial(d\varepsilon_2)} \quad , \quad \text{et par différentiation}$$

par rapport à $d\varepsilon_2$ et $d\varepsilon_1$:

$$\frac{\partial^2(d\bar{V})}{\partial(d\varepsilon_1)\partial(d\varepsilon_2)} = \frac{\partial^2(d\bar{V})}{\partial(d\varepsilon_2)\partial(d\varepsilon_1)} \longrightarrow \frac{\partial(d\sigma_2)}{\partial(d\varepsilon_1)} = \frac{\partial(d\sigma_1)}{\partial(d\varepsilon_2)}$$

cela implique l'égalité des termes A_{12} et A_{21} de la matrice (A_{ij}) :

$\{d\sigma\} = [A_{ij}] \{d\varepsilon\}$. En opérant de la même sorte avec les autres termes, on arrive à établir $A_{ij} = A_{ji} \rightarrow [A_{ij}]$ est symétrique et pas inversion de cette matrice : $[a_{ij}] = [A_{ij}]^{-1}$ est aussi symétrique. Il nous reste donc :

$$\begin{Bmatrix} d\varepsilon_1 \\ d\varepsilon_2 \\ d\gamma_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & a_{22} & a_{23} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d\sigma_1 \\ d\sigma_2 \\ d\tau_{12} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

$$d\varepsilon_3 = a_{41} d\sigma_1 + a_{42} d\sigma_2 + a_{43} d\tau_{12} \quad (9 \text{ constantes à déterminer})$$

— Comme les essais que l'on a à notre disposition ne nous permettent pas d'établir ces 9 constantes, il nous faut faire quelques hypothèses :

L'hypothèse f) de 3.4.3.1 entraîne l'élimination de trois des constantes : $a_{13} = a_{23} = a_{43} = 0$

$$\begin{Bmatrix} d\varepsilon_1 \\ d\varepsilon_2 \\ d\gamma_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 \\ a_{12} & a_{22} & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d\sigma_1 \\ d\sigma_2 \\ d\tau_{12} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

$$d\varepsilon_3 = a_{41} d\sigma_1 + a_{42} d\sigma_2 \quad (6 \text{ constantes à déterminer})$$

Ces coefficients de déformation peuvent être exprimés en fonction des coefficients classiques, les modules de Poisson et de déformation :

$$\begin{Bmatrix} d\varepsilon_1 \\ d\varepsilon_2 \\ d\gamma_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{\nu_{21}}{E_2} & 0 \\ -\frac{\nu_{12}}{E_1} & \frac{1}{E_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d\sigma_1 \\ d\sigma_2 \\ d\tau_{12} \end{Bmatrix} \quad (4)$$

$$d\varepsilon_3 = -\frac{\nu_{13}}{E_1} d\sigma_1 - \frac{\nu_{23}}{E_2} d\sigma_2 \quad (4')$$

avec,
$$\boxed{\frac{\nu_{12}}{E_1} = \frac{\nu_{21}}{E_2}} \quad (5)$$

équations classiques des matériaux présentant à chaque point trois plans octogonaux de symétrie élastique, matériaux dits orthotropes.

— Les essais de KUPFER vont nous permettre, moyennant quelques hypothèses supplémentaires, d'évaluer les ν_{ij} et les E_{ij} . Mais ils ne fournissent aucune information sur le module G_{12} de déformation transversale. Faute de recherches expérimentales sur ce point, la plupart des auteurs conviennent d'admettre que G_{12} peut être rapporté aux autres coefficients du matériau, si l'on suppose que le comportement sous un effort de cisaillement pur peut être élargi aux autres états de sollicitation. Cette supposition dans le cas des matériaux isotropes nous amène à adopter une expression de la forme : $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$. Par une pareille démarche, nous obtenons pour les matériaux orthotropes :

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{1}{E_1} + \frac{2\nu_{12}}{E_1} + \frac{1}{E_2} \quad \text{ou bien, ce qui revient au même :}$$

$$G_{12} = \frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2 + 2\nu_{12} E_2} = \frac{E_1}{(\nu_{12}/\nu_{21}) + 1 + 2\nu_{12}} \quad (6)$$

Les équations 5) et 6), nous permettent d'écrire la relation incrémentale (4) en fonction E_1, ν_{12} et ν_{21} seulement :

$$\begin{Bmatrix} d\varepsilon_1 \\ d\varepsilon_2 \\ d\gamma_{12} \end{Bmatrix} = \frac{1}{E_1} \begin{bmatrix} 1 & -\nu_{12} & 0 \\ -\nu_{12} & \nu_{12}/\nu_{21} & 0 \\ 0 & 0 & 1 + 2\nu_{12} + \nu_{12}/\nu_{21} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d\sigma_1 \\ d\sigma_2 \\ d\tau_{12} \end{Bmatrix} \quad (7)$$

et par inversion de la matrice :

$$\begin{Bmatrix} d\sigma_1 \\ d\sigma_2 \\ d\tau_{12} \end{Bmatrix} = [D^*]_T \begin{Bmatrix} d\varepsilon_1 \\ d\varepsilon_2 \\ d\gamma_{12} \end{Bmatrix} \quad \text{avec } [D^*]_T = \frac{E_1}{1-\nu_{12}\nu_{21}} \begin{bmatrix} 1 & \nu_{21} & 0 \\ \nu_{21} & \nu_{21}/\nu_{12} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu_{12}\nu_{21}}{4+2\nu_{12}+\frac{\nu_{12}}{\nu_{21}}} \end{bmatrix}$$

(8)

— Pour la zone à comportement linéaire, la matrice $[D^*]_T$ prend la forme propre aux matériaux isotropes :

$$[D^*]_T = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu^2}{2(1+\nu)} \end{bmatrix} \quad (9)$$

avec

$$E = E_0 \quad \text{et} \quad \nu = \begin{cases} 0.4 \nu_0 & , \text{ pour le béton en bitraction} \\ \nu_0(0.4 - 0.05/\alpha) & , \text{ pour le béton en C-T et } -\infty < \alpha < -0.5 \end{cases}$$

— Dans la zone à comportement non-linéaire, les modules E_i et ν_{ij} doivent être obtenus à partir des lois σ - ε , dont l'expression analytique a été obtenue dans le paragraphe 3.4.2.3 (expressions (IV-a) et (IV-b)).

Les équations (4), (4') et (5) donnent :

$$d\varepsilon_1 = \frac{d\sigma_1 - \nu_{12} d\sigma_2}{E_1}$$

$$d\varepsilon_2 = \frac{d\sigma_2 - \nu_{21} d\sigma_1}{E_2} \quad , \text{ avec } \nu_{12} E_2 = \nu_{21} E_1$$

$$d\varepsilon_3 = -\frac{\nu_{13}}{E_1} d\sigma_1 - \frac{\nu_{23}}{E_2} d\sigma_2$$

L'hypothèse h) du paragraphe précédent, nous permet de réduire de deux le nombre d'inconnues : $\nu_{13} = \nu_{12}$ et $\nu_{23} = \nu_{21}$, l'équation (4') devient alors :

$$d\varepsilon_3 = -\frac{\nu_{12}}{E_1}(d\sigma_1 + d\sigma_2) = -\frac{\nu_{21}}{E_2}(d\sigma_1 + d\sigma_2),$$

et en supposant une augmentation proportionnelle de la charge :

$$\sigma_2 = \sigma_1 \alpha \rightarrow d\sigma_2 = \alpha d\sigma_1, \text{ donc}$$

$$d\varepsilon_2 = \frac{(1 - \nu_{12}\alpha)}{E_1} d\sigma_1 \quad ; \quad d\varepsilon_3 = \frac{(\alpha - \nu_{21})}{E_2} d\sigma_1 \quad ;$$

$$d\varepsilon_3 = -\frac{\nu_{12}(1+\alpha)}{E_1} d\sigma_1 = -\frac{\nu_{21}(1+\alpha)}{E_2} d\sigma_1,$$

ou bien, ce qui revient au même :

$$\frac{d\sigma_1}{d\varepsilon_2} = C_1 = \frac{E_1}{(1 - \nu_{12}\alpha)}$$

$$\frac{d\sigma_1}{d\varepsilon_3} = C_2 = \frac{E_2}{\alpha - \nu_{21}}$$

et

$$\frac{d\sigma_1}{d\varepsilon_3} = C_3 = -\frac{E_1}{(1+\alpha)\nu_{12}}$$

$$\frac{d\sigma_1}{d\varepsilon_3} = C_3 = -\frac{E_2}{(1+\alpha)\nu_{21}}$$

et en résolvant les deux systèmes d'équations :

$$\boxed{E_1^T = -\frac{C_2 C_3 (1+\alpha)}{C_1 \alpha - C_3 (1+\alpha)}$$

$$\nu_{12}^T = \frac{C_1}{C_1 \alpha - C_3 (1+\alpha)}$$

et

$$\boxed{E_2^T = -\frac{\alpha C_2 C_3 (1+\alpha)}{C_2 - C_3 (1+\alpha)}$$

$$\nu_{21}^T = \frac{C_3 \alpha}{C_2 - C_3 (1+\alpha)}$$
(10)

expressions qui vérifient la condition 5) : $\frac{\nu_{12}}{E_1} = \frac{\nu_{21}}{E_2} = -\frac{1}{C_3(1+\alpha)}$

Les coefficients C_1 , C_2 et C_3 sont fonction du rapport α entre les contraintes principales et de l'état de chargement (défini par les valeurs des déformations ε_i). Ils sont obtenus à partir des approximations analytiques des lois expérimentales $\sigma_1 - \varepsilon_i$ de KUPFER (expressions (IV) du paragraphe 3.4.2.3) :

$$c_i = \frac{d\sigma_i}{d\varepsilon_i} = \frac{E_i^* (1 - (\varepsilon_i/\varepsilon_{iu})^2) \gamma(\alpha)}{\left[1 + \left(\frac{E_i^* \varepsilon_{iu}}{\sigma_{1u}} - 1 - \gamma(\alpha) \right) \left(\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{iu}} \right) + \gamma(\alpha) \left(\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{iu}} \right)^2 \right]^2}$$

avec $E_1^* = \frac{E_0}{1 - \nu_0 \alpha}$, $E_2^* = \frac{E_0}{\alpha - \nu_0}$ et $E_3^* = -\frac{E_0}{(1 + \alpha) \nu_0}$ (11)

Dans le cas $\alpha = \nu_0$, pour lequel l'expression 11) donne $c_3 = \infty$, les valeurs de ν_{21}^T et E_2^T sont pris comme suit :

$$\nu_{21}^T = \alpha = \nu_0 \quad E_2^T = \frac{E_1^T \alpha}{\nu_{12}^T} = \frac{E_1^T \nu_0}{\nu_{12}^T} \quad (12)$$

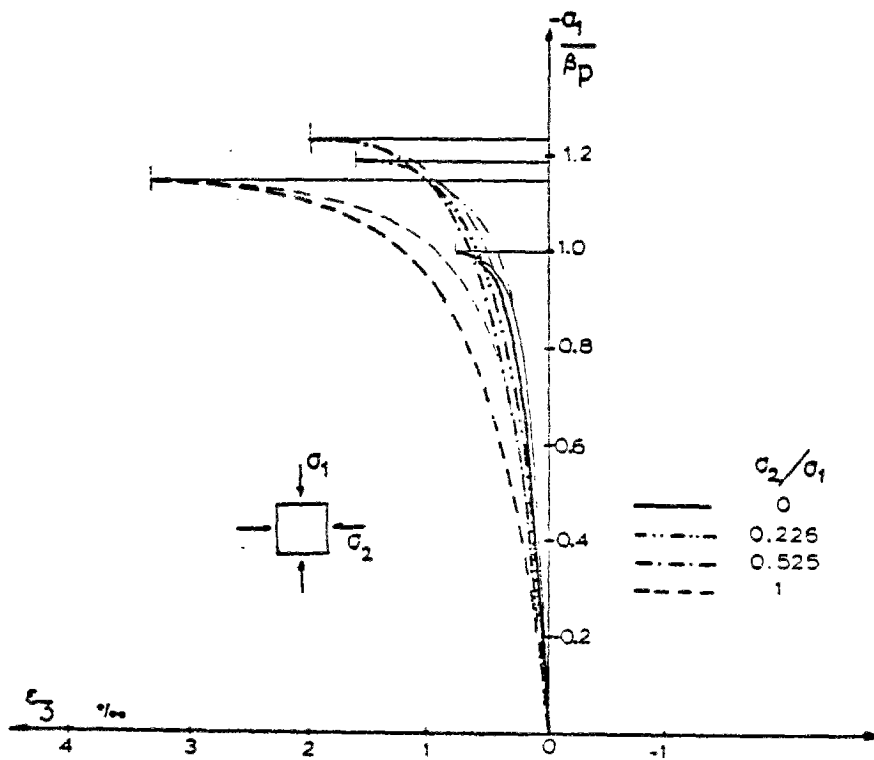


FIG 3.16

(les courbes fines correspondent aux essais KUPFER)

Dans le cas $\alpha = 0$, pour le calcul de ν_{21}^T et E_2^T nous prenons $\alpha = 0.01$, ce qui nous évitera des problèmes numériques.

L'autre possibilité de singularité numérique, $\alpha = -1$, ne se produit pas puisque, tel qu'on la déjà vu, pour $\alpha < -0.5$, le béton est supposé linéaire, élastique et isotrope, et par conséquent la matrice $[D^*]_T$ est donnée par l'expression (9).

— Dans la fig 3.16 nous présentons l'approximation analytique des lois $\sigma_1 - \epsilon_3$. Ici, la concordance avec les résultats expérimentaux est moins bonne que celle qu'on avait pour $\sigma_1 - \epsilon_1$ et $\sigma_1 - \epsilon_2$ (voir fig.3.14 et 3.15). D'autre part, l'hypothèse h), qui nous a permis d'établir $\nu_{12} = \nu_{13}$ et $\nu_{21} = \nu_{33}$, est assez discutable. Or, étant donné que les conditions $\frac{d\sigma_1}{d\epsilon_1} = c_1$ et $\frac{d\sigma_1}{d\epsilon_2} = c_2$ ont été imposées dans l'obtention des coefficients E_{ij}^T et ν_{ij}^T , nous pouvons être certains que les valeurs obtenues d'après (10), introduites dans le modèle incrémental (8), assurent que celui-ci représente parfaitement le "comportement tangent du béton dans son plan, sous une augmentation proportionnelle de la sollicitation biaxiale", que nous considérons défini par les courbes expérimentales de KUPFER.

3.4.3.3. - Expression de $[D]_T$ en coordonnées globales. -

Nous venons donc d'obtenir une expression qui relie les augmentations des déformations et des contraintes principales, expression qui doit être rapportée au système de référence globale.

Nous avons donc, $\{\Delta\sigma_{princ}\}^e = [D^*]_T^e \{\Delta\epsilon_{princ}\}^e$,
avec $[D^*]_T$ donnée par les expressions (8) à (12).

Si nous passons au système de référence globale :

$$\{\Delta\sigma\}^e = [T^*]_T^e \{\Delta\sigma_{princ}\}^e = [T^*]_T^e [D^*]_T^e \{\Delta\epsilon_{princ}\}^e = [T^*]_T^e [D^*]_T^e [T^*]_T^{eT} \{\Delta\epsilon\}^e$$

$$[T^*]_T^e \text{ étant : } \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & -2sc \\ s^2 & c^2 & 2sc \\ sc & -sc & c^2 - s^2 \end{bmatrix}$$

$$c = \cos \alpha' \quad ; \quad s = \sin \alpha'$$

et α' l'inclinaison des directions principales : $\alpha' = \frac{1}{2} \text{arc. tg} [2\tau_{xy}/(\sigma_x - \sigma_y)]$.

Toutes ces matrices sont différentes pour chaque élément et fonctions de l'état de contraintes à chaque instant.

3.4.4. - Obtention de la matrice $[D]_T$ pour le béton fissuré. -

— A partir du moment où des tractions inadmissibles apparaissent à l'intérieur d'un élément, celui-ci est supposé traversé par une série de fissures parallèles, dont la direction est normale à celle de la contrainte principale de traction au moment précis de la fissuration.

L'application adéquate d'une telle méthode exige deux conditions :

a) Un bon découpage de la maille dans les zones où les fissures apparaissent. Cela ne découle pas seulement du fait que l'on suppose la fissuration étendue à tout l'élément, mais aussi par suite des fortes variations et redistributions de contraintes, qui se produisent aux alentours des zones fissurées.

b) Effectuer de petits incréments de la charge au moment de la fissuration. Etant donné que la direction des fissures est fixée selon les directions des contraintes principales de l'élément au moment où la fissure est décelée, c'est-à-dire, à la fin d'une étape de chargement, si nous appliquons de fortes augmentations des charges, nous risquons ainsi d'obtenir une contrainte principale de traction dont la direction s'éloigne de celle qu'on aurait sous la charge pour laquelle la fissure apparaît réellement.

— Si au moment de la fissuration σ_x est la traction principale la plus grande, l'élément est désormais considéré comme décomposé en une série

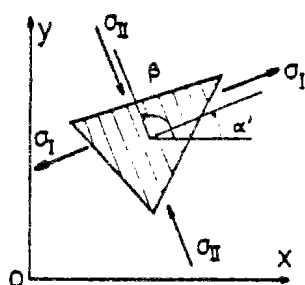


FIG 3.17

de fibres ou de petites colonnes dans la direction β (celle de σ_{1x}) (fig 3.17), sans liaison entre elles. L'élément aura, donc, une raideur nulle dans la direction α' normale aux fissures. Dans l'autre sens β , le béton travaillera sous une sollicitation uniaxiale.

La matrice $[D^*]$ tangente, rapportée aux coordonnées locales, aura la forme :

$$\begin{Bmatrix} d\sigma_x \\ d\sigma_{xz} \\ d\tau \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & E_t & 0 \\ 0 & 0 & A \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d\varepsilon_x \\ d\varepsilon_{xz} \\ d\gamma \end{Bmatrix} \quad , \text{ la matrice } [T] \text{ qui}$$

assure le passage aux coordonnées globales sera celle du paragraphe précédent, mais calculée en prenant α' égal à l'angle de la direction normale aux fissures.

E_t sera le module d'élasticité tangent du béton, sous une sollicitation uniaxiale de compression, si $\varepsilon_{xx} < 0$, ou de traction, si $\varepsilon_{xx} > 0$.

Si au cours d'une augmentation postérieure de la charge, la déformation ε_{xx} dépasse la limite à traction, l'élément sera désormais considéré fissuré dans les deux directions, avec une matrice $[D^*]_T = 0$

— Le coefficient 'A' de la matrice $[D^*]_T$ essaye de donner au modèle une certaine rigidité vis-à-vis des déformations transversales, pour ainsi tenir compte de l'engrènement entre le béton des deux côtés de la fissure. Faute de données sur ce point, nous avons adopté arbitrairement l'expression proposée par CEDOLIN (réf 29), laquelle fait décroître la valeur de 'A' au fur et à mesure que la déformation de l'élément dans le sens normal aux fissures augmente :

$$A = 0.15 E_0 [1 - \varepsilon_x / 0.004]$$

— Dans la modèle proposé, les fissures ne sont pas considérées comme localisées, mais étendues sur tout l'élément. Mais, par le biais du mécanisme d'adhérence, une partie de la sollicitation prise par l'acier

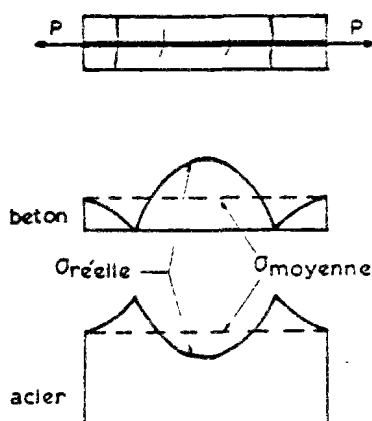


FIG. 3.18

(lequel prend tout l'effort aux points fissurés) est transmise au béton dans la zone entre fissures (fig 3.18). Au fur et à mesure de l'accroissement des déformations, les fissures se multiplient et le béton collabore de moins en moins.

Pour représenter convenablement la déformabilité réelle des éléments

fissurés, il faut donc tenir compte de la participation du béton tendu en phase fissurée. Le comportement moyen d'un élément fissuré peut être obtenu de manière approchée en considérant une courbe de déchargement progressif qui tend vers zéro à la plastification de l'acier tendu (fig 3.19) :

$$\sigma_z = \sigma_{zR} \frac{(\epsilon_f - \epsilon)^2}{(\epsilon_f - \epsilon_{zR})^2},$$

où σ_{zR} et ϵ_{zR} sont les

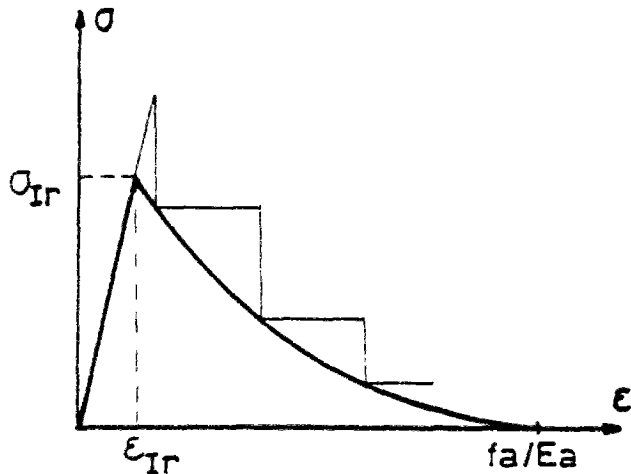


FIG 3.19

en direction normale aux fissures : $\frac{d\sigma_z}{d\epsilon_z} = 0$

— Quoique le programme ne considère pas de déchargements, les fortes redistributions des contraintes entraînées par la fissuration, peuvent produire des fermetures des fissures dans certaines zones très localisées. Le programme utilise toujours pour le déchargement le même diagramme $\sigma-\epsilon$ de la fig 3.19.

Les imprécisions que cela comporte ne sont pas importantes puisque, lors de l'exécution, nous avons constaté que très peu d'éléments en sont affectés et qu'il s'agit toujours des éléments qui venaient de se fissurer.

3.5. - La matrice de raideur $[K]_T$ globale.

3.5.1. - Obtention

— Une fois que les matrices $[D]_T^e$ des différents éléments sont connues, les matrices de raideur $[k]_T^e$ peuvent être évaluées à partir des expressions montrées dans les paragraphes 3.3.3, 3.3.4, et 3.3.5.

L'équation d'équilibre globale de la structure a la forme: $\{\Delta R^e\} = [K]_T \{\Delta \delta\}$

avec

$$\{\Delta R^e\} = \begin{Bmatrix} \Delta F_{x1} \\ \Delta F_{y1} \\ \vdots \\ \Delta F_{xNp} \\ \Delta F_{yNp} \end{Bmatrix}, \text{ et } \{\Delta \delta\} = \begin{Bmatrix} \Delta u_1 \\ \Delta v_1 \\ \vdots \\ \Delta u_{Np} \\ \Delta v_{Np} \end{Bmatrix}$$

N_p = nombre total de noeuds.

La matrice de raideur globale $[K]_T$ est obtenue par assemblage

des matrices de raideur des différents éléments: $[K_{lm}]_T = \sum [k_{lm}]_T^e$.

Le terme k_{lm} existera seulement au cas où $l = m$ ou bien si 'l' et 'm' sont des points nodaux adjacents, c'est-à-dire, reliés par l'intermédiaire d'un élément commun aux deux noeuds.

— Quand la matrice de raideur globale est obtenue, on effectue les modifications nécessaires pour tenir compte des conditions aux limites: Si le déplacement u_j (ou v_j) d'un certain point nodal 'j' est considéré comme fixe et égal à une certaine valeur α , il faut modifier le terme diagonal de la ligne de la matrice raideur qui correspond au déplacement contraint, en le multipliant par une quantité très grande:

$K_{11} = K_{11} \cdot 10^{20}$, $l = 2j - 1$ (ou $2j$), et modifier en même temps le terme du vecteur charges: $F_u = F_u \cdot 10^{20} \cdot \alpha$, de façon à obtenir au moment de la résolution du système,

$$u_j \text{ (ou } v_j) = \alpha.$$

3.5.2. - Stockage de la matrice $[K]_T$ globale. -

— La matrice $[K]_T$ est de dimension très élevée: $4 N_p^2$, mais une grande partie de ses termes sont nuls:

$$\begin{Bmatrix} \Delta F_{x1} \\ \Delta F_{y1} \\ \vdots \\ \Delta F_{xNp} \\ \Delta F_{yNp} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K'_{11} & \dots & K'_{1Np} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ K'_{Np1} & \dots & K'_{NpNp} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta u_1 \\ \Delta v_1 \\ \vdots \\ \Delta u_{Np} \\ \Delta v_{Np} \end{Bmatrix}$$

les K'_{ij} sont des sous matrices de dimensions 2×2 qui sont nulles pour tous le i, j tels que $i \neq j$, et tels que i et j ne sont pas reliés par un élément commun.

— Il est donc possible d'éviter le stockage de tous les éléments de la matrice $[K]_T$.

Si l'on suppose un nombre maximal de 29 points nodaux connectés à un point donné, nous avons un maximum de $2 \times (29 + 1) = 60$ termes qui peuvent être non nuls pour chaque ligne de la matrice $[K]_T$, laquelle peut donc être emmagasinée comme une matrice SM ($2 \times N_p, 60$). Cette matrice, étant trop grande pour être conservée dans la mémoire centrale de l'ordinateur, est stockée par lignes dans le disque :

SM (1,1) ... SM (1,60), SM (2,1) SM (2,60)..... SM ($2N_p,1$) ... SM ($2N_p,60$).

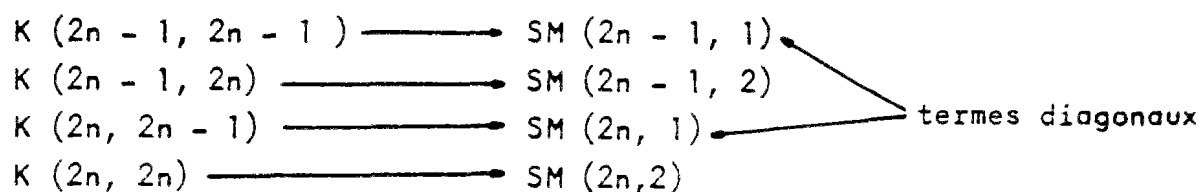
—Une matrice de localisation ISP ($NP,30$) s'avère donc nécessaire pour le repérage des colonnes de $[K]_T$, qui correspondent aux termes stockés dans SM. Cette matrice, nous l'avons défini comme suit :

ISP (n,k) = j, implique que les éléments stockés dans

SM (m,l), avec $\begin{cases} m = 2n - 1, 2n \\ l = 2k - 1, 2k \end{cases}$

correspondent aux éléments $K(p, q)$, avec $\begin{cases} p = 2n - 1, 2n \\ q = 2j - 1, j \end{cases}$, de la matrice de raideur de la structure.

Pour $k = 1$, nous faisons toujours $j = n \longrightarrow$ ISP ($n,1$) = n. Par conséquent, les termes diagonaux ont une localisation immédiate :



3.6. - Résolution du système

Nous avons mis au point une méthode de résolution basée dans la méthode dite des "matrices clairesemées" (voir ZIENKIEWICZ, réf 15), qui ne constitue qu'une variante de la méthode d'élimination de Gauss aux cas où le matrice de raideur est stockée sous forme compacte, c'est-à-dire, sans les éléments nuls.

Cela nous permet, grâce à l'utilisation d'une matrice de localisation, de ne travailler qu'avec les sous matrices non-nulles, ce qui entraîne une réduction importante du temps de calcul et, surtout, du nombre de

variables stockées, condition indispensable étant donnée la petite capacité de l'ordinateur utilisé. Il faut remarquer que la méthode d'élimination crée de sous matrices non nulles à des emplacements où précédemment il n'y avait que des zéros. La méthode entraîne donc des modifications au sein des matrices SM et ISP avec l'apparition de liaisons entre des noeuds qui ne sont pas reliés par le découpage. Il en découle le besoin de prévoir la possibilité d'une forte augmentation du nombre de connexions d'un certain noeud, en fixant la limite avec une marge suffisante (on a établi un maximum de 29 noeuds connectés à chaque noeud).

L'impossibilité de garder en mémoire centrale les matrices SM et ISP nous a obligé à mettre au point une méthode, nous permettant de mener d'une façon simple le contrôle sur le grand nombre de transferts qui ont lieu entre la mémoire centrale de l'ordinateur et les périphériques. Cela est fait par l'intermédiaire des sousroutines 'BWR' et 'SWO' (voir les 'listings' dans les annexes)

3.7. - Calcul des contraintes. -

3.7.1. - Évaluation des forces non équilibrées. -

— Une fois que le système d'équations est résolu, nous connaissons les $\{\Delta\delta\}$ correspondants à l'augmentation de la charge que l'on vient d'appliquer.

A partir des $\{\Delta\delta\}$, il est possible d'obtenir les augmentations des contraintes et des déformations : $\{\Delta\sigma\}^e = [D]_T^e [B]^e \{\Delta\delta\}^e$ et $\{\Delta\varepsilon\}^e = [B]^e \{\Delta\delta\}^e$ dans tous les éléments, augmentations qui sont accumulées sur les vecteurs de contraintes et de déformations totales

$$\{\sigma\}^e = \{\sigma\}^e + \{\Delta\sigma\}^e \text{ et } \{\varepsilon\}^e = \{\varepsilon\}^e + \{\Delta\varepsilon\}^e .$$

— C'est maintenant que, à partir des diagrammes théoriques adoptés pour reproduire les comportements des matériaux, nous pouvons obtenir les contraintes théoriques $\{\sigma^*\}^e$ qui régissent dans l'élément quand les déformations de celui-ci sont $\{\varepsilon\}^e$. Par différence entre les contraintes calculées et les théoriques, nous obtenons les contraintes "non-équilibrées" : $\{\sigma'\}^e = \{\sigma\}^e - \{\sigma^*\}^e$, lesquelles entraînent l'apparition

des forces nodales "non-équilibrées" : $\{F_n\}^e = \int_e [B]^{eT} \{\sigma'\}^e dVol.$
 qui doivent être réappliquées sur la structure, tant que les valeurs des $\{\sigma'\}^e$ ne soient pas négligeables.

Nous avons utilisé comme critère de convergence que les contraintes non équilibrées ne dépassent pas un certain pourcentage des contraintes théoriques $\{\sigma^*\}^e$.

— Une fois que les contraintes $\{\sigma'\}^e$ sont évaluées, les contraintes théoriques $\{\sigma^*\}^e$ deviennent les contraintes de calcul de l'élément, c'est-à-dire, on fait : $\{\sigma\}^e = \{\sigma^*\}^e$.

— Dans les éléments d'acier, le calcul des $\{F_n\}$ ne pose guère de problèmes :
 $\{F_n\}^e = [T]^{eT} \{F_n^*\}^e = [T]^{eT} [B]^{eT} \{\sigma'\}^e \cdot S_\phi \cdot L$
 et en opérant

$$\{F_n\}^e = \begin{Bmatrix} -\cos \alpha \\ -\sin \alpha \\ \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{Bmatrix} \{\sigma'\}^e S_\phi, \quad \alpha \text{ étant l'inclinaison}$$

de l'élément (fig 3.5), et $\{\sigma'\}^e$ étant calculée par rapport au système de référence local.

— Dans les éléments de béton, nous trouvons quelques problèmes :

$$\{F_n\}^e = e \Delta [B]^{eT} \{\sigma'\}^e \quad \text{avec,}$$

$\{\sigma'\}^e = \{\sigma\}^e - [T^*]^e \{\sigma^*\}^e$ où $\{\sigma'\}^e$ est rapportée au système globale,
 $\{\sigma^*\}^e$ au système locale, c'est-à-dire, aux directions principales,
 et $[T^*]^e$ est celle du paragraphe 3.4.3.3.

$\{\sigma^*\}^e$ est le vecteur des contraintes principales théoriques qui correspondent, d'après les lois de comportement du béton choisies, aux déformations principales calculées : $\{\epsilon^*\}^e = [T]^e \{\epsilon\}^e$

Si les éléments sont fissurés, la direction de fissuration et sa normale se substituent aux directions principales.

— Un problème numérique surgit au moment du calcul des contraintes principales théoriques correspondantes aux déformations principales obtenues par le calcul. Le problème réside dans le fait que les courbes

$\sigma - \varepsilon$ sont fonction du rapport α entre les deux contraintes principales. Or, celles-ci sont précisément les valeurs à obtenir. Il s'avère donc indispensable l'utilisation d'une méthode itérative :

On commence pour une première approximation $\alpha = \alpha_0 = \frac{\bar{\sigma}_2}{\bar{\sigma}_1}$, $\bar{\sigma}_1$ et $\bar{\sigma}_2$ étant

les valeurs des contraintes principales obtenues d'après le calcul. Si α_0 est en dehors de la zone linéaire, il faut itérer :

- Si $\varepsilon_1 < \varepsilon_2 < 0$, on est dans la zone de bicompression : $0.2 < \alpha < 1$

- Si $\varepsilon_1 < 0 < \varepsilon_2$, on est dans le domaine : $-0.5 < \alpha < 0.2$

Les itérations sont effectuées en cherchant une solution de l'équation :

$\Psi(\alpha) = 0$, avec $\Psi(\alpha) = \sigma_1(\varepsilon_1, \alpha) - \sigma_2(\varepsilon_2, \alpha)$. Les $\sigma_i(\varepsilon_i, \alpha)_{i=1,2}$ sont obtenues d'après (IV-a) et (IV-b).

Au cas où l'on ne parvient pas à trouver une solution dans l'intervalle correspondant, l'élément sera considéré comme :

a) Soit fissuré en direction normale à la plus grande traction, si le béton est en bitraction ou en traction-compression avec $-\infty < \alpha_0 < -1/15$.

b) Soit rompu par compression, si le béton est en bicompression ou en compression-traction avec $-1/15 < \alpha_0 < 0$

La valeur $-1/15$ est établie d'après la figure 8 de l'annexe A

3.7.2. - Evaluation des contraintes aux noeuds des éléments. -

Pour le type d'éléments utilisés, les contraintes et les déformations ont été supposées constantes à l'intérieur de l'élément. Nous pouvons les affecter, de façon approchée, au centre de gravité de l'élément.

L'évaluation des contraintes aux noeuds doit se faire à partir de celles des éléments dont le noeud en question fait partie. Nous allons calculer la moyenne en pondérant différemment la contribution des divers éléments adjacents, en fonction de sa forme géométrique (réf 30) :

$$\sigma_x^{(e)} = \frac{1}{S_x} \sum_n \frac{a(n)}{a(n)+b(n)} \sigma_{x(n)}$$

$$\sigma_y^{(e)} = \frac{1}{S_y} \sum_n \frac{b(n)}{a(n)+b(n)} \sigma_{y(n)}$$

$$\tau_{xy}^{(e)} = \frac{1}{N} \sum_n \tau_{xy(n)}$$

avec

$$S_x = \sum_n \frac{a(n)}{a(n)+b(n)}$$

$$S_y = \sum_n \frac{b(n)}{a(n)+b(n)}$$

$$a(n) = |x_i^{(n)} + x_j^{(n)} + x_k^{(n)} - 3x_e^{(n)}|$$

$$b(n) = |y_i^{(n)} + y_j^{(n)} + y_k^{(n)} - 3y_e^{(n)}|$$

où la \sum s'étend aux N éléments connectés au point nodal '1'.

3.8. - Programme de calcul bidimensionnel. -

Un programme de calcul par ordinateur 'ELF' a été mis au point dans le cadre de cette étude. Ce programme permet un découpage en 600 éléments, avec un maximum de 400 points nodaux, et 100 points nodaux aux mouvements empêchés. Du fait de la petite capacité (28 K accessibles) de l'ordinateur utilisé, un Hewlett-Packard (série 2100), nous avons dû faire un fort découpage du programme et, en même temps, une grande quantité de résultats intermédiaires et de variables n'ont pas pu être gardés en mémoire centrale et ont été stockés sur disque :

a) Les matrices de raideur $RK(6,6)$ partielles de chaque élément.

b) Les matrices $DB(3,6)$, produit des matrices $[D]_T [B]$ qui nous permettent le calcul des $\{\Delta\sigma\}$ à partir des $\{\Delta\delta\}$:

$$\{\Delta\sigma\} = [DB] \{\Delta\delta\}.$$

c) La matrice $[K]_T$ globale, stockée sous forme compacte : $SM(2N_p, 60)$.

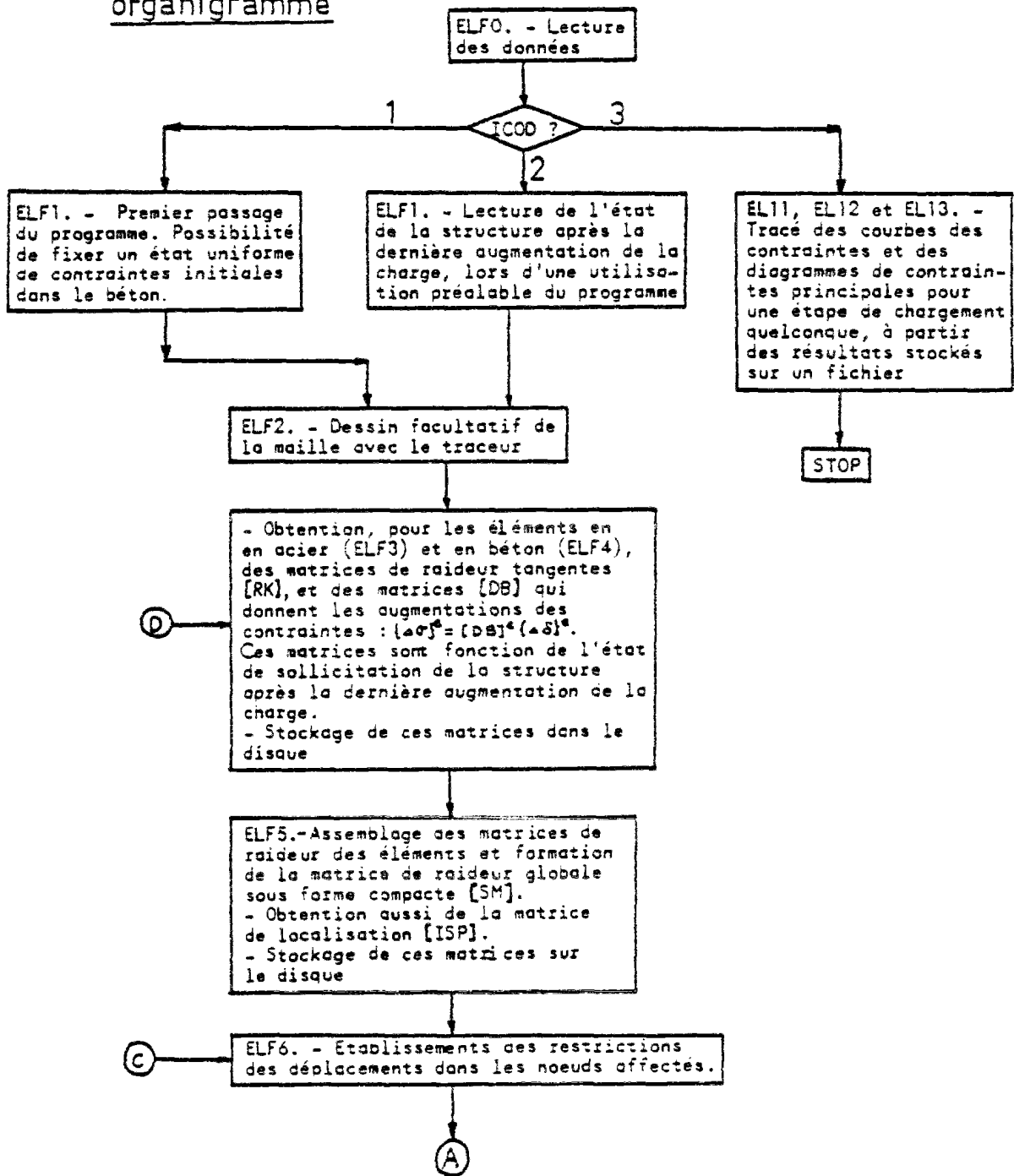
d) La matrice $ISP(30, N_p)$ de localisation des termes stockés sur SM .

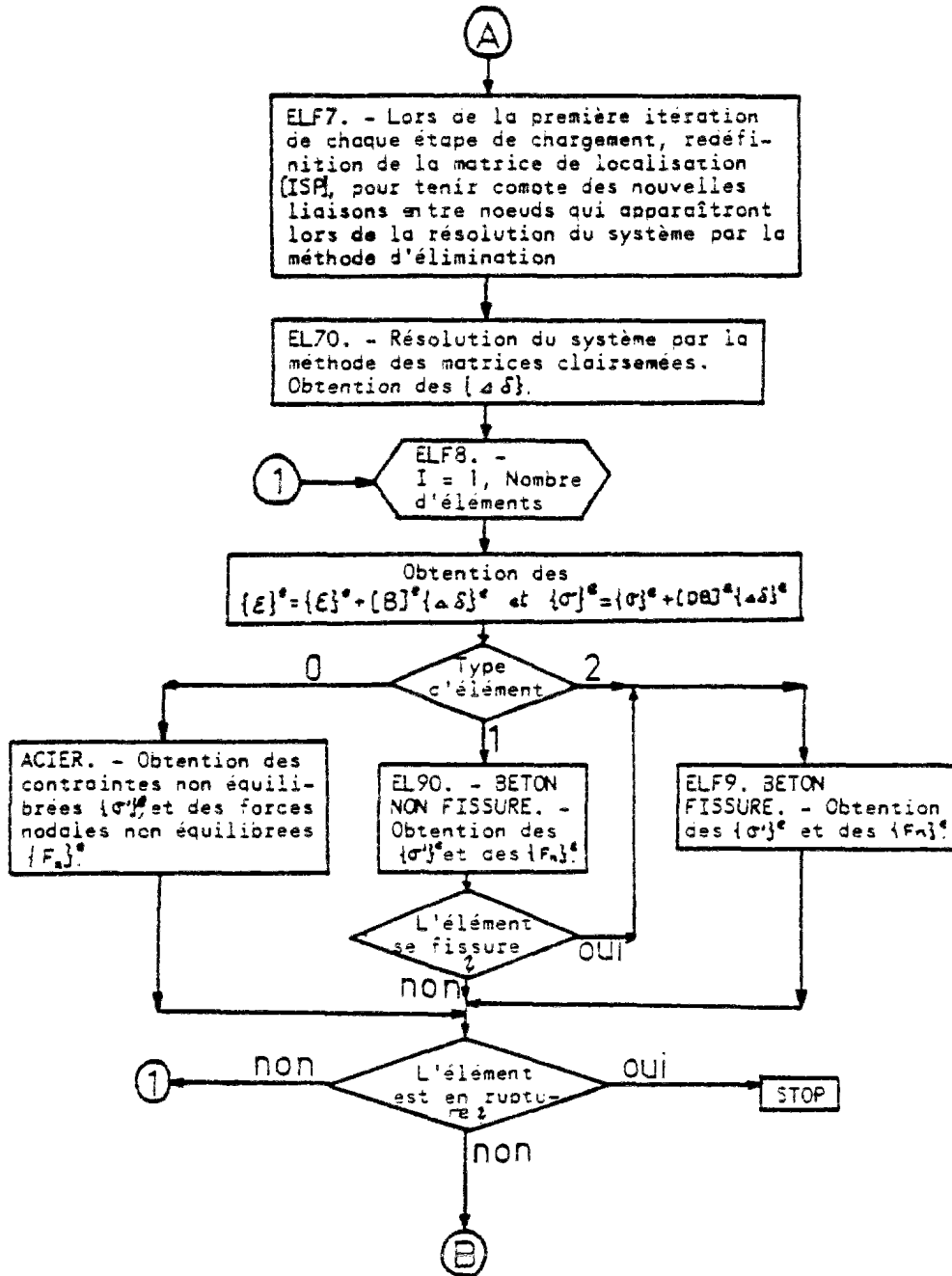
e) Une matrice auxiliaire $TM(2N_p, 60)$ nécessaire pour la résolution du système d'équations.

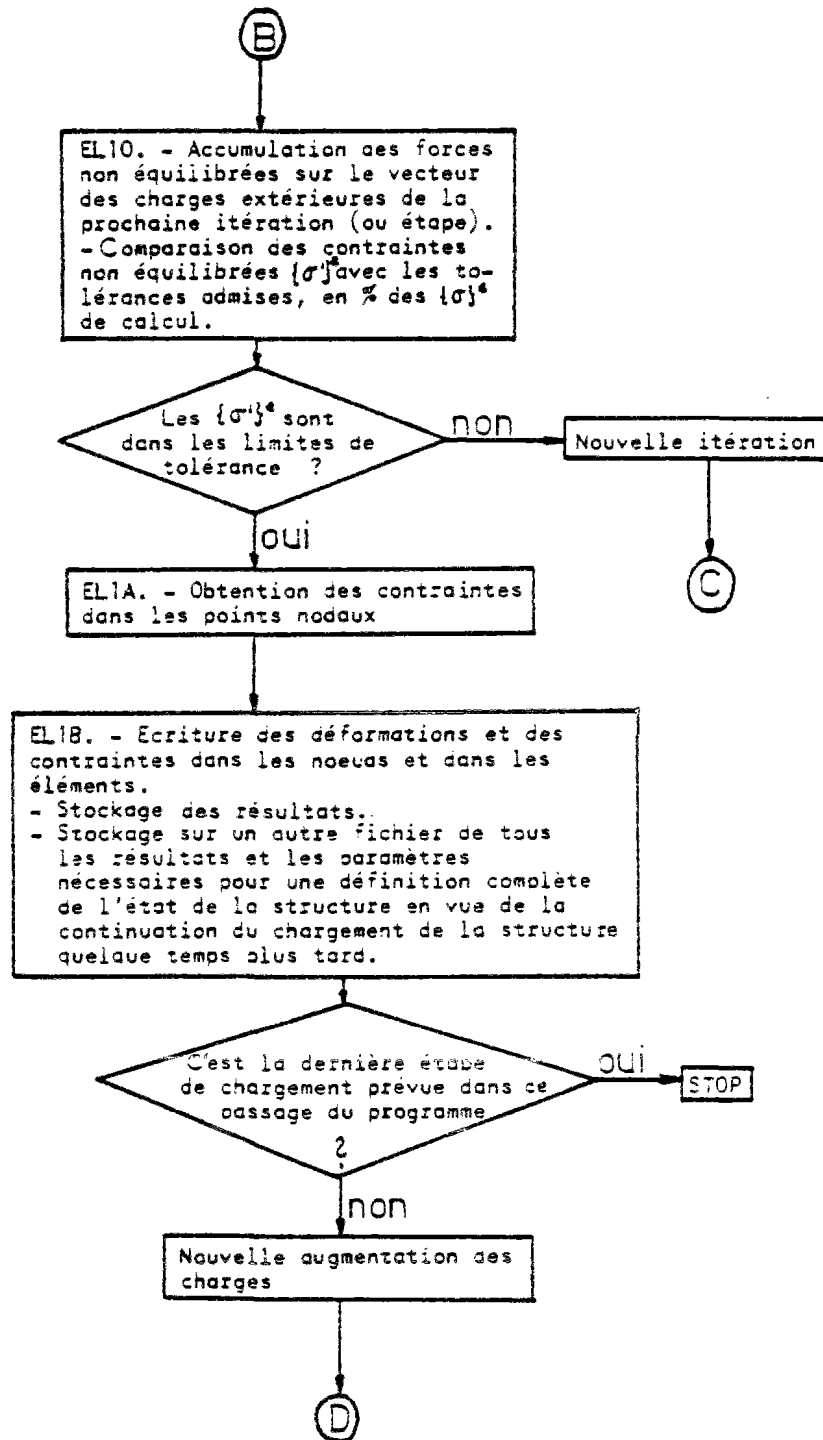
Les sous-routines 'BWR' et 'SWO' nous permettent de réaliser avec rapidité et simplicité toute sorte de transférences mémoire centrale-disque.

Dans l'annexe C, on trouve les listings avec la programmation du programme 'ELF' dont l'organigramme est présenté ci-après.

organigramme







B) ETUDE COMBINEE DES EFFORTS PLANS ET DE FLEXION. -

3.9. - Généralités. -

L'étude non élastique faite par la méthode des éléments finis bidimensionnels n'est pas suffisante puisqu'elle ne considère pas la présence de fortes flexions locales qui apparaissent aux alentours du bossage, et qui ont vraisemblablement une forte influence sur le développement des fissures et donc sur le comportement non linéaire de la structure. L'incorporation des phénomènes de flexions est donc indispensable.

Il y a deux principales manières d'envisager le problème :

a) La première part d'une vision macroscopique du problème. Elle est basée dans l'adoption d'une loi empirique moment-courbure qui reflète en quelque sorte le comportement variable du matériau sous une charge croissante.

b) La deuxième suppose l'élément divisé en plusieurs couches, lesquelles doivent vérifier une certaine relation de compatibilité des déformations. Cela permet d'une part la considération séparée du béton et de l'acier, et d'autre part la prise en compte de la variation du comportement des matériaux le long de l'épaisseur de la dalle, en fonction de l'état de déformations en chaque point et à chaque étape du chargement.

Nous avons utilisé cette deuxième méthode, et ceci pour deux raisons importantes :

1 - Elle permet de tenir compte du couplage entre les efforts plans et ceux de flexion, dont nous parlerons plus loin. Ceci est essentiel dans le problème qui nous intéresse.

2 - Elle suppose les couches travaillant sous un état bidimensionnel de contraintes. Cela nous permet d'utiliser le même modèle de comportement du béton que pour le calcul plan.

3.10 - Hypothèses adoptées. -

Les principales hypothèses que nous avons adoptées peuvent être résumées tel que suit :

a) L'épaisseur de la dalle est divisée en couches (fig 3.20). Chaque couche peut avoir des propriétés différentes, mais ces propriétés sont supposées constantes sur l'épaisseur de la couche.

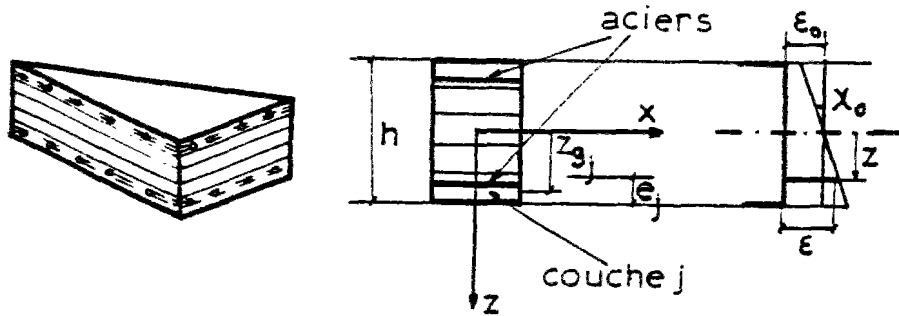


FIG 3.20

b) Nous adoptons les hypothèses de Kirchhoff :

– Les points situés initialement sur une normale au plan moyen de la dalle restent après l'application de la charge sur une normale à la surface moyenne de la plaque déformée.

– Les contraintes normales dans la direction transversale de la dalle (σ_z) sont négligeables.

La première hypothèse nous permet d'obtenir les déformations de chaque couche en fonction des déformations sur le plan moyen de la dalle :

$$\{\epsilon_j\} = \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}_j = \{\epsilon_0\} + [z_{g_j}, z_{g_j}, -z_{g_j}] \{\chi_0\},$$

où z_{g_j} est la coordonnée du centre de gravité de la couche 'j' et

$$\{\epsilon_0\} = \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}_0 \quad \text{et} \quad \{\chi_0\} = \begin{Bmatrix} -\omega_{xx}'' \\ -\omega_{yy}'' \\ 2\omega_{xy}'' \end{Bmatrix}, \quad \text{respectivement les déformations planes}$$

et de flexion au niveau du plan moyen de la dalle (plan de référence).

La deuxième hypothèse nous permet de considérer chaque couche travaillant sous un état de contraintes plan, défini par le vecteur

$$\{\sigma_j\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}_j$$

c) Les couches de béton sont supposées travailler sous un état bi-dimensionnel de contraintes. Les lois σ - ϵ , les critères de rupture et de fissuration, sont traités comme en calcul bidimensionnel.

d) Les aciers passifs ne sont pas pris comme des éléments isolés. Nous considérons deux couches d'acier, proches des faces supérieure et inférieure de la dalle. Le centre de gravité des couches doit correspondre à celui des aciers. L'épaisseur de la couche est calculée de façon à ce que l'on obtienne une quantité d'acier "uniformément distribuée sur toute l'épaisseur de la couche" équivalente à la quantité réelle.

Les aciers sont supposés travailler seulement dans le sens longitudinal. Si l'on considère un ferrailage dont les barres sont disposées orthogonalement suivant les directions 'x' et 'y', les couches d'acier doivent avoir une raideur nulle vis-à-vis des déformations transversale à la couche :

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}_j = \begin{bmatrix} E_x & 0 & 0 \\ 0 & E_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_j \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}_j$$

Nous négligeons la réduction du volume de béton due à la présence des aciers.

e) Nous ne considérons pas de glissements relatifs entre l'acier et le béton.

f) La raideur de l'élément est obtenue par simple addition des raideurs des différentes couches qui le composent.

g) Pour des raisons de capacité d'ordinateur, nous ne considérons pas les éléments des parois latérales du caisson. Nous allons établir, le long de la jonction hourdis-parois, les mêmes conditions de bords que dans la méthode des coupures : déplacements 'v' libres et déplacements 'w', σ_x et σ_y bloqués.

Quant aux déplacements longitudinaux 'u', la prise en compte de la diffusion longitudinale de la précontrainte dans les parois va se faire par l'intermédiaire des appuis élastiques dans les noeuds de la jonction hourdis-parois. La constante élastique de chaque noeud est introduite comme donnée, et obtenue d'après un calcul plan de la structure avec le programme bidimensionnel 'ELF'.

3.11. - Type d'élément utilisé. -

— Nous allons utiliser des éléments triangulaires avec 15 degrés de

liberté, cinq à chaque coin (fig 3.21) : 'u' et 'v' pour l'étude plane et 'w', ' σ_x ' et ' σ_y ' pour la flexion ($\sigma_x = -w'_y$ et $\sigma_y = w'_x$).

— En ce qui concerne l'étude plane, nous allons nous servir du même type d'élément que nous avons utilisé lors de l'étude bidimensionnelle : un élément triangulaire à déformation constante.

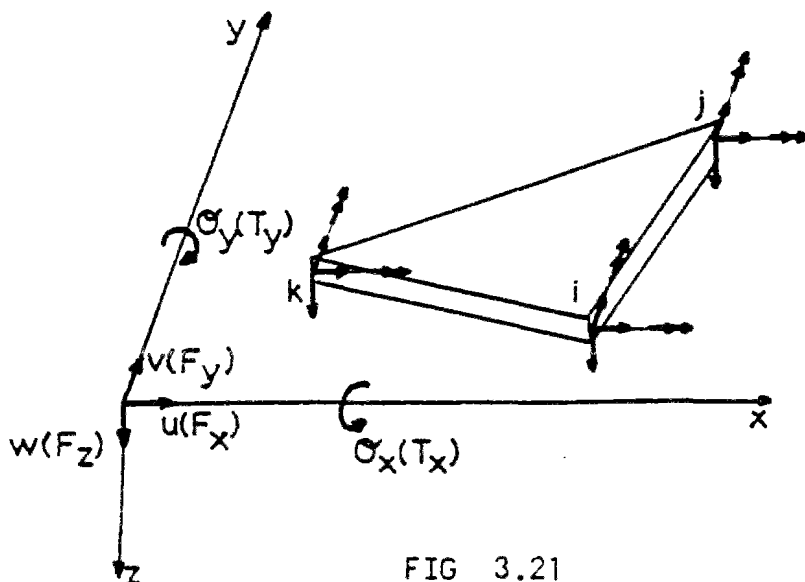


FIG 3.21

— Quant à la flexion, le choix du type d'élément a été imposé par la capacité de l'ordinateur et le temps de calcul : il fallait un élément le plus simple possible ; nous avons choisi l'élément triangulaire non conforme présenté par BAZELEY et autres (réf 31), et utilisé avec succès par CHEUNG, KING & ZIENKIEWICZ (réf 32) dans l'analyse de tabliers de pont.

— La fonction de déplacement à la forme :

$$w = \begin{bmatrix} [L] & + & [N] & [T] \end{bmatrix} \{ \delta \} = [N'] \{ \delta \}$$

$\begin{matrix} [1 \times 9] & & [1 \times 6] & [6 \times 9] & [9 \times 1] \end{matrix}$

avec

$$[\delta]^T = [w_i, \sigma_{x_i}, \sigma_{y_i}, w_j, \sigma_{x_j}, \sigma_{y_j}, w_k, \sigma_{x_k}, \sigma_{y_k}]$$

$$[T] = \begin{bmatrix} \frac{c_i}{2\Delta} & 1 & 0 & \frac{c_j}{2\Delta} & 0 & 0 & \frac{c_k}{2\Delta} & 0 & 0 \\ \frac{-b_i}{2\Delta} & 0 & 1 & \frac{-b_j}{2\Delta} & 0 & 0 & \frac{-b_k}{2\Delta} & 0 & 0 \\ \frac{c_i}{2\Delta} & 0 & 0 & \frac{c_j}{2\Delta} & 1 & 0 & \frac{c_k}{2\Delta} & 0 & 0 \\ \frac{-b_i}{2\Delta} & 0 & 0 & \frac{-b_j}{2\Delta} & 0 & 1 & \frac{-b_k}{2\Delta} & 0 & 0 \\ \frac{c_i}{2\Delta} & 0 & 0 & \frac{c_j}{2\Delta} & 0 & 0 & \frac{c_k}{2\Delta} & 1 & 0 \\ \frac{-b_i}{2\Delta} & 0 & 0 & \frac{-b_j}{2\Delta} & 0 & 0 & \frac{-b_k}{2\Delta} & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

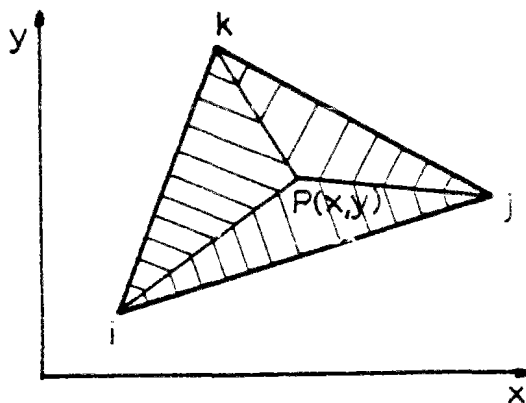
$$[L] = [L_1 \ 0 \ 0 \ L_2 \ 0 \ 0 \ L_3 \ 0 \ 0]$$

$$[N] = [[N_i] \ [N_j] \ [N_k]]$$

$$[N_i]_{[2 \times 1]}^T = \begin{bmatrix} b_k(L_1^2 L_2 + 1/3 L_1 L_2 L_3) - b_j(L_1^2 L_3 + 1/2 L_1 L_2 L_3) \\ c_k(L_1^2 L_2 + 1/3 L_1 L_2 L_3) - c_j(L_1^2 L_3 + 1/2 L_1 L_2 L_3) \end{bmatrix}$$

$[N_j]$ et $[N_k]$ sont obtenues par rotation des indices,

L_1 , L_2 et L_3 sont les coordonnées de surface, définies dans la fig 3.22 ,



$$\begin{aligned} L_1 &= (a_i + b_i x + c_i y) / 2\Delta \\ L_2 &= (a_j + b_j x + c_j y) / 2\Delta \\ L_3 &= (a_k + b_k x + c_k y) / 2\Delta \end{aligned}$$

et finalement,

$$\begin{aligned} a_i &= x_j y_k - x_k y_j ; \quad b_i = y_j - y_k ; \quad c_i = x_k - x_j \\ a_j &= x_k y_i - x_i y_k ; \quad b_j = y_k - y_i ; \quad c_j = x_i - x_k \\ a_k &= x_i y_j - x_j y_i ; \quad b_k = y_i - y_j ; \quad c_k = x_j - x_i \end{aligned}$$

L'obtention et la justification d'une telle fonction de déplacement se trouve dans la référence 31.

FIG 3 22

— La matrice $[B]$ qui relie les déformations et les déplacements est obtenue par dérivation de $[N']$:

$$[B] = \begin{matrix} [3 \times 6] \\ \left[\begin{array}{ccc} -[N'_i]''_{xx} & -[N'_j]''_{xx} & -[N'_k]''_{xx} \\ -[N'_i]''_{yy} & -[N'_j]''_{yy} & -[N'_k]''_{yy} \\ 2[N'_i]''_{xy} & 2[N'_j]''_{xy} & 2[N'_k]''_{xy} \end{array} \right] \end{matrix} = \begin{matrix} [T] \\ [6 \times 9] \\ \left[\begin{array}{ccc} -[N_i]''_{xx} & -[N_j]''_{xx} & -[N_k]''_{xx} \\ -[N_i]''_{yy} & -[N_j]''_{yy} & -[N_k]''_{yy} \\ 2[N_i]''_{xy} & 2[N_j]''_{xy} & 2[N_k]''_{xy} \end{array} \right] \end{matrix}$$

(3 x 9) (3 x 6)

Cette matrice $[B]$ n'est pas constante mais fonction des coordonnées de chaque point. Pour des raisons de simplicité, qui seront étudiées plus loin, nous n'avons besoin que de sa valeur au centre de gravité de l'élément. Si nous prenons l'origine de coordonnées au dit centre :

$$x_g = y_g = 0 \quad , \quad \text{et les coordonnées de surface du c.d.g. :}$$

$$L_1 = L_2 = L_3 = \frac{a}{2\Delta} \quad \text{avec} \quad a = a_i = a_j = a_k$$

D'après les expressions précédentes, la matrice $[B]$ affectée au c.d.g. de l'élément peut être facilement obtenue. Toutes les dérivées qui apparaissent peuvent être groupées en deux classes : celles des fonctions du type $L_i^2 L_j$ et celles de $L_1 L_2 L_3$.

Si l'on tient compte de :

$$\frac{\partial}{\partial x} = \frac{1}{2\Delta} \left(b_1 \frac{\partial}{\partial L_1} + b_2 \frac{\partial}{\partial L_2} + b_3 \frac{\partial}{\partial L_3} \right) \quad ,$$

et

$$\frac{\partial}{\partial y} = \frac{1}{2\Delta} \left(c_1 \frac{\partial}{\partial L_1} + c_2 \frac{\partial}{\partial L_2} + c_3 \frac{\partial}{\partial L_3} \right) \quad ,$$

nous arrivons aux expressions suivantes :

$$\frac{\partial}{\partial x^2} (L_1^2 L_2) = a [2b_1^2 + 4b_1 b_2] \cdot \frac{1}{8\Delta^3} \quad ;$$

$$\frac{\partial}{\partial y^2} (L_1^2 L_2) = a [2c_1^2 + 4c_1 c_2] \cdot \frac{1}{8\Delta^3} \quad ;$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x \partial y} (L_1^2 L_2) = 2a [b_1 c_1 + b_1 c_2 + b_2 c_1] \cdot \frac{1}{8\Delta^3} ;$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x^3} (L_1 L_2 L_3) = 2a [b_1 b_2 + b_2 b_3 + b_3 b_1] \cdot \frac{1}{8\Delta^3} ;$$

$$\frac{\partial^2}{\partial y^2} (L_1 L_2 L_3) = 2a [c_1 c_2 + c_2 c_3 + c_3 c_1] \cdot \frac{1}{8\Delta^3} ;$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x \partial y} (L_1 L_2 L_3) = a [b_1 c_3 + b_2 c_1 + b_3 c_3 + b_3 c_2 + b_3 c_1 + b_1 c_3] \cdot \frac{1}{8\Delta^3} .$$

Celles qui restent sont obtenues par rotation des indices, et la matrice [B] affectée au c.d.g. de l'élément est donc définie.

3.12. - Obtention de la matrice de raideur tangente [K]_r et résolution du problème. -

— Nous utilisons la convention de signes indiquée dans la fig 3.23.

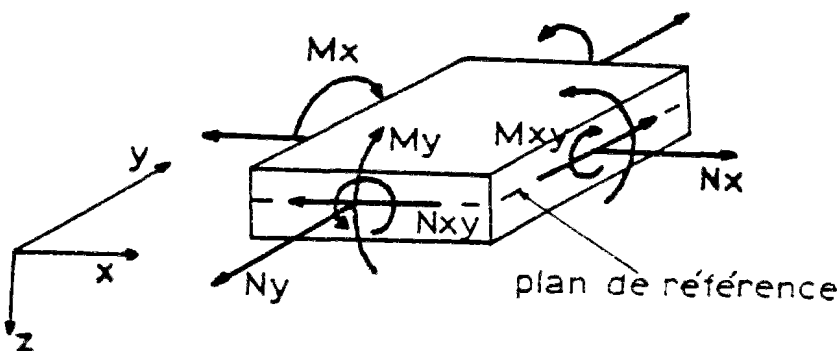


FIG 3.23.

— Nous avons pour chaque élément :

$$\text{- vecteur déplacement : } \left\{ \Delta \delta \right\}^e = \begin{Bmatrix} \Delta \delta_p \\ \Delta \delta_f \end{Bmatrix}^e \text{ où } \left\{ \Delta \delta_p \right\}^e = \begin{Bmatrix} \Delta u_i \\ \Delta v_i \\ \vdots \end{Bmatrix}^e \text{ et } \left\{ \Delta \delta_f \right\}^e = \begin{Bmatrix} \Delta \omega_i \\ \Delta \theta_x \\ \Delta \theta_y \\ \vdots \end{Bmatrix}^e$$

[15×1]
[6×1]
[9×1]

- vecteur de charges :

$$\{\Delta F\}^e = \begin{Bmatrix} \Delta F_p \\ \Delta F_f \end{Bmatrix}^e \quad \text{où} \quad \{\Delta F_p\}^e = \begin{Bmatrix} \Delta F_{pi} \\ \Delta F_{pj} \\ \vdots \end{Bmatrix}^e \quad \text{et} \quad \{\Delta F_f\}^e = \begin{Bmatrix} \Delta F_{fi} \\ \Delta F_{fj} \\ \vdots \end{Bmatrix}^e$$

$[15 \times 1]$ $[6 \times 1]$ $[9 \times 1]$

- vecteur des déformations

au niveau du plan

$$\{\Delta \varepsilon\}^e = \begin{Bmatrix} \Delta \varepsilon_0 \\ \Delta \chi_0 \end{Bmatrix}^e \quad \text{où} \quad \{\Delta \varepsilon_0\}^e = \begin{Bmatrix} \Delta \varepsilon_x \\ \Delta \varepsilon_y \\ \Delta \gamma_{xy} \end{Bmatrix}^e \quad \text{et} \quad \{\Delta \chi_0\}^e = \begin{Bmatrix} -\Delta w''_{xx} \\ -\Delta w''_{yy} \\ 2\Delta w''_{xy} \end{Bmatrix}^e$$

$[6 \times 1]$ $[3 \times 1]$ $[3 \times 1]$

moyen de la plaque :

— Les déformations sont reliés aux déplacements des noeuds selon les expressions :

$$\{\Delta \varepsilon_0\}^e = [B_p]^e \{\Delta \delta_p\}^e \quad \text{et} \quad \{\Delta \chi_0\}^e = [B_f]^e \{\Delta \delta_f\}^e$$

$[3 \times 1]$ $[3 \times 6]$ $[6 \times 1]$ $[3 \times 1]$ $[3 \times 9]$ $[9 \times 1]$

où $[B_p]^e$ et $[B_f]^e$ ont été respectivement obtenues dans les paragraphes 3.3.3 et 3.11.

Nous pouvons donc établir

$$\{\Delta \varepsilon\}^e = \begin{bmatrix} B_p & | & 0 \\ 0 & | & B_f \end{bmatrix}^e \begin{Bmatrix} \Delta \delta_p \\ \Delta \delta_f \end{Bmatrix}^e$$

$[6 \times 1]$ $[6 \times 15]$ $[15 \times 1]$

— Le vecteur des "contraintes" $\{\Delta \bar{\sigma}\}^e$ est, en fait, composé par les efforts normaux et de cisaillement et les moments de flexion et de torsion par unité de longueur dans les directions 'x' et 'y' (fig 3.23)

$$\{\Delta \bar{\sigma}\}^e = \begin{Bmatrix} \Delta N_x \\ \Delta N_y \\ \Delta N_{xy} \\ \Delta M_x \\ \Delta M_y \\ \Delta M_{xy} \end{Bmatrix}^e = \begin{Bmatrix} \Delta \bar{N} \\ \Delta \bar{M} \end{Bmatrix}^e$$

où $\{\Delta \bar{N}\}^e$ et $\{\Delta \bar{M}\}^e$ sont obtenus par

intégration sur la hauteur de l'élément :

$$\{\Delta \bar{N}\}^e = \int \{\Delta \sigma\}^e dz$$

$$\{\Delta \bar{M}\}^e = \int [\bar{z}] \{\Delta \sigma\}^e dz$$

avec $\{\Delta \sigma\}^e = \begin{Bmatrix} \Delta \sigma_x \\ \Delta \sigma_y \\ \Delta \tau_{xy} \end{Bmatrix}^e$ et $[\bar{z}] = [z, z, -z]$.

— Nous supposons chaque couche soumise à un état plan de contraintes et de déformations, reliés par l'expression :

$$\begin{matrix} \{\Delta \sigma_j\}^e & = & [C_j]_{\tau}^e & \{\Delta \epsilon_j\}^e \\ [3 \times 3] & & [3 \times 3] & [3 \times 1] \end{matrix}$$

où $[C_j]_{\tau}^e$ est une matrice tangente, variable pour chaque couche et pour

chaque étape de chargement. Ces matrices $[C_j]_{\tau}^e$ sont obtenues suivant les critères établis pour le calcul bidimensionnel (voir paragraphe 3.4).

Etant donné que les propriétés du matériau varient de façon discrète sur l'épaisseur de l'élément, les intégrales sont obtenues par addition des intégrations sur chacune des couches.

En rappelant que nous avons adopté une loi de déformations telle que :

$$\{\Delta \epsilon\}^e = \{\Delta \epsilon_0\}^e + [\bar{z}] \{\Delta \chi_0\}^e$$

nous arrivons à :

$$\begin{matrix} \{\Delta \bar{\sigma}\}^e & = & \begin{Bmatrix} \Delta \bar{N} \\ \Delta \bar{M} \end{Bmatrix}^e & = & [D]_{\tau}^e & \begin{Bmatrix} \Delta \epsilon_0 \\ \Delta \chi_0 \end{Bmatrix}^e, & \text{où la matrice } [D]_{\tau}^e & \text{a la forme :} \\ [6 \times 1] & & [6 \times 6] & [6 \times 3] & & & & \end{matrix}$$

$$[D]_{\tau}^e = \sum_j \left[\begin{array}{c|c} \frac{e_j [C_j]_{\tau}^e}{1/2(t_{j+1}^2 - t_j^2)[C_j]_{\tau}^e} & \frac{1/2(t_{j+1}^2 - t_j^2)[C_j]_{\tau}^e}{1/3(t_{j+1}^3 - t_j^3)[C_j]_{\tau}^e} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c|c} D_1 & D_2 \\ \hline D_2 & D_3 \end{array} \right]^e$$

avec $t_j = z_{g_j} - e_j/2$, et $t_{j+1} = z_{g_j} + e_j/2$, e_j étant l'épaisseur de la couche 'j'.

— La matrice de raideur de l'élément $[k]_T^e$ aura donc la forme :

$$[k]_T^e = \int_e \left[\begin{array}{c|c} B_p^T & 0 \\ \hline 0 & B_f^T \end{array} \right]^e [D]_T^e \left[\begin{array}{c|c} B_p & 0 \\ \hline 0 & B_f \end{array} \right]^e dS$$

La matrice $[B_p]$ et par conséquent la matrice $[k]_T^e$ elle aussi, ne sont pas constantes à l'intérieur de l'élément. Il faudrait donc intégrer, mais, du fait de la complication des lois de comportement du béton sous charge biaxiale, cette intégration devient inabordable. Nous supposons donc que le comportement de l'élément peut être remplacé par celui de son centre de gravité :

$$[k]_T^e \approx \left[\begin{array}{c|c} [B_p]^T [D_1]_T [B_p] & [B_p]^T [D_2]_T [B_f] \\ \hline [B_f]^T [D_2]_T [B_p] & [B_f]^T [D_3]_T [B_f] \end{array} \right]^e \Delta = \Delta \left[\begin{array}{c|c} k_{pp} & k_{pf} \\ \hline k_{fp} & k_{ff} \end{array} \right]^e \begin{array}{l} 6 \\ 9 \end{array}$$

— Les matrices $[k_{pp}]_T^e$ et $[k_{ff}]_T^e$ sont celles qui correspondraient à une étude plane ou de flexion respectivement. Les matrices $[k_{fp}]_T^e$ et $[k_{pf}]_T^e$ établissent le couplage entre les deux types d'efforts. Ces matrices sont nulles quand il y a une symétrie géométrique et mécanique totale de la section par rapport au plan moyen de la plaque (plan de référence). Cela n'est pas le cas pour les éléments du bossage, où le centre de gravité de la section ne coïncide pas avec celui de la plaque, ainsi que pour les éléments du hourdis à partir du moment où le comportement non linéaire des matériaux, et surtout la fissuration, déplacent le centre mécanique de la section par rapport au centre géométrique (plan moyen). L'inclusion de cette "rigidité de couplage" nous permet l'utilisation d'un plan de référence constante à travers les phases fissurées et non élastiques jusqu'à la rupture, et de tenir compte de l'intersection entre les efforts plans et de flexion, par suite de la présence du bossage.

— Une fois les matrices $[k]_T^e$ des différents éléments obtenues, on suit la démarche habituelle en éléments finis :

1. - Assemblage des matrices de raideur des différents éléments et obtention de la matrice de raideur $[K]_T$ globale de la structure, laquelle,

de même que dans le cas plan, est stockée de façon compacte : SM (5 Np, 100), accompagnée d'une matrice de localisation ISP (20, Np).

2. - Etablissement des restrictions de mouvements dans les noeuds affectés.

3. - Résolution du système d'équations $\{\Delta R^e\} = [K]_T \{\Delta \delta\}$ et obtention des déplacements des noeuds.

4. - Obtention des déformations dans le plan moyen de la plaque :

$$\begin{Bmatrix} \Delta \varepsilon_o \\ \Delta \chi_o \end{Bmatrix}^e = \begin{bmatrix} B_p & | & 0 \\ 0 & | & B_f \end{bmatrix}^e \begin{Bmatrix} \Delta \delta_p \\ \Delta \delta_f \end{Bmatrix}^e$$

5. - Obtention des contraintes au niveau du centre de gravité de chaque couche :

$$\{\Delta \sigma_j\}^e = [C_j]_T^e [\{\Delta \varepsilon_o\}^e + [z_{gj}, z_{gj}, -z_{gj}] \{\Delta \chi_o\}^e]$$

Note. - On rappelle que, s'agissant d'une application de la charge par étapes, là où on dit 'déplacements', 'forces', 'déformations' et 'contraintes', on doit toujours lire 'augmentation des déplacements', 'des forces', etc.

3.13. - Obtention des forces nodales non équilibrées. -

Si nous supposons que chaque couche se trouve soumise à un état plan et uniforme de contraintes, dont les valeurs sont celles qui correspondent au centre de gravité de la couche, nous pouvons agir de façon identique à celle suivie dans l'étude bidimensionnelle et calculer, pour les déformations finales de la couche :

$$\{\varepsilon_j\}^e = \{\varepsilon_o\}^e + [z_{gj}, z_{gj}, -z_{gj}] \{\chi_o\}^e \quad \left(\begin{array}{l} \text{où} \\ \{\varepsilon_o\}^e = \{\varepsilon_o\}^e + \{\Delta \varepsilon_o\}^e \\ \{\chi_o\}^e = \{\chi_o\}^e + \{\Delta \chi_o\}^e \end{array} \right)$$

les contraintes théoriques $\{\sigma_j^*\}^e$ qui y règnent quand les déformations sont $\{\varepsilon_j\}^e$, d'après les lois de comportement adoptées pour les matériaux.

Par différence, nous obtenons les "contraintes non équilibrées" $\{\sigma_j\}^e$

qui, intégrées sur le volume de la couche, nous donnent les forces nodales "non équilibrées", qu'il faut réappliquer sur les noeuds:

$$\{F_n^*\}_j^e = \int_{\text{couche } j} [B_p]^{eT} \{\sigma_j\}^e dVol. \simeq [B_p]^{eT} \{\sigma_j\}^e \cdot e_j \cdot \Delta = \begin{Bmatrix} F_1^* \\ F_2^* \\ F_3^* \end{Bmatrix}_j^e$$

où

$$\{F_e^*\}_j^e = \begin{Bmatrix} X_e \\ Y_e \end{Bmatrix}_j^e$$

Et par addition des forces nodales non équilibrées qui apparaissent au niveau de chaque couche, nous obtenons les forces totales non équilibrées, pour les trois noeuds de l'élément, rapportées au plan de référence :

Pour le noeud '1' :

$$\{F_e\}^e = \begin{Bmatrix} F_{xe} \\ F_{ye} \\ F_{ze} \\ T_{xe} \\ T_{ye} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sum_j X_{ej} \\ \sum_j Y_{ej} \\ 0 \\ \sum_j z_{ej} Y_{ej} \\ -\sum_j z_{ej} X_{ej} \end{Bmatrix}^e$$

3.14. - Programmation par ordinateur. -

3.14.1. - Caractéristiques. -

— Un programme de calcul automatique 'FLF' a été mis au point.

Ce programme s'est servi de certains modules du programme bidimensionnel 'ELF', notamment de ceux qui servent à résoudre le système d'équations et à étudier une couche de béton soumise à un état de contraintes biaxiales.

— Du fait de l'augmentation des calculs et surtout du nombre croissant de degrés de liberté des noeuds (5 par rapport à 2) la performance du programme est plus réduite : 350 éléments, 200 points nodaux, 60 points non libres.

La possibilité de ne pas considérer explicitement les éléments des parois latérales du caisson, et de traiter les aciers non comme des éléments

isolés mais^{en} constituant deux couches (supérieure et inférieure) dans l'élément même, nous a permis de contrecarrer cette diminution de performance et d'établir un découpage de la structure suffisamment précis.

—Le programme permet d'établir des variations dans la distribution des aciers : on fixe des quantités d'acier longitudinal et transversal sur les couches supérieures et inférieure de tous les éléments, et il est possible de renforcer n'importe laquelle de ces quantités dans un élément quelconque.

—Le bossage est représenté par l'intermédiaire des éléments comportant un nombre variable de couches, plus grand que celui de la dalle (fig 3.24). Le béton des couches au-dessus du hourdis est supposé soumis à un état uniaxial de contraintes selon l'axe de la pièce. Les contraintes transversales sont donc supposées négligeables.



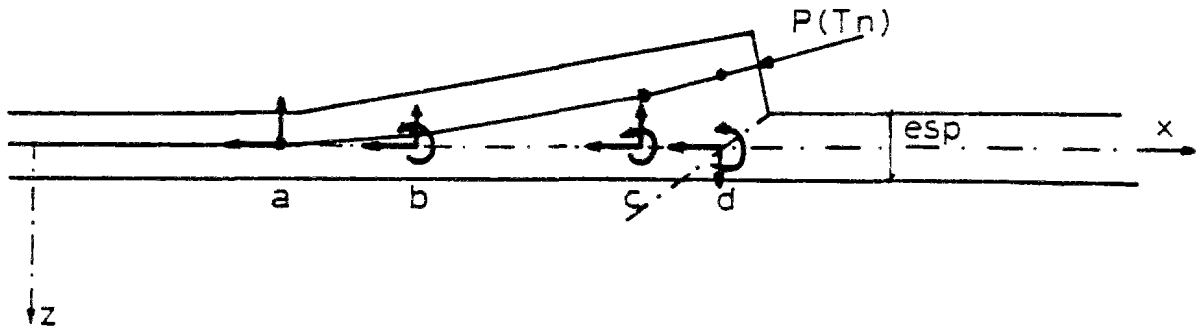
FIG 3.24

Néanmoins, on prendra en compte l'augmentation de la section, c'est-à-dire, la collaboration des couches supérieures du bossage, dans le calcul de la raideur transversale de la pièce.

— Nous avons fait le calcul en considérant une dalle décomposée en 7 couches (deux pour les aciers et cinq pour le béton).

Dans le bossage nous sommes arrivés jusqu'à 13 couches.

— L'application de la charge est schématisée dans la fig 3.25. La force de précontrainte est appliquée quelques centimètres ($\approx esp/2$) à l'intérieur du bossage, pour mieux tenir compte de la diffusion de la précontrainte à l'intérieur de celui-ci.



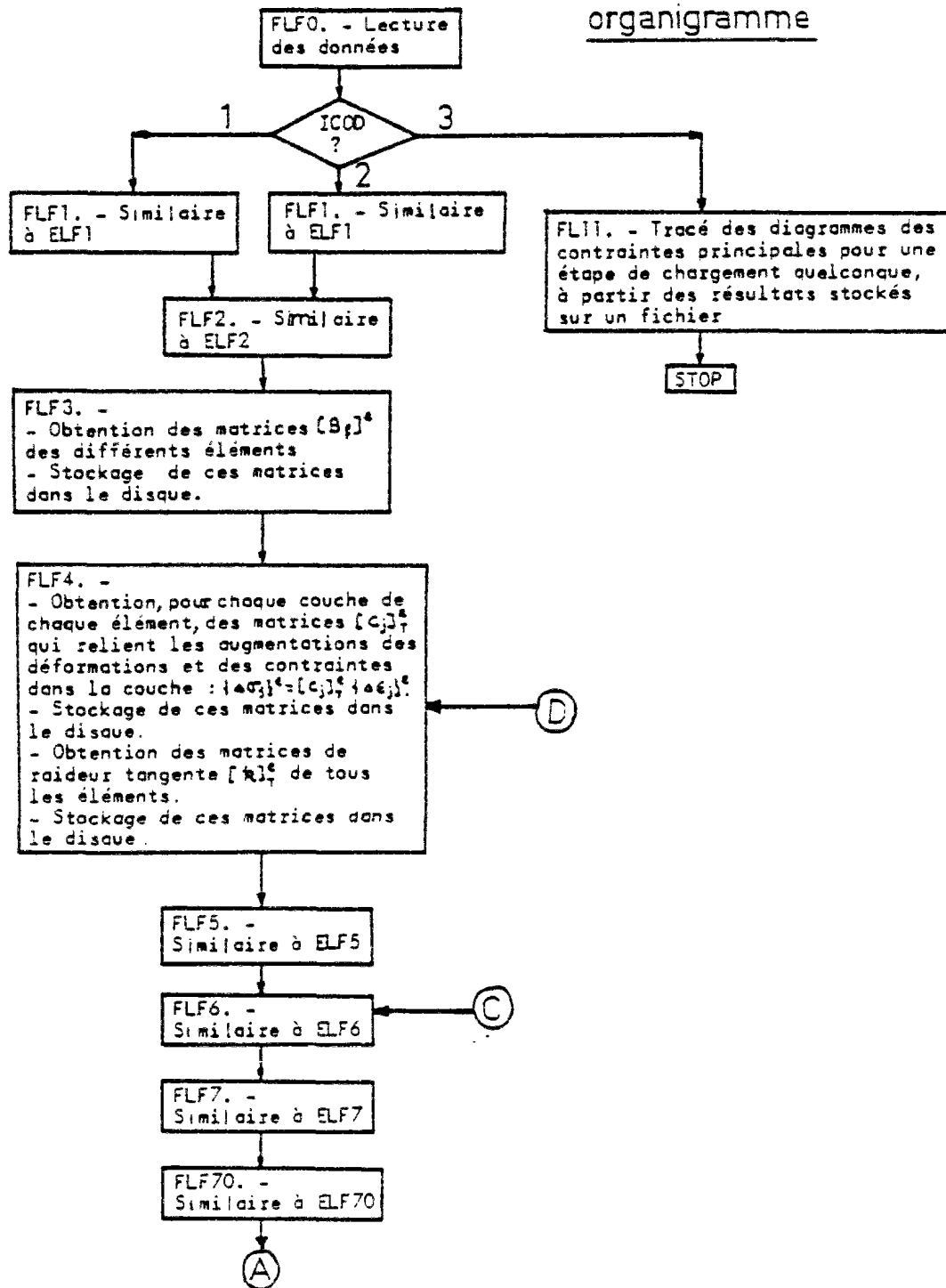
Section	a	b	c	d
Fx/P(Kg)	-4.96	-12.50	-10.02	-972.52
Fz/P(Kg)	-99.50	-86.05	-46.90	+232.45
Ty/P(Kg-cm)	0	-43.44	-148.60	-19072.

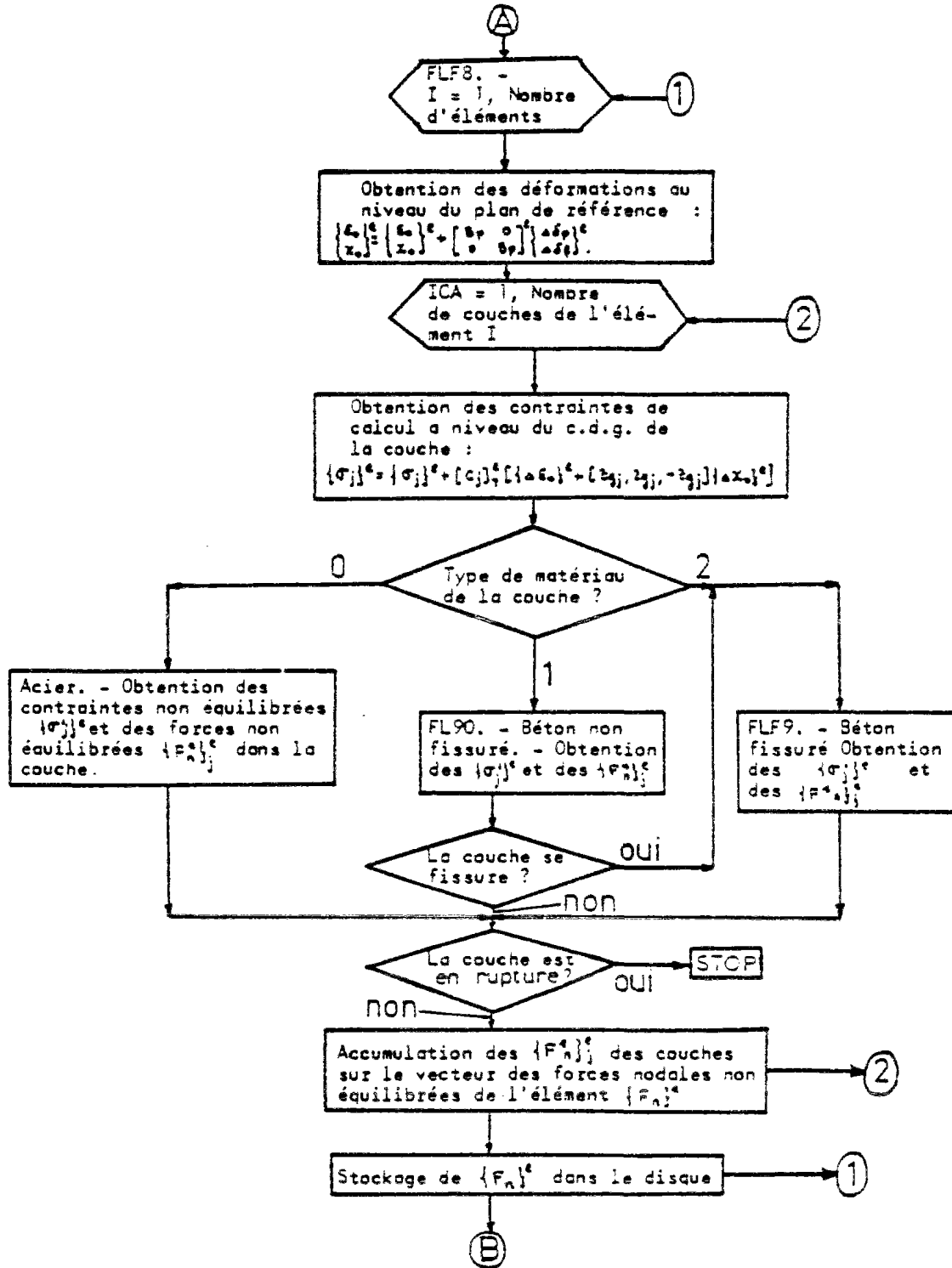
FIG 3.25

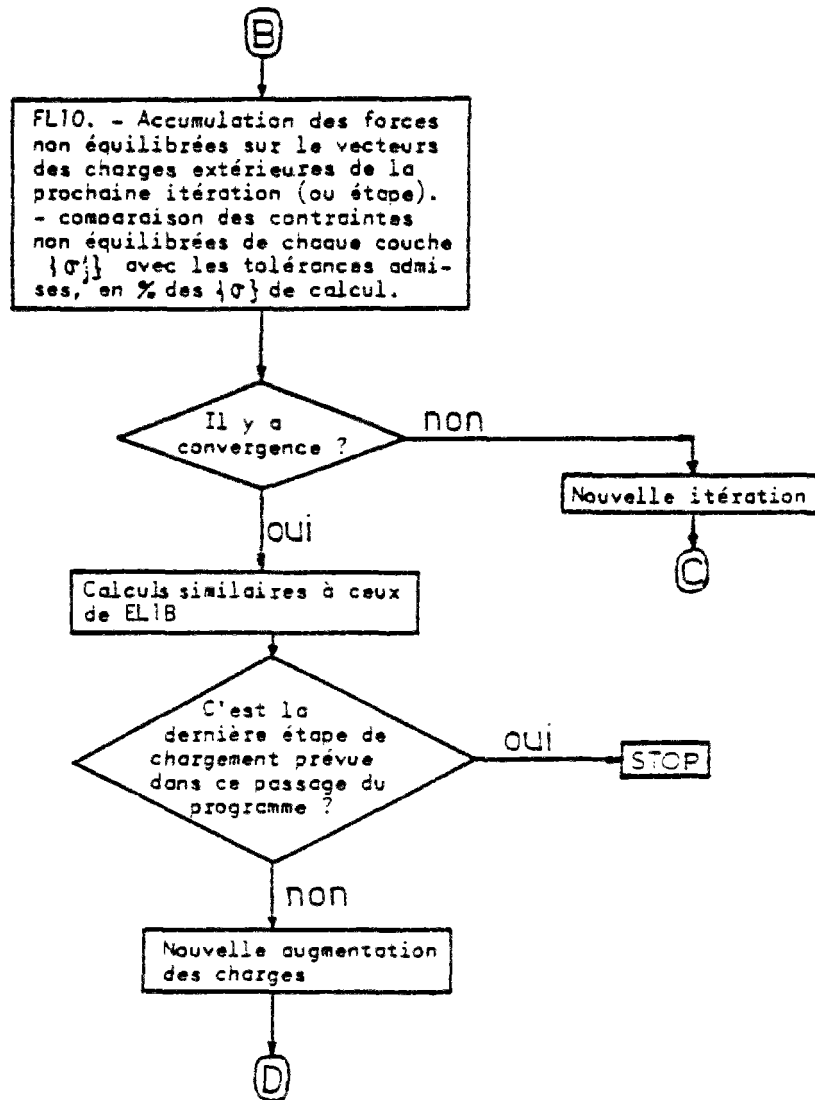
— De même que pour le programme 'ELF', la petite capacité de l'ordinateur (28 K accessibles) oblige à stocker sur disque un grand nombre de variables et de résultats intermédiaires, qui sont :

- a) Les matrices $[B_p]^e$, de dimension (3,9), de chaque élément.
- b) Les matrices de raideur RK (15,15) de chaque élément.
- c) Les matrices $[C_j]^e$, de dimension (3,3), qui relient les $\{\Delta\sigma_j\}^e$ et les $\{\Delta\varepsilon_j\}^e$ dans toutes les couches de tous les éléments.
- d) La matrice $[K]_r$ globale, stockée sous forme compacte : SM (5 N_p , 100).
- e) La matrice ISP (20, N_p) nécessaire pour la résolution du système d'équations.
- g) Les données concernant les renforcements des armatures dans les éléments qui en sont pourvus.
- h) Les contraintes et les directions des fissures dans toutes les couches de tous les éléments.

— Dans l'annexe D nous présentons les listings du programme 'FLF' dont l'organigramme est montré ci-après.







CHAPITRE 4

ETUDE EXPERIMENTALE4.1. - Programme des essais

— Une étude expérimentale préparatoire sur le sujet a été entreprise au Service d'Etude des Structures (CEBTP) en 1974, à la demande conjointe du SETRA et de l'UTI (voir réf 9).

Quatre essais, en grandeur réelle simulant l'ancrage par bossage d'un câble dans un voile en béton ont été réalisés. Le corps d'épreuve se composait d'une dalle verticale, portant l'ancrage, de dimensions 252 cm x 540 cm, avec une épaisseur de 15 ou 18 cm. La dalle était bordée de deux âmes perpendiculaires (section droite en forme de H) dont les dimensions ont été choisies de façon que le plan moyen du hourdis soit sensiblement à la limite du noyau central de la section transversale de la pièce. Celle-ci s'appuyait sur la section droite d'about. L'épaisseur de la dalle, à l'extrémité de la pièce derrière le bossage, a été renforcé ($e = 40$ cm) dans le but d'accroître la rigidité de la pièce et d'approcher les conditions réelles où l'ouvrage se prolonge bien au delà de l'ancrage. Le câble de précontrainte avait une résistance de 150 Tf environ, la charge de service étant de l'ordre de 80 Tf.

Cette série d'essais a apporté quelques renseignements sur le comportement de la pièce en phase élastique, mais les grandes ouvertures des fissures sont apparues pour des charges nettement plus fortes que celles de service et ne peuvent pas expliquer les dégâts trouvés dans certains ouvrages réels. Il semble qu'en général, l'effort concentré ne suffit pas, à moins de graves erreurs de conception et de réalisation, pour solliciter le béton du hourdis à un niveau suffisamment élevé sous les charges de service.

— La présente étude se proposait de continuer la recherche en envisageant la prise en compte de deux nouveaux facteurs :

- L'effet du groupement de plusieurs bossages.

- L'effet d'une compression d'ensemble initiale sollicitant uniformément le hourdis.

Le programme d'essais comporte trois séries d'essais. Les paramètres étudiés ont été d'une part le nombre d'ancrages (1 à 3), et d'autre part, la précompression générale du hourdis dans la zone des arrêts de câbles (effort total F appliqué aux extrémités du corps d'épreuve).

Série	A		B		C		
Corps d'épreuve	A1	A2	B1	B2	C		
Nombre d'ancrages	1		2		3		
Compression d'ensemble F	24 Tf (32bars)	42 Tf (56bars)	23 Tf (31bars)	42 Tf (52bars)	3 Tf (4bars)	24 Tf (32bars)	48 Tf (65bars)

4.2. - Corps d'épreuve.

4.2.1. - Caractéristiques géométriques

— C'est au vu des grandes difficultés rencontrées, du fait de l'échelle réelle, dans la fabrication et dans la manutention des premières pièces en 1976, que nous avons choisi de travailler sur des modèles de plus petite échelle. Ce qui a permis de simplifier beaucoup l'exécution des essais, et d'étendre plus le champ d'études.

La taille pour ces nouvelles pièces d'essai, a été choisie d'une part de façon, à répondre encore à la définition du béton armé, et d'autre part, à être compatible avec les moyens de précontrainte existants.

C'est aussi par souci de simplification, que nous avons adopté dans les deux premières séries d'essais (A et B), des "âmes" préfabriquées et récupérables à chaque fois. L'assemblage du hourdis se faisait alors mécaniquement, au moyen de boulons sur douilles noyées, serrés avec une légère précontrainte. Dans le dernier corps d'épreuve C, la liaison était plus habituelle en béton armé. Les âmes préfabriquées servirent alors de coffrages latéraux au hourdis lors du bétonnage (reprise de bétonnage avec armatures en attente).

Nous verrons plus loin dans quelle mesure le système utilisé dans les séries A et B est loin de reproduire d'une façon satisfaisante les conditions réelles d'encastrement parfait entre le hourdis et les ailes.

— La plus petite unité de précontrainte disponible était des monotrons $T_{0,5}$ ($P_u = 16,5 T_f$, $\phi_g = 2$ cm). Il a fallu retenir une épaisseur minimale de 6 cm pour le hourdis. Les dimensions du bossage ont été obtenues en se basant sur les essais de 1974, en prévoyant un effort maximal réduit par 10. L'échelle des longueurs pouvait donc être de $\frac{1}{\sqrt{10}} \approx 0.3$

Quant aux autres dimensions, l'échelle de réduction était modulée entre 1/4 et 1/3, pour prendre en compte diverses conditions d'exécution.

— Les caractéristiques de la section transversale sont les suivantes (fig 4.1) :

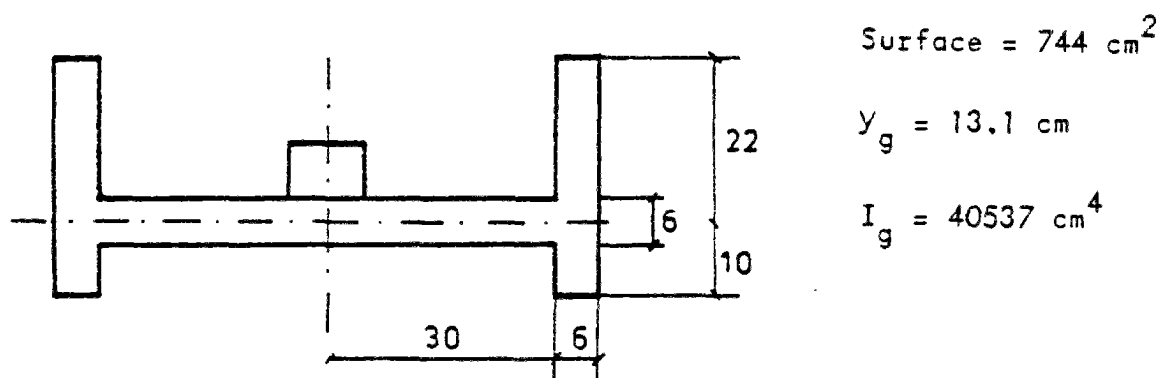


FIG 4.1

— Les dimensions extérieures des corps d'épreuve sont les mêmes dans tous les essais (fig 4.2, 4.3 et 4.4) : hourdis de 60 x 180 cm (épaisseur 6 cm), bordé latéralement par deux plaques perpendiculaires de la même épaisseur et de dimensions 32 x 180 cm.

4.2.2 - Armatures passives (fig 4.5 et 4.6)

4.2.2.1 - Ferraillage des âmes

Il est assuré longitudinalement par des barres T6 sur deux nappes et transversalement par des cadres de même nature espacés de 8 cm.

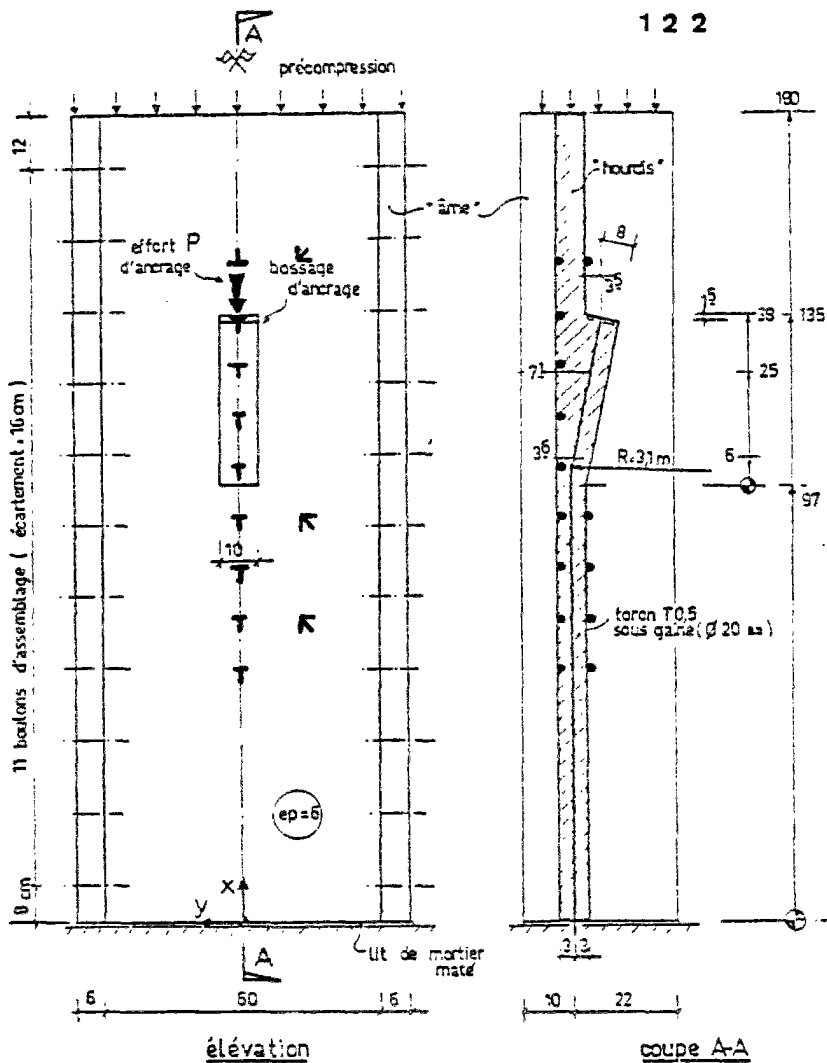


Fig. 4.2. - Corps d'éprouv
A

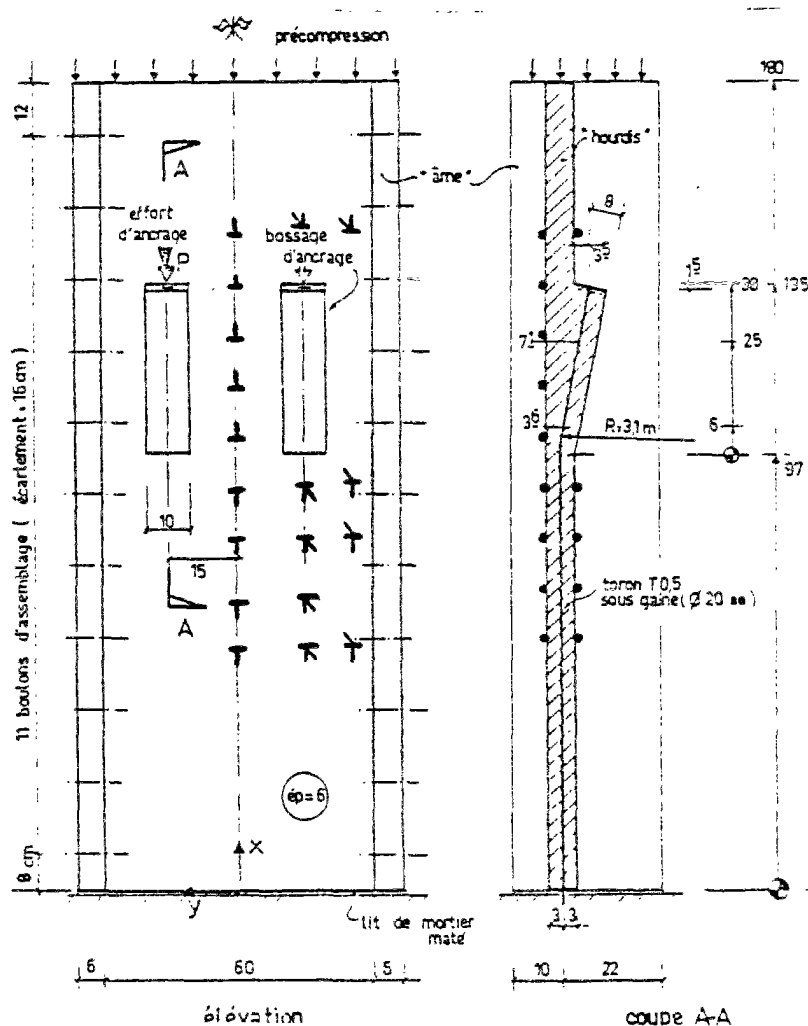


Fig. 4.3.- Corps d'éprouve
B

Fig. 4.4.-Corps d'épreuve C

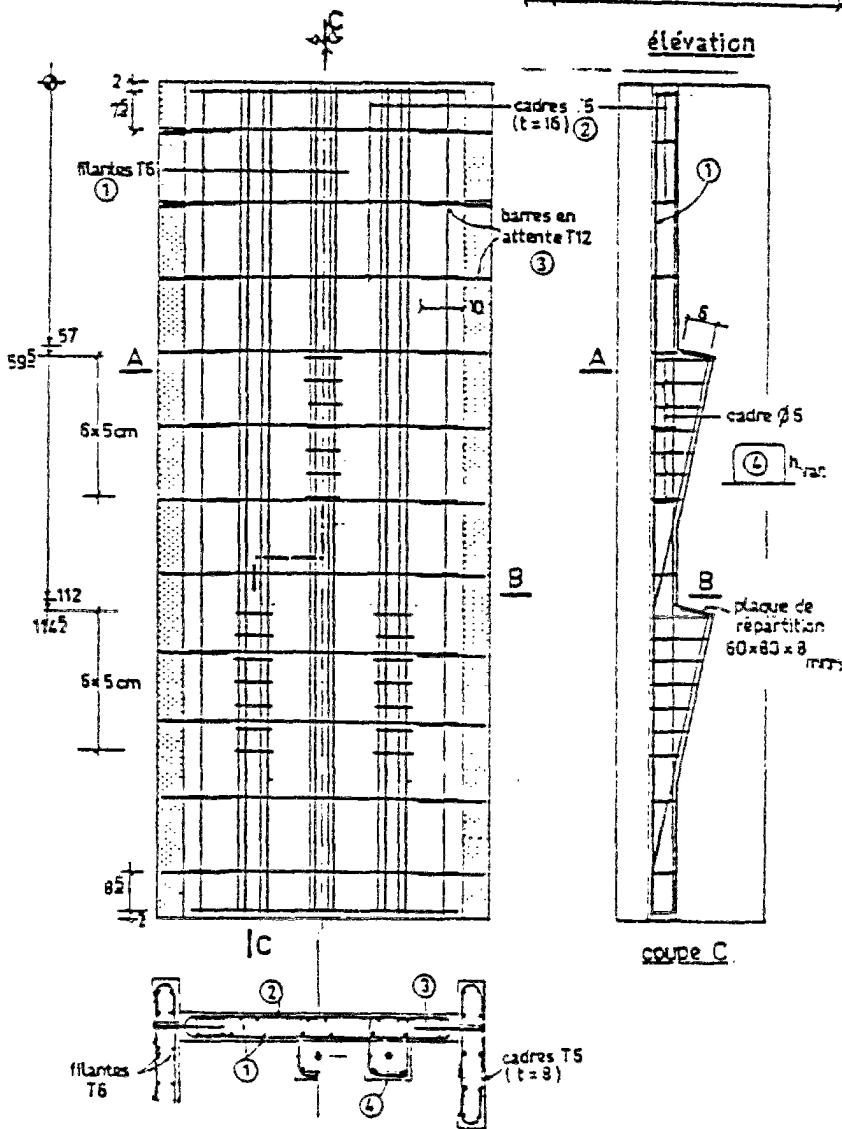
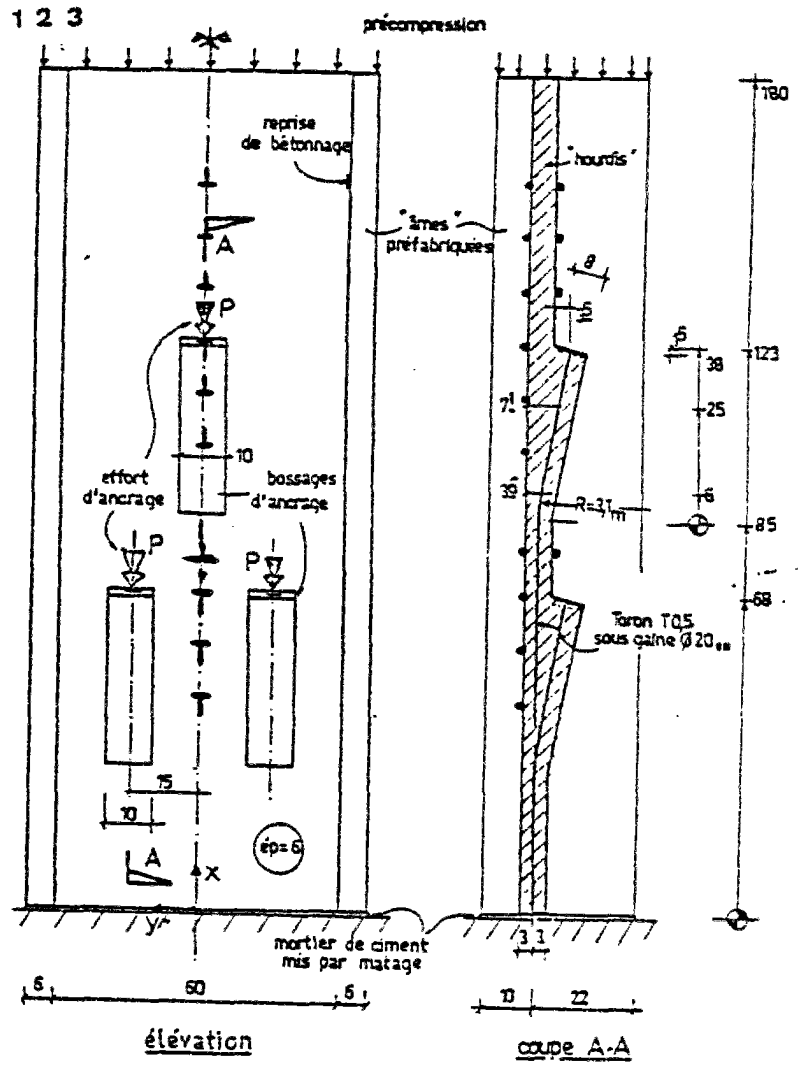


Fig. 4.5.-Ferrailage du corps d'épreuve C

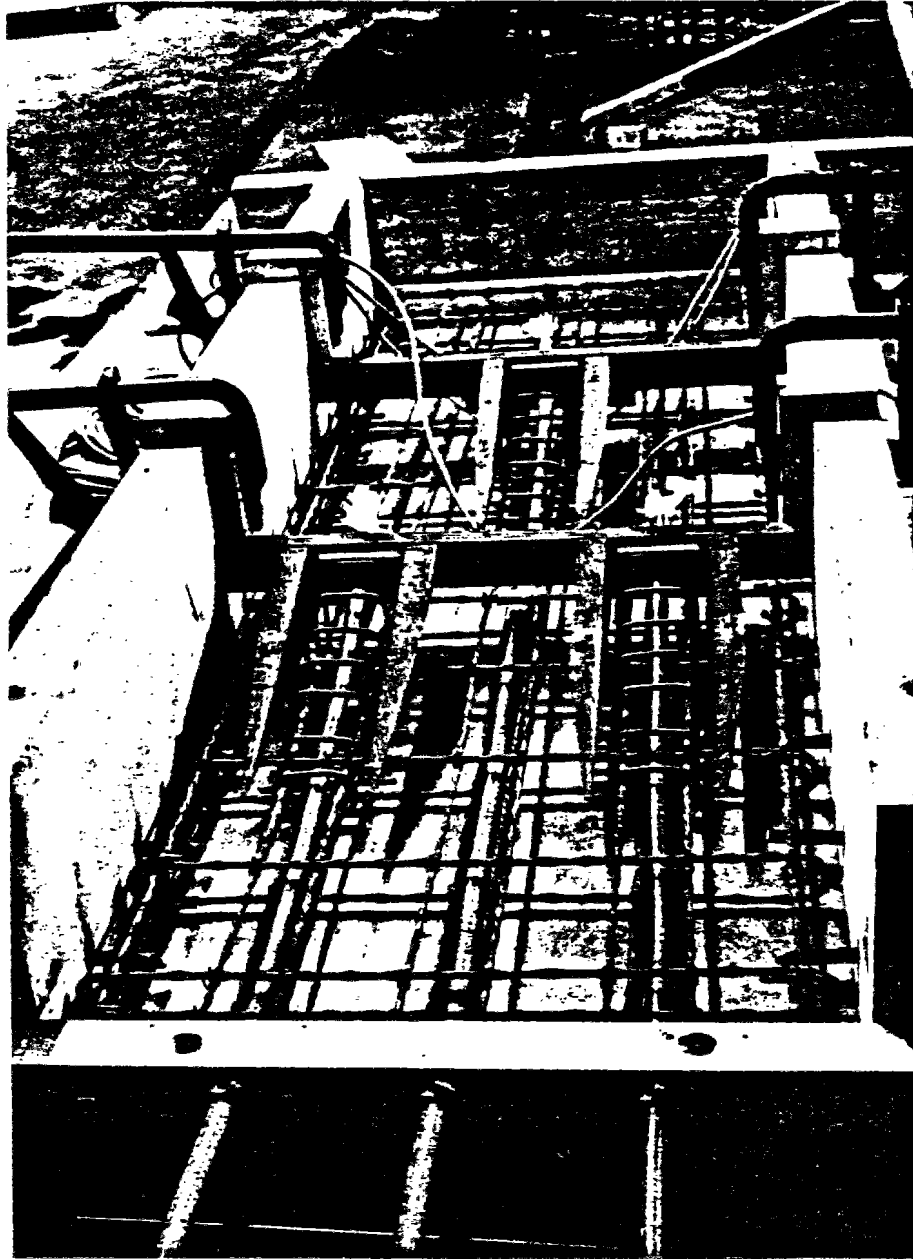


Fig. 4.6 - Vue du ferrailage du corps d'épreuve C.

Tous les 16 cm on a aménagé des orifices pour permettre le passage des boulons qui relient le hourdis aux âmes.

4.2.2.2. - Ferraillage du hourdis

Il est assuré lui aussi à l'aide de barres T6 disposées sur deux nappes près des paraments.

Le bossage a été armé en tenant compte des résultats obtenus lors de l'étude préparatoire de 1974. Des armatures supplémentaires en cadres fermés horizontaux apportaient le renforcement nécessaire.

Chaque bossage comportait tout le dispositif pour l'ancrage d'un monotoron T0,5, notamment une plaque de répartition d'effort de 60 x 80 mm, et 8 mm d'épaisseur.

4.2.3. - Le béton

Il a la même composition pour tous les corps d'épreuve :

Composition	Gravier (5-8 mm)	Sable (0-5 mm)	CPALC 325	Eau
Poids par m ³	1012 kgp	810 kgp	325 kgp	215 litres
%	42.8	34.2	13.8	9.2

L'affaissement au cône d'Abrams s'élevait vers 5 à 6 cm.

Après le décoffrage, après 2 jours d'âge, les pièces d'essai étaient placées sous cure de brouillard et à la température ambiante, pendant une dizaine de jours. Elles étaient ensuite amenées et conservées dans le hall d'essai en atmosphère conditionnée (55% de humidité relative, et 20° C environ).

A chaque bétonnage de hourdis, on prélevait six cylindres normalisés de béton. Ces éprouvettes avaient subi les mêmes conditions de conservation que les pièces associées. Elles avaient servi à contrôler les caractéristiques mécaniques du béton, au jour même de l'essai du corps d'épreuve :

- les essais en compression simple, fournissaient le diagramme σ - ε en compression (notamment le module élastique E_i), et la résistance en compression σ'_i ;

- les essais de fendage, suivant deux génératrices opposées, la contrainte ultime en traction σ_j ;

La figure 4.7 présente, à titre d'exemple, les diagrammes des bétons des essais B1 et C, ainsi que les caractéristiques mécaniques moyennes de tous les cas.

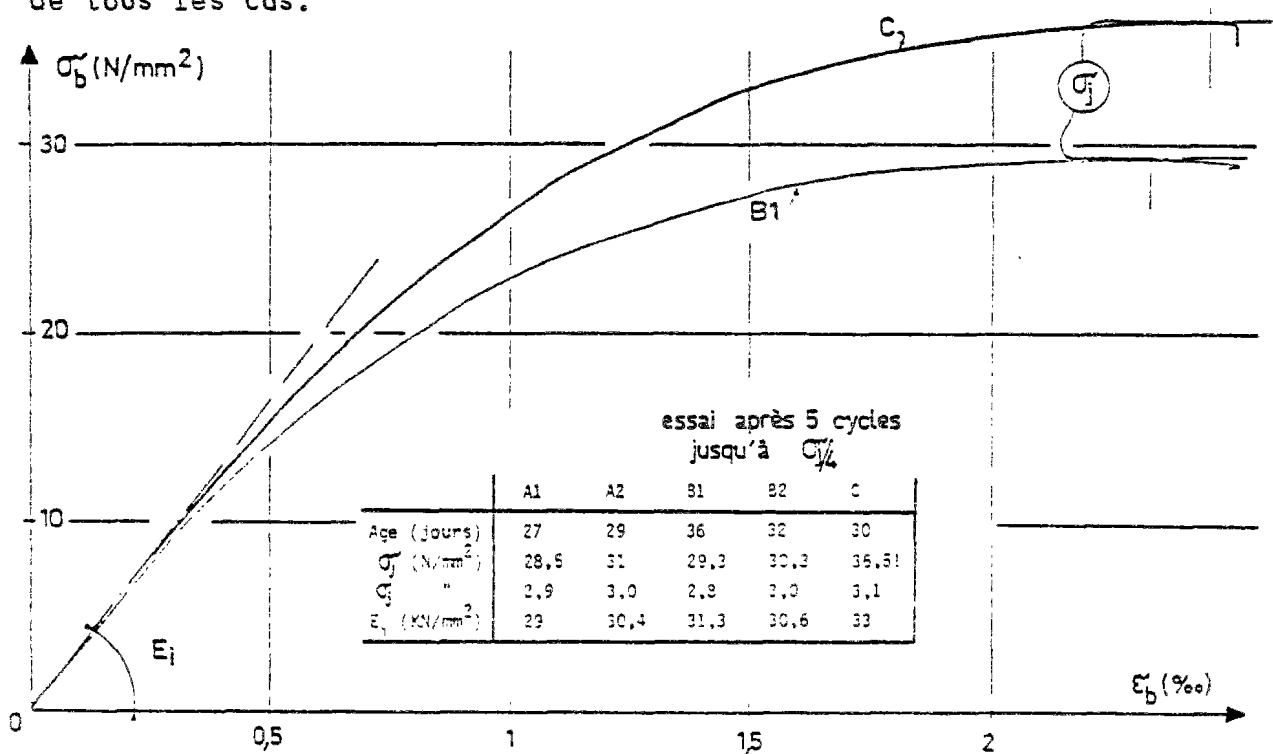


FIG. 4.7

4.2.4. - Câble de précontrainte

Il s'agit des monotorons $T_{0,5}$ ($P_u = 16,5 T_f$, $\phi_g = 2$ cm) munis d'un ancrage passif filé.

Dans la pièce, un évidement obtenu par une gaine métallique souple, de 20 mm de diamètre, est prévu pour l'enfilage ultérieur du câble.

4.3.- Exécution des essais

4.3.1. - Dispositif expérimental

Les figures 4.8. à 4.11 indiquent les dispositifs expérimentaux adoptés respectivement pour les corps d'épreuve A, B et C.

- La pièce, mise debout, reposait sur un bloc massif de répartition par l'intermédiaire d'un lit de mortier, placé par matage après le réglage de la verticalité. Les câbles servant à la précontrainte traversaient ce bloc inférieur pour s'ancrer en dessous (ancrage passif).

- Le chargement du corps d'épreuve se distingue en :

a) Une précompression générale F, développée en tête par un vérin hydraulique s'appuyant sur ^{une} chevêtre de répartition.

b) La mise en traction des câbles de précontrainte, au moyen des vérins de 30Tf.

4.3.2. - Dispositifs de mesure

4.3.2.1. - Jauges béton

Les déformations du béton sur les surfaces du hourdis sont obtenues au moyen de jauges extensométriques (jauges PL 30), collées sur la peau du béton et disposées en deux directions perpendiculaires ou en trois orientées à 45° (rosettes).

Le positionnement des jauges est donné sur les figures 4.2, 4.3 et 4.4.

Des mesures ont été également effectuées sur les nervures latérales, près de l'appui de la pièce, en vue de vérifier la bonne transmission des efforts entre le hourdis et les âmes, ainsi que la bonne diffusion de la précontrainte.

4.3.2.2. - Jauges acier

On a collé des jauges FLA3 sur les aciers longitudinaux et transversaux avant le bétonnage et en faisant sortir en réseau de câbles permettant de relier les jauges à la centrale de mesure.

4.3.3. - Tableau de chargement et phases de mesure

Le béton des corps d'épreuve avait toujours entre 27 et 36 jours d'âge lors des essais.

Après des cycles de préchargement pour assurer, d'une part une bonne mise en place de la pièce sur ses appuis, et écrouir d'autre part légèrement le béton, les références des mesures sont relevées sous une faible charge de précompression générale F et de tension du câble de précontrainte.

Puis on a appliqué la précompression générale prévue, après quoi de nouvelles mesures ont été relevées, et on a tendu ensuite un ou plusieurs câbles, par paliers d'une tonne. Des mesures ont été prises à chaque étape. A la charge de 11 Tf, nous avons réalisé cinq cycles de chargement-déchargement pour accélérer s'il y a lieu la stabilisation des phénomènes.

A l'essai C, après l'application de F à la valeur prévue, nous avons maintenu dans les deux bossages inférieurs un effort P_2 (pour chaque bossage) de 11 Tf. Puis, seul l'effort d'ancrage dans le bossage supérieur a été augmenté jusqu'au maximum.

En général, les essais étaient arrêtés à la rupture du câble (17 Tf environ).

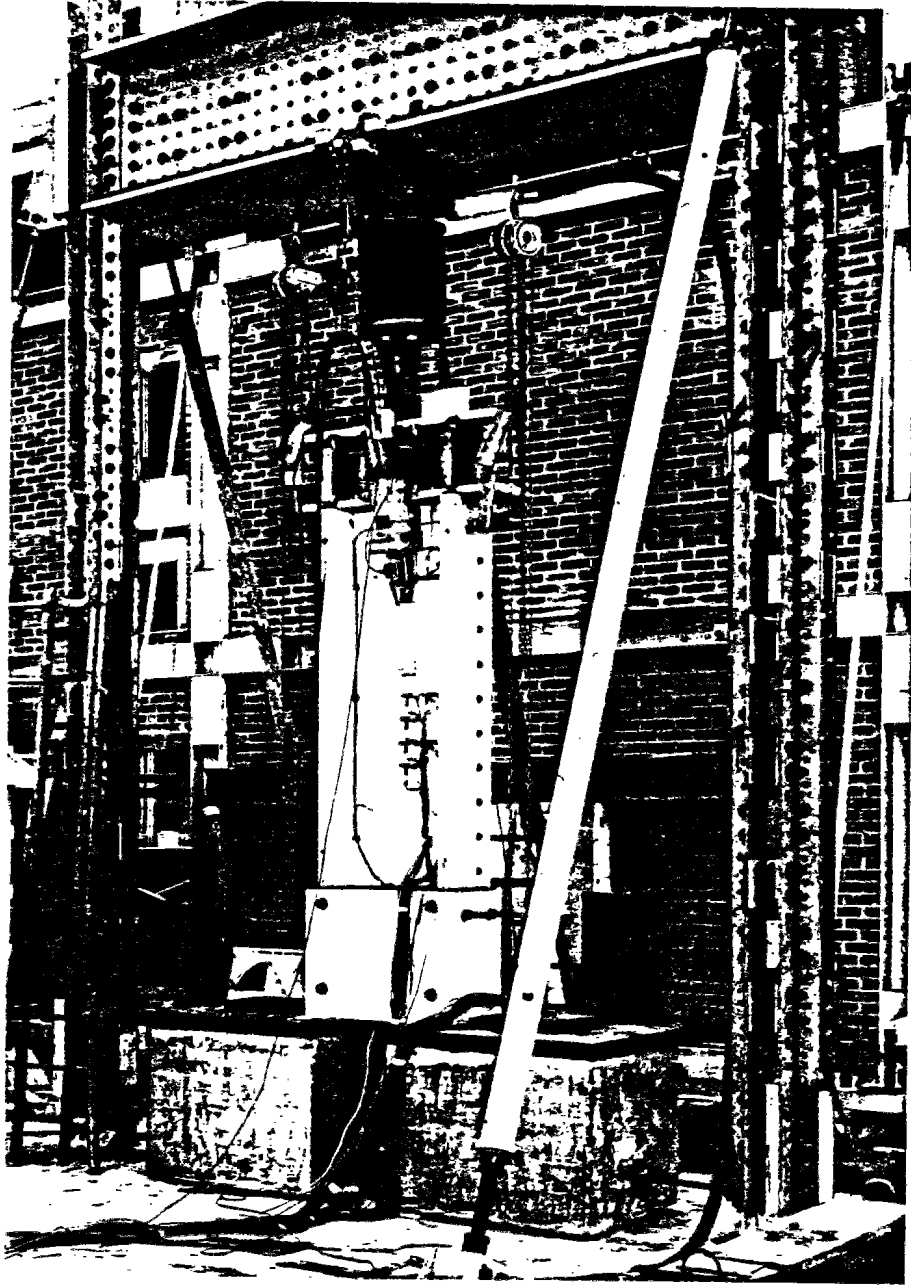


Fig. 4.8 - Vue du dispositif d'essai à un seul brossage d'ancrage.

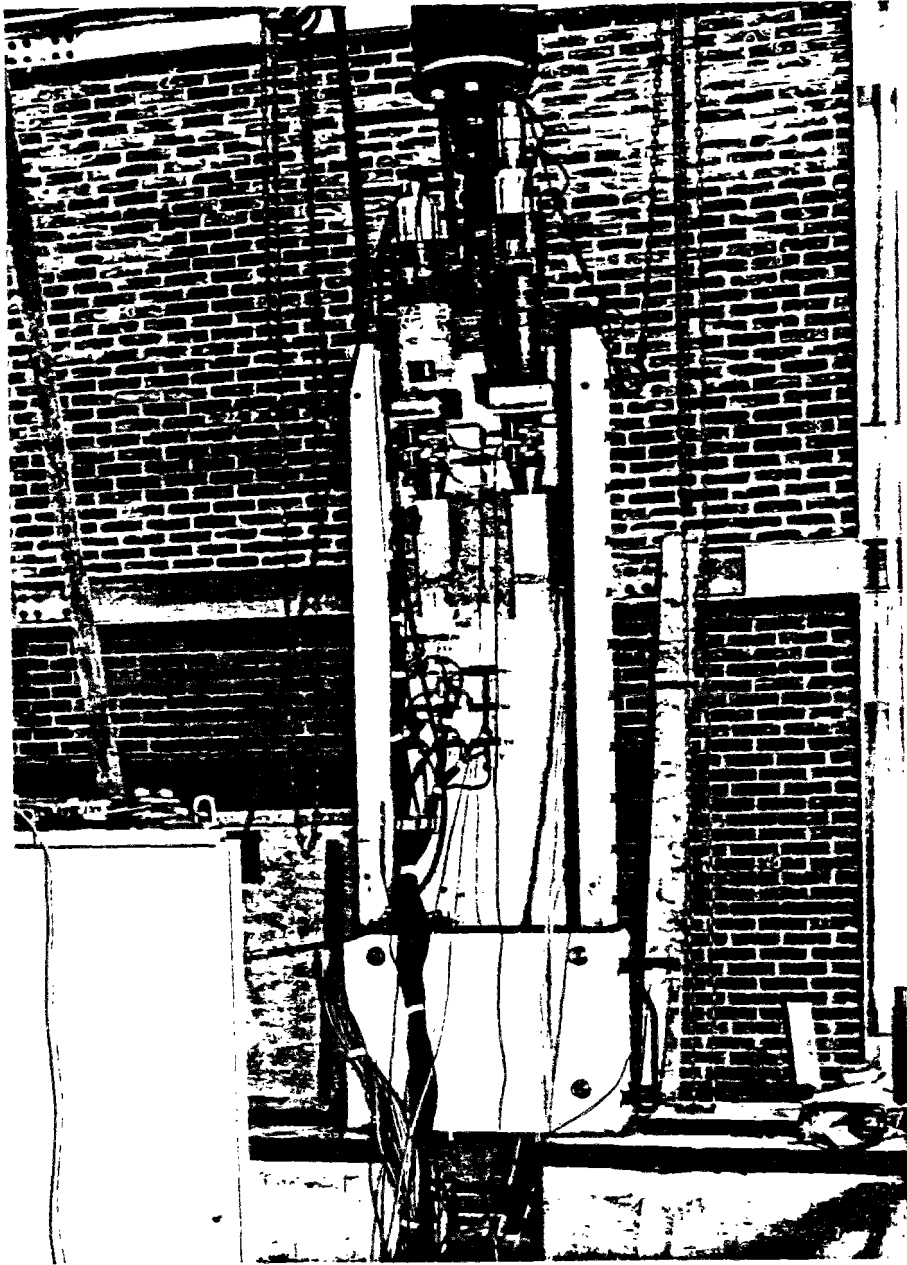


Fig. 4.9 - Vue du dispositif d'essai à deux bossages d'ancrage.

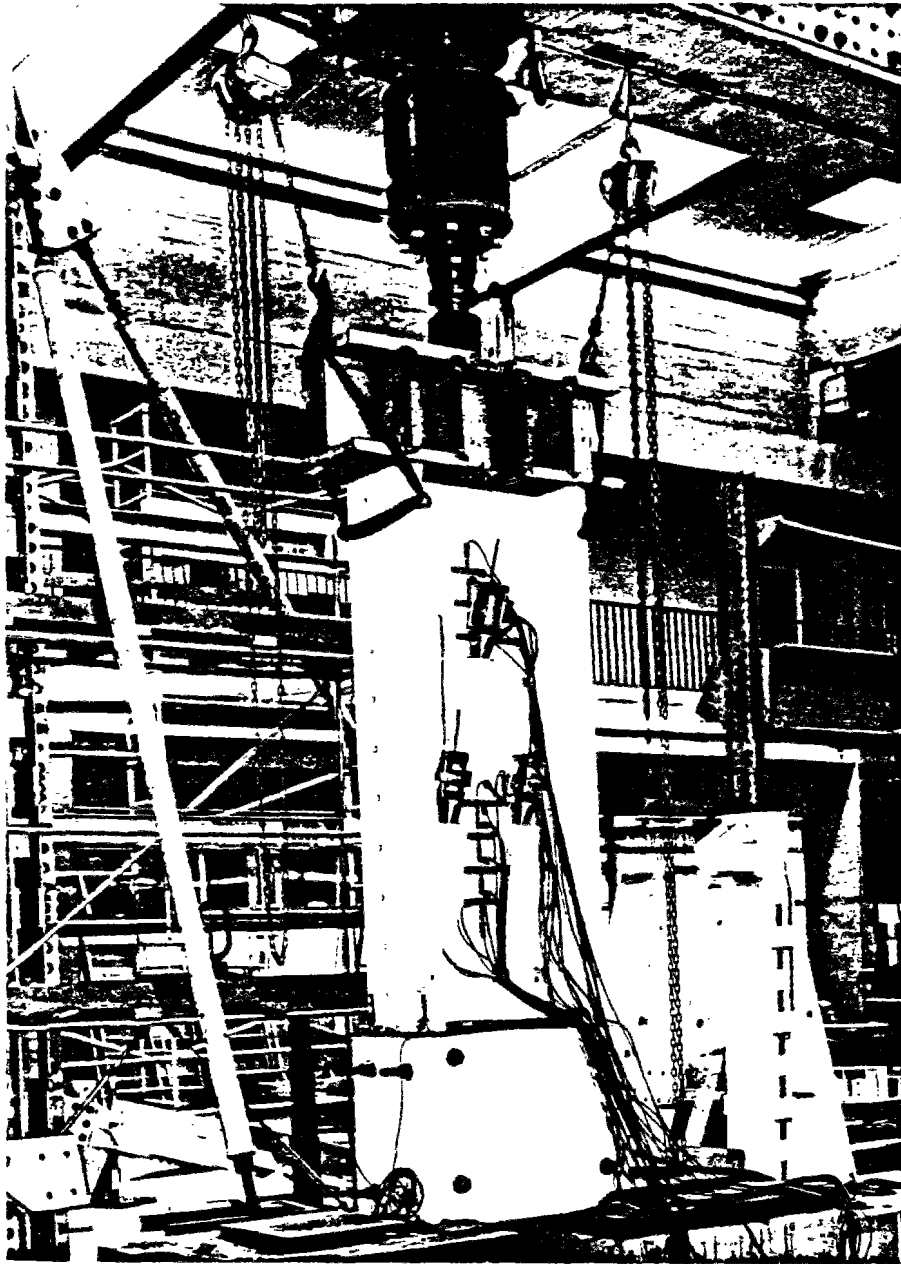


Fig. 4.10 - Vue du dispositif d'essai à trois bossages.

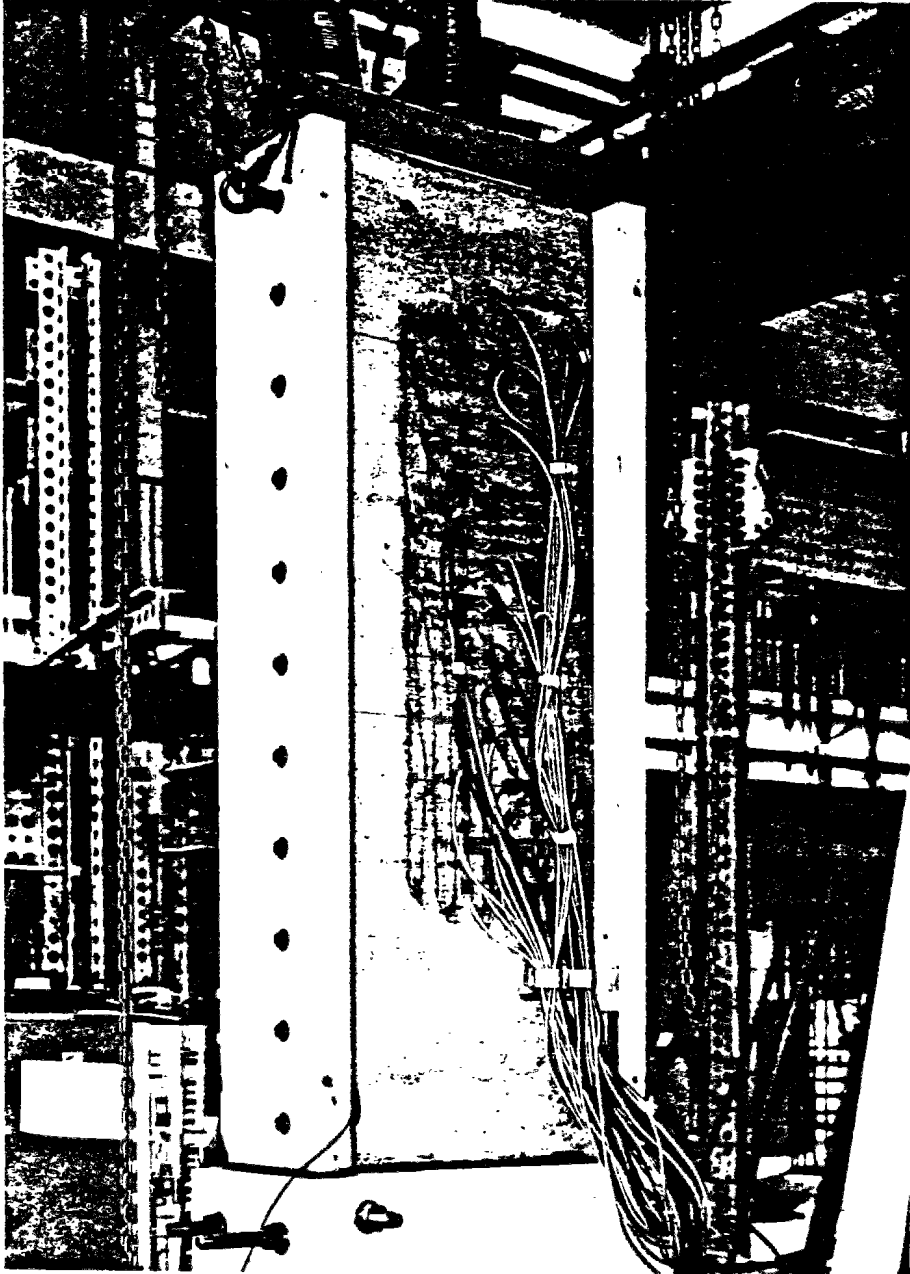


Fig. 4.11. - Vue des jauges sur la face opposée au bossage

CHAPITRE 5

ANALYSE DES RESULTATS

Dans ce chapitre nous explicitons les résultats obtenus par les deux méthodes théoriques exposées : calcul élastique par la méthode des coupures, et calcul non-linéaire par les éléments finis. Nous ferons ensuite leur comparaison avec les résultats des essais décrits dans le chapitre 4.

5.1. - Résultats obtenus par la méthode des coupures5.1.1. Cas étudiés

Le programme de calcul automatique rédigé (programme CPC) a permis d'étudier l'influence, sur la répartition des contraintes dans

le hourdis, des facteurs suivants :

- a) condition d'encastrement des bords latéraux longitudinaux ;
- b) rapport de la longueur du bossage sur celle du hourdis (γ) ;
- c) longueur du bossage ;
- d) dimensions relatives du bossage par rapport à celles du hourdis ;
- e) effet de groupement de bossages.

Le tableau 1, résume les différents cas étudiés (voir fig. 5.1) :

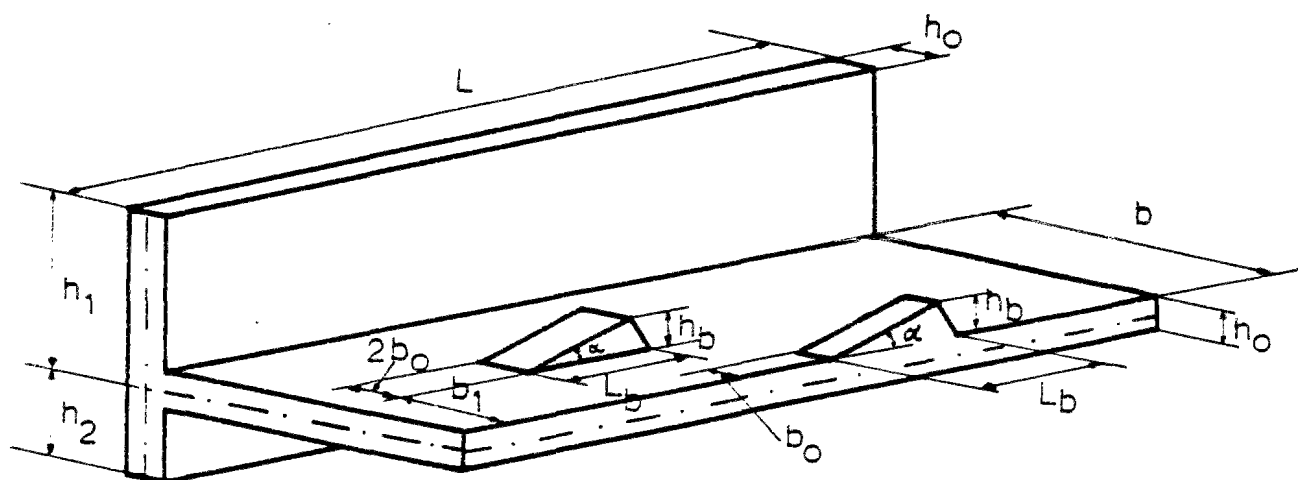


FIG 5.1

T A B L E A U 1

CAS	Nombre Bossages	2 bo	2 b	2 b1	hb	ho	h1	h2	Lb	α	Remarques
CP-0	1	24	252		24	18	100	50	120	10.8°	Essais 1974-76
CP-1	1	10	60		8	6	22	10	38	10.7°	Essai série A ($\gamma = 0,166$)
CP-2	1	10	60		8	6	0	0	38	10.7°	Egal à CP.1, mais aux bord libres
CP-3	1	10	100		8	6	38	16	38	10.7°	$\gamma = 0.10$
CP-4	1	10	100		8	6	0	0	38	10.7°	Egal à CP.3, mais aux bords libres
CP-5	1	10	200		8	6	72	34	38	10.7°	$\gamma = 0.05$
CP-6	1	10	1000		8	6	0	0	38	10.7°	$\gamma = 0.01$
CP-7	1	30	400		30	25	100	50	150	11.3°	
CP-8	1	30	400		30	20	100	50	150	11.3°	
CP-9	1	30	400		30	16	100	50	150	11.3°	On a essayé de différents tra- cés du cable
CP-10	1	30	400		24	16	100	50	150	9.1°	
CP-11	1	30	400		24	16	100	50	100	13.5°	Egal à CP-10, mais avec Lb plus petite
CP-12	2	10	60	20	8	6	22	10	38	10.7°	Essai série B
CP-13	2	10	60	20	8	6	22	10	38	10.7°	Egal à CP-12, mais aux bord libres
CP-14	3	10	60	20	8	6	22	10	38	10.7°	Essai série C

Les dimensions sont données en cm.

5.1.2. - Influence du rapport $\gamma = b_0/b$ et des conditions d'encastrement.

Les calculs CP-1, CP-3, CP-5 et CP-6, nous permettent de mettre en évidence l'influence de γ . Nous y avons considéré respectivement les valeurs 0.166, 0.10, 0.05, et 0.01.

Les cas CP-2 et CP-4, sont identiques respectivement à CP-1 et CP-3, sauf qu'ils ont été calculés en supposant les bords latéraux libres. Ceci pour dégager l'influence de l'encastrement du hourdis latéralement, quand le rapport γ varie.

Les cas CP-0 et CP-1 correspondent, eux, aux essais H01(1974) et H0-A, avec lesquels nous ferons plus loin la comparaison.

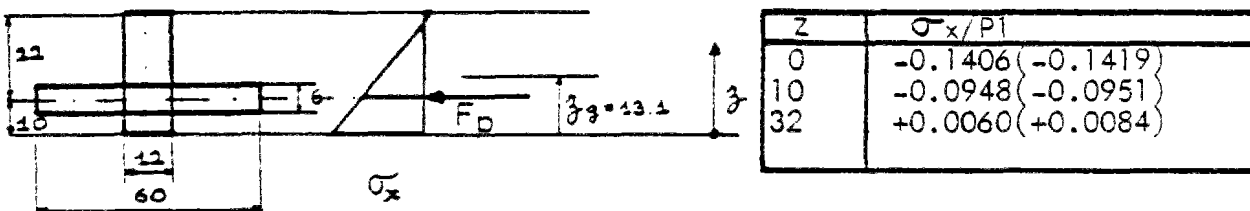
Remarque : Pour rendre homogène la confrontation des résultats, les contraintes seront dans la suite données en valeur relative, rapportée à la pression d'appui : $p_1 = \frac{\text{Précontrainte (Fp)}}{2 b_0 h_0}$

5.1.2.1.- Verification des conditions d'équilibre.-

Celle-ci est faite systématiquement à tous les calculs.

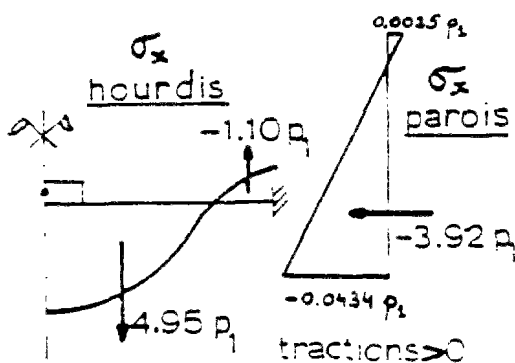
A titre d'exemple, nous explicitons ici le cas CP-1 :

1) Devant et à une distance suffisamment loin de l'ancrage, après diffusion de la précontrainte, nous avons alors la distribution des contraintes de Navier :



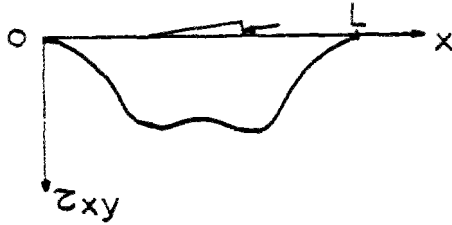
Les valeurs entre-parenthèses, sont celles du calcul obtenues à 97 cm. en avant de l'ancrage. A cette distance, on vérifie aussi que les flexions sont déjà disparues, ainsi que la contrainte transversale σ_y . Le hourdis n'est plus soumis qu'à une compression uniforme σ_x .

2) Derrière l'ancrage, la résultante des contraintes σ_x doit être nulle. Nous avons à 11 cm en arrière du bossage:



Ce qui donne bien : $4.95 \approx 1.10 + 3.92$

3) A l'extrémité inférieure de la pièce ($x = 0$), nous devons retrouver l'égalité entre l'effort normal des âmes et la résultante des cisaillements à la jonction hourdis-âme.



$$Ame : \frac{(-0.1406 + 0.0060)}{2} (p_1 \times 6 \times 32) = -12.92 p_1,$$

d'autre part, la résultante des cisaillements est :

$$\int_0^L \tau_{xy} h_0 dx = 13.06 p_1. \text{ C'est bien vérifié.}$$

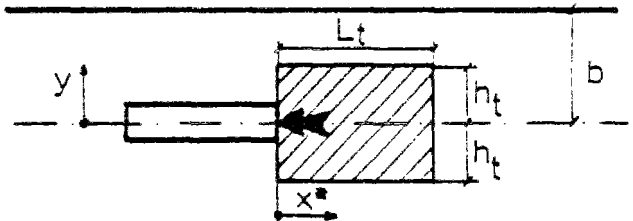
5.1.2.2.- Etude des contraintes longitudinales σ_x :

Les figures 5.2 à 5.9 indiquent la variation des contraintes longitudinales σ_x suivant différentes sections longitudinales (fig. 5.2 à 5.5) et transversales (fig 5.6 à 5.9).

Nous y avons porté le cas de bords latéraux encastés CP-1 (en traits forts) et celui où ils seraient libres (en traits fins). Les courbes des autres cas présentent aussi cette allure générale, seules les valeurs numériques diffèrent.

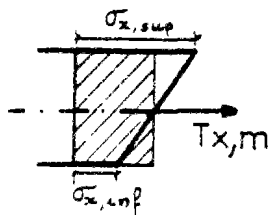
D'une façon générale, nous relevons les traits suivants :

A) Derrière le bossage : Il apparaît une zone de traction d'entraînement, dont les effets diminuent à mesure que l'on s'éloigne de l'ancrage. A cela intervient aussi une flexion longitudinale (d'axe \vec{oy}) qui tend davantage la face supérieure (côté bossage) du hourdis. Les tractions totales y sont très élevées. Nous avons évalué cette zone à :

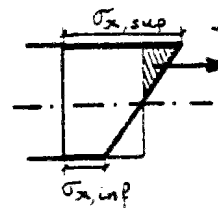


δ	Lt/b	ht	
		Plan moyen	Face supérieure
0.166	1.17(0.74)	0.5(0.4)	0.7 (0.4)
0.100	0.86 (0.83)	0.5 (0.46)	0.7 (0.46)
0.050	0.62	0.5	0.7

Les valeurs entre-parenthèses, correspondent au cas de bords libres. Quant aux contraintes de traction, nous résumons au schéma suivant son intensité maximale (forcément dans l'axe de la pièce), et leur résultante T_x obtenue par intégration, le long de la section transversale, des volumes des tractions moyennes

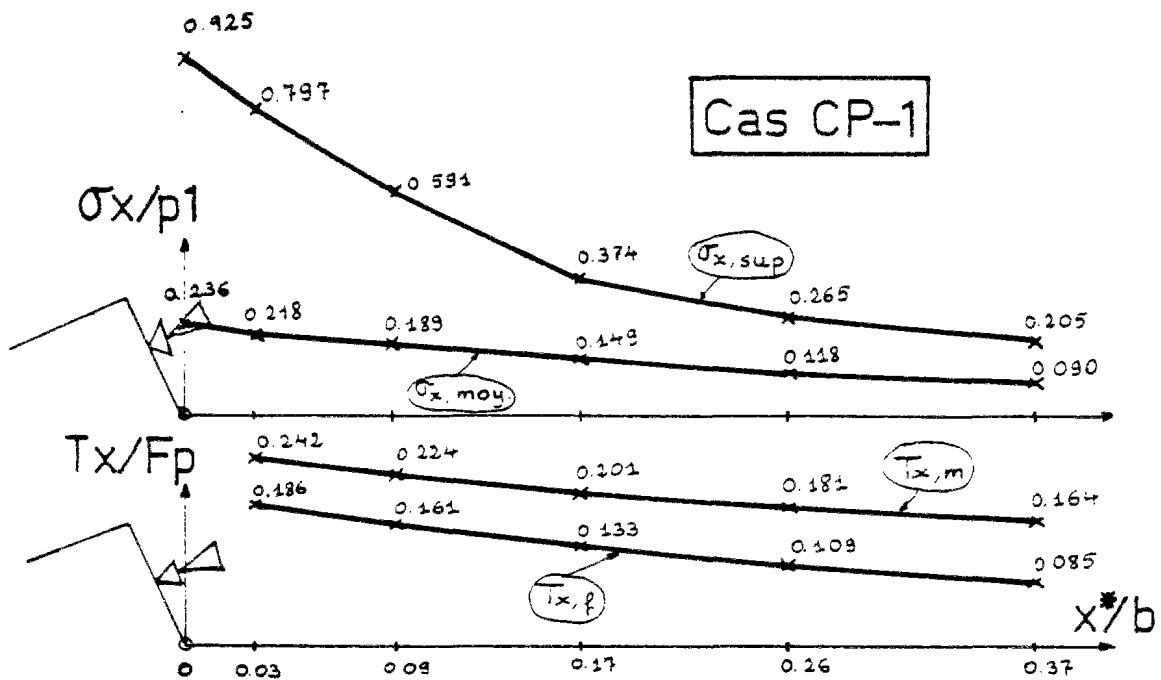


et des flexions

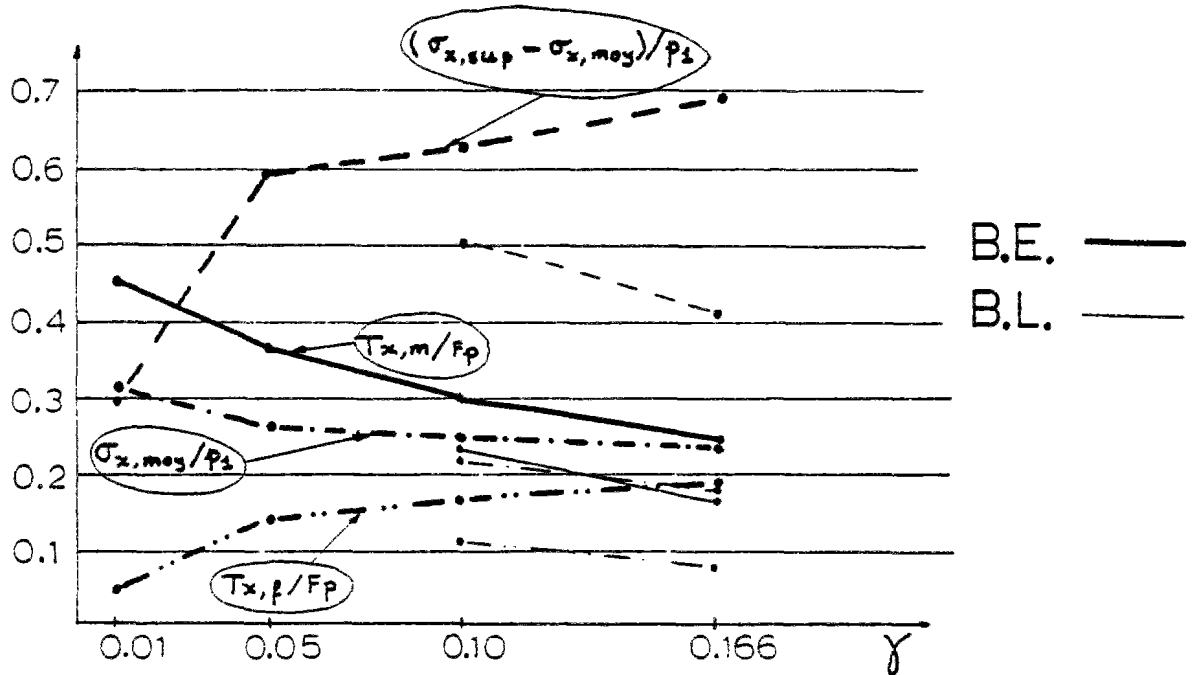


$T_{x,f}$, au fur et à mesure que l'on s'éloigne

du bossage. F_p est la force de précontrainte.



L'évolution, pour différentes valeurs de γ , des contraintes de traction juste derrière le bossage ($x^* = 0, y = 0$) et de leurs résultantes T_x est la suivante :



(B.E.=bords encastres ; B.L.=bords libres ; $\gamma = b_0/b$)

De ces résultats, on peut tirer les considérations suivantes :

— Il existe une zone, très localisée juste derrière l'ancrage, soumise à une forte flexion longitudinale qui entraîne de fortes tractions dans la fibre supérieure du hourdis. Ces flexions diminuent rapidement quand on s'éloigne du bossage. Le calcul indique un pic des valeurs $\sigma_{x,sup.}$, qui doit être nettement écrêté en réalité, par suite des hypothèses de calcul dont les limites ont été signalées dans le paragraphe 2.4.

— Quand γ diminue, les tractions moyennes augmentent. Mais la variation reste assez faible pour les valeurs de γ courantes. Par contre, les valeurs des flexions diminuent quand γ décroît (bossage s'éloignant des âmes latérales). La variation est plus forte que celle des tractions moyennes, et s'accroît nettement quand γ devient très petit.

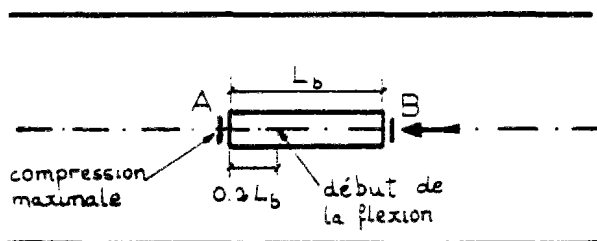
Les valeurs des résultantes des tractions moyennes et des flexions évoluent dans le même sens.

— Les résultats obtenus avec l'hypothèse de bords libres sont nettement du côté de l'insécurité : les contraintes obtenues

sont beaucoup plus faibles et s'annulent plus vite.

Pour $\gamma = 0.166$, nous avons estimé une réduction de 35% dans les valeurs de $T_{x,m}$. La réduction est encore plus importante en ce qui concerne les valeurs des flexions, qui se sont avérés très sensibles aux conditions de déplacement vertical des bords : les $T_{x,f}$ obtenues avec les bords libres sont 40% environ des valeurs calculées avec les bords encastrés, et disparaissent complètement pas très loin du bossage ($h_t = 0.4b$ par rapport à $0.7b$ dans le cas en B.E.). En outre, ces flexions augmentent quand γ diminue, au contraire du cas en B.E. où les flèches nulles imposées sur les bords augmentent les flexions quand γ augmente ('b' diminuant et le bossage s'approchant des bords). Les différences entre les résultats obtenus avec les deux hypothèses (B.L. et B.E.), diminuent rapidement quand le bossage s'éloigne des bords (γ diminue), comme l'on pouvait s'y attendre.

B) Devant le bossage .- Il apparaît une flexion qui tend la fibre supérieure du hourdis, due à la courbure du câble de précontrainte. Cette flexion n'est pas importante, elle reste très localisée autour de l'axe de la pièce et n'entraîne que de très faibles tractions. Elle est d'ailleurs très sensible au tracé du câble dans cette zone là.



— Les compressions sur la fibre moyenne augmentent tout le long du bossage, et atteignent leur maximum à peu près devant le bossage. Au delà, elles diminuent graduellement jusqu'aux valeurs de NAVIER.

— Le tableau ci-dessous montre les valeurs de la compression maximale dans la fibre moyenne (dans l'axe de la pièce), des flexions, et du rapport $\delta = \frac{\text{compression max. en A}}{\text{traction max. en B}}$ (fibre moyenne)

γ	$\sigma_{x,moy}/\rho_1$ (en A)		$\frac{(\sigma_{x,sup} - \sigma_{x,moy})}{\rho_1}$ (en A)		δ	
	B.E.	B.L.	B.E.	B.L.	B.E.	B.L.
0.166	-0.181	-0.243	0.203	0.103	0.77	1.37
0.100	-0.163	-0.193	0.209	0.142	0.66	0.90
0.050	-0.150		0.222		0.59	
0.010	-0.250		0.262		0.89	

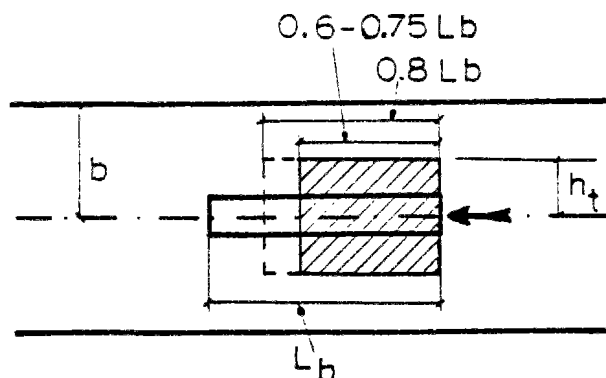
— Les compressions maximales dans la fibre moyenne ne sont pas très élevées. Cela est dû à la présence du bossage, qui permet une application progressive de la précontrainte sur le hourdis. Elles restent nettement inférieures aux tractions moyennes d'entraînement derrière le bossage (en B). Le fait est d'autant plus marqué que "b" est grand.

L'augmentation des valeurs des compressions obtenues avec l'hypothèse de bords libres, découle de la réduction de la section transversale qui, dans ce cas-là, n'a pas d'âmes latérales.

— Les flexions qui apparaissent ne sont pas importantes et deviennent presque négligeables avec l'hypothèse de bords libres.

— Les compressions maximales diminuent avec γ , au contraire de ce qui se produit dans le cas d'un ancrage noyé, où l'application de la charge n'est pas graduelle : du fait de la présence du bossage, les compressions dues à la partie de la force de précontrainte transmise par le partie postérieure du bossage, se diffusent plus vite quand γ décroît (et donnent par conséquent des valeurs plus petites au point A). Cela explique aussi les valeurs obtenues pour $\gamma = 0.01$ où la situation s'approche de celle des ancrages noyés (L_b négligeable par rapport à "b").

C) Le long du bossage . Il apparaît une zone à flexion qui



s'étend sur $0.8 L_b$ à partir de l'ancrage et qui tend la fibre inférieure du hourdis, en y entraînant de fortes tractions sur une longueur de 0.6 à $0.75 L_b$. Cette flexion est due, d'une part à l'excentrement du câble, et d'autre part à celui de la ligne de c.d.g. du bossage

par rapport à celle du hourdis. La flexion demeure à peu près constante sur toute la longueur affectée, si bien que les tractions les plus fortes se produisent juste devant l'ancrage, où s'accumule l'entraînement produit par la précontrainte transmise par la partie du début du bossage.

— La largeur h_t de la zone soumise à des tractions, s'étend sur $0.66 b$ environ, de part et d'autre de l'axe de la pièce. Pour $y=b$ (fig. 5.5), toutes les contraintes σ_x sont des compressions. Par contre, avec l'hypothèse de bords libres, les courbes obtenues montrent que les tractions dans la fibre inférieure persistent jusqu'aux bords du hourdis ($h_t = b$).

— Les valeurs des tractions maximales dans la fibre inférieure du hourdis pour $y = 0$ (axe de la pièce) et $y = b_0$ (bord du bossage), ainsi que celles de la plus grande résultante des tractions T_x , obtenue par intégration des volumes de tractions suivant différentes sections transversales, sont montrées ci-dessous :

δ	$\sigma_{x,inf} / p_1(y=0)$		$\sigma_{x,inf} / p_1(y=b_0)$		T_x / F_p	
	B.E.	B.L.	B.E.	B.L.	B.E.	B.L.
0.166	0.280	0.281	0.311	0.307	0.120	0.202
0.100	0.310	0.303	0.338	0.331	0.202	0.274
0.050	0.340		0.345		0.285	

Un bossage - Courbes des contraintes longitudinales (σ_x)

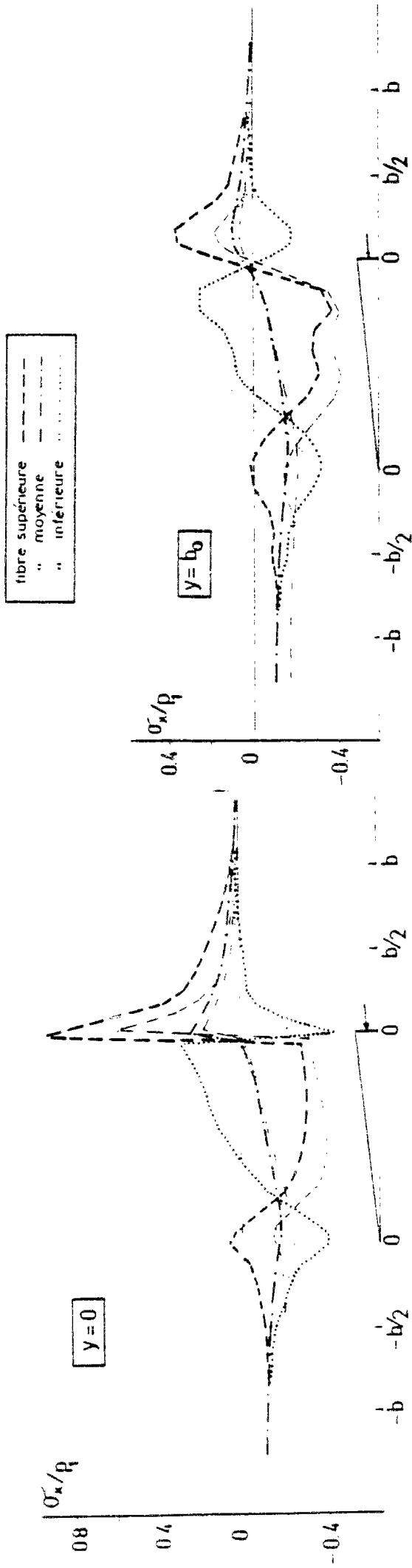


FIG. 5.2

FIG. 5.3

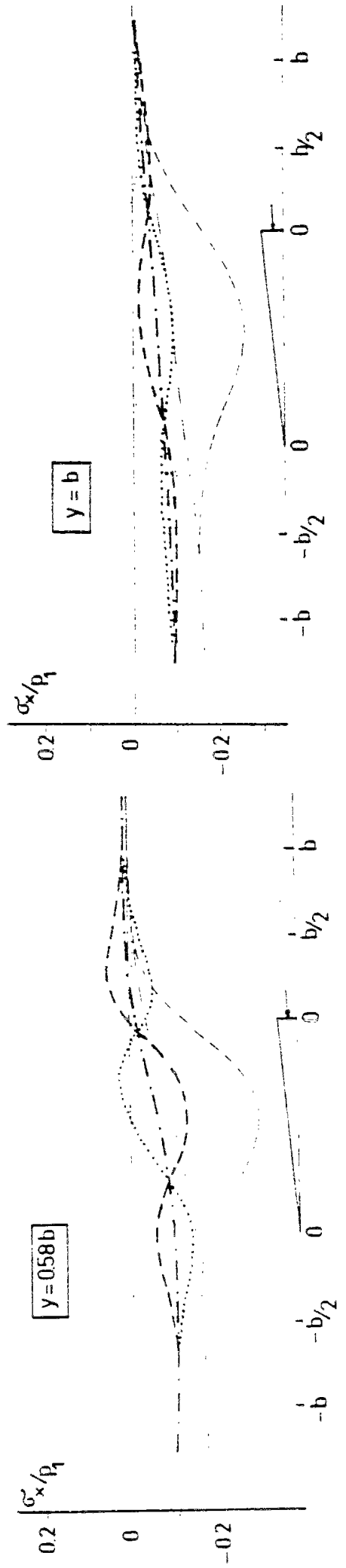


FIG. 5.4

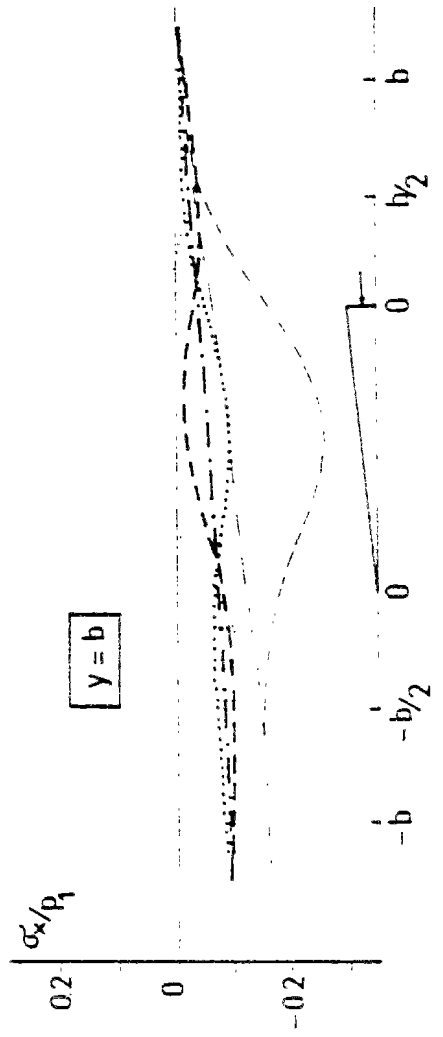


FIG. 5.5

Un bossage - Courbes des contraintes longitudinales

(σ_x)

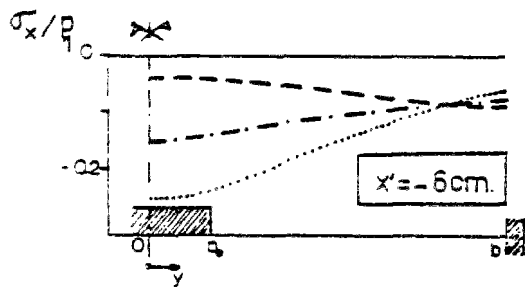
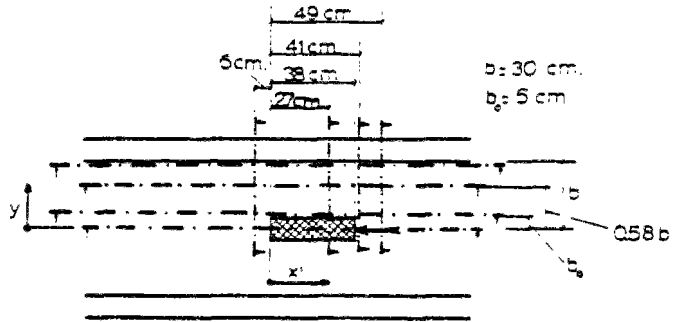


FIG. 5.6

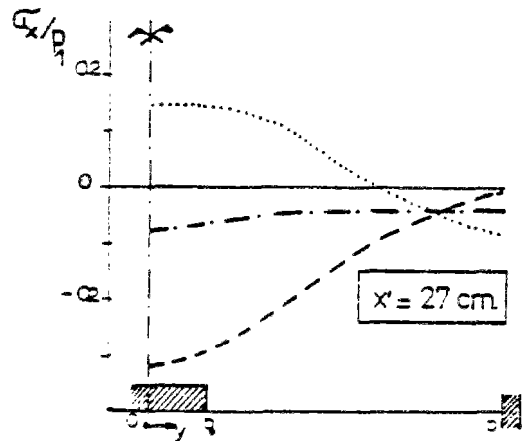


FIG. 5.7

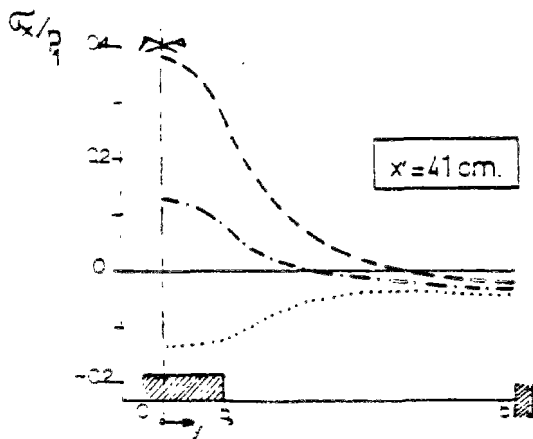


FIG. 5.8

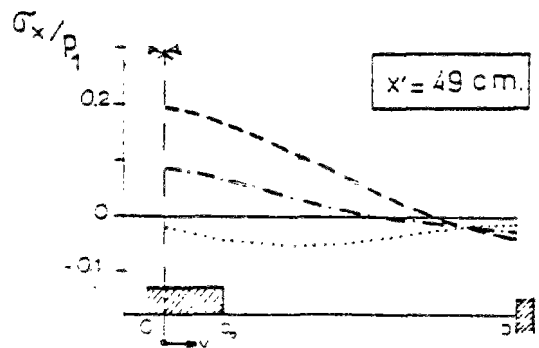


FIG. 5.9

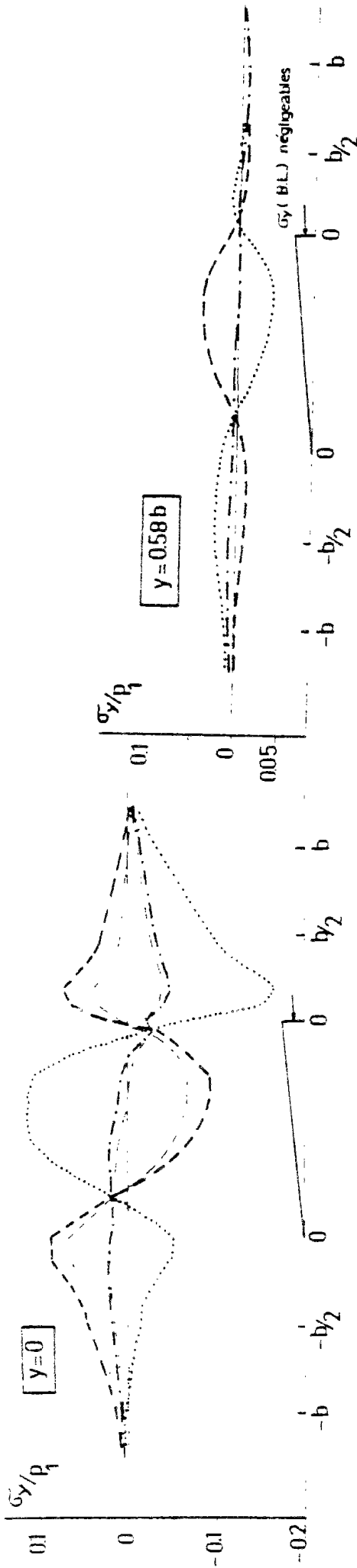


FIG. 5.11

FIG. 5.10

Un bossage - Courbes des contraintes transversales (σ_y)

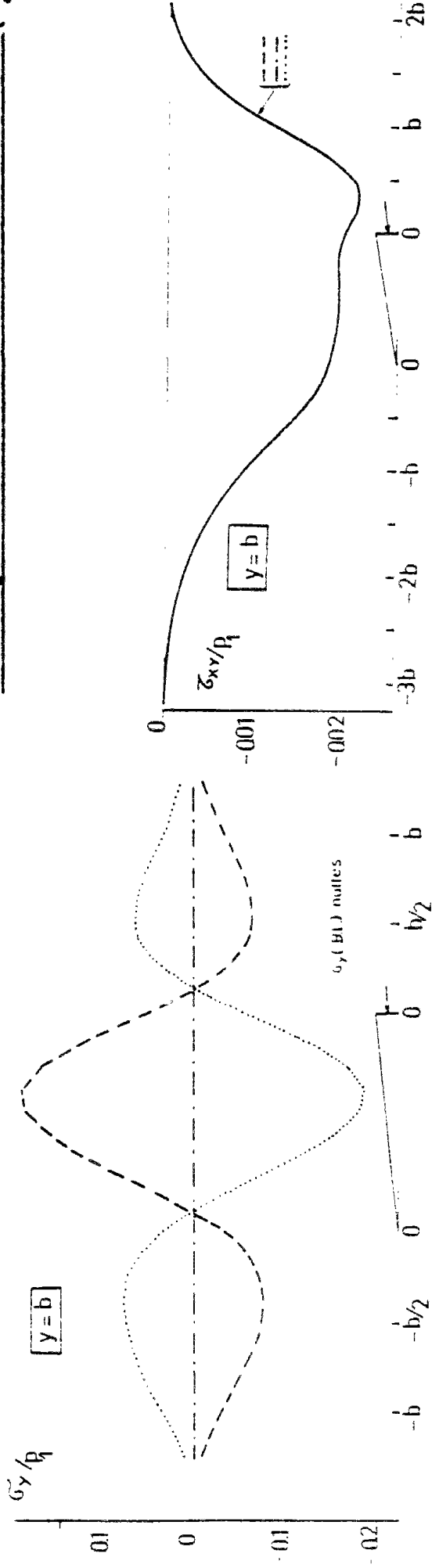


Fig. 5.17

Fig. 5.12

Contraintes de cisaillement le long de la jonction hourdis-parois (τ_{xy})

Un bossage - Courbes des contraintes transversales (σ_y)

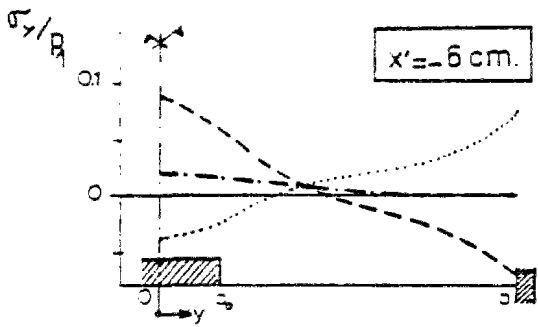


Fig. 5.13

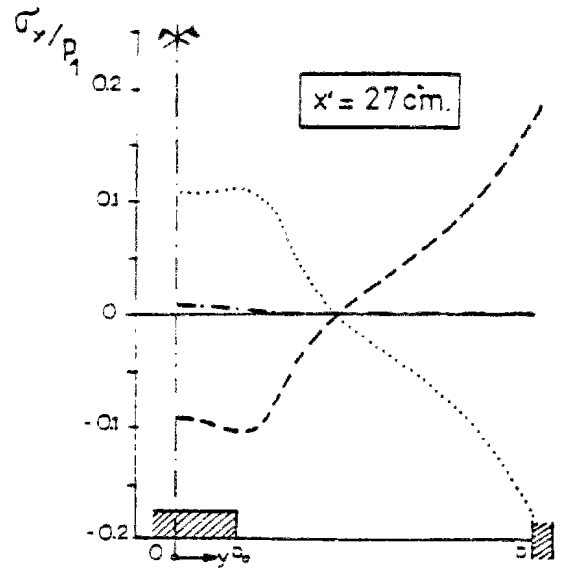


Fig. 5.14

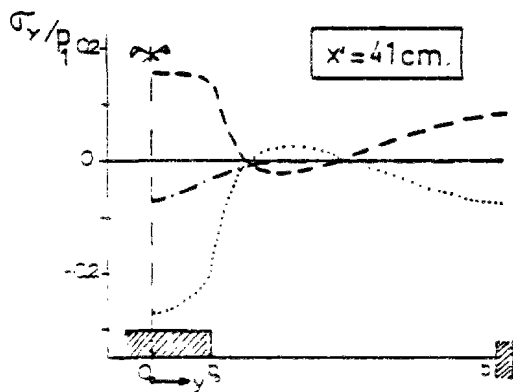


Fig. 5.15

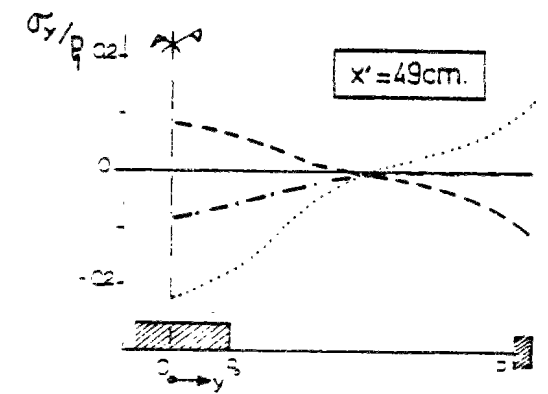


Fig. 5.16

Contraintes longitudinales dans les parois latérales (σ_x)

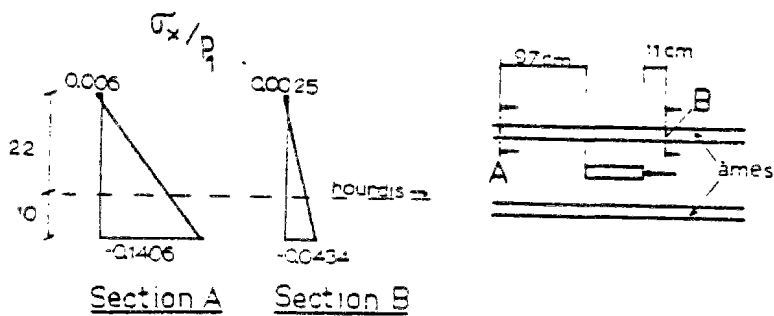


Fig. 5.18

— Quand 'b'augmente, les tractions sur la fibre inférieure augmentent légèrement. Les résultantes T_x augmentent encore plus du fait de l'augmentation de la largeur affectée 'ht'.

Le calcul avec les bords libres donne à peu près les mêmes valeurs des contraintes maximales. La forte augmentation de T_x , est due au fait que dans ce cas, les tractions s'étalent sur toute la largeur du hourdis.

5.1.2.3.- Contraintes transversales σ_y

— Les figures 5.10 à 5.16, montrent les courbes des contraintes transversales σ_y suivant plusieurs sections longitudinales et transversales.

— Sur l'axe de la pièce ($y=0$), les contraintes σ_y , sur la fibre moyenne, prennent des valeurs positives (tractions) jusqu'à une distance de $0.2L_b$ de la fin du bossage. Derrière ce point, ce sont toujours de compression.

La diffusion graduelle entraînée par la présence du bossage, réduit nettement les valeurs des tractions d'éclatement, qui restent faibles et présentent une diffusion très adoucie. On a trouvé une valeur maximale $\sigma_{y, moy.} \approx 0.024p_1$ qui n'est influencée ni par γ , ni par les conditions d'encastrement. La résultante T_y des tractions moyennes d'éclatement est aussi faible, entre 0.10 et 0.18 Fp.

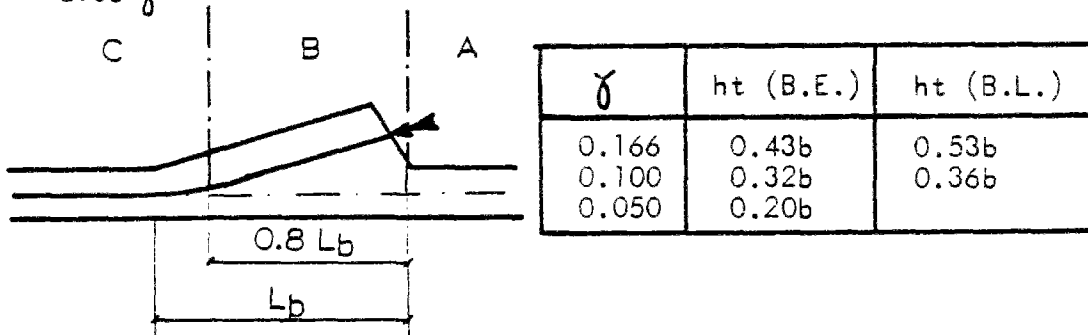
— On a décelé la présence de trois zones de flexion transversale :

a) Une première, derrière le bossage, qui met la fibre supérieure du hourdis en traction (zone A)

b) Une seconde, le long du bossage, qui s'étend sur $0.8L_b$ à partir de l'ancrage, avec des tractions sur la face inférieure du hourdis (zone B)

c) Une troisième devant le bossage, qui s'étend aussi sur une distance de $0.2L_b$ vers l'intérieur du bossage. Elle est très sensible à la courbure du câble, et tend la fibre supérieure du hourdis (zone C)

— La largeur 'ht' de la zone affectée par les tractions, varie avec γ



— Les valeurs des tractions transversales maximales dans les trois zones sont :

γ	$\sigma_{y,max} / p_1$		$\sigma_{y,max} / p_1$		$\sigma_{y,max} / p_1$	
	B.E.	B.L.	B.E.	B.L.	B.E.	B.L.
0.166	0.081	0.041	0.170	0.107	0.090	0.073
0.100	0.056	0.046	0.167	0.139	0.080	0.076
0.050	0.040		0.157		0.066	
	ZONE A		ZONE B		ZONE C	

— L'hypothèse de l'annulation des rotations transversales ($\varphi_y = 0$) le long des bords, que nous avons adopté, entraîne l'apparition de fortes flexions transversales à l'encastrement (fig.5.12).

Ces flexions diminuent nettement quand 'b' augmente.

Dans la réalité, où une certaine rotation φ_y existe, ces flexions seront nécessairement moins fortes.

5.1.2.4. - Etat de contraintes dans les parois latérales.

La figure 5.17 montre le cisaillement le long de la ligne de jonction hourdis-parois. La figure 5.18 donne les contraintes longitudinales σ_x dans les parois, pour deux sections transversales : l'une devant le bossage, quand la précontrainte est déjà diffusée, et qui correspond à la distribution de Navier ; l'autre située derrière le bossage.

La distribution des contraintes σ_x dans les parois latérales, suit une loi linéaire, où seule la grandeur des contraintes varie.

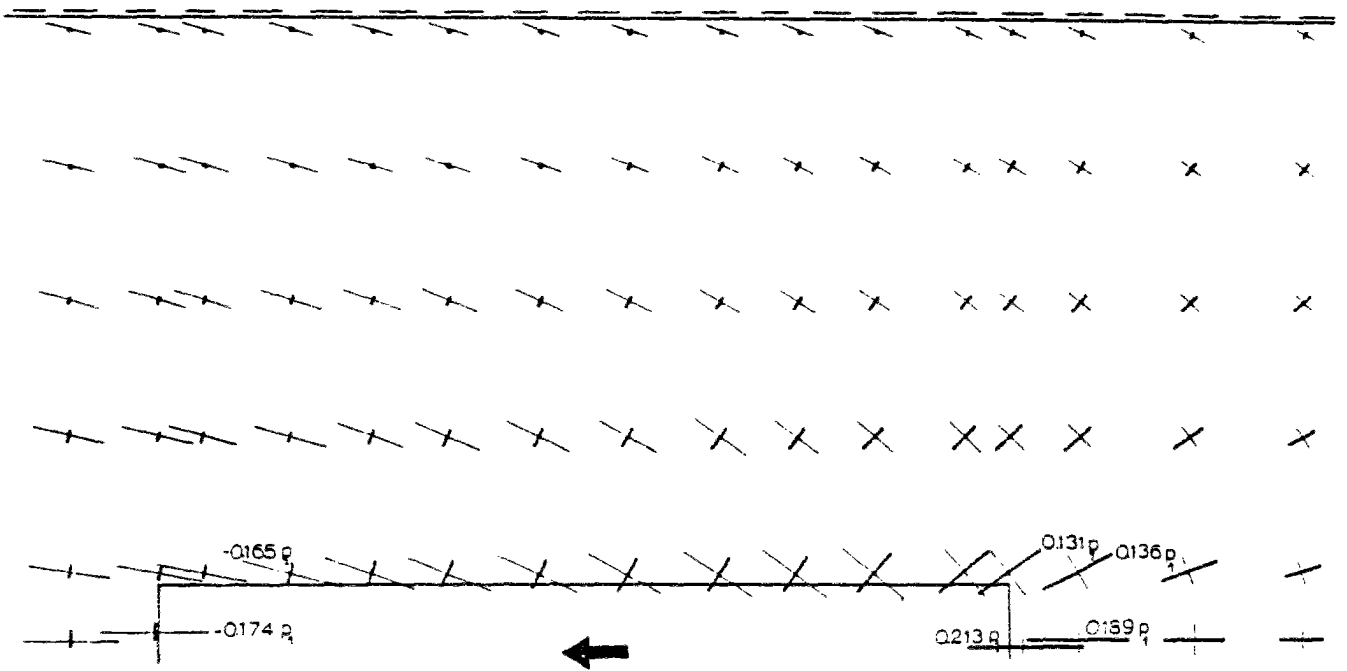


Fig. 5.19 - Fibre moyenne

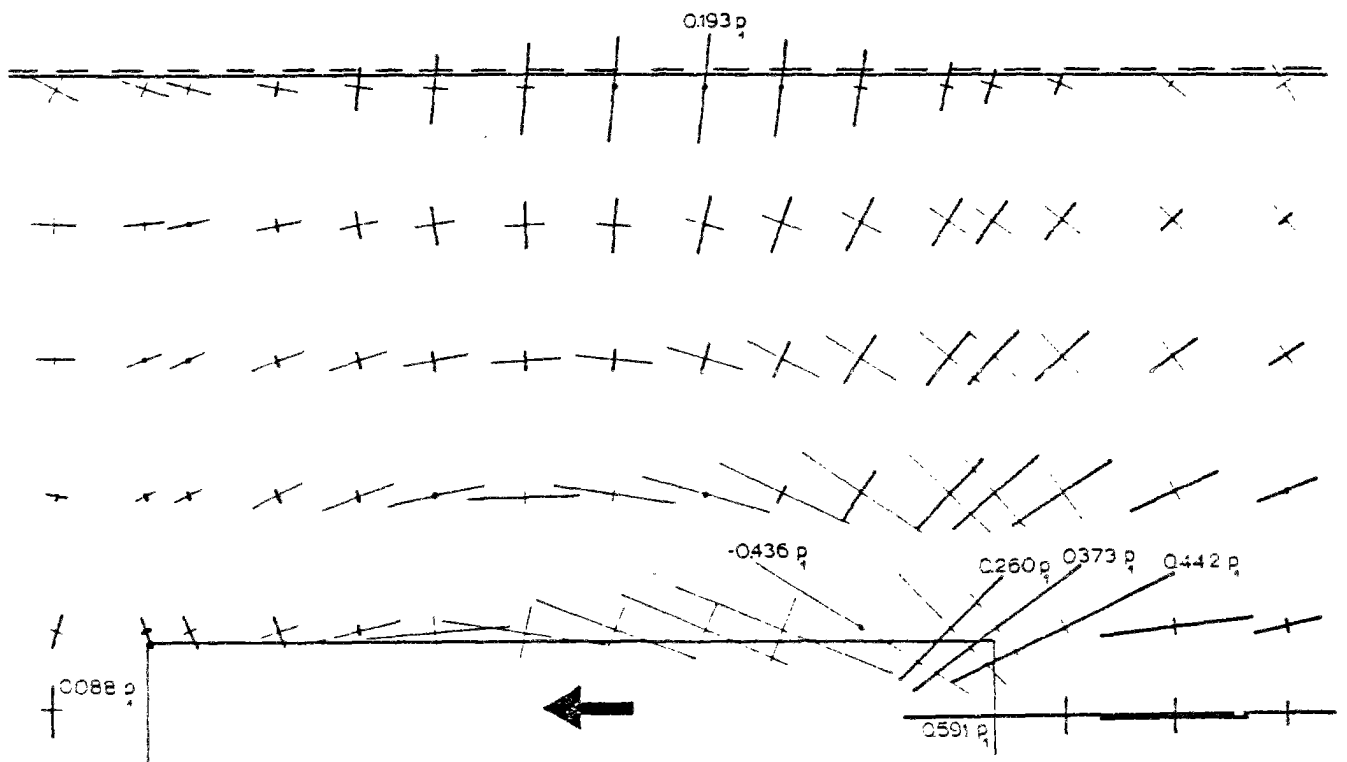


Fig. 5.20 - fibre supérieure

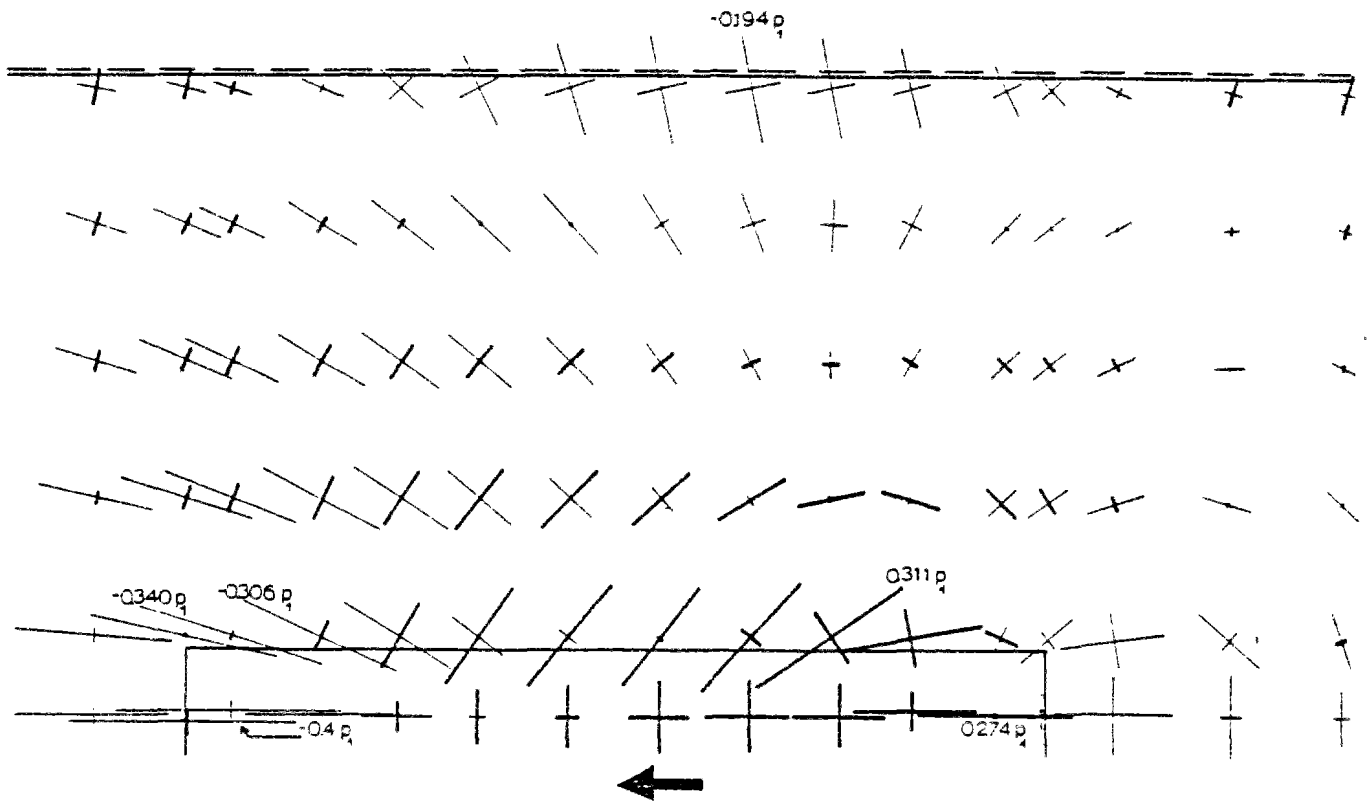
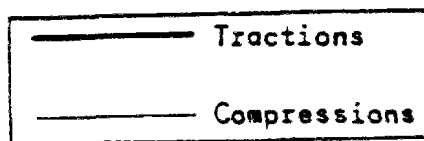


Fig. 5.21 - Fibre inférieure



Un bossage - Diagrammes des contraintes principales

5.1.2.5. - Diagrammes de contraintes principales :

Les figures 5.19 à 5.21, montrent les distributions des contraintes principales, dans le cas CP-1, pour les fibres moyenne , supérieure et inférieure.

— La fibre moyenne du hourdis (5.19), est toujours sollicitée en traction-compression.

La transmission de la précontrainte du bossage au hourdis, se fait par deux mécanismes principaux : cisaillement le long des bords latéraux du bossage, et entraînement de la zone derrière l'ancrage. Elle a lieu très graduellement, et est en grande partie accomplie devant le bossage. Les compressions restent donc modérées avec un léger maximum à l'avant du bossage, et les tractions transversales (ou d'éclatement) sont assez faibles. Par contre, des tractions appréciables apparaissent aux bords du bossage avec une pointe juste derrière l'ancrage où s'accroissent les effets dus à la discontinuité géométrique qui y existe.

— Les distributions concernant les fibres extrêmes montrent les trois zones de flexion citées auparavant :

- a) Devant le bossage, avec une décompression longitudinale de la fibre supérieure, laquelle est aussi sollicitée transversalement en traction.
- b) Derrière le bossage, une zone critique où la fibre supérieure subit de très fortes tractions longitudinales et d'autres, plus faibles, transversales.
- c) A l'intérieur du bossage, il apparaît une autre zone critique, où la fibre inférieure est fortement sollicitée en traction. Les tractions les plus grandes, apparaissent le long des bords du bossage ($y = b_0$) et à une distance de $0.25L_b$ environ de l'ancrage. Là, le béton est en bitraction et la direction des tractions maximales forme un angle de 35° environ avec l'axe de la pièce.

Toutes ces flexions présentent de très brusques variations, surtout à proximité de la discontinuité géométrique de la fin du bossage.

— Aux bords de la pièce, on voit de fortes flexions transver-

sales. Cela vient de l'hypothèse d'impossibilité des rotations ($\varphi_y = 0$), que nous avons adoptée .

Les calculs faits avec d'autres valeurs de γ , montrent que ces flexions diminuent rapidement quand le bossage s'éloigne des bords.

— Les diagrammes obtenus avec l'hypothèse de bords libres (cas CP-2), que nous ne montrons pas, présentent par rapport à ceux du cas CP-1, les mêmes variations qui ont été signalées lors de l'analyse des contraintes σ_x et σ_y : les flexions devant et derrière l'ancrage sont plus faibles et disparaissent rapidement. Par contre, la flexion de la zone centrale du bossage s'étale transversalement sur toute la largeur de la pièce. Cette flexion entraîne des tractions, dans la fibre inférieure du hourdis, qui arrivent jusqu'aux bords de la pièce.

— Il faut aussi noter que des tractions importantes existent dans des zones où le béton est sollicité en compression - traction, et sa résistance ultime est, par conséquent, nettement plus faible que la valeur en compression uniaxiale β_p .

5.1.3.-Influence de la longueur du bossage.-

L'étude des cas CP-10 et CP-11, où seule la longueur du bossage a été modifiée ($L_b=150$ cm en CP-10, et $L_b=100$ cm en CP-11) nous permet de dégager son influence :

— Dans la zone soumise à des tractions d'entraînement, la diminution de L_b augmente la longueur de diffusion L_t , ainsi que les contraintes maximales de traction dans la fibre moyenne, et leur résultante.

Par contre, les flexions diminuent avec L_b , à cause de la réduction de la zone du bossage affectée par les excentremets du câble.

L_b	L_t	$\sigma_{x, moy}/p_1$	$T_{x, m}/F_p$	$\sigma_{x, sup}/p_1$	$T_{x, f}/F_p$	$(\sigma_{x, sup} - \sigma_{x, moy})/p_1$
100 cm	0.77b	0.237	0.318	0.670	0.103	0.433
150 cm	0.68 b	0.217	0.293	0.740	0.146	0.523

Toutes ces variations restent cependant faibles.

— Devant le bossage, on aperçoit une influence nette de la variation de L_b , sur les valeurs des contraintes :

L_b	$\sigma_{x,moy}/p_1$	$\sigma_{y,moy}/p_1$	δ
100 cm	- 0.196	0.025	0.83
150 cm	- 0.151	0.017	0.70

$$\delta = \frac{\text{Compression max.devant le bossage}}{\text{traction max.derrière le bossage}}$$

(fibre moyenne)

La diminution de la longueur du bossage et, par conséquent, l'application plus brusque de la charge, entraîne une forte augmentation des compressions devant le bossage. De même, les tractions transversales d'éclatement σ_y augmentent brusquement quand L_b diminue, tout en demeurant cependant faibles.

— Les valeurs des flexions longitudinales et transversales devant et à l'intérieur du bossage sont à peine affectées par sa longueur L_b .

5.1.4. - Influence des dimensions relatives bossage-hourdis et de l'excentrement du câble.-

— L'analyse des résultats des cas CP-7 à CP-10, qui comportent des variations des épaisseurs du hourdis (h_0) et du bossage (h_b), ne nous permet pas de dégager une correspondance claire entre les dimensions relatives au bossage et du hourdis, et les flexions calculées.

En effet, nous avons constaté que c'est plutôt l'excentrement du câble par rapport à la ligne des centres de gravité des sections, qui a une influence sur les valeurs des flexions.

— Cela nous a emmené à étudier, pour une même épaisseur du hourdis (16 cm), deux hauteurs de bossage différentes : 24 cm (CP-10) et 30 cm (CP-9) et ce dernier cas, avec deux tracés du câble différents (CP-9A et CP-9B) :

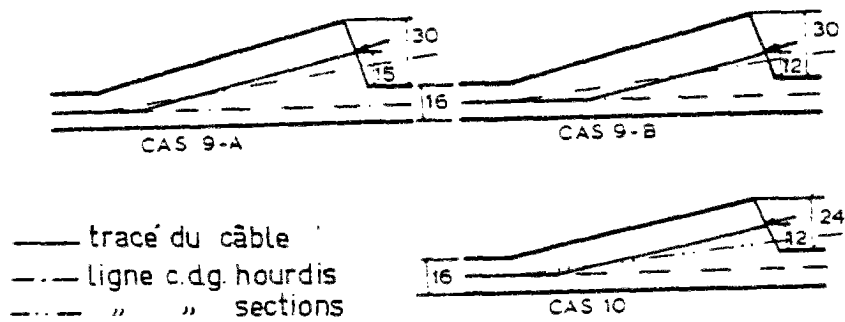


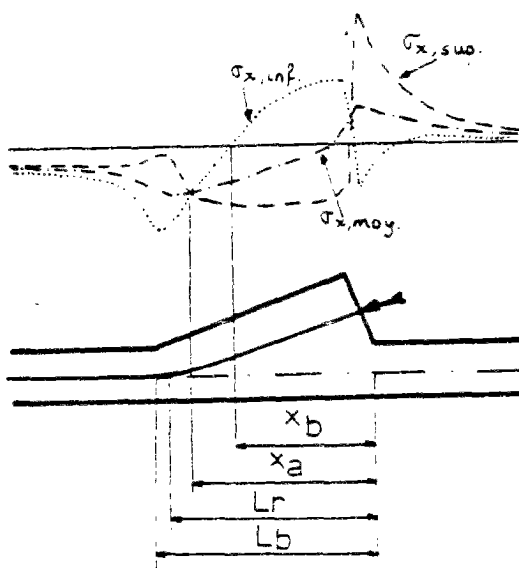
Fig.5.22

— Dans la zone des tractions d'entraînement, nous avons obtenu les valeurs suivantes :

CAS	$\sigma_{x,moy}/p_1$ ($y=0$)	$T_{x,m}/F_p$	(y=0)		
			$\sigma_{x,sup}/p_1$ (y=0)	$\frac{(\sigma_{x,sup}-\sigma_{x,moy})}{p_1}$	$T_{x,f}/F_p$
CP-10	0.217	0.293	0.740	0.523	0.146
CP-9A	0.215	0.292	0.583	0.368	0.098
CP-9B	0.233	0.302	0.540	0.310	0.077

Nous remarquons que les tractions moyennes changent à peine, mais les flexions s'avèrent très sensibles aux excentrement.

— Quant aux flexions à l'intérieur du bossage, les tractions obtenues dans la fibre inférieure du hourdis varient plus :



CAS	$\sigma_{x,inf}/p_1$ (y=0)	$T_{x,f}/F_p$
CP-10	0.226	0.192
CP-9A	0.157	0.134
CP-9B	0.119	0.112

— La longueur de la zone soumise à cette flexion (x_a), ainsi que celle où des tractions apparaissent sur la fibre inférieure (x_b), sont très sensibles au tracé du câble et à son point de raccord sur la fibre moyenne du hourdis (L_r).

CAS	L_r/L_b	x_a/L_b	x_b/L_b
CP-10	0.85	0.75	0.64
CP-9A	0.75	0.67	0.57
CP-9B	0.70	0.63	0.52

— De cette étude, nous pouvons dégager deux conclusions importantes :

1. - La comparaison des résultats des cas CP-9B et CP-10 montre que, pour une épaisseur du hourdis donnée (h_0), une augmentation de la hauteur du bossage (h_b) diminue l'excentrement du câble par rapport à la ligne des c.d.g. des sections, et entraîne donc une réduction très nette des valeurs des flexions au milieu et derrière le bossage.

Les cas CP-9A et CP-9B, montrent que l'ancrage, dans la mesure du possible, ne doit pas être centré dans le bossage (CP-9A), mais placé le plus proche possible du hourdis (CP-9B).

2. - Les flexions dans la partie devant du bossage sont très sensibles au tracé du câble dans la zone de raccord sur la fibre moyenne du hourdis. Le cas CP-9B est le plus favorable. Il en découle que le raccord doit être réalisé à l'intérieur du bossage ($L_r < L_b$), ce qui évite l'apparition de tractions longitudinales, dans la fibre supérieure du hourdis, devant le bossage. En même temps, cela permet d'augmenter l'enrobage du câble dans une zone où la poussée au vide est importante.

5.1.5.- Effet du groupement de bossages

5.1.5.1. - Deux bossages.

— Nous l'avons étudié avec l'hypothèse de bords encastres (CP-12) et de bords libres (CP-13). Le cas CP-12 correspond aux essais Ho-B, avec lesquels nous ferons plus loin la comparaison.

Aux figures 5.23 à 5-34 nous montrons les allures des contraintes σ_x et σ_y , suivant différentes sections longitudinales et transversales. Sur les courbes longitudinales sont montrés, en traits fins, les résultats obtenus avec les bords libres.

Les figures 5.35 à 5.37 présentent les contraintes principales

obtenues respectivement, dans les fibres moyenne, supérieure et inférieure du hourdis.

— Les bossages étant très proches des parois, les conditions de bords ont ici une grande influence et les résultats obtenus avec l'hypothèse de bords libres se situent déjà fort loin de la réalité : des trois zones de flexion longitudinale, seule la centrale reste accentuée et les deux restantes apparaissent très faiblement, uniquement à proximité de l'axe du bossage.

— Avec l'hypothèse de bords encastés, les trois zones de flexion longitudinale subsistent sur toute la largeur du hourdis.

Des tractions longitudinales importantes apparaissent sur la fibre supérieure derrière l'ancrage, et sur la fibre inférieure à l'intérieur du bossage. Ces tractions persistent sur toute la zone entre les deux bossages et disparaissent rapidement quand on s'approche des bords. Le long de la ligne de jonction hourdis-parois, les σ_x sont toujours négatives (compressions).

— Les allures des courbes de contraintes ne s'éloignent pas trop de celles obtenues pour un bossage. Les nettes augmentations des flexions transversales (fig 5.34) sont dues uniquement au fait que le bossage est ici beaucoup plus près des bords, où nous avons imposé des rotations transversales nulles.

— Les principaux résultats numériques sont les suivants :

	Derrière le bossage	A l'intérieur du bossage	Devant le bossage
$\sigma_{x, \text{moyenne}} \text{ maximale}$	0.203pl (traction)		-0.251pl (compression)
$\sigma_x \text{ (traction) max.}$	0.905pl (fibre sup.)	0.230pl (fibre inf.)	
Flexion ($\sigma_{x, \text{sup}} - \sigma_{x, \text{inf}}$)	0.702pl		0.215pl
Résultante $T_{x, m}$ (tractions moyennes)	0.236 Fp		
Résultante $T_{x, f}$ (flexions)	0.167Fp (fibre sup.)	0.088Fp (fibre inf.)	

Deux bossages - Courbes des contraintes longitudinales (σ_x)

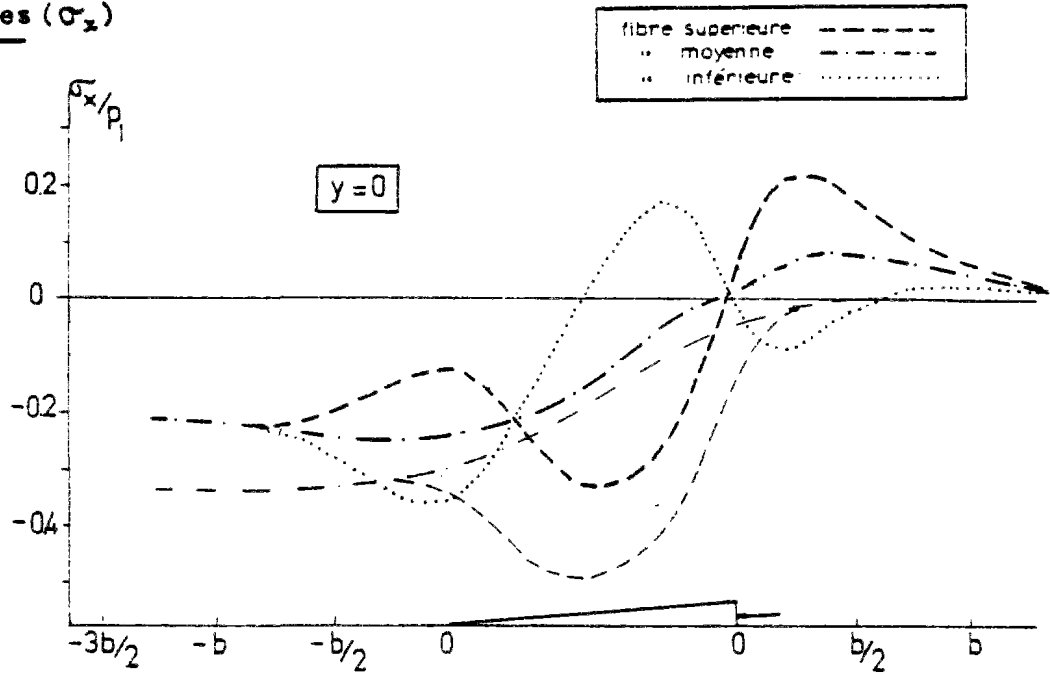


Fig. 5.23

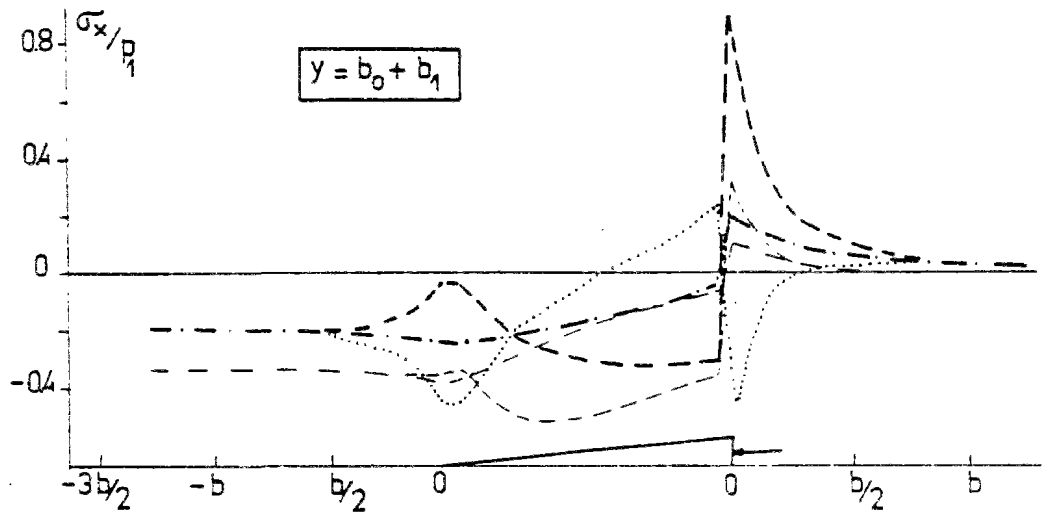


Fig. 5.24

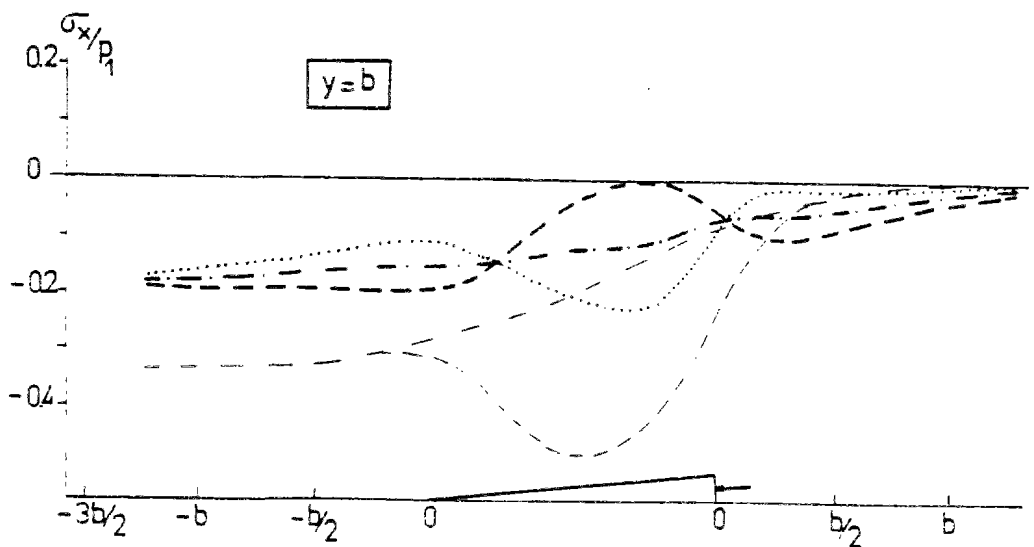


Fig. 5.25

Deux bossages - Courbes des contraintes longitudinales et transversales

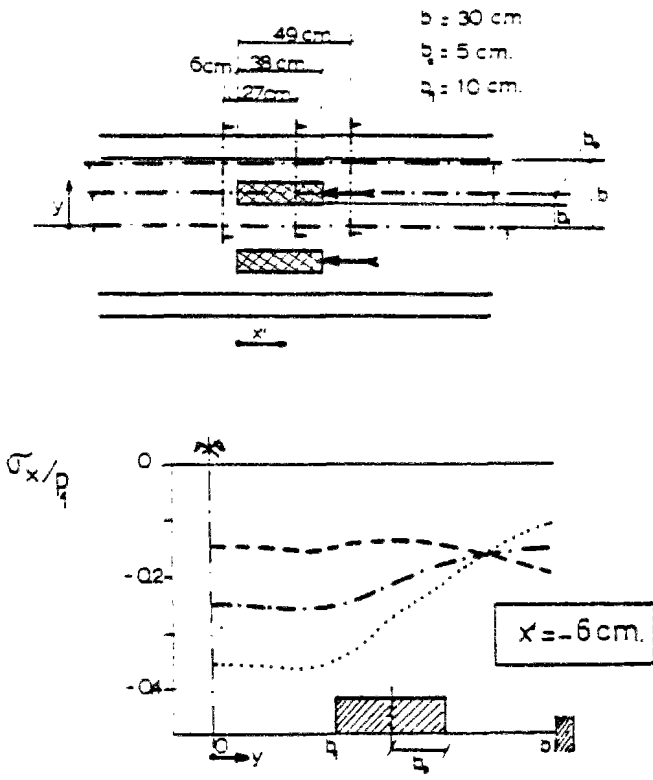


Fig. 5.26

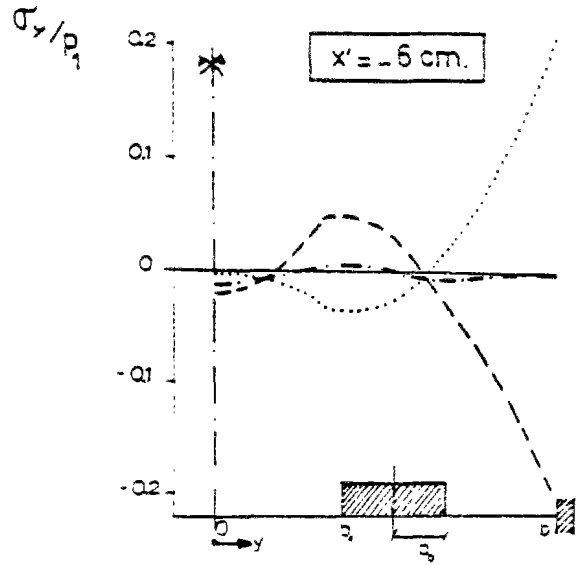


Fig. 5.29

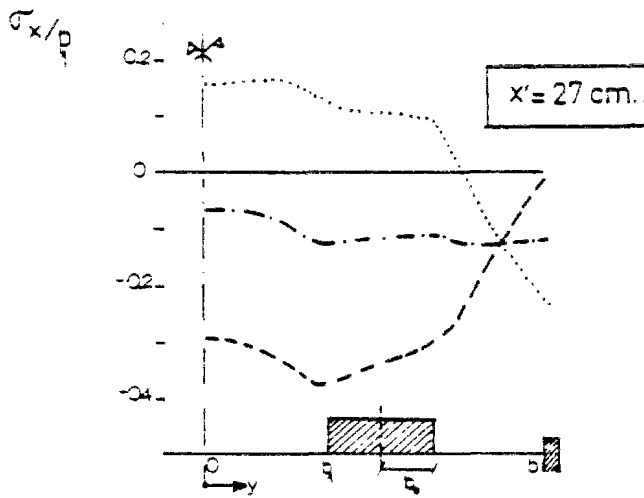


Fig. 5.27

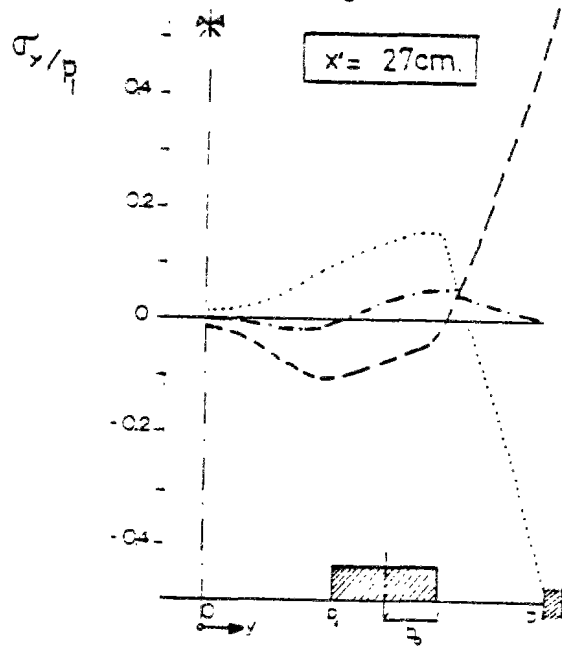


Fig. 5.30

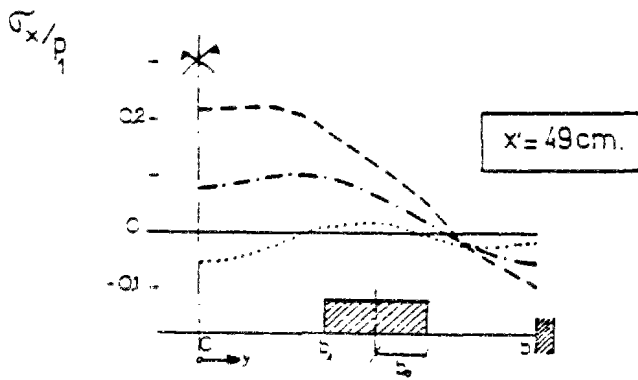


Fig. 5.28

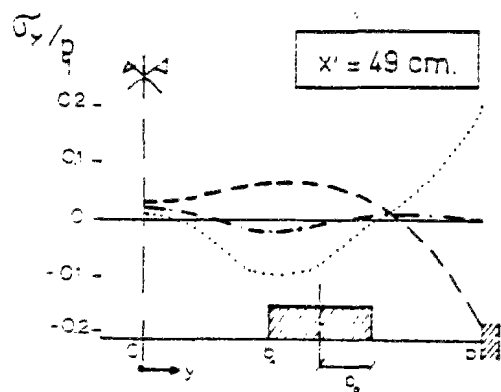


Fig. 5.31

Deux bossages - Courbes des contraintes transversales (σ_y)

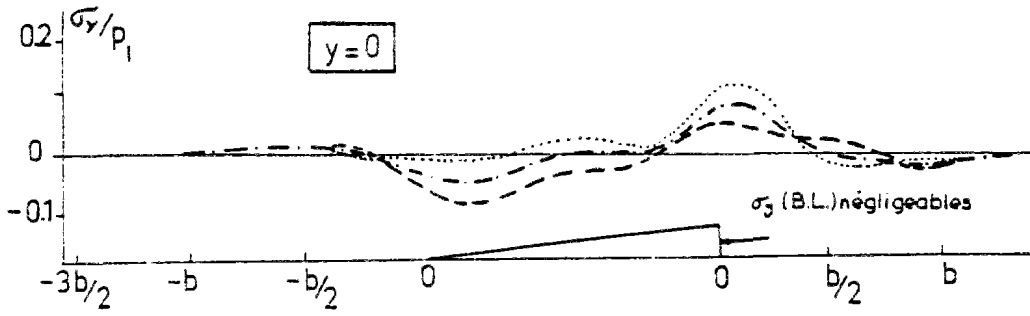


Fig. 5.32

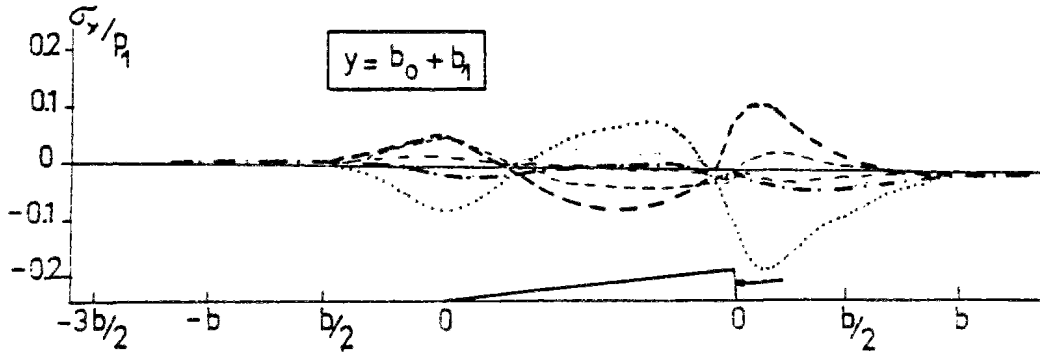


Fig. 5.33

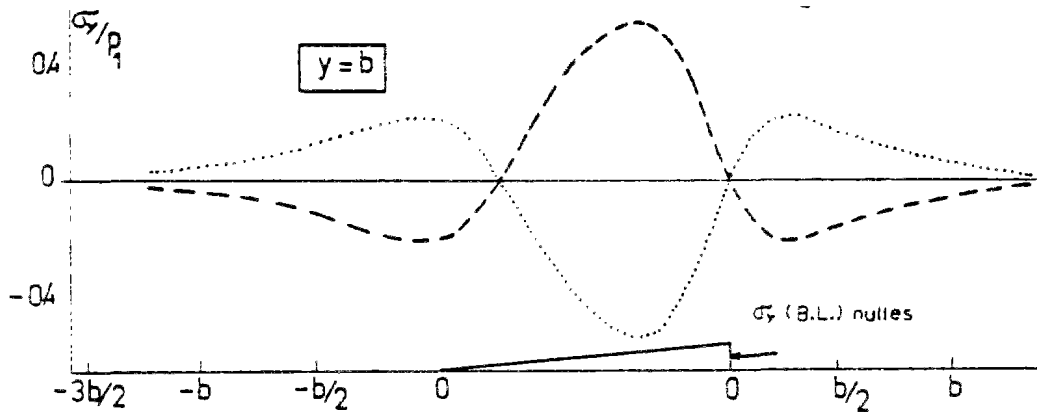


Fig. 5.34

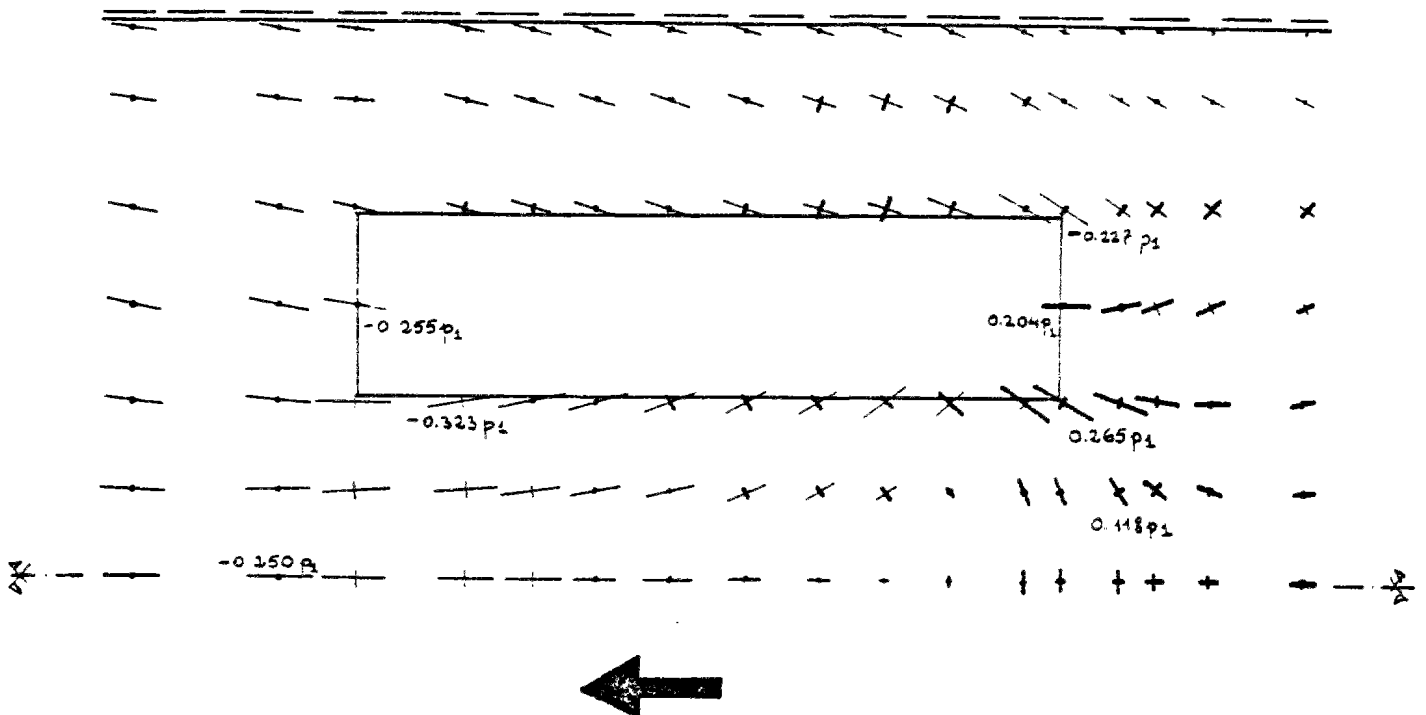


Fig. 5.35 - Fibre moyenne (diagramme des contraintes principales)

Deux bossages - Diagrammes des contraintes principales

————— Traction
 ————— Compression

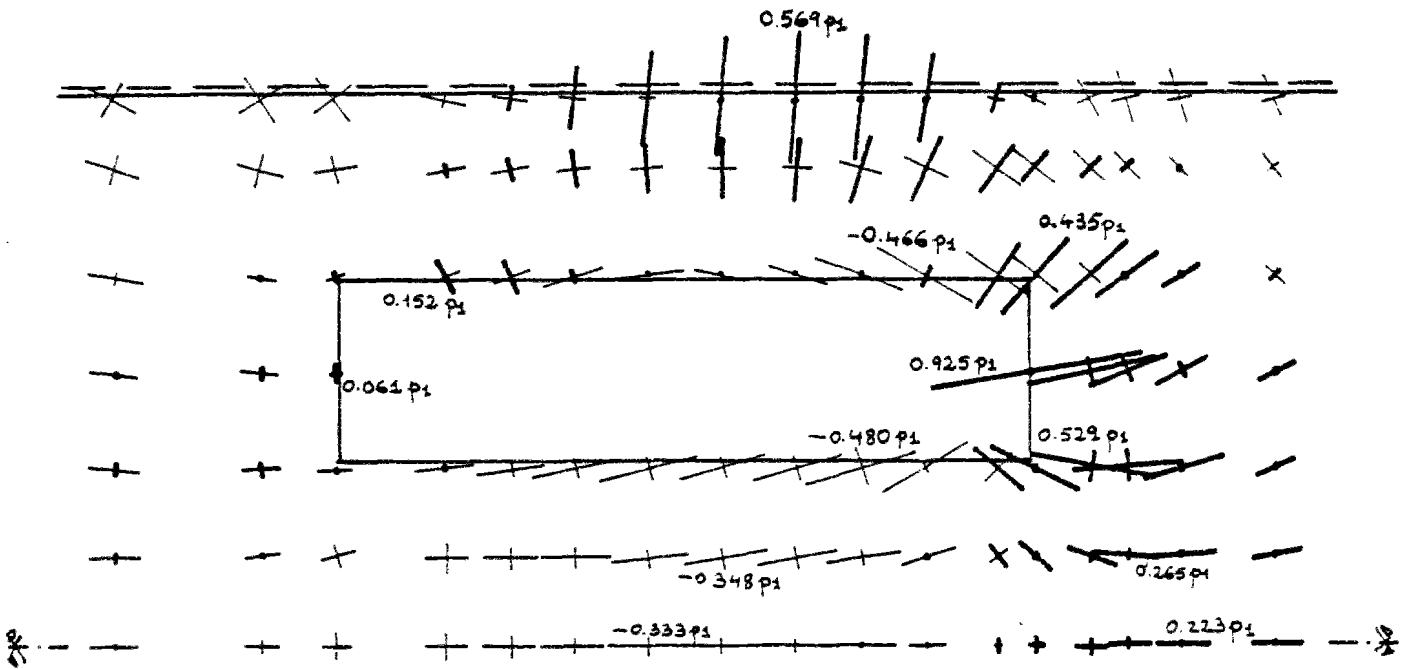


Fig. 5.36 - Fibre supérieure

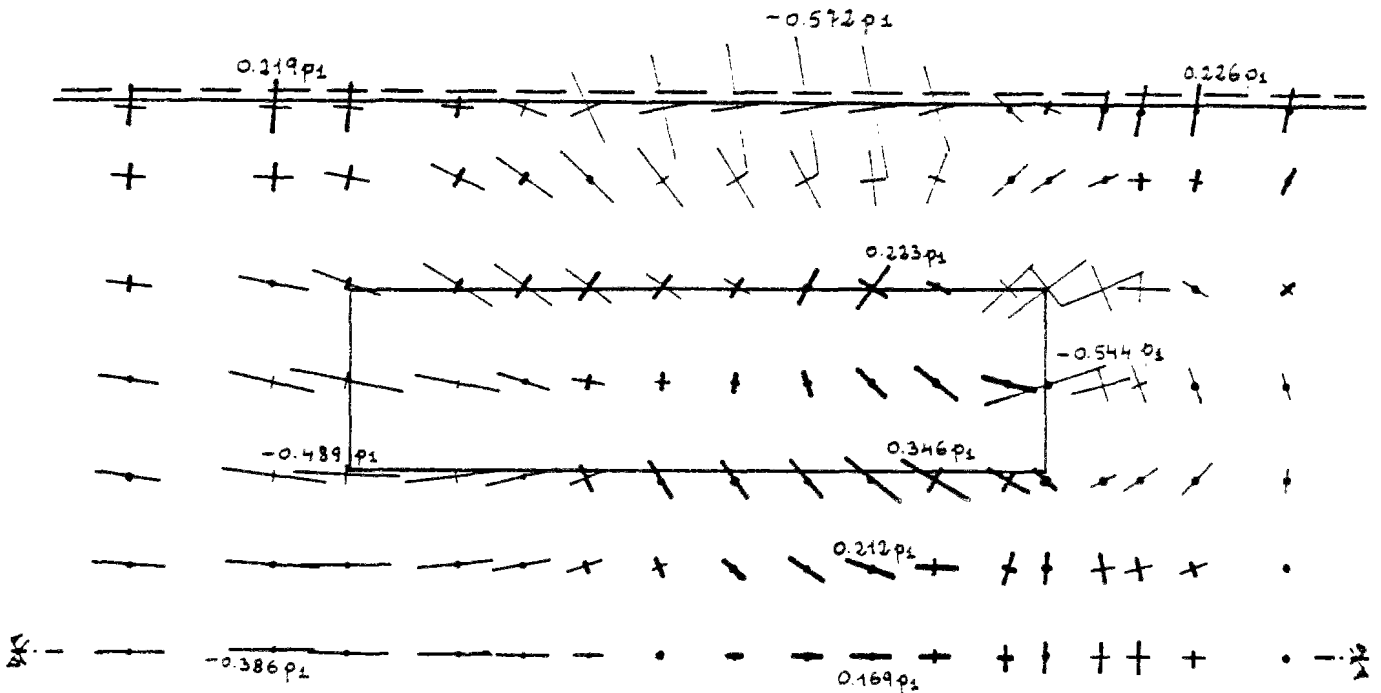


Fig. 5.37 - Fibre inférieure

$$\delta = \frac{\text{Compression maximale devant le bossage}}{\text{traction maximale derrière le bossage}} = 1.24$$

F_p et p_l correspondent à la précontrainte d'un seul bossage. Les valeurs présentées ont été obtenues à l'axe du bossage ($y = b_0 + b_1$). Des valeurs plus grandes peuvent, dans certains cas, apparaître pour $y = b_0$.

— Par comparaison avec les résultats d'un seul bossage (cas CP-1), nous constatons que les valeurs des tractions restent assez proches, donc nullement affectées par la présence du deuxième bossage. La faible réduction des valeurs des résultantes des tractions est due seulement à la diminution de la largeur de la section transversale correspondante à chaque bossage.

Par contre, les compressions augmentent nettement, ce qui explique la variation du coefficient δ , qui valait 0.77 au cas d'un seul bossage.

— Les diagrammes des contraintes principales montrent que les deux zones critiques : derrière l'ancrage avec la fibre supérieure tendue, et au milieu du bossage avec des tractions sur la fibre inférieure (maximum à 0.25 Lb de l'ancrage), s'étendent sur toute la zone interbossages, laquelle reste fortement sollicitée. Par contre, la proximité des parois latérales provoque une brusque réduction des flexions longitudinales dans la zone comprise entre le bossage et les bords du hourdis.

Aux bords de la pièce, nous obtenons une très forte flexion transversale qui tend la fibre supérieure du hourdis à côté du bossage et la fibre inférieure devant et derrière lui. Bien que dans la réalité, où les rotations transversales φ_y ne sont pas complètement empêchées, les flexions doivent être plus modérées, il paraît évident qu'un risque de fissuration existe dans cette zone là, quand les bossages sont assez proches des bords de la pièce.

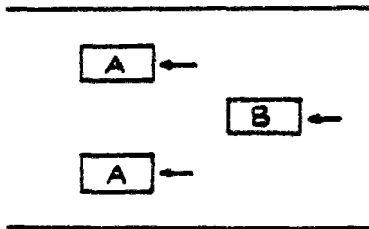
Le calcul donne aussi des tractions transversales dans la zone

interbossages qui est proche du point d'application de la charge.

5.1.5.2. - Trois bossages. -

— Nous avons calculé le cas CP-14, qui correspond à l'essai Ho-C. Les dimensions du hourdis, du bossage et des âmes sont les mêmes que pour les cas CP-1 et CP-12, déjà étudiés. Seul le nombre de bossages varie.

Les figures 5.38 à 5.42 présentent les courbes de contraintes σ_x et σ_y , suivant certaines sections longitudinales. Les diagrammes de contraintes principales sont indiquées dans les figures 5.43 et 5.45.



— Les principaux résultats obtenus pour les ancrages antérieurs (A) et postérieur (B), sont montrés ci-après. F_p et p_1 se rapportent toujours à la précontrainte d'un seul bossage.

	BOSSAGE A			BOSSAGE B		
	Derrière	Intérieur	Devant	Derrière	Intérieur	Devant
σ_x , moyenne maximale	0.081 pl (traction)		-0.355 Pl (compression)	0.262 pl (traction)		-0.068 pl (compression)
σ_x (traction) maximale	0.704 pl (fibre sup.)	0.109 pl (fibre inf.)		0.923 pl (fibre sup.)	0.329 pl (fibre inf.)	
Flexion ($\sigma_{x, sup} - \sigma_{x, inf}$)	0.623 pl		0.198 pl	0.661 pl		0.316 pl
Résultante $T_{x,m}$ des tractions moyennes	0.208 F_p			0.300 F_p		
Résultante $T_{x,f}$ des flexions	0.137 F_p (fibre sup.)	0.039 F_p (fibre inf.)		0.193 F_p (fibre sup.)	0.194 F_p (fibre inf.)	

Trois bossages - Courbes des contraintes longitudinales

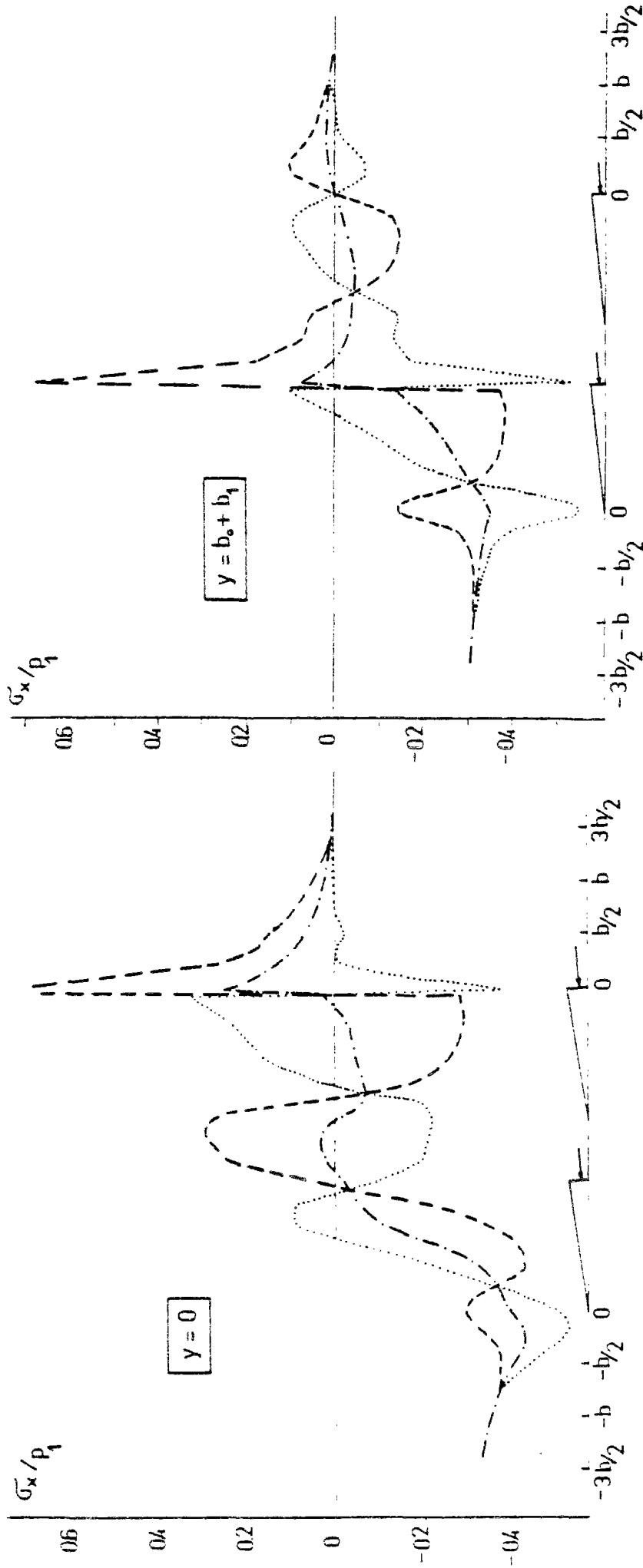


Fig. 5.39

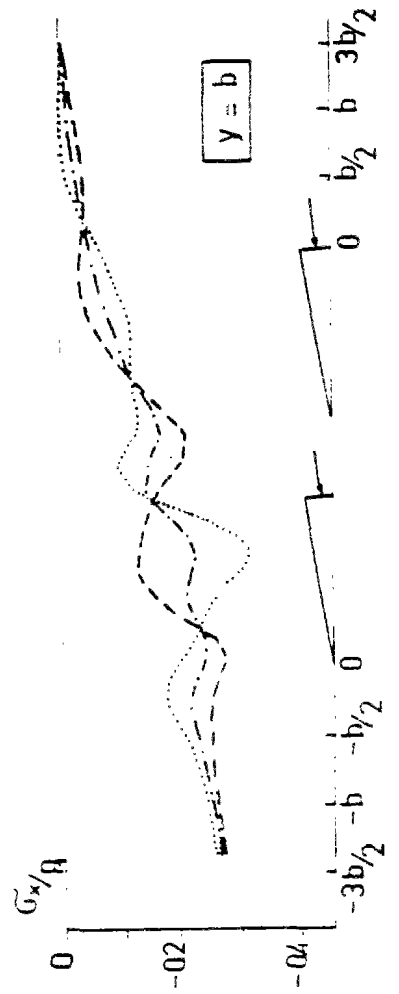


Fig. 5.38

--- fibre supérieure
 - - - " moyenne
 . . . " inférieure

Trois bossages - Courbes de contraintes transversales

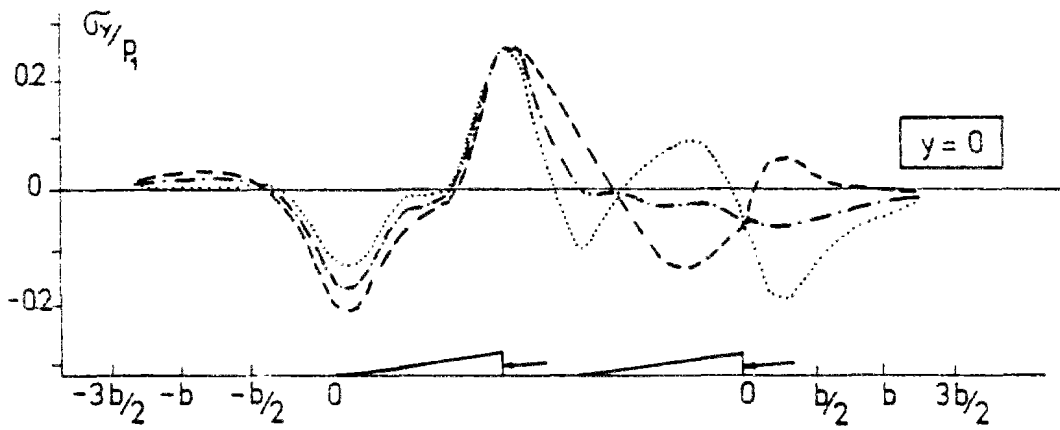


Fig. 5.41

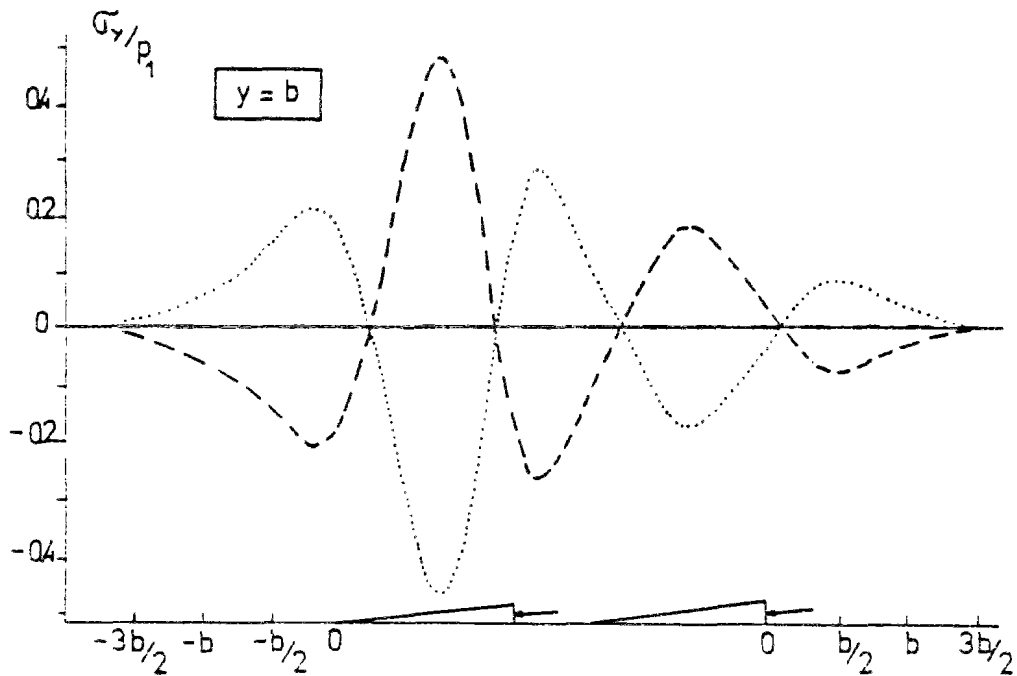
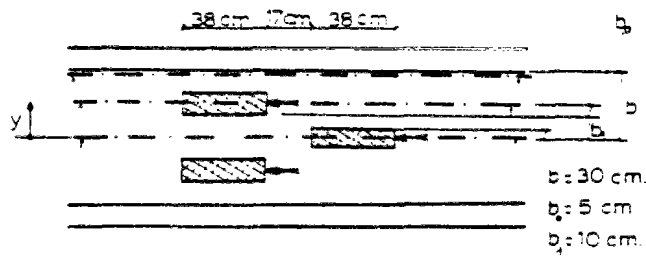


Fig. 5.42



Trois bossages - Diagrammes des contraintes principales

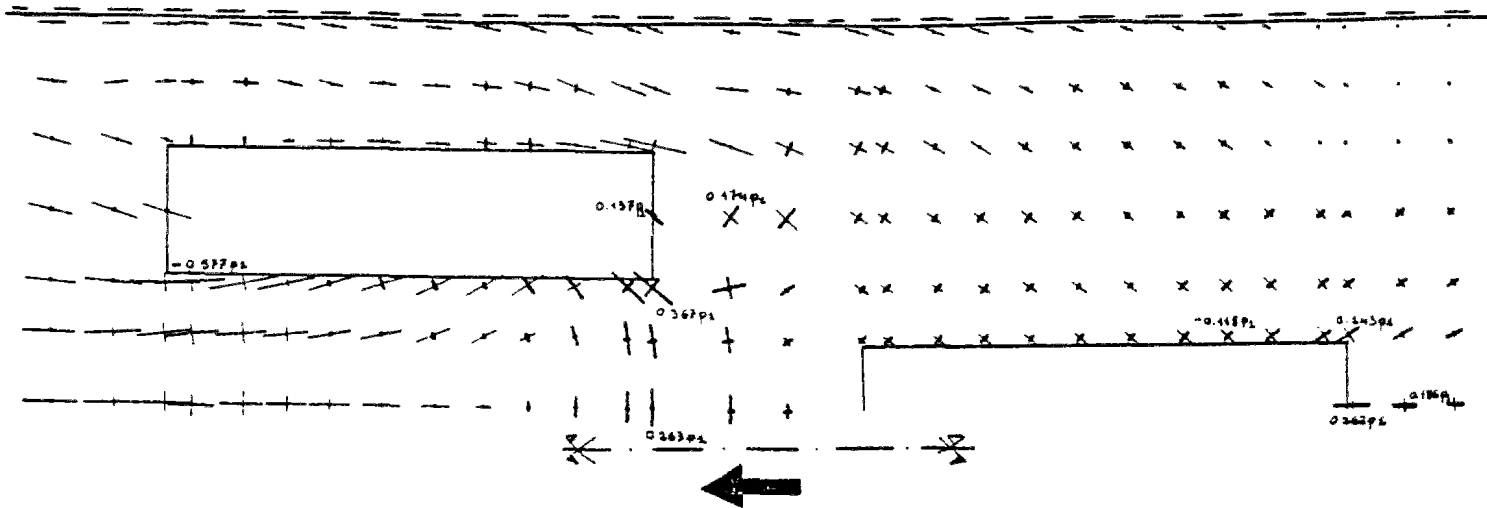


Fig. 5.43 - Fibre moyenne

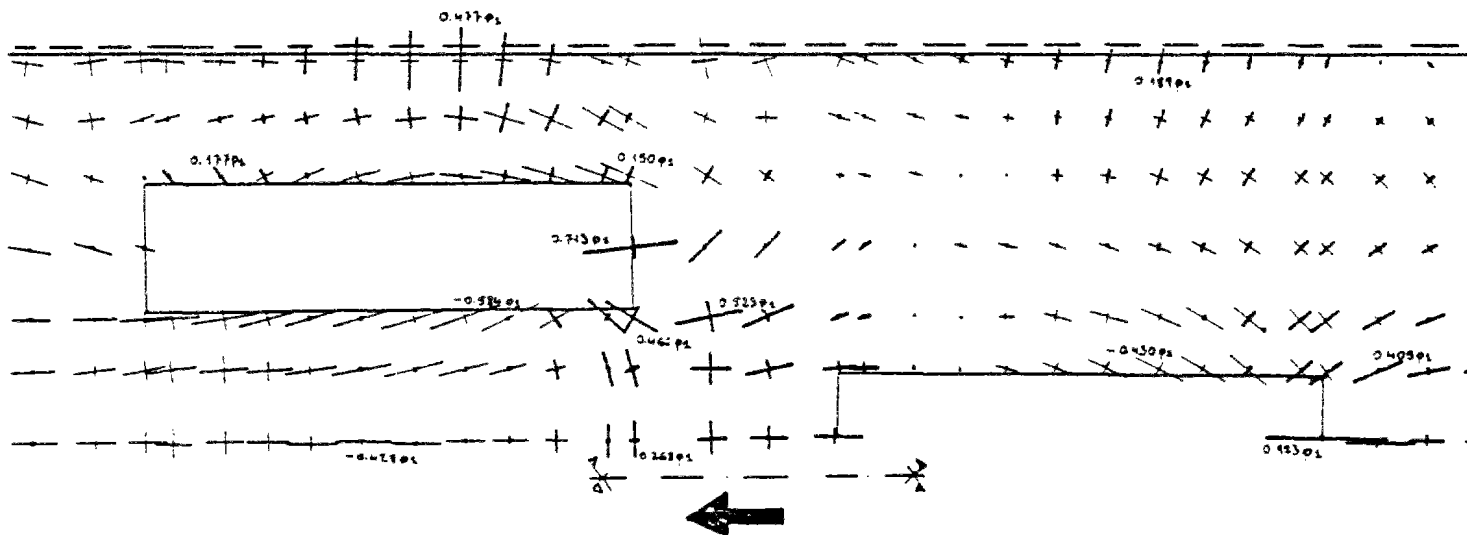


Fig. 5.44 Fibre supérieure

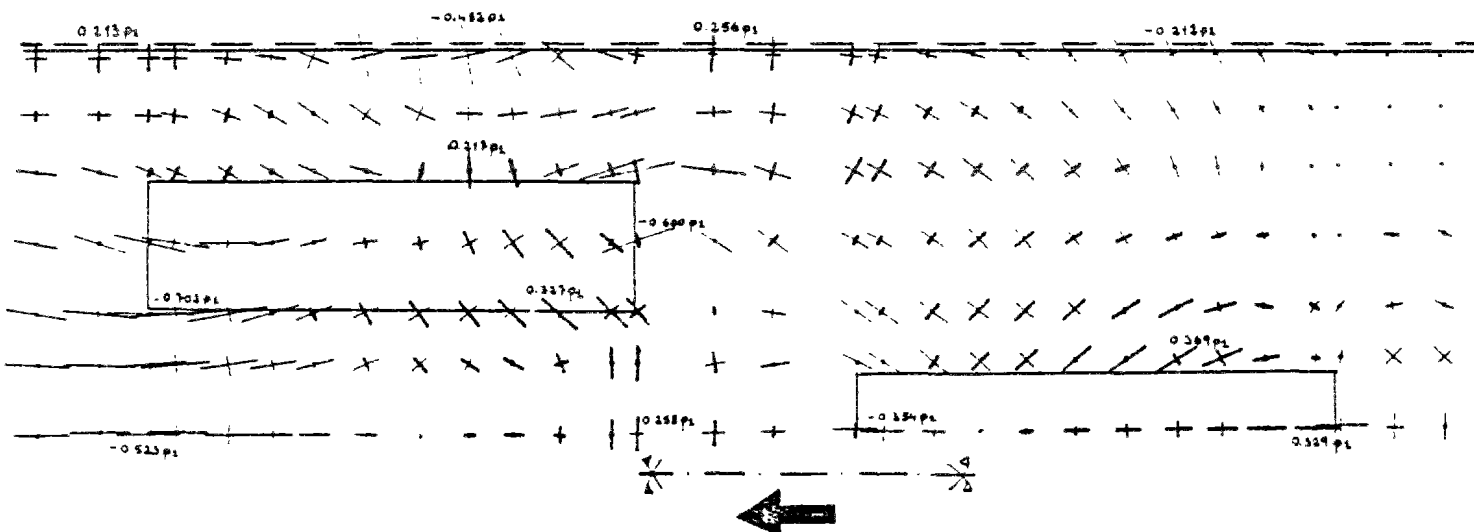


Fig. 5.45
Fibre inférieure

————— Traction
————— Compression

—La comparaison de ces résultats avec les cas CP-1 (1 bossage) et CP-12 (2 bossages) permet de tirer les remarques suivantes :

a) Les allures des courbes de contraintes sont celles qu'on pouvait prévoir à partir des résultats des cas CP-1 et CP-12. Les différentes flexions longitudinales et transversales persistent, et leurs grandeurs ne varient pas tellement. La flexion longitudinale en arrière des ancrages A et celle en avant du B, se confondent en une seule.

b) La présence de l'ancrage B annihile en partie les tractions d'entraînement des ancrages A. Par contre, une légère augmentation de la traction d'entraînement de l'ancrage B a été obtenue.

c) Le calcul n'a pas vérifié le principe de la superposition des cas CP-1 et CP-12. Cela est particulièrement évident dans la zone située entre les trois bossages. En effet, à cause de la présence des ancrages A, la diffusion de la précontrainte B n'est plus réalisé de la même manière qu'en CP-1 (voir figures 5.43 et 5.19) : les compressions de l'ancrage B se sont dirigées directement vers les bossages A, dont la rigidité est nettement plus grande que celle du hourdis. Cela a décomprimé la zone située en avant du bossage B, laquelle apparaît ainsi soumise à un état de tractions transversales σ_y , à peu près uniforme sur l'épaisseur de la dalle, qui prend des valeurs importantes sur l'axe de la pièce. Néanmoins, les résultats des essais, comme l'on verra plus loin, semblent indiquer que la réalité serait moins critique. L'explication provient de ce que le calcul par la méthode des coupures, on le rappelle, a supposé la planéité des sections, hypothèse qui simule mal le comportement réel de cette zone à relief rapidement variable. A cela s'ajoute la mauvaise convergence des séries de Fourier dans les zones de forte discontinuité.

5.2. - Résultats obtenus par la méthode des éléments finis.-

L'application de la méthode des éléments finis a été menée, on le rappelle, en deux phases :

A) En une première, nous nous sommes limités au problème bidimensionnel de la diffusion de la précontrainte dans le plan moyen du hourdis, lequel se considère encastré élastiquement dans les âmes latérales (cf.3.3.5). La précontrainte, au lieu d'être appliquée brutalement comme dans le cas d'un ancrage interne, est supposée répartie uniformément sur la surface de jonction hourdis-bossage (voir fig.3.2).

Cette phase visait en particulier les points suivants :

- a) Vérifier la bonne convergence du modèle d'éléments finis proposé, dont une grande partie allait être utilisée dans le calcul tridimensionnel.
 - b) Evaluer l'importance et la nature des phénomènes de non-linéarité qui surgissent par suite de la diffusion de la précontrainte uniquement.
 - c) Etudier l'effet d'une compression générale dans le hourdis, qui s'ajoute au phénomène local de diffusion de la précontrainte.
 - d) Obtenir la raideur, vis-à-vis des déplacements longitudinaux, fournie par les parois latérales. Cela en vue d'obtenir les coefficients des appuis élastiques qui se substituent aux parois lors de l'étude tridimensionnelle. La réduction du nombre d'éléments que cela permet a été indispensable à cause de la petite capacité de l'ordinateur utilisé.
- B) Dans la deuxième phase, nous avons étudié l'influence des flexions locales, dont l'importance à proximité du bossage a été déjà décelée avec le calcul élastique par la méthode des coupures.

5.2.1. - Etude bidimensionnelle.-

— Nous présentons les résultats obtenus dans le calcul des corps d'épreuve des essais Ho-A (1 bossage) et Ho-B (2 bossages), dont les dimensions ont été définies dans les fig. 4-1 à 4-3.

Nous avons utilisé une maille comportant 250 noeuds et 600 éléments, dont 400 pour le béton, 185 pour l'acier et 15 pour la liaison hourdis-parois latérales.

Nous sommes arrivés jusqu'à une valeur de la précontrainte de 300 KN, bien supérieure à la charge de service, qui peut être évaluée en 100 KN environ, et à la charge ultime atteinte aux essais (170 KN, avec rupture du câble de la précontrainte). Les résultats les plus représentatifs sont montrés aux figures 5.46 à 5.49 :

- a) Contraintes maximales de traction pour le béton et l'acier juste derrière le bossage (fig. 5.46).
- b) Résultante des tractions d'entraînement sur la section transversale en arrière du bossage (fig 5.47).
- c) Compressions maximales devant le bossage (fig. 5.48).
- d) Evolution de la fissuration au fur et à mesure du chargement (fig 5.49).

Nous y avons aussi signalé les valeurs obtenues avec la méthode des coupures (en traits fins).

— De l'examen de ces courbes, nous pouvons tirer les remarques suivantes :

1. - Sous la charge de service l'état de contraintes sur la fibre moyenne du hourdis reste nettement en phase linéaire. Les premières fissurations, aussi bien pour un que pour deux bossages, s'amorcent vers 160 KN (une fois et demie la charge de service). Au delà, on remarque la prise progressive de la charge par l'acier aux dépens du béton, sans s'approcher pour autant du niveau de plastification (pour une précontrainte de 300 KN, les plus grandes tractions dans l'acier sont de 200 MPa (1 bossage) et 280 MPa (2 bossages) environ).
2. - Il n'existe pas de fortes concentrations de compressions. Celles-ci restent très modérées, même sous des charges importantes. La petite non-linéarité qui apparaît dans la fig. 5.48, est seulement due à la fissuration dans la zone d'entraînement.
3. - En ce qui concerne les compressions, les valeurs élastiques obtenues concordent assez bien avec celles de la méthode des coupures, ce qui confirme que le bossage a pour effet de distribuer linéairement les charges dans la plaque.

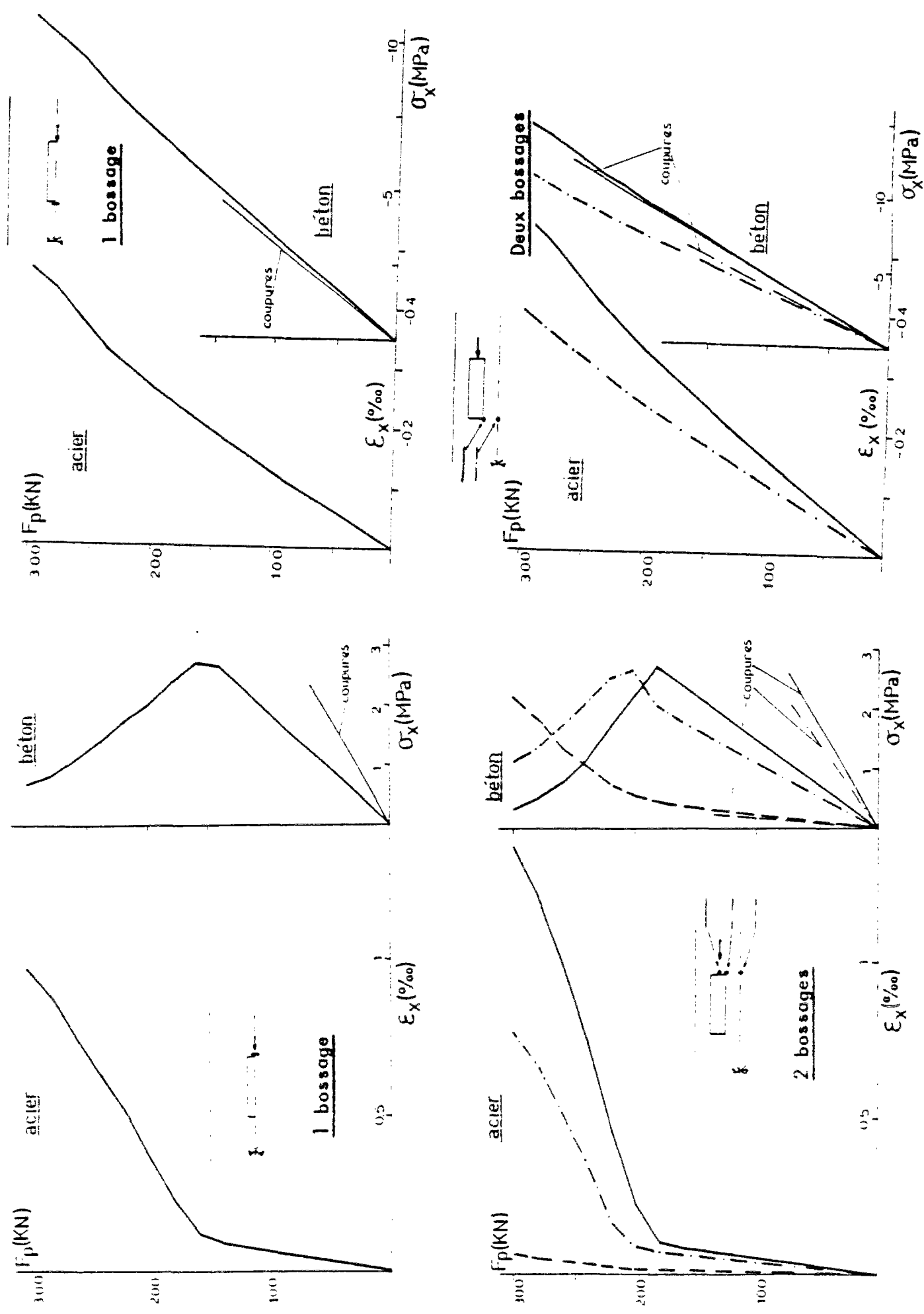


Fig. 5.46 - Traction d'entraînement derrière la bœcne

Fig. 5.40

Fig. 5.49 - Progression de la fissuration

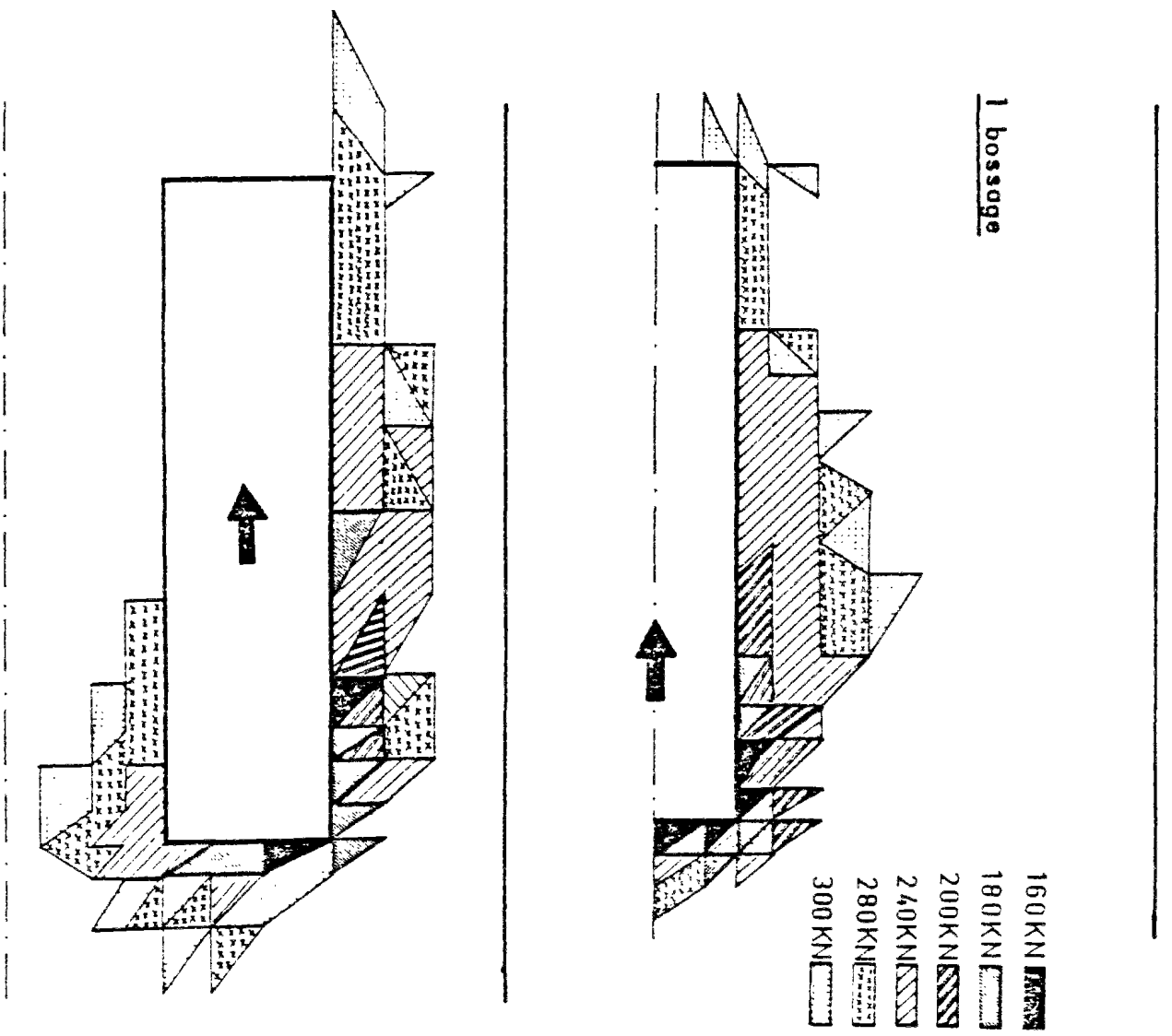
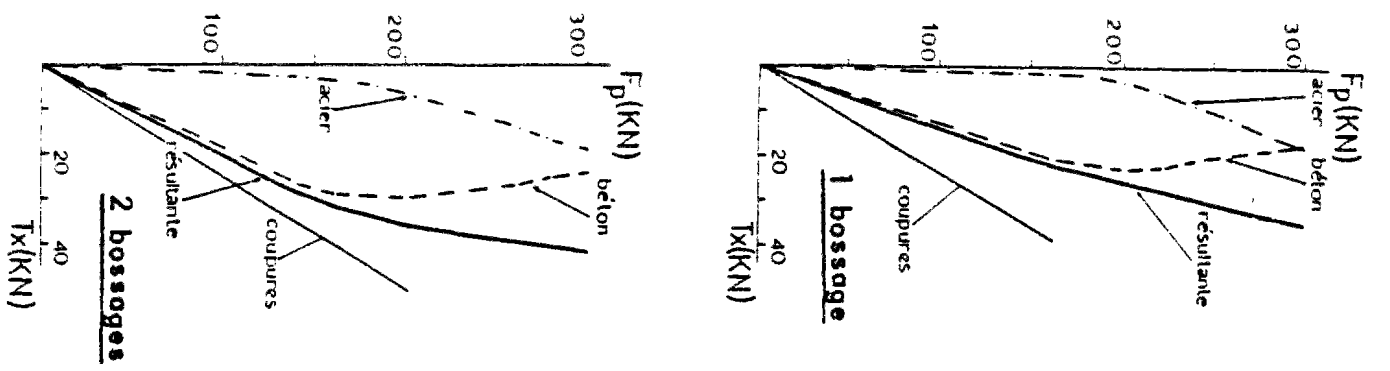


Fig. 5.47 -
Résultantes des
tractions d'en-
traînement der-
rière le bossage



Par contre, les valeurs des tractions d'entraînement, ainsi que leur résultante, sont nettement plus faibles. Cela vient du fait qu'en éléments finis, nous n'avons pas considéré la forte discontinuité géométrique qui existe à l'aplomb de l'ancrage. Etant donné que le centre de gravité des sections du bossage ne coïncide pas avec la fibre moyenne du hourdis, il existe un "couplage" entre les efforts plans et de flexion (cf.3.12), qui est particulièrement fort dans le voisinage de l'ancrage. Les fortes flexions qui y existent entraînent donc des tractions au niveau du plan moyen du hourdis, dont nous ne pouvons pas tenir compte dans le calcul bidimensionnel.

4. - L'examen du développement de la fissuration dans le cas de deux bossages relativement proches (fig.5.49), montre que celle-ci s'étale sur les bords extérieurs des deux bossages, et derrière eux, alors que la zone inter-bossages n'y est pas affectée. Ceci se traduit dans une évolution plus rapide des fissures et dans une sollicitation plus forte des aciers d'entraînement (fig.5.46) par rapport au cas d'un seul bossage.

5. - Les calculs avec un et deux bossages ont été répétés en supposant que, avant l'application de la précontrainte, existe dans le hourdis un état de précompression générale, que nous avons fixé à 3 et à 6 MPa.

Les résultats obtenus, que nous ne présentons pas, montrent que la précompression générale n'apporte aucune influence, si ce n'est qu'elle permet de retarder l'apparition des fissures, en réduisant entre autres la traction d'entraînement. Les compressions devant le bossage restent modérées et n'entrent pas nettement dans la phase à comportement non-linéaire.

L'effet d'une compression générale dans la zone d'ancrage s'avère donc être favorable dans tous les cas.

— Nous pouvons donc conclure que la diffusion de la précontrainte seule n'est pas capable de solliciter le hourdis à un

niveau suffisamment élevé. Le bossage répartit l'application de la force sur le hourdis, qui se fait graduellement, et l'état de contraintes au niveau de la fibre moyenne de la dalle reste dans le domaine linéaire sous les charges de service.

La prise en compte des flexions locales est donc indispensable. Celles-ci, très fortes au voisinage de l'ancrage, doivent certainement produire des contraintes hors du domaine linéaire, ainsi que de fortes fissurations.

5.2.2. - Etude tridimensionnelle.

— Nous avons étudié avec le programme FLF le corps d'épreuve utilisé aux essais de 1974 (cf. 4.1), dont les dimensions sont explicitées dans la figure 5.50.

Les corps d'épreuve à échelle réduite des essais Ho-A, Ho-B et Ho-C ne se prêtaient pas à cette analyse parce que, à cause de la précompression générale appliquée, on n'y avait pas relevé de phénomènes de non-linéarité.

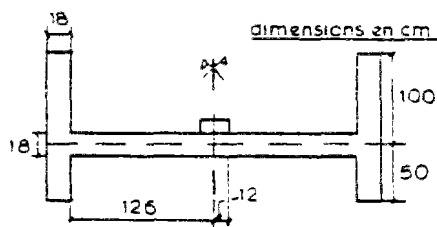


FIG 5 50

— Nous avons utilisé une maille comportant 335 éléments et 200 noeuds. Sur la ligne de jonction hourdis-parois, 15 appuis élastiques ont simulé l'encastrement élastique, vis-à-vis des déplacements longitudinaux,

fourni par les parois latérales. La section du hourdis a été divisée en 5 couches de béton et 2 couches d'acier (supérieur et inférieur).

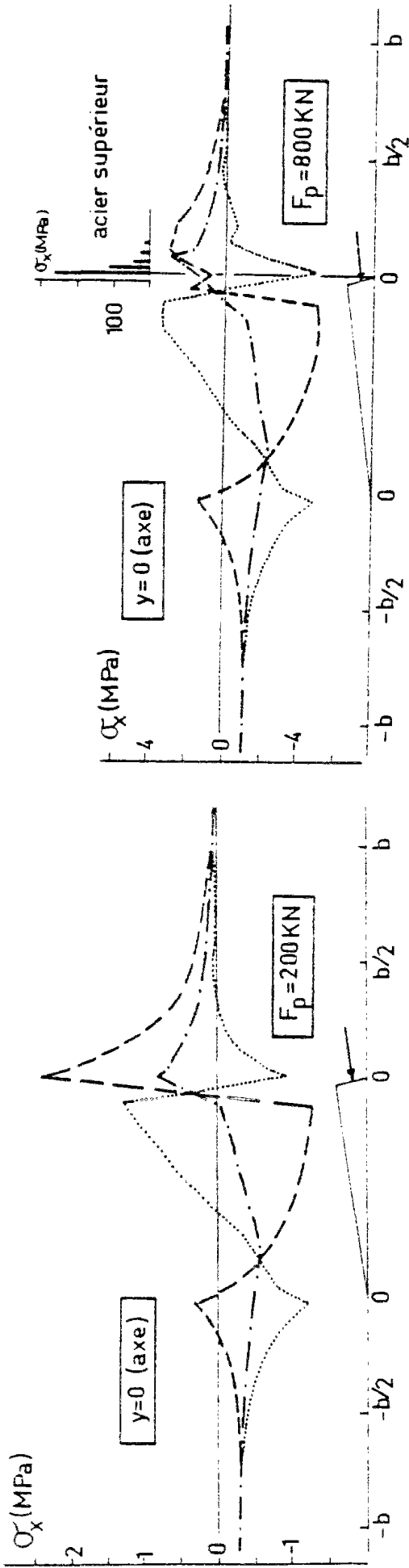
La précontrainte a été appliquée par étapes de 200 KN jusqu'à la première fissuration, au delà de quoi on a continué de 100 en 100 KN. Le calcul s'est arrêté à 1500 KN, par rupture du béton du bossage juste devant l'ancrage. La charge de service pouvait être évaluée en 800 KN environ.

On rappelle que le calcul suppose un béton avec les caractéristiques suivantes :

$$f'_c \text{ (N/mm}^2\text{)} = 30 \quad ; \quad \nu = 0.2 \quad ; \quad E'_c \text{ (KN/mm}^2\text{)} = 30 ,$$

qui correspondent aux essais de KUPFER.

Fig. 5.51 - Contraintes longitudinales suivant l'axe de la pièce



--- fibre supérieure
 - - - " moyenne
 . . . " inférieure

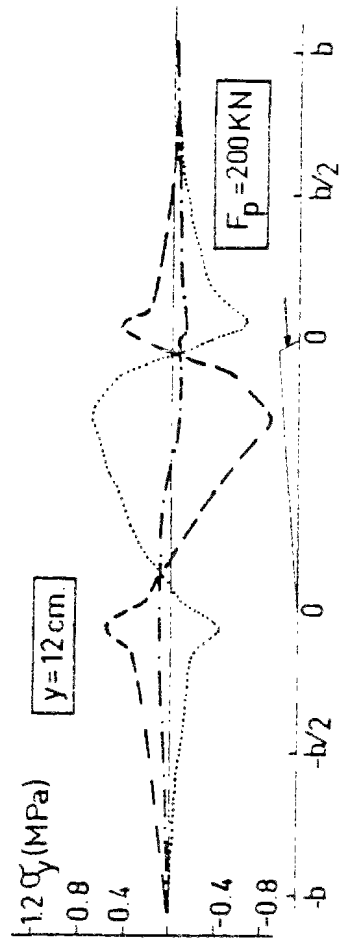
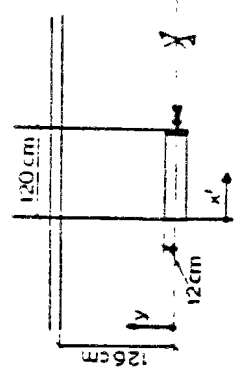


Fig. 5.52 - Contraintes transversales suivant l'axe de la pièce



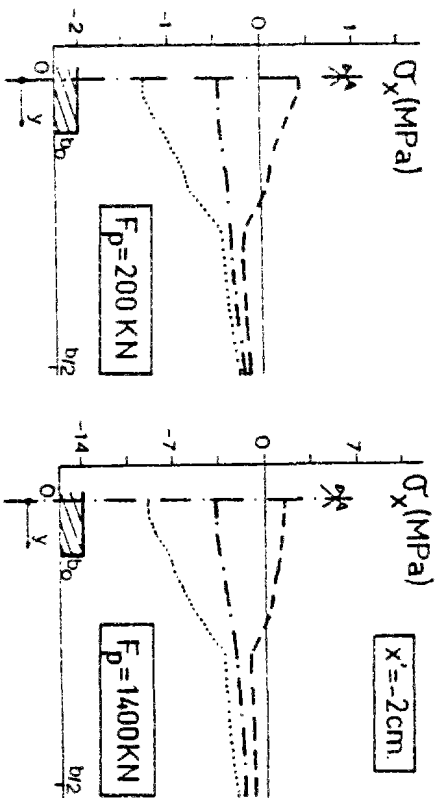


Fig. 5.53

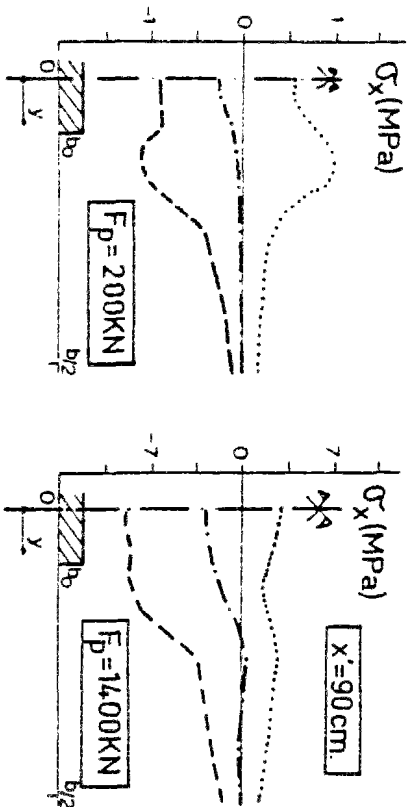


Fig. 5.54

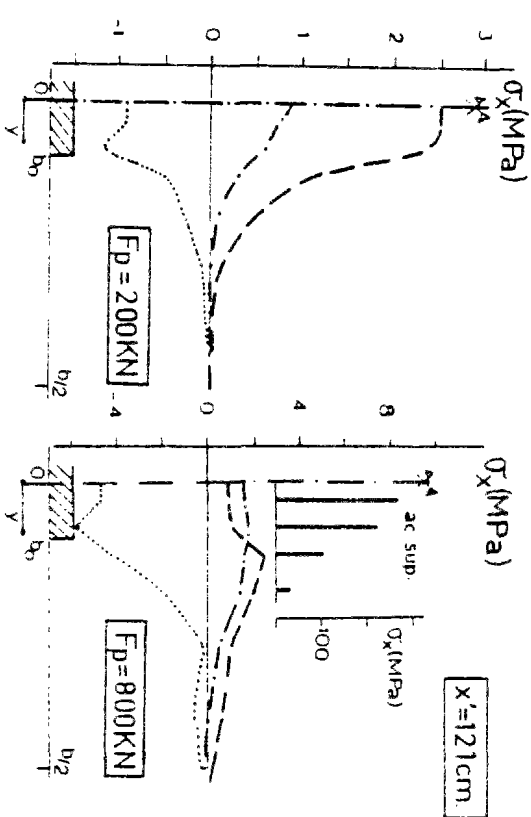


Fig. 5.55

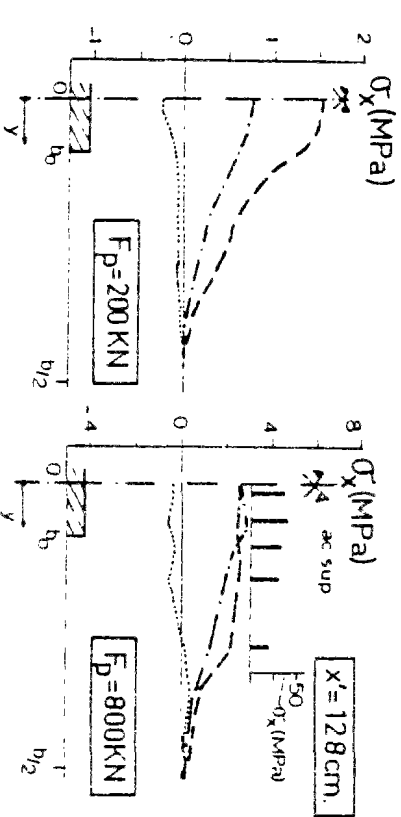


Fig. 5.56

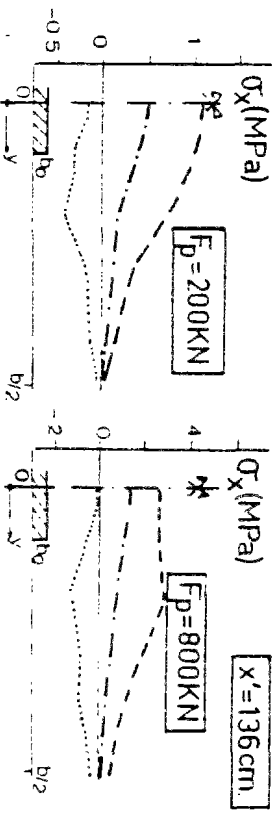


Fig. 5.57

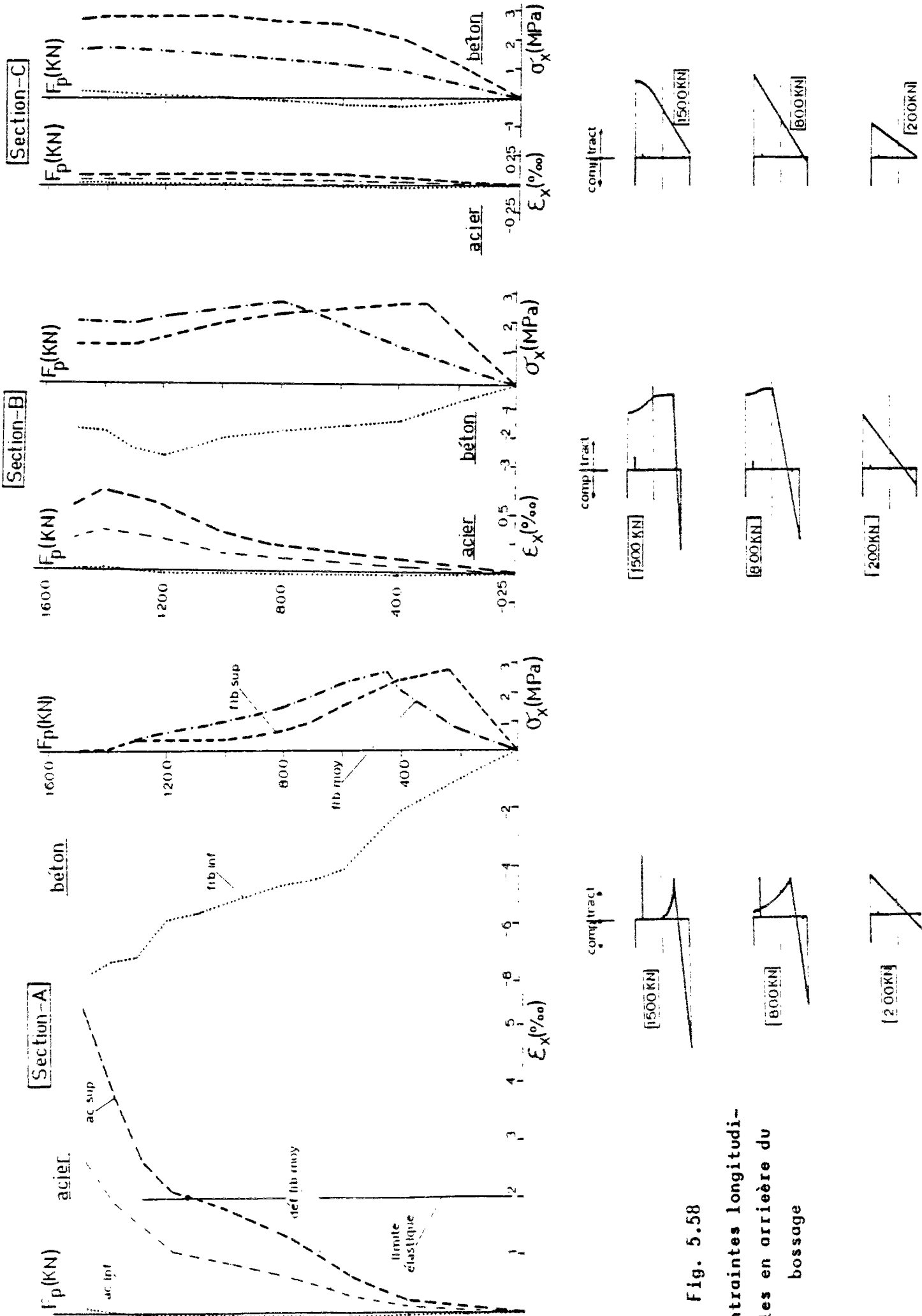


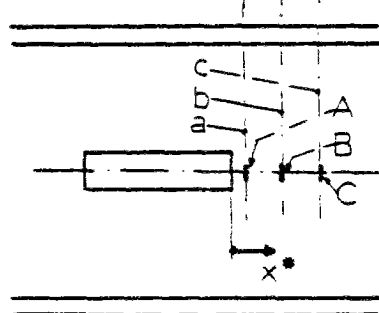
Fig. 5.58
 Contraintes longitudinales en arrière du bossage

— Les figures 5.51 à 5.57 présentent les valeurs des contraintes σ_x et σ_y , suivant quelques sections longitudinales et transversales, sous différents états de chargement.

Les allures pour une précontrainte de 200 KN ne diffèrent à peine de celles obtenues avec la méthode des coupures. Seule pointe de flexion derrière le bossage, quoi qu'encore marquée, s'est nettement adoucie.

Les courbes obtenues pour des précontraintes de 800 KN et de 1400 KN, montrent les fortes redistributions de contraintes qui se produisent aux alentours des zones fissurées.

— La fig. 5.58 montre l'état de déformations et des contraintes sur trois sections (A, B et C), situées dans l'axe de la pièce et, respectivement, à 1, 8 et 16 cm en arrière du bossage.



A la traction d'entraînement s'ajoute une forte flexion qui tend la fibre supérieure au hourdis. Cela est particulièrement importante dans la section A, située juste derrière la discontinuité du bossage : la fissu-

ration de la fibre supérieure arrive très tôt et s'étend vite sur l'épaisseur de la section. A 1200 KN les aciers supérieurs se plastifient et la section devient une vraie rotule avec l'armature supérieure en traction et une petite zone en bas, où le béton est ^{en} compression.

Dans la section 'B', la fissuration se produit aussi tôt mais, du fait de la rotule qui se développe rapidement en 'A', elle reste limitée, sans entraîner de fortes déformations dans les aciers.

A 16 cm derrière l'ancrage (section 'C'), du fait du développement de la fissuration dans la zone de devant, les sollicitations à partir d'un certain moment restent bloquées, sans que les augmentations successives de la précontrainte ne s'y fassent sentir.

— Dans la fig. 5.59, nous indiquons les valeurs des résul-

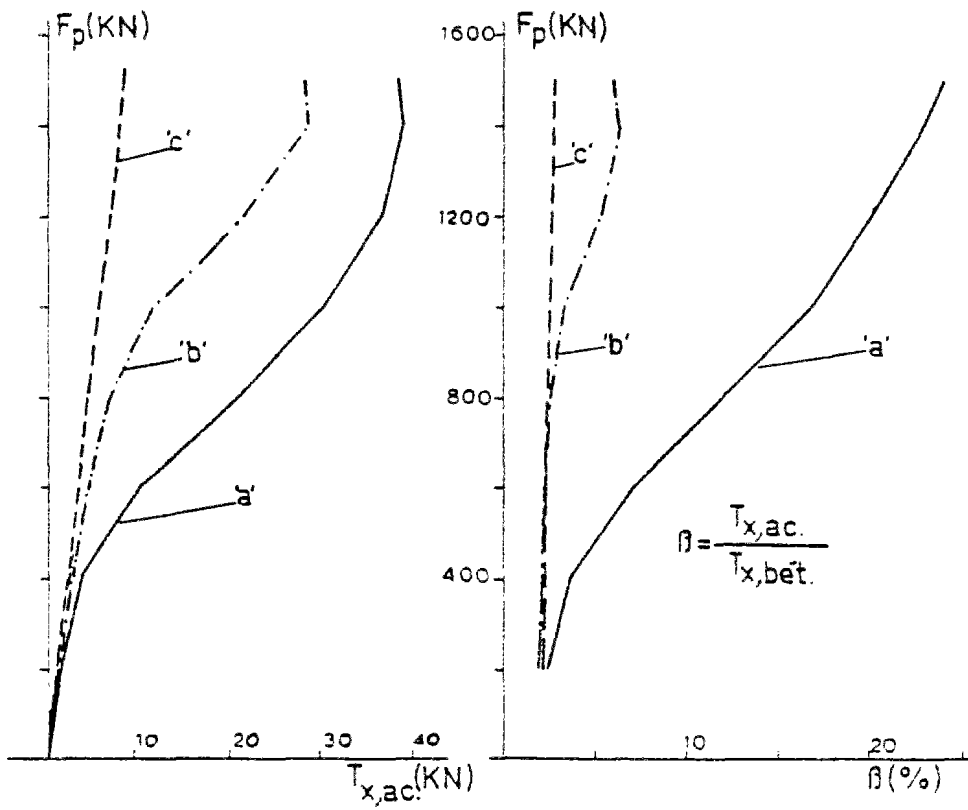


Fig. 5.59 - Résultante de tractions d'entraînement dans les aciers

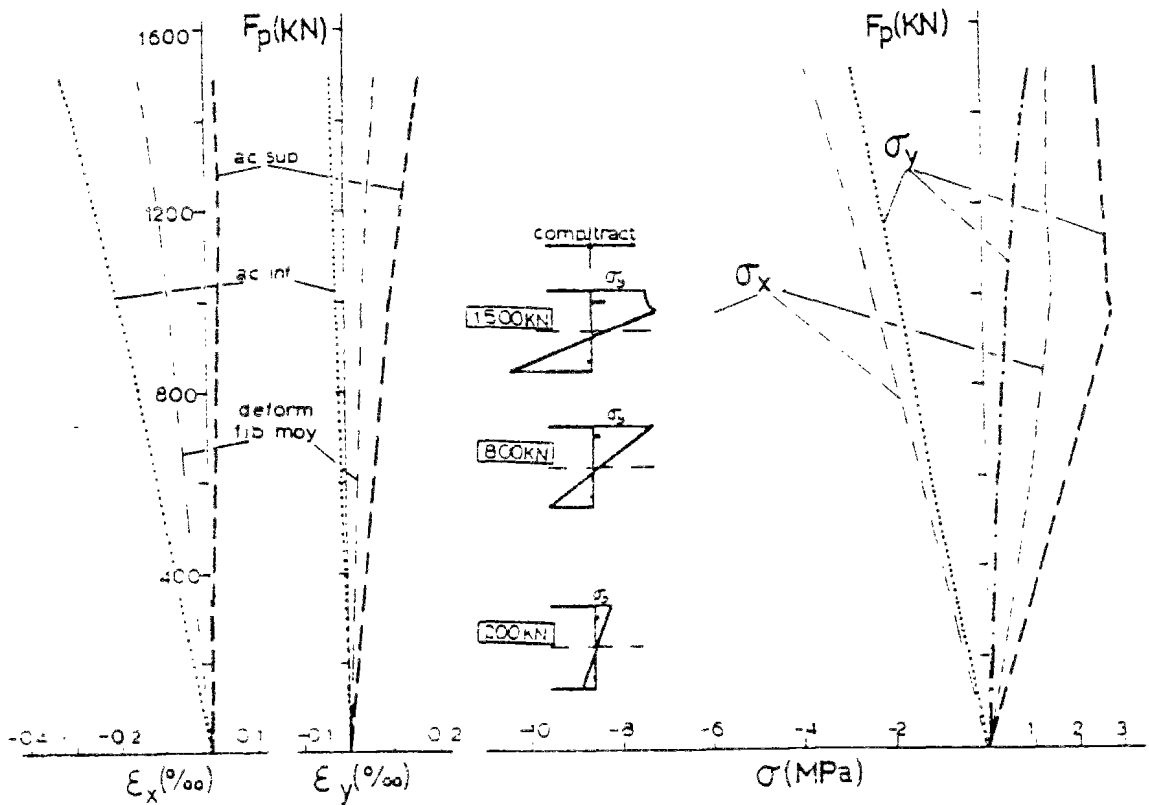


Fig. 5.60 - Contraintes longitudinales et transversales devant le bossage

longitudinales σ_x ,
 tantes des tractions reprises par les aciers, le long des
 trois sections transversales 'a', 'b' et 'c', ainsi que
 leur rapport avec celles résistantes par le béton. Les allures
 des courbes σ_x pour ces sections ont été déjà montrées dans
 la figures 5.53 à 5.55.

Ces figures confirment ce que l'on vient de dire : la non
 linéarité due à la fissuration dans la zone d'entraînement
 reste très concentrée juste derrière la fin du bossage.

— Dans la fig. 5.60, nous rapportons les valeurs des con-
 traintes longitudinales σ_x et transversales σ_y , juste devant
 le bossage, qui est la zone où se trouvent les plus fortes
 compressions.

Au niveau de la fibre moyenne, nous trouvons des contraintes σ_x
 de compression et σ_y de traction (d'éclatement) assez modérées
 (voir fig 5.51 et 5.52). Une flexion, due à la poussée au vide
 du câble, augmente les tractions transversales dans la fibre
 supérieure du hourdis, qui devient fissurée pour une charge
 de 1000 KN. Cette fissure n'arrive pourtant pas à entraîner
 des fortes tractions dans les aciers.




Quant aux contraintes longitudinales σ_x , les valeurs obtenues
 confirment que l'application graduelle de la précontrainte à
 travers le bossage, empêche l'apparition de fortes compressions.
 Celles-ci n'atteignent jamais dans le hourdis des valeurs im-
 portantes, même sous de charges plus grandes que celle de ser-
 vice.

— Les fig. 5.61 à 5.63 montrent, respectivement, le développement
 de la fissuration au niveau de la fibre moyenne, supérieure et
 inférieure de la plaque, au fur et à mesure de l'augmentation
 de la précontrainte. Dans la fig. 5.64, sont montrés les états
 de sollicitation des aciers un peu avant de la rupture
 ($F_p = 1400$ KN).

Nous pouvons tirer les remarques suivantes :

Progression de la fissuration

figures-a

-  400KN
-  600KN
-  800KN

f. moyenne

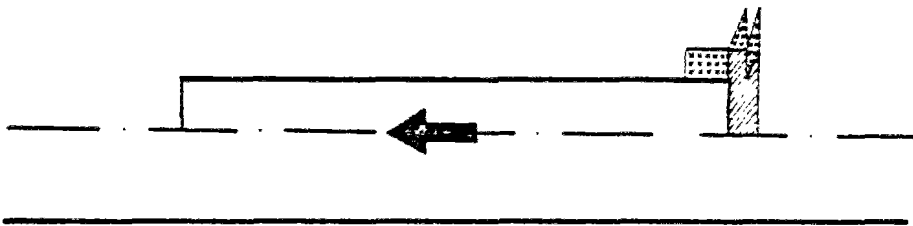


Fig. 5.61-a

f. Supérieure

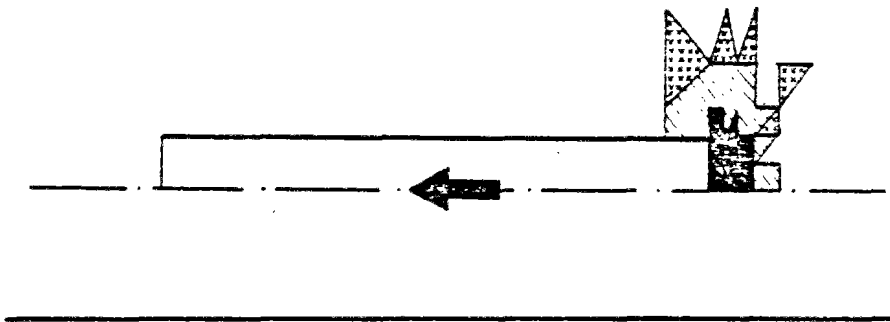


Fig. 5.62-a

f. inférieure

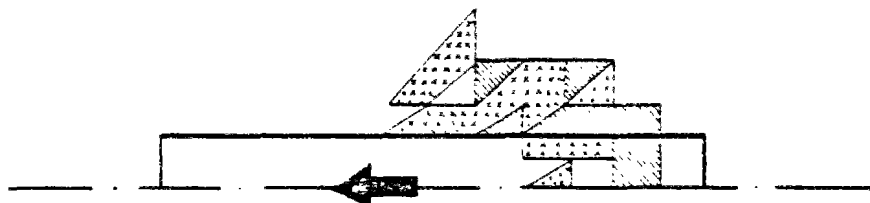





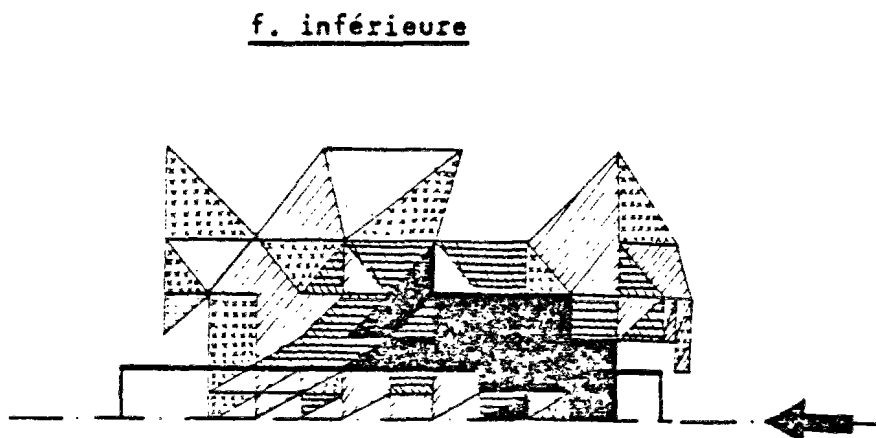
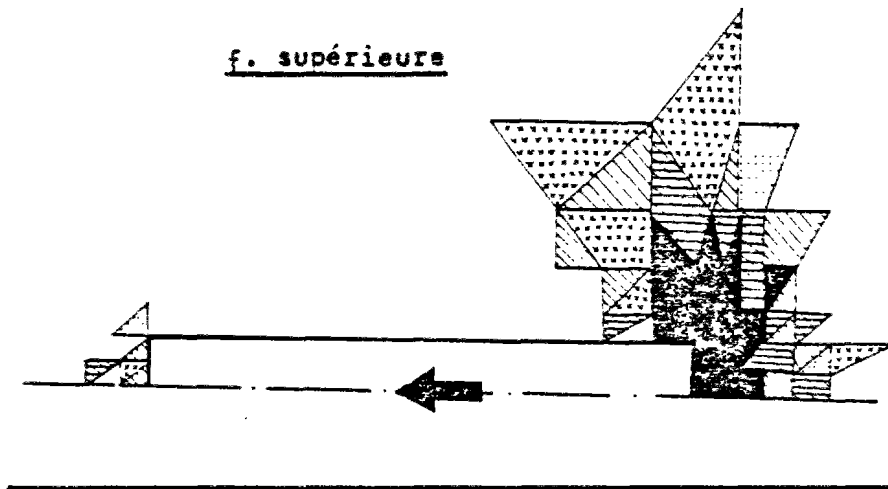
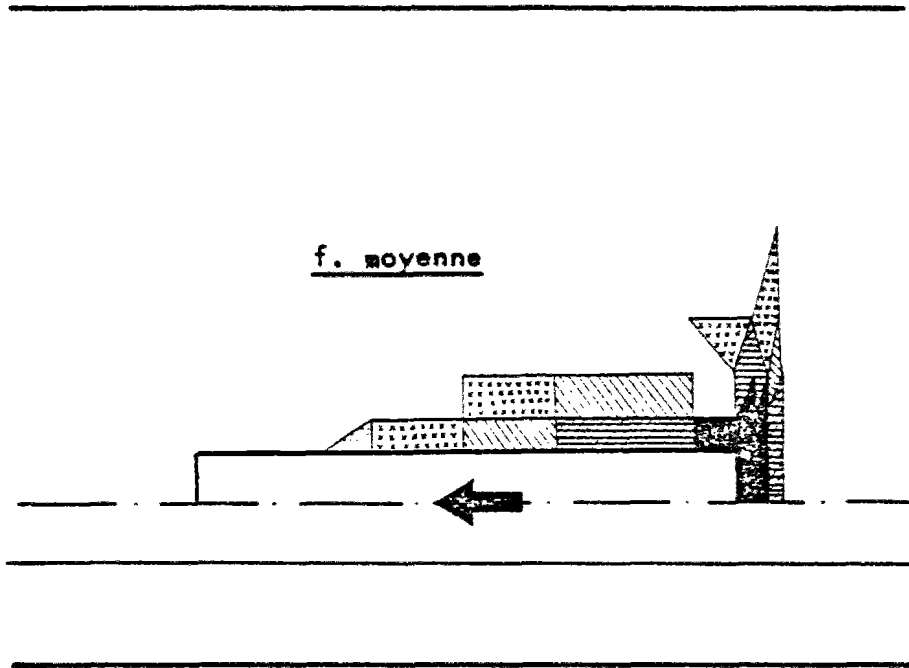


Fig. 5.63-a






figures-b

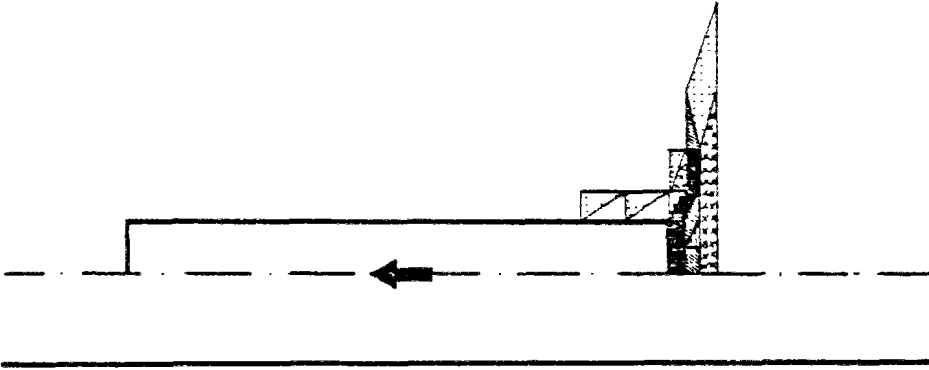
-  800 KN
-  1000 KN
-  1200 KN
-  1400 KN
-  1500 KN



- a) Une première fissuration apparaît très tôt ($F \approx 400 \text{ KN}$). Elle se produit, sur la fibre supérieure du hourdis, dans la zone située juste en arrière du bossage. Les fissures commencent à l'axe de la pièce, en direction normale à lui et se développent vers les bords du hourdis en prenant une légère inclinaison. Cette fissuration reste concentrée au droit de l'arrière du bossage. De part et d'autre de l'axe, et sur une zone d'à peu près trois fois la demi-largeur du bossage, les aciers sont fortement sollicités, voire plastifiés, constituant une espèce de rotule.
- b) Sous une charge un peu plus grande ($F_p \approx 600 \text{ KN}$) une autre fissuration apparaît dans la fibre inférieure du hourdis. Ces fissures commencent sur les côtés latéraux du bossage et forment 35° à 45° avec l'axe de la pièce. Les premières apparaissent à $0.25 L_b$ environ de la fin du bossage ($L_b =$ longueur bossage). Cette fissuration se développe sur tout le bord du bossage, vers l'avant de celui-ci, et se propage dans le hourdis et aussi sous le bossage, en atteignant l'axe de la pièce. A la différence de l'autre fissuration, celle-ci est très répandue. Elle s'étale tout le long du bossage et sur une largeur, de part et d'autre de l'axe, de cinq fois la demi-largeur du bossage, environ. Du fait de l'extension de la zone fissurée, les aciers ne présentent pas de fortes concentrations de tractions et restent loin de la plastification.
- c) Le schéma de fissuration, au niveau de la fibre moyenne de la plaque, affecte les zones où les fissures décrites auparavant, en se prolongeant vers l'intérieur du hourdis, arrivent à fissurer la zone centrale. Elles correspondent à peu près aux zones les plus fortement fissurées, et concordent assez bien avec les endroits où les aciers sont fortement sollicités.
- d) Plus tard, pour une charge un peu au dessus de celle de service ($F_p \approx 1000 \text{ KN}$), s'amorce une fissuration dans la fibre supérieure du hourdis et à la base du bossage. Elle est due à la poussée au vide du câble dans la zone de raccordement avec le plan moyen du hourdis. Cette fissuration reste fine et concentrée à proximité de l'axe de la pièce.

armatures supérieures

	$\sigma_a > 50\text{MPa}$		$\sigma_a > 300\text{MPa}$
	$\sigma_a > 100\text{MPa}$		aciers plastifiés
	$\sigma_a > 200\text{MPa}$		



armatures inférieures

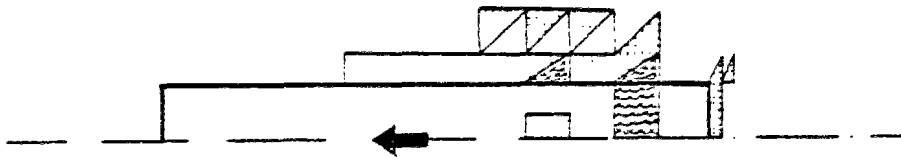


Fig. 5.64 - Contraintes dans les aciers un peu avant la rupture ($F_p = 1400\text{ KN}$)

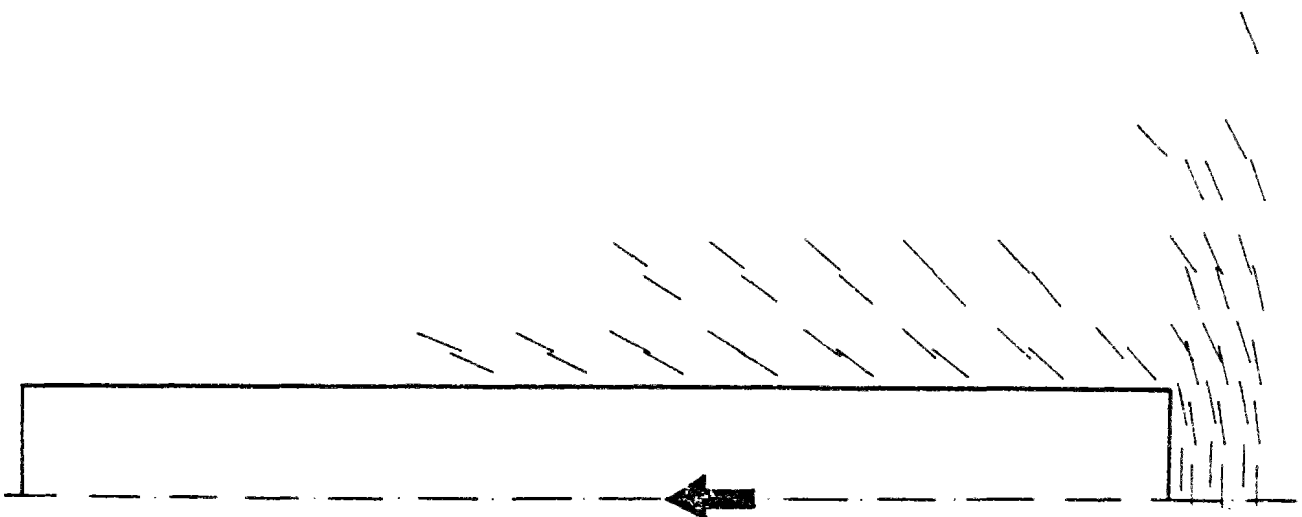


Fig. 5.65 - Directions des fissures dans la fibre moyenne ($F_p = 1400\text{ KN}$)

Directions des fissures dans la fibre supérieure du hourdis

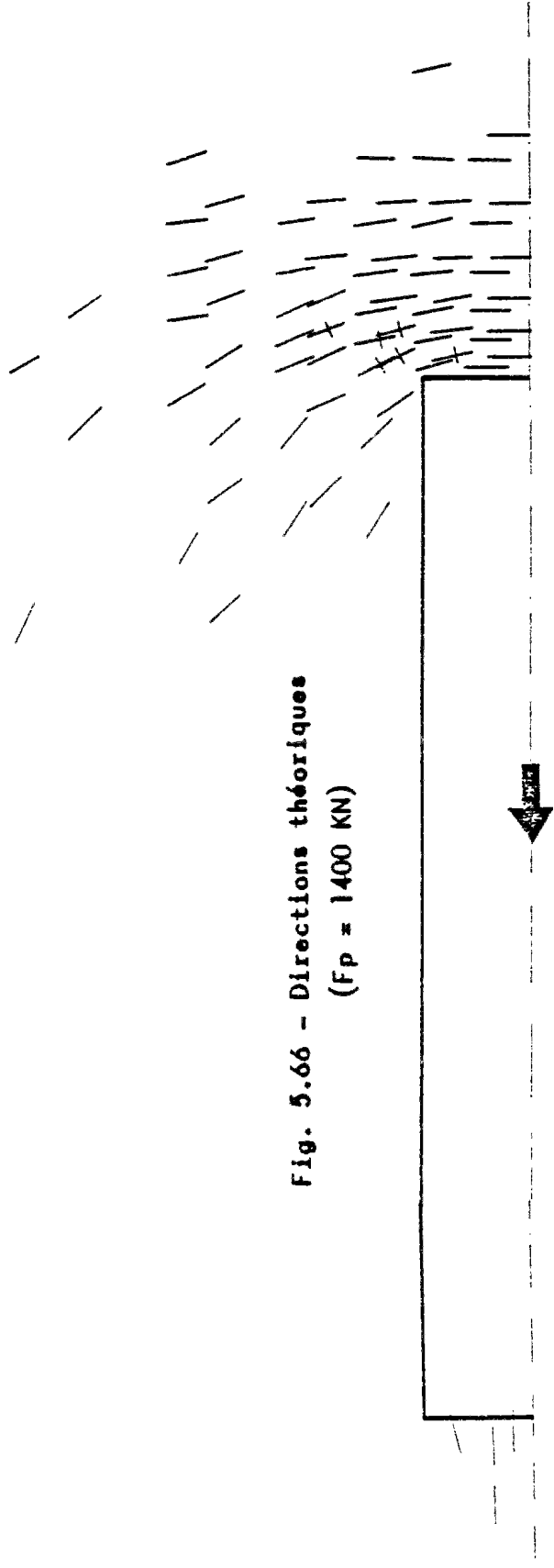
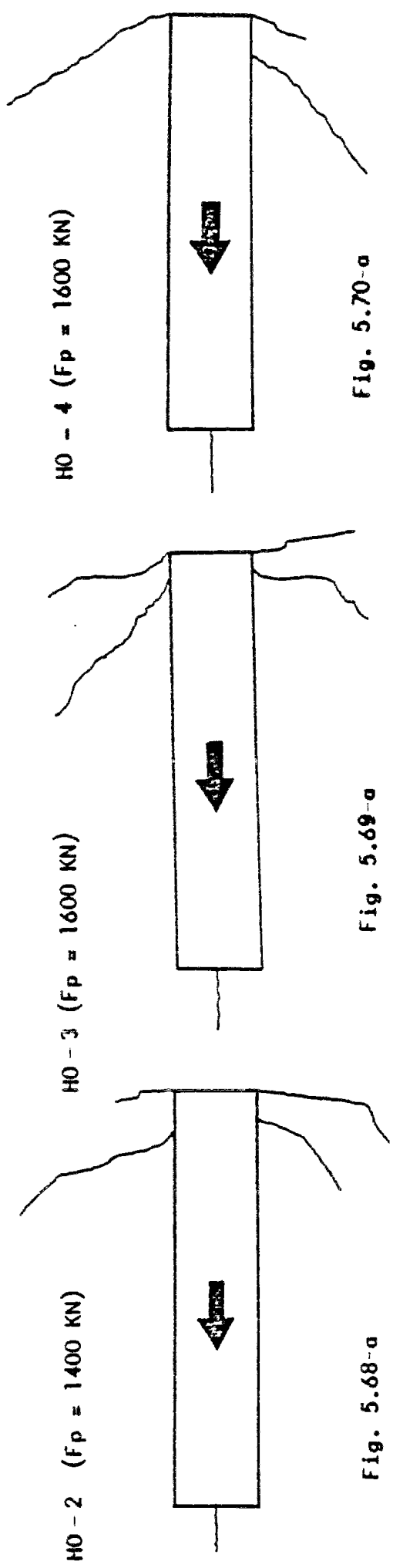


Fig. 5.66 - Directions théoriques
($F_p = 1400 \text{ KN}$)



H0-2 ($F_p = 1400 \text{ KN}$)

H0-3 ($F_p = 1600 \text{ KN}$)

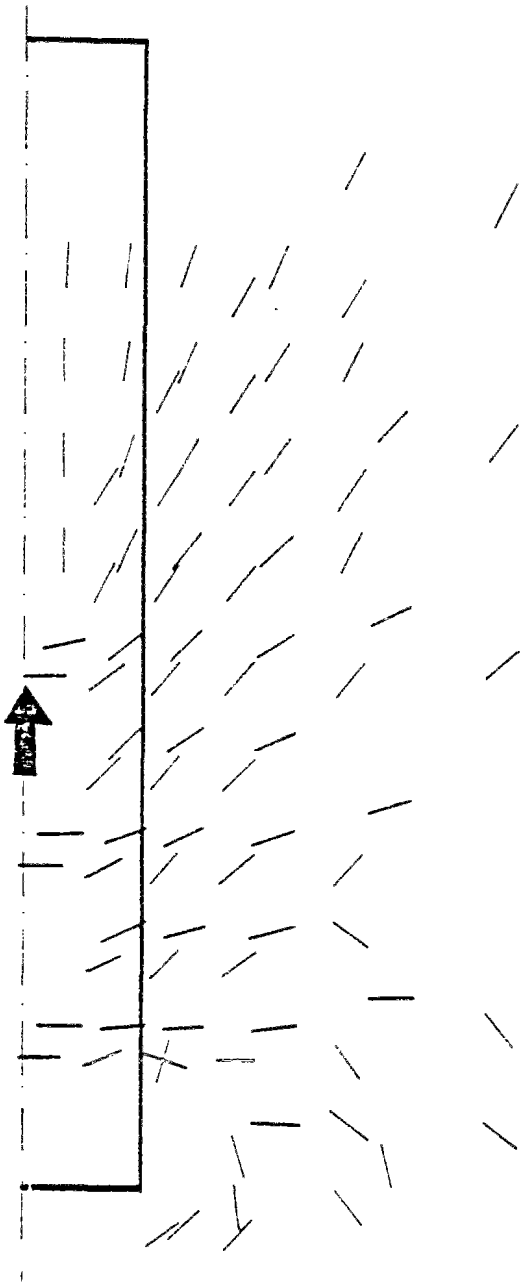
H0-4 ($F_p = 1600 \text{ KN}$)

Fig. 5.68-a

Fig. 5.69-a

Fig. 5.70-a

Fig. 5.67 - Directions théoriques ($F_p = 1400 \text{ KN}$)



HO - 2 ($F_p = 1400 \text{ KN}$)

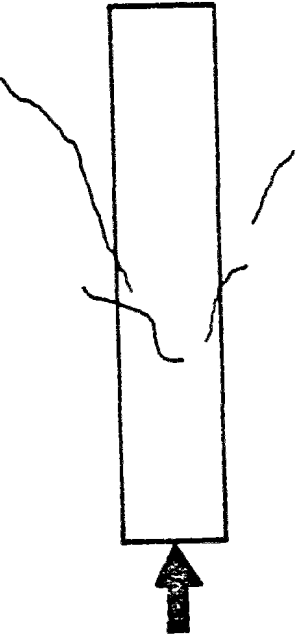


Fig. 5.68-b

HO-3 ($F_p = 1600 \text{ KN}$)

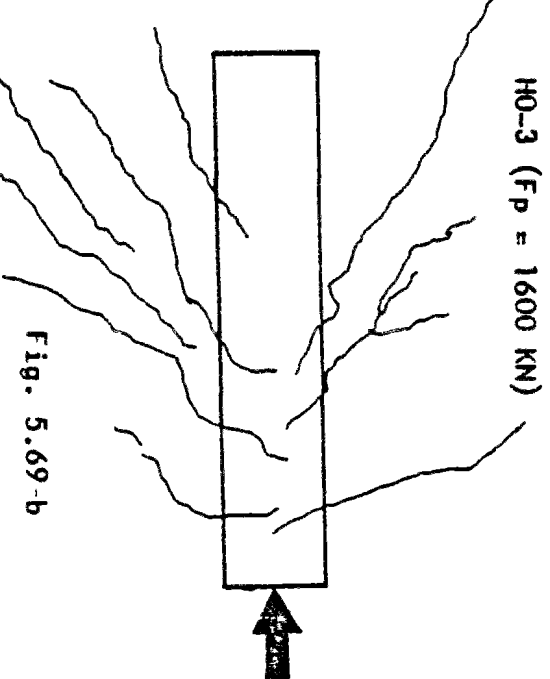


Fig. 5.69-b

HO-4 ($F_p = 1600 \text{ KN}$)

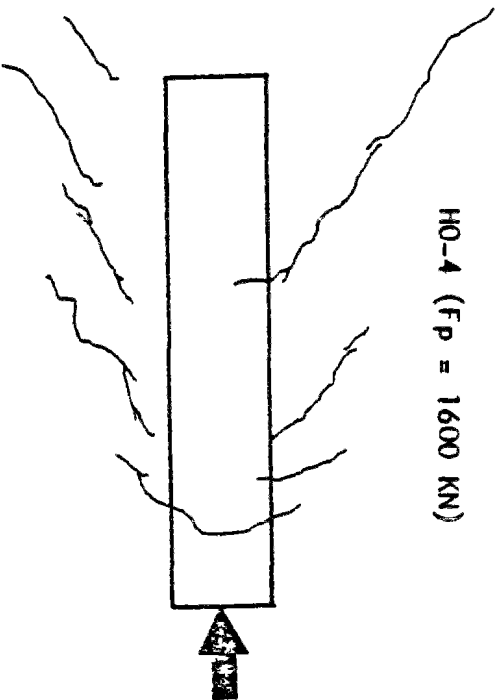


Fig. 5.70-b

Directions obtenues dans les essais, à la rupture.

$F_p = 200 \text{ KN}$

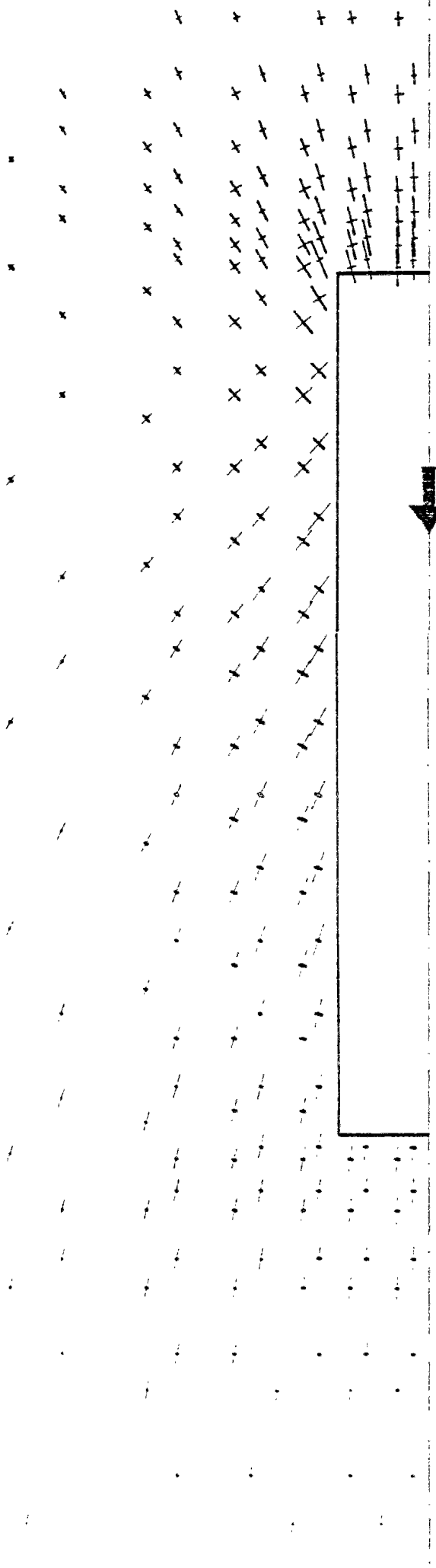
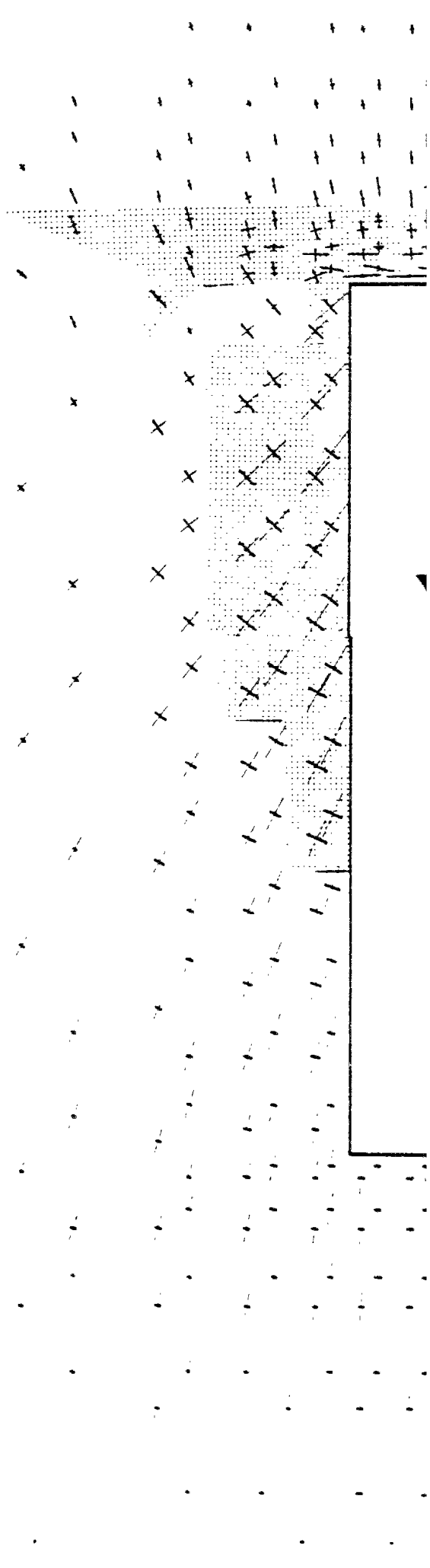


Fig. 5.71 - Diagrammes des contraintes principales dans la fibre moyenne du hourdis

$F_p = 1400 \text{ KN}$



$F_p = 200 \text{ KN}$

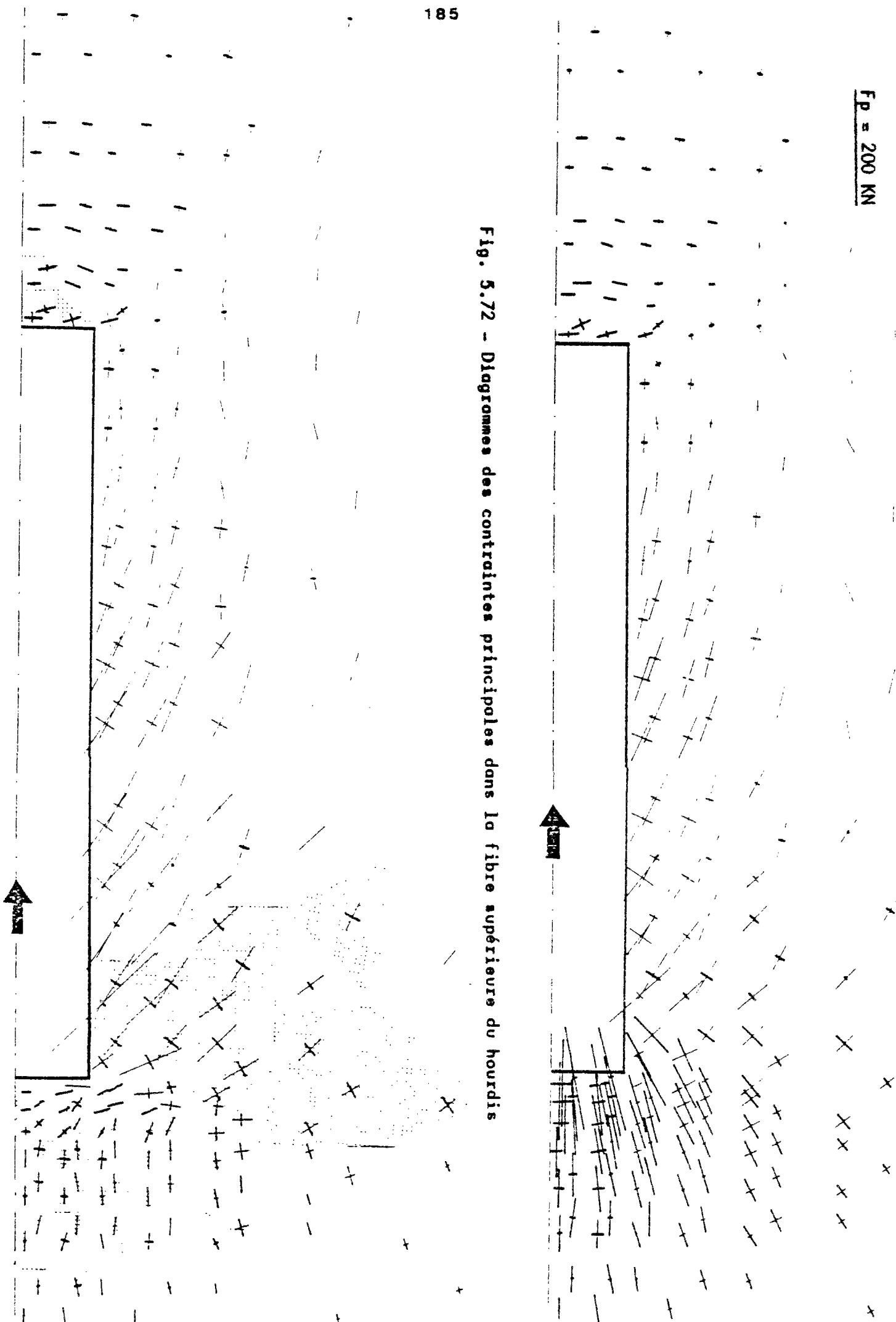


Fig. 5.72 - Diagrammes des contraintes principales dans la fibre supérieure du hourdis

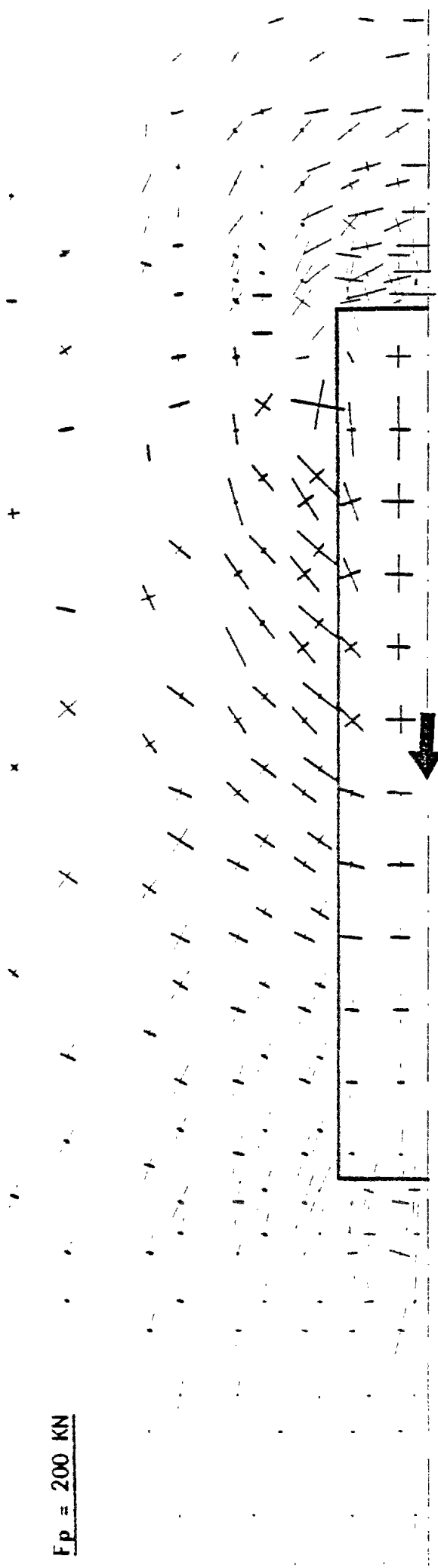
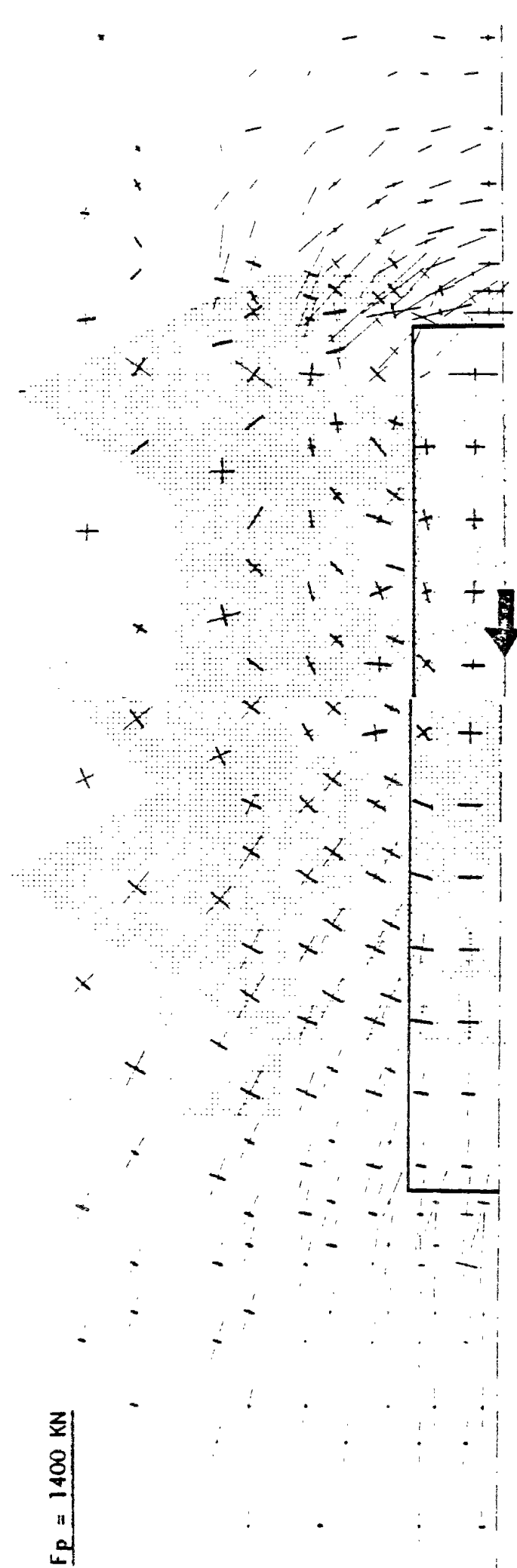


Fig. 5.73 - Diagrammes des contraintes principales dans la fibre inférieure du hourdis



— Dans les figures 5.71 à 5.73 nous présentons les tracés des contraintes principales dans le hourdis, correspondant aux premiers stades du chargement ($F_p = 200 \text{ KN}$), où la pièce a encore un comportement élastique, et un peu avant la rupture ($F_p = 1400 \text{ KN}$), avec la fissuration assez développée.

On y remarque clairement la réduction des tractions dans les zones fissurées (zones foncées des figures), ainsi que les endroits où les tractions sont presque annihilées, et par conséquent des fissures importantes existent.

Pour $F_p = 1400 \text{ KN}$, de fortes compressions apparaissent au niveau des fibres extrêmes, aux endroits où de grandes fissures existent dans les fibres opposées : derrière le bossage pour la fibre inférieure, et le long des bords du bossage et dans sa partie postérieure pour la fibre supérieure.

— Dans les fig. 5.65 à 5.67, nous indiquons les directions des fissures (pour $F_p = 1400 \text{ KN}$) dans les fibres moyenne, supérieure, et inférieure du hourdis.

5.2.3. - Influence d'une traction uniforme dans le hourdis.

— Le programme, comme nous l'avons dit au chapitre 3, ne prévoit pas de déchargements dans les lois de comportement des matériaux. Néanmoins, l'observation des résultats correspondants à la charge de service ($F_p \approx 800 \text{ KN}$), montre que dans aucune zone du hourdis, les compressions dans le béton n'ont atteint des valeurs importantes et que celui-ci était encore en zone linéaire.

Cela nous a permis d'étudier l'effet de l'application progressive d'une traction uniforme dans le hourdis, à partir de l'état de sollicitations correspondant à la charge de service de l'ancrage. Cette traction a été appliquée par étapes de 0.5 MPa , jusqu'à 1.5 MPa .

— A l'aide de cette méthode, on peut envisager d'étudier le déchargement possible de la zone des bossages du hourdis, sous l'effet des actions différées ou thermiques.

Le développement des fissures pour les différents taux de tractions est montré dans les fig.5.74 à 5.76. Dans la fig.5.77 nous indiquons les augmentations des contraintes de tractions, aux armatures supérieures placées en arrière du bossage. Nous constatons une extension importante des zones fissurées, et une augmentation très marquée des tractions aux aciers, dont les valeurs sur l'axe de la pièce sont indiquées ci-après:

Traction dans le hourdis (MPa)			
	0.5	1.0	1.5
1 cm derrière le bossage	19 %	31 %	44 %
5 cm derrière le bossage	33 %	80 %	120 %

Ces augmentations sont importantes sur toute la zone d'entraînement où le béton était déjà fissuré sous la charge de service ($F_p = 800 \text{ KN}$).

L'application d'une traction uniforme dans le hourdis a donc deux effets importants. D'une part, elle permet une grande extension de zones fissurées sur les deux faces du hourdis et, d'autre part produit une forte augmentation des tractions dans les aciers d'entraînement, qui doit être accompagnée d'un accroissement de l'ouverture des fissures.

5.3. Comparaison avec les résultats expérimentaux.-

5.3.1. - Corps d'épreuve à échelle réduite .

Les essais de mise en précontrainte des corps d'épreuve décrits précédemment se sont tous achevés par la plastification, avec parfois des ruptures de fils, du câble de précontrainte, sous une charge de 170 KN environ. Nous y avons noté tout au plus une fissuration restée fine de poussée au vide, dans la zone du tracé courbe du câble au commencement du bossage, sur les pièces indexées A et B (pour une charge de 150 KN environ). Le béton dans le cas C était plus résistant. Les mesures relevées ont confirmé que le comportement des corps d'épreuve est resté quasiment linéaire. Les mesures obtenues une fois l'es-

fibres moyenne

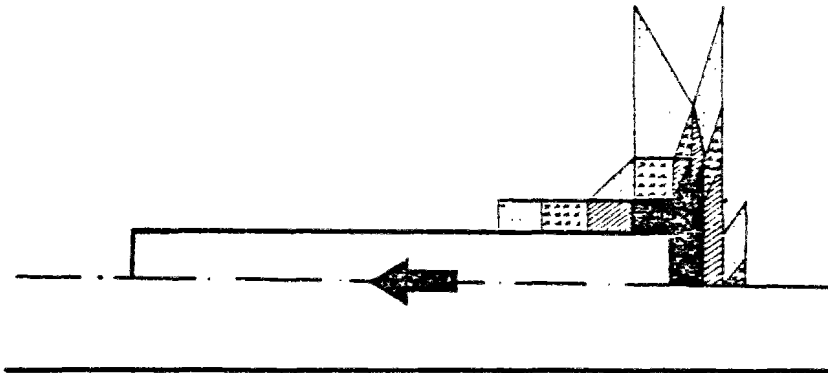
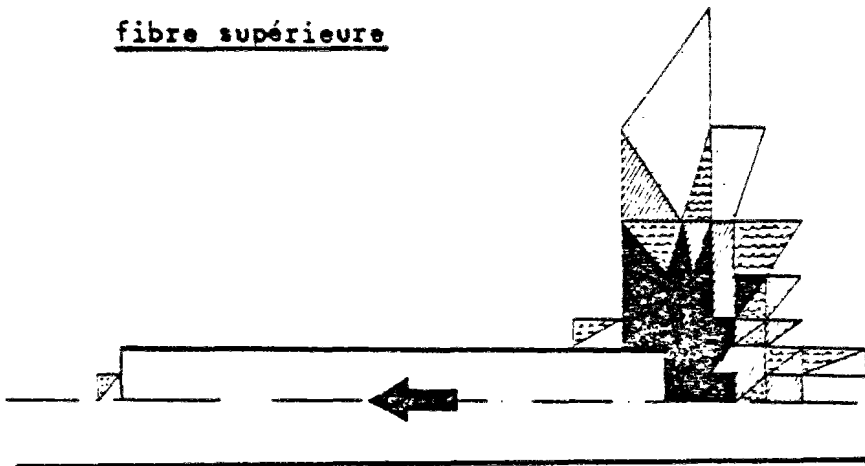


Fig. 5.74

fibres supérieure



Traction dans le
hourdis

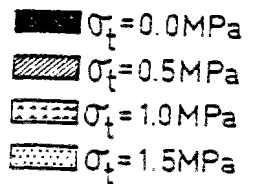


Fig. 5.75

fibres inférieure

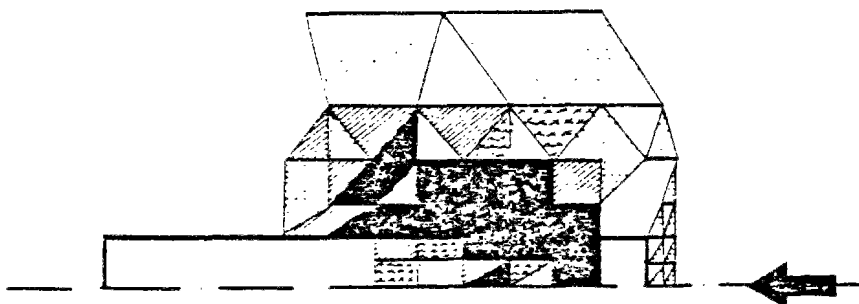


Fig. 5.76

Développement de la fissuration dans le hourdis lors de l'application d'une traction uniforme, à partir de la charge de service ($F_p = 800 \text{ kN}$)

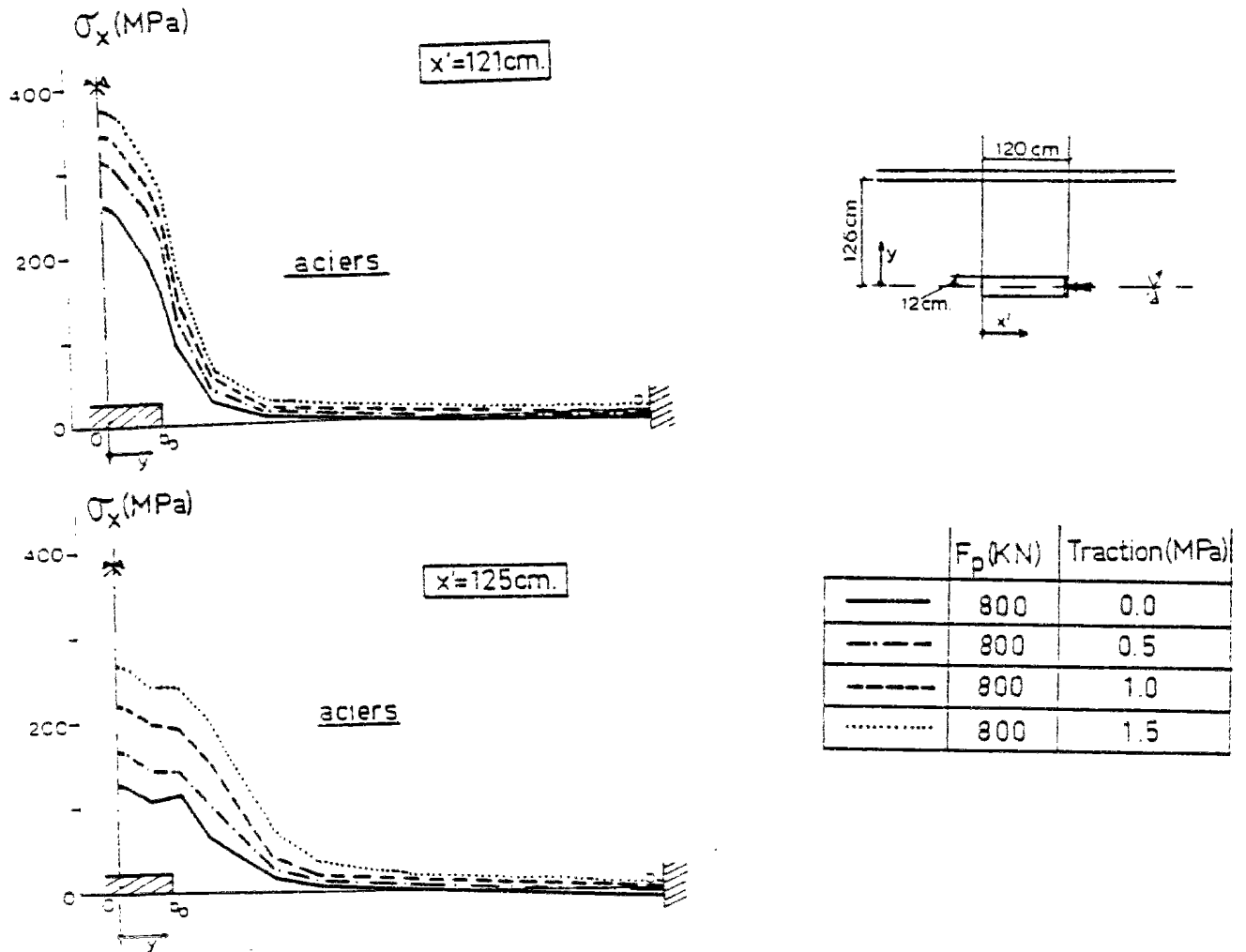


Fig. 5.77 - Variation des tractions aux armatures supérieures à l'arrière du bossage, lors de l'application d'une traction uniforme dans le hourdis à partir de la charge de service ($F_p = 800 \text{ KN}$)

sai terminé et la pièce déchargée ont coïncidé sensiblement avec l'état zéro, sauf dans certaines zones bien délimitées (fissuration due à la poussée au vide du câble). La pré-compression générale n'y a donc aucune influence, si ce n'est qu'elle a permis de retarder, voire d'empêcher, l'apparition des fissures.

Cela confirme d'ailleurs les résultats obtenus avec la méthode d'éléments finis bidimensionnels (cf. paragraphe 5.2.1): l'application de la précontrainte au moyen d'un bossage se fait très graduellement sans que des compressions importantes apparaissent. Celles-ci restent très modérées et n'entraînent pas de redistributions non linéaires appréciables, même si une précompression générale importante est appliquée. Puisque le comportement reste en pratique dans le domaine de l'élasticité, les résultats vont être comparés avec ceux obtenus avec la méthode des coupures.

5.3.1.1. - Un seul bossage (corps d'épreuve A).-

- Les résultats sont montrés dans les fig.5-78 à 5-80. dans la fig.5.78 nous indiquons aussi ceux obtenus avec la méthode des éléments finis (en phase élastique), qui ne diffèrent à peine des valeurs obtenues avec la méthode des coupures, sauf pour la pointe des flexions juste derrière le bossage, qui est moins forte, tout en demeurant importante. Les contraintes sont toujours rapportées à la pression d'appui $p_1 = \text{force de précontrainte} / (\text{largeur du bossage} \times \text{épaisseur du hourdis} = 60 \text{ cm}^2)$.
- Nous pouvons noter que la concordance entre le calcul théorique et les points expérimentaux est assez bonne sur l'ensemble des résultats. Nous pouvons déceler cependant quelques zones où la concordance est moins satisfaisante :
 - Celle située devant le bossage et loin de lui, c'est à dire à la base du corps d'épreuve, dans laquelle la précontrainte devrait être déjà diffusée et les flexions annihilées. Les essais montrent l'existence de faibles flexions, dues cer-

tainement à la flexion d'ensemble de la pièce, étant donné que la fibre moyenne de la dalle est excentrée par rapport au centre de gravité de la section transversale.

Dans l'essai Ho-A2, les valeurs des compressions moyennes, une fois la précontrainte diffusée, sont plus grandes que celles de l'essai HO-A1 et s'approchent des valeurs obtenues d'après le calcul sous l'hypothèse des bords libres (fig.5.2). Cela pourrait bien découler du fait que la liaison hourdis-parois latérales, au moyen du boulonnage, est loin d'assurer une bonne transmission des efforts longitudinaux. Pour confirmer cette supposition, lors des essais à deux bossages nous avons collé des jauges sur les âmes, à proximité de la base de la pièce, ce qui va nous permettre de vérifier si la transmission de la précontrainte se fait correctement et si les parois prennent bien la partie de la charge qui leur correspond.

- Dans la zone des tractions d'entraînement, les flexions longitudinales sont un peu plus faibles que celles calculées, et les tractions au niveau du plan moyen de la plaque sont quasiment nulles, situation qui va se répéter lors des essais à deux bossages.

Il y a deux faits qui peuvent l'expliquer : d'une part, la longueur de la pièce d'essai en arrière le bossage n'est pas suffisante, de sorte qu'elle n'empêche que faiblement le déplacement du bossage vers l'avant, à cause de la précontrainte. Lors des essais en grandeur réelle (1974) on avait créé dans le bout de la pièce une espèce de poutre de rigidité, de façon à augmenter la résistance à l'entraînement de la zone derrière le bossage et à mieux simuler les conditions réelles où la pièce se prolonge bien au delà du bossage. Cela n'a pas été possible cette fois, étant donné que l'application de la précompression générale sur la pièce serait gênée par la présence de cette poutre.

Dans les essais Ho-A et Ho-B, nous pouvons dire que la résistance à l'entraînement n'existe guère, et que la partie postérieure de la pièce 'suit' le bossage sans aucune gêne, comme s'il agissait d'un ancrage aux abouts. Cela est en plus

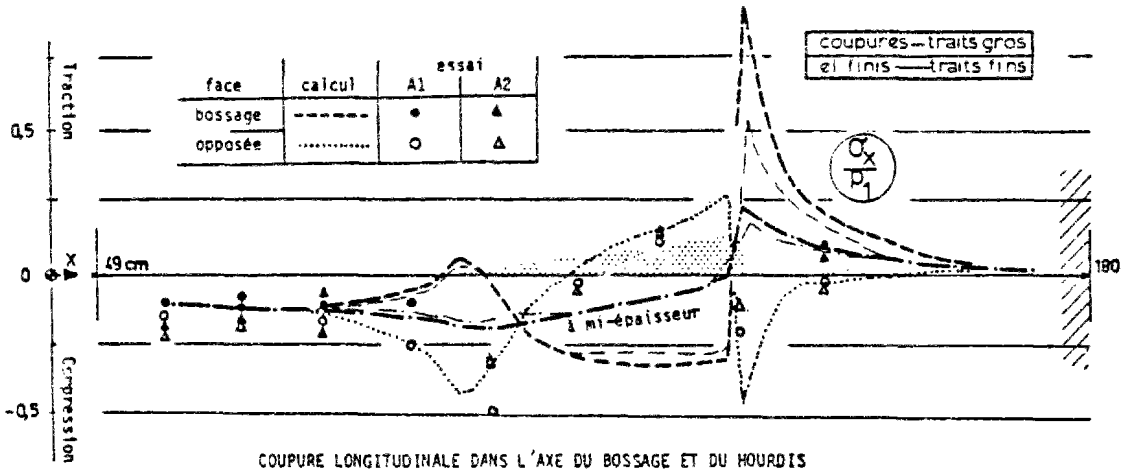


Fig. 5.78

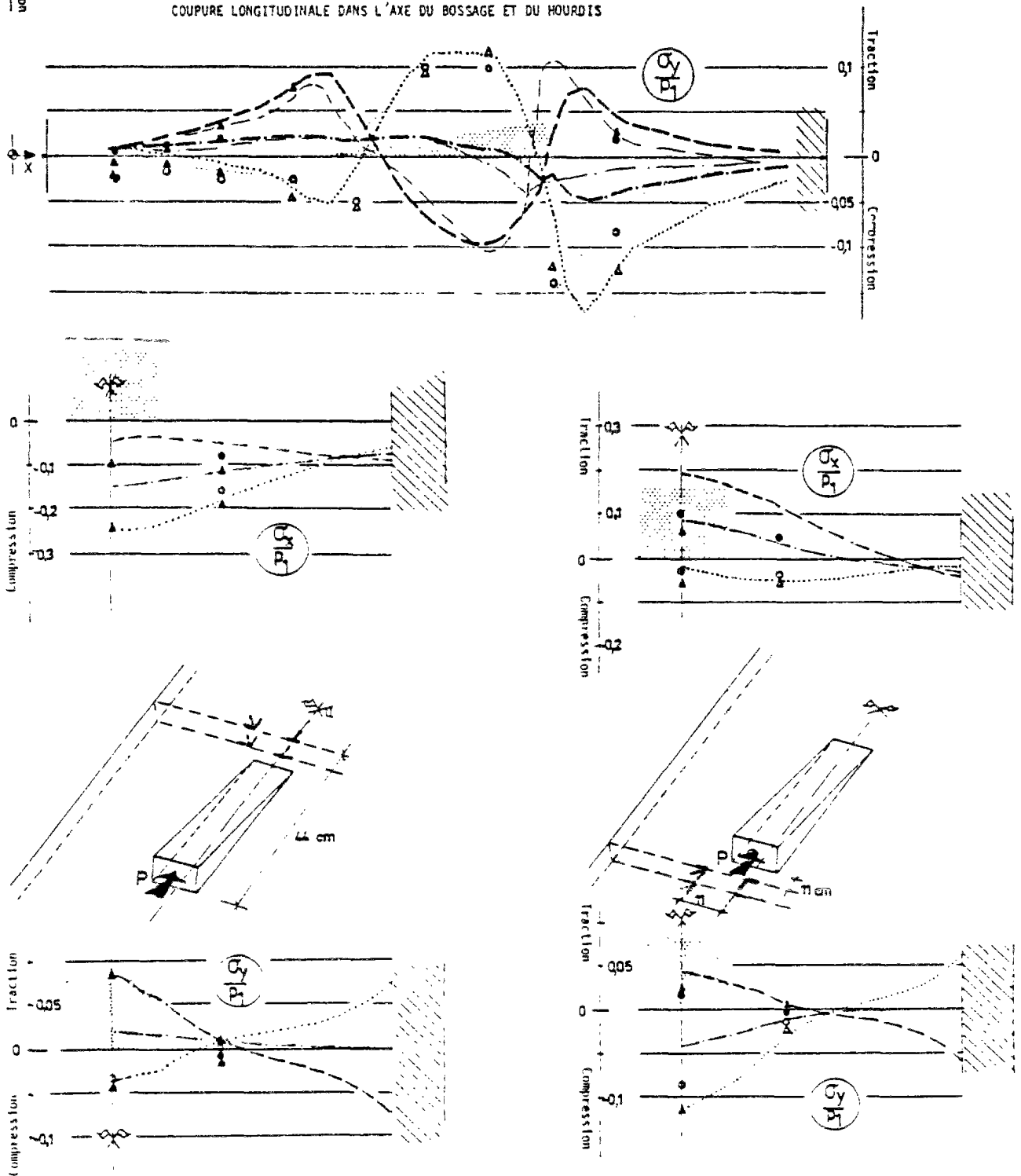


Fig. 5.80 - Coupure transversale en arrière de l'ancrage

Fig. 5.79 - Coupure transversale en avant de l'ancrage

COMPARAISON DES CONTRAINTES CALCULEES ET MESUREES (ESSAIS A)

aidé par le fait que les boulons, comme nous le verrons plus loin, n'assurent pas une bonne transmission de la force aux âmes et que, par conséquent, celles-ci gênent à peine les déplacements du hourdis.

- On peut aussi noter une grande divergence entre les résultats donnés par la jauge située à la base du bossage, dans les essais A1 et A2, ainsi que par rapport aux résultats théoriques. Cette jauge-là est placée à proximité du point de raccord du câble avec la fibre moyenne du hourdis. La grande dimension de la gaine par rapport à l'épaisseur de la plaque doit certainement y entraîner de fortes alterations des contraintes, ce qui peut expliquer les divergences obtenues.

5.3.1.2. - Deux bossages (corps d'épreuve B).-

— Les résultats obtenus sont montrés dans les fig. 5.81 à 5.84. Dans la fig. 5.81 nous avons aussi indiqué les valeurs concernant l'essai Ho-C (trois bossages), quand seuls les deux bossages antérieurs étaient chargés.

De même que dans les essais Ho-A, les compressions les plus élevées, restent dans le domaine linéaire.

L'examen des résultats montre la persistance de deux zones à faible concordance avec les valeurs théoriques :

— Dans la zone située devant le bossage, l'uniformisation des contraintes longitudinales se produit pour des valeurs beaucoup plus élevées que celles du calcul, et proches de celles obtenues sous l'hypothèse de bords libres (fig.5.23). En outre, une forte divergence est appréciée entre les résultats des deux essais (B1 et B2).

Les jauges que nous avons placées en bas des âmes du corps d'épreuve nous ont permis de confirmer que cela est dû au fait que le boulonnage est loin d'assurer une bonne transmission des efforts : Il y a toujours un jeu, laissant possible une certaine déformation entre les deux pièces.

En effet, les mesures relevées, nous ont permis d'évaluer la partie de la force qui a été reprise par le hourdis et par les parois :

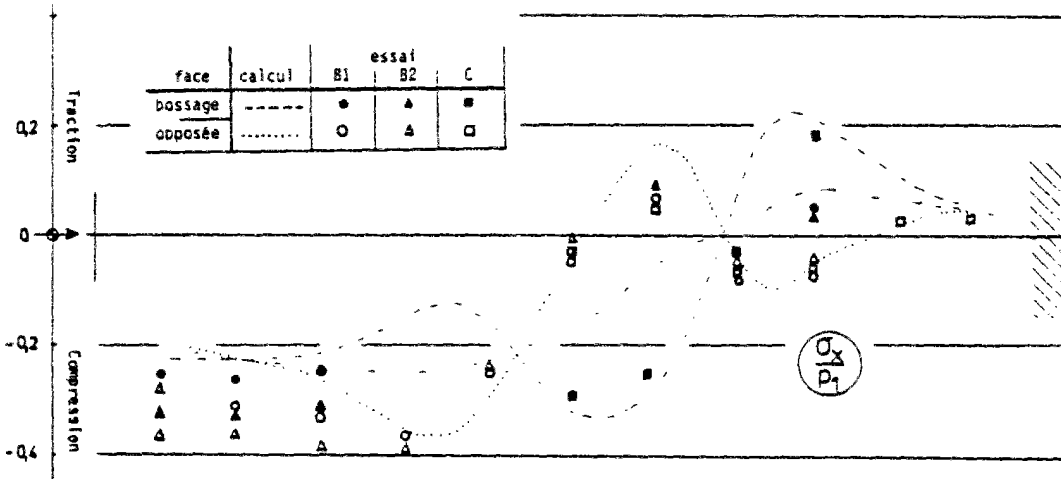


Fig. 5.81 COUPURE LONGITUDINALE DANS L'AXE DU HOURDIS

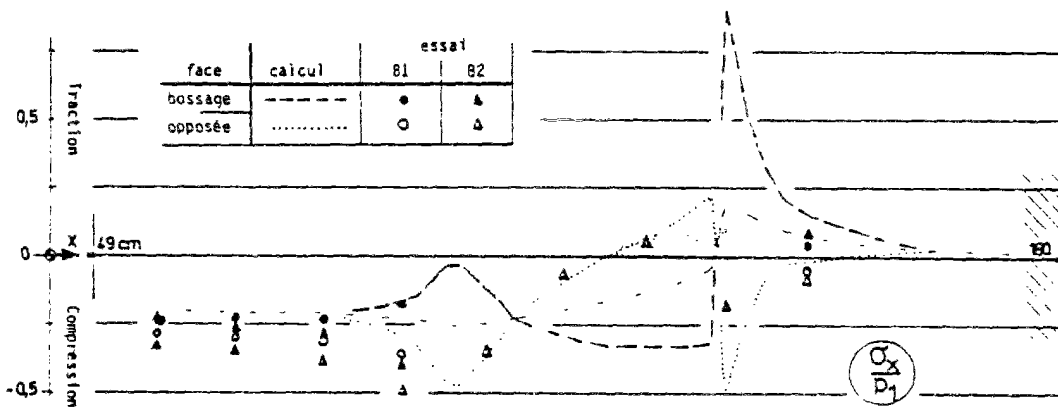
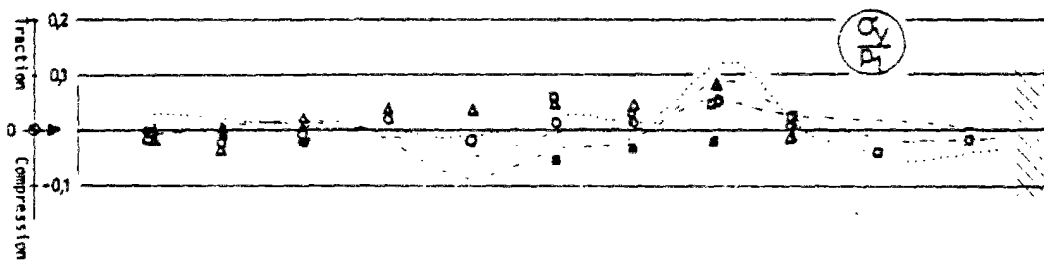
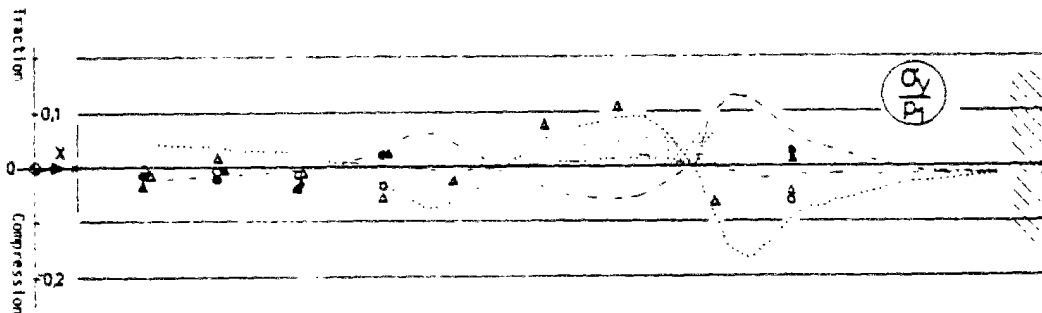


Fig. 5.82 COUPURE DANS L'AXE DU BOSSAGE Y = 15 cm



COMPARAISON DES CONTRAINTES CALCULEES ET MESUREES (ESSAIS B)

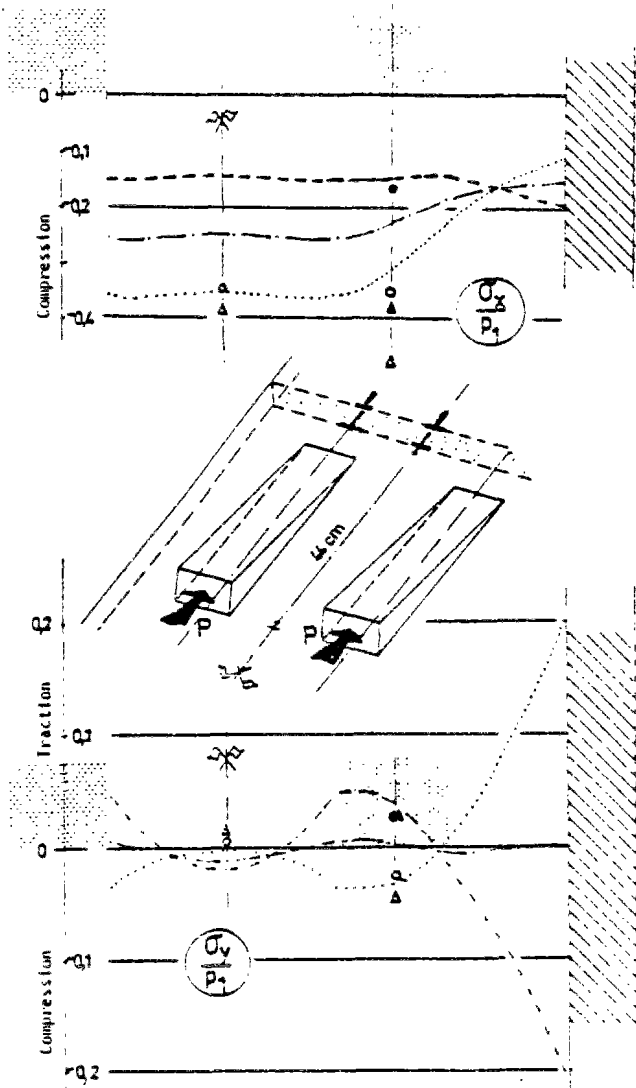


Fig. 5.83 - Répartition transversale des contraintes en avant des bossages (Essais B)

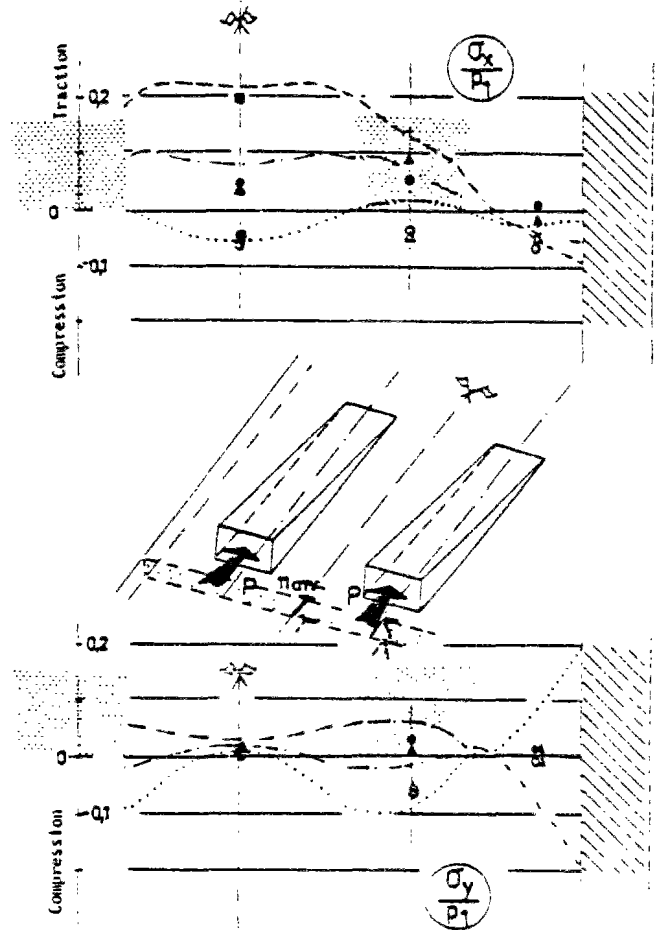


Fig. 5.84 - Répartition transversale des contraintes en arrière des bossages (Essais B)

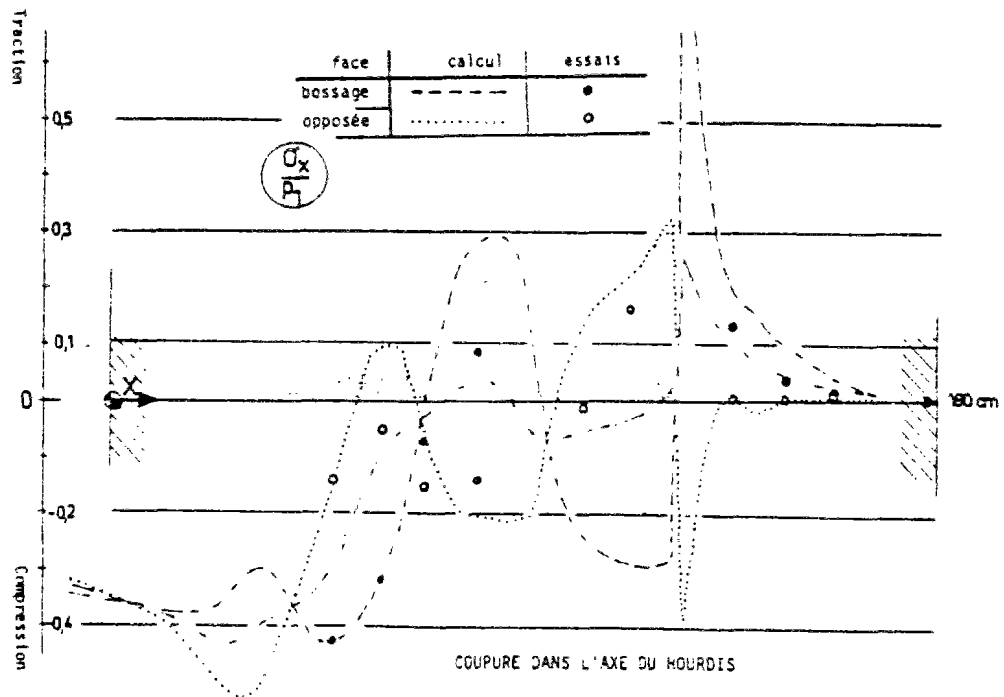


Fig. 5.85 - Comparaison des contraintes longitudinales, calculées et mesurées (Essais C)

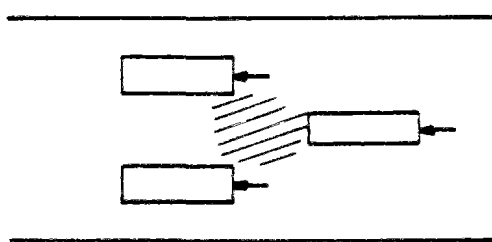
	Hourdis	Parois
Essai Ho-B1	84 %	16 %
Essai Ho-B2	90 %	10 %
Valeur théorique en cas de transmis- sion parfaite.	57 %	43 %

La transmission n'est donc pas représentative des hypothèses d'encastrement parfait, et par conséquent, en ce qui concerne les contraintes σ_x moyennes, on est dans ces essais beaucoup plus proche du cas de bords libres .

- Les effets sur les tractions d'entraînement sont les mêmes qu'aux essais Ho-A : les flexions sont plus faibles que les valeurs théoriques et les contraintes au niveau de la fibre moyenne de la plaque, quasiment nulles.
- Les figures 5.83 et 5.84 montrent que les flexions transversales sont nulles aux bords latéraux de la pièce, contrairement aux valeurs obtenues dans notre calcul, où nous avons supposé un encastrement parfait vis-à-vis des rotations transversales. En effet, le boulonnage n'empêche à peine la rotation transversale du hourdis, qui se fait sans gêne.
- Excepté les divergences entraînées par la mauvaise reproduction dans les essais des conditions de liaison hourdis-parois, nous pouvons remarquer que la concordance est assez bonne sauf dans la zone située entre les deux bossages (axe $y = 0$) et proche des ancrages . L'explication, on le rappelle, provient de ce que le calcul a supposé la conservation de la planéité des sections après la déformation de la pièce, hypothèse qui représente mal le comportement réel de cette zone à relief rapidement variable.
- Nous voulons aussi remarquer que l'effet de la mauvaise liaison hourdis-parois est plus sensible ici que dans les essais à un bossage. Ce qui est logique puisque les bossages sont beaucoup plus proches des bords.

5.3.1.3. - Trois bossages (corps d'épreuve C).

- Les résultats sont montrés dans les fig.5.85 et 5.86. Lors de ce dernier essai nous avons essayé de corriger la mauvaise transmission des efforts entre le hourdis et les parois latérales, qui s'était produite aux essais précédentes: les âmes préfabriquées ont servi de coffrages latéraux au hourdis lors du bétonnage (reprise de bétonnage avec armatures en attente). D'autre part, nous avons augmenté la longueur de la pièce derrière le troisième bossage, qui était jugée insuffisante.
- Les valeurs obtenues pour les tractions d'entraînement derrière les deux bossages antérieurs quand le troisième n'était pas encore chargé (fig.5.81), ainsi que derrière le troisième, une fois chargé (fig.5.85), ont confirmé nos suppositions : les flexions sont importantes et des tractions d'entraînement appréciables apparaissent au niveau de la fibre moyenne du hourdis. Ces valeurs concordent assez bien avec les points théoriques.
- Dans le reste de la pièce, la concordance est satisfaisante sauf dans la zone située entre les trois bossages, où les fortes discontinuités géométriques qui existent, ne permettent



pas, certainement, de vérifier l'hypothèse de planéité des sections.

En outre, les séries de Fourier, utilisées dans la méthode des coupures, ne s'adaptent pas très bien dans

les zones où de fortes discontinuités existent. Cette zone, qui dans le calcul théorique apparaissait fortement déchargée dans les sens longitudinal et transversal, ne l'est pas autant dans la réalité.

5.3.2. - Corps d'épreuve à grandeur réelle.-

— Dans les essais réalisés sur des corps d'épreuve de petites dimensions, nous n'avons pas obtenu de contraintes hors du domaine linéaire. En outre, la présence d'une précompression générale sur la pièce a empêché la formation de fissures. Par conséquent, nous avons appliqué le programme non linéaire au calcul des corps d'épreuve en vraie grandeur, qui ont été essayés au CEBTP en 1974.

Les résultats que nous présentons, correspondent à l'essai que nous avons analysé dans le paragraphe 5.2, et dont les dimensions sont montrées dans la figure 5.50.

— Cet essai s'est terminé par écrasement du béton du bossage, en avant de l'ancrage, sous une charge de 1450 KN. Notre calcul a donné une charge ultime de 1500 KN.

— Dans la fig. 5.87 nous présentons les déformations ϵ_x et ϵ_y sur l'axe de la pièce, pour une charge de 800 KN. Nous y rapportons les valeurs théoriques élastiques (méthode des coupures), et ceux des éléments finis.

La concordance avec les points expérimentaux est assez bonne. Néanmoins, puisqu'aucune jauge n'était placée à proximité du bossage et derrière lui, nous ne pouvons pas contrôler l'influence de la fissure qui apparaît dans l'essai sur la fibre supérieure du hourdis (fig.5.68). Cette fissure a été aussi obtenue dans le calcul par éléments finis et se traduit par une augmentation marquée des déformations de traction (aux fibres supérieure et moyenne) et de compression (à la fibre inférieure), juste derrière le bossage.

— Les jauges étaient placés dans des endroits où les phénomènes de non linéarité ne se faisaient sentir à peine. Aucune information n'existe sur la situation derrière le bossage. Nous allons donc nous contenter de comparer le développement des fissures obtenu dans l'essai avec celui théorique.

Dans la fig. 5.68, nous montrons les position et directions

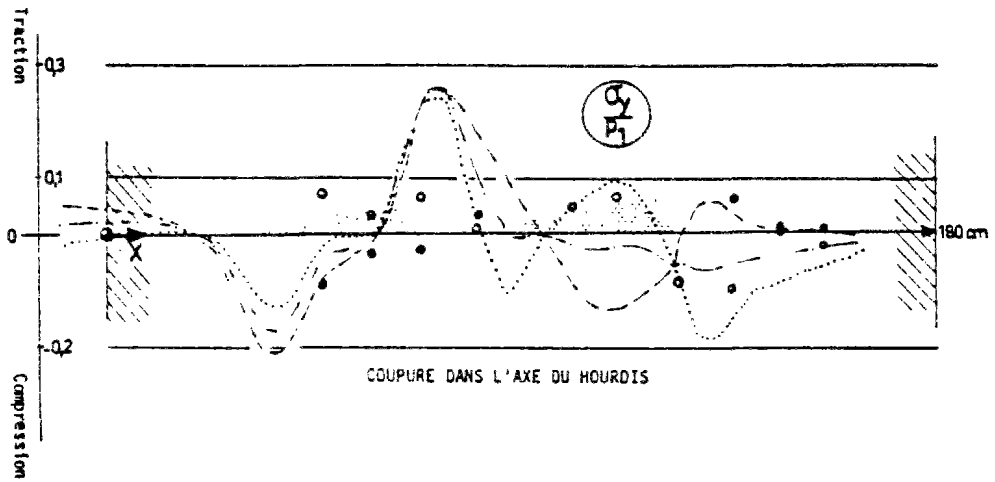


Fig. 5.86 - Comparaison des contraintes transversales calculées et mesurées (Essais C)

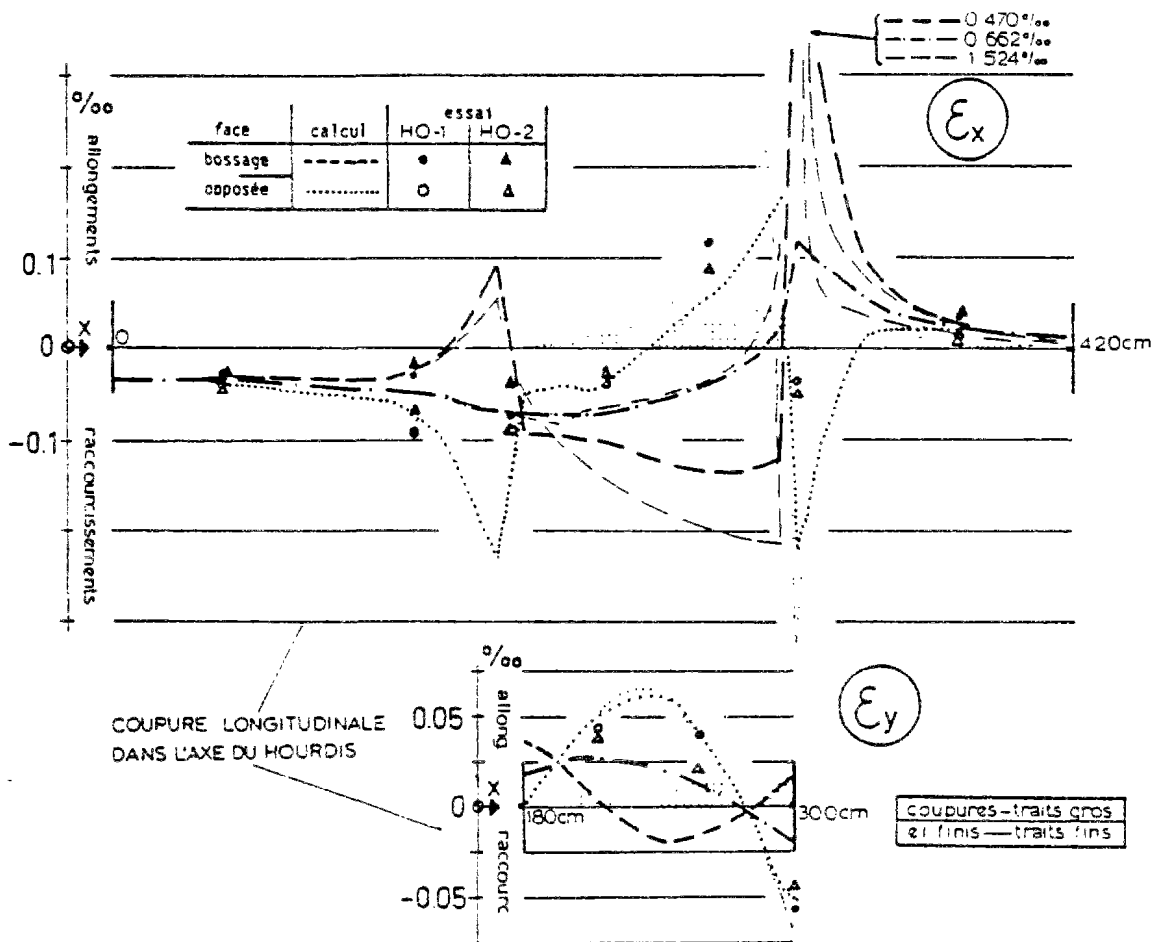


Fig. 5.87 - Comparaison des contraintes longitudinales et transversales, à l'axe de la pièce, calculées et mesurées (Essais HO)

des fissures apparues lors des essais. Celles-ci furent obtenues sous les charges suivantes :

- a) Une première fissure, dans la fibre supérieure du hourdis, et juste derrière l'ancrage, sous un effort de 800 KN.
- b) Sur l'autre face de la dalle, de fines fissures inclinées vers le bas, et à un niveau sensiblement de $2/3$ de la hauteur du bossage, furent observées vers 1000 KN. Ces fissures sont toujours restées très fines.
- c) Une fissure longitudinale à la base du bossage et dans son plan médian, se prolongeant dans la dalle, et due à la poussée au vide du câble, apparut vers 1100 KN.

— Toutes ces fissures concordent assez bien, tant en position qu'en direction, avec celles obtenues théoriquement (fig. 5.65 à 5.67). Nous pouvons cependant en tirer deux remarques :

- 1. - Les éléments finis donnent, en général, des fissures sous des charges inférieures à celles obtenues dans les essais. Cela est particulièrement évident en ce qui concerne la fissuration derrière le bossage.
- 2. - Les schémas des éléments fissurés des fig. 5.61 à 5.63, semblent montrer une fissuration plus étendue qu'elle ne l'est dans les essais.

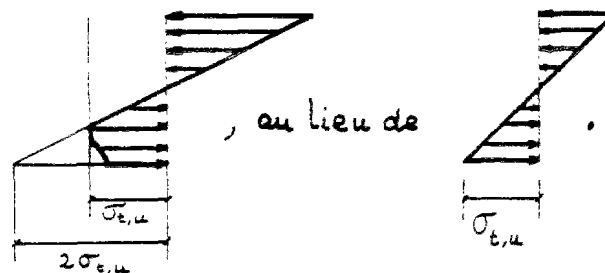
— Il y a deux raisons importantes qui peuvent expliquer cela :

- a) La méthode suppose que les sections restent planes après la déformation. Cela produit une forte pointe dans les valeurs des flexions longitudinales (fig. 5.51) juste derrière le bossage. Il nous paraît vraisemblable que cette pointe soit écrétée quantitativement dans la réalité, où la continuité de la planéité des sections ne se vérifie pas, à proximité des zones à fortes variations géométriques.
- b) Le modèle utilisé dans les éléments finis suppose que les couches travaillent dans leur plan indépendamment les unes des autres. Les fig. 5.62 et 5.63 montrent les couches où le béton a atteint la contrainte de rupture en traction

et, par conséquent, ne collabore plus à la résistance à flexion de la section.

Mais on a constaté depuis longtemps que la résistance conventionnelle à la traction du béton non armé, obtenue par un essai à flexion simple, et calculée par la formule de Navier : $f_{bt} = 6M_f / b h^2$, est beaucoup plus grande que la résistance à la traction pure, le rapport entre les deux étant de l'ordre de 1.75, et fonction de la qualité du béton et de la hauteur de l'éprouvette (ref. 33).

Cela vient du fait que le béton tendu présente des déformations élastoplastiques dans la phase qui précède la rupture, avec une déformation ultime qui peut être estimée à environ deux fois la valeur élastique correspondante à la rupture. Cela entraîne la collaboration postérieure des fibres moins sollicitées, et la fissure se produit par conséquent quand la distribution des contraintes dans la section est



Bien que ce schéma concernant la fissuration de l'éprouvette par flexion simple puisse varier du fait de la présence des armatures, ou de l'existence d'un effort normal de traction ou de compression, il semble évident que les "fissures" que nous obtenons correspondent uniquement aux zones où le béton a épuisé sa capacité portante en traction, mais que les fissures apparaissent seulement dans les éléments où la déformation de traction du béton dépasse une certaine limite, qui est plus élevée que la limite élastique. Ces éléments-là sont ceux dont les armatures sont fortement sollicitées et que nous montrons dans la fig. 5.64. Nous remarquons qu'ils concordent à peu près avec les éléments dont la fibre moyenne

a atteint la contrainte de rupture en traction (fig.5.61). Nous constatons aussi que l'extension de ces zones correspond assez bien avec celle des fissures obtenues dans les essais (fig.5.68).

- Les contraintes obtenues dans les aciers confirment d'autre part certaines observations expérimentales : les fissures sur la fibre supérieure du hourdis, derrière le bossage, restent très localisées et s'ouvrent de plus en plus (le calcul théorique montre la plastification des aciers à cette zone-là). Par contre, la fissuration sur l'autre face du hourdis est assez répandue, mais les fissures demeurent toujours fines.
- A titre d'exemple, nous montrons les fissures obtenues à la rupture sur deux corps d'épreuve (Ho-3 et Ho-4) où l'épaisseur du hourdis était plus petite (15 cm) et la qualité du béton moins bonne (fig. 5.69 et 5.70). La fissuration dans le hourdis s'y est développée beaucoup plus, mais elle reste en bon accord en position et en direction avec ce que nous avons obtenu théoriquement.

CHAPITRE 6

C O N C L U S I O N S

Les conclusions, tant théoriques qu'expérimentales, que nous pouvons tirer de cette recherche, peuvent être résumées comme suit :

- Le problème de la résistance de cette partie d'ouvrage peut être cerné en abordant séparément les quatre points suivants:
 - a) la diffusion de la force de précontrainte dans le bossage ;
 - b) l'étude du plan de couture d'attache du bossage au hourdis ;
 - c) l'équilibre de la poussée au vide induite par la courbure du câble ;
 - d) la répartition des contraintes dans le hourdis au voisinage du bossage.

Les points a) et b) ont été étudiés en détail au LCPC (réf. 7 et 8). Une seule remarque à faire : bien que le calcul élastique donne une transmission par cisaillement à travers le plan d'encastrement du bossage, nous avons constaté lors des essais Ho-1 (réf. 9) que, par suite de la fissuration à l'arrière du bossage, ce mécanisme peut être remplacé par celui de console courte, qui entraîne une forte sollicitation des armatures de couture proches de l'aplomb de l'ancrage, pouvant même arriver jusqu'à la plastification.

Le point c) est bien comme en béton armé. Néanmoins, il faut aussi considérer le cumul des effets avec ceux de la sollicitation du hourdis dans la zone, dont nous parlerons ci-après.

- Nous avons centré notre étude sur le point d) en particulier. Les deux méthodes que nous avons mises au point ont montré une assez bonne concordance avec les résultats expérimentaux, à l'exception de quelques zones particulières où les hypothèses de calcul ne s'appliquent pas. Voici les principales limitations que nous avons relevées :

- a) Pour la méthode des coupures, d'une part son analyse élas-

tique ne permet pas de tenir compte des redistributions importantes de contraintes qui se produisent, et d'autre part l'hypothèse de conservation des sections planes ne se vérifie pas à proximité des zones à forte discontinuité géométrique. Ce qui est aggravé par la mauvaise convergence des séries de Fourier dans ces zones là.

b) Les éléments finis adoptent aussi l'hypothèse des sections planes.

Le modèle choisi pour le béton comporte aussi quelques limitations :

1. - les couches sont supposées travailler dans leur plan, indépendamment les unes des autres, et sous un état biaxial de sollicitations ;
2. - les lois biaxiales adoptées pour le béton ont été obtenues en maintenant constant le rapport des contraintes dans les deux directions de chargement. Cependant, les effets non linéaires (la fissuration principalement), peuvent entraîner des variations sensibles des contraintes principales, en direction et en grandeur ;
3. - nous avons adopté quelques paramètres approchés, dont l'influence n'a pas pu être évaluée, en particulier ceux qui approchent la collaboration du béton tendu entre fissures et la résistance à la déformation transversale du béton fissuré.

Nous voulons finalement signaler que l'utilisation d'un élément non conforme (imposée par la limitation de capacité d'ordinateur), peut entraîner quelques imprécisions dans les zones à forte variation de courbure.

— Nous avons constaté la présence de trois zones de flexions longitudinales importantes, qui sont accompagnées par des flexions transversales de même signe, et qui produisent des tractions élevées dans le hourdis :

- a) Derrière le bossage, avec des tractions σ_x sur la face côté bossage. Le calcul y donne une pointe aiguë très

localisée à la discontinuité géométrique du bossage, laquelle ne peut pas être vérifiée par un moyen quelconque de mesure. Il nous semble que, quoique sensiblement écrêtée en réalité, elle doit rester très élevée.

b) Le long du bossage, et sur une zone de 0.6 à 0.75 Lb à partir de l'ancrage (Lb étant la longueur du bossage), il existe des tractions sur la face opposée au bossage. Les tractions principales sur les bords latéraux du bossage, forment un angle compris entre 30° et 45° par rapport à l'axe de la pièce, et atteignent leur maximum à 0.25 Lb de la fin du bossage. Ces tractions sont importantes.

c) A la base du bossage, s'étendant aussi sur le hourdis, on trouve des tractions transversales σ_y , dues à la poussée au vide de la partie courbe du câble. Elles sont plus faibles que celles des zones précédentes.

— L'état de contraintes au niveau du plan moyen de la plaque est beaucoup moins critique. En effet, la présence du bossage répartit l'application de la précontrainte sur le hourdis, qui se fait graduellement sur toute la longueur du bossage. Il y a donc un double mécanisme de diffusion de la précontrainte sur le hourdis : par cisaillement le long du bossage, et par entraînement de la zone arrière. Au niveau de la base du bossage, une grande partie de la précontrainte est déjà diffusée, ce qui rend négligeables deux effets propres aux ancrages aux abouts des pièces : les tractions transversales d'éclatement, et les fortes accumulations des compressions devant l'ancrage. Les tractions d'entraînement derrière le bossage, bien que accrues par l'effet défavorable de la brusque discontinuité géométrique de la fin du bossage (cf .5.2.1.), sont à leur tour nettement plus faibles que celles obtenues derrière les ancrages noyés.

— Les valeurs des tractions sont fonction des dimensions relatives du bossage et du hourdis.

La résultante des tractions d'éclatement au niveau du plan

moyen du hourdis, $T_{y,moy.}$, est toujours très faible et varie entre 0.10 et 0.18 de la force de précontrainte (F_p). Celle des tractions d'entraînement ($T_{x,moy}$) derrière l'ancrage, reste toujours en dessous de la règle empirique qui consiste à ancrer 0.5 F_p . Elle augmente quand γ ($\gamma = \text{largeur bossage} / \text{largeur hourdis}$) diminue, et s'approche seulement de 0.5 F_p quand γ tend vers zéro (ancrage interne dans un milieu infini).

Les valeurs des flexions au milieu et derrière le bossage, se sont avérées être très sensibles à l'excentrement du câble par rapport au centre de gravité des sections du bossage, qui doit par conséquent être réduit ^{au} maximum.

— Au cas où le bossage est proche des bords, le calcul élastique donne de très fortes flexions transversales à l'encastrement avec les parois latérales, avec apparition de tractions très importantes sur la face côté bossage, dans la zone située au droit du bossage.

La réalité devrait être moins critique, étant donné que notre calcul a supposé que les rotations transversales φ_y étaient nulles le long de la ligne de jonction hourdis-parois, alors qu'en réalité une certaine rotation existe. Ces flexions deviennent rapidement négligeables quand le bossage s'éloigne des bords. En tout cas, nous pensons qu'il faudrait en tenir compte, si $\gamma > 0.10$.

— Un calcul qui ne considère pas les conditions d'encastrement du hourdis aux parois latérales du caisson (calcul à bords libres) s'avère être nettement du côté de l'insécurité. Notamment, nous avons constaté qu'il fournit :

- a) des tractions d'entraînement au niveau de la fibre moyenne plus faibles (réduction de 35 % environ pour $\gamma = 1/6$) ;
- b) des flexions transversales négligeables (de l'ordre de 50 % pour $\gamma = 1/6$) ;

c) des flexions longitudinales très faibles derrière le bossage (réduction de 60 % environ pour $\chi = 1/6$). Ces flexions apparaissent en plus très concentrées autour de l'axe du bossage et s'annulent très vite de part et d'autre de l'axe ($ht = 0.4$ à $0.5 b$ au lieu de $0.7 b$ si l'on considère l'encastrement, cf. 5.1.2.2).

— Le calcul non-linéaire a d'une part confirmé les distributions élastiques obtenues avec la méthode des coupures et, d'autre part donné des renseignements sur le comportement du hourdis en phase fissurée, dont il faudrait tenir compte lors du dimensionnement des armatures.

Un accord acceptable a été obtenu entre la position, direction et propagation des fissures théoriques et celles obtenues aux essais.

Le calcul et les essais ont montré que la fissuration est la seule cause de non linéarité du hourdis. L'application de la précontrainte par l'intermédiaire d'un bossage évite l'apparition de compressions élevées.

Nous avons remarqué trois types de fissures :

a) Une première fissuration, sur la fibre supérieure du hourdis, juste derrière le bossage.

Cette fissuration reste très concentrée et sollicite fortement les sections situées derrière le bossage, où se forme une espèce de rotule avec les aciers supérieurs très sollicités.

Nous y avons obtenu une plastification des armatures pour une charge d'environ une fois et demie celle de service. La forte rotation^{de} ces sections permet d'attendre de graves ennuis, même sous la charge de service, si cette zone-là n'est pas suffisamment armée.

b) Une deuxième fissuration apparaît sur la fibre inférieure du hourdis, le long du bossage. Elle commence à $0.25 L_b$ de l'ancrage, et se développe vers l'avant. Les fissures restent fines^{et} très étendues en largeur et en longueur. La zone affectée par la fissuration est bien plus étendue que celle obtenue par le calcul élastique, les fissures pouvant se développer jusqu'au niveau du début du bossage et même le dépasser. Les aciers les plus sollicités sont ceux situés aux

bords latéraux du bossage, sans pour autant atteindre une traction élevée.

c) Une fine fissure, due à la poussée au vide du câble, a été détectée un peu avant la rupture. Elle se produit à la base du bossage, en se prolongeant dans le hourdis, et reste toujours très fine.

— Pour le cas étudié, nous avons obtenu à la rupture, une fissuration étalée sur une largeur de $5 b_0$ environ, de part et d'autre de l'axe de la pièce (b_0 étant la demi-largeur du bossage). Les armatures supérieures de derrière le bossage se sont plastifiées sur une zone de $3 b_0$ de part et d'autre de l'axe.

— L'étude des résultats du calcul non-linéaire permet de tirer une conclusion importante :

Même si la résultante des tractions d'entraînement derrière le bossage est nettement en dessous de $0.5 F_p$ et si la partie effectivement reprise par les aciers est encore plus faible ($0.29 F_p$ à la rupture pour le cas étudié), un dimensionnement correct des armatures doit tenir compte de :

a) Dans la section juste derrière le bossage, il existe une très forte flexion qui tend la fibre supérieure. Le ferrailage doit donc y être disposé de façon à reprendre cette flexion ;

b) transversalement, on doit concentrer les aciers derrière le bossage.

Sinon, on risque d'avoir une forte fissuration dans cette zone, avec des grandes ouvertures et plastification des aciers.

— Au cas où plusieurs bossages doivent être placés dans une zone limitée, nous pensons qu'une distribution décalée des ancrages est toujours préférable. En effet, la compression des bossages postérieurs apporte dans ce cas une influence favorable vis-à-vis de la fissuration de ceux de l'avant, en y réduisant les tractions d'entraînement.

Nous constatons aussi que, dans les cas où deux bossages sont relativement proches, les trois différentes zones de flexions

longitudinales déjà citées s'étalent sur toute la zone comprise entre les deux bossages.

En outre, il faut noter que l'accord entre les contraintes transversales théoriques et expérimentales n'a pas été bon dans la zone située entre des bossages proches. Cela vient du fait que les hypothèses de calcul ne simulent pas bien le comportement réel de cette zone à relief rapidement variable.

— Les résultats théoriques et expérimentaux que nous avons obtenu en appliquant une force de précontrainte, par l'intermédiaire d'un bossage, sur un hourdis où l'on avait appliqué auparavant une compression générale, mettent en évidence que celle-ci ne suffit pas à solliciter le béton hors du domaine élastique. La précompression générale n'y a donc aucune influence, si ce n'est qu'elle permet de retarder l'apparition des fissures, en réduisant entre autres la traction d'entraînement.

— Par contre, l'analyse des effets d'un déchargement progressif du hourdis, dans lequel on a placé un bossage avec un câble tendu à sa charge de service, montre que des taux de traction modérés entraînent des dégradations importantes dans le hourdis (extension des zones fissurées sur les deux faces, et ouverture importante des fissures, accompagnée d'une forte augmentation des tractions aux aciers supérieurs, dans la zone en arrière du bossage).

On a donc fortement intérêt à éviter de placer les bossages dans des zones qui risqueraient de se trouver sollicitées en traction.

— Les conclusions précédemment énumérées nous permettent de fixer quelques critères concernant les dispositions constructives (fig. 6-1 à 6-4) :

a) Les directives du règlement concernant les abouts de poutre (ref. 2) sont transposables au cas du bossage moyennant deux adaptations : les armatures destinées à résister aux tractions de surface doivent être prolongées et

ancrées par boucles fermées jusqu'à la face inférieure de la plaque ; le dimensionnement des armatures d'éclatement doit prévoir que le maximum des tractions se trouve à la surface .

b) Les armatures de couture peuvent être déterminées suivant la règle des coutures (pour reprendre un effort tranchant égal à $F_p \cos \alpha$).

Un renforcement des armatures de couture est conseillé dans la zone proche de la plaque de répartition, en vue d'assurer une sécurité suffisante vis-à-vis d'une rupture suivant un mécanisme de console courte.

c) Des armatures transversales supplémentaires doivent être placées dans la zone de courbure du câble pour reprendre la poussée au vide de celui-ci.

d) L'ancrage doit être appliqué le plus proche possible de la face supérieure du hourdis. Il est aussi favorable d'augmenter un peu la hauteur du bossage, de façon à ce que l'excentrement du câble par rapport aux centres de gravité des sections du bossage soit réduit au minimum.

Le rattachement du câble à la fibre moyenne du hourdis devrait se faire si possible à l'intérieur du bossage, en vue d'accroître l'enrobage de celui-là dans la zone de poussée au vide.

e) On peut disposer les aciers en treillis suivant deux nappes. La répartition sur les deux nappes doit se faire de façon à reprendre les flexions longitudinales et transversales qui apparaissent : renforcement de la face supérieure derrière le bossage, de l'inférieure le long de celui-ci, et encore de la face supérieure dans la zone de courbure du câble.

Les zones renforcées en long et derrière le bossage doivent s'étendre transversalement sur une largeur que nous pouvons fixer au minimum de $5 b_0$ ou $0.6 b$ (b_0 étant la demi-largeur du bossage, et b celle du hourdis), de part et d'autre de l'axe. Les aciers longitudinaux derrière le bossage doivent se concentrer autour de l'axe de la pièce, où une rotule risque de se produire.

f) Si un bossage est proche des âmes latérales du caisson,

une armature transversale proche de la face supérieure du hourdis, doit reprendre la flexion qui se produit à l'encastrement.

g) Pour le cas de deux ancrages relativement proches, les aciers longitudinaux doivent s'étendre sur toute la zone comprise entre les deux bossages.

h) Faute d'une meilleure connaissance de la distribution de contraintes transversales dans la zone proche des discontinuités géométriques, dans le cas de plusieurs bossages groupés, une armature transversale doit être placée dans cette zone.

Sur les figures ci-après, nous résumons graphiquement certains de ces points.

— En ce qui concerne un possible prolongement de cette recherche, nous voulons signaler quelques remarques :

a) L'application de la méthode des éléments finis non linéaires au cas de bossages groupés nous semble intéressante, étant donné l'importance des redistributions d'efforts qui se produisent par suite de la fissuration du béton, et due pour des raisons de capacité d'ordinateur, nous n'avons pu étudier que pour le cas d'un seul bossage.

L'utilisation d'un moyen informatique plus performant permettrait aussi l'utilisation d'un élément de flexion conforme. Il nous semble que les brusques variations des flexions qui existent dans un cas comme celui que nous étudions, ne peuvent pas être suivies de près par un élément non conforme.

Une confrontation avec des résultats expérimentaux doit aussi permettre de justifier les hypothèses adoptées lors de la modélisation du béton (fissuré ou non) et même, le cas échéant, de les améliorer.

b) Une meilleure connaissance de la distribution des contraintes à proximité des discontinuités géométriques et en particulier, de la zone juste derrière le bossage, ou des zones inter-bossages dans le cas de bossages groupés, ne

peut être envisagée que par l'intermédiaire de méthodes de calcul où l'on n'impose pas la conservation des sections planes.

c) L'étude du comportement des ouvrages réels nous semble nécessaire. Les essais expérimentaux ont donné une fissuration qui correspond en position et en nature à celle détectée dans les cas réels, mais les fissures sont fines, et n'ont atteint d'ouvertures comparables à celles qu'on trouve sur certains ponts, qu'à proximité de^{la} rupture.

Or, le calcul théorique a montré que des déchargements dans le hourdis, pouvant représenter des effets différés ou thermiques, pourraient expliquer l'importance de ces dégâts. Il faudrait donc envisager le suivi du comportement du hourdis, à proximité des bossages, sur des ouvrages réels, afin de confronter cette hypothèse.

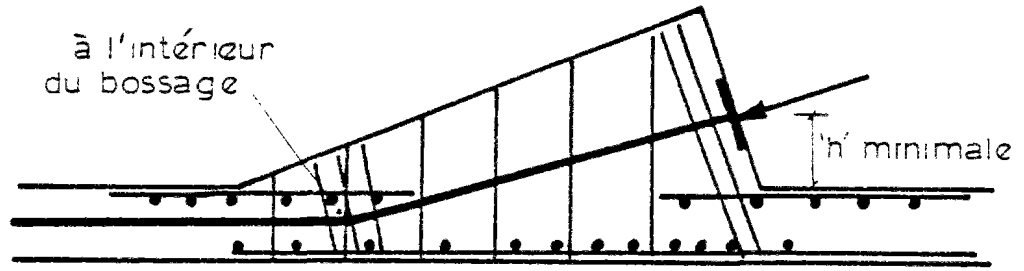


FIG. 6.1

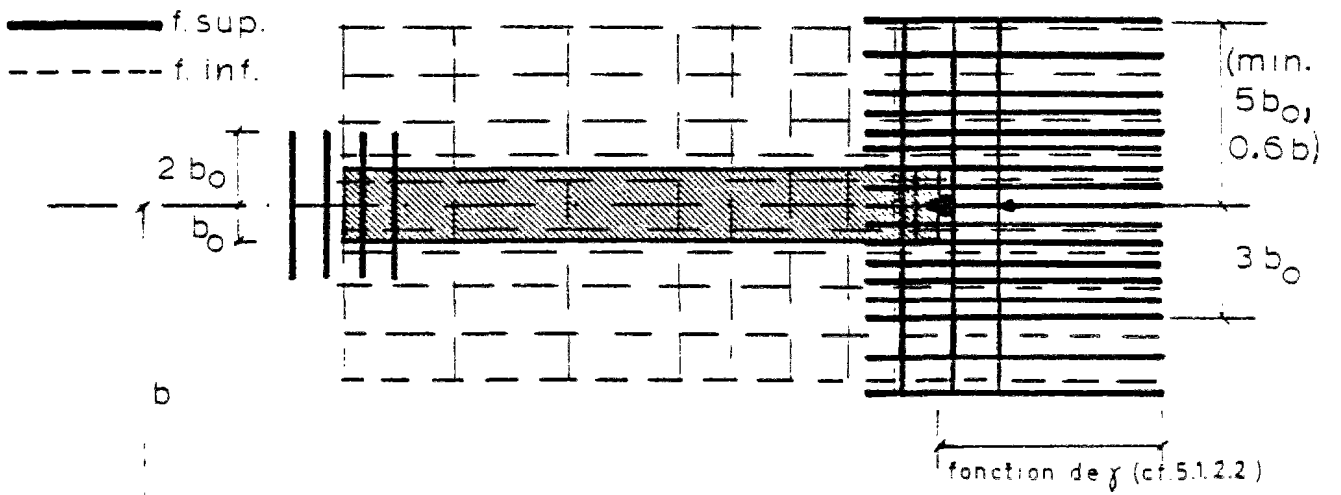


FIG. 6.2

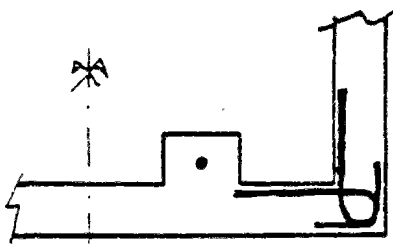
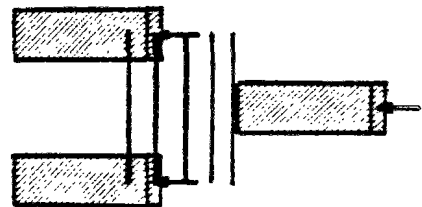
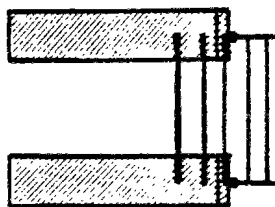


FIG. 6.3

FIG. 6.4



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Y. GUYON - "Constructions en béton précontraint".
Cours du CHEBAP, Tome 2, Eyrolles, Paris, 1968.
2. INSTRUCTION PROVISOIRE POUR LE CALCUL DES OUVRAGES
EN BETON PRECONTRAINTE. Circulaire n° 73-153 du
13 Août 1973. Fascicule n° 74-64 du Bulletin Officiel,
Paris.
3. W. SCHLEE - "Ein einfaches Verfahren zur Lösung von
Scheibenaufgaben" (Méthode simple pour
résoudre les problèmes relatifs aux plaques).
Beton und Stahlbetonbau. Heft 3,4 et 5. 1964.
4. W. SCHLEE - "Spanngliedverankerungen im Innern
hoher Träger" (Ancrage des câbles de précon-
trainte à l'intérieur des poutres hautes).
Beton und Stahlbetonbau. Heft 2. 1974
5. J. EIBL et G. IVANYI - "Innenverankerungen im
Spannbetonbau" (Les ancrages internes en
béton précontraint). Deutscher Ausschuss
für Stahlbeton, Heft 223, Berlin, 1973.
6. B.Y. OULITSKI, O.I. VALOUYVA et D.N. POLIADOV -
"Rastchyét Myéstnikh Napryagénii vo
Khonstraukhtsiyakh Mostov". (Calcul des efforts
locaux dans les ponts de béton précontraint).
Moscou, 1974.
7. LY KIM TY - "Effets des forces de précontrainte concen-
trées dans les poutres caissons". Thèse pour
l'obtention du titre de Docteur-Ingénieur,
présentée à l'Université de PARIS VI.
Décembre 1976.

8. J. BRUNEAU - "Etude de l'ancrage d'un câble de précontrainte par bossage".
La Technique Française du Béton
Précontraint. Association Française
du Béton. 8ème Congrès International
de la Précontrainte. FIP, Londres, 1978.
9. M. KAVYRCHINE, J. TRINH, R. LAPLACE
"Etude de l'ancrage des câbles de pré-
contrainte dans le hourdis". Compte
rendu du S E S des essais H0,
Saint Rémy lès Chevreuse (France). 1976.
10. S.P. TIMOSHENKO, J.N. GOODIER - "Theory of
elasticity" Mc. Graw et Hill. 1970.
11. S. TIMOSHENKO, S. WOINOWSKY-KRIEGER -
"Teoria de placas y laminas". Ediciones
Urmo. Bilbao. 1970.
12. G. PICKETT - "Application of the Fourier Method to the
Solution of certain boundary problems
in the theory of elasticity". Journal
of Applied Mechanics . Septembre 1944.
13. F.G. LEHMAN - "Simultaneous Equations Solved by Over
Relaxation". 2nd. Conference on
Electronic Computation. American Society
of Civil Engineers. September. 8, 9. 1960.
14. D. NGO et A.C. SCORDELIS - "Finite Element Analysis
of Reinforced Concrete Beams".
ACI Journal. Mars 1967.
15. O.C. ZIENKIEWICZ - "La méthode des éléments finis"
Ediscience. Paris 1973.
16. O.C. ZIENKIEWICZ, S. VALLIAPAN et I.P. KING -
"Stress Analysis of Rock as a
'No Tension' Material". Geotechnique
V 18. Mars 1968.

17. O.C. ZIENKIEWICZ, S. VALLIAPAN et I.P. KING -
 "Elasto-plastic Solutions of Engineering Problems - 'Initial Stress' - Finite Element Approach".
 International Journal for Numerical Methods in Engineering. Janvier 1969.
18. H. KUPFER, H.K. HILSDORF et H. RUSCH -
 "Behavior of Concrete under Biaxial Stresses". ACI Journal. Août 1969.
19. H. KUPFER - "Das Verhalten der Betons unter mehrachsiger Kurzzeit belastung unter besonderer Berücksichtigung der Zweiachsigen Beanspruchung"
 (Comportement du béton sous charge pluriaxiale de courte durée : en particulier sous charge biaxiale)
 Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 229, Berlin 1973.
20. L.J.M NELISSEN "Biaxial testing of normal concrete"
 Heron. V18.1972.nrl.
21. T.C.Y. LIU, A.H. NILSON et F.O. SLATE. =
 "Stress-strain Response and fracture of concrete in uniaxial and biaxial compression". ACI Journal. Mai 1972.
22. O. BUYUKOZTURK, A.H. NILSON et F.O. SLATE -
 "Stress-strain Response and Fracture of a Concrete Model in Biaxial Loading". ACI Journal. Août 1971.
23. N.J. CARINO et F.O. SLATE - "Limiting Tensile Strain Criterion for Failure of Concrete".
 ACI Journal. Mars 1976.

24. M.E. TASUJI, F.O. SLATE et A.H. NILSON -
"Stress Strain Response and Fracture
of Concrete in Biaxial Loading".
ACI Journal. Juillet 1978.
25. T.C.Y. LIU, A.H. NILSON et F.O. SLATE -
"Biaxial Stress Strain Relations for
the Concrete".
Journal of the Structural Division.
ASCE. Mai 1972.
26. L. CEDOLIN et S. Dei POLI - "Finite Element Non
Linear Analysis of Reinforced
Concrete Bidimensional Structures".
Technical Report nr.40. ISTC.
Politecnico di Milano. Dep of
Structural Engineering. 1974.
27. L.P. SAENZ - "Equation for the Stress Strain Curve
of Concrete". ACI Journal.
Septembre 1974.
28. S.G. LEKHNITSKII - "Theory of elasticity of an
anisotropic elastic body". Holden-Day
Inc. San Francisco 1963.
29. L. CEDOLIN et S. Dei POLI - "Finite Element Studies
of Shear Critical R/C Beams".
Journal of Engineering Mechanics
Division ASCE. Juin 1977.
30. E.L. WILSON - "Finite Element analysis of two
dimensional Structures". University
of California. 1963.
31. G.P. BAZELEY, Y.K. CHEUNG, B.M. IRONS et
O.C. ZIENKIEWICZ - "Triangular elements in plate
bending - conforming and non conform-
ing solutions". Matrix Methods in
Structural Mechanics. Proceedings of
the Conference held at Wright Patterson
Air Force base. Ohio. Octobre 1965.

32. Y.K. CHEUNG, I.P. KING, et O.C. ZIENKIEWICZ -
"Slab bridges with arbitrary
shape and support conditions :
a general method of analysis based
on finite elements". Proceedings
Institute of Civil Engineering.
V 40. pg. 9-36. 1968.
33. C. AVRAM - "Béton non armé et béton faiblement
armé". Rapport justificatif et
explicatif à l'ADDITIF aux "Recommen-
dations internationales pour le
calcul et l'exécution des ouvrages
en béton (1970)" du Comité Européen
du Béton. 1971.

NS 20038 (4)
E.2

THESE de DOCTEUR-INGENIEUR

présentée

à l'ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES

par

Francisco MILLANES MATO

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR-INGENIEUR

Sujet de la thèse : Ancrages par bossage dans les
hourdis de ponts.

II.- Annexes:Etude bibliographique et
listings des programmes

SOUTENUE LE 11 JUIN 1979 DEVANT LE JURY COMPOSE DE:

M. Jean SALENÇON	Président
MM. Robert CHAUSSIN	Examineurs
Michel FREMOND	
Michel KAVYRCHINE	
Jean LEMAITRE	
Jacques TRINH	

21

21 y



141 961021A
2.1

THESE de DOCTEUR-INGENIEUR

présentée

à l'ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES

par

Francisco MILLANES MATO

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR-INGENIEUR

Sujet de la thèse : Ancrages par bossage dans les
hourdis de ponts.

II.- Annexes: Etude bibliographique et
listings des programmes

SOUTENUE LE 11 JUIN 1979 DEVANT LE JURY COMPOSE DE:

M. Jean SALENÇON	Président
MM. Robert CHAUSSIN	Examineurs
Michel FREMOND	
Michel KAVYRCHINE	
Jean LEMAITRE	
Jacques TRINH	

TABLE DE MATIERES

	Pages
ANNEXE A.- Résumé des recherches faites jusqu'à présent, concernant le calcul des structures en béton ar- mé au moyen de la méthode des éléments finis	1
1.-Recherches concernant le comportement du béton sous charges biaxiales	1
1.1.-Aperçu des premières recherches	1
1.2.-Les plus récentes recherches	5
2.-Etudes concernant l'application de la méthode des éléments finis au calcul des structures en béton armé	13
2.1.-Etudes planes	13
2.2.-Etudes incorporant la flexion	28
3.-Références bibliographiques	32
ANNEXE B.- Programme 'CPC'	39
ANNEXE C.- Programme 'ELF'	88
ANNEXE D.- Programme 'FLF'	137

ANNEXE A

Résumé des recherches faites jusqu'à présent, concernant le calcul des structures en béton armé au moyen de la méthode des éléments finis.

1. - Recherches concernant le comportement du béton sous charges biaxiales.

Le choix du modèle le mieux approprié pour reproduire le comportement non-linéaire du béton soumis à des états biaxiaux de sollicitation, ainsi que les critères de rupture et de fissuration, est un point important du traitement de structures en béton armé par éléments finis.

Bien que le comportement du béton sous une sollicitation uniaxiale soit bien connu depuis longtemps, et que de nombreuses équations, basées sur des résultats expérimentaux, aient été proposées (POPOVICS (ref. 34) a fait un recueil, comportant 35 références bibliographiques), les recherches portant sur des sollicitations biaxiales, n'ont abouti à des résultats suffisamment complets que récemment.

1.1. - Aperçu des premières recherches. -

— En fonction de la façon dont elles ont essayé de reproduire un état biaxial de sollicitations sur l'éprouvette, nous pouvons les classer comme suit :

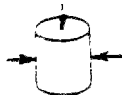
a) Essais sur des cylindres solides .-

Les éprouvettes étaient introduites dans un cylindre de compression. Elles étaient chargées radialement au moyen

d'une pression hydrostatique uniforme ($\sigma_1 = \sigma_2$).

Le dispositif permettait aussi la réalisation d'essais triaxiaux, moyennant une charge

axiale appliquée aux bouts de la pièce ($\sigma_1 = \sigma_2 \neq \sigma_3$), par l'intermédiaire de plateaux de compression. La possibilité



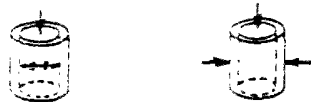
de pénétration du liquide en pression à travers les pores du béton obligeait à recouvrir l'éprouvette d'une membrane protectrice.

Il était aussi nécessaire d'assurer la déformation axiale du cylindre sans qu'elle^{ne} soit gênée, de façon à y reproduire un vrai état biaxial de sollicitations.

De tels essais ont été réalisés par RICHART et autres (réf. 35) et par BELLAMY (réf. 36), lesquels n'ont abouti qu'à constater une appréciable augmentation de la résistance du béton par rapport aux essais uniaxiaux.

b) Essais sur des cylindres creux soumis à une compression (ou traction) axiale, combinée avec une pression hydrostatique interne ou externe.-

De tels essais ont été réalisés par BELLAMY (ref. 36), dans le domaine C-C, et par Mc HENRY et KARNI (ref. 37), en C-T.

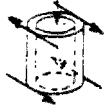


La première difficulté réside dans le fait que l'état de sollicitations sur la face du cylindre où la pression hydrostatique est appliquée, est triaxial ($\sigma_z, \sigma_\theta, \sigma_r$). Seulement

sur la face opposée, où σ_r s'annule, l'état de contrainte est biaxial. En outre, les contraintes σ_θ varient sur l'épaisseur du cylindre, au moins en phase élastique, si le diamètre n'est pas suffisamment grand par rapport à l'épaisseur. La plupart des auteurs ont cependant supposé une distribution uniforme des σ_θ .

Les courbes de rupture sont rapportées à la fig. 1. Nous y constatons que les résultats de MC.HENRY concordent assez bien avec ceux d'autres auteurs. Par contre, BELLAMY a obtenu des contraintes de rupture en bicompression trop élevées.

c) Essais sur des cylindres creux soumis à une compression (ou traction) axiale, combinée avec un moment de torsion.-



Cette méthode rend possible toutes les combinaisons de sollicitations dans la zone C-T. Il suffit de faire varier le rapport entre la sollicitation axiale et la torsion. Plusieurs auteurs

l'ont utilisée : BRESLER et PISTER (ref. 38 et 39), GOODE et HELMY (ref. 40) et JOHNSON et LOWE (ref. 41). On doit vérifier certaines conditions pour que les résultats soient fiables :

1. - l'épaisseur de la pièce doit être petit par rapport au diamètre, ce qui rend les contraintes σ_{θ} à peu près uniformes sur l'épaisseur du parois ;
2. - la longueur du cylindre doit être suffisamment grande, de façon à ce qu'au milieu de la pièce, les perturbations entraînées par les plateaux de chargement soient négligeables ;
3. - le mécanisme d'application de la charge doit permettre, d'une part les déformations longitudinales de la pièce sans les gêner et, d'autre part la connaissance des pertes du moment de torsion appliqué, dues aux frictions et aux glissements dans le mécanisme.

d) Essais sur des cubes et des plaques.-

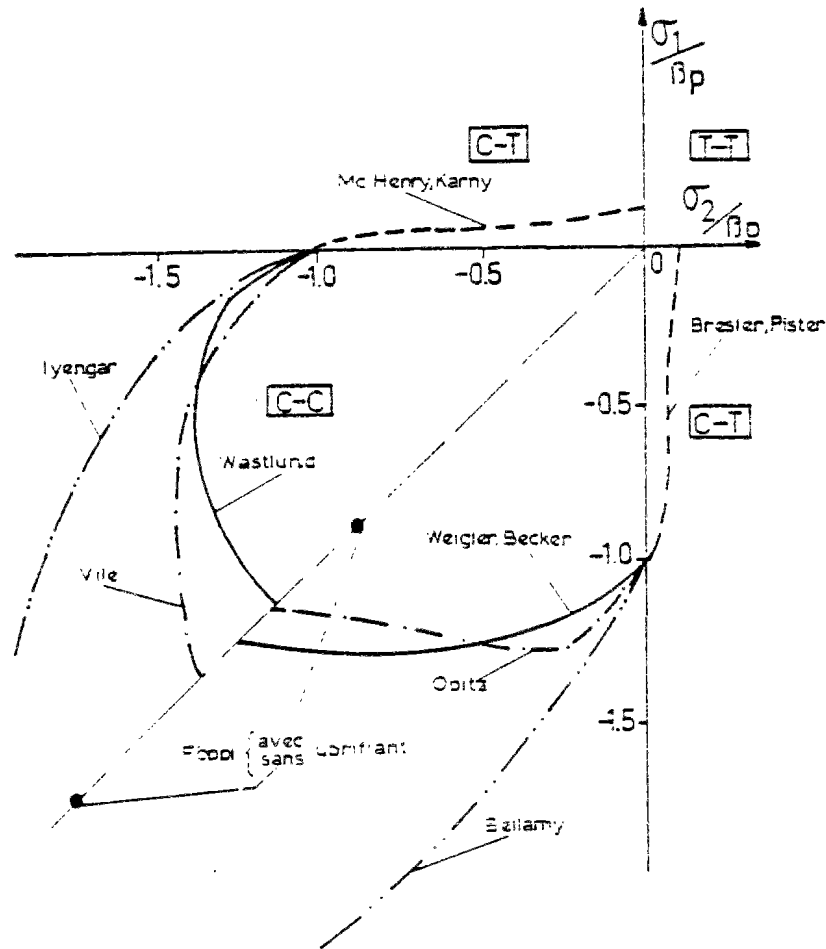
De nombreuses recherches sur ce type d'éprouvettes ont été réalisées : FÖPPL (ref. 42), WÄSTLUND (ref. 43), GLOMB (réf. 44), WEIGLER et BECKER (réf. 45), IYENGAR et autres (ref. 46), ROBINSON (réf. 47), VILE (réf. 48) SCHRÖDER et OPITZ (réf. 49), MILLS et ZIMMERMAN (ref. 50).

Le principal problème de ce type d'essais réside dans l'influence du mode d'introduction de la charge sur l'état de contraintes réel qui se crée dans l'éprouvette, qui peut être fort loin de celui qui était prévu. Par suite du frottement entre le béton et les plateaux de chargement, des contraintes de cisaillement apparaissent sur les bords de la plaque, qui sont gênées dans leurs déformations. Cet effet de confinement entraîne une apparente augmentation de la résistance de l'éprouvette. FÖPPL, WÄSTLUND et GLOMB ont essayé

d'éliminer cet effet par l'intermédiaire d'un lubrifiant, mais leurs résultats montrent une énorme influence du lubrifiant sur les résultats des essais, pouvant même agir dans le sens contraire (réduction apparente de la résistance). En outre, ces forces de frottement transmettent directement une partie des forces introduites en une direction, aux plateaux de chargement de l'autre direction. De ce fait, la charge effective dans l'éprouvette est toujours plus petite que celle appliquée.

— Toutes ces recherches ont apporté une série de résultats d'une énorme dispersion, dont une partie est donnée dans la fig.1. D'une part, les essais portaient sur des corps d'épreuve de différentes formes et grandeurs et, d'autre part le problème essentiel réside dans l'obtention d'un état de contraintes dans l'éprouvette qui soit uniforme, parfaitement défini, et non variable avec les déformations qui se produisent durant l'essai, ce qui n'était pas accompli dans la plupart des cas. La plupart des études ne fournissait aucune donnée concernant les lois de comportement $\sigma-\epsilon$ jusqu'à la rupture, ils se limitaient à étudier tout au plus les valeurs ultimes. Elles ont néanmoins confirmé une augmentation de la résistance dans le domaine C-C et une diminution en C-T, par rapport aux valeurs uniaxiales, l'évaluation de ces variations étant impossible du fait de la dispersion des résultats.

Une autre constatation intéressante est celle de la non-influence importante du mode de chargement sur les contraintes ultimes obtenues. Par contre, les déformations ultimes, et par conséquent les lois $\sigma-\epsilon$, se sont avérées très influençables.



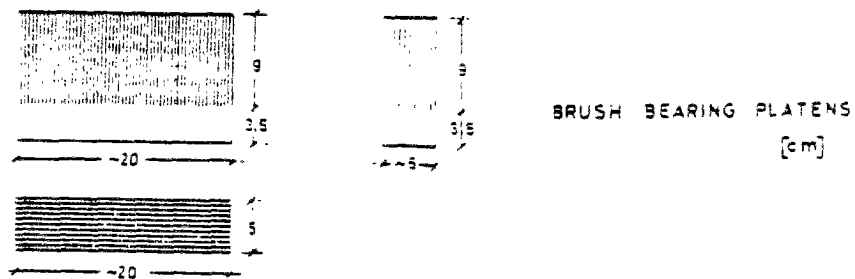
β_p : résistance du béton sur prisme.

FIG. 1

1.2. - Les plus récentes recherches.-

- En 1965, HILSDORF (ref.51) publiait une étude où, à partir d'une analyse critique des recherches antérieures, il conclut que la forme des éprouvettes la plus adéquate était celle des plaques carrées minces, soumises à des sollicitations dans leur plan. De façon à éviter les contraintes transversales entre les plateaux de chargement et les bords des éprouvettes, la charge devait être appliquée par l'intermédiaire des "plaques à brosse" (fig.2) qui consistent en un grand nombre de tiges d'acier individuelles et assemblées de façon à constituer un paquet. Elles doivent être suffisamment souples

pour pouvoir suivre, en tout point, les déformations de la surface de l'éprouvette sans y entraîner des contraintes transversales. En même temps, elles doivent avoir une résistance au flambement suffisante. Grâce à l'emploi des colles synthétiques, des efforts de traction peuvent aussi être appliqués.



Loading equipment for biaxial loading without restraint of the lateral deformations

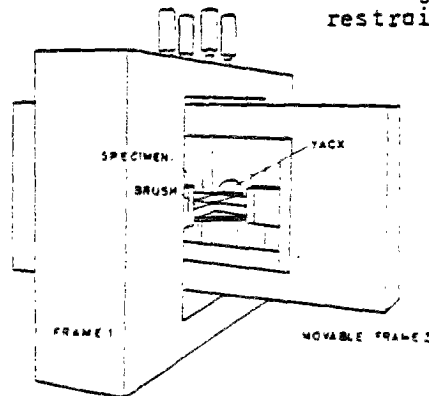


FIG.2

— De nombreux auteurs ont effectué des recherches en utilisant une telle méthode d'application de la charge :

- a) Les premiers travaux ont été publiés par KUPFER en 1969 (réf. 18 et 19), sur des éprouvettes de dimensions 20 cm x 20 cm x 5 cm. Ils portaient sur toutes les combinaisons biaxiales possibles, C-C, C-T, et T-T, et sur trois bétons de qualité différente ($\beta_p \approx 190, 315$ et 590 kg/cm²).
- b) STEGBAUER et LINSE (réf. 52) ont réalisé des essais sur des éprouvettes des mêmes dimensions que celles de KUPFER, mais avec différents matériaux : béton ($\beta_p \approx 200, 300$ et 600 kg/cm²), béton cellulaire ($\beta_p \approx 40$ kg/cm²), ciment ($\beta_p \approx 300$ kg/cm²) et plâtre ($\beta_p \approx 130$ kg/cm²).

c) NELISSEN (réf. 20), en travaillant sur des éprouvettes de $18 \times 18 \times 13$ cm, a essayé deux types de béton ($\beta_p \approx 250$ et 350 kg/cm²). Il a aussi étudié l'influence de divers facteurs (type de béton, vitesse et façon d'application de la charge, chemin de chargement suivi), sur les valeurs des contraintes et des déformations ultimes.

d) LIU, NILSON et SLATE (réf. 21) ont travaillé dans le domaine de compression uni et biaxiale sur deux types différents d'éprouvettes, de dimensions $12.7 \times 12.7 \times 1.27$ cm : en béton réel (β_p entre 210 et 350 kg/cm²), et sur un modèle idéal composé par un mortier, dans lequel on imbibait des

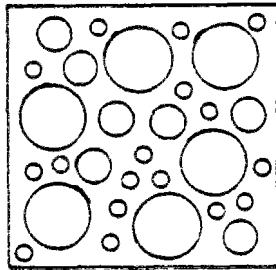


FIG. 3

disques d'agrégat de trois grandeurs différentes (fig.3). Des photographies par rayons-X ont permis de suivre la formation et la propagation des microfissures au fur et à mesure du chargement. Les auteurs ont constaté une étroite corrélation entre le comportement non linéaire du béton et le processus de microfissuration à l'intérieur du matériau.

e) BUYUKOZTURK et NILSON (réf. 22) ont effectué une recherche expérimentale similaire sur le modèle idéal de la

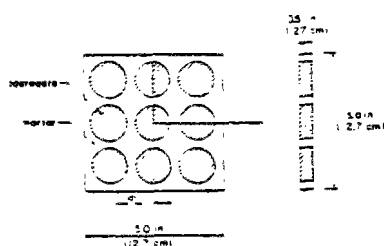


FIG. 4

bitraction par CARINO et SLATE (réf. 23).

f) TASUJI, NILSON et SLATE (réf. 24) ont publié très récemment le rapport d'une recherche, continuation de celle de d), qui, portant sur un béton de $\beta_p \approx 340$ kg/cm², comportait toutes les combinaisons possibles de sollicita-

tion de compression et de traction. Les auteurs ont constaté une étroite corrélation entre le comportement non linéaire du béton et le processus de microfissuration à l'intérieur du matériau.

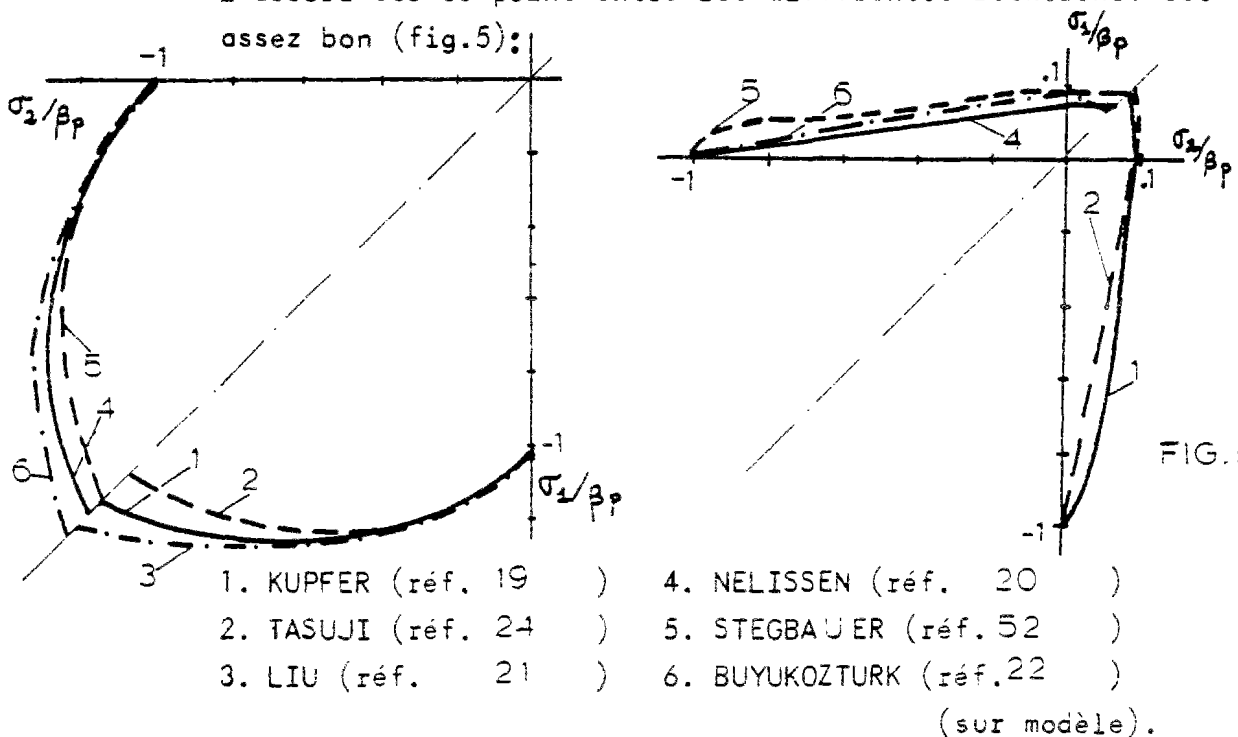
tions (C-C, C-T et T-T).

Excepté une série d'essais réalisée par NELISSEN, toutes ces recherches ont été effectuées avec une augmentation proportionnelle de la charge ($\sigma_x/\sigma_{xI} = \text{cte.}$ le long de l'essai.)

— Les résultats obtenus dans les recherches précédentes concordent, en général, assez bien. Ensuite, nous allons présenter ceux qui concernent le plus, l'étude des structures en béton par éléments finis.

A) Contraintes ultimes.

L'accord sur ce point entre les différentes recherches est assez bon (fig.5):



Les conclusions tirées par les différents auteurs peuvent se résumer tel que suit :

— La résistance du béton en bicompression est plus grande qu'en compression uniaxiale. Cette augmentation est sensiblement indépendante de la qualité du béton.

Dans les domaines C-T et T-T, ces différences s'accroissent, du fait que la résistance à la traction uniaxiale du béton

(rapportée à celle du prisme β_p), diminue quand la qualité du béton augmente.

Pour un béton donné, ^{dans} le domaine C-T la résistance diminue quand le rapport traction/compression augmente. De très faibles tractions suffisent pour entraîner de fortes réductions des compressions ultimes par rapport aux valeurs uniaxiales.

Dans le domaine T-T, la résistance ultime est très proche de celle uniaxiale. Ce résultat a été contredit par TASUJI, qui a obtenu une faible augmentation de la résistance en traction biaxiale, avec un maximum de 10 % environ pour un rapport de contraintes $\sigma_x / \sigma_{xx} = 2$. En tout cas, cette augmentation n'est pas importante.

— NELISSEN a trouvé que les différentes façons d'application de la charge n'ont pas une influence significative sur les contraintes ultimes.

— Les modules de déformation tangent (E_t) obtenus dans les essais de compression et de traction uniaxiaux ne diffèrent pas beaucoup. Par contre, ON a constaté une diminution du 10 % environ dans le module de Poisson en traction uniaxiale par rapport à celui en compression uniaxiale.

— Le tableau suivante résume quelques résultats obtenus par différents auteurs :

	KUPFER (réf. 19)	NELISSEN (réf. 20)	STEGBAUER (réf. 52)	LIU (réf. 21)	TASUJI (réf. 24)
$\sigma_{ult.}$ en compression biaxiale	$1.16 \beta_p$	$1.20 \beta_p$	$1.15 \beta_p$	$1.21 \beta_p$	$1.06 \beta_p$
$\sigma_{ult.}$ maximale en bicompression (pour $\sigma_x / \sigma_{xx} = 0.5$)	$1.27 \beta_p$	$1.30 \beta_p$	$1.25 \beta_p$	$1.25 \beta_p$	$1.22 \beta_p$
$\sigma_{ult.}$ en traction uniaxiale ($\beta_p \approx 300b$)	$0.09 \beta_p$	$0.055 \beta_p$	$0.09 \beta_p$		$0.09 \beta_p$
$\sigma_{ult.}$ en traction uniaxiale en fonction de β_p	$0.64 \sqrt[3]{\beta_p^2}$				$1.59 \sqrt{\beta_p}$

(β_p = résistance sur prisme du béton)

B) Déformations ultimes.-

Dans la fig. 6 nous présentons les déformations à la rupture ϵ_{1u} , ϵ_{2u} , ϵ_{3u} , obtenues par KUPFER, pour un béton de $\beta_p \approx 300$ bars, en fonction de $\gamma = \text{arc.tan } \sigma_2 / \sigma_{II}$. Nous y avons aussi rapporté les valeurs obtenues par les autres auteurs, avec des bétons de qualité similaire.

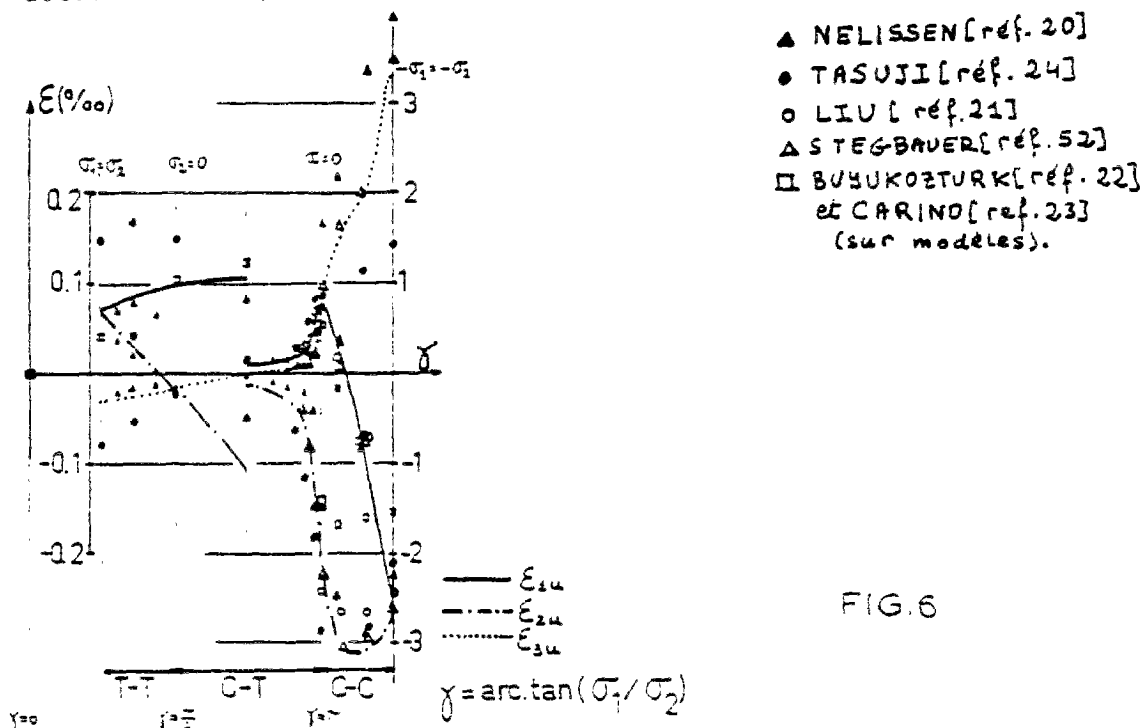


FIG. 6

— Ici, la divergence entre les résultats des différents essais est plus marquée que pour les contraintes ultimes. En effet, NELISSEN a constaté que les déformations à la rupture étaient très sensibles à différents facteurs (cf. figure 3.8 du chapitre 3) :

- La qualité du béton, les bétons de plus grande résistance étant moins déformables dans le domaine de la compression et plus en traction biaxiale ;
- La taille et la proportion des agrégats ;
- La vitesse d'application de la charge. Plus elle est grande, plus les déformations à la rupture diminuent ;
- La façon dont l'augmentation de la charge est faite au cours de l'essai.

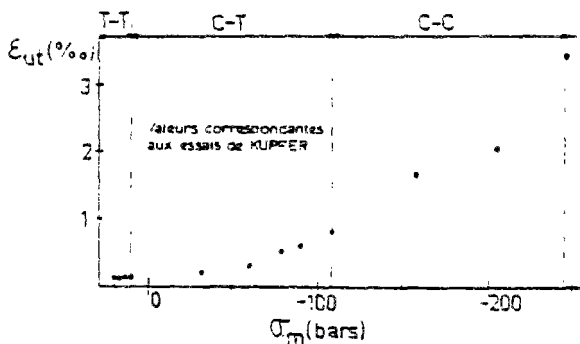
e) Le chemin de chargement suivi (proportionnel ou non, par exemple).

Ces variations dans les valeurs des déformations ultimes influencent, évidemment, les diagrammes $\sigma-\epsilon$ du béton jusqu'à la rupture.

— On peut, en tout cas, tirer quelques remarques :

a) A un stade quelconque du chargement, le béton en compression biaxiale présente une déformation dans le sens de la plus forte compression, nettement plus faible qu'en compression uniaxiale. L'effet de Poisson ne suffit pas à expliquer toute cette diminution. Des observations de microfissures (réf. 21) indiquent que cela est dû au confinement du potentiel de microfissuration, par suite de la présence d'une autre compression dans la direction transversale.

b) La valeur de la plus grande déformation de traction à la rupture n'est pas constante, mais augmente en fonction du degré de compression (fig 7). Cela semble montrer que le béton résiste mieux aux déformations de traction indirectes (dues à l'effet de Poisson) qu'à celles qui sont directes (dues à l'application des contraintes de traction).



$\sigma_m: (\sigma_{1,u} + \sigma_{2,u})/3$, à la rupture.

ϵ_{ut} : déformation maximale de traction à la rupture.

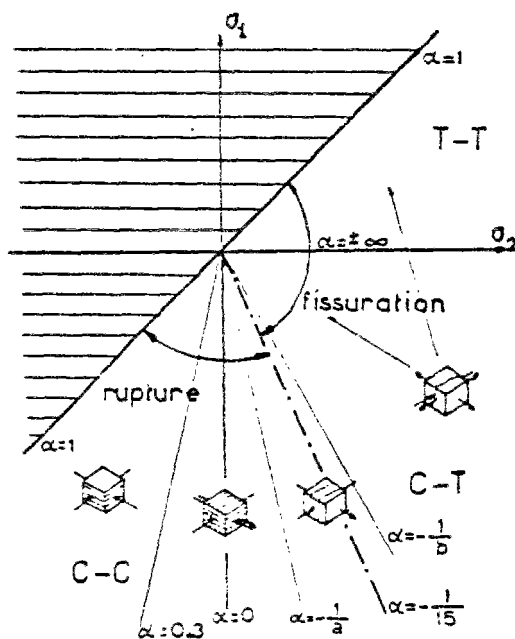
FIG. 7 c) Formes de rupture .-

— La plupart des essais concordent sur ce point, y compris ceux qui ont été réalisés sur des éprouvettes cylindriques cubiques, etc...

La forme de rupture n'est fonction ni de la façon d'application de la charge ni de la qualité du béton, pouvant être considérée comme fonction du rapport de contraintes uniquement. Dans tous les essais uni et biaxiaux, la rupture est obtenue par fissuration, suivant des plans normaux à la direction de

la plus grande déformation de traction. Ce qui a conduit plusieurs auteurs (ref. 23 et 24) à proposer, pour toutes les combinaisons biaxiales de contraintes, un critère de rupture de béton par décohéation, quand la valeur de la plus grande déformation de traction dépasse une valeur limite, qui ne serait pas constante, mais fonction du rapport de contraintes.

— Sous une sollicitation de traction uniaxiale ou biaxiale, il se produit une rupture brusque accompagnée de l'apparition d'une seule fissure suivant le plan normal à la direction de la plus grande contrainte de traction. En traction biaxiale, aucune direction n'est préférentielle, la fissure étant toujours normale à la surface non chargée. En bicompression, on détecte une fissuration suivant des plans à peu près parallèles à la surface libre de l'éprouvette. Quand une des compressions est nettement plus grande que l'autre, de nouvelles fissures suivant de plans normaux à la plus petite compression apparaissent, ^{en} découpant de petites colonnes parallèles à la compression la plus forte. En compression-traction, la rupture est celle de bitraction sauf pour de faibles valeurs des tractions par rapports aux compressions, pour lesquelles de diverses fissures parallèles sont observées à la rupture.



Dans la fig.8, nous montrons un schéma des différentes formes de rupture, avec les valeurs proposées par les différents auteurs, pour délimiter les zones où les ruptures sont les celles des tractions ou des compressions, ainsi que celle de transition entre les deux.

FIG.8

$$\alpha = \frac{1}{\beta} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\min}}$$

	a	b
ISEMBERG (Réf.41)	25	11
Mc.HENRY (Réf.37)	31	13
KUPFER (Réf.19)	15	15
STEGBAUER (Réf.52)	13	13
NELISSEN (Réf.20)	100	25 à 30
TASUJI (Réf.24)	20	20

2.- Etudes concernant l'application de la méthode des éléments finis au calcul des structures en béton armé

— La première application de la méthode des éléments finis au calcul des structures en béton armé, date de 1967 (Réf.14). Depuis, de nombreuses publications sont apparues. La récapitulation qui va suivre est destinée à donner un tour d'horizon des recherches faites jusqu'à présent dans ce domaine.

2.1.- Etudes planes

— Le développement d'un modèle analytique pour les structures en béton armé, en utilisant la méthode des éléments finis, comporte l'adoption de certaines hypothèses simplificatrices concernant la modélisation de trois phénomènes :

- a) la fissuration du béton;
- b) les lois de comportement et les critères de rupture du béton soumis à des sollicitations biaxiales;
- c) la liaison entre le béton et les armatures.

Dans ce qui suit, nous allons grouper les travaux des différents auteurs en fonction du traitement qu'ils ont donné à ces trois problèmes.

I - Fissuration du béton

Les premières recherches ont abordé le problème d'une façon assez sommaire. NGO et SCORDELIS (Réf. 14), ont étudié la

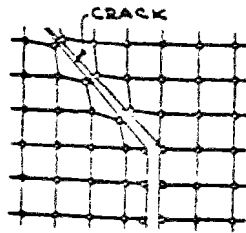
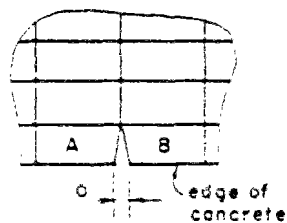


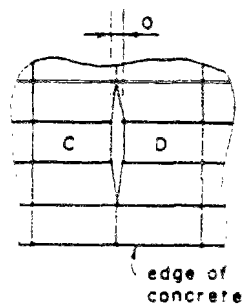
Fig.9

flexion de poutres appuyées en béton armé, dans lesquelles les fissures étaient préalablement définies en position et longueur. Les fissures étaient obtenues par séparation des éléments de béton aux deux côtés de la fissure. Ce qui se faisait en assignant un point nodal différent à chaque côté. Physiquement, les deux points nodaux sont placés, au début du chargement, au même point de l'espace.

NILSON (Réf. 53), a appliqué incrémentiellement la charge



(a) Exterior Crack



(b) Interior Crack

Fig.10

sur la structure jusqu'à ce que les tractions principales dépassaient la résistance à la traction du béton à un ou plusieurs endroits. Si la moyenne des tractions en deux éléments adjacents dépassait cette valeur, une fissure était supposée apparaître entre eux, le long de leur bord commun. Cela était fait en supprimant la liaison entre ces deux éléments sur leurs noeuds communs (fig.10), ce qui exigeait une nouvelle définition de la maille. Puis le chargement était arrêté et réappliqué dès le début sur la structure que l'on venait de redéfinir.

LOOV (Réf.55), a proposé une méthode assez sophistiquée pour essayer de mieux suivre l'apparition et la propagation des fissures dans le béton, indépendamment de la forme et la grandeur des éléments. Une fois que les tractions dans un élément dépassaient la résistance du béton, il estimait approximativement le point à l'intérieur de l'élément où la fissure apparaissait, ainsi que sa direction. L'élément devenait alors décomposé en trois triangles et quatre nouveaux points nodaux devaient y être ajoutés (fig.11-a). Puis, il considérait que ce sont les efforts au voisinage du bout de la fissure qui gouvernent la propagation de celle-ci, et décomposait, temporairement, l'élément adjacent en plusieurs sous-éléments, dont un de très petites dimensions ('sensor' élément de la fig.11-b) qui devrait déterminer la direction de la propagation de la fissure sur ce nouvel élément. Les fissures étaient donc représentées par une série de lignes droites qui se terminaient sur les bords des éléments.

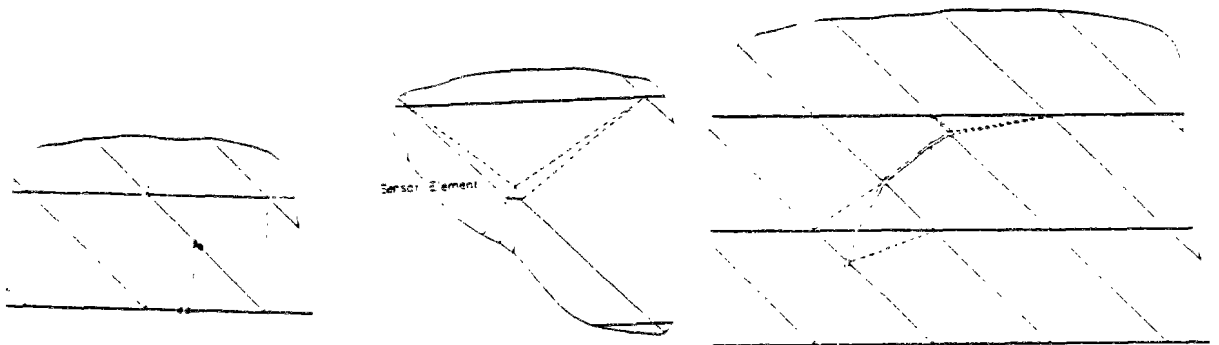


Fig. 11-a

Permanent subdivision of a cracked element

Fig.11-b

Temporary subdivision of an element at the end of a crack.

Fig.11-c

A crack extending through several elements.

De telles méthodes entraînent une augmentation considérable du temps de calcul, sans pour autant assurer une reproduction exacte du processus de fissuration qui, ayant une composante aléatoire importante du fait du caractère complexe des propriétés du béton, ne justifie pas une approche si précise.

— La plupart des auteurs ont par conséquent utilisé une autre représentation du mécanisme de la fissuration. Celle-ci consiste à reproduire à l'intérieur des éléments fissurés, le mécanisme qui résiste aux nouvelles augmentations de la charge. A partir du moment où les contraintes de traction dans un élément quelconque dépassent la résistance du béton, cet élément devient fissuré en direction normale à la plus grande contrainte (ou déformation) de traction et ne supporte aucune nouvelle augmentation des contraintes en direction normale aux fissures. Évidemment, une telle méthode ne reproduit que le "comportement moyen" de la zone fissurée et exige une petite taille des éléments de cette zone.

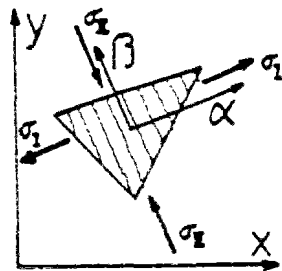


Fig.12

La matrice de raideur tangente d'un élément fissuré, rapportée aux axes α et β est de la forme

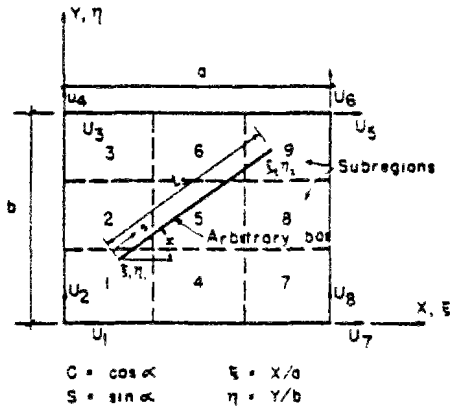
$$\begin{Bmatrix} d\sigma_I \\ d\sigma_{II} \\ d\gamma \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & E'_t & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d\varepsilon_I \\ d\varepsilon_{II} \\ d\gamma \end{Bmatrix}$$

E'_t étant le module d'élasticité tangent du béton sous une sollicitation uniaxiale.

La plupart des études supposent que tout l'élément devient fissuré, une fois que les contraintes de traction deviennent inadmissibles. Nous voulons cependant noter l'existence d'une publication de COLVILLE et ABBASI (Réf. 56), où ils

travaillent avec des éléments rectangulaires à champ de déformation variable, lesquels peuvent être fissurés sur une partie seulement de leur surface (fig.13).

—SCHNOBRICH et autres (Réf. 57) ont, pour la première fois,



montré le besoin d'introduire, dans le modèle du béton fissuré, une certaine rigidité vis-à-vis des déformations tangentés.

Autrement, les auteurs ont constaté une déviation dans les directions des fissures théoriques par rapport à celles des essais. Cette transmission des efforts tangents à travers les fissures

permet donc de tenir compte, quoique de façon approchée, des phénomènes d'engrènement du béton des deux côtés de la fissure, et de l'effet-goujon dans les aciers.

Cela a été introduit moyennant le coefficient 'A' de la matrice du béton fissuré : $d\zeta = A d\gamma$. La valeur de 'A' peut être exprimée en fonction du coefficient G de raideur transversale du béton non fissuré : $A = \beta G$, où β prend une valeur entre 0 et 1. La valeur de β est fonction de l'ampleur des fissures et, certainement, du type de fissuration de chaque cas particulier. Les différents auteurs ont proposé des valeurs qui leur ont permis de mieux approcher les résultats expérimentaux qu'ils ont étudiés. En voici quelques-uns :

SCANLON et MURRAY (Réf. 58) : $\beta = 1.$;

YUZUGULLU et SCHNOBRICH (Réf. 59) $\beta = 0,125$ à $0,250$;

SUIDAN et SCHNOBRICH (Réf.60) : $\beta = 0,5$;

CEDOLIN et POLI (Réf.29), ont proposé une valeur de β qui varie entre 0,24 et 0., en diminuant quand l'ampleur des fissures ^{augmente.}

Dans les cas étudiés par HAND et autres (Réf. 61), et par LIN et SCORDELIS (Réf. 62) le modèle s'est avéré presque insensible à la valeur de β , pourvu qu'elle soit supérieure à 0.2.

— ISEMBERG et ADHAM (Réf. 63), SCANLON et MURRAY (Réf. 58), SUIDAN et SCHNOBRICH (Réf. 60) et LIN et SCORDELIS (Réf. 62), ont proposé des modèles où l'on tient compte de la participation du béton tendu entre fissures, afin de représenter convenablement la déformabilité de l'élément en phase fissurée.

Excepté SCALON, qui approchait la dégradation progressive de la rigidité de l'élément, en réduisant le module d'élasticité sécante en fonction du niveau de déformation atteint dans la direction normale aux fissures (fig.14-a), les autres auteurs ne sont pas intervenus sur la matrice de raideur, qui avait toujours une rigidité nulle dans cette direction, mais sur la loi σ - ϵ du béton en traction, qui intervient, au moment de l'obtention des contraintes non équilibrées (fig.14-b).

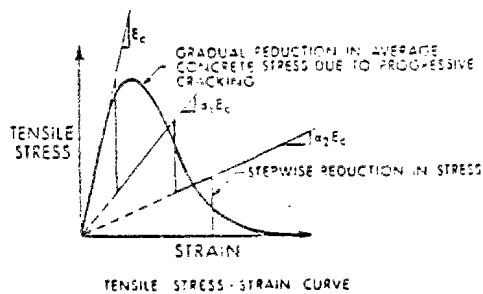


fig. 14-a

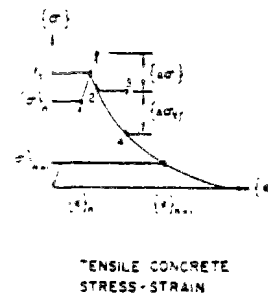


Fig. 14-b

II - Liaison entre le béton et les armatures

La prise en compte des armatures a été envisagée de deux façons différentes :

- a) Les aciers étaient considérés comme des éléments linéaires, travaillant seulement dans le sens de leur longueur, c'est à dire, sans aucune rigidité transversale.
- b) Les armatures étaient supposées constituer un milieu continu. A la place des aciers individuels, on supposait une distribution continue des aciers à l'intérieur de chaque

élément de béton. La raideur de l'élément était obtenue par superposition de celles des deux matériaux constitutants, béton et acier : $[D]_{\text{élément}} = [D]_{\text{béton}} + \sum_1^n [D^i]_{\text{aciers}}$ $[D]$ étant la matrice qui relie les sollicitations et les déformations de l'élément : $\{S\} = [D] \{\varepsilon\}$; n est le nombre de directions de renforcement (non nécessairement orthogonales). La contribution des aciers se fait seulement dans les directions des armatures, aucune collaboration transversale n'étant considérée.

— Au cas b), la compatibilité entre les déformations de l'acier et celles du béton est toujours parfaite. Par contre, le modèle a) permet de reproduire, bien que de façon approchée, le phénomène d'adhérence entre le béton et l'acier, par lequel se fait la transmission des efforts entre les deux matériaux. L'adhérence parfaite n'existe que pour de bas niveaux de transmission d'efforts. Au delà, il se produit un glissement relatif entre le béton et l'acier, qui est de moins en moins gêné par le frottement mécanique entre les deux matériaux. Cela est particulièrement important au voisinage des fissures et y entraîne d'appréciables modifications dans les distributions des efforts. De nombreux facteurs y interviennent, tels que le niveau des contraintes transmises, le diamètre et le type des armatures, la qualité du béton, la longueur d'imbibition à partir de la surface de rupture, les contraintes dans l'acier, etc...

Certains auteurs ont essayé d'introduire ce phénomène dans leurs modèles, en supposant, de façon approchée, que le glissement relatif entre l'acier et le béton était seulement fonction du niveau des contraintes transmises : NGO et SCORDELIS (Réf. 14), NILSON (Réf. 53), MUFTI et autres (Réf. 64), CEDOLIN et POLI (Réf. 26 et 29).

Cela se faisait au moyen des éléments-ressort, qui reliaient les noeuds du béton et de l'acier. Ces éléments n'ont pas de dimensions physiques, seules leurs propriétés mécaniques

sont importantes. Les constantes mécaniques K_n et K_v relient les déplacements relatifs (glissements) de l'acier (noeud 'j') et du béton (noeud 'i'), aux efforts transmis (fig.15-b).

NGO a considéré que les coefficients des ressorts étaient constants. NILSON, par contre, a supposé une perte progressive de l'adhérence, en adoptant le diagramme glissements-efforts d'adhérence empirique (Réf. 54) que nous présentons dans la fig. 15-c.

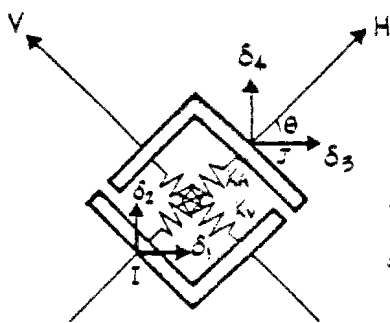


Fig. 15-a

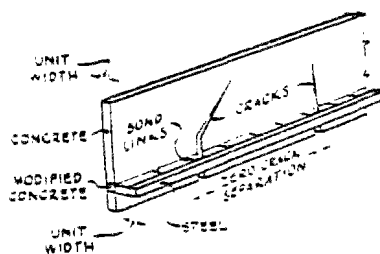


Fig. 15-b

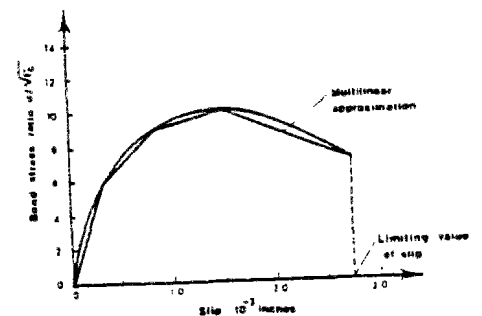


Fig. 15-c

III - Les modèles de comportement non linéaire du béton sous charge biaxiale

— Quelques auteurs, NGO (Réf. 14) et COLVILLE (Réf. 56), se sont limités à la considération de la fissuration comme la seule cause de non linéarité. Le béton était, par conséquent, supposé avoir un comportement linéaire et élastique en compression.

Parmi ceux qui ont étudié l'influence du comportement non linéaire du béton en compression, nous pouvons citer deux groupes :

A) Ceux qui ont supposé un comportement élastoplastique et isotrope pour le béton, (réf.59,60,61,62,65,66,69), ce qui leur a permis d'appliquer la formulation mathématique de la plasticité, bien établie déjà pour le calcul des structures métalliques. Le béton y est supposé vérifier le critère de plasticité de Von Mises, ainsi que le principe de la normalité.



B) Ceux qui ont supposé un comportement non linéaire du béton jusqu'à la rupture. Dans la plupart des cas, ils se sont basés sur les résultats expérimentaux de KUPFER, de LIU, et de TASUJI, déjà commentés au paragraphe 1.2 de cette annexe.

Ceux-ci peuvent à leur tour, se diviser en deux groupes :

1.- Ceux qui ont adopté un modèle de comportement du béton isotrope :

— ROMSTAD, TAYLOR et HERRMANN (Réf. 68) ont développé un modèle multilinéaire pour le comportement biaxial du béton. Ils partaient des recherches sur le comportement du béton en compression uniaxiale, où ils distinguaient quatre zones :

- a) une région initiale à comportement élastique et linéaire, jusqu'à 30 % environ de la charge ultime;
- b) une région présentant une certaine non linéarité (amorce des fissures sur les bords des plus grands agrégats), jusqu'à 85 % environ de la rupture;
- c) une zone, assez courte, à comportement fortement non linéaire (début du développement des fissures à travers le mortier), jusqu'à la charge ultime (100%);
- d) une branche descendante, jusqu'à 90 % de la charge ultime.

Les auteurs ont constaté que les changements volumétriques brusques qui délimitent ces 4 zones, se produisaient dans les essais en bicompression, aux mêmes pourcentages environ de la résistance ultime correspondante, que pour les essais en compression uniaxiale. Ce qui leur permettait de délimiter les quatre zones sur tout le domaine C-C. En T-T le comportement a été supposé linéaire et élastique (première zone) . En C-T, une transition a été adoptée qui éliminait progressivement les zones 4,3 et 2 (voir fig.16-a).

A l'intérieur de chaque zone, le béton est supposé avoir un comportement linéaire et isotrope défini par les modules E et ν , dont les valeurs pour chacune des zones étaient

déterminées directement à partir des essais de compression uniaxiale, et estimées tel que suit :

Zone	E	ν
1	E_0	0.20
2	$0,7 E_0$	0.20
3	$0,15 E_0$	0.30
4	$- 0,075 E_0$	0.50

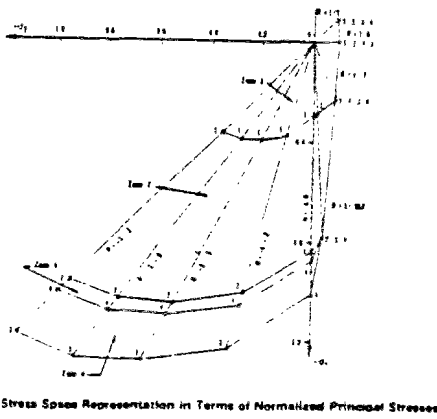


Fig.16-a

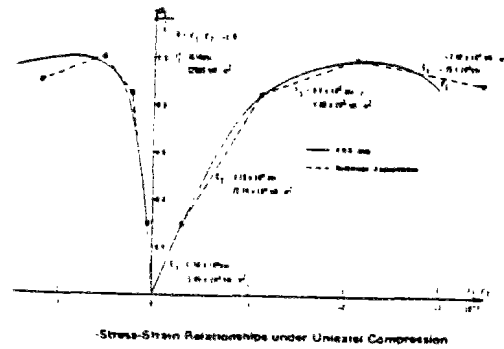


Fig.16-b

— KUPFER et GERSTLE (Réf. 59), ont travaillé en décomposant l'état de déformations dans ses composantes hydrostatique et déviatorique $\epsilon_{ij} = \delta_{ij} \sigma_m / 3K + s_{ij} / 2G$, K étant le module de compression et G le module de déformation transversale, qui en élasticité linéaire sont reliés aux modules E et ν par les expressions :

$$K = E / [3(1 - 2\nu)] \quad \text{et} \quad G = E / [2(1 + \nu)].$$

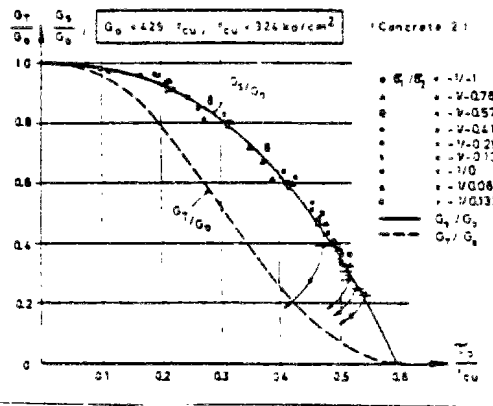
Si l'on travaille dans le plan octaédrique, les rapports entre les contraintes et les déformations sont : $K = \frac{\sigma_0}{3\epsilon_0}$ et $G = \frac{\tau_0}{2\gamma_0}$.

A partir des résultats des essais (fig.17), les auteurs ont proposé des formulations analytiques qui rapportent les modules tangents G_T et K_T (ou sécants G_S et K_S), respecti-

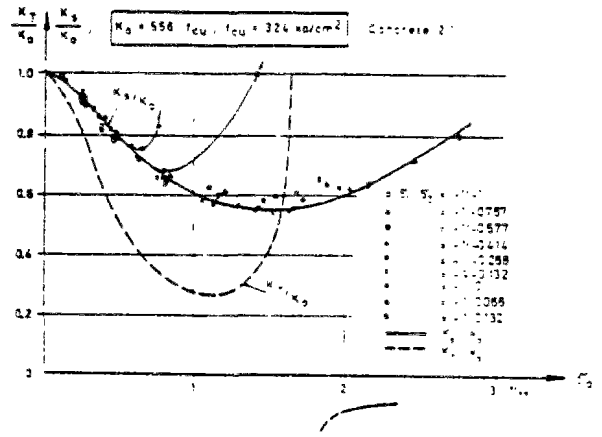
vement à la contrainte octaédrique de cisaillement τ_o , et à la déformation γ_o , qui existent à chaque instant du chargement:

$$G_T = G_o \frac{[1 - a(\frac{\tau_o}{f_{cu}})^m]^2}{1 + (m-1)a(\frac{\tau_o}{f_{cu}})^m} \quad \text{et} \quad K_T = K_o \frac{G_T / G_o}{e^{-(c\gamma_o)^p} [1 - p(c\gamma_o)^p]}$$

où les coefficients a, m, p et c sont fonction de la qualité du béton.



-Shear Modulus G —Octahedral Shear Stress τ_o Relation



-Bulk Modulus K —Octahedral Shear Strain γ_o Relation

Fig.17-a

Fig.17-b

Les coefficients G_T et K_T , dont la valeur à chaque stade du chargement est ainsi estimée, sont ensuite introduits dans la matrice qui relie les augmentations des contraintes et des déformations d'un matériau isotrope :

$$\begin{Bmatrix} d\sigma_x \\ d\sigma_y \\ d\tau_{xy} \end{Bmatrix} = 4 G_T \begin{bmatrix} 1 & \frac{3K_T - 2G_T}{2(3K_T + G_T)} & 0 \\ \frac{3K_T - 2G_T}{2(3K_T + G_T)} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{3K_T + 4G_T}{4(3K_T + G_T)} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d\epsilon_x \\ d\epsilon_y \\ d\gamma_{xy} \end{Bmatrix}$$

Cette matrice peut être directement utilisée dans la formulation des éléments finis.

2.- Ceux qui ont adopté pour le béton un modèle incrémental, où le béton était supposé avoir un comportement orthotrope vis-à-vis des successives augmentations de la charge, où les directions principales des contraintes sont les axes d'orthotropie.:

La matrice $[D]_T$ qui relie les augmentations des contraintes et des déformations a , par conséquent, la forme (rapportée aux directions principales) :

$$\begin{Bmatrix} d\sigma_I \\ d\sigma_{II} \\ d\tau \end{Bmatrix} = \frac{E_1}{1-\nu_{12}\nu_{21}} \begin{bmatrix} 1 & \nu_{21} & 0 \\ \nu_{21} & \nu_{21}/\nu_{12} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu_{12}\nu_{21}}{1+2\nu_{12}+\frac{\nu_{12}^2}{\nu_{21}}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d\varepsilon_I \\ d\varepsilon_{II} \\ d\gamma \end{Bmatrix}$$

avec $E_1 \nu_{21} = E_2 \nu_{12}$, et I et II les directions principales, variables avec l'état de sollicitation de l'élément.

C'est dans l'obtention des coefficients tangents E_i et ν_{ij} , que réside la difficulté d'un tel modèle. Différentes solutions ont été proposées :

— LIU et autres (Réf. 21 et 25), en se limitant au domaine de bicompression, ont constaté que l'augmentation réelle de la raideur du béton en une direction, en présence d'une autre compression en direction normale à celle-ci, ne peut pas être uniquement expliquée par l'effet de Poisson, mais que la réduction du potentiel de microfissuration, qui se produit sous des sollicitations biaxiales, y a une influence importante.

Ils ont proposé une formulation analytique des lois $\sigma-\varepsilon$, analogue à celle de SPENZ pour le cas uniaxial (Réf. 27), qui par dérivation, donne :

$$E'_i = \frac{E_0 \left[1 - \left(\frac{\epsilon_i}{\epsilon_{iu}} \right)^2 \right]}{(1-\nu\alpha) \left[1 + \left(\frac{1}{1+\nu\alpha} \frac{E_0 \epsilon_{iu}}{\sigma_{iu}} - 2 \right) \left(\frac{\epsilon_i}{\epsilon_{iu}} \right) + \left(\frac{\epsilon_i}{\epsilon_{iu}} \right)^2 \right]^2}$$

$$\alpha = \frac{\sigma_{II}}{\sigma_{III}} = \text{rapport des contraintes principales.}$$

Une telle expression permet donc de tenir compte des deux effets déjà mentionnés, puisque le coefficient $\nu\alpha$ intervient non seulement dans l'effet de Poisson, mais aussi dans l'évaluation même de la raideur tangente E_{bi} .

Les auteurs ont montré que l'accord entre une telle loi et les lois obtenues dans les essais est suffisamment acceptable.

Quant aux ν_{ij} , l'égalité $E_1 \nu_{21} = E_2 \nu_{12}$, leur permet de tout mettre en fonction d'un seul ν_{12} , qu'ils ont pris égal à 0.2. Etant donné que E_1 et E_2 , obtenus d'après l'expression précédente, sont variables et que ν_{21} est pris implicitement égal à $0.2 E_2 / E_1$ dans l'expression de $[D]_T$,

ν_{21} est donc variable et le modèle introduit un comportement différent et arbitraire entre les deux directions principales, ce qui peut entraîner des problèmes de convergence.

— CEDOLIN et POLI (Réf. 26 et 29), ont élargi le modèle proposé par LIU aux domaines de C-T et T-T. En bitraction, le béton est supposé élastique, linéaire et isotrope, de même qu'en compression-traction, quand le rapport traction/compression est supérieur à 0.5.

Dans le reste de la zone C-T, ils ont adopté une loi $\sigma - \epsilon$, semblable à celle de LIU, mais où la condition de pente nulle à la rupture, valable en C-C, n'était plus imposée.

La loi proposée est :

$$\sigma_i = \frac{E_0 \epsilon_i}{(1-\nu\alpha) \left[1 + \left(\frac{1}{1+\nu\alpha} \frac{E_0 \epsilon_{iu}}{\sigma_{iu}} - 1 \right) \left(\frac{\epsilon_i}{\epsilon_{iu}} \right) \right]}, \text{ ce qui donne}$$

une expression pour le module tangent :

$$E'_{t_i} = \frac{d\sigma_i}{d\varepsilon_i} = \frac{E b_i}{(1-\nu\alpha)} \quad ; \quad E b_i = \frac{E_0}{\left[1 + \left(\frac{1}{1-\nu\alpha} \frac{E_0 \varepsilon_{iu}}{\sigma_{iu}} - 1\right) \left(\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{iu}}\right)\right]^2}$$

— DARWIN et PECKNOLD (Réf. 70 et 71), ont proposé un modèle absolument symétrique par rapport aux deux directions principales :

$$\begin{Bmatrix} d\sigma_I \\ d\sigma_{II} \\ d\tau \end{Bmatrix} = \frac{1}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} E_1 & \nu\sqrt{E_1 E_2} & 0 \\ \nu\sqrt{E_1 E_2} & E_2 & 0 \\ 0 & 0 & (E_1 + E_2 - 2\nu\sqrt{E_1 E_2})/4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d\varepsilon_I \\ d\varepsilon_{II} \\ d\gamma \end{Bmatrix}$$

où $\nu = \sqrt{\nu_{12} \nu_{21}}$ est un "module de Poisson équivalent", variable avec l'état de sollicitations du matériau.

Dans un état biaxial de sollicitations, la déformation en une direction n'est pas seulement fonction de la contrainte dans cette direction, mais aussi de celle sur l'autre, du fait de l'effet de Poisson. Les auteurs essayent de séparer les deux effets moyennant le concept de "déformation uniaxiale équivalente", $\varepsilon_{i_{eq}}$, qui est la déformation qui existerait dans une direction si une contrainte zéro agissait en direction orthogonale.

Pour un matériau non linéaire, les "déformations uniaxiales équivalentes" valent :

$$\varepsilon_{i_{eq}} = \sum_{\text{tous les incréments de la charge}} \frac{\Delta\sigma_i}{E_i} ,$$

et sont associées aux directions principales équivalentes.

La rotation des directions principales, dans le cas de chargement non proportionnel, est prise en compte dans le modèle, en calculant les $\Delta\varepsilon_{i_{eq}}$ de la forme ;

$$\Delta \epsilon_{ieq} = \frac{(\sigma_{i, \text{nouvelle}} - \sigma_{i, \text{ancienne}})}{\epsilon_i}, \text{ où } \sigma_{i, \text{ancienne}} \text{ et } \epsilon_i$$

correspondent aux directions principales avant l'application de la charge, et $\sigma_{i, \text{nouvelle}}$ à celles d'après.

Pour déterminer les modules tangents E_1 et E_2 , ils considèrent une famille de diagrammes $\sigma - \epsilon$ "uniaxiaux", pour chaque direction principale, qui ont les ϵ_{ieq} en abscisses, et dont l'expression est analogue à celle de SAENZ (Réf. 27)

pour la compression uniaxiale :
$$\sigma_i = \frac{E_0 \epsilon_{ieq}}{[1 + ((E_0 \epsilon_{iu}) / \sigma_{iu} - 2) (\epsilon_{ieq} / \epsilon_{iu}) + (\frac{\epsilon_{ieq}}{\epsilon_{iu}})^2]}$$
, où σ_{iu} et ϵ_{iu} sont obtenues d'après des expressions analytiques qui approchent les résultats expérimentaux de KUPFER. Elles sont fonction du rapport α des contraintes principales à chaque moment, et par conséquent les lois $\sigma_i - \epsilon_{ieq}$ le sont aussi.

Une fois que la charge est appliquée, on obtient la $\Delta \epsilon_{ieq}$ dans les deux directions principales (en tenant compte de la rotation de celles-là), et le rapport α , qui nous permet d'entrer dans la courbe $\sigma_i - \epsilon_{ieq}$ correspondante, et de calculer les nouveaux E_1 et E_2 .

Dans la réf. 70, les auteurs ont présenté l'élargissement du modèle pour permettre la considération des charges cycliques (chargements et déchargements).

— LINK (réf. 72 et 73), est parti des courbes expérimentales fournies par KUPFER, où l'on montrait les valeurs des E_i^s et ν_{ij}^s sécants obtenues dans les essais.

Il en a tiré les courbes rapportées aux valeurs tangentes, en assimilant la tangente à la corde entre des points suffisamment proches (fig. 18)

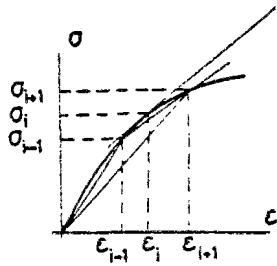


Fig. 18

$$E_i^s = \frac{\sigma_i}{\epsilon_i}$$

$$E_i^T = \frac{d\sigma_i}{d\epsilon_i} \approx \frac{\sigma_{i+1} - \sigma_{i-1}}{\epsilon_{i+1} - \epsilon_{i-1}} = \frac{\sigma_{i+1} - \sigma_{i-1}}{\frac{\sigma_{i+1}}{E_{i+1}^s} - \frac{\sigma_{i-1}}{E_{i-1}^s}}$$

Ces courbes, qui sont montrées dans la fig. 19, ont été approchées analytiquement par des expressions, fonctions des contraintes principales. Ces expressions sont d'une énorme complexité, ce qui doit augmenter sensiblement le temps de calcul par ordinateur.

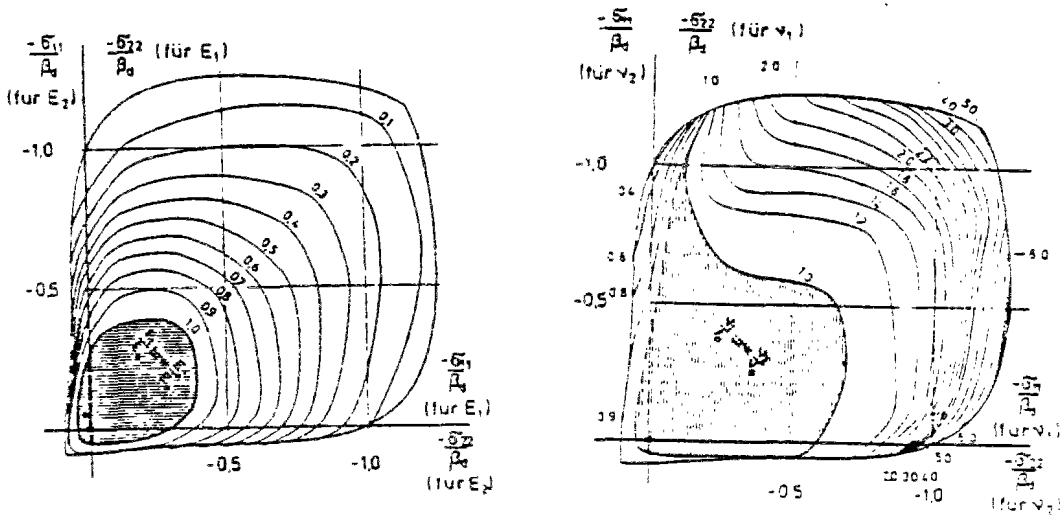


Fig. 19.

2.2.- Etudes incorporant la flexion

Comme nous l'avons déjà indiqué au paragraphe 9 du chapitre 3, l'étude de la flexion a été envisagée de deux façons différentes :

A) Une première approche consiste à adopter des lois moment-courbure, théoriques ou expérimentales, qui reflètent convenablement la diminution progressive de la raideur de la section au fur et à mesure du chargement.

Sauf au premier stade du chargement, où le matériau est supposé élastique et isotrope, on adopte une formulation orthotrope selon les deux directions de moments principaux. On ne considère pas d'interaction entre les effets de ces deux moments principaux, ce qui permet d'étudier la dalle en supposant un comportement de poutre sur les deux directions principales, dans lesquelles des lois moment-courbure unidimensionnelles sont adoptées.

Les fissures sont supposées apparaître dans le plan normal au moment principal qui produit des tractions au-delà de la résistance du béton.

Ces méthodes, utilisées pour le calcul de dalles, ne permettent pas la prise en compte des effets de membrane, qui apparaissent par suite du comportement non linéaire de la section, quand les centres mécanique et géométrique de celle-ci ne coïncident pas.

— JOFRIET et Mc.NEICE (Réf. 74) ont étudié la flexion d'une dalle. Ils ont adopté une loi moment-courbure empirique et bilinéaire, qui représente la raideur à flexion de la section avant et après la fissuration. Cette dernière est approchée moyennant un "moment d'inertie effectif", obtenu empiriquement, qui tient compte de la collaboration du béton tendu entre fissures et de la contribution effective des armatures orthogonales, qui traversent une fissure, dont la direction n'est pas la même que celle des aciers. Ils ne considéraient pas le comportement non élastique des aciers et du béton en compression.

— BELL et ELMS (Réf. 75 et 76), obtenaient théoriquement les lois moment-courbure des sections, en adoptant pour l'acier un diagramme élastoplastique avec raffermisssement, et pour le béton un diagramme parabolique en compression et linéaire en traction. La raideur des éléments fissurés tenait aussi compte de la collaboration du béton tendu entre fissures.

B) Une deuxième approche suppose la section divisée en couches, dont chacune peut avoir un comportement différent vis à vis des sollicitations, ou bien être composée d'un différent matériau. Ces couches sont supposées travailler dans leur plan, et sont reliées entre elles par une certaine relation de compatibilité des déformations (cf. 3.10).

Une telle méthode permet l'étude conjointe des efforts plans et de flexion (cf. 3.12), ce qui la rend très adéquate au calcul de coques minces en béton armé, où existent simultanément des efforts de membrane et de flexion.

— B. WHANG (Réf. 77), a développé une formation analytique complète, en vue du calcul de dalles lamées orthotropes et de coques minces.

— SCANLON et MURRAY (réf. 58), ont utilisé pour la première fois cette méthode dans un calcul par éléments finis d'une dalle en béton armé. Ils ont supposé un comportement linéaire et élastique de l'acier et du béton en compression, la fissuration étant la seule cause de non linéarité considérée. Les fissures étaient supposées se développer dans les sens parallèle et perpendiculaire aux armatures.

Dans une autre publication (Réf. 78) SCANLON a incorporé le traitement des effets de longue durée (fluage et retrait) dans le béton.

— LIN et SCORDELIS (Réf. 62), HAND et autres (Réf. 61), ont étudié des coques minces en béton armé, soumises à des sollicitations de flexion et à des efforts dans leur plan.

Les premiers ont adopté des lois élastoplastiques pour l'acier et pour le béton en compression, les deux matériaux respectant le critère de plastification de Von Mises. En traction, le béton suivait une loi linéaire jusqu'à la rupture, au delà de laquelle on considérait un déchargement progressif suivant une parabole de troisième degré, de façon à tenir compte de la collaboration du béton tendu entre fissures.

HAND a considéré le béton comme un matériau isotrope avec un diagramme bilinéaire élastoplastique en compression. La zone élastique était donc divisée en deux sous zones avec un module d'élasticité différent ($E_2 < E_1$), et se continuait par une troisième plastique, avec $E_3 = 0$, où l'écoulement est gouverné par le critère de Von Mises.

-Une Approche similaire a été utilisée par WANCHOO et MAY (réf.79).

-GILBERT et WARNER (réf.80), se sont servis de la même méthode pour étudier l'influence de différentes techniques de simulation de la collaboration du béton tendu entre fissures. Notamment, ils ont comparé les quatre suivantes:

- a) Le modèle de SCANLON (fig.14-a).
- b) Le modèle de LIN (fig.14-b).
- c) Ce dernier, mais en établissant une brusque réduction (du 20%), de la contrainte de traction, au moment même de la fissuration, après quoi on continue avec un déchargement progressif, similaire à celui de la fig.14-b.
- d) Un modèle simple, qui reflète la collaboration du béton par l'intermédiaire d'un accroissement de la raideur des aciers (de E_a), brusque au moment de la fissuration, et s'éteignant au fur et à mesure que la fissure augmente. Le béton n'est pas supposé collaborer, une fois qu'il se fissure.

La collaboration du béton tendu des différentes couches n'est pas constante, mais fonction de la proximité des armatures. Pour celles qui sont loin des aciers, cette collaboration est supposée négligeable.

3.-Références bibliographiques.-

- 34.-S.POPOVICS.- "A Review of Stress-Strain Relationships for Concrete".
ACI JOURNAL.Mars 1970.
- 35.-F.E.RICHART,A.BRANDTZAEG et R.L.BROWN.-"A Study of the Failure Mechanism of Concrete under Combined Stresses".
University of Illinois.Bulletin 185.Nov.1928.
- 36.-C.J.BELLAMY.-"Strength of Concrete under Combined Stresses".
ACI JOURNAL.Oct.1961.
- 37.-D.Mc.HENRY et J.KARNI.-"Strength of Concrete under Combined Tensile and Compressive Stress".ACI JOURNAL.Avril 1958.
- 38.-B.BRESLER et K.S.PISTER.-"Strength of Concrete under Combined Stresses".-ACI JOURNAL.Sept.1958.
- 39.-B.BRESLER et K.S.PISTER.-"Failure of Plain Concrete under Combined Stresses".-ASCE.V81.Separate nr.674.Avril 1955.
- 40.-C.D.GOODER et M.A.HELMI.-"The Strength of Concrete under Combined Shear and Direct Stress".-Magazine of Concrete Research.
Juin 1967.
- 41.-R.P.JOHNSON et P.G.LOWE.-"Behavior of Concrete under Biaxial and Triaxial Stress".-Civil Engineering Materials Conference.Southampton.1969.
- 42.-A.FÖPPL.-"Mitteilungen aus dem Mech. Technischen Laboratorium der Koenig Techn. Hochschule".Nr.27 et 28.Technischen Hochschule.Munich.1899 et 1900.
- 43.-G.WÄSTLUND.-"New Evidence Regarding the Basic Strength Properties of Concrete".Betong.Stockholm.V 3.1937.
- 44.-J.GLOMB.-"Die Ausnutzbarkeit Zweiachsiger Festigkeit des Betons in Flächentragwerken".3ème. Congrès de Béton Précontraint.
Berlin.1958.
- 45.-H.WEIGLER et G.BECKER.-"Untersuchungen über das Bruch-und Verformungsverhalten von Beton bei Zweiachsiger Beanspruchung".
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton.V 157.Berlin.1963.

- 46.-S.R.IYENGAR,K.CHANDRASHEKHARA et K.T.KRISHNASWAMY.-"Strength of Concrete under Biaxial Compression".-ACI JOURNAL. Février 1965.
- 47.-G.S.ROBINSON.-"Behaviour of Concrete in Biaxial Compression".Journal of the Structural Division.ASCE.Février 1967.
- 48.-G.W.D.VILE.-"The Strength of Concrete under Short Term Static Biaxial Stress".International Conference Structure of Concrete.Londres.1965.
- 49.-S.SCHRÖEDER et H.OPITZ.-"Festigkeit und Verformungseigenschaften der Betons bei zweiachsiger Druckbeanspruchung".Bauplanung-Bautechnik.Vol 22.Avril 1968.
- 50.-L.L.MILLS et R.M.ZIMMERMAN.-"Compressive Strength of Plain Concrete under Multiaxial Loading Conditions".ACI JOURNAL. Oct.1970.
- 51.-H.HILSDORF.-"Die Bestimmung der zweiachsigen Festigkeit von Beton". Deutscher Ausschuss für Stahlbeton.V 173.Berlin .1965.
- 52.-A.STEGBAUER et D.LINSE.-"Comparaison of Stress-Strain Behaviour of Concrete and Other Materials under Biaxial Loading". Colloque de la RILEM.Cannes.1972.
- 53.-A.H.NILSON.-"Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete by Finite Element Method".ACI JOURNAL.Sept.1968.
- 54.-A.H.NILSON.-"Internal Measurement of Bond-Slip".ACI JOURNAL.Juillet 1972.
- 55.-R.E.LOOV.-"The Determination of Stresses and Deformations of Reinforced Concrete After Cracking".Civil Engineering Materials Conference.Southampton.1969.
- 56.-J.COLVILLE et J.ABBASI.-"Plane Stress Reinforced Concrete Finite Elements".Journal of the Structural Division.ASCE. Mai 1974.
- 57.-W.C.SCHNOBRICH,M.H.SALEM,D.A.PECKNOLD,et B.MOHRAS.- "Nonlinear Stress Analysis of Reinforced Concrete".Journal of the Structural Division.ASCE.Oct.1972.

- 58.-A.SCANLON et D.W.MURRAY.-"An Analysis to Determinate the Effects of Cracking in Reinforced Concrete Slabs".Proceedings of the Specialty Conference on Finite Element Method in Civil Engineering.Mc.Gill University.Montreal.Juin 1972.
- 59.-O.YUZUGULLU et W.C.SCHNOBRICH.-"A Numerical Procedure for the Determination of the Behaviour of a Shear Wall Frame System".ACI JOURNAL.Juillet 1973.
- 60.-M.SUIDAN et W.C.SCHNOBRICH.-"Finite Element Analysis of Reinforced Concrete".Journal of the Structural Division. ASCE.Oct.1973.
- 61.-F.R.HAND,D.A.PECKNOLD.et W.C.SCHNOBRICH.-"Nonlinear Layered Analysis of Reinforced Concrete Plates and Shells".Journal of the Structural Division.ASCE.Juillet 1973.
- 62.-C.S.LIN et A.C.SCORDELIS.-"Nonlinear Analysis of RC Shells of General Form".Journal of the Structural Division.ASCE. Mars 1975.
- 63.-J.ISENBERG et S.ADHAM.-"Analysis of Orthotropic Reinforced Concrete Structures".Journal of the Structural Division. ASCE.Dec.1970.
- 64.-A.A.MUFTI,M.S.MIRZA,J.O.Mc CUTCHEON et R.S.POKOWSKI.-"A Study of Nonlinear Behaviour of Structural Concrete Elements". Proceedings of the Specialty Conference on Finite Elements Method in Civil Engineering.Mc.Gill University.Montreal.Juin 1972.
- 65.-A.C.T.CHEN et W.F.CHEN.-"Constitutive Relations for Concrete"- Journal of the Engineering Mechanics Division. ASCE.Août 1975.
- 66.-S.VALLIAPAN et T.F.DOOLAN.-"Nonlinear Stress Analysis of Reinforced Concrete".Journal of the Structural Division. ASCE.Avril 1972.

- 67.-V.CERVENKA et K.H.GERSTLE.-"Inelastic Analysis of Reinforced Concrete Panels".Memoires AIPC.V 31.II.1971.
- 68.-K.M.ROMSTAD,M.A.TAYLOR et L.R.HERRMAN.-"Numerical Biaxial Characterization for concrete".Journal of the Engineering Mechanics Division.ASCE.Oct.1974.
- 69.-H.B.KUPFER etK.H.GERSTLE.-"Behavior of Concrete under Biaxial Stresses".Journal of the Engineering Mechanics Division.ASCE.Août 1973.
- 70.-D.DARWIN et D.A.PECKNOLD.-"Analysis of RC Shear Panels under Cyclic Loading".Journal of the Structural Division; ASCE.Février.1976.
- 71.-D.DARWIN et D.A.PECKNOLD.-"Nonlinear Biaxial Stress-Strain Law for Concrete".Journal of the Engineering Mechanics Division.ASCE.Avril 1977
- 72.-J.LINK,H.SCHAFER et G.MEHLHORN.-"Eine Formulierung des zweiachsigen Bruchund Verformungsverhaltens von Beton". Beton und Stahlbetonbau..Heft 9.1974.
- 73.-J.LINK.-"Eine Formulierung des zweiachsigen Verformungs-und Bruchverhaltens von Beton und deren Anwendung auf die Wirklichkeitsnahe Berechnung von Stahlbetonplatten".Deutscher ausschuss für Stahlbeton; Heft 270. 1976.
- 74.-J.C.JOFRIET et G.M.Mc NEICE.-"Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Slabs".ASCE.Journal of the Structural Division.Mars 1971.
- 75.-J.C.BELL et D.G.ELMS.-"A Finite Element Approach to Post-Elastic Slab Behaviour".International Symposium on Reinforced Concrete Slabs .Denver.Mars 1971. ACI Special Publication SP-30.1972.
- 76.-J.C.BELL et D.G.ELMS.-"Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Slabs". Magazine of Concrete Research.Juin 1972.

- 77.-B.WHANG.-"Laminated Orthotropic Plates and Shallow Shells".Computers & Structures.V 1.Pergamon Press.1971.
- 78.-A.C.SCORDELIS.-"Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structures".Proceedings of the Specialty Conference on Finite Element Methods in Civil Engineering.Mc.Gill University . Montreal.Juin 1972.
- 79.-M.K.WANCHOO et G.W.MAY.-"Cracking Analysis of Reinforced Concrete Plates".Journal of the Structural Division. ASCE.Janvier 1975.
- 80.-I.GILBERT et R.F.WARNER.-"Tension Stiffening in Reinforced Concrete Slabs".-Journal of the Structural Division. ASCE.Décembre 1978.

ANNEXE 'B' - SERIE DE PROGRAMMES 'CPC'

Elle comporte les sous-programmes suivants : CPC, CPC1, CP10, CPC2, CP20, CP21, CPC3, CP30, CPC4, CP40, CP41, CP42, CPC5, CP50, et DCPR.

1.- Description des variables du 'common'

INAM (3).- Vecteur avec le nom des sous-programmes, nécessaire pour établir la liaison entre ceux-ci. Par exemple :
 INAM (1) = 2 HCP, INAM (2) = 2 HC5,
 INAM (3) = 2H .

IGO (5).- Vecteur avec les différentes options du programme :
 IGO (1) = (unité logique de lecture des données + 100 x unité logique de lecture du nom du fichier de stockage des résultats).

IGO (2) = unité logique d'écriture.

0; si le programme doit calculer les K_i
 IGO (3) = du bossage (cf. 2.3.2.2)

1; si les K_i sont introduits comme données

IGO (4) = 0; résolution du système d'équations et obtention des efforts hyperstatiques dans les coupures : f_n, v_n, m_n et φ_{yn}

2; calcul des contraintes, à partir des valeurs de f_n, v_n, m_n et φ_{yn} , stockés sur un fichier.

1; écriture des valeurs des contraintes.

IGO (5) = 1; tracé des courbes de contraintes.

0; rien.

ITIP.- Nombre de bossages (de 0 à 4)

RLP .- 'L', cm. (cf. fig. 2.2)

NS .- Nombre de divisions du bossage (cf. fig.2.4), jusqu'à 13.

NNN .- Nombre de termes du développement en séries de Fourier

ESP .- Epaisseur du hourdis (cm.)

- PI .- 3.141592
 EL .- Module d'élasticité du béton (kg/cm²)
 RNU .- Module de Poisson du béton
 BB (7).- Largeur (cm) des (ITIP+1)bandes longitudinales
 (cf. fig. 2.23), jusqu'à un maximum de 5.
 BB (6) .- Largeur (cm) de la bande 'c' (cf.fig.2.6)
 BB (7) .- Idem de la bande 'd'.
 XI (2,16) .- Pour deux bandes possibles munies de bossage,
 abscisses (cm.) des (NS + 3) points qui déli-
 mitent les (NS + 2) divisions de la bande
 (cf. fig. 2.12).
 HI (15) .- Hauteur (cm) des (NS + 2) divisions (cf.fig.2.20)
 FRI (15).- Cote du point de passage du câble dans le
 les (NS + 2) divisions (cf.fig.2.20)
 CB (15) .- $\cos \beta_r$ des (NS + 2) divisions (cf.fig.2.20).
 RK (3,15).- Coefficients K_{NN} , $K_{\tau\tau}$ et K_{MM} ,
 des (NS + 2) divisions (cf. 2.3.2.2.).
 FPT .- Force de précontrainte (kg).
 KNAM (3) .- Nom du fichier pour le stockage des résultats
 (efforts hyperstatiques, si IGO (4) = 0;
 valeurs des contraintes, si IGO (4) = 2).
 LBUF (100).- Vecteur auxiliaire
 IWO (6) .- Vecteur auxiliaire, utilisé par les sousroutines
 'BWR' et 'SWO', pour les transferts entre la
 mémoire centrale et l'aire de travail du disque.

2.- Listings .-

```

SCPC      T=00003 15 DN CR00030 USING 00024 BLKS R=0000
0001      FTH4,B
0002      C---- DATE: 13/ 1/78
0003      PROGRAM CPC
0004      C*****
0005      C*
0006      C*      PROGRAMME POUR LE CALCUL ELASTIQUE APPROCHE DES
0007      C*      ANCRAGES EN BOSSAGE:
0008      C*
0009      C*      LECTURE DES DONNEES.
0010      C*
0011      C*****
0012      DIMENSION IP(5),IHEUR(5),JBUF(769),IDCB(144)
0013      COMMON INAM(3),IGO(5),ITIP,RLP,HI(15),NS,FRI(15),CB(15),
0014      CPI,RNU,ESP,EL,BB(7),FPT,XI(2,16),RK(3,15),LBUF(100),NNN
0015      C,IWO(6),KHAM(3)
0016      C----
0017      C----
0018      C---- PARAMETRES OPTIONNELS
0019      C---- IGO(1):UN.LOG.LECTURE+100 * UN.LOG.LECTURE KHAM
0020      C---- IGO(2):UN.LOG.ECRITURE
0021      C---- IGO(3):LECTURE DES RAIDEURS(0,1)
0022      C---- IGO(4):CALCUL INITIAL(0),SORTIE RESULTATS SANS CALCUL(1)
0023      C----          CALCUL CONTRAINTES(2)
0024      C---- IGO(5):TRACE DE COURBES(0,1)
0025      C----
0026      CALL RMPAR(IGO)
0027      IP(4)=0
0028      C****
0029      IF((IGO(4).NE.1).AND.(IGO(5).NE.0))STOP111
0030      IF((IGO(4).NE.0).AND.(IGO(3).NE.1))STOP222
0031      C****
0032      INAM(1)=2HCP
0033      INAM(2)=2HC1
0034      INAM(3)=2H
0035      PI=3.141592654
0036      FPT=10000.
0037      LU=IGO(1)/100
0038      IGO(1)=MOD(IGO(1),100)
0039      KHAM(3)=2H
0040      READ(LU,5)KHAM
0041      5
0042      FORMAT(3A2)
0043      LU=IGO(1)
0044      LU1=IGO(2)
0045      CALL EXEC(11,IHEUR)
0046      C----
0047      READ MATERIAU
0048      WRITE(LU1,10)IHEUR(4),IHEUR(3),IHEUR(2),KHAM,EL,RNU
0049      10
0050      FORMAT(10//,X,"*** PROGRAMME 'CPC' POUR LA METHODE DES "
0051      C* COUPURES: " //,X"HEURES : "15//,X"MINUTES : "15//,X
0052      C* SECONDES: "15,2//,X"STOCKAGE SUR LE FICHIER: "3A2,5//,X" *DONNEES*",
0053      C* //,X" *M ELAS (KG/CM2): "F10.2//,X" *M POISSON: "F16.2)
0054      C----
0055      DIMENSIONS ET PARAMETRES GENERAUX
0056      READ(LU,* )ITIP,NS,NNN,ESP,RLP,BB(6),BB(7)
0057      WRITE(LU1,20)ITIP,NS,NNN,ESP,RLP,BB(6),BB(7)
0058      BB(6)=BB(6)-BB(7)
0059      NNN=NNN
0060      20
0061      FORMAT(2//,X" *NOMBRE DE BOSSAGES: "I14//,X" *NOMBRE DIVISIONS "
0062      C* BOSSAGE: "18//,X" *NOMBRE TERMES SERIE FOURIER: "15,2//,X
0063      C* EPAISSEUR(CM): "F14.2//,X" *PERIODE(CM): "F16.2//,X" *HAUTEUR CAISSON "
0064      C* (CM): "F8.2//,X" *ZONE INFERIEURE(CM): "F8.2)
0065      AUX=(4*NN*ITIP+1)*(4*NN*ITIP)*2.
0066      N=IFIX(AUX/(96.*84.))+1+1
0067      CALL EXEC(15,H,IWO(1),I,IWO(3))
0068      IWO(2)=IWO(1)-1+N
0069      C****
0070      IF(IWO(1).LT.0)STOP333
0071      IF((IWO(3).NE.96).OR.(I.NE.2))STOP444
0072      C****
0073      C---- LARGEURS DE ZONES
0074      I=ITIP+1
0075      READ(LU,*)(BB(J),J=1,I)
0076      WRITE(LU1,30)(1H,J,BB(J),J=1,I)
0077      30
0078      FORMAT(3//,X,"LARGEURS DES ZONES(CM): "2//,5(A1"ZONE "12": "
0079      C* F8.2,3X))
0080      C****
0081      IF((I.GT.3).AND.(BB(2).NE.BB(4)))STOP555
0082      C****
0083      C---- LES LARGEURS DES ZONES SONT STOCKEES DIVISEES PAR DEUX

```

```

0079 DO 40 J=1,I
0080 40 BB(J)=BB(J)/2.
0081 BB(6)=BB(6)/2.
0082 BB(7)=BB(7)/2.
0083 C---- BOSSAGE
0084 DO 200 I=1,2
0085 IF(I.EQ.2)GO TO 70
0086 WRITE(LU1,50)
0087 50 FORMAT(3/,X"BOSSAGES:"/,X"ZONE:"4X"HAUTEUR(CM):"4X,"Z.CABLE(CM):"
0088 DO 60 J=1,NS+2
0089 READ(LU,*>HI(J),FRI(J)
0090 WRITE(LU1,55)J,HI(J),FRI(J)
0091 55 FORMAT(I4,F13.2,F16.2)
0092 60 CONTINUE
0093 70 READ(LU,*>XI(I,2),XI(I,NS+2)
0094 C***
0095 IF((I.EQ.2).AND.(XI(2,NS+2)-XI(2,2).NE.XI(1,NS+2)-XI(1,2)))
0096 CSTOP666
0097 C***
0098 XI(I,1)=0.
0099 XI(I,NS+3)=RLP
0100 AUX=(XI(I,NS+2)-XI(I,2))/NS
0101 DO 80 J=1,NS-1
0102 80 XI(I,2+J)=XI(I,2)+AUX*J
0103 IF(I.EQ.2)GO TO 89
0104 AUX=FRI(1)
0105 DO 85 J=1,NS+1
0106 AUX0=FRI(J)-AUX
0107 CB(J)=COS(ATAN(AUX0*2./((XI(1,J+1)-XI(1,J))))
0108 FRI(J)=FRI(J)-HI(J)/2.
0109 AUX=AUX+2.*AUX0
0110 85 CONTINUE
0111 FRI(1)=0.
0112 CB(NS+2)=1.
0113 FRI(NS+2)=0.
0114 99 WRITE(LU1,90)I
0115 90 FORMAT(3/,X"BOSSAGE:"12,4X"ZONE:"4X"XA(CM):"4X"XB(CM):"4X
0116 C"FC(CM):"4X"CB:"
0117 DO 100 J=1,NS+2
0118 WRITE(LU1,95)J,XI(I,J),XI(I,J+1),FRI(J),CB(J)
0119 95 FORMAT(15X,I4,3F11.2,F9.4)
0120 100 CONTINUE
0121 IF(ITIP.LE.2)GO TO 210
0122 CONTINUE
0123 C---- RAIDEURS EQUIVALENTES
0124 210 IF(IGO(3).EQ.0)GO TO 216
0125 INAM(2)=2HC2
0126 WRITE(LU1,211)
0127 211 FORMAT(3/,X"RAIDEURS EQUIVALENTES:"/X,"ZONE:"8X
0128 C"KN"8X"KT"8X"KM"8X"KV")
0129 DO 214 I=1,3
0130 READ(LU,*>(RK(I,J),J=1,NS+2)
0131 214 CONTINUE
0132 DO 212 I=1,NS+2
0133 AUX=(ESP/HI(I))*3
0134 WRITE(LU1,213)I,(RK(J,I),J=1,3),AUX
0135 213 FORMAT(15X,4F10.3)
0136 212 CONTINUE
0137 C---- CHANGEMENT DE PROGRAMME
0138 216 IF(IGO(4).NE.0)GOTO250
0139 215 WRITE(LU1,219)(IWO(J),J=1,3)
0140 219 FORMAT(3/,X"STOCKAGE SUR L'AIRES DE TRAVAIL:"/" IWO(1)="15
0141 C" IWO(2)="15" IWO(3)="15)
0142 WRITE(LU1,220)
0143 220 FORMAT(10/)
0144 IF(IGO(4).EQ.0)LBUF(1)=1
0145 CALL MCOM(INAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0146 CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3),IP(4))
0147 GOTO999
0148 C---- LECTURES POUR LA SORTIE DE RESULTATS
0149 250 INAM(2)=2HC4
0150 WRITE(LU1,260)
0151 260 FORMAT(3/,X" IZ:"5X"IT:"5X"IC:"5X"IV:"
0152 DO 300 I=1,50
0153 READ(LU,*>IZ,IT,IC,IV
0154 LBUF(2*I-1)=IT*1000+IC*10+IABS(IZ)
0155 LBUF(2*I)=IV
0156 IF(IZ)270,310,270
0157 270 WRITE(LU1,280)IZ,IT,IC,IV
0158 280 FORMAT(I3,3I8)

```

```
0159 300 CONTINUE
0160 I=51
0161 310 I=I-1
0162 IF(I<IGO(4).EQ.2)GOTO215
0163 C---- LECTURE DES LE FICHIER 'KNAM(3)'
0164 INAM(2)=2HC5
0165 IWO(4)=IWO(1)
0166 IWO(5)=0
0167 IWO(6)=0
0168 I=I*180
0169 K=1
0170 CALL OPEN(IDC.B,IERR,KNAM)
0171 C*** IF(IERR.NE.1)STOP224
0172 C***
0173 C*** L=MINO(I,768)
0174 320 CALL READF(IDC.B,IERR,JBUF,L,LEN,K)
0175 C***
0176 IF(IERR.NE.0)STOP225
0177 C***
0178 CALL BUR(2,IWO,JBUF,L)
0179 K=K+6
0180 I=I-L
0181 IF(I.GT.0)GOTO320
0182 CALL CLOSE(IDC.B)
0183 GOTO215
0184 999 END
0185 END$
0186
```

SCPC1 T=00003 IS UN CR00020 USING 00024 BLKS R=0000

```

0001      FTN4,B
0002 C----- DATE: 13/ 1/78
0003      PROGRAM CPC1
0004 C*****
0005 C*
0006 C*      PROGRAMME POUR L'OBTENTION DES RAIDEURS EQUIVALENTES
0007 C*      DU BOSSAGE.
0008 C*
0009 C*****
0010      DIMENSION C(15),COEF(15,15),TCF(30),XY(30),IP(5)
0011      C,ITX0(44),RAUX(44)
0012      COMMON INAM(3),IGO(5),ITIP,RLP,HI(15),NS,FRI(15),CB(15),
0013      CPI,RNU,ESP,EL,BB(7),FPT,XI(2,16),RK(3,15),LBUF(100),NNN
0014      C,IW0(6),KNAM(3)
0015      EQUIVALENCE(TCF,XY)
0016 C-----
0017 C-----
0018      CALL RMPAR(IP)
0019      CALL RCOM(INAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0020      INAM(2)=2H10
0021 C-----
0022 C-----      IPACO=0: CALCUL DES RAIDEURS
0023 C-----      IPACO=1: CALCUL DES RAIDEURS ET DES CONTRAINTES DANS TOUTE
0024 C-----      LA SECTION
0025 C-----      IPACO=2: CALCUL DES RAIDEURS AVEC ECRITURE DES CONTRAINTES
0026 C-----      ET DEPLACEMENTS AUX BORDS
0027      NN=15
0028      IPACO=0
0029 C-----
0030      JJ=0
0031      LUI=IGO(2)
0032 C-----
0033 C-----      RIGIDITES VIS-A-VIS DE L'EFFORT TRANCHANT
0034 C-----
0035      DO 50 I=1,NS+1
0036      AUX=ESP/HI(I)
0037      RK(2,I)=1./(AUX*(1.+3.*(1.-AUX)**2))
0038      50 CONTINUE
0039 C-----
0040 C-----      RIGIDITES VIS A VIS DE L'EFFORT NORMAL
0041 C-----
0042 C-----      CAS SYMETRIQUE
0043      A0=BB(2)
0044      A03=A0*A0*A0
0045      DO 5000 I=1,NS+1
0046      B0=HI(I)/2.
0047      B03=B0*B0*B0
0048      BE0=(B0-ESP)/B0*PI
0049      PAB=PI*A0/B0
0050      PBA=PI*B0/A0
0051      I0=1
0052      I1=1
0053      C0=-ESP/B0
0054      DO 60 J=1,NN
0055      60 C(J)=2./(J*PI)*SIN(J*BE0)
0056      55 U2=0.
0057      U1=0.
0058      DO 65 J=1,NN
0059      DO 65 K=1,NN
0060      65 COEF(J,K)=0.
0061      DO 200 J=1,NN
0062      AUX=J*PAB
0063      CX=CHP(AUX)
0064      SX=SHF(AUX)
0065      AUX=1.+AUX*(CX/SX-SX/CX)
0066      TCF(J)=C(J)/AUX
0067      COEF(J,J)=-1.
0068      AJB=(A0*J/B0)**2
0069      AJ3=4.*J*J*A03/(PI*B03)
0070      DO 150 K=1,NN
0071      AUX0=K*PBA
0072      CX=CHP(AUX0)
0073      SX=SHF(AUX0)
0074      AUX1=1.+AUX0*(CX/SX-SX/CX)
0075      AUX0=(SX/CX)*(1.+AJB/(K+K))+*2
0076      AUX0=AJ3/(K+K+K)+AUX0
0077      AUX0=(-1.)**(J+K-1)*AUX0/AUX1
0078      AUX0=AUX0/AUX1

```

```

0079      BKA=(B0*K/A0)**2
0080      BK3=4.*K*K*B03/(PI*A03)
0081      DO 100 L=1,NN
0082      AUX1=L*PAR
0083      AUX1=(SHP(AUX1)/CHP(AUX1))/(1.+BKA/(L*L))**2
0084      AUX1=BK3/(L*L*L)*AUX1
0085      COEF(J,L)=(-1.)***(K+L-1)*AUX1*AUX0+COEF(J,L)
0086      CONTINUE
0087      CONTINUE
0088      CONTINUE
0089      C-----
0090      RESOLUTION DE L'EQUATION(TOLERANCE:1.E-06)
0091      C-----
0092      310      EPS=1.E-06
0093      CALL GELC(TCF,COEF,NN,1,EPS,IER)
0094      LBUF(1)=2H I
0095      LBUF(2)=2H G
0096      LBUF(3)=2H I1
0097      LBUF(4)=2H J I
0098      LBUF(5)=2H ER
0099      LBUF(6)=2H I I
0100      L=10008+IG0(2)
0101      CALL EXEC(2,L,LBUF,-12)
0102      L=11008+IG0(2)
0103      CALL EXEC(3,L,1)
0104      LBUF(1)=10
0105      LBUF(2)=11
0106      LBUF(3)=IER
0107      LBUF(4)=1
0108      CALL IOLIB(2,IG0(2),4,LBUF,4)
0109      IF(IER)320,340,320
0110      320      JJ=1
0111      GO TO 990
0112      340      DQ380 K=1,NN
0113      XY(K+NN)=0.
0114      AUX0=K*PAR
0115      CX=CHP(AUX0)
0116      SX=SHP(AUX0)
0117      AUX1=1.+I1+2H X0*(CX/SX-SX/CX)
0118      BKA=(B0*K/A0)
0119      BK3=4.*K*K*B03/(A03+PI*AUX1)
0120      IF(11.E0,1)GOTO350
0121      BKA=BKA**2
0122      BK3=BK3*8
0123      360      DO 370 LL=1,NN
0124      L=LL
0125      IF(11.F0 -1)LL=2*LL-1
0126      AUX0=L*PAR/((3 -11)/2)
0127      AUX0=(SHP(AUX0)/CHP(AUX0))/(1.+BKA*BKA/(L*L))**2
0128      AUX0=(-11)*(-1.)***(K+LL)*BK3/(L*L)+AUX0*XY(LL)/L
0129      XY(K+NN)=AUX0+XY(K+NN)
0130      370      CONTINUE
0131      380      CONTINUE
0132      GOTO390
0133      C-----
0134      C-----
0135      390      CAS ANTISYMETRIQUE
0136      DO 400 J=1,2*NN-1,2
0137      JJ=(J+1)/2
0138      AUX=J*PI/(2.*90)
0139      C(JJ)=-2./J*PI*(COS(AUX*(B0+ESP))-COS(AUX*(B0-ESP)))
0140      C0=0
0141      410      DO 450 J=1,NN
0142      DO 450 K=1,NN
0143      450      COEF(J,K)=0.
0144      DO 600 JJ=1,NN
0145      J=2*JJ-1
0146      AUX=J*PAR/2
0147      CX=CHP(AUX)
0148      SX=SHP(AUX)
0149      AUX=1.+AUX*(CX/SX-SX/CX)
0150      TCF(JJ)=C(JJ)/AUX
0151      COEF(JJ,JJ)=-1.
0152      AUB=(A0+J/B0)**2/4
0153      AUB=J*J*A02/(B03*PI)
0154      DO 500 K=1,NN
0155      AUX0=K*PAR
0156      SX=SHP(AUX0)
0157      CX=CHP(AUX0)
0158      AUX1=1.+AUB*(SX/CX-CX/SX)
0159      AUX0=(CX/SX)/(1.+AUB*(K*K))**2

```



```

0159      AUX0=AJ3/(K*K)*AUX0/K
0160      AUX0=(-1.)**(JJ+K)*AUX0/AUX
0161      AUX0=AUX0/AUX1
0162      BKA=(B0*K/A0)**2*4.
0163      BK3=32.*K*B03/(A03*PI)
0164      DO 480 LL=1,NN
0165      L=2*LL-1
0166      AUX1=L*PAR/2.
0167      AUX1=(SHP(AUX1)/CHP(AUX1))/(1.+BKA/(L*L))**2
0168      AUX1=BK3/(L*L)*AUX1/L
0169      COEF(JJ,LL)=(-1.)**(K+LL)*AUX1*AUX0+COEF(JJ,LL)
0170      480 CONTINUE
0171      500 CONTINUE
0172      600 CONTINUE
0173      GO TO 310
0174      C-----
0175      C----- RIGIDITES VIS-A-VIS DE L'EFFORT DE FLEXION
0176      C-----
0177      C----- CAS SYMETRIQUE
0178      810 CO=0.
0179      IO=3
0180      II=1
0181      DO 850 J=1,NN
0182      AUX=J*BEO
0183      C(J)=2./ESP*(ESP/(J*PI)*SIN(AUX)+2.*B0/(J*PI)**2*
0184      C((-1.)*J-COS(AUX)))
0185      850 CONTINUE
0186      GO TO 55
0187      C----- CAS ANTISYMETRIQUE
0188      900 DO 950 J=1,2*NN-1,2
0189      JJ=(J+1)/2
0190      AUX=J*BEO/2.
0191      C(JJ)=4./ESP*(4.*B0/(J*PI)**2*((-1.)*JJ+SIN(AUX))
0192      C+ESP/(J*PI)*COS(AUX))
0193      950 CONTINUE
0194      CO=0.
0195      GO TO 410
0196      C-----
0197      C----- CALCUL DES DEPLACEMENTS
0198      C-----
0199      990 II=0
0200      C!!!!
0201      III=0
0202      AA=A0
0203      C!!!!
0204      YO=-B0
0205      KC=1
0206      IF(I0.EQ.1)GO TO 1000
0207      II=1
0208      YO=-B0+ESP/2.
0209      1000 AUX=CO+A0
0210      TXO=CO
0211      DO 2000 J=1,NN
0212      JJ=J
0213      IF(I1.EQ.-1)JJ=2+J-1
0214      AJ=JJ*PI/(B0*(3.-I1)/2.)
0215      BJ=J*PI/A0
0216      AJY=AJ*YO
0217      AJA=AJ*AO
0218      BJY=BJ*YO
0219      BJB=BJ*BO
0220      CSAY=COS(AJY)
0221      SSAY=SIN(AJY)
0222      CHAA=CHP(AJA)
0223      CHBB=CHP(BJB)
0224      SHAA=SHP(AJA)
0225      SHBB=SHP(BJB)
0226      CHBY=CHP(BJY)
0227      SHBY=SHP(BJY)
0228      IF(I1.NE.1)GO TO 1100
0229      C----- CAS SYMETRIQUE
0230      FJ=XY(J)*CSAY*AJ/CHAA
0231      GJ=-XY(J)*CSAY*(1.+AJA*CHAA/SHAA)/CHAA
0232      HJ=-XY(J+NN)/CHBB*(CB0*SHBB+1.-B0B*CHBB
0233      C/SHBB)*CHBY)
0234      QJ=-FJ
0235      PJ=-XY(J)*CSAY*(1.-AJA*CHAA/SHAA)/CHAA
0236      QJ=XY(J+NN)/CHBB*(B0Y+SHBY-(1.-B0B*CHBB
0237      C/SHBB)*CHBY)
0238      GO TO 1200

```

```

0239 C---- CAS ANTISYMETRIQUE
0240 1100 FJ=XY(J)*SSAY*AJ/CHAA
0241 GJ=-XY(J)*SSAY*(1.+AJA*CHAA/SHAA)/CHAA
0242 HJ=-XY(J+NH)/SHBB*(BUY*CHBT*(1.-BUY*SHBB
0243 C/CHBB)*SHBY)
0244 GJ=-FJ
0245 PJ=-XY(J)*SSAY*(1.-AJA*CHAA/SHAA)/CHAA
0246 QJ=XY(J+NH)/SHBB*(BUY*CHBT*(1.+BUY*SHBB
0247 C/CHBB)*SHBY)
0248 1200 RJ=(FJ-RNU*GJ)
0249 SJ=(GJ-RNU*PJ)
0250 TJ=(HJ-RNU*QJ)
0251 AUX=AUX+RJ*(A0*CHAA/AJ-SHAA/(AJ*AJ))
0252 C+SJ*SHAA/AJ
0253 C!!!!
0254 IF((III.EQ.0).AND.(IPACO.NE.2))GOTO2000
0255 TX0=TX0+FJ*AA*SHP(AJ*AA)+GJ*CHP(AJ*AA)+HJ*COS(BJ*AA)
0256 C!!!!
0257 2000 CONTINUE
0258 C!!!!
0259 C---- CELA CORRESPOND AU CAS IPACO=1
0260 LORS DU SECOND PASSAGE(CALCUL DES CONTRAINTES)
0261 C---- IF((III.EQ.0).AND.(IPACO.NE.2))GOTO2005
0262 IF(II.EQ.1)GOTO2005
0263 IF(II.EQ.-1)GOTO2003
0264 ITX0(KC)=TX0*1000
0265 RAUX(KC)=AUX
0266 GOTO2004
0267 2003 TX0=TX0+ITX0(KC)*0.001
0268 SAUX=AUX+RAUX(KC)
0269 2004 IF(IPACO.NE.2)GOTO2000
0270 C!!!!
0271 C---- CALCUL DES RAIDEURS EQUIVALENTES
0272 2005 GOTO(2010,2006,2008),II+1
0273 2006 U1=AUX
0274 II=2
0275 Y0=-B0
0276 GO TO 1000
0277 2008 U2=U2-(AUX-U1)/(Y0+B0-ESP/2.+1.E-10)
0278 GOTO2015
0279 2010 U2=U2+AUX
0280 2015 KC=KC+1
0281 Y0=Y0+ESP/16
0282 IF((KC.EQ.9).AND.(II.EQ.2))GOTO2015
0283 IF(KC.LE.17)GOTO1000
0284 C!!!!
0285 III=1
0286 2020 IF(IPACO.NE.1)GOTO2049
0287 JK=0
0288 KC=0
0289 2022 JK=JK+1
0290 AA=A0/3.*(JK-1)
0291 JJJ=0
0292 2024 JJJ=JJJ+1
0293 KC=KC+1
0294 Y0=B0-0.2*A0*(JJJ-1)
0295 GOTO1000
0296 2030 IF(JJJ.LE.10)GOTO2024
0297 2035 IF(JK.LE.3)GOTO2022
0298 C!!!!
0299 2049 IF(II.EQ.-1)GO TO 2050
0300 II=-1
0301 IF(II.EQ.3)GO TO 900
0302 GO TO 390
0303 2050 IF(II.EQ.3)GO TO 2060
0304 RK(1,1)=-2.*A0/U2*17.
0305 GO TO 610
0306 2060 RK(3,1)=4.*A0/(ESP*U2)*16.
0307 5000 CONTINUE
0308 DG5005 I=1,3
0309 5005 RK(I,NS+2)=RK(I,1)
0310 DO 5100 I=1,3
0311 DO 5050 J=1,NS+2
0312 RK(I,J)=1./RK(I,1)
0313 5050 CONTINUE
0314 5100 CONTINUE
0315 C---- CHARGEMENT DE PROGRAMME
0316 C***
0317 IF(JJ.EQ.1)STOP100
0318 C***

```

```
0319      CALL WCDM(INAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0320      CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3),IP(4))
0321      END
0322 C-----
0323 C-----      FONCTION SINUS HYPERBOLIQUE
0324      FUNCTION SHP(X)
0325      IF(ABS(X) LT.85.)GOTO5
0326      SHP=1.E+30
0327      IF(X.LT.0)SHF=-SHP
0328      RETURN
0329      5      SHP=EXP(X)
0330      SHP=(SHP+1./SHP)/2
0331      END
0332 C-----      FONCTION COSINUS HYPERBOLIQUE
0333      FUNCTION CHP(X)
0334      IF(ABS(X) LT.85.)GOTO5
0335      CHP=1.E+30
0336      RETURN
0337      5      CHP=EXP(X)
0338      CHP=(CHP+1./CHP)/2.
0339      END
0340      END*
```

SCP10 T=00003 IS ON CR00020 USING 00004 BLKS R=0000

```

0001      FTH4,B
0002 C---- DATE: 13/ 1/78
0003      PROGRAM CP10
0004 C*****
0005 C*
0006 C*      PROGRAMME POUR L'ECRITURE DES RAIDEURS EQUIVALENTES
0007 C*      DU BOSSAGE.
0008 C*
0009 C*****
0010      DIMENSION IP(5),IHEUR(5)
0011      COMMON INAM(2),IGO(5),ITIP,RLP,HI(15),NS,FRI(15),CB(15),
0012      CPI,RHU,ESP,EL,BB(7),FPT,XI(2,16),RK(3,15),LBUF(100),NNH
0013      C,IWO(6),KNAM(3)
0014 C----
0015 C----
0016      CALL RMPAR(IP)
0017      CALL RCOM(INAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0018      INAM(2)=2HC2
0019      LUI=IGO(2)
0020      WRITE(LUI,10)(J,(RK(I,J)),I=1,3),J=1,NS+2)
0021 10  FORMAT(3/, " ZONE:"4X,"RK-N:"5X"RK-T:"5X"RK-M:"
0022      C/,12(15,3F10.2,/)
0023      CALL EXEC(11,IHEUR)
0024      WRITE(LUI,15)(IHEUR(JK),JK=4,2,-1)
0025 15  FORMAT(5/X"HEURES : "15/X"MINUTES : "15/X"SECONDES:"15)
0026      CALL EXEC(16,IWO(2)-IWO(1)+1,IWO(1),2)
0027      END
0028      END$

```

SCPC2 T=00004 IS ON CR00030 USING 00027 BLKS R=0225

```

0001      FTN4,B
0002 C-----DATE: 24/ 2/78
0003      PROGRAM CPC2
0004 C*****
0005 C*
0006 C*          PROGRAMME POUR LA FORMATION DU SYSTEME D'EQUATIONS
0007 C*          (BANDES SANS BOSSAGE).
0008 C*
0009 C*****
0010 DIMENSION COEF(801),CC(7),JJ(7),XJ(15),XJH(15),XJT(15),JWO(6)
0011 C,IP(5),IJBUFF(1662)
0012 COMMON IHAM(3),IG(5),ITIP,RLP,HI(15),NS,FR1(15),CB(15),
0013 CPI,RNU,ESP,EL,BB(7),FPT,XI(2,16),RK(3,15),LBUF(100),NNH
0014 C,IWO(6),KHAM(3)
0015 EQUIVALENCE(LBUF,IENT),(LBUF(2),I),(LBUF(3),J),(LBUF(4),M),
0016 C(LBUF(5),N),(LBUF(6),D),(LBUF(8),10),(LBUF(9),IT1),
0017 C(LBUF(10),HN),(LBUF(11),IJ),(LBUF(12),AM),(LBUF(14),AN),
0018 C(LBUF(16),GMA),(LBUF(18),GMB),(LBUF(20),GNA),(LBUF(22),GNB),
0019 C(LBUF(24),IJJ),(LBUF(32),CC),(LBUF(46),XJJ),(LBUF(78),JWO),
0020 C(IJBUFF,XJH),(IJBUFF(31),XJT),(IJBUFF(61),COEF)
0021 C-----
0022 C-----          FONCTION INDIC
0023 C-----
0024 INDIC(H,IG,ID,HN)=NN*4*(IG-1)+NN*(ID-1)+N
0025 C-----
0026 C-----          FONCTIONS A,B,C,D(E,NORMAL)
0027 C-----
0028 FA(GN,RNU)=2.*(CLN(GN)*CHP(GN)+CKN(GN)*SHP(GN))-(1.+RNU)
0029 C-----
0030 FB(GN)=2.*(CLN(GN)*CHP(GN)-CKN(GN)*SHP(GN))
0031 C-----
0032 FC(GN)=2.*(CKN(GN)*CHP(GN)+CLN(GN)*SHP(GN))
0033 C-----
0034 FD(GN)=2.*(CLN(GN)*SHP(GN)-CKN(GN)*CHP(GN))
0035 C-----
0036 C-----
0037 CALL RMPARC(IP)
0038 CALL RCOM(IHAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0039 GOTO(1,900),IENT
0040 1
0041 NN=NNH
0042 IWO(4)=IWO(1)
0043 IWO(5)=0
0044 IWO(6)=0
0045 DO2 I=1,6
0046 2
0047 JWO(I)=IWO(I)
0048 D=EL*ESP**3/(12.*(1.-RNU**2))
0049 C-----          IT1=0 : SANS BOSSAGE POUR Y= +D
0050 C-----          IT1=1 : AVEC BOSSAGE POUR Y= +D
0051 IT1=1
0052 DO 5 J=1,NS+3
0053 XJ(J)=XI(1,J)
0054 CALL EST(HI,BB(2),XJH,XJT,NS)
0055 C-----          "DO" POUR LES EQUATIONS DANS TOUTES LES COUPURES
0056 I=0
0057 6
0058 I=I+1
0059 IF(1.NE.3)GO TO 15
0060 DO 10 J=1,NS+3
0061 XJ(J)=XI(2,J)
0062 10
0063 IT1=1-IT1
0064 C-----          "DO" POUR LES EQUATIONS DES 4 DEPLACEMENTS
0065 J=0
0066 18
0067 J=J+1
0068 C-----          "DO" POUR LES NN EQUATIONS DE CHAQUE DEPLACEMENT (N=TERME FOURI
0069 M=0
0070 19
0071 M=M+1
0072 DO 20 N=1,4*NN*IT1+1
0073 COEF(N)=0
0074 20
0075 AN=PI/(2.*RLP)*(2*M-1)
0076 GMA=AN*BB(1)
0077 GNB=AN*BB(1+1)
0078 C-----          "DO" POUR LES COLONNES (N=TERME FOURIER)
0079 N=0
0080 28
0081 N=N+1
0082 AN=PI/(2.*RLP)*(2*N-1)
0083 GMA=AN*BB(1)
0084 GNB=AN*BB(1+1)
0085 DO 30 IJ=1,7
0086 CC(IJ)=0

```

```

0079 30 JJ(IJ)=0
0080 C---- IJ=1 : COTE Y= +D
0081 C---- IJ=-1 : COTE Y= -D
0082 IJ=1
0083 C---- I0=0 : NON ENCASTREMENT DANS LE COTE ETUDIE
0084 C---- I0=1 : ENCASTREMENT DANS LE COTE ETUDIE
0085 I0=0
0086 IF(I0.EQ.1)I0=1
0087 IF(IT1.EQ.1)GOTO7000
0088 GO TO(100,150,200,250),J
0089 C---- ZONES SANS BOSSAGE
0090 C---- (V):(0)
0091 100 IF(M.HE.N)GO TO 1000
0092 AUX0=RLP/(EL*AM)
0093 AUX=AUX0*IJ
0094 105 JJ(1)=INDIC(M,1,1,NN)
0095 CC(1)=AUX*FC(GMA)
0096 JJ(2)=INDIC(M,1,2,NN)
0097 CC(2)=AUX0*FA(GMA,RNU)
0098 IF(I0.EQ.1)GO TO 110
0099 JJ(3)=INDIC(M,1-IJ,1,NN)
0100 CC(3)=AUX*FD(GMA)
0101 JJ(4)=INDIC(M,1-IJ,2,NN)
0102 CC(4)=-AUX0*FB(GMA)
0103 120 IF(I0.NE.1)GO TO 1000
0104 C&&&&& CC(4)=0.(BORDS LIBRES).
0105 C&&&&&
0106 C&&&&&
0107 AUX1=FE(AM*BB(6))
0108 IF(BB(7).LT.1.)GOTO135
0109 EC=AUX1
0110 AUX1=AM*BB(6)
0111 AUX2=AM*BB(7)
0112 ED=FE(AUX2)
0113 AC=FA(AUX1,RNU)
0114 AD=FA(AUX2,RNU)
0115 BE=FC(AUX1)+FC(AUX2)
0116 AUX1=(BE*EC*ED-EC*AD-ED*AC)/(BE*(EC+ED)-(AC-AD)**2)
0117 135 CC(1)=CC(1)+CC(4)*FB(GMA)/(FE(GMA)+AUX1)
0118 CC(2)=CC(2)-CC(4)*FF(GMA)/(FE(GMA)+AUX1)
0119 GO TO 1000
0120 C---- (U):(0)
0121 150 IF(M.HE.N)GO TO 1000
0122 AUX=RLP/(EL*AM)
0123 AUX0=AUX*IJ
0124 155 JJ(1)=INDIC(M,1,1,NN)
0125 CC(1)=AUX*FA(GMA,RNU)
0126 JJ(2)=INDIC(M,1,2,NN)
0127 CC(2)=AUX0*FE(GMA)
0128 IF(I0.EQ.1)GO TO 160
0129 JJ(3)=INDIC(M,1-IJ,1,NN)
0130 CC(3)=AUX*FB(GMA)
0131 JJ(4)=INDIC(M,1-IJ,2,NN)
0132 160 CC(4)=AUX0*FF(GMA)
0133 GO TO 120
0134 C---- (F1):(0)
0135 200 IF(M.HE.N)GO TO 1000
0136 AUX=RLP/(D*(1.-RNU)*(1.-RNU)*AM)*IJ
0137 AUX0=RLP/(2.*D*(1.-RNU)*AM*AB)
0138 JJ(1)=INDIC(M,1,3,NN)
0139 CC(1)=AUX*FO(GMA,RNU)
0140 JJ(2)=INDIC(M,1,4,NN)
0141 CC(2)=-AUX0*FM(GMA,RNU)
0142 IF(I0.EQ.1)GO TO 210
0143 JJ(3)=INDIC(M,1-IJ,3,NN)
0144 JJ(4)=INDIC(M,1-IJ,4,NN)
0145 210 CC(3)=AUX*FP(GMA,RNU)
0146 CC(4)=AUX0*FH(GMA,RNU)
0147 220 IF(I0.NE.1)GO TO 1000
0148 C&&&&&
0149 C&&&&& CC(3)=0.(BORDS LIBRES).
0150 C&&&&& CC(4)=0.(BORDS LIBRES).
0151 C&&&&&
0152 CC(1)=CC(1)+CC(3)*CN1(AM,GMA,RNU)
0153 CC(1)=CC(1)+CC(4)*CN2(AM,GMA,RNU)
0154 CC(2)=CC(2)+CC(3)*CN3(AM,GMA,RNU)
0155 CC(2)=CC(2)+CC(4)*CN4(AM,GMA,RNU)
0156 GO TO 1000
0157 C---- (G):(0)
0158 250 IF(M.HE.N)GO TO 1000

```



```

0239      XJH(I)=2.*BB*HI(I)**3/12.
0240      A=AMIN1(2.*BB,HI(I))
0241      B=AMAX1(2.*BB,HI(I))
0242      AUX=0.
0243      DO 50 J=1,101,2
0244      AUXO=J*3.141592*B/(2.*A)
0245      IF(AUXO.GT.85.)GOTO55
0246      AUX=AUX+SHP(AUXO)/(CHP(AUXO)*FLOAT(J)**5)
0247      50 CONTINUE
0248      55 XJT(I)=A*A*A*B/3.*(1.-192.*A*AUX/(B*3.141592**5))
0249      IF((1.LT.2).OR.(1.EQ.NS+2))XJT(I)=XJT(I)/2.
0250      100 CONTINUE
0251      END
0252      C-----
0253      C-----
0254      C-----      FONCTION SINUS HYPERBOLIQUE
0255      C-----      FUNCTION SHP(X)
0256      C-----      SHP=EXP(X)
0257      C-----      SHP=(SHP-1./SHP)/2
0258      C-----      END
0259      C-----
0260      C-----      FONCTION COSINUS HYPERBOLIQUE
0261      C-----      FUNCTION CHP(X)
0262      C-----      CHP=EXP(X)
0263      C-----      CHP=(CHP+1./CHP)/2.
0264      C-----      END
0265      C-----
0266      C-----      FONCTIONS CH DANS L'ENCASTREMENT
0267      C-----      C-----
0268      C-----      FUNCTION CH0(AM,GMA,RNU)
0269      C-----      CH0=(-(FM(GMA,RNU)*FM(GMA,RNU))/4.+FQ(GMA,RNU)*FO
0270      C-----      C(GMA,RNU))/(1.-RNU)*(1.-RNU))/AM
0271      C-----      END
0272      C-----
0273      C-----      FUNCTION CH2(AM,GMA,RNU)
0274      C-----      CH2=(FO(GMA,RNU)+FH(GMA,RNU)-FP(GMA,RNU)*FM
0275      C-----      C(GMA,RNU))/(2.*(1.-RNU)*CH0(AM,GMA,RNU))
0276      C-----      END
0277      C-----
0278      C-----      FUNCTION CH1(AM,GMA,RNU)
0279      C-----      CH1=(FM(GMA,RNU)*FM(GMA,RNU)/4.+FP(GMA,RNU)*FQ
0280      C-----      C(GMA,RNU))/(1.-RNU)*(1.-RNU))/(CH0(AM,GMA,RNU)*AM)
0281      C-----      END
0282      C-----
0283      C-----      FUNCTION CH3(AM,GMA,RNU)
0284      C-----      CH3=(FM(GMA,RNU)*FQ(GMA,RNU)-FR(GMA,RNU)*FM
0285      C-----      C(GMA,RNU))/(2.*AM*AM*(1.-RNU)*CH0(AM,GMA,RNU))
0286      C-----      END
0287      C-----
0288      C-----      FUNCTION CH4(AM,GMA,RNU)
0289      C-----      CH4=(FM(GMA,RNU)*FM(GMA,RNU)/4.+FO(GMA,RNU)*FR
0290      C-----      C(GMA,RNU))/(1.-RNU)*(1.-RNU))/(CH0(AM,GMA,RNU)*AM)
0291      C-----      END
0292      C-----
0293      C-----      FONCTIONS G,R,S,T(K,E,VERTICAL); IN,UN,KH,LN(FLEXION)
0294      C-----      C-----
0295      C-----      FUNCTION CIY(GN,RNU)
0296      C-----      CIY=((1.-RNU)*GH*SHP(GN)+2.*CHP(GN))/(3.+RNU)/2.*SHP
0297      C-----      C(2.*GN)-(1.-RNU)*GH)
0298      C-----      END
0299      C-----
0300      C-----      FUNCTION CJY(GN,RNU)
0301      C-----      CJY=((1.-RNU)*GH*CHP(GN)+2.*SHP(GN))/(3.+RNU)/2.*SHP
0302      C-----      C(2.*GN)+(1.-RNU)*GH)
0303      C-----      END
0304      C-----
0305      C-----      FUNCTION CKY(GN,RNU)
0306      C-----      CKY=(-(1.-RNU)*SHP(GN))/(3.+RNU)/2.*SHP(2.*GN)+(1.-RNU
0307      C-----      C)*GN)
0308      C-----      END
0309      C-----
0310      C-----      FUNCTION CLY(GN,RNU)
0311      C-----      CLY=(-(1.-RNU)*CHP(GN))/(3.+RNU)/2.*SHP(2.*GN)-(1.-RNU
0312      C-----      C)*GN)
0313      C-----      END
0314      C-----
0315      C-----      FUNCTION FQ(GN,RNU)
0316      C-----      FQ=CLY(GN,RNU)*CHP(GN)+CKY(GN,RNU)*SHP(GN)
0317      C-----      END
0318      C-----

```



```

0319      FUNCTION FR(GN,RNU)
0320      FR=-CLV(GN,RNU)*CHP(GN)+CKV(GN,RNU)*SHP(GN)
0321      END
0322      C-----      FONCTION FS=-FM      FONCTION FT=FN
0323      C-----
0324      C-----
0325      C-----      FONCTIONS M,N,O,P(MOMENT FLECHISSANT);IN,JN,KN,LN(FLEXION)
0326      C-----
0327      FUNCTION CIM(GN,RNU)
0328      CIM=((1.-RNU)*GN*CHP(GN)-(1.+RNU)*SHP(GN))/((3.+RNU)/2.*
0329      CSHP(2.*GN)-(1.-RNU)*GN)
0330      END
0331      C-----
0332      FUNCTION CJM(GN,RNU)
0333      CJM=((1.-RNU)*GN*SHP(GN)-(1.+RNU)*CHP(GN))/((3.+RNU)/2.*
0334      CSHP(2.*GN)+(1.-RNU)*GN)
0335      END
0336      C-----
0337      FUNCTION CKM(GN,RNU)
0338      CKM=-((1.-RNU)*CHP(GN))/((3.+RNU)/2.*SHP(2.*GN)+(1.-RNU)*GN)
0339      END
0340      C-----
0341      FUNCTION CLM(GN,RNU)
0342      CLM=-((1.-RNU)*SHP(GN))/((3.+RNU)/2.*SHP(2.*GN)-(1.-RNU)*GN)
0343      END
0344      C-----
0345      FUNCTION FM(GN,RNU)
0346      FM=(CIM(GN,RNU)+CKM(GN,RNU)*GN)*CHP(GN)+(CJM(GN,RNU)+CLM
0347      C(GN,RNU)*GN)*SHP(GN)
0348      END
0349      C-----
0350      FUNCTION FN(GN,RNU)
0351      FN=(CIM(GN,RNU)-CKM(GN,RNU)*GN)*CHP(GN)-(CJM(GN,RNU)-CLM
0352      C(GN,RNU)*GN)*SHP(GN)
0353      END
0354      C-----
0355      FUNCTION FO(GN,RNU)
0356      FO=CLM(GN,RNU)*SHP(GN)+CKM(GN,RNU)*CHP(GN)
0357      END
0358      C-----
0359      FUNCTION FP(GN,RNU)
0360      FP=CLM(GN,RNU)*SHP(GN)-CKM(GN,RNU)*CHP(GN)
0361      END
0362      C-----
0363      C-----      FONCTIONS I,J,K,L POUR L'EFFORT NORMAL
0364      C-----
0365      FUNCTION CIN(GN)
0366      CIN=-((SHP(GN)+GN*CHP(GN))/(SHP(2.*GN)+2.*GN)
0367      END
0368      C-----
0369      FUNCTION CLN(GN)
0370      CLN=SHP(GN)/(SHP(2.*GN)+2.*GN)
0371      END
0372      C-----
0373      FUNCTION CJN(GN)
0374      CJN=-((CHP(GN)+GN*SHP(GN))/(SHP(2.*GN)-2.*GN)
0375      END
0376      C-----
0377      FUNCTION CKN(GN)
0378      CKN=CHP(GN)/(SHP(2.*GN)-2.*GN)
0379      END
0380      C-----
0381      C-----      FONCTIONS E,F,G,H(E. TRANCHANT)
0382      C-----
0383      FUNCTION FE(GN)
0384      FE=2.*(CKT(GN)*SHP(GN)+CLT(GN)*CHP(GN))
0385      END
0386      C-----
0387      FUNCTION FE(GN)
0388      FE=2.*(CKT(GN)*SHP(GN)-CLT(GN)*CHP(GN))
0389      END
0390      C-----
0391      C-----      FONCTION FG=FA      FONCTION FH=-FB
0392      C-----
0393      C-----      FONCTIONS I,J,K,L POUR L'EFFORT TRANCHANT
0394      C-----
0395      FUNCTION CIT(GN)
0396      CIT=-GN*SHP(GN)/(SHP(2.*GN)+2.*GN)
0397      END
0398      C-----
0399      FUNCTION CUT(GN)

```

```
0399      CJT=-GN*CHP(GN)/(SHP(2.*GN)-2.*GN)
0400      END
0401  C----
0402      FUNCTION CKT(GN)
0403      CKT=SHP(GN)/(SHP(2.*GN)-2.*GN)
0404      END
0405  C----
0406      FUNCTION CLT(GN)
0407      CLT=CHP(GN)/(SHP(2.*GN)+2.*GN)
0408      END
0409      END$
```

SCP20 T=00003 IS ON CR00030 USING 00019 BLKS R=0000

```

0001      FTH4,B
0002 C-----DATE: 13/ 1/78
0003      PROGRAM CP20
0004 C*****
0005 C*
0006 C*          PROGRAMME POUR LA FORMATION DU SYSTEME D'EQUATIONS
0007 C*          (ZONES AVEC BOSSAGE-EFFORTS PLANS).
0008 C*
0009 C*****
0010 DIMENSION COEF(801),CC(7),JJ(7),XJ(16),XJN(15),XJT(15),JWO(6)
0011 C,IP(5),IJBUFF(1662)
0012 COMMON INAM(3),IG(5),ITIP,RLP,HI(15),HS,FRI(15),CB(15),
0013 CPI,RNU,ESP,EL,BB(7),FPT,XI(2,16),RK(3,15),LBUF(100),NNN
0014 C,IWO(6),KNAM(3)
0015 EQUIVALENCE(LBUF,IENT),(LBUF(2),I),(LBUF(3),J),(LBUF(4),M),
0016 C(LBUF(5),H),(LBUF(6),D),(LBUF(8),I0),(LBUF(9),IT1),
0017 C(LBUF(10),HN),(LBUF(11),IJ),(LBUF(12),AM),(LBUF(14),AN),
0018 C(LBUF(16),GMA),(LBUF(18),GNB),(LBUF(20),GNA),(LBUF(22),GNB),
0019 C(LBUF(24),JJ),(LBUF(32),CC),(LBUF(46),XJ),(LBUF(78),JWO),
0020 C(IJBUFF,XJN),(IJBUFF(31),XJT),(IJBUFF(61),COEF)
0021 C-----
0022 C-----      FONCTION INDIC
0023 C-----
0024 INDIC(N,IG,ID,HN)=HN*4*(IG-1)+HN*(ID-1)+N
0025 C-----
0026 C-----
0027 C-----      FONCTIONS A,B,C,D(E.NORMAL)
0028 C-----
0029 FA(GN,RNU)=2.*(CLN(GN)*CHP(GN)+CKN(GN)*SHP(GN))-(1.+RNU)
0030 C-----
0031 FB(GN)=2.*(CLN(GN)*CHP(GN)-CKN(GN)*SHP(GN))
0032 C-----
0033 FC(GN)=2.*(CKN(GN)*CHP(GN)+CLN(GN)*SHP(GN))
0034 C-----
0035 FD(GN)=2.*(CLN(GN)*SHP(GN)-CKN(GN)*CHP(GN))
0036 C-----
0037 C-----
0038 C-----
0039 C-----      ZONES AVEC BOSSAGE
0040 CALL RMPAR(IP)
0041 CALL RCOM(INAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0042 JWO(4)=JWO(2)
0043 JWO(5)=0
0044 JWO(6)=0
0045 CALL BUR(1,JWO,IJBUFF,1662)
0046 GOTO(500,600),J
0047 C-----      (V):(1)
0048 500  ASSIGN 530 TO ILB
0049      I1=1
0050 510  AUX=0
0051      DO 520 I2=1,NS+2
0052      AUX=0
0053      IF(I2.EQ.NS+2)GOTO516
0054      D0514 I3=I2+1,NS+2
0055      AUX0=AUX0+(RK(I1,I3)+RK(1,I3)-RK(I1,I3-1)-RK(1,I3-1))*0.5*
0056      CCOS(AM*XJ(I3))
0057 514  CONTINUE
0058 516  AUX0=AUX0*(1./AM)*(SIN(AM*XJ(I2+1))-SIN(AM*XJ(I2)))
0059      AUX=AUX0+(RK(I1,I2)+RK(1,I2))*0.5*PSI(AM,AN,M,N,XJ(I2+1)
0060 C,XJ(I2),2)+AUX0
0061 520  CONTINUE
0062      IF(I1.EQ.1)AUX1=AUX
0063      GO TO ILB
0064 530  AUX=AUX*2./(EL*AN)
0065      JJ(1)=INDIC(N,I1,1,NN)
0066      CC(1)=AUX*FC(GNA)*IJ
0067      JJ(2)=INDIC(N,I1-IJ,1,NN)
0068      CC(2)=AUX*FD(GNA)*IJ
0069      I1=2
0070  ASSIGN 540 TO ILB
0071      GO TO 510
0072 540  AUX=2.*AUX/(EL*AN)
0073      JJ(3)=INDIC(N,I1,2,NN)
0074      CC(3)=AUX*FA(GNA,RNU)
0075      JJ(4)=INDIC(N,I1-IJ,2,NN)
0076      CC(4)=-AUX*FB(GNA)
0077      AUX=AUX1
0078 550  JJ(5)=-1

```

```

0079      CC(5)=2.*AUX*FPP(N,NS,HI,CB,FRI,XJ,RNU,ESP,RLP,FPT,BB(I))*
0080      C(FC(GNA)+FD(GNA))/(EL*AN)*IJ
0081      GO TO 1000
0082 C----- (U):(1)
0083 600  ASSIGN 650 TO ILB
0084      I1=1
0085 610  AUX=0.
0086      DO 640 I2=1,NS+2
0087      AUX0=0.
0088      IF(I2.EQ.1)GO TO 625
0089      DO 620 I3=2,I2
0090      AUX0=AUX0+(RK(I1,I3-1)+RK(2,I3-1)-RK(I1,I3)-RK(2,I3))*0.5*
0091      CSIN(AM*XJ(I3))
0092      CONTINUE
0093 625  AUX0=AUX0*(-1./AM)*(COS(AM*XJ(I2+1))-COS(AM*XJ(I2)))
0094      AUX=AUX+(RK(I1,I2)+RK(2,I2))*0.5*PSI(AM,AN,M,N,XJ(I2+1),
0095      CXJ(I2),1)+AUX0
0096 640  CONTINUE
0097      IF(I1.EQ.1)AUX1=AUX
0098      GO TO ILB
0099 650  AUX=AUX*2./(EL*AN)
0100      JJ(1)=INDIC(N,I,1,NN)
0101      CC(1)=AUX*FA(GNA,RNU)
0102      JJ(2)=INDIC(N,I-IJ,1,NN)
0103      CC(2)=AUX*FB(GNA)
0104      I1=2
0105      ASSIGN 660 TO ILB
0106      GO TO 610
0107 660  AUX=AUX*2./(EL*AN)
0108      JJ(3)=INDIC(N,I,2,NN)
0109      CC(3)=AUX*FE(GNA)*IJ
0110      JJ(4)=INDIC(N,I-IJ,2,NN)
0111      CC(4)=AUX*FF(GNA)*IJ
0112      AUX=0.
0113      DO 670 I2=1,NS+2
0114      AUX=AUX+CU1(I2,AM,HI,XJN,ESP,XJ)*(-1./AM)*(COS(AM*XJ(I2+1)
0115      C)-COS(AM*XJ(I2)))
0116      AUX=AUX+CU2(I2,HI,XJN,ESP)*PSI(AM,AN,M,N,XJ(I2+1),XJ(I2),1)
0117 670  CONTINUE
0118      AUX=AUX/(EL*AN*AN*AN)
0119      JJ(5)=INDIC(N,I,4,NN)
0120      CC(5)=AUX*IJ
0121      JJ(6)=INDIC(N,I-IJ,4,NN)
0122      CC(6)=-AUX*IJ
0123      JJ(7)=-1
0124      AUX=AUX1
0125 680  CC(7)=2.*AUX*FPP(N,NS,HI,CB,FRI,XJ,RNU,ESP,RLP,FPT,BB(I))*
0126      C(FA(GNA,RNU)+FB(GNA))/(EL*AN)
0127      IF(N.EQ.1)GO TO 1000
0128      AUX=0.
0129      DO 690 I2=1,NS+1
0130      C1=COS(AM*XJ(I2))
0131      C2=COS(AM*XJ(I2+1))
0132      AUX=AUX+CU3(I2,HI,FRI,CB,ESP,XJ)*(-1./AM)*(C2-
0133      CC1)
0134      AUX=AUX+CU4(I2,HI,FRI,CB,ESP)*(1./AM)*(-XJ
0135      C(I2+1)*C2+SIN(AM*XJ(I2+1))/AM+XJ(I2)*C1
0136      C-SIN(AM*XJ(I2))/AM)
0137 690  CONTINUE
0138      AUX=AUX+CU5(NS,HI,FRI,CB,ESP,XJ)*(-1./AM)*(COS(AM*XJ(NS+3))-
0139      CCOS(AM*XJ(NS+2)))
0140      CC(7)=CC(7)-2.*FPT*(1.-RNU*RNU)/(EL*2.*BB(I))*AUX
0141 C-----
0142 C-----
0143 1000  IENT=2
0144      INAM(2)=2HC2
0145      JWO(4)=JWG(2)
0146      JWO(5)=0
0147      JWO(6)=0
0148      CALL BWR(2,JWO,IJBUF,1662)
0149      CALL MCOM(INAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0150      CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3),IP(4))
0151      END
0152 C-----
0153 C-----
0154 C-----
0155 C-----
0156 C-----
0157      FONCTION SINUS HYPERBOLIQUE
0158      FUNCTION SHP(X)
0159      SHP=EXP(X)

```

```

0159      SHP=(SHP-1./SHP)/2.
0160      END
0161      C-----
0162      C-----      FONCTION COSINUS HYPERBOLIQUE
0163      FUNCTION CHP(X)
0164      CHP=EXP(X)
0165      CHP=(CHP+1./CHP)/2.
0166      END
0167      C-----
0168      C-----      FONCTIONS I, J, K, L POUR L'EFFORT NORMAL
0169      C-----
0170      FUNCTION CIN(GN)
0171      CIN=-(SHP(GN)+GN*CHP(GN))/(SHP(2.*GN)+2.*GN)
0172      END
0173      C-----
0174      FUNCTION CLN(GN)
0175      CLN=SHP(GN)/(SHP(2.*GN)+2.*GN)
0176      END
0177      C-----
0178      FUNCTION CJN(GN)
0179      CJN=-(CHP(GN)+GN*SHP(GN))/(SHP(2.*GN)-2.*GN)
0180      END
0181      C-----
0182      FUNCTION CKN(GN)
0183      CKN=CHP(GN)/(SHP(2.*GN)-2.*GN)
0184      END
0185      C-----
0186      C-----      FONCTIONS E, F, G, H (E. TRANCHANT)
0187      C-----
0188      FUNCTION FE(GN)
0189      FE=2.*(CKT(GN)*SHP(GN)+CLT(GN)*CHP(GN))
0190      END
0191      C-----
0192      FUNCTION FF(GN)
0193      FF=2.*(CKT(GN)*SHP(GN)-CLT(GN)*CHP(GN))
0194      END
0195      C-----      FONCTION FG=FA      FONCTION FH=-FB
0196      C-----
0197      C-----      FONCTIONS I, J, K, L POUR L'EFFORT TRANCHANT
0198      C-----
0199      FUNCTION CIT(GN)
0200      CIT=-GN*SHP(GN)/(SHP(2.*GN)+2.*GN)
0201      END
0202      C-----
0203      FUNCTION CJT(GN)
0204      CJT=-GN*CHP(GN)/(SHP(2.*GN)-2.*GN)
0205      END
0206      C-----
0207      FUNCTION CKT(GN)
0208      CKT=SHP(GN)/(SHP(2.*GN)-2.*GN)
0209      END
0210      C-----
0211      FUNCTION CLT(GN)
0212      CLT=CHP(GN)/(SHP(2.*GN)+2.*GN)
0213      END
0214      C-----
0215      C-----      FONCTIONS CONCERNANT LE BOSSAGE
0216      C-----
0217      C-----      FONCTIONS U (E. TRANCHANT ET E. VERTICAL)
0218      C-----
0219      FUNCTION CW2(NP, AN, HI, XIN, ESP, XI, ICOD)
0220      DIMENSION HI(1), XIN(1), XI(1)
0221      CW2=-RO(NP, HI, ESP, XIN, ICOD)*SIN(AN*XI(NP))
0222      IF(NP.EQ.1)RETURN
0223      DO 10 I=1, NP-1
0224      AUX=SIN(AN*XI(I+1))-SIN(AN*XI(I))
0225      CW2=CW2+AUX*RO(I, HI, ESP, XIN, ICOD)
0226      10 CONTINUE
0227      END
0228      C-----
0229      FUNCTION RO(I, HI, ESP, XIN, ICOD)
0230      DIMENSION HI(1), XIN(1)
0231      RO=1./XIN(I)
0232      IF(ICOD.EQ.1)RO=RO*(HI(I)-ESP)
0233      END
0234      C-----
0235      C-----      FONCTIONS U (E. VERTICAL)
0236      C-----
0237      FUNCTION CU1(NP, AN, HI, XIN, ESP, XI)
0238      DIMENSION HI(1), XI(1), XIN(1)

```

```

0239      CU1=CM2(NP,AN,HI,XIN,ESP,XI,1)
0240      END
0241      C-----
0242      FUNCTION CU2(NP,HI,XIN,ESP)
0243      DIMENSION HI(1),XIN(1)
0244      CU2=ROR(NP,HI,ESP,XIN,1)
0245      END
0246      C-----
0247      C-----      FONCTIONS (U) CONCERNANT LA PRECONTRAINTE
0248      C-----
0249      FUNCTION CU3(NP,HI,FR,CB,ESP,XI)
0250      DIMENSION HI(1),FR(1),CB(1),XI(1)
0251      CU3=-ROR(NP,HI,FR,CB,ESP)*XI(NP)
0252      IF(NP.EQ.1)RETURN
0253      DO 10 I=1,NP-1
0254      CU3=CU3+ROR(I,HI,FR,CB,ESP)*(XI(I+1)-XI(I))
0255      CONTINUE
0256      END
0257      C-----
0258      FUNCTION CU4(NP,HI,FR,CB,ESP)
0259      DIMENSION HI(1),FR(1),CB(1)
0260      CU4=ROR(NP,HI,FR,CB,ESP)
0261      END
0262      C-----
0263      FUNCTION ROR(I,HI,FR,CB,ESP)
0264      DIMENSION HI(1),FR(1),CB(1)
0265      ROR=CB(I)/HI(I)*(1.-6.*FR(I)/HI(I)*(1.-ESP/HI(I)))
0266      END
0267      C-----
0268      FUNCTION CU5(NS,HI,FR,CB,ESP,XI)
0269      DIMENSION HI(1),FR(1),CB(1),XI(1)
0270      CU5=0.
0271      DO 10 I=1,NS+1
0272      CU5=CU5+ROR(I,HI,FR,CB,ESP)*(XI(I+1)-XI(I))
0273      CONTINUE
0274      END
0275      C-----
0276      C-----      FONCTION PSI
0277      C-----
0278      FUNCTION PSI(AM,AN,M,N,XB,XA,ICOD)
0279      AUX=0.
0280      AUX0=XB
0281      DO 200 J=1,-1,-2
0282      IF(ICOD.EQ.2)GO TO 100
0283      IF(M.EQ.N)GO TO 50
0284      AUX=AUX+J*(AM*COS(AM*AUX0)*SIN(AM*AUX0)-AM*COS(AM*AUX0)*SIN
0285      C(AM*AUX0))/(AM*AM-AN*AN)
0286      GO TO 180
0287      50  AUX=AUX+J*(AUX0/2.-SIN(2.*AM*AUX0)/(4.*AM))
0288      GO TO 190
0289      100  IF(M.EQ.N)GO TO 150
0290      AUX=AUX+J*(AM*COS(AM*AUX0)*SIN(AM*AUX0)-AM*COS(AM*AUX0)*SIN
0291      C(AM*AUX0))/(AM*AM-AN*AN)
0292      GO TO 180
0293      150  AUX=AUX+J*(AUX0/2.+SIN(2.*AM*AUX0)/(4.*AM))
0294      180  AUX0=XA
0295      200  CONTINUE
0296      PSI=AUX
0297      END
0298      C-----
0299      C-----      FONCTION REACTION(POISSON) SUR LE BOSSAGE
0300      C-----
0301      FUNCTION FPP(H,NS,HI,CB,FR,XI,RNU,ESP,RLP,FT,BB)
0302      DIMENSION HI(1),CB(1),FR(1),XI(1)
0303      FPP=0
0304      AUX=(2*N-1)*3.141592/(2.*RLP)
0305      DO 10 I=1,NS+1
0306      FPP=FPP+ROR(I,HI,FR,CB,ESP)*(SIN(AUX*XI(I+1))-SIN(AUX*XI(I)))
0307      CONTINUE
0308      FPP=FPP*4.*FT/(2.*BB*(2*N-1)*3.141592)*RNU
0309      END
0310      C-----
0311      END$

```

SCP21 T=00003 IS ON CR00020 USING 00023 BLKS R=0000

```

0001      FTH4,B
0002 C-----DATE: 13/ 1/78
0003      PROGRAM CP21
0004 C*****
0005 C*
0006 C*          PROGRAMME POUR LA FORMATION DU SYSTEME D'EQUATIONS
0007 C*          (ZONES AVEC BOSSAGE-EFFORTS DE FLEXION).
0008 C*
0009 C*****
0010      DIMENSION COEF(801),CC(7),JJ(7),XJ(16),XJN(15),XJT(15),JWO(6)
0011      C,IP(5),IJBUFF(1662)
0012      COMMON INAM(3),IGO(5),ITIP,RLP,HI(15),HS,FRI(15),CB(15),
0013      CPI,RNU,ESP,EL,BB(7),FPT,XI(2,16),RK(3,15),LBUF(100),NNN
0014      C,IWO(6),KNAM(3)
0015      EQUIVALENCE(LBUF,IENT),(LBUF(2),I),(LBUF(3),J),(LBUF(4),M),
0016      (LBUF(5),N),(LBUF(6),D),(LBUF(8),I0),(LBUF(9),IT1),
0017      (LBUF(10),NN),(LBUF(11),IJ),(LBUF(12),AM),(LBUF(14),AN),
0018      (LBUF(16),GMA),(LBUF(18),GMB),(LBUF(20),GNA),(LBUF(22),GNB),
0019      (LBUF(24),JJ),(LBUF(32),CC),(LBUF(46),XJ),(LBUF(78),JWO),
0020      (IJBUFF,XJN),(IJBUFF(31),XJT),(IJBUFF(61),COEF)
0021 C-----
0022 C-----      FONCTION INDIC
0023 C-----
0024      INDIC(N,IG,ID,NN)=NN*4*(IG-1)+NN*(ID-1)+N
0025 C-----
0026 C-----      FONCTIONS M,H,O,P(MOMENT FLECHISSANT);IH,JN,KN,LH(FLEXION)
0027 C-----
0028 C-----
0029      CIM(GN,RNU)=((1.-RNU)*GN*CHP(GN)-(1.+RNU)*SHP(GN))/((3.+RNU)/2.*
0030      CSHP(2.*GN)-(1.-RNU)*GN)
0031 C-----
0032      CJM(GN,RNU)=((1.-RNU)*GN*SHP(GN)-(1.+RNU)*CHP(GN))/((3.+RNU)/2.*
0033      CSHP(2.*GN)+(1.-RNU)*GN)
0034 C-----
0035      CKM(GN,RNU)=-((1.-RNU)*CHP(GN))/((3.+RNU)/2.*SHP(2.*GN)+(1.-RNU)*GN)
0036 C-----
0037      CLM(GN,RNU)=-((1.-RNU)*SHP(GN))/((3.+RNU)/2.*SHP(2.*GN)-(1.-RNU)*GN)
0038 C-----
0039      FM(GN,RNU)=(CIM(GN,RNU)+CKM(GN,RNU)*GN)*CHP(GN)+(CJM(GN,RNU)
0040      C+CLM(GN,RNU)*GN)*SHP(GN)
0041 C-----
0042      FN(GN,RNU)=(CIM(GN,RNU)-CKM(GN,RNU)*GN)*CHP(GN)-
0043      C(CJM(GN,RNU)-CLM(GN,RNU)*GN)*SHP(GN)
0044 C-----
0045      FO(GN,RNU)=CLM(GN,RNU)*SHP(GN)+CKM(GN,RNU)*CHP(GN)
0046 C-----
0047      FP(GN,RNU)=CLM(GN,RNU)*SHP(GN)-CKM(GN,RNU)*CHP(GN)
0048 C-----
0049      ZONES AVEC BOSSAGE
0050      CALL RMPAR(IP)
0051      CALL RCOA(INAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0052      JWO(4)=JWO(2)
0053      JWO(5)=0
0054      JWO(6)=0
0055      CALL BUR(1,JWO,IJBUFF,1662)
0056      GOTO(700,800),J-2
0057 C-----      (F1)      (1)
0058      700      I4=3
0059      ASSIGN 710 TO ILB
0060      GOTO802
0061      710      AUX=AUX+(FO(GNA,RNU)+FP(GNA,RNU))/(D*AN*(1.-RNU)*2)
0062      JJ(1)=INDIC(N,I,3,NN)
0063      JJ(2)=INDIC(N,I-IJ,3,NN)
0064      CC(1)=AUX*IJ
0065      CC(2)=AUX*IJ
0066      ASSIGN 740 TO ILB
0067      720      AUX=0.
0068      DO 730 I2=1,NS+2
0069      AUX=AUX+(CFI0(NS,AN,HI,XJT,ESP,XJ)+CFI1(I2,AN,HI,XJT,ESP,XJ))
0070      C*(1./AN)*(SIN(AM*XJ(I2+1))-SIN(AM*XJ(I2)))
0071      730      AUX=AUX+CFI2(I2,AN,HI,XJT,ESP)*PSI(AM,AN,M,N,XJ(I2+1),XJ(I2),2)
0072      CONTINUE
0073      GO TO ILB
0074      740      AUX=AUX*2.*2.*(1.+RNU)/(EL*AN*AN)
0075      CC(1)=CC(1)-AUX*IJ
0076      CC(2)=CC(2)+AUX*IJ
0077      JJ(3)=INDIC(N,I,4,NN)
0078      JJ(4)=INDIC(N,I-IJ,4,NN)
0079      AUX=AUX*BB(I)

```

```

0079 CC(3)=AUX
0080 CC(4)=AUX
0081 ASSIGN 750 TO ILB1
0082 GOTO 801
0083 750 CC(3)=CC(3)-AUX
0084 CC(4)=CC(4)+AUX
0085 GO TO 1000
0086 C---- (W);(1)
0087 800 ASSIGN 827 TO ILB1
0088 801 ASSIGN 826 TO ILB
0089 I4=4
0090 802 AUX=0.
0091 DO 825 I2=1,NS+2
0092 IF(14.NE.4)AUX2=RK(14,I2)
0093 IF(14.EQ.4)AUX2=XJN(1)/XJN(I2)
0094 AUX0=0.
0095 IF(12.EQ.NS+2)GO TO 820
0096 AUX3=AUX2
0097 DO 815 I3=I2+1,NS+2
0098 IF(14.NE.4)AUX1=RK(14,I3)
0099 IF(14.EQ.4)AUX1=XJN(1)/XJN(I3)
0100 AUX0=AUX0+(RK(3,I3)+AUX1-RK(3,I3-1)-AUX3)*0.5*COS(AM*XJ(I3))
0101 AUX3=AUX1
0102 815 CONTINUE
0103 820 AUX0=AUX0*(1./AM)*(SIN(AM*XJ(I2+1))-SIN(AM*XJ(I2)))
0104 AUX=AUX+(RK(3,I2)+AUX2)*0.5*PSI(AM,AM,M,N,XJ(I2+1),
0105 CXJ(I2),2)+AUX0
0106 825 CONTINUE
0107 GOTO ILB
0108 826 AUX=AUX*(FM(GNA,RNU)+FN(GNA,RNU))/(2.*D*(1.-RNU)*AN*AN)
0109 GOTO ILB1
0110 827 JJ(1)=INDIC(N,I,3,NN)
0111 JJ(2)=INDIC(N,I-IJ,3,NN)
0112 CC(1)=AUX
0113 CC(2)=AUX
0114 ASSIGN 830 TO ILB
0115 GO TO 720
0116 830 AUX=AUX*2.*2.*(1.+RNU)*BB(I)/(EL*AN*AN)
0117 CC(1)=CC(1)-AUX
0118 CC(2)=CC(2)+AUX
0119 AUX0=AUX
0120 I3=2
0121 ASSIGN 850 TO ILB
0122 835 AUX=0.
0123 DO 840 I2=1,NS+2
0124 S1=SIN(AM*XJ(I2))
0125 S2=SIN(AM*XJ(I2+1))
0126 AUX=AUX+(CW0(NS,AN,HI,XJN,ESP,XJ,RLP,I3)+CW1(I2,AN,HI,
0127 CXJN,ESP,XJ,I3))*(1./AM)*(S2-S1)
0128 AUX=AUX+CW2(I2,AN,HI,XJN,ESP,XJ,I3)*(1./AM)*(XJ(I2+1)*
0129 CS2+COS(AM*XJ(I2+1))/AM-XJ(I2)*S1-
0130 CCOS(AM*XJ(I2))/AM)
0131 AUX=AUX+CW3(I2,AN,HI,XJN,ESP,I3)*PSI(AM,AM,M,N,XJ(I2+1),XJ(I2),2)
0132 840 CONTINUE
0133 GO TO ILB
0134 850 JJ(3)=INDIC(N,I,4,NN)
0135 JJ(4)=INDIC(N,I-IJ,4,NN)
0136 AUX=-2.*AUX/(EL*AN*AN*AN)
0137 CC(3)=AUX*IJ
0138 CC(4)=-AUX*IJ
0139 AUX=AUX0*BB(I)
0140 CC(3)=CC(3)+AUX*IJ
0141 CC(4)=CC(4)+AUX*IJ
0142 I3=1
0143 ASSIGN 870 TO ILB
0144 GO TO 835
0145 870 JJ(5)=INDIC(N,I,2,NN)
0146 JJ(6)=INDIC(N,I-IJ,2,NN)
0147 AUX=AUX*(-ESP)/(EL*AN*AN)
0148 CC(5)=AUX*IJ
0149 CC(6)=-AUX*IJ
0150 IF(N.NE.1)GO TO 1000
0151 JJ(7)=-1
0152 AUX=0.
0153 DO 880 I2=1,NS+1
0154 S1=SIN(AM*XJ(I2))
0155 S2=SIN(AM*XJ(I2+1))
0156 C1=COS(AM*XJ(I2))
0157 C2=COS(AM*XJ(I2+1))
0158 AUX=AUX+(CW4(NS,FRI,CB,XJN,XJ,RLP)+CW5(I2,FRI,CB,XJN,XJ))

```



```

0159 C*(1./AM)*(S2-S1)
0160 AUX=AUX+CW6(I2,FRI,CB,XJN,XJ)*(1./AM)*(XJ(I2+1)*S2
0161 C+C2/AM-XJ(I2)*S1-C1/AM)
0162 AUX=AUX+CW7(I2,FRI,CB,XJN)*(1./AM)*(XJ(I2+1)**2*S2
0163 C+2.*XJ(I2+1)*C2/AM-2.*S2/(AM*AM)
0164 C-XJ(I2)**2*S1-2.*XJ(I2)*C1/AM+
0165 C2.*S1/(AM*AM))
0166 880 CONTINUE
0167 S1=SIN(AM*XJ(NS+2))
0168 S2=SIN(AM*XJ(NS+3))
0169 AUX=AUX+(CW4(NS,FRI,CB,XJN,XJ,RLP)+CW8(NS,FRI,CB,XJN,XJ))*
0170 C*(1./AM)*(S2-S1)
0171 AUX=AUX+CW9(NS,FRI,CB,XJN,XJ)*(1./AM)*(XJ(NS+3)*S2
0172 C+C3/(AM*XJ(NS+3))/AM-XJ(NS+2)*S1-C3/(AM*XJ(NS+2))
0173 C/AM)
0174 CC(7)=-2.*FPT/EL*AUX
0175 C-----
0176 C-----
0177 1000 IENT=2
0178 INAM(2)=2HC2
0179 JWO(4)=JWO(2)
0180 JWO(5)=0
0181 JWO(6)=0
0182 CALL BUR(2,JWO,IJBUF,1662)
0183 CALL MCOM(INAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0184 CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3),IP(4))
0185 END
0186 C-----
0187 C-----
0188 C-----
0189 C-----
0190 C-----
0191 C-----
0192 C-----
0193 FUNCTION CW1(NP,AM,HI,XIN,ESP,XI,ICOD)
0194 DIMENSION HI(1),XIN(1),XI(1)
0195 CW1=RO(NP,HI,ESP,XIN,ICOD)*(XI(NP)*SIN(AM*XI(NP))+COS(AM*
0196 CXI(NP))/AM)
0197 IF(NP.EQ.1)RETURN
0198 DO 10 I=1,NP-1
0199 AUX=0.
0200 K=1
0201 DO 5 J=1,0,-1
0202 AUX=AUX+K*(XI(I+J)*SIN(AM*XI(I+J))+COS(AM*XI(I+J))/AM)
0203 K=-1
0204 CW1=CW1-AUX*RO(I,HI,ESP,XIN,ICOD)
0205 10 CONTINUE
0206 END
0207 C-----
0208 FUNCTION CW2(NP,AM,HI,XIN,ESP,XI,ICOD)
0209 DIMENSION HI(1),XIN(1),XI(1)
0210 CW2=-RO(NP,HI,ESP,XIN,ICOD)*SIN(AM*XI(NP))
0211 IF(NP.EQ.1)RETURN
0212 DO 10 I=1,NP-1
0213 AUX=SIN(AM*XI(I+1))-SIN(AM*XI(I))
0214 CW2=CW2+AUX*RO(I,HI,ESP,XIN,ICOD)
0215 10 CONTINUE
0216 END
0217 C-----
0218 FUNCTION CW3(NP,AM,HI,XIN,ESP,ICOD)
0219 DIMENSION HI(1),XIN(1)
0220 CW3=-RO(NP,HI,ESP,XIN,ICOD)/AM
0221 END
0222 C-----
0223 FUNCTION CW0(NS,AM,HI,XIN,ESP,XI,RLP,ICOD)
0224 DIMENSION HI(1),XIN(1),XI(1)
0225 CW0=-(CW1(NS+2,AM,HI,XIN,ESP,XI,ICOD)+CW2(NS+2,AM,HI,XIN,ESP,
0226 CXI,ICOD)*RLP)
0227 END
0228 C-----
0229 FUNCTION RO(I,HI,ESP,XIN,ICOD)
0230 DIMENSION HI(1),XIN(1)
0231 RO=1./XIN(I)
0232 IF(ICOD.EQ.1)RO=RO*(HI(I)-ESP)
0233 END
0234 C-----
0235 C-----
0236 C-----
0237 C-----
0238 FUNCTION CFI1(NP,AM,HI,XIT,ESP,XI)
0239 DIMENSION HI(1),XIT(1),XI(1)

```

```

0239      CFI1=-RO(NP,HI,ESP,XIT,2)*COS(AN*XI(NP))
0240      IF(NP.EQ.1)RETURN
0241      DO 10 I=1,NP-1
0242      AUX=COS(AN*XI(I+1))-COS(AN*XI(I))
0243      CFI1=CFI1+AUX*RO(I,HI,ESP,XIT,2)
0244      10  CONTINUE
0245      END
0246      C----
0247      FUNCTION CF12(NP,AN,HI,XIT,ESP)
0248      DIMENSION HI(1),XIT(1)
0249      CFI2=RO(NP,HI,ESP,XIT,2)
0250      END
0251      C----
0252      FUNCTION CF10(NS,AN,HI,XIT,ESP,XI)
0253      DIMENSION HI(1),XIT(1),XI(1)
0254      CF10=-CFI1(NS+2,AN,HI,XIT,ESP,XI)
0255      END
0256      C----
0257      C----
0258      C----
0259      FUNCTION ROP(I,FR,CB,XIN)
0260      DIMENSION FR(1),CB(1),XIN(1)
0261      ROP=FR(I)*CB(I)/XIN(I)
0262      END
0263      C----
0264      FUNCTION CW5(NP,FR,CB,XIN,XI)
0265      DIMENSION FR(1),CB(1),XIN(1),XI(1)
0266      CW5=ROP(NP,FR,CB,XIN)*XI(NP)**2/2.
0267      IF(NP.EQ.1)RETURN
0268      DO 10 I=1,NP-1
0269      CW5=CW5-ROP(I,FR,CB,XIN)/2.*(XI(I+1)**2-XI(I)**2)
0270      10  CONTINUE
0271      END
0272      C----
0273      FUNCTION CW6(NP,FR,CB,XIN,XI)
0274      DIMENSION FR(1),CB(1),XIN(1),XI(1)
0275      CW6=-ROP(NP,FR,CB,XIN)*XI(NP)
0276      IF(NP.EQ.1)RETURN
0277      DO 10 I=1,NP-1
0278      CW6=CW6+ROP(I,FR,CB,XIN)*(XI(I+1)-XI(I))
0279      10  CONTINUE
0280      END
0281      C----
0282      FUNCTION CW7(NP,FR,CB,XIN)
0283      DIMENSION FR(1),CB(1),XIN(1)
0284      CW7=ROP(NP,FR,CB,XIN)/2.
0285      END
0286      C----
0287      FUNCTION CW8(NS,FR,CB,XIN,XI)
0288      DIMENSION FR(1),CB(1),XIN(1),XI(1)
0289      CW8=0.
0290      RL1=XI(NS+2)
0291      DO 10 I=1,NS+1
0292      AUX=0.
0293      K=1
0294      DO 5 J=1,0,-1
0295      AUX=AUX+K*(RL1*XI(I+J)-XI(I+J)**2/2.)
0296      5   K=-1
0297      CW8=CW8+ROP(I,FR,CB,XIN)*(AUX-RL1*(XI(I+1)-XI(I)))
0298      10  CONTINUE
0299      END
0300      C----
0301      FUNCTION CW9(NS,FR,CB,XIN,XI)
0302      DIMENSION FR(1),CB(1),XIN(1),XI(1)
0303      CW9=0.
0304      DO 10 I=1,NS+1
0305      CW9=CW9+ROP(I,FR,CB,XIN)*(XI(I+1)-XI(I))
0306      10  CONTINUE
0307      END
0308      C----
0309      FUNCTION CW4(NS,FR,CB,XIN,XI,RLP)
0310      DIMENSION FR(1),CB(1),XIN(1),XI(1)
0311      CW4=-(CW8(NS,FR,CB,XIN,XI)+CW9(NS,FR,CB,XIN,XI)*RLP)
0312      END
0313      C----
0314      C----
0315      C----
0316      FUNCTION PSI(AM,AN,M,N,XB,XA,ICOD)
0317      AUX=0.
0318      AUX0=XB

```

```

0319      DO 200 J=1,-1,-2
0320      IF(I COD.EQ.2)GO TO 100
0321      IF(M.EQ.N)GO TO 50
0322      AUX=AUX+J*(AM*COS(AM*AUXO)*SIN(AM*AUXO)-AM*COS(AM*AUXO)*SIN
0323      C(AM*AUXO))/(AM*AM-AM*AM)
0324      GO TO 180
0325      50  AUX=AUX+J*(AUXO/2.-SIN(2.*AM*AUXO)/(4.*AM))
0326      GO TO 180
0327      100 IF(M.EQ.N)GO TO 150
0328      AUX=AUX+J*(AM*COS(AM*AUXO)*SIN(AM*AUXO)-AM*COS(AM*AUXO)*SIN
0329      C(AM*AUXO))/(AM*AM-AM*AM)
0330      GO TO 180
0331      150 AUX=AUX+J*(AUXO/2.+SIN(2.*AM*AUXO)/(4.*AM))
0332      180 AUXO=XA
0333      200 CONTINUE
0334      PSI=AUX
0335      END
0336      C-----
0337      C-----      FONCTION SINUS HYPERBOLIQUE
0338      FUNCTION SHP(X)
0339      SHP=EXP(X)
0340      SHP=(SHP-1./SHP)/2.
0341      END
0342      C-----
0343      C-----      FONCTION COSINUS HYPERBOLIQUE
0344      FUNCTION CHP(X)
0345      CHP=EXP(X)
0346      CHP=(CHP+1./CHP)/2.
0347      END
0348      C-----
0349      C-----
0350      END$

```

SCPC3 T=00004 IS ON CR00030 USING 00017 BLKS R=0140

```

0001      FTN4,B
0002 C---- DATE: 28/ 6/78
0003      PROGRAM CPC3
0004 C*****
0005 C*      PROGRAMME POUR LA RESOLUTION DE L'EQUATION
0006 C*      (METHODE DE SURRELAXATION).
0007 C*
0008 C*****
0009      DIMENSION COEF(801),IP(5),IHEUR(5),RBUF(810)
0010      COMMON INAM(3),IGO(5),ITIP,RLP,HI(15),NS,FRI(15),CB(15),
0011      CPI,RNU,ESP,EL,BB(7),FPT,XI(2,16),RK(3,15),LBUF(100),MNN
0012      C,IWO(6),KNAM(3)
0013      DATA RELAX/1.10/
0014 C----
0015      CALL RMPAR(IP)
0016      CALL RCOM(INAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0017 C---- SORTIE DES COEFFICIENTS DES EQUATIONS
0018      CALL EXEC(11,IHEUR)
0019      LU1=IGO(2)
0020      WRITE(LU1,30)(IHEUR(IJ),IJ=4,2,-1)
0021 30      FORMAT(5//X"HEURES" : "15//X"MINUTES : "15//X"SECONDES: "15,5/)
0022      NN=MNN
0023      NT=4*NN*ITIP
0024 C!!!! POUR EVITER LA SORTIE DES EQUATIONS
0025      GOTO101
0026 C!!!!
0027 35      IWO(4)=IWO(1)
0028           IWO(5)=0
0029           IWO(6)=0
0030           DO 100 I=1,NT
0031              CALL BWR(1,IWO,COEF,2*(NT+1))
0032              WRITE(LU1,50)I,(COEF(J),J=1,NT+1)
0033 50      FORMAT(//X"EQUATION"13": "81(//,10E12.4))
0034 100      CONTINUE
0035 C----- RESOLUTION DU SYSTEME D'EQUATIONS
0036 C-----
0037 C----- INITIALISATION DU VECTEUR SOLUTION ET D'AUTRES VARIABLES
0038 C-----
0039 101      DO110 I=1,NT
0040 110      COEF(I)=0.
0041 C-----
0042      TOLER=1.E-05
0043 C-----
0044      CALL EXEC(11,IHEUR)
0045      WRITE(LU1,30)(IHEUR(IJ),IJ=4,2,-1)
0046      WRITE(LU1,120)RELAX
0047 120      FORMAT(5//X"F. RELAXATION INITIAL: "F10.4,3/)
0048      MM=810/(NT+1)
0049 C---- COMMENCEMENT DES ITERATIONS
0050      LL=0
0051      DO 1000 I=1,1000
0052          SUM=0.
0053          SUMD=0.
0054          RV=0.
0055          IWO(4)=IWO(1)
0056          IWO(5)=0
0057          IWO(6)=0
0058          IO=0
0059 C----- "DO" EQUATIONS
0060      DO800 J=1,NT
0061          IF(MOD(J-1,MM).NE.0)GOTO300
0062 C----- CHAQUE "MM" EQUATIONS ON LIT LES VALEURS DES COEFFICIENTS
0063 C----- QUI SONT STOCKES DANS L'AIRE DU TRAVAIL DU DISQUE
0064          KO=(NT+1)*MINO(MM,NT-IO)
0065          IO=IO+MM
0066          CALL BWR(1,IWO,RBUF,2*KO)
0067          K=0
0068 C----- OBTENTION DES RESIDUS
0069 300      FR=RBUF(K+NT+1)
0070          JO=MOD(J-1,MM*4)+1
0071          MO=1
0072          IF(JO.LE.2*MM)MO=2*MM+1
0073          M1=MM-1
0074          IF((JO.LE.MM).OR.((JO.LE.3*MM).AND.(JO.GT.2*MM)))M1=2*MM-1
0075          DO 400 M=1,NT
0076          IF(M.EQ.J)GOTO400
0077          IF(MOD(M-1,4*MM)+1.NE.MO)GOTO310
0078          M=M+M1

```

```

0079      GOTO 400
0080      310  FR=FR-RBUF(K+M)*COEF(M)
0081      400  CONTINUE
0082          IF(RBUF(K+J).EQ.0.)STOP 3333
0083          DX=FR/RBUF(K+J)-COEF(J)
0084          COEF(J)=COEF(J)+RELAX*DX
0085          SUM=SUM+ABS(DX)
0086          SUMD=SUMD+ABS(COEF(J))
0087          RV=RV+DX*DX
0088          K=K+NT+1
0089      800  CONTINUE
0090          RV=SQRT(RV)
0091          IF(LL.NE.0)GOTO 850
0092          LL=1
0093          RL=10000
0094          WRITE(LU1,920)I,RELAX,RV,RL,SUM,SUMD
0095          GOTO 870
0096      850  RL=RV/RV0
0097          WRITE(LU1,920)I,RELAX,RV,RL,SUM,SUMD
0098          IF(RL.GE.1.)GOTO 853
0099          IF(ABS(RL-RL0).GT.0.005)GOTO 870
0100          L=L+1
0101          IF(L.NE.3)GOTO 900
0102      855  LL=0
0103          AUX=SQRT(RELAX-1.)
0104          IF(RL.GE.1.)GOTO 865
0105          IF(AUX.GE.RL)GOTO 860
0106          RELAX=RELAX+RL-AUX
0107          GOTO 870
0108      860  RELAX=RELAX-0.1*(2.-RELAX)
0109          GOTO 870
0110      865  RELAX=AMAX1(RELAX-0.1,1.)
0111      870  L=0
0112  C****
0113          IF(RELAX.GE.2.)STOP 224
0114  C****
0115      900  RV0=RV
0116          RLO=RL
0117      920  FORMAT(2/X" I="I4,5X"RELAX="F6.3,3X"RV="E12.4,3X"RL="E12.5,3X
0118  C"SUM="E12.4,3X"SUMD="E12.4)
0119          IF(MOD(I,10).EQ.1)WRITE(LU1,930)(COEF(J),J=1,NT)
0120      930  FORMAT(7,101(8E15.5,/) )
0121      990  IF(SUM.LT.SUMD*TOLER)GOTO 1200
0122      1000 CONTINUE
0123          STOP 3334
0124      1200 WRITE(LU1,1210)I,RELAX,SUM,SUMD
0125          WRITE(LU1,930)(COEF(J),J=1,NT)
0126      1210 FORMAT(37,X"DERNIERE ITERATION:"I5,/,X"FACT.SURRELAX.="F6.3,/,
0127  C"X"SUM="E11.4,4X,"SUMD="E11.4)
0128  C---- STOCKAGE DES SOLUTIONS SUR LE FICHIER 'PACO'
0129          IWO(4)=IWO(1)
0130          IWO(5)=0
0131          IWO(6)=0
0132          CALL SWR(2,IWO,COEF,2*4*NN*ITIP)
0133          INAM(2)=2H30
0134          CALL EXEC(11,IHEUR)
0135          WRITE(LU1,30)(IHEUR(IJ),IJ=4,2,-1)
0136          CALL MCOM(INAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0137          CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3))
0138          END
0139          END*

```

SCP30 T=00004 IS ON CR00030 USING 00019 BLKS R=0162

```

0001      FTN4.B
0002 C---- DATE: 13/ 1/78
0003      PROGRAM CP30
0004 C*****
0005 C*
0006 C*      PROGRAMME POUR LE STOCKAGE DE LA SOLUTION SUR LE FICHIER
0007 C*      'KNAM(3)'
0008 C*
0009 C*****
0010      DIMENSION JBUF(1600), IP(5), IDCB(144)
0011      COMMON INAM(3), IGO(5), ITIP, RLP, HI(15), NS, FRI(15), CB(15),
0012      CPI, RNU, ESP, EL, BB(7), FPT, XI(2,16), RK(3,15), LBUF(100), NNN
0013      C, IWO(6), KNAM(3)
0014 C----
0015      CALL RMPAR(IP)
0016      CALL RCOM(INAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0017      IWO(4)=IWO(1)
0018      IWO(5)=0
0019      IWO(6)=0
0020      NN=2*4*ITIP*NNN
0021      CALL BWR(1,IWO,JBUF,NN)
0022      CALL OPEN(IDCB,IERR,KNAM)
0023 C****
0024      IF(IERR.NE.1)STOP225
0025 C****
0026      CALL WRITF(IDCB,IERR,JBUF,NN,1)
0027 C****
0028      IF(IERR.NE.0)STOP226
0029 C****
0030      CALL CLOSE(IDCB)
0031      CALL EXEC(16,IWO(2)-IWO(1)+1,IWO(1),2)
0032      END
0033      END$

```

SCPC4 T=00004 IS ON CR00020 USING 00015 BLKS R=0123

```

0001      FTH4.B
0002      C---- DATE: 24/ 2/78
0003      PROGRAM CPC4
0004      C*****
0005      C*
0006      C*          SEGMENT POUR LE CALCUL DES CONTRAINTES(ZONE SANS BOSSAGE)
0007      C*
0008      C*****
0009      DIMENSION RBUF(800),JBUF(1664),IWO1(6),MBUF(186)
0010      C,TN(3,30),KBUF(180),IP(5),IDCB(144),VBUF(6)
0011      COMMON INAM(3),IGO(5),ITIP,RLP,HI(15),NS,FRI(15),CB(15),
0012      CPI,RNU,ESP,EL,BB(7),FPT,XI(2,16),RK(3,15),LBUF(100),NNN
0013      C,IWO(6),KHAM(3)
0014      EQUIVALENCE (JBUF,RBUF),(TN,KBUF)
0015      C,(MBUF,1),(MBUF(2),NN),(MBUF(3),IZ),(MBUF(4),IT),(MBUF(5),IC)
0016      C,(MBUF(6),IV),(MBUF(7),KBUF)
0017      C----
0018      FAC(GN,RNU)=2.*(CLN(GN)*CHP(GN)+CKN(GN)*SHP(GN))-(1.+RNU)
0019      C----
0020      FC(GN)=2.*(CKN(GN)*CHP(GN)+CLN(GN)*SHP(GN))
0021      C----
0022      C----
0023      C----
0024      C          LECTURE RESULTATS EQUATION DES LE FICHIER 'PACO'
0025      CALL RMPAR(IP)
0026      CALL ROOM(INAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0027      IWO1(1)=IWO(1)
0028      IWO1(2)=IWO(2)
0029      IWO1(3)=IWO(3)
0030      IF(IP(4).EQ.0)GOTO40
0031      30 IWO1(4)=IWO1(2)
0032      IWO1(5)=0
0033      IWO1(6)=0
0034      CALL BWR(1,IWO1,MBUF,136)
0035      CALL BWR(1,IWO1,JBUF,8*NN*ITIP)
0036      GOTO2000
0037      40 NNN=NNN
0038      CALL OPEN(IDCB,IERR,KHAM)
0039      C****
0040      IF(IERR.NE.1)STOP 231
0041      C****
0042      CALL READCF(IDCB,IERR,JBUF,8*NN*ITIP,LEN,1)
0043      C****
0044      IF(IERR.NE.0)STOP 232
0045      C****
0046      CALL CLOSE(IDCB)
0047      IWO1(4)=IWO1(2)
0048      IWO1(5)=2
0049      IWO1(6)=53
0050      CALL BWR(2,IWO1,JBUF,8*NN*ITIP)
0051      IWO(4)=IWO1(1)
0052      IWO(5)=0
0053      IWO(6)=0
0054      C----
0055      C          LECTURE DONNEES DES CONTRAINTES DESIREES
0056      I=0
0057      50 I=I+1
0058      IZ=ABS(LBUF(2*I-1)/1000)
0059      IZ=ABS(ABS(LBUF(2*I-1),1000)/10)
0060      IZ=ABS(ABS(LBUF(2*I-1),10))
0061      IF((ABS(IZ),2).EQ.0).AND.(IZ.LT.6))IZ=-IZ
0062      IV=LBUF(2*I)
0063      MP=21
0064      IF(IC.NE.1)MP=30
0065      DO 60 J=1,30
0066      DO 60 K=1,30
0067      60 IZ(K,J)=0.
0068      IF(IZ)5000,9900,100
0069      DO 60 B(B(IZ))
0070      C----
0071      C          CONTRAINTES DANS LES ZONES INTERBOSSAGES
0072      C----
0073      C          EFFORTS NORMAL ET TRANCHANT
0074      102 DO 1000 J=1,2
0075      DO 300 H=1,NN
0076      RN=0.1*(2.*RLP)*(2*H-1)
0077      CN=RN*80
0078      IF(IZ.LT.6)GOTO109
0079      CN=RN*BB(1)
0080      CN=RN*BB(GN)

```

```

0007 IF(BB(7).LT.1.)GOTO108
0008 ASSIGN 108 TO ILB
0009 RECD=FE(AH*BB(6))
0010 GOTO108
0011 108 AUX0=(FB(GNN)*RBUF(N)-FF(GNN)*RBUF(NH+N))/(FE(GNN)+AUX1)
0012 IF(BB(7).LT.1.)GOTO107
0013 IF(J.EQ.2)GOTO105
0014 AUX0=AUX*(ED*(AC-AD)+AD*(EC+ED))/AUX3
0015 IF(IN.EQ.6)GOTO120
0016 GOTO108
0017 105 AUX0=ED+(AC-AD)*AD
0018 IF(IN.EQ.7)AUX2=BE*EC-(AC-AD)*AC
0019 AUX2/AUX3
0020 IF(IN.EQ.6)GOTO155
0021 GOTO108
0022 107 GOTO155
0023 109 IF(J.EQ.2)GO TO 130
0024 110 AUX0=RBUF(4*NN*(MINO(ITIP,IZ)-1)+N)
0025 IF(IN.EQ.1)AUX0=RBUF(4*NN*(IZ-2)+N)
0026 JL=(AUX0+AUX0)/(AN*AN)*CIN(GN)
0027 JK=(AUX0+AUX0)/(AN*AN)*CJN(GN)
0028 K=(AUX0-AUX0)/(AN*AN)*CKN(GN)
0029 GOTO180
0030 111 IF(ITIP)GO TO 140
0031 AUX0=RBUF(4*NN*(IZ-1)+NN+N)
0032 GOTO149
0033 1140 AUX0=RBUF(4*NN*(ITIP-1)+NN+N)
0034 1145 IF(ITIP)GO TO 150
0035 AUX0=RBUF(4*NN*(IZ-2)+NN+N)
0036 GOTO150
0037 1150 IF(BB(6)*AN)
0038 IF(LT.1.)GOTO154
0039 GOTO154
0040 1151 AUX0=BB(6)
0041 AUX1=BB(7)
0042 AUX2=(AUX0+AUX1)*RNU
0043 AUX3=(AUX0+AUX1)*RNU
0044 AUX0=AUX0+ED*(AC-AD)*+2
0045 AUX1=AUX1+ED*(AC-AD)*+2
0046 AUX2=(AUX2+ED*(AC-AD)*+2)
0047 AUX3=(AUX3+ED*(AC-AD)*+2)
0048 AUX0=(AUX0+AUX1)*RBUF(N)-FF(GN)*RBUF(NH+N))/(FE(GN)+AUX1)
0049 AUX0=(RORDS LIBRES).
0050 AUX1=(AUX0-AUX0)/(AN*AN)*CIT(GN)
0051 AUX2=(AUX0+AUX0)/(AN*AN)*CJT(GN)
0052 AUX3=(AUX0-AUX0)/(AN*AN)*CLT(GN)
0053 AUX4=(AUX0+AUX0)/(AN*AN)*CKT(GN)
0054 101 IF(IN.EQ.1) GO TO 190
0055 AUX0=IV
0056 AUX0=BO*(0.1*K-1.1)
0057 GOTO 200
0058 102 AUX0=IV
0059 AUX0=BO*(K-1)
0060 AUX0=BO*(K-10)
0061 GOTO200
0062 AUX0=BO*(K-1)
0063 AUX0=BO*(K-1)
0064 AUX0=XI(M,2)*(1-(10.-K)/25.)
0065 IF(K.GT.10)AUX0=XI(M,K-9)+XI(M,K-8))/2.
0066 AUX0=XI(M,NS+2)+XRLP-XI(M,NS+2))/25.*(K-21)
0067 AUX0=XI(M,NS+2)+XRLP-XI(M,NS+2))/5.*(K-25)
0068 IF(AUX0)
0069 IF(AUX0)
0070 IF(AUX0)
0071 IF(AUX0)
0072 IF(AUX0)
0073 IF(AUX0)
0074 IF(AUX0)
0075 IF(AUX0)
0076 IF(AUX0)
0077 IF(AUX0)
0078 IF(AUX0)
0079 IF(AUX0)
0080 IF(AUX0)
0081 IF(AUX0)
0082 IF(AUX0)
0083 IF(AUX0)
0084 IF(AUX0)
0085 IF(AUX0)
0086 IF(AUX0)
0087 IF(AUX0)
0088 IF(AUX0)
0089 IF(AUX0)
0090 IF(AUX0)
0091 IF(AUX0)
0092 IF(AUX0)
0093 IF(AUX0)
0094 IF(AUX0)
0095 IF(AUX0)
0096 IF(AUX0)
0097 IF(AUX0)
0098 IF(AUX0)
0099 IF(AUX0)
0100 IF(AUX0)
0101 IF(AUX0)
0102 IF(AUX0)
0103 IF(AUX0)
0104 IF(AUX0)
0105 IF(AUX0)
0106 IF(AUX0)
0107 IF(AUX0)
0108 IF(AUX0)
0109 IF(AUX0)
0110 IF(AUX0)
0111 IF(AUX0)
0112 IF(AUX0)
0113 IF(AUX0)
0114 IF(AUX0)
0115 IF(AUX0)
0116 IF(AUX0)
0117 IF(AUX0)
0118 IF(AUX0)
0119 IF(AUX0)
0120 IF(AUX0)
0121 IF(AUX0)
0122 IF(AUX0)
0123 IF(AUX0)
0124 IF(AUX0)
0125 IF(AUX0)
0126 IF(AUX0)
0127 IF(AUX0)
0128 IF(AUX0)
0129 IF(AUX0)
0130 IF(AUX0)
0131 IF(AUX0)
0132 IF(AUX0)
0133 IF(AUX0)
0134 IF(AUX0)
0135 IF(AUX0)
0136 IF(AUX0)
0137 IF(AUX0)
0138 IF(AUX0)
0139 IF(AUX0)
0140 IF(AUX0)
0141 IF(AUX0)
0142 IF(AUX0)
0143 IF(AUX0)
0144 IF(AUX0)
0145 IF(AUX0)
0146 IF(AUX0)
0147 IF(AUX0)
0148 IF(AUX0)
0149 IF(AUX0)
0150 IF(AUX0)
0151 IF(AUX0)
0152 IF(AUX0)
0153 IF(AUX0)
0154 IF(AUX0)
0155 IF(AUX0)
0156 IF(AUX0)
0157 IF(AUX0)
0158 IF(AUX0)
0159 IF(AUX0)
0160 IF(AUX0)
0161 IF(AUX0)
0162 IF(AUX0)
0163 IF(AUX0)
0164 IF(AUX0)
0165 IF(AUX0)
0166 IF(AUX0)
0167 IF(AUX0)
0168 IF(AUX0)
0169 IF(AUX0)
0170 IF(AUX0)
0171 IF(AUX0)
0172 IF(AUX0)
0173 IF(AUX0)
0174 IF(AUX0)
0175 IF(AUX0)
0176 IF(AUX0)
0177 IF(AUX0)
0178 IF(AUX0)
0179 IF(AUX0)
0180 IF(AUX0)
0181 IF(AUX0)
0182 IF(AUX0)
0183 IF(AUX0)
0184 IF(AUX0)
0185 IF(AUX0)
0186 IF(AUX0)
0187 IF(AUX0)
0188 IF(AUX0)
0189 IF(AUX0)
0190 IF(AUX0)
0191 IF(AUX0)
0192 IF(AUX0)
0193 IF(AUX0)
0194 IF(AUX0)
0195 IF(AUX0)
0196 IF(AUX0)
0197 IF(AUX0)
0198 IF(AUX0)
0199 IF(AUX0)
0200 IF(AUX0)
0201 IF(AUX0)
0202 IF(AUX0)
0203 IF(AUX0)
0204 IF(AUX0)
0205 IF(AUX0)
0206 IF(AUX0)
0207 IF(AUX0)
0208 IF(AUX0)
0209 IF(AUX0)
0210 IF(AUX0)
0211 IF(AUX0)
0212 IF(AUX0)
0213 IF(AUX0)
0214 IF(AUX0)
0215 IF(AUX0)
0216 IF(AUX0)
0217 IF(AUX0)
0218 IF(AUX0)
0219 IF(AUX0)
0220 IF(AUX0)
0221 IF(AUX0)
0222 IF(AUX0)
0223 IF(AUX0)
0224 IF(AUX0)
0225 IF(AUX0)
0226 IF(AUX0)
0227 IF(AUX0)
0228 IF(AUX0)
0229 IF(AUX0)
0230 IF(AUX0)
0231 IF(AUX0)
0232 IF(AUX0)
0233 IF(AUX0)
0234 IF(AUX0)
0235 IF(AUX0)
0236 IF(AUX0)
0237 IF(AUX0)
0238 IF(AUX0)
0239 IF(AUX0)
0240 IF(AUX0)
0241 IF(AUX0)
0242 IF(AUX0)
0243 IF(AUX0)
0244 IF(AUX0)
0245 IF(AUX0)
0246 IF(AUX0)
0247 IF(AUX0)
0248 IF(AUX0)
0249 IF(AUX0)
0250 IF(AUX0)
0251 IF(AUX0)
0252 IF(AUX0)
0253 IF(AUX0)
0254 IF(AUX0)
0255 IF(AUX0)
0256 IF(AUX0)
0257 IF(AUX0)
0258 IF(AUX0)
0259 IF(AUX0)
0260 IF(AUX0)
0261 IF(AUX0)
0262 IF(AUX0)
0263 IF(AUX0)
0264 IF(AUX0)
0265 IF(AUX0)
0266 IF(AUX0)
0267 IF(AUX0)
0268 IF(AUX0)
0269 IF(AUX0)
0270 IF(AUX0)
0271 IF(AUX0)
0272 IF(AUX0)
0273 IF(AUX0)
0274 IF(AUX0)
0275 IF(AUX0)
0276 IF(AUX0)
0277 IF(AUX0)
0278 IF(AUX0)
0279 IF(AUX0)
0280 IF(AUX0)
0281 IF(AUX0)
0282 IF(AUX0)
0283 IF(AUX0)
0284 IF(AUX0)
0285 IF(AUX0)
0286 IF(AUX0)
0287 IF(AUX0)
0288 IF(AUX0)
0289 IF(AUX0)
0290 IF(AUX0)
0291 IF(AUX0)
0292 IF(AUX0)
0293 IF(AUX0)
0294 IF(AUX0)
0295 IF(AUX0)
0296 IF(AUX0)
0297 IF(AUX0)
0298 IF(AUX0)
0299 IF(AUX0)
0300 IF(AUX0)
0301 IF(AUX0)
0302 IF(AUX0)
0303 IF(AUX0)
0304 IF(AUX0)
0305 IF(AUX0)
0306 IF(AUX0)
0307 IF(AUX0)
0308 IF(AUX0)
0309 IF(AUX0)
0310 IF(AUX0)
0311 IF(AUX0)
0312 IF(AUX0)
0313 IF(AUX0)
0314 IF(AUX0)
0315 IF(AUX0)
0316 IF(AUX0)
0317 IF(AUX0)
0318 IF(AUX0)
0319 IF(AUX0)
0320 IF(AUX0)
0321 IF(AUX0)
0322 IF(AUX0)
0323 IF(AUX0)
0324 IF(AUX0)
0325 IF(AUX0)
0326 IF(AUX0)
0327 IF(AUX0)
0328 IF(AUX0)
0329 IF(AUX0)
0330 IF(AUX0)
0331 IF(AUX0)
0332 IF(AUX0)
0333 IF(AUX0)
0334 IF(AUX0)
0335 IF(AUX0)
0336 IF(AUX0)
0337 IF(AUX0)
0338 IF(AUX0)
0339 IF(AUX0)
0340 IF(AUX0)
0341 IF(AUX0)
0342 IF(AUX0)
0343 IF(AUX0)
0344 IF(AUX0)
0345 IF(AUX0)
0346 IF(AUX0)
0347 IF(AUX0)
0348 IF(AUX0)
0349 IF(AUX0)
0350 IF(AUX0)
0351 IF(AUX0)
0352 IF(AUX0)
0353 IF(AUX0)
0354 IF(AUX0)
0355 IF(AUX0)
0356 IF(AUX0)
0357 IF(AUX0)
0358 IF(AUX0)
0359 IF(AUX0)
0360 IF(AUX0)
0361 IF(AUX0)
0362 IF(AUX0)
0363 IF(AUX0)
0364 IF(AUX0)
0365 IF(AUX0)
0366 IF(AUX0)
0367 IF(AUX0)
0368 IF(AUX0)
0369 IF(AUX0)
0370 IF(AUX0)
0371 IF(AUX0)
0372 IF(AUX0)
0373 IF(AUX0)
0374 IF(AUX0)
0375 IF(AUX0)
0376 IF(AUX0)
0377 IF(AUX0)
0378 IF(AUX0)
0379 IF(AUX0)
0380 IF(AUX0)
0381 IF(AUX0)
0382 IF(AUX0)
0383 IF(AUX0)
0384 IF(AUX0)
0385 IF(AUX0)
0386 IF(AUX0)
0387 IF(AUX0)
0388 IF(AUX0)
0389 IF(AUX0)
0390 IF(AUX0)
0391 IF(AUX0)
0392 IF(AUX0)
0393 IF(AUX0)
0394 IF(AUX0)
0395 IF(AUX0)
0396 IF(AUX0)
0397 IF(AUX0)
0398 IF(AUX0)
0399 IF(AUX0)
0400 IF(AUX0)
0401 IF(AUX0)
0402 IF(AUX0)
0403 IF(AUX0)
0404 IF(AUX0)
0405 IF(AUX0)
0406 IF(AUX0)
0407 IF(AUX0)
0408 IF(AUX0)
0409 IF(AUX0)
0410 IF(AUX0)
0411 IF(AUX0)
0412 IF(AUX0)
0413 IF(AUX0)
0414 IF(AUX0)
0415 IF(AUX0)
0416 IF(AUX0)
0417 IF(AUX0)
0418 IF(AUX0)
0419 IF(AUX0)
0420 IF(AUX0)
0421 IF(AUX0)
0422 IF(AUX0)
0423 IF(AUX0)
0424 IF(AUX0)
0425 IF(AUX0)
0426 IF(AUX0)
0427 IF(AUX0)
0428 IF(AUX0)
0429 IF(AUX0)
0430 IF(AUX0)
0431 IF(AUX0)
0432 IF(AUX0)
0433 IF(AUX0)
0434 IF(AUX0)
0435 IF(AUX0)
0436 IF(AUX0)
0437 IF(AUX0)
0438 IF(AUX0)
0439 IF(AUX0)
0440 IF(AUX0)
0441 IF(AUX0)
0442 IF(AUX0)
0443 IF(AUX0)
0444 IF(AUX0)
0445 IF(AUX0)
0446 IF(AUX0)
0447 IF(AUX0)
0448 IF(AUX0)
0449 IF(AUX0)
0450 IF(AUX0)
0451 IF(AUX0)
0452 IF(AUX0)
0453 IF(AUX0)
0454 IF(AUX0)
0455 IF(AUX0)
0456 IF(AUX0)
0457 IF(AUX0)
0458 IF(AUX0)
0459 IF(AUX0)
0460 IF(AUX0)
0461 IF(AUX0)
0462 IF(AUX0)
0463 IF(AUX0)
0464 IF(AUX0)
0465 IF(AUX0)
0466 IF(AUX0)
0467 IF(AUX0)
0468 IF(AUX0)
0469 IF(AUX0)
0470 IF(AUX0)
0471 IF(AUX0)
0472 IF(AUX0)
0473 IF(AUX0)
0474 IF(AUX0)
0475 IF(AUX0)
0476 IF(AUX0)
0477 IF(AUX0)
0478 IF(AUX0)
0479 IF(AUX0)
0480 IF(AUX0)
0481 IF(AUX0)
0482 IF(AUX0)
0483 IF(AUX0)
0484 IF(AUX0)
0485 IF(AUX0)
0486 IF(AUX0)
0487 IF(AUX0)
0488 IF(AUX0)
0489 IF(AUX0)
0490 IF(AUX0)
0491 IF(AUX0)
0492 IF(AUX0)
0493 IF(AUX0)
0494 IF(AUX0)
0495 IF(AUX0)
0496 IF(AUX0)
0497 IF(AUX0)
0498 IF(AUX0)
0499 IF(AUX0)
0500 IF(AUX0)

```



```

0239      CJN = -(CHP(GN) + GN * SHP(GN)) / (SHP(2.*GN) - 2.*GN)
0240      END
0241      C-----
0242      FUNCTION CKM(GN)
0243      CKM = CHP(GN) / (SHP(2.*GN) - 2.*GN)
0244      END
0245      C-----
0246      FONCTIONS E, F (E. TRANCHANT)
0247      C-----
0248      FUNCTION FE(GN)
0249      FE = 2.*(CKT(GN) + SHP(GN) + CLT(GN) * CHP(GN))
0250      END
0251      C-----
0252      FUNCTION FF(GN)
0253      FF = 2.*(CKT(GN) * SHP(GN) - CLT(GN) * CHP(GN))
0254      END
0255      C-----
0256      FONCTIONS I, J, K, L POUR L'EFFORT TRANCHANT
0257      C-----
0258      FUNCTION CIT(GN)
0259      CIT = -GN * SHP(GN) / (SHP(2.*GN) + 2.*GN)
0260      END
0261      C-----
0262      FUNCTION CJT(GN)
0263      CJT = -GN * CHP(GN) / (SHP(2.*GN) - 2.*GN)
0264      END
0265      C-----
0266      FUNCTION CKT(GN)
0267      CKT = SHP(GN) / (SHP(2.*GN) - 2.*GN)
0268      END
0269      C-----
0270      FUNCTION CLT(GN)
0271      CLT = CHP(GN) / (SHP(2.*GN) + 2.*GN)
0272      END
0273      C-----
0274      FONCTION FB (EFFORT NORMAL)
0275      C-----
0276      C-----
0277      FUNCTION FB(GN)
0278      FB = 2.*(CLN(GN) * CHP(GN) - CKN(GN) * SHP(GN))
0279      END
0280      END $

```

SCP 40 T=00004 IS ON CR00020 USING 00013 BLKS R=0102

```

0001      FTN4,B
0002 C---- DATE: 14/ 2/78
0003      PROGRAM CP40
0004 C*****
0005 C*
0006 C*      SEGMENT POUR LE CALCUL DES CONTRAINTES(ZONE SANS BOSSAGE-BIS)
0007 C*
0008 C*****
0009 DIMENSION RBUF(800),JBUF(1600),IWO1(6),MBUF(186)
0010 C, TN(3,30),KBUF(180),IP(5),VBUF(6)
0011 COMMON INAM(3),IGO(5),ITIP,RLP,HI(15),NS,FRI(15),CB(15),
0012 CPI,RNU,ESP,EL,BB(7),FPT,XI(2,16),RK(3,15),LBUF(100),NNN
0013 C, IWO(6),KNAM(3)
0014 EQUIVALENCE (JBUF,RBUF),(TN,KBUF)
0015 C,(MBUF,1),(MBUF(2),NH),(MBUF(3),IZ),(MBUF(4),IT),(MBUF(5),IC)
0016 C,(MBUF(6),IV),(MBUF(7),KBUF)
0017 C----
0018 C----
0019 CALL RMPAR(IP)
0020 CALL RCOM(INAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0021 IWO1(1)=IWO(1)
0022 IWO1(2)=IWO(2)
0023 IWO1(3)=IWO(3)
0024 IP(4)=1
0025 IWO1(4)=IWO1(2)
0026 IWO1(5)=0
0027 IWO1(6)=0
0028 CALL BWR(1,IWO1,MBUF,186)
0029 CALL BWR(1,IWO1,JBUF,8*NN*ITIP)
0030 C----
0031 C----
0032 C----
0033      EFFORTS FLEXION ET VERTICAL
0034 IF(IZ.GE.6)GOTO7000
0035 B0=BB(IZ)
0036 D=EL*ESP**3/(12.*(1.-RNU**2))
0037 MP=21
0038 IF(IC.NE.1)MP=30
0039 DO 2000 J=1,2
0040 DO 1800 N=1,NH
0041 AN=PI/(2.*RLP)*(2*N-1)
0042 GN=AN*B0
0043 IF(J.EQ.2)GO TO 1050
0044 1010 AUX=RBUF(4*NN*(MIN0(IZ,ITIP)-1)+2*NN+N)
0045 1020 IF(IZ.EQ.1)GO TO 1030
0046 AUX0=RBUF(4*NN*(IZ-2)+2*NN+N)
0047 GO TO 1040
0048 1030 AUX0=CN1(AN,GN,RNU)*RBUF(2*NN+N)+CN3(AN,GN,RNU)*RBUF(3*NN+N)
0049 C$$$
0050 C$$$ AUX0=0.(BORDS LIBRES).
0051 C$$$
0052 1040 AUX1=2.*D*(1.-RNU)*AN
0053 RI=(AUX+AUX0)/(AUX1*AN)*CIM(GN,RNU)
0054 RJ=(AUX-AUX0)/(AUX1*AN)*CJM(GN,RNU)
0055 RKK=(AUX+AUX0)/AUX1*CKM(GN,RNU)
0056 RL=(AUX+AUX0)/AUX1*CLM(GN,RNU)
0057 GO TO 1200
0058 1050 IF(IZ.GT.ITIP)GO TO 1060
0059 AUX=RBUF(4*NN*(IZ-1)+3*NN+N)
0060 GO TO 1070
0061 1060 AUX=-RBUF(4*NN*(ITIP-1)+3*NN+N)
0062 1070 IF(IZ.EQ.1)GO TO 1080
0063 AUX0=RBUF(4*NN*(IZ-2)+3*NN+N)
0064 GO TO 1100
0065 1080 AUX0=CN2(AN,GN,RNU)*RBUF(2*NN+N)+CN4(AN,GN,RNU)*RBUF(3*NN+N)
0066 C$$$
0067 C$$$ AUX0=0.(BORDS LIBRES).
0068 C$$$
0069 1100 AUX1=2.*D*(1.-RNU)*AN*AN
0070 RI=(AUX-AUX0)/(AUX1*AN)*CIV(GN,RNU)
0071 RJ=(AUX+AUX0)/(AUX1*AN)*CJV(GN,RNU)
0072 RKK=(AUX+AUX0)/AUX1*CKV(GN,RNU)
0073 RL=(AUX-AUX0)/AUX1*CLV(GN,RNU)
0074 1200 DO 1500 K=1,MP
0075 IF(IC.NE.1)GO TO 1220
0076 AUX=IV
0077 AUX0=B0*(0.1*K-1.1)
0078 GO TO 1230
0079 1220 AUX0=IV

```

```

0079    AUX=RLP/29.*(K-1)
0080    M=MOD(IC,10)
0081    IF(M.EQ.0)GOTO1230
0082    AUX=XI(M,2)/5.*(K-1)
0083    IF(K.GT.5)AUX=XI(M,2)*(1.-(10.-K)/25.)
0084    IF(K.GT.10)AUX=(XI(M,K-9)+XI(M,K-8))/2.
0085    IF(K.GE.21)AUX=XI(M,NS+2)+(RLP-XI(M,NS+2))/25.*(K-21)
0086    IF(K.GT.26)AUX=XI(M,NS+2)+(RLP-XI(M,NS+2))/5.*(K-25)
0087    1230  AUX1=AN*AUX0
0088        AUX2=1.-RNU
0089        CH=CHP(AUX1)
0090        SH=SHP(AUX1)
0091        GO TO(1240,1250,1260),IT
0092    1240  AUX3=-RNU
0093    1245  AUX=D*AN*AN*CBS(AN*AUX)*(AUX2*(RI*CH+RJ*SH+RKK*AUX0
0094        C*CH+RL*AUX0*SH)+2.*AUX3/AN*(RKK*SH+RL*CH
0095        C))*(3-2*IT)
0096        GO TO 1280
0097    1250  AUX3=1.
0098        GO TO 1245
0099    1260  AUX=D*AUX2*AN*AN*SIN(AN*AUX)*(RI*SH+RJ*CH
0100        C+RKK*(AUX0*SH+CH/AN)+RL*(AUX0*CH+
0101        CSH/AN))
0102    1280  AUX=AUX*12./ESP**3
0103    1290  TN(1,K)=TN(1,K)-AUX*ESP/2.
0104        TN(3,K)=TN(3,K)+AUX*ESP/2.
0105    1500  CONTINUE
0106    1800  CONTINUE
0107    2000  CONTINUE
0108    C-----
0109    C-----          STOCKAGE DES CONTRAINTES DANS L'AIRES DU TRAVAIL
0110    C-----
0111    7000  CALL BWR(2,IWO,KBUF,180)
0112        INAM(2)=2HC4
0113        IWO1(4)=IWO1(2)
0114        IWO1(5)=0
0115        IWO1(6)=0
0116    CALL BWR(2,IWO1,MBUF,186)
0117    9999  CALL WCOM(INAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0118        CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3),IP(4))
0119        END
0120    C-----
0121    C-----
0122    C-----
0123    C-----          FONCTION SINUS HYPERBOLIQUE
0124    FUNCTION SHP(X)
0125    SHP=EXP(X)
0126    SHP=(SHP-1./SHP)/2.
0127    END
0128    C-----
0129    C-----          FONCTION COSINUS HYPERBOLIQUE
0130    FUNCTION CHP(X)
0131    CHP=EXP(X)
0132    CHP=(CHP+1./CHP)/2.
0133    END
0134    C-----
0135    C-----          FONCTIONS CN DANS L'ENCASTREMENT
0136    C-----
0137    FUNCTION CN0(AM,GMA,RNU)
0138    CN0=(-(-FM(GMA,RNU)*FM(GMA,RNU))/4.+FQ(GMA,RNU)*FO
0139    C(GMA,RNU))/(1.-RNU)*(1.-RNU))/AM
0140    END
0141    C-----
0142    FUNCTION CN2(AM,GMA,RNU)
0143    CN2=(FO(GMA,RNU)*FN(GMA,RNU)-FP(GMA,RNU)*FM
0144    C(GMA,RNU))/(2.*(1.-RNU)*CN0(AM,GMA,RNU))
0145    END
0146    C-----
0147    FUNCTION CN1(AM,GMA,RNU)
0148    CN1=(-FN(GMA,RNU)*FM(GMA,RNU)/4.+FP(GMA,RNU)*FQ
0149    C(GMA,RNU))/(1.-RNU)*(1.-RNU))/(CN0(AM,GMA,RNU)*AM)
0150    END
0151    C-----
0152    FUNCTION CN3(AM,GMA,RNU)
0153    CN3=(-FN(GMA,RNU)*FQ(GMA,RNU)-FR(GMA,RNU)*FM
0154    C(GMA,RNU))/(2.*AM*AM*(1.-RNU)*CN0(AM,GMA,RNU))
0155    END
0156    C-----
0157    FUNCTION CN4(AM,GMA,RNU)
0158    CN4=(FN(GMA,RNU)*FM(GMA,RNU)/4.+FO(GMA,RNU)*FR

```



```

0159      C(GMA,RNU)/((1.-RNU)*(1.-RNU))/CNO(AM,GMA,RNU)*AM)
0160      END
0161      C-----
0162      C-----
0163      C-----      FONCTIONS Q,R,S,T(E,VERTICAL);IH,JH,KH,LH(FLEXION)
0164      C-----
0165      FUNCTION CIY(GN,RNU)
0166      CIY=((1.-RNU)*GN*SHP(GN)+2.*CHP(GN))/((3.+RNU)/2.*SHP
0167      C(2.*GN)-(1.-RNU)*GN)
0168      END
0169      C-----
0170      FUNCTION CJY(GN,RNU)
0171      CJY=((1.-RNU)*GN*CHP(GN)+2.*SHP(GN))/((3.+RNU)/2.*SHP
0172      C(2.*GN)+(1.-RNU)*GN)
0173      END
0174      C-----
0175      FUNCTION CKY(GN,RNU)
0176      CKY=-(1.-RNU)*SHP(GN)/((3.+RNU)/2.*SHP(2.*GN)+(1.-RNU
0177      C)*GN)
0178      END
0179      C-----
0180      FUNCTION CLY(GN,RNU)
0181      CLY=-(1.-RNU)*CHP(GN)/((3.+RNU)/2.*SHP(2.*GN)-(1.-RNU
0182      C)*GN)
0183      END
0184      C-----
0185      FUNCTION FQ(GN,RNU)
0186      FQ=CLY(GN,RNU)*CHP(GN)+CKY(GN,RNU)*SHP(GN)
0187      END
0188      C-----
0189      FUNCTION FR(GN,RNU)
0190      FR=-CLY(GN,RNU)*CHP(GN)+CKY(GN,RNU)*SHP(GN)
0191      END
0192      C-----      FONCTION FS=-FM      FONCTION FT=FN
0193      C-----
0194      C-----
0195      C-----
0196      C-----      FONCTIONS M,H,O,P(MOMENT FLECHISSANT);IH,JH,KH,LH(FLEXION)
0197      C-----
0198      FUNCTION CIM(GN,RNU)
0199      CIM=((1.-RNU)*GN*CHP(GN)-(1.+RNU)*SHP(GN))/((3.+RNU)/2.*
0200      C*SHP(2.*GN)-(1.-RNU)*GN)
0201      END
0202      C-----
0203      FUNCTION CJM(GN,RNU)
0204      CJM=((1.-RNU)*GN*SHP(GN)-(1.+RNU)*CHP(GN))/((3.+RNU)/2.*
0205      C*SHP(2.*GN)+(1.-RNU)*GN)
0206      END
0207      C-----
0208      FUNCTION CKM(GN,RNU)
0209      CKM=-(1.-RNU)*CHP(GN)/((3.+RNU)/2.*SHP(2.*GN)+(1.-RNU)*GN)
0210      END
0211      C-----
0212      FUNCTION CLM(GN,RNU)
0213      CLM=-(1.-RNU)*SHP(GN)/((3.+RNU)/2.*SHP(2.*GN)-(1.-RNU)*GN)
0214      END
0215      C-----
0216      FUNCTION FM(GN,RNU)
0217      FM=(CIM(GN,RNU)+CKM(GN,RNU)*GN)*CHP(GN)+(CJM(GN,RNU)+CLM
0218      C(GN,RNU)*GN)*SHP(GN)
0219      END
0220      C-----
0221      FUNCTION FN(GN,RNU)
0222      FN=(CIM(GN,RNU)-CKM(GN,RNU)*GN)*CHP(GN)-(CJM(GN,RNU)-CLM
0223      C(GN,RNU)*GN)*SHP(GN)
0224      END
0225      C-----
0226      FUNCTION FO(GN,RNU)
0227      FO=CLM(GN,RNU)*SHP(GN)+CKM(GN,RNU)*CHP(GN)
0228      END
0229      C-----
0230      FUNCTION FP(GN,RNU)
0231      FP=CLM(GN,RNU)*SHP(GN)-CKM(GN,RNU)*CHP(GN)
0232      END
0233      C-----
0234      C-----

```

SCP41 T=00004 IS ON CR00020 USING 00018 BLKS R=0133

```

0001      FTH4,B
0002 C---- DATE: 14/ 2/78
0003      PROGRAM CP41
0004 C*****
0005 C*
0006 C*      SEGMENT POUR LE CALCUL DES CONTRAINTES(BOSSAGE)
0007 C*
0008 C*****
0009      DIMENSION RBUF(800),JBUF(1600),IWO1(6),MBUF(186),XJ(16)
0010      C,TN(3,30),TXZ(90),KBUF(180),IP(5)
0011      COMMON INAM(3),IGO(5),ITIP,RLP,HI(15),HS,FRI(15),CB(15),
0012      CPI,RNU,ESP,EL,EB(7),FPT,XI(2,16),RK(3,15),LBUF(100),NNH
0013      C,IWO(6),KHAM(3)
0014      EQUIVALENCE (JBUF,RBUF),(TN,KBUF),(TXZ,KBUF)
0015      C,(MBUF(1),MBUF(2),NN),(MBUF(3),IZ),(MBUF(4),IT),(MBUF(5),IC)
0016      C,(MBUF(6),IY),(MBUF(7),KBUF),(LUI,IGO(2))
0017 C----
0018 C----
0019      CALL RMPAR(IP)
0020      CALL RCOM(INAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0021 C----
0022 C----      CONTRAINTES DANS LES ZONES AVEC BOSSAGE
0023 C----
0024      IWO1(1)=IWO(1)
0025      IWO1(2)=IWO(2)
0026      IWO1(3)=IWO(3)
0027      IP(4)=1
0028      IWO1(4)=IWO1(2)
0029      IWO1(5)=0
0030      IWO1(6)=0
0031      CALL BWR(1,IWO1,MBUF,186)
0032      CALL BWR(1,IWO1,JBUF,8*NN*ITIP)
0033 5000      BO=BB(-IZ)
0034      IZ=-IZ
0035      DO 5005 J=1,HS+3
0036 5005      XJ(J)=XI(IZ/2,J)
0037      NP=5
0038      IF(IC.EQ.2)NP=30
0039      DO 6209 K=1,MP
0040      YY=IY
0041      IF(IC.EQ.1)YY=BO*(0.5*K-1.5)
0042      XX=IY+0.000001
0043      IF(IC.EQ.1)GOTO5007
0044      XX=XJ(2)/5.*(K-1)
0045      IF(K.GT.5)XX=XJ(2)*(1.-(10.-K)/25.)
0046      IF(K.EQ.1)XX=0.000001
0047      IF(K.EQ.10)XX=XX-0.001
0048      IF(K.GT.10)XX=(XJ(K-9)+XJ(K-8))/2.
0049      IF(K.GE.21)XX=XJ(HS+2)+(RLP-XJ(HS+2))/25.*(K-21)
0050      IF(K.EQ.21)XX=XX+0.001
0051      IF(K.GT.26)XX=XJ(HS+2)+(RLP-XJ(HS+2))/5.*(K-25)
0052 6007      DO 5010 J=HS+2,1,-1
0053      IF(XX.GT.XJ(J))GO TO 5020
0054 C----
0055 C*****
0056      STOP 7700
0057 C----
0058 5020      HP=J
0059 C----      ETUDE POUTRE(PRECONTRAINTE-A;CHARGES VERTICALES;TRANCHANT)
0060      IF(IT.EQ.3)GO TO 5205
0061      AUX3=0.
0062      AUX4=0.
0063      DO 5100 N=1,NN
0064      IF((NP.LT.2).OR.(NP.EQ.HS+2).OR.(IT.EQ.2))GOTO5100
0065      AN=PI/(2.*RLP)*(2*N-1)
0066      AUX1=RBUF(4*NN*(IZ-1)+3*NN+N)
0067      IF(IZ.GT.ITIP)AUX1=-RBUF(4*NN*(ITIP-1)+3*NN+N)
0068      AUX1=AUX1-RBUF(4*NN*(IZ-2)+3*NN+N)
0069      AUX4=AUX4+AUX1*COS(AN*XX)/(AN*AN)
0070      AUX1=RBUF(4*NN*(IZ-1)+NN+N)
0071      IF(IZ.GT.ITIP)AUX1=-RBUF(4*NN*(ITIP-1)+NN+N)
0072      AUX1=AUX1-RBUF(4*NN*(IZ-2)+NN+N)
0073      AUX3=AUX3-AUX1*COS(AN*XX)/AN*ESP
0074 5100      CONTINUE
0075      AUX2=AUX3*(HI(NP)-ESP)/2.
0076      DO 5200 J=1,3
0077      M=0
0078      IF(IT.EQ.2)M=2

```

```

0079      Z=ESP*(3-M)/2.
0080      AFF=FRI(NP)
0081 5190      AUX0=-FPT*CB(NP)/(HI(NP)*2.*B0)*(1.-12.*AFF/HI(NP))*(0.5-
0082      CZ/HI(NP))
0083      IF(IT.EQ.2)AUX0=AUX0*RNU
0084      IF(NP.EQ.NS+2)AUX0=0.
0085      AUX0=AUX0+(AUX2+AUX4)*(HI(NP)/2.-Z)/(2.*B0/12.*HI(NP)**3)
0086      C+AUX3/(2.*B0*HI(NP))
0087      TN(J,K)=AUX0
0088 5200      CONTINUE
0089      GOT06209
0090  C----- CONTRAINTES DE TORSION
0091  S205      D06200 N=1,NN
0092      AN=P1/(2.*RLP)*(2*N-1)
0093      AUX=RBUF(4*NN*(IZ-1)+3*NN+N)
0094      IF(IZ.GT.ITIP)AUX=-RBUF(4*NN*(ITIP-1)+3*NN+N)
0095      AUX0=RBUF(4*NN*(MIN0(IZ,ITIP)-1)+2*NN+N)
0096      AUX=- (B0*(AUX+RBUF(4*NN*(IZ-2)+3*NN+N))+(RBUF(4*NN*(IZ-2)+2*NN+N)
0097      C-AUX0))*SIN(AN*XX)/AN
0098      IF(NP.LT.2).OR.(NP.EQ.NS+2))GO TO 5410
0099      AUX0=AMAX1(2.*B0,HI(NP))
0100      AUX0=AUX0/AMIN1(2.*B0,HI(NP))
0101      AUX0=-AUX*2./ (HI(NP)*2.*B0*HI(NP)**2/(3.+1.6/AUX0))
0102      TN(1,K)=TN(1,K)+AUX0*(HI(NP)/2.-ESP)
0103      TN(2,K)=TN(2,K)+AUX0*(HI(NP)/2.-ESP/2.)
0104      TN(3,K)=TN(3,K)+AUX0*HI(NP)/2.
0105      GO TO 6200
0106 5410      AUX0=12.*AUX/(2.*B0*ESP**3)*ESP/2.
0107      TN(1,K)=TN(1,K)+AUX0
0108      TN(3,K)=TN(3,K)-AUX0
0109 6200      CONTINUE
0110 6209      CONTINUE
0111      INAM(2)=2H42
0112  C-----
0113  C----- CHANGEMENT DE PROGRAMME
0114  C-----
0115      IWO1(4)=IWO1(2)
0116      IWO1(5)=0
0117      IWO1(6)=0
0118      CALL BMR(2,IWO1,MBUF,186)
0119 9999      CALL WCOM(INAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0120      CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3),IP(4))
0121      END
0122      END$

```

SCP42 T=00004 IS ON CR00020 USING 00019 BLKS R=0150

```

0001      FTN4,B
0002 C---- DATE: 14/ 2/78
0003      PROGRAM CP42
0004 C*****
0005 C*
0006 C*      SEGMENT POUR LE CALCUL DES CONTRAINTES(BOSSAGE-BIS)
0007 C*
0008 C*****
0009      DIMENSION RBUF(800),JBUF(1600),IWO1(6),MBUF(186),XJ(16)
0010      C,TN(3,30),KBUF(130),IP(5),YBUF(6)
0011      COMMON INAM(3),IG0(5),ITIP,RLP,HI(15),NS,FRI(15),CB(15),
0012      CPI,RNU,ESP,EL,BB(7),FPT,XI(2,16),RK(3,15),LBUF(100),NNN
0013      C,IWO(6),KNAM(3)
0014      EQUIVALENCE (JBUF,RBUF),(TN,KBUF)
0015      C,(MBUF(1),(MBUF(2),NH),(MBUF(3),IZ),(MBUF(4),IT),(MBUF(5),IC)
0016      C,(MBUF(6),IY),(MBUF(7),KBUF)
0017 C----
0018 C----
0019      CALL RMPAR(IP)
0020      CALL RCON(INAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0021 C----
0022 C----      CONTRAINTES DANS LES ZONES AVEC BOSSAGE
0023 C----
0024      IWO1(1)=IWO(1)
0025      IWO1(2)=IWO(2)
0026      IWO1(3)=IWO(3)
0027      IP(4)=1
0028      IWO1(4)=IWO1(2)
0029      IWO1(5)=0
0030      IWO1(6)=0
0031      CALL BWR(1,IWO1,MBUF,186)
0032      CALL BWR(1,IWO1,JBUF,8*NN*ITIP)
0033 5000      90=BB(IZ)
0034      D=EL*ESP**3/(12.*(1.-RNU**2))
0035      DO 5005 J=1,NS+3
0036 5005      XJ(J)=XI(IZ/2,J)
0037      MP=5
0038      IF(IC.EQ.2)MP=30
0039      DO 6209 K=1,MP
0040      YY=IY
0041      IF(IC.EQ.1)YY=B0*(0.5*K-1.5)
0042      XX=IY+0.000001
0043      IF(IC.EQ.1)GOTO5007
0044      XX=XJ(2)/5.*(K-1)
0045      IF(K.GT.5)XX=XJ(2)*(1.-(10.-K)/25.)
0046      IF(K.EQ.1)XX=0.000001
0047      IF(K.EQ.10)XX=XX-0.001
0048      IF(K.GT.10)XX=(XJ(K-9)+XJ(K-8))/2.
0049      IF(K.GE.21)XX=XJ(NS+2)+(RLP-XJ(NS+2))/25.*(K-21)
0050      IF(K.EQ.21)XX=XX+0.001
0051      IF(K.GT.26)XX=XJ(NS+2)+(RLP-XJ(NS+2))/5.*(K-25)
0052 5007      DO 5010 J=NS+2,1,-1
0053      IF(XX.GT.XJ(J))GO TO 5020
0054 5010      CONTINUE
0055 C****
0056      STOP 7702
0057 C****
0058 5020      NP=J
0059 C----      ETUDE PLAQUE(PRECONTRAIT-B;MOMENT;NORMAL;TRANCHANT;VERTICAL)
0060 5210      DO 6200 N=1,NN
0061      AN=PI/(2.*RLP)*(2*N-1)
0062      GN=AN*B0
0063      IQ=1
0064 5214      CRED=RK(1,NP)
0065      IF(IT.NE.2)CRED=(CRED+RK(2,NP))/2.
0066 5215      GO TO(110,130,120)IQ
0067 110      AUX=RBUF(4*NN*(MIN0(ITIP,IZ)-1)+N)
0068      AUX0=RBUF(4*NN*(IZ-2)+N)
0069 120      RI=(AUX+AUX0)/(AN*NN)*CIN(GN)
0070      RL=(AUX+AUX0)/AN*CLN(GN)
0071      RJ=(AUX-AUX0)/(AN*AN)*CJN(GN)
0072      RKK=(AUX-AUX0)/AN*CKN(GN)
0073      GOTQ3220
0074 130      IF(IZ.GT.ITIP)GO TO 140
0075      AUX=RBUF(4*NN*(IZ-1)+NN+N)
0076      GO TO 145
0077 140      AUX=-RBUF(4*NN*(ITIP-1)+NN+N)
0078 145      AUX0=RBUF(4*NN*(IZ-2)+NN+N)

```



```

0079      IF((IT.NE.1).OR.(NP.LT.2).OR.(NP.EQ.NS+2))GOTO146
0080      AUX=(AUX+AUX0)/2.
0081      AUX0=AUX
0082      146      RI=(AUX-AUX0)/(AN*AN)*CIT(GN)
0083      RJ=(AUX+AUX0)/(AN*AN)*CJT(GN)
0084      RL=(AUX-AUX0)/AN*CLT(GN)
0085      RKK=(AUX+AUX0)/AN*CKT(GN)
0086      5220     AUX=XX
0087      AUX0=YY
0088      AUX1=AN*AUX0
0089      CH=CHP(AUX1)
0090      SH=SHP(AUX1)
0091      GO TO (210,220,230),IT
0092      210     M=1
0093      215     AUX=COS(AN*AUX)*AN*AN*(RI*CH+RJ*SH
0094      C+RKK*(2./AN*SH*M+AUX0*CH)+RL*(2./AN*CH*M
0095      C+AUX0*SH))*(3-2*IT)
0096      GO TO 5230
0097      220     M=0
0098      GO TO 215
0099      230     AUX=SIN(AN*AUX)*AN*AN*(RI*SH+RJ*CH
0100      C+RKK*(CH/AN+AUX0*SH)+RL*(SH/AN+AUX0*CH))
0101      5230     AUX=AUX*CRED
0102      TN(1,K)=TN(1,K)+AUX
0103      TN(2,K)=TN(2,K)+AUX
0104      TN(3,K)=TN(3,K)+AUX
0105      GO TO(5231,5300,6200),I0
0106      5231     AUX=RBUF(4*NN*(M1NO(IZ,ITIP)-1)+2*NN+N)
0107      AUX0=RBUF(4*NN*(IZ-2)+2*NN+N)
0108      I1=1
0109      CRED=RK(3,HP)
0110      IF(IT.NE.2)CRED=(CRED+(ESP/HI(HP))**3)/2.
0111      IF(IT.NE.3)GOTO5232
0112      AUX=(AUX+AUX0)/2.
0113      AUX0=AUX
0114      5232     AUX1=2.*0*(1.-RNU)*AN
0115      RI=(AUX+AUX0)/(AUX1*AN)*CIM(GN,RNU)
0116      RJ=(AUX-AUX0)/(AUX1*AN)*CJM(GN,RNU)
0117      RKK=(AUX-AUX0)/AUX1*CKM(GN,RNU)
0118      RL=(AUX+AUX0)/AUX1*CLM(GN,RNU)
0119      5240     AUX=XX
0120      AUX0=YY
0121      AUX1=AN*AUX0
0122      AUX2=1.-RNU
0123      CH=CHP(AUX1)
0124      SH=SHP(AUX1)
0125      GO TO(1240,1250,1260),IT
0126      1240     AUX3=-RNU
0127      1245     AUX=D*AN*AN*COS(AN*AUX)*(AUX2*(RI*CH+RJ*SH+RKK*AUX0
0128      C*CH+RL*AUX0*SH)+2.*AUX3/AN*(RKK*SH+RL*CH
0129      C))*(3-2*IT)
0130      GO TO 1280
0131      1250     AUX3=1.
0132      GO TO 1245
0133      1260     AUX=D*AUX2*AN*AN*SIN(AN*AUX)*(RI*SH+RJ*CH
0134      C+RKK*(AUX0*SH+CH/AN)+RL*(AUX0*CH+
0135      CSH/AN))
0136      1280     AUX=AUX*12./ESP**3
0137      5250     AUX=AUX*ESP/2.*CRED
0138      TN(1,K)=TN(1,K)-AUX
0139      TN(3,K)=TN(3,K)+AUX
0140      IF(I1.EQ.2)GOTO5299
0141      I1=2
0142      CRED=(ESP/HI(HP))**3
0143      IF(IT.NE.1)CRED=(CRED+RK(3,HP))/2.
0144      IF(IZ.GT.ITIP)GOTO5260
0145      AUX=RBUF(4*NN*(IZ-1)+3*NN+N)
0146      GOTO5270
0147      5260     AUX=-RBUF(4*NN*(ITIP-1)+3*NN+N)
0148      5270     AUX0=RBUF(4*NN*(IZ-2)+3*NN+N)
0149      IF(IT.NE.3)GOTO5280
0150      AUX=(AUX-AUX0)/2
0151      AUX0=-AUX
0152      5280     IF((IT.NE.1).OR.(NP.LT.2).OR.(NP.EQ.NS+2))GOTO5290
0153      AUX=(AUX+AUX0)/2
0154      AUX0=AUX
0155      5290     AUX1=2.*0*(1.-RNU)*AN*AN
0156      RI=(AUX-AUX0)/(AUX1*AN)*CIV(GN,RNU)
0157      RJ=(AUX+AUX0)/(AUX1*AN)*CJV(GN,RNU)
0158      RKK=(AUX-AUX0)/AUX1*CKV(GN,RNU)

```

```

0159      RL=(AUX-AUX0)/AUX1*CLV(GN,RNU)
0160      GOTO 5240
0161 5299      IO=2
0162      CRED=RK(2,HP)
0163      IF(IT.NE.1)CRED=(CRED+RK(1,HP))/2.
0164      GO TO 5215
0165 5300      IO=3
0166      AUX=FPP(N,NS,HI,CB,FRI,XJ,RNU,ESP,RLP,FPT,BO)
0167      AUX0=AUX
0168      GOTO 5214
0169 6200      CONTINUE
0170 6209      CONTINUE
0171      INAM(2)=2HC4
0172      CALL BWR(2,IWO,KBUF,180)
0173      IWO1(4)=IWO1(2)
0174      IWO1(5)=0
0175      IWO1(6)=0
0176      CALL BWR(2,IWO1,MBUF,186)
0177 9999      CALL WCOM(INAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0178      CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3),IP(4))
0179      END
0180      C-----
0181      C-----
0182      C-----
0183      C-----
0184      FONCTION SINUS HYPERBOLIQUE
0185      FUNCTION SHP(X)
0186      SHP=EXP(X)
0187      SHP=(SHP-1./SHP)/2.
0188      END
0189      C-----
0190      C-----
0191      FONCTION COSINUS HYPERBOLIQUE
0192      FUNCTION CHP(X)
0193      CHP=EXP(X)
0194      CHP=(CHP+1./CHP)/2.
0195      END
0196      C-----
0197      C-----
0198      FONCTIONS M,N,O,P(MOMENT FLECHISSANT);IN,JN,KN,LN(FLEXION)
0199      FUNCTION CIM(GN,RNU)
0200      CIM=((1.-RNU)*GN*CHP(GN)-(1.+RNU)*SHP(GN))/((3.+RNU)/2.*
0201      CSHP(2.*GN)-(1.-RNU)*GN)
0202      END
0203      C-----
0204      FUNCTION CJM(GN,RNU)
0205      CJM=((1.-RNU)*GN*SHP(GN)-(1.+RNU)*CHP(GN))/((3.+RNU)/2.*
0206      CSHP(2.*GN)+(1.-RNU)*GN)
0207      END
0208      C-----
0209      FUNCTION CKM(GN,RNU)
0210      CKM=-(1.-RNU)*CHP(GN)/((3.+RNU)/2.*SHP(2.*GN)+(1.-RNU)*GN)
0211      END
0212      C-----
0213      FUNCTION CLM(GN,RNU)
0214      CLM=-(1.-RNU)*SHP(GN)/((3.+RNU)/2.*SHP(2.*GN)-(1.-RNU)*GN)
0215      END
0216      C-----
0217      C-----
0218      FONCTIONS I,J,K,L POUR L'EFFORT NORMAL
0219      FUNCTION CIN(GN)
0220      CIN=-(SHP(GN)+GN*CHP(GN))/(SHP(2.*GN)+2.*GN)
0221      END
0222      C-----
0223      FUNCTION CLN(GN)
0224      CLN=SHP(GN)/(SHP(2.*GN)+2.*GN)
0225      END
0226      C-----
0227      FUNCTION CJN(GN)
0228      CJN=-(CHP(GN)+GN*SHP(GN))/(SHP(2.*GN)-2.*GN)
0229      END
0230      C-----
0231      FUNCTION CKN(GN)
0232      CKN=CHP(GN)/(SHP(2.*GN)-2.*GN)
0233      END
0234      C-----
0235      C-----
0236      FONCTIONS I,J,K,L POUR L'EFFORT TRANCHANT
0237      C-----
0238      FUNCTION CIT(GN)

```

```

0239      CIT=-GN*SHP(GN)/(SHP(2.*GN)+2.*GN)
0240      END
0241      C-----
0242      FUNCTION CJT(GN)
0243      CJT=-GN*CHP(GN)/(SHP(2.*GN)-2.*GN)
0244      END
0245      C-----
0246      FUNCTION CKT(GN)
0247      CKT=SHP(GN)/(SHP(2.*GN)-2.*GN)
0248      END
0249      C-----
0250      FUNCTION CLT(GN)
0251      CLT=CHP(GN)/(SHP(2.*GN)+2.*GN)
0252      END
0253      C-----
0254      C-----
0255      C-----      FONCTIONS I,J,K,L POUR L'EFFORT VERTICAL
0256      C-----
0257      C-----
0258      FUNCTION CIV(GN,RNU)
0259      CIV=((1.-RNU)*GN*SHP(GN)+2.*CHP(GN))/((3.+RNU)/2.*SHP
0260      C(2.*GN)-(1.-RNU)*GN)
0261      END
0262      C-----
0263      FUNCTION CJY(GN,RNU)
0264      CJY=((1.-RNU)*GN*CHP(GN)+2.*SHP(GN))/((3.+RNU)/2.*SHP
0265      C(2.*GN)+(1.-RNU)*GN)
0266      END
0267      C-----
0268      FUNCTION CKY(GN,RNU)
0269      CKY=-((1.-RNU)*SHP(GN))/((3.+RNU)/2.*SHP(2.*GN)+(1.-RNU
0270      C)*GN)
0271      END
0272      C-----
0273      FUNCTION CLY(GN,RNU)
0274      CLY=-((1.-RNU)*CHP(GN))/((3.+RNU)/2.*SHP(2.*GN)-(1.-RNU
0275      C)*GN)
0276      END
0277      C-----
0278      C-----
0279      FUNCTION ROR(I,HI,FR,CB,ESP)
0280      DIMENSION HI(1),FR(1),CB(1)
0281      ROR=CB(1)/HI(1)*((1.-6.*FR(1)/HI(1))*(1.-ESP/HI(1)))
0282      END
0283      C-----
0284      FUNCTION FPP(N,NS,HI,CB,FR,XI,RNU,ESP,RLP,FT,BB)
0285      DIMENSION HI(1),CB(1),FR(1),XI(1)
0286      FPP=0.
0287      AUX=(2*N-1)*3.141592/(2.*RLP)
0288      DO 10 I=1,NS+1
0289      FPP=FPP+ROR(I,HI,FR,CB,ESP)*(SIN(AUX*XI(I+1))-SIN(AUX*XI(I)))
0290      10 CONTINUE
0291      FPP=FPP*4.*FT/(2.*BB*(2*N-1)*3.141592)*RNU
0292      END
0293      C-----
0294      END$

```

SCPCS T=00003 IS ON CRO0020 USING 00024 BLKS R=0000

```

0001      FTN4,B
0002 C----- DATE: 31/ 5/78
0003      PROGRAM CPC5
0004 C*****
0005 C*
0006 C*          SEGMENT POUR LA SORTIE DES CONTRAINTES (DESSIN).
0007 C*
0008 C*****
0009      DIMENSION IYZ(90)
0010      C,TN(3,30),TXZ(92),KBUF(180),IP(5),XC(32)
0011      COMMON IHAM(3),IGO(5),ITIP,RLP,HI(15),NS,FRI(15),CB(15),
0012      CPI,RNU,ESP,EL,BB(7),FPT,XI(2,16),RK(3,15),LBUF(100),NHM
0013      C,IWO(6),KNAM(3)
0014      EQUIVALENCE (TN,KBUF),(TYZ,KBUF)
0015      C,(XC,RK),(LUI,IGO(2))
0016 C-----
0017      CALL RMPAR(IP)
0018      CALL RCOM(IHAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0019      IF(IGO(5).EQ.1)GOTO7500
0020      IWO(4)=IWO(1)
0021      IWO(5)=0
0022      IWO(6)=0
0023      PO=2.*(BB(6)+BB(7))
0024      DO100 I=1,ITIP+1
0025      J=2
0026      IF(I.GT.ITIP)J=1
0027      100   PO=PO+BB(I)*J
0028      PO=FPT/(2.*PO*ESP)
0029 C-----
0030 C-----      SORTIE DE RESULTATS
0031 C-----
0032      DO9900 I=1,50
0033      IZ=MOD(LBUF(2*I-1),10)
0034      JZ=IZ
0035      IF((MOD(JZ,2).EQ.0).AND.(JZ.LT.6))JZ=-JZ
0036      IF(IZ.EQ.0)GOTO9900
0037      IT=LBUF(2*I-1)/1000
0038      IC=MOD(LBUF(2*I-1),1000)/10
0039      IV=LBUF(2*I)
0040      B0=BB(IZ)
0041      CALL BWR(1,IWO,KBUF,180)
0042      7000  IF((I.EQ.1).AND.(IGO(2).EQ.6))CALL EXEC(3,1106B)
0043      J=2HS-
0044      K=2HX
0045      IF(IT.EQ.2)K=2HY
0046      IF(IT.LE.2)GO TO 7010
0047      J=2HTX
0048      K=2HY
0049      7010  L=2HX=
0050      IF(IC.NE.1)L=2HY=
0051      7020  WRITE(LUI,7020)IZ,J,K,L,IV
0052      7020  FORMAT(5//X"ZONE:"12,5X,"CONTRAINTES"X,2A2,"(*1/PO)",5X
0053      C"ON FIXE"X,A2,IS,"CM."/)
0054      NX=21
0055      IF(JZ.LT.0)HX=5
0056      IF(IC.NE.1)HX=30
0057      NY=90
0058      IF((IC.EQ.20).OR.(IC.EQ.1))GOTO7219
0059      MO=IZ/2
0060      IF(IC.GT.20)MO=MOD(IC,10)
0061      DO7218 M=1,NX
0062      XC(M)=XI(M0,2)/5.*(M-1)
0063      IF(M.LE.5)GOTO7218
0064      XC(M)=XI(M0,2)*(1.-(10.-M)/25.)
0065      IF(M.LE.10)GOTO7218
0066      XC(M)=(XI(M0,M-9)+XI(M0,M-8))/2.
0067      IF(M.LT.21)GOTO7218
0068      XC(M)=XI(M0,NS+2)+(RLP-XI(M0,NS+2))/25.*(M-21)
0069      IF(M.LE.26)GOTO7218
0070      XC(M)=XI(M0,NS+2)+(RLP-XI(M0,NS+2))/5.*(M-25)
0071      7218  CONTINUE
0072      GOTO7044
0073      7219  AUX=0.
0074      AUX1=RLP/29.
0075      IF(IC.EQ.20)GO TO 7220
0076      AUX=-80
0077      AUX1=B0*2/(NX-1)
0078      7220  DO 7230 M=1,NX

```

```

0079 7230 XC(M)=AUX+AUX1*(M-1)
0080 7044 DO 7050 N=1,3
0081 IF(N.EQ.1)WRITE(LU1,7045)2HSU,2HPE,2HRI,2HEU,2HRE
0082 IF(N.EQ.3)WRITE(LU1,7045)2HIN,2HFE,2HRI,2HEU,2HRE
0083 IF(N.EQ.2)WRITE(LU1,7045)2HMO,2HYE,2HNN,2HE,2H
0084 7045 FORMAT(/,X" FIBRE "X,5A2," ")
0085 DO 7046 I0=1,NX
0086 7046 TN(N,I0)=TN(N,I0)/P0
0087 WRITE(LU1,7030)(TN(N,I0),XC(I0),I0=1,NX)
0088 7030 FORMAT(5(F10.3,2X,"(XX="F8.2)""))
0089 7050 CONTINUE
0090 8900 CONTINUE
0091 GOTO 9900
0092 7500 INAM(2)=2H50
0093 CALL WCOM(INAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0094 CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3),IP(4))
0095 GOTO 9999
0096 9900 IF(IGO(2).EQ.6)CALL EXEC(3,1106B,-1)
0097 CALL EXEC(16,IWO(2)-IWO(1)+1,IWO(1),2)
0098 9999 END
0099 END*
```

SCP50 T=00004 IS ON CR00020 USING 00020 BLKS R=0183

```

0001 FTN4,B
0002 C----DATE:31/5/78
0003 PROGRAM CP50
0004 C*****
0005 C*
0006 C* SEGMENT POUR LA SORTIE DES CONTRAINTES (ECRITURE) *
0007 C* *
0008 C*****
0009 DIMENSION TYZ(90)
0010 C,TN(3,30),TXZ(92),KBUF(180),IP(5),XC(32),IASC(6)
0011 COMMON INAM(3),IGO(5),ITIP,RLP,HI(15),NS,FRI(15),CB(15),
0012 CPI,RNU,ESP,EL,BB(7),FPT,XI(2,16),RK(3,15),LBUF(100),NHM
0013 C,IWO(6),KNAM(3)
0014 EQUIVALENCE (TN,KBUF),(TYZ,KBUF)
0015 C,(XC,RK),(LU1,IGO(2))
0016 DATA IASC/2H ,2H ,2H(*,2H1/,2HP0,2H) /
0017 C----
0018 CALL RMPAR(IP)
0019 CALL RCOM(INAM,390,IP(1),IP(2),IP(3))
0020 IWO(4)=IWO(1)
0021 IWO(5)=0
0022 IWO(6)=0
0023 P0=2.*(BB(6)+BB(7))
0024 DO100 I=1,ITIP+1
0025 J=2
0026 IF(I.GT.ITIP)J=1
0027 100 P0=P0+BB(I)*J
0028 P0=FPT/(2.*P0*ESP)
0029 C----
0030 C---- SORTIE DE RESULTATS
0031 C----
0032 I=0
0033 200 I=I+1
0034 IZ=MOD(LBUF(2*I-1),10)
0035 JZ=IZ
0036 IF((MOD(JZ,2).EQ.0).AND.(JZ.LT.6))JZ=-JZ
0037 IF(IZ.EQ.0)GOTO9999
0038 IT=LBUF(2*I-1)/1000
0039 IC=MOD(LBUF(2*I-1),1000)/10
0040 IV=LBUF(2*I)
0041 B0=BB(IZ)
0042 CALL BWR(1,IWO,KBUF,180)
0043 7000 J=2HXS-
0044 K=2HX
0045 IF(IT.EQ.2)K=2HY
0046 IF(IT.LE.2)GO TO 7010
0047 J=2HTX
0048 K=2HY
0049 7010 L=2HX=
0050 IF(IC.NE.1)L=2HY=
0051 NX=21
0052 IF(JZ.LT.0)NX=5
0053 IF(IC.NE.1)NX=30
0054 NY=90
0055 IF((IC.EQ.20).OR.(IC.EQ.1))GOTO7219
0056 M0=IZ/2
0057 IF(IC.GT.20)M0=MOD(IC,10)
0058 DO7219 M=1,NX
0059 XC(M)=XI(M0,2)/5.*(M-1)
0060 IF(M.LE.5)GOTO7218
0061 XC(M)=XI(M0,2)*(1.-(10.-M)/25.)
0062 IF(M.LE.10)GOTO7218
0063 XC(M)=(XI(M0,M-9)+XI(M0,M-8))/2.
0064 IF(M.LT.21)GOTO7218
0065 XC(M)=XI(M0,NS+2)+(RLP-XI(M0,NS+2))/25.*(M-21)
0066 IF(M.LE.26)GOTO7218
0067 XC(M)=XI(M0,NS+2)+(RLP-XI(M0,NS+2))/5.*(M-25)
0068 7218 CONTINUE
0069 GOTO7044
0070 7219 AUX=0.
0071 AUX1=RLP/29.
0072 IF(IC.EQ.20)GO TO 7220
0073 AUX=-B0
0074 AUX1=B0*2/(NX-1)
0075 7220 DO 7230 M=1,NX
0076 7230 XC(M)=AUX+AUX1*(M-1)
0077 7044 DO 7050 N=1,3
0078 DO7046 IO=1,NX

```

```

0079 7046 TN(M, IO) = TN(M, IO) / P0
0080 7050 CONTINUE
0081 7100 IF( IGO(5) .EQ. 0 ) GO TO 8900
0082 C---- TRACE DE COURBES
0083 CALL PLTLU(10)
0084 IF( I. NE. 1 ) GO TO 7210
0085 PAUSE 2
0086 READ(1, *) LU2
0087 CALL PLOT(3., 30., -3)
0088 YN = 30.
0089 7210 DO 7215 M = 1, 3
0090 DO 7215 MO = 1, MX
0091 7215 TXZ(30*(M-1)+MO) = TN(M, MO)
0092 READ(LU2, *) KCOD, YMIN, YMAX, DDY, XMIN, XMAX, DDX
0093 WRITE(LU1, 7216) KCOD, YMIN, YMAX, DDY, XMIN, XMAX, DDX
0094 7216 FORMAT(I10, 6F15.4)
0095 GOTO(7235, 8900, 7238, 9999), KCOD+1
0096 7235 YN = YN - DDY - 3.
0097 IF( YN. GE. 0. ) GO TO 7236
0098 CALL PLOT(30., 30. - YN - DDY - 3., -3)
0099 YN = 30.
0100 GOTO 7235
0101 7236 CALL PLOT(0., -DDY - 3., -3)
0102 7238 XC(NX+1) = 0.
0103 XC(NX+2) = XMAX
0104 IF( I. NE. 1 ) XC(NX+2) = XMAX - XMIN
0105 XC(NX+2) = XC(NX+2) / DDX
0106 TXZ(NY+1) = YMIN
0107 TXZ(NY+2) = (YMAX - YMIN) / DDY
0108 Y0 = ABS(TXZ(NY+1)) / TXZ(NY+2)
0109 CALL PLOT(0., Y0, -3)
0110 IO = NX
0111 KI = 1
0112 XX0 = 0.
0113 XX1 = XMIN
0114 KJI = -1
0115 IF( I. EQ. 1 ) GO TO 7245
0116 XX0 = XMIN
0117 XX1 = 0.
0118 KJI = 1
0119 DO 7242 M = 1, IO
0120 IF( XC(M) .GE. XX0 ) GO TO 7244
0121 7242 CONTINUE
0122 C***
0123 STOP 5555
0124 C***
0125 7244 KI = M
0126 DO 7243 IO = KI, NX - 1
0127 IF( XC(IO+1) .GT. XMAX ) GO TO 7245
0128 7243 CONTINUE
0129 IO = NX
0130 7245 DO 7300 M = 1, 3
0131 IM = 2 * M - 1
0132 IF( M. NE. 3 ) IM = 4 - IM
0133 XA = (XC(KI) * KJI - XX0 + XX1) / XC(NX+2)
0134 YA = TXZ(KI) / TXZ(NY+2)
0135 CALL PLOT(XA, YA, 3)
0136 DO 7265 KK = KI+1, IO
0137 XB = (XC(KK) * KJI - XX0 + XX1) / XC(NX+2) - XA
0138 YB = TXZ(KK) / TXZ(NY+2) - YA
0139 II = 2
0140 DO 7260 LK = 1, IM
0141 XD = XA + XB / MIN0(IM, 3) * MIN0(LK, 3)
0142 YD = YA + YB / MIN0(IM, 3) * MIN0(LK, 3)
0143 IF( (LK .EQ. 1) .OR. (LK .EQ. 5) .OR. (IM. NE. 5) ) GO TO 7255
0144 XD = XA + XB / 9. * (LK+2)
0145 YD = YA + YB / 9. * (LK+2)
0146 7255 CALL PLOT(XD, YD, II)
0147 II = 5 - II
0148 7260 CONTINUE
0149 XA = XD
0150 YA = YD
0151 7265 CONTINUE
0152 IF( M. EQ. 3 ) GO TO 7300
0153 DO 7270 MO = 1, 30 * (3 - M)
0154 7270 TXZ(MO) = TXZ(MO + 30)
0155 7300 CONTINUE
0156 IF( KCOD .EQ. 2 ) GO TO 7310
0157 CALL PLOT(DDX, 0., 3)
0158 CALL PLOT(0., 0., 2)

```

```

0159 7310 CALL PLOT(0.,-Y0,-3)
0160      IF(KCOD.EQ.2)GOTO8900
0161      CALL PLOT(DDX,0.,2)
0162      II=XMAX+0.001
0163      CALL CODE
0164      WRITE(IASC,7311)II
0165      CALL SYMB(DDX,-0.3,0.25,IASC,0.,4)
0166      II=XX0+0.001
0167      CALL CODE
0168      WRITE(IASC,7311)II
0169 7311  FORMAT(I4)
0170      CALL SYMB(0.,-0.3,0.25,IASC,0.,4)
0171      IASC(1)=2HS-
0172      IASC(2)=2HX
0173      IF(IT.EQ.2)IASC(2)=2HY
0174      IF(IT.LE.2)GOTO7320
0175      IASC(1)=2HTX
0176      IASC(2)=2HY
0177 7320  CALL AXES(-0.2,0.,IASC,12,DDY,90.,1.,TXZ(NY+1),TXZ(NY+2))
0178 8900  IF(I.LT.50)GOTO200
0179 9999  CALL EXEC(16,IWO(2)-IWO(1)+1,IWO(1),2)
0180      END
0181      END$

```


SDCPR T=00004 IS ON CR00020 USING 00002 BLKS R=0007

```

0001      FTH4.B
0002 C---- DATE: 16/ 5/78
0003      PROGRAM DCPR
0004 C*****
0005 C*
0006 C*          PROGRAMME POUR LE CALCUL ET LE TRACE DES CONTRAINTES
0007 C*          PRINCIPALES(LESQUELLES SONT STOCKEES SUR LE
0008 C*          IFIL(3))
0009 C*
0010 C*****
0011      DIMENSION IFIL(3),IDCB(144),IP(5),X(20),Y(8),CR(3,20),
0012      CIWO(6),JJP(9),KP(20),TN(3,30),JBUF(768)
0013      EQUIVALENCE (JBUF,TN),(LU1,IP(1)),(X,JBUF(181)),(KP,JBUF(221))
0014      C,(LU,IP(2)),(JBUF(241),Y),(JBUF(257),JP),(JBUF(265),CR)
0015      CALL RMPAR(IP)
0016      CALL PLTLU(10)
0017      CALL EXEC(15,2,IWO(1),I,IWO(3))
0018      IWO(2)=IWO(1)+1
0019      IF(IWO(1).LT.0)STOP111
0020      IF((IWO(3).NE.96).OR.(I.NE.2))STOP222
0021      IWO(4)=IWO(1)
0022      IWO(5)=0
0023      IWO(6)=0
0024      I=9000
0025      K=1
0026      WRITE(7,9)
0027      9      FORMAT(/X"IFIL?" )
0028      READ(LU,99)IFIL
0029      99     FORMAT(3A2)
0030      CALL OPEN(IDCB,IERR,IFIL)
0031      IF(IERR.NE.1)STOP224
0032      333   L=MIN0(I,768)
0033      CALL READF(IDCB,IERR,JBUF,L,LEN,K)
0034      IF(IERR.NE.0)STOP225
0035      CALL BWR(2,IWO,JBUF,L)
0036      K=K+6
0037      I=I-L
0038      IF(I.GT.0)GOTO333
0039      CALL CLOSE(IDCB)
0040      WRITE(7,1)
0041      1     FORMAT(/X"NPX? NPY? HD? YD? X0? XA? XB? XC? YB? ")
0042      READ(LU,* )NPX,NPY,HD,YD,X0,XA,XB,XC,YB
0043      WRITE(7,19)
0044      19    READ(LU,* )ECHC,RLMAX,P0
0045      FORMAT(/X"ECHC ? RLMAX ? P0 ? ")
0046      ECHD=HD/YD
0047      CALL PLOT(0.,HD,3)
0048      CALL PLOT((XC-X0)*ECHD,HD,2)
0049      CALL PLOT((XB-X0)*ECHD,0.,3)
0050      CALL PLOT((XB-X0)*ECHD,YB*ECHD,2)
0051      CALL PLOT((XA-X0)*ECHD,YB*ECHD,2)
0052      CALL PLOT((XA-X0)*ECHD,0.,2)
0053      WRITE(LU1,2)
0054      2     FORMAT(/X"CALCUL CONTRAINTES PRINCIPALES: *2/,10X"X"9X"Y"8X"CX"
0055      C8X"CY"7X"CY"7X"C-I"6X"C-II"6X"ALFA")
0056      WRITE(7,4)
0057      READ(LU,* )X
0058      WRITE(7,5)
0059      READ(LU,* )Y
0060      WRITE(7,6)
0061      READ(LU,* )IF
0062      WRITE(7,7)
0063      READ(LU,* )JP
0064      WRITE(7,8)
0065      READ(LU,* )KP
0066      4     FORMAT(/X"X?" )
0067      5     FORMAT(/X"Y?" )
0068      6     FORMAT(/X"IF?" )
0069      7     FORMAT(/X"JP?" )
0070      8     FORMAT(/X"KP?" )
0071      DO80 L0=1,NPY
0072      IWO(4)=IWO(1)
0073      IWO(5)=0
0074      IWO(6)=0
0075      CALL SWO(IWO,IWO,180*(JP(L0)-1))
0076      DO60 K=1,3
0077      CALL BWR(1,IWO,TN,180)
0078      DO60 L=1,NPX

```

```

0079      CR(K,L)=TH(IF,KP(L))/PO
0080      IF((K.EQ.3).AND.(LO.EQ.NPY).AND.(IP(3).EQ.1))CR(3,L)=0.
0081 60     CONTINUE
0082      DO 80 L1=1,NPX
0083      AUX=-CR(J,L1)
0084      CALL CPRIN(CR(1,L1),CR(2,L1),AUX,TP1,TP2,ALFA)
0085      ALD=ALFA*180./3.141592
0086      WRITE(LU1,3)X(L1),Y(L1),(CR(J,L1),J=1,3),TP1,TP2,ALD
0087 3      FORMAT(X8F10.2)
0088      XX=(X(L1)-X0)*ECHO
0089      YY=(Y(L1)-Y0)*ECHO
0090      DC=TP1*ECHO*COSS(ALFA)/2.
0091      DS=TP1*ECHO*SIIN(ALFA)/2.
0092      EC=TP2*ECHO*COSS(ALFA)/2.
0093      ES=TP2*ECHO*SIIN(ALFA)/2.
0094      RL1=SQRT(DC**2+DS**2)
0095      REDX=1.
0096      IF(RL1.LT.RLMAX)GOTO20
0097      REDX=RLMAX/RL1
0098      CALL SYMB(XX,YY,.2,5,ALD,-1)
0099 20     RL2=SQRT(EC**2+ES**2)
0100      REDY=1.
0101      IF(RL2.LT.RLMAX)GOTO30
0102      REDY=RLMAX/RL1
0103      CALL SYMB(XX,YY,.2,0,ALD,-1)
0104 30     X1=XX+DC*REDX
0105      Y1=YY+DS*REDX
0106      X2=XX-DC*REDX
0107      Y2=YY-DS*REDX
0108      CALL PLOT(X1,Y1,3)
0109      CALL SYMB(X1,Y1,.2,9,ALD-90.,-1)
0110      CALL PLOT(X2,Y2,2)
0111      CALL SYMB(X2,Y2,.2,9,ALD+90.,-1)
0112      X3=XX+EC*REDY
0113      Y3=YY+ES*REDY
0114      X4=XX-EC*REDY
0115      Y4=YY-ES*REDY
0116      CALL PLOT(X3,Y3,3)
0117      CALL SYMB(X3,Y3,.2,3,ALD,-1)
0118      CALL PLOT(X4,Y4,2)
0119      CALL SYMB(X4,Y4,.2,3,ALD,-1)
0120 80     CONTINUE
0121      ENDO
0122 C --- SUBROUTINE CPRIN
0123 SUBROUTINE CPRIN(TX,TY,TXY,T1,T2,ALFA)
0124 T1=0.
0125 T2=0.
0126 ALFA=0.
0127 IF(TX.EQ.TY)GOTO5
0128 ALFA=0.5*ATAN(2.*TXY/(TX-TY))
0129 GOTO10
0130 5     ALFA=0.5*3.141592/2.
0131 IF(TXY.EQ.0.)ALFA=0.
0132 IF(TXY.LT.0.)ALFA=-ALFA
0133 10    SC=COSS(ALFA)
0134 T1=SIIN(ALFA)
0135 C2=SC*SC
0136 S2=T1*T1
0137 SC=SC*T1
0138 T1=C2*TX+S2*TY+2.*SC*TXY
0139 T2=S2*TX+C2*TY-2.*SC*TXY
0140 ENDO
0141 END$

```

SELFA T=00003 IS ON CR00040 USING 00016 BLKS R=0000

```

0001  FTM4
0002  C----DATE:26/4/78
0003  C----
0004  C*****
0005  C*
0006  C*          STOCKE SUR SELFA (DOS):SUBROUTINES 'SWO' ET 'BWR', POUR
0007  C*          LES TRANSFERTS ENTRE LA MEMOIRE CENTRALE ET L'AIRE DE
0008  C*          TRAVAIL DU DISQUE.
0009  C*
0010  C*****
0011  C----
0012  C----
0013  C----
0014  SUBROUTINE SWO(IWO1,IWO,NW)
0015  DIMENSION IWO(1),IWO(1),LAB(3)
0016  DATA NCR/32000/,NSECT/48/,LAB/2H S,2HWO/,NMOT/128/
0017  DO 10 J=1,6
0018  IWO(J)=IWO1(J)
0019  IF(NW.EQ.0)GO TO 20
0020  LAB(3)=2H/1
0021  IF((NW.LT.0).OR.(NW.GT.NCR))GOTO30
0022  IWO(6)=IWO(6)+NW
0023  IF(IWO(6).LT.NMOT)GO TO 20
0024  NO=IWO(6)/NMOT
0025  IWO(5)=IWO(5)+NO
0026  IWO(6)=IWO(6)-NMOT*NO
0027  IF(IWO(5).LT.NSECT)GO TO 20
0028  NO=IWO(5)/NSECT
0029  IWO(4)=IWO(4)+NO
0030  IWO(5)=IWO(5)-NSECT*NO
0031  20  LAB(3)=2H
0032  IF(IWO(3).NE.NSECT)LAB(3)=2H/2
0033  IF((IWO(4).LT.IWO(1)).OR.(IWO(4).GT.IWO(2)+1))LAB(3)=2H/3
0034  IF((IWO(4).EQ.IWO(2)+1).AND.(IWO(5)+IWO(6).NE.0))LAB(3)=2H/3
0035  IF((IWO(5).LT.0).OR.(IWO(5).GE.NSECT))LAB(3)=2H/4
0036  IF((IWO(6).LT.0).OR.(IWO(6).GE.NMOT))LAB(3)=2H/5
0037  IF(LAB(3).EQ.2H)GO TO 40
0038  30  CALL EXEC(2,18,LAB,-6)
0039  C***
0040  STOP 13
0041  C***
0042  40  END
0043  C----
0044  C----
0045  C----
0046  SUBROUTINE BWR(ICOD,IWO,IBUF,NW)
0047  DIMENSION IWO(1),IBUF(1),IBO(128),INAM(3)
0048  DATA ICON/1028/,INAM/2H B,2HWR,2H /,NDMA/15999/,NMOT/128/
0049  IF((ICOD.NE.1).AND.(ICOD.NE.2))GO TO 120
0050  IF(NW.LT.0).OR.(NW.GT.NDMA))GO TO 130
0051  IF(NW.EQ.0)GO TO 150
0052  ITRK=IWO(4)
0053  ISECT=IWO(5)
0054  IOFF=IWO(6)
0055  CALL SWO(IWO,IWO,NW)
0056  NW1=IWO(6)
0057  NW0=0
0058  NWP=NW-NW1
0059  IF(IOFF.EQ.0)GO TO 35
0060  CALL EXEC(1,ICON,IBO,NMOT,ITRK,ISECT)
0061  NW0=MIN0(NMOT-IOFF,NW)
0062  NWP=NWP-NW0
0063  IF(ICOD.EQ.1)GO TO 20
0064  DO 10 J=1,NW0
0065  IBO(J+IOFF)=IBUF(J)
0066  CALL EXEC(2,ICON,IBO,NMOT,ITRK,ISECT)
0067  IF(NWP.LE.0)GO TO(55,70),ICOD
0068  22  ISECT=ISECT+1
0069  IF(ISECT.LT.IWO(3))GO TO 25
0070  ISECT=0
0071  ITRK=ITRK+1
0072  25  IF(ICOD.EQ.1)GO TO 40
0073  DO 30 J=1,NWP
0074  IBO(J)=IBUF(J+NW0)
0075  GO TO 40
0076  35  IF(NWP.LE.0)GO TO 70
0077  C!!!!
0078  C!!!! EN RTE,OU LES TRANSFERTS NE PEUVENT PAS SE CHEVAUCHER ENTRE

```

```

0079 C!!!! DEUX PISTES, ON DOIT UTILISER LES LIGNES DE COMMENTAIRES QUI
0080 C!!!! SUIVENT:
0081 C41 JOFS=ISECT
0082 C NSECT=NMOT/NMOT+JOFS
0083 C NTRAK=NSECT/IWO(3)
0084 C IF(MOD(NSECT, IWO(3)).NE.0)NTRAK=NTRAK+1
0085 C IF(NTRAK.LT.2)GOTO49
0086 C IF(ICOD.EQ.2)GOTO220
0087 C JTRAK=ITRK+NTRAK-1
0088 C180 MSECT=IWO(3)*(JTRAK-ITRK)
0089 C JSECT=0
0090 C IF(JTRAK.EQ.ITRK)JSECT=JOFS
0091 C LMOT=NMOT*(NSECT-MSECT-JSECT)
0092 C205 CALL EXEC(1,102B,IBUF,LMOT,JTRAK,JSECT)
0093 C IF(JTRAK.EQ.ITRK)GOTO51
0094 C240 JSECT=NMOT*(MSECT-JOFS)
0095 C DO 210 J=LMOT,1,-1
0096 C210 IBUF(JSECT+J)=IBUF(J)
0097 C JTRAK=JTRAK-1
0098 C NSECT=MSECT
0099 C GOTO180
0100 C220 JTRAK=ITRK
0101 C LSECT=IWO(3)
0102 C MSECT=0
0103 C LMOT=NMOT*(LSECT-JOFS)
0104 C JSECT=JOFS
0105 C GOTO235
0106 C230 LMOT=NMOT*(LSECT-MSECT)
0107 C JSECT=NMOT*(MSECT-JOFS)
0108 C DO 233 J=1,LMOT
0109 C233 IBUF(J)=IBUF(JSECT+J)
0110 C JSECT=0
0111 C235 CALL EXEC(2,102B,IBUF,LMOT,JTRAK,JSECT)
0112 C IF(JTRAK.EQ.ITRK+NTRAK-1)GOTO240
0113 C JTRAK=JTRAK+1
0114 C NSECT=LSECT
0115 C LSECT=LSECT+IWO(3)
0116 C IF(LSECT.GT.MSECT)LSECT=MSECT
0117 C GOTO230
0118 C!!!!
0119 C!!!!
0120 C40 CALL EXEC(ICOD,ICON,IBUF,NWP,ITRK,ISECT)
0121 C51 IF(IOFF.EQ.0)GO TO 70
0122 C DO 50 J=NWP,1,-1
0123 C50 IBUF(J+NWO)=IBUF(J)
0124 C DO 60 J=1,NWO
0125 C60 IBUF(J)=IBO(J+IOFF)
0126 C --- LE CALL EXEC COMPLETE UN NOMBRE ENTIER DE SECTEURS(PAR EXCES)
0127 C70 IF(NWP.LT.0)GO TO 150
0128 C IF(NW1.EQ.0)GO TO 150
0129 C NWP=NWP+NWO
0130 C CALL EXEC(1,ICON,IBO,NMOT,IWO(4),IWO(5))
0131 C GO TO(30,100),ICOD
0132 C90 DO 90 J=1,NW1
0133 C30 IBUF(J+NWP)=IBO(J)
0134 C GO TO 150
0135 C100 DO 110 J=1,NW1
0136 C110 IBO(J)=IBUF(J+NWP)
0137 C CALL EXEC(2,ICON,IBO,NMOT,IWO(4),IWO(5))
0138 C GO TO 150
0139 C ---
0140 C120 INAM(3)=2H 1
0141 C GO TO 140
0142 C130 INAM(3)=2H 2
0143 C140 CALL EXEC(2,IB,INAM,-6)
0144 C****
0145 C STOP 14
0146 C****
0147 C ---
0148 C150 END
0149 C END$

```

ANNEXE C - SERIE DE PROGRAMMES 'ELF'

Elle comporte les sous-programmes ELF \emptyset , ELF1, ELF2, ELF3, ELF4, ELF5, ELF6, ELF7, ^{EL70} ELF8, ELF9, ELF10, EL1A, EL1B, EL1, EL12, et EL13.

Les sous-routines 'BWR' et 'SWO' sont identiques à celles utilisées dans le programme 'CPC'.

1.- Description des variables du 'Common'.

IGO (5) .- Vecteur avec les différentes options du programme:

IGO (1) = 1; premier passage du programme
 2; continuation du chargement, à partir de l'état final lors d'une utilisation préalable du programme.
 3; tracé des contraintes principales.

IGO (2) = 1; tracé de la maille d'éléments
 0; rien.

IGO (3) = (unité logique de lecture de données + 100 x unité logique de lecture du nom du fichier de stockage des résultats).

IGO (4) = unité logique d'écriture

IGO (5) = 1; stockage dans un fichier des résultats à la fin de chaque étape de chargement.
 0; rien.

ITITRE (36) .- Titre, jusqu'à 72 caractères.

IWO (6) .- Similaire au programme 'CPC'.

INAM (3) .- " " "

IFIL (3) .- Nom du fichier pour le stockage des résultats à la fin de chaque étape de chargement.

NE .- Nombre d'éléments

NP .- Nombre de points nodaux

NR .- Nombre de points nodaux qui ont les déplacements empêchés.

- NC .- Nombre de cas de chargement.
- JCØ .- Nombre de cas de chargement qu'on est entrain de calculer (absolu).
- JC .- " " " " " " " " " " (relatif, c'est à dire à l'intérieur d'un passage du programme).
- EB .- Module d'élasticité du béton (kg/cm²).
- EA .- Idem de l'acier.
- VU .- Module de Poisson du béton.
- FB .- Résistance ultime du béton (uniaxial), en kg/cm²
- FA .- Idem de l'acier.
- DA .- Déformation ultime de l'acier.
- ESP .- Epaisseur du hourdis (en cm).
- TØ .- Précompression générale initiale dans le hourdis (kg/cm²).

IMAT (NE).- Type d'élément : - 1; béton

IMAT = $-(1000 + \alpha \text{ (degrés)})$, pour le béton fissuré en direction normale à α

IMAT = $-(3000 + \alpha \text{ (degrés)})$, pour le béton fissuré en deux directions (α et sa normale)

IMAT = 0; acier

IMAT = 4 0 0; de liaison hourdis - parois latérales

$0 < \text{IMAT} < 180$; de liaison acier-béton, avec une orientation $\alpha \text{ (degrés)} = \text{IMAT}$

IMAT = 200; idem, avec $\alpha = 0$

NPE (3, NE) .- Points nodaux (i, j, k) de chaque élément.

Dans les éléments d'acier, NPE (3, i) = aire des armatures (mm²).

Dans les éléments de liaison acier-béton, NPE (3, i) = surface d'adhérence affectée à l'élément (cm²).

TENS (3, NE) .- Contraintes dans les éléments :

$\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$, pour le béton

σ^* (cf. 3.3.4), pour l'acier

σ_h, σ_v (cf. 3.3.5), pour les éléments de liaison.

- DEF (3,NE) .- Déformations dans les éléments :
- $\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy}$, pour le béton.
 ϵ^* (cf. 3.3.4), pour l'acier .
- ϵ_h, ϵ_v , (cf. 3.3.5) pour les éléments de liaison.
- FIS (NE) .- Dans les éléments de béton fissuré, valeur de $\sigma_{IR}/(\epsilon_f - \epsilon_{IR})^2$, au moment de la fissuration (cf. 3.4.4)
- JCOOR(2,NP) .- Coordonnées x, y de chaque point nodal (en cm).
- CHARG (2 NP) .- Forces F_x, F_y appliquées sur chaque point nodal (en kg)
- DEPL (2 NP) .- Déplacements u, v de chaque point nodal (en cm).
- ILM (2,NP) .- Mouvements empêchés dans les points nodaux :
 ILM (1) : numéro du point nodal;
 ILM (2) : code = ab.
 a = 0; si u (i) est libre
 1; si u (i) est empêché
 b = 0; si v (i) est libre
 1; si v (i) est empêché.
- TOLER .- 0; si les contraintes non équilibrées sont négligeables
 1; si la convergence n'est pas obtenue.
- ITER .- numéro de l'itération en cours, dans chaque étape de chargement.
- NITER .- Le programme écrit les forces nodales non équilibrées toutes les NITER itération.
- NITER, IOFF, MXE, MXR, MXP.- Variables auxiliaires.

2.- Listings

SELFO T=00003 IS ON CR00040 USING 00024 BLKS R=0000

```

0001      FTH4
0002 C----DATE:28/ 8/78
0003      PROGRAM SELFO
0004 C*****
0005 C*
0006 C*      PROGRAMME INITIAL LECTURE DES DONNEES ET INITIALISATION
0007 C*      DU PROCESSUS DE CALCUL.
0008 C*
0009 C*****
0010      DIMENSION IBUF(5),IP(5),IHEUR(5),RBUF(2),LBUF(400),TBUF(2,400)
0011      COMMON IGO(5),ITITRE(36),IWO(6),INAM(3),IFIL(3),
0012      CNE,MP,NR,FREL,NC,EB,EA,YU,FB,FA,DA,TO,ESP,
0013      CJC,IOFF,ITER,TOLER,NITER,NITER,MXE,MXP,MXR,IGO,
0014      CNPE(3,600),TEHS(3,600),DEF(3,600),IMAT(600),FIX(600),
0015      CUCOORD(2,400),CHARG(800),DEPL(800),ILH(2,100)
0016      EQUIVALENCE (IBUF(2),RBUF),(LU1,IGO(4))
0017 C-----
0018 C-----MAXIMUM:ELEMENTS:600...POINTS NODAUX:400...POINTS NON LIBRES:100
0019 C-----
0020 C-----GRANDEUR COMMON:86+18*NE+10*NP+2*NR
0021 C-----
0022 C-----NOMBRE SECTEURS IFIL:48*(3+IFIX(NP*240./6144.))+IFIX(NP*30./6144.)
0023 C-----+IFIX(NE*36./6144.))+5+(NE-1)/128+(2NE-1)/128+(4NP-1)/128
0024 C-----+2*((6NE-1)/128)
0025 C-----
0026      CALL RMPAR(IGO)
0027 C----- IGO(1): CALCUL INITIAL(+1) CALCUL CONTINUATION(+2)
0028 C----- TRACE CONTRAINTES(3)///IL SERA NEGATIF SI L'ON
0029 C----- DESIRE LAISSER STOCKES LES RESULTATS INTERMEDIAIRES
0030 C----- IGO(2): TRACE DU SCHEMA DES ELEMENTS(0,1)
0031 C----- IGO(3): UN LOG LECTURE+10$*UN LOG LECTURE TITRE ET FICHIER STOCK.
0032 C----- IGO(4): UN LOG ECRITURE
0033 C----- IGO(5):1,SI IGO(1) NEGATIF;0,SI IGO(1) POSITIF
0034 C-----
0035      IF(IGO(5).EQ.1)IGO(1)=-IGO(1)
0036      MXE=600
0037      MXP=400
0038      MXR=100
0039      INAM(1)=2HEL
0040      INAM(2)=2HF1
0041      INAM(3)=2H
0042      LU=IGO(3)/100
0043 C----- LECTURE DU TITRE ET DES DONNEES GENERALES
0044      READ(LU,10)ITITRE
0045      IF(LU1.EQ.6)CALL EXEC(3,1106B,-1)
0046      WRITE(LU1,20)MXE,MXP,MXR,ITITRE
0047      10  FORMAT(36A2)
0048      20  FORMAT(5/,X,)*PROGRAMME ,ELF, (ELEMENTS FINIS BIDIMENSIONNELS)*
0049      C2/,X*NOMBRE ELEMENTS<="15/,X*NOMBRE POINTS NODAUX<="15,
0050      C/X*NOMBRE POINTS NON LIBRES<="15,
0051      C4/,X*TITRE: ',X,36A2)
0052      IFIL(3)=2H
0053      READ(LU,10)IFIL
0054      LU=MOD(IGO(3),100)
0055      WRITE(LU1,22)IFIL
0056      22  FORMAT(5/,X)*FICHIER DU DISQUE POUR STOCKAGE FINAL:"3A2)
0057      IF(IFIL(1).EQ.2H)GOTO25
0058      CALL EXEC(18,IFIL,ISECT)
0059      IF(ISECT.NE.0)GOTO25
0060      WRITE(LU1,23)
0061      23  FORMAT(2/,X)*FICHIER NON TROUVE*)
0062 C****
0063      STOP1003
0064 C****
0065      25  CALL EXEC(11,IHEUR)
0066      WRITE(LU1,26)(IHEUR(I),I=4,2,-1)
0067      26  FORMAT(3/,X)*HEURES : '15/,X*MINUTES : '15/,X*SECONDES: '15)
0068      28  READ(LU,*)NE,MP,NR,NITER
0069      WRITE(LU1,30)NE,MP,NR,NITER
0070      TOLER=0
0071      30  FORMAT(2/,X)*N.ELEMENTS: '10X,14./,X)*N.POINTS NODAUX: '5X,14./,X,
0072      C*N.POINTS NON LIBRES: 'X,14,
0073      C2/,X,*NITER: '15)
0074 C----- LECTURE DES CARACTERISTIQUES DU BETON ET DE L'ACIER
0075      READ(LU,*)EB,YU,FB,ES,EA,FA,DA,TO
0076      WRITE(LU1,40)EB,YU,FB,ES,EA,FA,DA,TO
0077      40  FORMAT(3/,X)*MATE RIAUX: '2/,X)*BETON: '2/,X)*MOD ELASTICITE INITIAL:
0078      C*(KG/CM2): '3X,F10.2/,X)*MODULE POISSON(COMPRESSIION UNIAXIALE): "

```



```

0079 C, F6. 2, 7, X*RES. COMPRESSION UNIAXIALE(KG/CM2): *
0080 CF10. 2, 7, X*EPAISSEUR DALLE(CM): *14X,
0081 CF10. 2, 27, X*ACIER*/X*MOD. ELASTICITE(KG/CM2): *4X, F10. 2, 7, X,
0082 C*RESISTANCE ULTIME(KG/CM2): *F11. 2, 7, X*DEFORMATION ULTIME: *8X,
0083 CF10. 3, 47, X*COMPRESSION INITIALE DU BETON(KG/CM2): *F10. 2)
0084 C----LECTURE DES DONNEES CONCERNANT LES ELEMENTS
0085 DO 200 I=1, NE
0086 200 READ(LU, *)K, IMAT(I), (HPE(J, I), J=1, 3)
0087 WRITE(LU1, 210)(I, IMAT(I), (HPE(J, I), J=1, 3), I=1, NE)
0088 210 FORMAT(37, X"ELEMENTS: *27, X", "L=K(BETON); A(KM2)(ACIER) *
0089 C"; S(CM2)(LIAISON)*27, X, 3("NUMERO: "X"TYPE: "3X"I"5X"J"5X"L"6X)
0090 C, 7, 500(X, 3(I4, I8, I5, 2I6, 6X), 7))
0091 C----LECTURE DES COORDONNEES DES POINTS NODAUX ET MISE A ZERO DU
0092 C----VECTEUR "CARG"
0093 C----LES COORDONNEES DU CENTRE DE SYMETRIE SONT(0,0)
0094 J=1
0095 DO 220 I=1, NP
0096 CHARG(J)=0.
0097 CHARG(J+1)=0.
0098 J=J+2
0099 220 READ(LU, *)L, (JCOOR(K, I), K=1, 2)
0100 WRITE(LU1, 230)(I, (JCOOR(K, I), K=1, 2), I=1, NP)
0101 230 FORMAT(37, X"POINTS NODAUX: *27, X, 3("NUMERO: "4X*X(CM): *4X*Y(CM): *
0102 C, 8X), 27, 500(X, 3(I4, X, 2I10, 8X), 7))
0103 MXE=1+IFIX(NP*240./6144.)
0104 MXP=1+IFIX(NP*30./6144.)
0105 MXR=1+IFIX(NE*72./6144.)
0106 N=2+IFIX(NE*36./6144.)+2*MXE+MXP+MXR
0107 CALL EXEC(17, IWO(1), IWO(2), IWO(3))
0108 N=IWO(2)+1-IWO(1)
0109 C****
0110 IF(IWO(3).NE.48)STOP1004
0111 C****
0112 IF(M.GE.N)GOTO270
0113 WRITE(LU1260)H, M
0114 260 FORMAT(37, X"WORK AREA PLEINE; NOMBRE PISTES DESIREES: *14,
0115 C2X*NOMBRE PISTES DISPONIBLES: *14)
0116 C****
0117 STOP 1005
0118 C****
0119 270 IWO(2)=IWO(1)+N-1
0120 IWO(4)=IWO(2)-MXE
0121 IWO(5)=0
0122 IWO(6)=0
0123 IOFF=0
0124 N=N-1-MXR-MXE
0125 N=N*48+5+(NE-1)/128+(2*NE-1)/128+(4*NP-1)/128+2*((6*NE-1)/128)
0126 IF(N.LE.ISECT)GOTO279
0127 WRITE(LU1, 277)ISECT, N
0128 277 FORMAT(27, X"NUMBRE SECTEURS IFIL: *15, 4X, "NOMBRE NECESSAIRE"
0129 C" DE SECTEURS: *15)
0130 C****
0131 STOP1006
0132 C****
0133 278 IF(IG0(1).EQ.3)GOTO288
0134 C----LECTURE DES RESTRICTIONS DE MOUVEMENTS
0135 DO 240 I=1, NR
0136 240 READ(LU, *) (ILN(J, I), J=1, 2)
0137 WRITE(LU1, 250)(ILN(J, I), J=1, 2), I=1, NR)
0138 250 FORMAT(37, X"MOUVEMENTS EMPECHES: *27, X, 3("P. NODAL: *5X"CODE: *
0139 C, 10X)27, 500(X, 3(I4, I12, I0X), 7))
0140 C----LECTURE DES CHARGES ET STOCKAGE DANS LAIRE DE TRAVAIL
0141 WRITE(LU1, 280)
0142 280 FORMAT(37, X"CHARGES: *27, X"INCREMENT CHARGES: *4X"P. NODAL", 5X
0143 C"X(KG)*7X"Y(KG)"*)
0144 DO285 I=1, NP
0145 READ(LU, *)LBUF(I), TBUF(1, I), TBUF(2, I)
0146 IF(LBUF(I).EQ.0)GOTO286
0147 285 CONTINUE
0148 286 K=1
0149 288 PAUSE 0000
0150 READ(LU, *)JCO, NC
0151 IF(IG0(1).EQ.3)GOTO400
0152 DO 350 I=1, NC
0153 READ(LU, *)AUX
0154 L=JCO+I-1
0155 WRITE(LU1, 287)L, AUX
0156 287 FORMAT(27, I11, " ... FACTEUR: *F10. 2)
0157 DO 340 J=1, K
0158 IBUF(J)=LBUF(J)

```

```

0159      IF( IBUF(1).EQ.0)GOTO300
0160      RBUF(1)=TBUF(1,J)*AUX
0161      RBUF(2)=TBUF(2,J)*AUX
0162      WRITE(LU1,290)I,IBUF(1),RBUF(1),RBUF(2)
0163 290    FORMAT(I11,12X,14,5X,F10.3,2X,F10.3)
0164      IF(I.NE.1)GOTO 310
0165      CHARG(2*IBUF(1)-1)=RBUF(1)
0166      CHARG(2*IBUF(1))=RBUF(2)
0167      GOTO310
0168 300    RBUF(1)=0.
0169      RBUF(2)=0.
0170 310    IF(I.NE.1)CALL BUR(2,IWO,IBUF,5)
0171      IF( IBUF(1).EQ.0)GOTO 350
0172 340    CONTINUE
0173 C****
0174      STOP 1010
0175 C****
0176 350    CONTINUE
0177 400    WRITE(LU1,360)(IWO(J),J=1,3)
0178 360    FORMAT(3/,X"STOCKAGE SUR L'AIRE DE TRAVAIL:"/, IWO(1)="15
0179      C,6X," IWO(2)="15,6X" IWO(3)="15)
0180 C-----CHANGEMENT DE PROGRAMME
0181      CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3))
0182      END
0183      END$

```

SELF1 T=00003 IS ON CR00040 USING 00014 BLKS R=0000

```

0001  FTM4
0002  C----DATE: 20/ 4/78
0003  PROGRAM ELF1
0004  C*****
0005  C*
0006  C*   PROGRAMME POUR L'OBTENTION DE L'ETAT INITIAL DE CONTRAINTES ET
0007  C*   DEFORMATIONS DU BETON.
0008  C*
0009  C*****
0010  DIMENSION KBUF(6144),RBUF(3072),TBUF(1800),DBUF(1800),IP(5)
0011  COMMON IGO(5),ITITRE(36),IWO(6),IHAM(3),IFIL(3),
0012  CHE,HP,HR,FREL,HC,EB,EA,VU,FB,FA,DA,TO,ESP,
0013  CJC,IOFF,ITER,TOLER,NITER,NITER,MXE,MXP,MNR,JCO,
0014  CNPE(3,600),TEHS(3,600),DEF(3,600),IMAT(600),FIS(600),
0015  CJCOORD(2,400),CHARG(300),DEPL(300),LENOR(100)
0016  EQUIVALENCE (KBUF,RBUF),(TEHS,TBUF),(DEF,DBUF),(LUI,IGO(4))
0017  C-----
0018  C-----
0019  CALL RMPAR(IP)
0020  IF(IGO(1).EQ.3)GOTO1200
0021  IF(ABS(IGO(1)).EQ.2)GOTO980
0022  IF(TO.GE.0.)GOTO700
0023  AUX5=TO/EB
0024  AUX0=AUX5+VU*0.9
0025  GOTO900
0026  700  I=1
0027  AUX=EB
0028  AUX1=0.00218
0029  800  AUX0=TO/AUX
0030  810  AUX2=AUX0/AUX1
0031  AUX3=1.+(AUX*AUX1/EB-2.+AUX2)*AUX2
0032  AUX4=TO-AUX*AUX0/AUX3
0033  IF(AUX4.LE.TO*0.00001)GOTO850
0034  C****
0035  IF(AUX4.LT.0.)STOP 1040
0036  C****
0037  AUX0=AUX0+AUX4/(AUX*(1.-AUX2**2)/AUX3**2)
0038  GOTO 810
0039  950  IF(1.EQ.2)GOTO 900
0040  I=2
0041  AUX5=AUX0
0042  AUX=EB/VU
0043  AUX1=0.0008
0044  GOTO 800
0045  900  DO 950 I=1,NE
0046  FIS(I)=0
0047  IF(IMAT(I).GE.0)GOTO 940
0048  TEHS(1,I)=-TO
0049  TEHS(2,I)=0
0050  TEHS(3,I)=0
0051  DEF(1,I)=-AUX5
0052  DEF(2,I)=AUX0
0053  DEF(3,I)=0
0054  GOTO950
0055  940  DO945 J=1,J
0056  TEHS(J,I)=0
0057  945  DEF(J,I)=0
0058  950  CONTINUE
0059  AUX5=-AUX5
0060  WRITE(LUI,960)AUX5,AUX0
0061  960  FORMAT(3/,X"DEF. INIT. --X:"E15.6/" DEF. INIT. --Y:"E15.6)
0062  C-----NUMERO INCREMENT DE CHARGE =1
0063  C-----ITERATION NUMERO 1
0064  980  JCO=1
0065  ITER=1
0066  IF(ABS(IGO(1)).NE.2)GOTO 1200
0067  C-----LECT. [KT],[ISP],[DB],[IMAT],[FIS],[CHARG],[TEHS]ET[DEF],STOCK.
0068  C-----DANS "IFIL" LORS D'UNE PREALABLE UTILISATION DU PROGRAMME
0069  990  MN=6144
0070  MS=MN*MXE
0071  ASSIGN 1040 TO ILB
0072  K=0
0073  I=0
0074  1000 IWO(4)=IWO(1)+1
0075  IWO(5)=0
0076  IWO(6)=0
0077  DO 1020 J=1,MS
0078

```

```

0079      CALL EXEC(14,102B,KBUF,NN,IFIL,K)
0080      K=K+NN/128
0081      CALL BUR(2,IWO,KBUF,NN)
0082 1020  CONTINUE
0083      GOTO ILB
0084 1040  ASSIGN 1050 TO ILB
0085      I=MXE
0086      NS=NM*MXP
0087      GOTO 1000
0088 1050  ASSIGN 1060 TO ILB
0089      I=MXE+MXP+MXR
0090      NS=NM*(1+IFIX(NE*36./6144.))
0091      GOTO 1000
0092 1060  NS=NE
0093      ILB=0
0094 1065  I2=0
0095      ILB=ILB+1
0096 1070  J=MIN0(NS,NN)
0097      CALL EXEC(14,102B,KBUF,J,IFIL,K)
0098      K=K+J/128
0099      IF(MOD(J,128).NE.0)K=K+1
0100      NS=NS-J
0101      DO1080 I1=1,J/MIN0(2,ILB)
0102      GOTO(1071,1072,1073,1074,1075),ILB
0103 1071  IMAT(I2+I1)=KBUF(I1)
0104      GOTO1080
0105 1072  FIS(I2+I1)=RBUF(I1)
0106      GOTO1080
0107 1073  CHARG(I2+I1)=CHARG(I2+I1)+RBUF(I1)
0108      GOTO1080
0109 1074  TBUF(I2+I1)=RBUF(I1)
0110      GOTO1080
0111 1075  DBUF(I2+I1)=RBUF(I1)
0112 1080  CONTINUE
0113      I2=I2+J/MIN0(2,ILB)
0114      IF(NS.GT.0)GOTO1070
0115      GOTO(1084,1085,1090,1090,1200),ILB
0116 1084  NS=2*NE
0117      GOTO1065
0118 1085  NS=NP*4
0119      GOTO1065
0120 1090  NS=6*NE
0121      GOTO1065
0122 1200  IF(IGO(2).EQ.0)GOTO2000
0123 C-----TRACE DES ELEMENTS
0124      INAM(2)=2HF2
0125      GOTO 2010
0126 C-----CHANGEMENT DE PROGRAMME
0127 2000  INAM(2)=2HF3
0128      IF( IABS(IGO(1)).EQ.2)INAM(2)=2HF7
0129      IF( IGO(1).EQ.3)INAM(2)=2H11
0130      IP(4)=0
0131 2010  CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3),IP(4))
0132      END
0133      END#

```

SELF2 T=00003 IS ON CR00040 USING 00016 BLKS R=0000

```

0001 FTM4
0002 C-----DATE: 22/ 3/78
0003 PROGRAM ELF2
0004 C*****
0005 C*
0006 C* PROGRAMME POUR LE TRACE DES ELEMENTS.
0007 C*
0008 C*****
0009 DIMENSION X(2),Y(2),IASC(2),IP(5)
0010 COMMON ICG(5),ITITRE(36),IWC(6),INAK(3),IFIL(3),
0011 CNE, NP, NR, FREL, NC, EB, EA, YU, FB, FA, DA, TO, ESP,
0012 CJC, IOFF, ITER, TOLER, MITER, MITER, MKE, MXP, MXR, JCO,
0013 CNPE(3,600), TEHS(3,600), DEF(3,600), IMAT(600), FIS(600),
0014 CJCOORD(2,400), CHARG(800), DEPL(800), ILN(2,100)
0015 C-----
0016 C-----
0017 CALL RMPAR(IP)
0018 C---- OBSTENTION DES ESCALES
0019 X(1)=1.E+30
0020 X(2)=-1.E+30
0021 Y(1)=1.E+30
0022 Y(2)=-1.E+30
0023 DO10 I=1, NP
0024 AUX=JCOORD(1,I)
0025 AUX0=JCOORD(2,I)
0026 X(1)=AMIN1(X(1),AUX)
0027 Y(1)=AMIN1(Y(1),AUX0)
0028 X(2)=AMAX1(X(2),AUX)
0029 Y(2)=AMAX1(Y(2),AUX0)
0030 10 CONTINUE
0031 C****
0032 IF(ABS(X(1))+ABS(Y(1)).GT.0.1)STOP1060
0033 C****
0034 C----- INITIALISATION DU TRACEUR
0035 CALL PLTLU(10)
0036 PAUSE 1
0037 LU=ICG(3)/100
0038 READ(LU,*)XL,YL
0039 X(2)=(X(2)-X(1))/XL
0040 Y(2)=(Y(2)-Y(1))/YL
0041 C---- *00* SUR TOUS LES ELEMENTS
0042 DO1009 I=1, NE
0043 AUX1=0.1
0044 AUX3=0.
0045 AUX4=0.
0046 IF(IMAT(I))150,100,50
0047 C---- ELEMENTS DE LIAISON
0048 50 J=NPPE(1,I)
0049 K=NPPE(2,I)
0050 AUX=(JCOORD(1,J)+JCOORD(1,K))/(X(2)*2.)
0051 AUX0=(JCOORD(2,J)+JCOORD(2,K))/(Y(2)*2.)
0052 IF(IMAT(I).EQ.400)GOTO1030
0053 T=IMAT(I)*3.1415927/180
0054 IF(IMAT(I).EQ.200)T=0.
0055 CALL SYMB(AUX,AUX0,0.2,7,T,-1)
0056 AUX1=0.00
0057 C---- ELEMENTS EN ACIER
0058 100 DO 120 K=1,2
0059 AUX=JCOORD(1, NPPE(K, I))/X(2)+AUX1
0060 AUX0=JCOORD(2, NPPE(K, I))/Y(2)+AUX1
0061 CALL PLOT(AUX,AUX0,4-K)
0062 AUX3=AUX3+AUX*0.5
0063 AUX4=AUX4+AUX0*0.5
0064 120 CONTINUE
0065 GOTO1009
0066 C---- ELEMENTS DE TRANSMISSION
0067 130 L=3
0068 DO140 K=1,3
0069 IF(K.EQ.2)GOTO133
0070 J=NPPE(K)/2,1)
0071 AUX1=JCOORD(1,J)/X(2)
0072 AUX2=JCOORD(2,J)/Y(2)
0073 GOTO136
0074 133 AUX1=AUX-0.2
0075 AUX2=AUX0
0076 AUX3=AUX1
0077 AUX4=AUX2-0.2
0078 136 CALL PLOT(AUX1,AUX2,L)

```

```

0079      L=2
0080      140  CONTINUE
0081      GOTO1000
0082  C-----ELEMENTS EN BETON
0083      150  L=3
0084          DO 200 K=1,3
0085              M=HPE(1+MOD(K,3),1)
0086              IF(L.NE.3)GOTO170
0087              AUX=JCOORD(1,HPE(1,1))/X(2)
0088              AUX0=JCOORD(2,HPE(1,1))/Y(2)
0089              CALL PLOT(AUX,AUX0,L)
0090              L=2
0091      170  AUX=JCOORD(1,M)/X(2)
0092              AUX0=JCOORD(2,M)/Y(2)
0093              CALL PLOT(AUX,AUX0,L)
0094              AUX3=AUX3+AUX/3.
0095              AUX4=AUX4+AUX0/3.
0096      200  CONTINUE
0097              AUX3=AUX3-0.3
0098      1000  ASSIGN 1002 TO ILB
0099              GOTO1011
0100      1002  CALL SYMB(AUX3,AUX4,0.15,IASC,0.,J)
0101      1009  CONTINUE
0102  C-----ECRIURE DES NUMEROS DES POINTS NODAUX
0103      GOTO2001
0104      1012  DO2000 I=1,MP
0105              ASSIGN 1100 TO ILB
0106      1011  IF((I.GE.100).OR.(I.LT.10))GOTO1030
0107              CALL CODEME
0108              WRITE(IASC,1010)I
0109      1010  FORMAT(I3)
0110              J=3
0111              GOTO ILB
0112      1030  CALL CODE
0113              WRITE(IASC,1040)I
0114      1040  FORMAT(I4)
0115              J=4
0116              IF(I.GT.9)GOTO ILB
0117              J=2
0118              IASC(1)=IASC(2)
0119              GOTO ILB
0120      1100  AUX=JCOORD(1,I)/X(2)-0.05
0121              AUX0=JCOORD(2,I)/Y(2)+0.10
0122              CALL SYMB(AUX,AUX0,0.15,IASC,0.,J)
0123      2000  CONTINUE
0124  C-----RESTRICTIONS MOUVEMENTS
0125      2001  DO 2008 I=1,MR
0126              J=ILM(1,I)
0127              K=ILM(2,I)
0128              AUX=JCOORD(1,J)/X(2)
0129              AUX0=JCOORD(2,J)/Y(2)
0130              J=2
0131              AUX1=0.
0132              IF(K.EQ.10)AUX1=-90.
0133              IF(K.EQ.11)J=0
0134              CALL SYMB(AUX,AUX0,0.25,J,AUX1,-1)
0135      2008  CONTINUE
0136              CALL PLOT(0.,0.,3)
0137  C-----CHANGEMENT DE PROGRAMME
0138      INAM(2)=2HF3
0139      IF(1ABS(IGO(1)).EQ.2)INAM(2)=2HF7
0140      IF(1GO(1).EQ.3)INAM(2)=2H11
0141      IP(4)=0
0142      2010  CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3),IP(4))
0143      END
0144      END$

```

SELFB T=00003 IS ON CR00040 USING 00016 BLKS R=0000

```

0001 FTN4
0002 C----DATE: 20/ 4/78
0003 PROGRAM ELF3
0004 C*****
0005 CC*
0006 CC* PROGRAMME POUR L'OBTENTION DE LA MATRICE RAIDEUR TANGENTE *
0007 CC* DES ELEMENTS EN ACIER ET DE LIAISON. STOCKAGE DE CETTE MATRICE-CI *
0008 CC* DANS L'AIRES DU TRAVAIL DU DISQUE. *
0009 CC*
0010 C*****
0011 DIMENSION IBUF(72), RK(6,6), IWO1(6), DBA(4), DBL(2,4), JBUF(36), IP(5)
0012 COMMON IGO(3), ITITRE(36), IWO(6), INAM(3), IFIL(3),
0013 CNE, NP, HR, FREL, MC, EB, EA, YU, FB, FA, DA, TO, ESP,
0014 CJC, IOFF, ITER, TOLER, NITER, NITER, MXE, MXP, MXR, JCO,
0015 CHPE(3,600), TENS(3,600), DEF(3,600), IMAT(600), FIS(600),
0016 CJCOORD(2,400), CHARG(800), DEPL(800), ILH(2,100)
0017 EQUIVALENCE (IBUF, RK), (DBA, JBUF), (DBL, JBUF), (LU1, IGO(4))
0018 C-----
0019 C-----
0020 CALL RMPAR(IP)
0021 CALL EXEC(2,18,INAM,-6)
0022 C-----INITIALISATION DES CONTROLES
0023 IWO(4)=IWO(1)+MXP+MXR
0024 IWO(5)=0
0025 IWO(6)=0
0026 DO10 I=1,6
0027 10 IWO1(I)=IWO(I)
0028 IWO1(4)=IWO1(4)+MXR
0029 C-----DO POUR TOUS LES ELEMENTS
0030 DOB00 I=1,NE
0031 IF(IMAT(I))20,50,200
0032 C-----ELEMENTS EN BETON
0033 20 CALL SWO(IWO,IWO,72)
0034 CALL SWO(IWO1,IWO1,36)
0035 C-----ELEMENTS EN ACIER
0036 50 IF(ABS(DEF(1,I)).LT.FA/EA)GOTO 80
0037 C-----NONE PLASTIQUE
0038 DO 60 J=1,6
0039 DO 60 K=1,6
0040 60 RK(J,K)=0
0041 DO 70 J=1,4
0042 70 DBA(J)=0
0043 GOTO 700
0044 C-----NONE ELASTIQUE
0045 80 I1=HPPE(2,1)
0046 I0=HPPE(1,1)
0047 AUX0=JCOORD(2,I1)-JCOORD(2,I0)
0048 AUX=JCOORD(1,I1)-JCOORD(1,I0)
0049 ALFA=ATAN(AUX0/AUX)
0050 IF(AUX.LT.0.)ALFA=ALFA+3.141592
0051 RL=SQRT(AUX**2+AUX0**2)
0052 IF(JCOORD(1,I1).EQ.JCOORD(1,I0))ALFA=SIGN(3.141592/2.,AUX0)
0053 AUX=HPPE(3,1)*0.01*EA/RL
0054 CA=COS(ALFA)
0055 SA=SIN(ALFA)
0056 C2=CA*CA*AUX
0057 S2=SA*SA*AUX
0058 SC=SA*CA*AUX
0059 RK(1,1)=C2
0060 RK(1,2)=SC
0061 RK(1,3)=-SC
0062 RK(1,4)=-SC
0063 RK(2,2)=S2
0064 RK(2,3)=-SC
0065 RK(2,4)=-SC
0066 RK(3,3)=SC
0067 RK(3,4)=SC
0068 RK(4,4)=SC
0069 AUX=EA/RL*CA
0070 AUX0=EA/RL*SA
0071 DBA(1)=-AUX
0072 DBA(2)=-AUX0
0073 DBA(3)=AUX
0074 DBA(4)=AUX0
0075 90 DO 100 J=5,6
0076 DO 100 K=1,J
0077 100 RK(K,J)=0

```

```

0079      DO 120 J=2,6
0080      DO 120 K=1,J-1
0081      120  RK(J,K)=RK(K,J)
0082      GOTO 700
0083  C-----ELEMENTS DE LIAISON(ACIER-BETON ET PAROIS-HOURDIS)
0084  200  IF(IMAT(I).NE.400)GOTO 210
0085      ALFA=0.
0086      AUX0=0.
0087      AUX1=1.E+08
0088      GOTO 300
0089      210  ALFA=IMAT(I)/180.*3.141592
0090      IF(IMAT(I).EQ.200)ALFA=0.
0091      AUX=SQRT(FB)*RPE(3,I)
0092      AUX0=AUX*10.*13463.
0093      AUX1=9756.
0094      AUX2=ABS(SIN(DEF(1,I)))
0095      IF(AUX2.GE.0.00041)AUX1=4010.
0096      IF(AUX2.GE.0.001)AUX1=2732.
0097      IF(AUX2.GE.0.002)AUX1=799.
0098      IF(AUX2.GE.0.00313)AUX1=0.
0099      AUX1=AUX*AUX1
0100  300  CA=COS(ALFA)
0101      SA=SIN(ALFA)
0102      C2=CA*CA
0103      S2=SA*SA
0104      SC=SA*CA
0105      RK(1,1)=C2*AUX1+S2*AUX0
0106      RK(1,2)=SC*(AUX1-AUX0)
0107      RK(1,3)=-RK(1,1)
0108      RK(1,4)=-RK(1,2)
0109      RK(2,2)=S2*AUX1+C2*AUX0
0110      RK(2,J)=RK(1,4)
0111      RK(2,4)=-RK(2,2)
0112      RK(3,3)=RK(1,1)
0113      RK(3,4)=RK(1,2)
0114      RK(4,4)=RK(2,2)
0115      DBL(1,1)=-AUX1*CA
0116      DBL(1,2)=-AUX1*SA
0117      DBL(1,3)=-DBL(1,1)
0118      DBL(1,4)=-DBL(1,2)
0119      DBL(2,1)=AUX0*SA
0120      DBL(2,2)=-AUX0*CA
0121      DBL(2,3)=-DBL(2,1)
0122      DBL(2,4)=-DBL(2,2)
0123      GOTO 90
0124  C-----STOCKAGE DANS L'AIRE DE TRAVAIL DU DISQUE
0125      700  CALL BWR(2,IW0,IBUF,72)
0126      CALL BWR(2,IW0,IBUF,36)
0127      800  CONTINUE
0128  C-----CHANGEMENT DE PROGRAMME
0129      INAM(2)=2HF4
0130      CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3))
0131      END
0132      END$

```


ELF4 T=00003 IS ON CR00040 USING 00024 BLKS R=0000

```

001  FTN4
002  C-----DATE:15/ 1/79
003  PROGRAM ELF4
004  C*****
005  C*
006  C* PROGRAMME POUR L'OBTENTION DE LA MATRICE RAIDEUR TANGENTE
007  C* DES ELEMENTS EN BETON.STOCKAGE SUR L'AIRE DE TRAVAIL DU DISQUE
008  C*
009  C*****
010  DIMENSION JBUF(36),IBUF(72),RK(6,6),D(3,3),E(3),ER(3),V(2),
011  CTD(3,3),T(3,3),B(3,6),DB(3,6),BT(6,3),IWO1(6),IP(5)
012  COMMON IGO(5),ITITRE(36),IWO(6),INAM(3),IFIL(3),
013  CNE,MP,WR,FREL,NC,EB,EA,VU,FB,FA,DA,TO,ESP,
014  CIG,IGFF,ITER,TOLER,HITER,MITER,MXE,MXP,MXR,JCO,
015  CNPE(3,600),TENS(3,600),DEF(3,600),IMAT(600),FIS(600),
016  CUCCOOR(2,400),CHARG(800),DEPL(800),ILM(2,100)
017  EQUIVALENCE (IBUF,RK),(DB,JBUF),(LU1,IGO(4))
018  C-----
019  C-----
020  CALL RMPAR(IP)
021  CALL EXEC(2,IB,INAM,-6)
022  C-----INITIALISATION DES CONTROLES
023  IWO(4)=IWO(1)+MXE+MXP
024  IWO(5)=0
025  IWO(6)=0
026  DO5 I=1,6
027  5 IWO1(I)=IWO(I)
028  IWO1(4)=IWO1(4)+MXR
029  C****
030  IF(VU.NE.0.2)STOP1170
031  C****
032  C-----*DO* POUR TOUS LES ELEMENTS
033  DO2000 I=1,NE
034  IF(IMAT(I))20,10,10
035  C-----ELEMENTS EN ACIER ET DE LIAISON
036  10 CALL SWO(IWO,IWO,72)
037  CALL SWO(IWO1,IWO1,36)
038  GOTO 2000
039  C-----ELEMENTS EN BETON
040  C-----OBTENTION DE LA MATRICE (0) TANGENTE
041  20 IF(IMAT(I).LT.-1)GOTO 200
042  C-----BETON NON FISSURE
043  C-----OBTENTION DE "ALFA" POUR LES DIRECTIONS PRINCIPALES
044  CALL CPRIN(TENS(1,I),TENS(2,I),TENS(3,I),T1,T2,ALFA,IMAT(I))
045  C2=COS(ALFA)**2
046  S2=SIN(ALFA)**2
047  SC=SIN(ALFA)*COS(ALFA)
048  C-----T2)=T1*(VALEUR ARITHMETIQUE) ALFA CORRESPOND A T1
049  IF(T1.LE.T2)GOTO 30
050  J=-1
051  IF(ALFA.LE.0.)J=1
052  ALFA=ALFA+3.141592/2.*J
053  AUX=S2
054  S2=C2
055  C2=AUX
056  SC=-SC
057  AUX=T1
058  T1=T2
059  T2=AUX
060  30 E(1)=EB
061  E(2)=EB
062  V(1)=VU
063  V(2)=VU
064  IF((T1.EQ.0.).AND.(T2.EQ.0.))GOTO100
065  IF(ABS(T2/T1).LT.0.01)T2=0.01*T1
066  A=T2/T1
067  IF(T1.EQ.0.)A=1.E+20
068  IF((T1.GE.0.).AND.(T2.GE.0.))GOTO60
069  IF(A.GE.-0.50)GOTO50
070  C-----DOMAINE LINEAIRE
071  60 V(1)=VU*(0.9-0.05/A)
072  IF(A.GT.0.)V(1)=0.9*VU
073  V(2)=V(1)
074  GOTO 100
075  C-----DOMAINE NON LINEAIRE
076  80 CALL ROT(T1,T2,ER,SR1,FB,EB,GA,LU1)
077  E(1)=C2*DEF(1,1)+S2*DEF(2,1)+SC*DEF(3,1)
078  E(2)=S2*DEF(1,1)+C2*DEF(2,1)-SC*DEF(3,1)

```

```

079      E(3)=2*SC*(DEF(2,I)-DEF(1,I))+(C2-S2)*DEF(3,I)
080      IF(ABS(E(3)).GT.1.E-06)WRITE(LU1,81)I,ALFA,E(1),E(2),E(3)
081 81    FORMAT(/X,"EXY#0:"3X"EL:"I5,4X"ALF:"F10.6"DEF.PRINC.(X,Y,XY):"
082      C3(E10.4,4X))
083      EBJ=EB/(1.-YU*A)
084      AUX=-EB/(YU*(1.+A))
085      AUX0=T1/AUX
086      AUX2=AUX0/ER(3)
087      AUX3=1.+(AUX*ER(3)/SR1-1.-GA+AUX2*GA)*AUX2
088      AUX4=T1-AUX*AUX0/AUX3
089      IF(ABS(AUX4).LE.ABS(T1)*0.00001)GOTO86
090  C****
091      IF(AUX4.GT.0.)STOP1773
092  C****
093      AUX0=AUX0+AUX4/(AUX*(1.-GA*AUX2**2)/AUX3**2)
094      GOTO85
095 86    E(3)=AUX0
096      IF(I.EQ.0)WRITE(6,3)I,A,T1,SR1,E,ER
097 3     FORMAT(14,9E12.5)
098      DO 90 J=1,3
099      AUX0=AMIN1(1.,E(J)/ER(J))
100      E(J)=EBJ*(1.-GA*AUX0**2)/(1.+(EBJ*ER(J)/SR1
101      C-1.-GA)*AUX0+GA*AUX0**2)**2
102      IF((J.EQ.1).AND.(A.EQ.YU))J=2
103      IF(J.EQ.1)EBJ=EB/(A-YU)
104      IF(J.EQ.2)EBJ=-EB/(YU*(1.+A))
105 90    CONTINUE
106      V(1)=E(1)/(E(1)*A-E(3)*(1.+A))
107      E(1)=-V(1)*E(3)*(1.+A)
108      IF(A.EQ.YU)GOTO95
109      V(2)=E(2)*A/(E(2)-E(3)*(1.+A))
110      E(2)=-V(2)*E(3)*(1.+A)
111      GOTO100
112 95    V(2)=A
113      E(2)=E(1)*A/V(1)
114  C-----MATRICE(D) ORTHOTROPE REPEREE AUX DIRECTIONS PRINCIPALES
115  C-----DES CONTRAINTES
116 100   AUX=E(1)/(1.-V(1)*V(2))
117      D(1,1)=AUX
118      D(1,2)=AUX*V(2)
119      D(1,3)=0
120      D(2,2)=AUX*V(2)/V(1)
121      D(2,3)=0
122      D(3,3)=E(1)/(1.+2.*V(1)+V(1)/V(2))
123      DO 120 J=2,3
124      DO 120 K=1,J-1
125 120   D(J,K)=D(K,J)
126  C-----PASSAGE AU SYSTEME DE REFERENCE GLOBAL
127 130   T(1,1)=C2
128      T(1,2)=S2
129      T(1,3)=-2*SC
130      T(2,1)=S2
131      T(2,2)=C2
132      T(2,3)=2*SC
133      T(3,1)=SC
134      T(3,2)=-SC
135      T(3,3)=C2-S2
136      CALL PMM(T,D,3,3,3,TD)
137      CALL PMMT(TD,T,3,3,3,D)
138      GOTO 400
139  C-----BETON FISSURE EN DEUX DIRECTIONS
140 200   DO 210 J=1,3
141      DO210 K=1,3
142 210   D(J,K)=0
143      IF(IMAT(I).GT.-3000)GOTO250
144      ALFA=(-IMAT(I)-3000)/10
145      IF(IMAT(I).LT.-3900)ALFA=ALFA-180.
146      ASSIGN 240 TO ILB
147 220   ALFA=ALFA*3.141592/180.
148      C2=COS(ALFA)**2
149      S2=SIN(ALFA)**2
150      SC=SIN(ALFA)*COS(ALFA)
151      GOTO ILB
152 240   AUX0=C2*DEF(1,I)+S2*DEF(2,I)+SC*DEF(3,I)
153      DO245 III=1,2
154      IF(AUX0.GE.0.64*FB**(2./3.)/EB)GOTO244
155      D(III,III)=EB
156      WRITE(LU1,251)I,AUX0
157      WRITE(LU1,243)III
158 243   FORMAT(" FISSURE"12)

```

```

59 244 AUX0=S2*DEF(1,1)+C2*DEF(2,1)-SC*DEF(3,1)
60 245 CONTINUE
61 GOTO 130
62 C-----BETON FISSURE EN UNE DIRECTION
63 250 ALFA=(-IMAT(1)-1000)/10.
64 IF(IMAT(1).LT.-1900)ALFA=ALFA-180.
65 ASSIGN 260 TO ILB
66 GOTO 220
67 260 T2=SZ*TENS(1,1)+C2*TENS(2,1)-2.*SC*TENS(3,1)
68 AUX0=C2*DEF(1,1)+S2*DEF(2,1)+SC*DEF(3,1)
69 IF(AUX0.GE.0.64*FB**((2./3.)/EB)GOTO262
70 C****
71 D(1,1)=EB
72 WRITE(LU1,251)I,AUX0
73 251 FORMAT(/," ATTENTION...FISSURE FERMEE!!!...ELEMENT*15,
74 C3X*AUX0=*E12.4)
75 262 CONTINUE
76 C****
77 IF(AUX0.LT.0.004)D(3,3)=0.15*EB*(1.-AUX0/0.004)
78 D(2,2)=EB
79 IF(T2.GE.0.)GOTO 130
80 SR1=-FB
81 ER(2)=-0.00218
82 E(2)=S2*DEF(1,1)+C2*DEF(2,1)-SC*DEF(3,1)
83 C****
84 IF(E(2).GE.0.)STOP1176
85 C****
86 AUX0=E(2)/ER(2)
87 C****
88 IF(EB*ER(2)/SR1-2..LT.0.)STOP1174
89 C****
90 D(2,2)=EB*(1.-AUX0**2)/(1.+(EB*ER(2)/SR1-2.)*AUX0
91 C+AUX0**2)**2
92 GOTO 130
93 C-----FORMATION DE LA MATRICE RAIDEUR
94 400 CALL MATB(NPE(1,1),NPE(2,1),NPE(3,1),JCOOR,B,AREA)
95 CALL PMM(D,B,3,3,6,DB)
96 CALL MTR(B,3,6,BT)
97 CALL PMM(BT,DB,6,3,6,RK)
98 AUX=ESP*AREA
99 DO 500 J=1,6
100 DO 500 K=1,6
101 500 RK(J,K)=RK(J,K)*AUX
102 C-----STOCKAGE DANS L'AIRE DE TRAVAIL DU DISQUE
103 CALL BUR(2,IWO,IBUF,72)
104 CALL BUR(2,IWO1,JBUF,36)
105 CONTINUE
106 C-----CHANGEMENT DE PROGRAMME
107 INAM(2)=2HF5
108 CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3))
109 END
110 C-----
111 C-----
112 C-----SUBROUTINE "MATB" POUR LA FORMATION DE LA MATRICE "B"
113 SUBROUTINE MATB(I,J,K,JCOOR,B,AREA)
114 DIMENSION JCOOR(2,1),B(3,6)
115 XI=JCOOR(1,I)
116 YI=JCOOR(2,I)
117 XJ=JCOOR(1,J)
118 YJ=JCOOR(2,J)
119 XK=JCOOR(1,K)
120 YK=JCOOR(2,K)
121 AREA=0.5*(XJ*YK+XI*YJ+XK*YI-(XJ*YI+XK*YJ+XI*YK))
122 C****
123 IF(AREA.LE.0.)STOP27
124 C****
125 AUX=2.*AREA
126 BI=(YJ-YK)/AUX
127 BJ=(YK-YI)/AUX
128 BK=(YI-YJ)/AUX
129 CI=(XK-XJ)/AUX
130 CJ=(XI-XK)/AUX
131 CK=(XJ-XI)/AUX
132 B(1,1)=BI
133 B(1,2)=0.
134 B(1,3)=BJ
135 B(1,4)=0.
136 B(1,5)=BK
137 B(1,6)=0.
138 B(2,1)=0.

```

```

3 9      B(2,2)=CI
4 0      BB(2,3)=0.
4 1      BB(2,4)=CJ
4 2      BB(2,5)=0.
4 3      BB(2,6)=CK
4 4      BB(3,1)=CI
4 5      BB(3,2)=BI
4 6      BB(3,3)=CJ
4 7      BB(3,4)=BJ
4 8      BB(3,5)=CK
4 9      BB(3,6)=BK
5 0      END
5 1      C-----
5 2      C-----SUBROUTINE "PMH" POUR OBTENIR LE PRODUIT MATRICIEL (A)*(B)=(C)
5 3      C-----
5 4      SUBROUTINE PMH(A,B,N1,N2,N3,C)
5 5      DIMENSION A(N1,N2),B(N2,N3),C(N1,N3)
5 6      DO 20 I=1,N1
5 7      DO 20 K=1,N3
5 8      Z=0.
5 9      DO 10 L=1,N2
6 0      10 Z=Z+A(I,L)*B(L,K)
6 1      20 C(I,K)=Z
6 2      END
6 3      C-----
6 4      C-----SUBROUTINE "PMHT" POUR OBTENIR LE PRODUIT MATRICIEL (A)*(B)T=(C)
6 5      C-----
6 6      SUBROUTINE PMHT(A,B,N1,N2,N3,C)
6 7      DIMENSION A(N1,N2),B(N3,N2),C(N1,N3)
6 8      DO 20 I=1,N1
6 9      DO 20 K=1,N3
7 0      Z=0.
7 1      DO 10 L=1,N2
7 2      10 Z=Z+A(I,L)*B(K,L)
7 3      20 C(I,K)=Z
7 4      END
7 5      C-----
7 6      C-----SUBROUTINE "MTR" POUR OBTENIR (C)=(A)T
7 7      C-----
7 8      SUBROUTINE MTR(A,N1,N2,C)
7 9      DIMENSION A(N1,N2),C(N2,N1)
8 0      DO 10 I=1,N1
8 1      DO 10 K=1,N2
8 2      10 C(K,I)=A(I,K)
8 3      END
8 4      C-----
8 5      C-----SUBROUTINE "CPRIN" POUR LE CALCUL DES CONTRAINTES PRINCIPALES
8 6      C-----
8 7      SUBROUTINE CPRIN(TX,TY,TTY,T1,T2,ALFA,IMAT)
8 8      T1=0.
8 9      T2=0.
8 0      ALFA=0.
8 1      IF(IMAT.GE.0)RETURN
8 2      IF(TX.EQ.TY)GOTO5
8 3      ALFA=0.5*ATAN(2.*TTY/(TX-TY))
8 4      GOTO 10
8 5      5 ALFA=0.5*SIGN(3.141592/2.,TTY)
8 6      IF(TXY.EQ.0.)ALFA=0.
8 7      10 C2=COS(ALFA)**2
8 8      S2=SIN(ALFA)**2
8 9      SC=SIN(ALFA)*COS(ALFA)
9 0      T1=C2*TX+S2*TY+2*SC*TTY
9 1      T2=S2*TX+C2*TY-2*SC*TTY
9 2      END
9 3      C-----
9 4      C-----SUBROUTINE "ROT" POUR OBTENIR LES CONTRAINTES ET DEFORMATIONS
9 5      C-----
9 6      C-----EN RUPTURE
9 7      C-----
9 8      SUBROUTINE ROT(T1,T2,ER,SR1,FB,EB,GA,LU1)
9 9      DIMENSION ER(3),D(13),E(3,13)
1 0      DATA D/1.,82.,64.,525.,2.,13.,0.,-.052,-.07,-.103,-.204,-.35,-.5
1 1      C/ ,E/ -2.6,-2.6,3.39,-2.88,-1.96,3.12,-3.,-1.33,2.5,
1 2      -3.08,-0.76,1.96,-3.15,0.,1.64,-3.,0.53,1.33,
1 3      -2.18,0.8,0.8,-1.43,0.6,0.28,-1.23,0.49,.22,
1 4      -0.85,0.29,0.14,-0.46,0.19,0.052,-0.315,0.17,0.04,
1 5      -0.13959,0.12065,0.017235/
1 6      A=T2/T1
1 7      VU=0.2
1 8      C-----
1 9      C-----CONTROLE T1<=T2 ; T1<0 ; A>=0.5
2 0      C****

```


SELF5 T=00003 IS ON CR00040 USING 00015 BLKS R=0000

```

0001 FTN4
0002 C-----DATE: 20/ 4/78
0003 PROGRAM ELF5
0004 C*****
0005 C*
0006 C* PROGRAMME POUR LA FORMATION ET LE STOCKAGE
0007 C* DE LA MATRICE RAIDEUR TANGENTE GLOBALE.
0008 C*
0009 C*****
0010 DIMENSION IWO1(6), IWO2(6), KBUF(6000), ISP(30,200), IBUF(72)
0011 C, RK(6,6), JBUF(240), SK(120), IEL(400), IWO3(6), IP(5)
0012 COMMON IGD(5), ITITRE(36), IWO(6), INAM(3), IFIL(3),
0013 CNE, NP, NR, FREL, NC, EB, EA, VU, FB, FA, DA, TO, ESP,
0014 CJC, IQFF, ITER, TOLER, NITER, MITER, MXE, MXP, MXR, JCO,
0015 CNPE(3,600), TENS(3,600), DEF(3,600), INAT(600), FIS(600),
0016 CJCOORD(2,400), CHARG(500), DEPL(800), ILM(2,100)
0017 EQUIVALENCE (KBUF,ISP), (IBUF,RK), (JBUF,SK)
0018 C-----
0019 C-----
0020 CALL RMPAR(IP)
0021 CALL EXEC(2,18,INAM,-6)
0022 C-----MISE A ZERO DES CONTROLES "ISP" STOCKES DANS L'AIRES DE TRAVAIL
0023 C-----'NN' EST LE NOMBRE PLUS GRAND DE FILES DU VECTEUR 'ISP'
0024 C-----QUI EST ADMIS EN MEMOIRE
0025 C-----
0026 NN=200
0027 C-----
0028 DO10 I=1,3
0029 IWO1(I)=IWO(I)
0030 10 IWO2(I)=IWO(I)
0031 IWO2(4)=IWO2(1)+MXE
0032 IWO2(5)=0
0033 IWO2(6)=0
0034 IWO3(4)=IWO2(4)
0035 DO30 I=1,NN
0036 DO30 J=2,30
0037 30 ISP(J,I)=0
0038 DO 100 I=1, NP
0039 K=MOD(I-1, NN)+1
0040 ISP(1, K)=1
0041 IEL(I)=0
0042 IF((MOD(I, NN).NE.0).AND.(I.NE.NP))GOTO100
0043 CALL BWR(2, IWO2, KBUF, 30*K)
0044 100 CONTINUE
0045 IWO2(4)=IWO3(4)
0046 IWO2(5)=0
0047 IWO2(6)=0
0048 JN=0
0049 DO110 I=1,6
0050 110 IWO3(I)=IWO2(I)
0051 NF=NP/NN
0052 IF(MOD(NP, NN).NE.0)NF=NF+1
0053 DO450 IN=1, NF
0054 CALL BWR(1, IWO2, KBUF, 30*MIN0(NN, NP-JN))
0055 IWO(4)=IWO(1)+MXE+MXP
0056 IWO(5)=0
0057 IWO(6)=0
0058 C-----*DO* POUR TOUS LES ELEMENTS
0059 DO400 I=1, NE
0060 ND=2
0061 IF(INAT(I).LT.0)ND=3
0062 KN=0
0063 IO=0
0064 C-----OBTENTION DE LA LIGNE ET LA COLONNE DE LA MATRICE RAIDEUR GLOBALE
0065 DO 350 J=1, ND
0066 JO=NP+1
0067 IF((JO.LE.JN).OR.(JO.GT.JN+NN))GOTO345
0068 IF(KN.EQ.0)CALL BWR(1, IWO, IBUF, 72)
0069 C-----LECTURE DES LIGNES DE LA MATRICE RAIDEUR COMPACTE GLOBALE
0070 C-----QUI EST ENMAGASINEE DANS L'AIRES DE TRAVAIL DU DISQUE
0071 IF(IEI(JO).EQ.0)GOTO200
0072 IWO1(4)=IWO1(1)
0073 IWO1(5)=0
0074 IWO1(6)=0
0075 DO150 M=1,3
0076 CALL SWO(IWO1, IWO1, 80*(JO-1))
0077 150 CONTINUE
0078 CALL BWR(1, IWO1, JBUF, 240)

```

```

0079      GOTO230
0080      200  IEL(J0)=1
0081          DO 210 M=1,120
0082      210  SK(M)=0.
0083      230  I0=I0+1
0084          I1=0
0085          DO330 L=1,ND
0086          I1=I1+1
0087          IF(J0.GT.NPE(L,I))GOTO329
0088  C-----OBTENTION PREMIER ISP(N,I)VIDE POUR Y STOCKER LE NUMERO DU NOEUD
0089  C-----DANS LA MATRICE GLOBALE DONT LES TERMES SONT EMMAGASINNES
0090  C-----DANS LES COLONNES 'N' ET 'N+1' DE LA MATRICE GLOBALE COMPACTE
0091          DO310 M=1,30
0092          IF(ISP(N,J0-JN)-NPE(L,I))305,320,305
0093          IF(ISP(N,J0-JN))308,315,310
0094  C****
0095      308  STOP 1201
0096  C****
0097      310  CONTINUE
0098  C****
0099      315  STOP 1205
0100  C****
0101      315  ISP(N,J0-JN)=NPE(L,I)
0102  C-----ACCUMULATION DE LA RAIDEUR ELEMENTALE
0103  C-----SUR LA MATRICE RAIDEUR COMPACTE
0104      320  DO325 K=0,1
0105          I2=60*K
0106          SK(I2+2*N-1)=SK(I2+2*N-1)+RK(I0+K,I1)
0107          SK(I2+2*N)=SK(I2+2*N)+RK(I0+K,I1+1)
0108      325  CONTINUE
0109      329  I1=I1+1
0110      330  CONTINUE
0111          I0=I0+1
0112          KN=1
0113          IW01(4)=IW01(1)
0114          IW01(5)=0
0115          IW01(6)=0
0116          DO340 M=1,3
0117          CALL SW0(IW01,IW01,80*(J0-1))
0118      340  CONTINUE
0119          CALL BUR(2,IW01,JBUF,240)
0120          GOTO 350
0121      345  I0=I0+2
0122      350  CONTINUE
0123      390  IF(KN.EQ.0)CALL SW0(IW0,IW0,72)
0124      400  CONTINUE
0125          CALL BUR(2,IW03,KBUF,30*MIN0(NN,NP-JN))
0126          JN=JN+NN
0127      450  CONTINUE
0128  C-----CHANGEMENT DE PROGRAMME
0129          INAM(2)=2HF6
0130          CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3))
0131          END
0132          ENDS

```

SELF6 T=00003 IS ON CR00040 USING 00013 BLKS R=0000

```

0001 FTN4
0002 C-----DATE: 15/1/79
0003 C-----PROGRAM SELF6
0004 C*****
0005 CC*
0006 CC* PROGRAMME POUR L'INTRODUCTION DES CONDITIONS AUX LIMITES. *
0007 CC* S'IL S'AGIT DE LA TERMINAISON, POSSIBILITE DE STOCKAGE DE *
0008 CC* CERTAINES VALEURS SUR UN FICHER, POUR UNE POSTERIEURE *
0009 CC* LECTURE, LORS D'UN NOUVEAU PASSAGE DU PROGRAMME. *
0010 CC*
0011 C*****
0012 CC* DIMENSION KBUF(6144),RBUF(3072),IWO1(6),SK(120),TBUF(1800),
0013 CC* COBUF(1800),IP(5)
0014 CC* COMMON IGO(S),ITITRE(36),IWO(6),INAM(3),IFIL(3),
0015 CC* CNE,NP,HR,FREL,NC,EB,EA,YU,FB,FA,DA,TO,ESP,
0016 CC* CJC,IOFF,ITER,TOLER,ITER,ITER,MXE,MXP,MXR,JCO,
0017 CC* CHPE(3,600),TENS(3,600),DEF(3,600),INAT(600),FIS(600),
0018 CC* CJCOR(2,400),CHARG(800),DEPL(800),ILM(2,100)
0019 CC* EQUIVALENCE(KBUF,RBUF),(KBUF,SK),(TENS,TBUF),(DEF,DBUF)
0020 C-----
0021 C-----
0022 CALL RMPAR(IP)
0023 CALL EXEC(2,18,INAM,-6)
0024 C-----INTRODUCTION DES CONDITIONS AUX LIMITES
0025 IWO1(1)=IWO(1)
0026 IWO1(2)=IWO(2)
0027 IWO1(3)=IWO(3)
0028 DO 500 I=1,HR
0029 IF(ITER.NE.1)GOTO411
0030 IWO1(4)=IWO1(1)
0031 IWO1(5)=0
0032 IWO1(6)=0
0033 DO150 I=1,3
0034 CALL SWO(IWO1,IWO1,80*(ILM(1,I)-1))
0035 150 CONTINUE
0036 DO 410 J=4,6
0037 IWO(J)=IWO1(J)
0038 CALL BWR(1,IWO1,KBUF,240)
0039 C-----EXAMEN DES RESTRICTIONS POSSIBLES DANS LES DEUX SENS
0040 411 I2=ILM(2,I)/10
0041 DO490 J=1,2
0042 IF(I2)415,450,420
0043 C***
0044 415 STOP 1401
0045 C***
0046 420 IF(ITER.EQ.1)SK(60*(J-1)+J)=SK(60*(J-1)+J)*1.E+20
0047 CHARG(2*(ILM(1,I)-1)+J)=0.
0048 450 I2=MOD(ILM(2,I),10)
0049 490 CONTINUE
0050 IF(ITER.NE.1)GOTO500
0051 CALL BWR(2,IWO,KBUF,240)
0052 500 CONTINUE
0053 IF(ITER.NE.1)GOTO990
0054 C-----STOCKAGE DE (KT),(ISP),(DB),"INAT","FIS","CHARG","TENS" ET "DEF" DANS
0055 C-----LE FICHER "IFIL" DU DISQUE
0056 600 NM=1
0057 NN=6144
0058 NS=NM*MXE
0059 ASSIGN 700 TO ILB
0060 K=0
0061 I=0
0062 610 IWO(4)=IWO(1)+I
0063 IWO(5)=0
0064 IWO(6)=0
0065 DO 640 J=1,NS
0066 CALL BWR(1,IWO,KBUF,NN)
0067 CALL EXEC(15,102B,KBUF,NN,IFIL,K)
0068 K=K+NN/128
0069 640 CONTINUE
0070 GOTO ILB
0071 700 ASSIGN 710 TO ILB
0072 I=MXE
0073 NS=NM*MXP
0074 GOTO 610
0075 710 ASSIGN 715 TO ILB
0076 I=MXE+MXP+MXR
0077 NS=NM*(1+IFIX(NE*36/6144.))
0078 GOTO 610

```



```

0079 715 NS=NE
0080 ILB=0
0081 720 I2=0
0082 ILB=ILB+1
0083 730 J=MINO(NS,NN)
0084 DO780 I1=1,J/MINO(2,ILB)
0085 GOTO(740,742,745,750,760),ILB
0086 740 KBUF(I1)=IMAT(I2+I1)
0087 GOTO780
0088 742 RBUF(I1)=FIS(I2+I1)
0089 GOTO780
0090 745 RBUF(I1)=CHARG(I2+I1)
0091 GOTO 780
0092 750 RBUF(I1)=TBUF(I2+I1)
0093 GOTO780
0094 760 RBUF(I1)=DBUF(I2+I1)
0095 780 CONTINUE
0096 I2=I2+J/MINO(2,ILB)
0097 CALL EXEC(15,102B,KBUF,J,IFIL,K)
0098 K=K+J/128
0099 IF(MOD(J,128).NE.0)K=K+1
0100 NS=NS-J
0101 IF(NS.GT.0)GOTO 730
0102 GOTO(784,785,790,790,800),ILB
0103 784 NS=2*NE
0104 GOTO720
0105 785 NS=4*NE
0106 GOTO720
0107 790 NS=6*NE
0108 GOTO 720
0109 C----TERMINAIS-ON DU PROGRAMME
0110 C***
0111 800 IF(JC.GT.NC)STOP1444
0112 C***
0113 C----CHANGEMENT DE PROGRAMME
0114 990 INAM(2)=2HF7
0115 CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3))
0116 9999 END
0117 END$

```

SELF7 T=00003 IS ON CR00040 USING 00011 BLKS R=0000

```

0001 FTN4
0002 C----DATE: 21/ 4/78
0003 PROGRAM ELF7
0004 C*****
0005 C*
0006 C* PROGRAMME POUR LA RESOLUTION DU SYSTEME PAR UNE
0007 C* METHODE D'ELIMINATION.(COMMENCEMENT).
0008 C*
0009 C*****
0010 DIMENSION RBUF(120),IMET(30),IP(5),IWO1(6)
0011 C,KSP(30,200),JBUF(6144)
0012 COMMON IGD(5),ITITRE(36),IWO(6),INAM(3),IFIL(3),
0013 CHE,NP,HR,FREL,NC,EB,EA,YU,FB,FA,DA,TO,ESP,
0014 CJC,I0FF,ITER,TOLER,NITER,NITER,MXE,MXP,MXR,JCO,
0015 CHPE(3,600),TENS(3,600),DEF(3,600),IMAT(600),FIS(600),
0016 CJC00R(2,400),CHARG(800),DEPL(800),ILM(2,100)
0017 EQUIVALENCE (JBUF,KSP),(RBUF,JBUF(101)),(LU1,IGD(4))
0018 C-----
0019 C-----
0020 CALL RMPAR(IP)
0021 CALL EXEC(2,18,INAM,-6)
0022 C-----EGALISATION DEPL=CHARG
0023 DO10 I=1,2*NP
0024 10 DEPL(I)=CHARG(I)
0025 DO12 I=1,3
0026 12 IWO1(I)=IWO(I)
0027 C-----LORS DE LA PREMIERE ITERATION , ON REDEFINIT LE VECTEUR ISP
0028 C-----
0029 IF(ITER.EQ.1)GOTO20
0030 15 IWO(4)=IWO(1)
0031 IWO(5)=0
0032 IWO(6)=0
0033 IWO1(4)=IWO(2)-MXE+1
0034 IWO1(5)=0
0035 IWO1(6)=0
0036 DO18 I=1,MXE
0037 CALL BWR(1,IWO,JBUF,6144)
0038 CALL BWR(2,IWO1,JBUF,6144)
0039 18 CONTINUE
0040 INAM(2)=2H70
0041 CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3))
0042 GOTO99999
0043 20 NN=200
0044 NT=30
0045 IWO(4)=IWO(1)+MXE
0046 IWO(5)=0
0047 IWO(6)=0
0048 DO25 I=4,6
0049 25 IWO1(I)=IWO(I)
0050 IO=0
0051 DO340 N=1,NP
0052 IF(MOD(N,NN).NE.1)GOTO50
0053 KO=30*MIN0(NN,NP-10)
0054 CALL BWR(1,IWO,JBUF,KO)
0055 IF(N.NE.1)GOTO50
0056 DO220 M=1,NT
0057 220 IMET(M)=KSP(M,1)
0058 GOTO340
0059 50 DO280 M=2,NT
0060 IF(IMET(M).EQ.0)GOTO300
0061 DO240 L=1,NT
0062 IF(KSP(L,N-IO).EQ.0)GOTO260
0063 IF(KSP(L,N-IO).EQ.IMET(M))GOTO280
0064 240 CONTINUE
0065 WRITE(LU1,250)N,IMET,(KSP(L,N-IO),L=1,NT)
0066 250 FORMAT(/X"ISP" PLEIN,P.NODAL:"15"X"IMET:"/3(10I5,/)X
0067 C*KSP:"/3(10I5,/)
0068 C****
0069 STOP1601
0070 C****
0071 260 KSP(L,N-IO)=IMET(M)
0072 280 CONTINUE
0073 300 DO320 M=1,NT
0074 320 IMET(M)=KSP(M,N-IO)
0075 IF((MOD(N,NN).NE.0) AND (N.NE.NP))GOTO340
0076 CALL BWR(2,IWO1,JBUF,KO)
0077 IO=IO+NN
0078 340 CONTINUE

```

```
0079      GOT015
0080 9999  END
0081      END$
```

SEL70 T=00003 IS ON CR00040 USING 00023 BLKS R=0000

```

0001 FTN4
0002 C-----DATE: 15/1/79
0003 PROGRAM EL70
0004 C*****
0005 C*
0006 C* PROGRAMME POUR LA RESOLUTION DU SYSTEME PAR UNE
0007 C* METHODE D'ELIMINATION.
0008 C*
0009 C*****
0010 DIMENSION RBUF(120,25),ISP(30,25),JBUF(750),
0011 CIP(5),IMET(400),SBUF(120),TEMP(2),IWO1(6),IWO2(6),IWO3(6)
0012 C,LSP(30),TBUF(120),IHEUR(5)
0013 COMMON IGO(5),ITITRE(36),IWO(6),INAM(3),IFIL(3),
0014 CNE,NP,NR,FREL,NC,EB,EA,VU,FB,FA,DA,TO,ESP,
0015 CJC,IOFF,ITER,TOLER,NITER,MITER,MXE,MXP,MXR,JCO,
0016 CHPE(3,600),TENS(3,600),DEF(3,600),IMAT(600),FIS(600),
0017 CUCOOR(2,400),CHARG(800),DEPL(800),ILM(2,100)
0018 EQUIVALENCE (TBUF,JBUF),(JBUF,ISP),(LU1,IGO(4))
0019 C-----
0020 C-----
0021 CALL RMPAR(IP)
0022 C-----
0023 CALL EXEC(2,1B,INAM,-6)
0024 C-----
0025 C-----
0026 NT=30
0027 NN=25
0028 C-----
0029 361 IWO(4)=IWO(2)-MXE+1
0030 IWO(5)=0
0031 IWO(6)=0
0032 DO360 I=1,6
0033 IWO1(I)=IWO(I)
0034 IWO2(I)=IWO(I)
0035 360 IWO3(I)=IWO(I)
0036 IWO3(4)=IWO3(1)+MXE
0037 IL=0
0038 LL=-1
0039 IJK=1
0040 ASSIGN 369 TO ILB
0041 C----BOUCLE SUR LES EQUATIONS
0042 DO520 I=1,2*NP
0043 IF(I.EQ.2*NP)GOTO501
0044 IJK=1-IJK
0045 II=60*IJK
0046 IF(IJK.EQ.1)GOTO364
0047 C---LECTURE SBUF,LSP POUR CHAQUE NOEUD
0048 JJ=(I+1)/2
0049 J=((JJ-1)/NN)*NN
0050 IF(LL.NE.J)GOTO362
0051 DO359 K=1,120
0052 359 SBUF(K)=RBUF(K,II-LL)
0053 CALL SWO(IWO1,IWO1,240)
0054 GOTO363
0055 362 CALL BWR(1,IWO1,SBUF,240)
0056 363 CALL BWR(1,IWO3,LSP,30)
0057 364 AUX=SBUF(II+1+IJK)
0058 IF(ABS(AUX).LT.1.E-10)GOTO3300
0059 DEPL(I)=DEPL(I)/AUX
0060 C---BOUCLE SUR LES LIGNES A ELIMINER
0061 LLO=LL
0062 DO470 ICOD=0,1
0063 DO460 M=1+ICOD,NT
0064 IF((M.EQ.1).AND.(IJK.EQ.1))GOTO460
0065 IN=LSP(M)
0066 IF(IN)365,470,365
0067 365 IL=((IN-1)/NN)*NN
0068 IF(M.EQ.1)GOTO369
0069 IF(LL.EQ.-1)GOTO368
0070 IF(ICOD.EQ.1)GOTO390
0071 IF(IL.NE.LLO)GOTO460
0072 GOTO369
0073 390 IF(IL.EQ.LLO)GOTO460
0074 IF(IL.EQ.LL)GOTO369
0075 N=2
0076 366 IWO(4)=IWO(2)-MXE+1
0077 IWO(5)=0
0078 IWO(6)=0

```

```

0079      DO367 LKK=1,3
0080      CALL SWO(IWO,IWO,80*LL)
0081      367 CONTINUE
0082      CALL BUR(N,IWO,RBUF,240*MINO(NP-LL,NN))
0083      IF(N.EQ.1)GOTOILB
0084      368 IWO(4)=IWO(1)+MXE
0085      IWO(5)=0
0086      IWO(6)=0
0087      CALL SWO(IWO,IWO,30*IL)
0088      CALL BUR(1,IWO,ISP,30*MINO(NP-IL,NN))
0089      IF(LL.EQ.-1)LL=IL
0090      M=1
0091      LL=IL
0092      GOTO366
0093      C---RECHERCHE DES LIGNES APPROPRIEES
0094      369 DO380 N=1,NT
0095      IA=ISP(N,IN-LL)
0096      IF(M.EQ.1)IA=LSP(N)
0097      IF(IA)370,400,370
0098      370 IMET(IA)=N
0099      380 CONTINUE
0100      400 DO405 M=-1,0
0101      405 TEMP(2+M)=SBUF(II+2*M+H)/AUX
0102      C---BOUCLE SUR LES COLONNES A ELIMINER
0103      DO420 H=1,NT
0104      IA=LSP(H)
0105      IF(IA)406,440,406
0106      406 IF(IA-IN)420,410,410
0107      410 IM=IMET(IA)
0108      DO416 JJ=0,1
0109      IF((M.EQ.1).AND.(JJ.EQ.0))GOTO415
0110      DO415 J=-1,0
0111      K=60*JJ+2*IM+J
0112      IF(M.EQ.1)GOTO414
0113      RBUF(K,IN-LL)=RBUF(K,IN-LL)-TEMP(JJ+1)*SBUF(II+2*N+J)
0114      GOTO415
0115      414 SBUF(K)=SBUF(K)-TEMP(JJ+1)*SBUF(2*N+J)
0116      CONTINUE
0117      416 CONTINUE
0118      420 CONTINUE
0119      C---MODIF. DU VECTEUR CHARG.
0120      440 DEPL(2*IN)=DEPL(2*IN)-DEPL(I)*SBUF(II+2*M)
0121      IF(M.NE.1)DEPL(2*IN-1)=DEPL(2*IN-1)-DEPL(I)*SBUF(II+2*M-1)
0122      460 CONTINUE
0123      470 CONTINUE
0124      C---REDEFIN. LIGNES PUR SUBSTIT. ARRIERE
0125      480 DO500 M=1+IJK,NT
0126      DO490 J=0,1
0127      SBUF(II+2*M-J)=SBUF(II+2*M-J)/AUX
0128      IF(M.EQ.1)GOTO500
0129      490 CONTINUE
0130      500 CONTINUE
0131      IF(IJK.EQ.0)GOTO520
0132      501 CALL BUR(2,IWO2,SBUF,240)
0133      JJ=I/2
0134      J=((JJ-1)/NN)*NN
0135      IF(LL.NE.J)GOTO520
0136      DO510 K=1,120
0137      510 RBUF(K,JJ-LL)=SBUF(K)
0138      520 CONTINUE
0139      IWO(4)=IWO(2)-MXE+1
0140      IWO(5)=0
0141      IWO(6)=0
0142      DO 529 LKK=1,3
0143      CALL SWO(IWO,IWO,80*LL)
0144      529 CONTINUE
0145      CALL BUR(2,IWO,RBUF,240*MINO(NP-LL,NN))
0146      ASSIGN 535 TO ILB
0147      IL=((NP-1)/NN)*NN
0148      IF(IL.NE.LL)GOTO368
0149      535 DEPL(2*NP)=DEPL(2*NP)/RBUF(62,NP-LL)
0150      ASSIGN 539 TO ILB
0151      C---SUBSTIT. ARRIERE
0152      DO560 J=NP,1,-1
0153      IL=((J-1)/NN)*NN
0154      IF(IL.NE.LL)GOTO368
0155      538 DO550 K=0,1
0156      IJK=60*(1-K)
0157      IM=2*J-K
0158      DO545 M=2,NT

```

```

0159      JJ=ISP(M,J-LL)
0160      IF(JJ)540,546,540
0161      540      IN=IJK+2*M
0162      DO542 L=0,1
0163      DEPL(IM)=DEPL(IM)-RBUF(IN-L,J-LL)*DEPL(2*JJ-L)
0164      542      CONTINUE
0165      545      CONTINUE
0166      546      IF(K.EQ.1)DEPL(2*J-1)=DEPL(2*J-1)-RBUF(2,J-LL)*DEPL(2*J)
0167      550      CONTINUE
0168      560      CONTINUE
0169      WRITE(LU1,2010)
0170      2010      FORMAT(10/)
0171      INAM(2)=2HF8
0172      CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3))
0173      GOTO9999
0174      3300      WRITE(LU1,2)J
0175      2      FORMAT(5/,X"TERME DIAGONAL NUL DANS LA COLONNE"15,5/)
0176      3      IWO(5)=0
0177      IWO(6)=0
0178      DO 4 I=1,6
0179      4      IWO1(I)=IWO(I)
0180      IWO1(4)=IWO(1)+MXE
0181      IWO(4)=IWO(1)
0182      DO8 I=1,NP
0183      IF(I.NE.0)GOTO8
0184      CALL BWR(1,IWO,TBUF,240)
0185      WRITE(LU1,6)I,(TBUF(J),J=1,120)
0186      6      FORMAT(/X"NOEUD"14/,2(10(6E12.4.//),2//))
0187      CALL BWR(1,IWO1,JBUF,30)
0188      WRITE(LU1,7)(JBUF(J),J=1,30)
0189      7      FORMAT(2//,2(15I6//))
0190      GOTO8
0191      9      CALL SWO(IWO,IWO,240)
0192      CALL SWO(IWO1,IWO1,30)
0193      8      CONTINUE
0194      C*****
0195      STOP1602
0196      C*****
0197      9999      END
0198      END$

```

SELF8 T=00003 IS ON CR00040 USING 00019 BLKS R=0000

```

0001      FTN4
0002 C----DATE: 21/ 4/78
0003      PROGRAM ELF8
0004 C*****
0005 C*
0006      PROGRAMME POUR OBTENIR LES FORCES NODALES NON EQUILIBREES
0007 C*      DANS LES ELEMENTS EN ACIER ET DE LIAISON. STOCKAGE DANS
0008 C*      LE VECTEUR "CHARG".
0009 C*
0010 C*****
0011      DIMENSION JBUF(36), DBA(4), DBL(2,4), IP(5)
0012      COMMON IGO(5), ITITRE(36), IWO(6), INAM(3), IFIL(3),
0013      CNE, NP, NR, FREL, NC, EB, EA, YU, FB, FA, DA, TO, ESP,
0014      CJC, IOFF, ITER, TOLER, MITER, MITER, MXE, MXP, MXR, JCO,
0015      CNPE(3,600), TENS(3,600), DEF(3,600), IMAT(600), FIS(600),
0016      JCOORD(2,400), CHARG(800), DEPL(800), ILM(2,100)
0017      EQUIVALENCE (JBUF, DBA), (JBUF, DBL)
0018      C, (LU1, IGO(4))
0019 C-----
0020 C-----
0021      CALL RMPAR(IP)
0022 C-----
0023 C-----INITIALISATION DES CONTROLES
0024      IWO(4)=IWO(1)+MXE+MXP+MXR
0025      IWO(5)=0
0026      IWO(6)=0
0027 C-----
0028      XTOLER=0.01
0029 C-----
0030 C-----MISE A ZERO DU VECTEUR DES CHARGES RESIDUELLES
0031      DO 10 I=1,2*NP
0032      10  CHARG(I)=0.
0033 C-----"DO" POUR TOUS LES ELEMENTS
0034      DO 800 I=1,NE
0035      IF(IMAT(I))20,30,30
0036 C-----ELEMENTS EN BETON
0037      20  CALL SWO(IWO,IWO,36)
0038      GOTO 800
0039      30  I1=NP*(2,I)
0040      IO=NP*(1,I)
0041      UI=DEPL(2*I0-1)
0042      VI=DEPL(2*IO)
0043      UJ=DEPL(2*I1-1)
0044      VJ=DEPL(2*I1)
0045      CALL BWR(1,IWO,JBUF,36)
0046      IF(IMAT(I).NE.0)GOTO100
0047 C-----ELEMENTS EN ACIER
0048      AUX0=JCOORD(2,I1)-JCOORD(2,IO)
0049      AUX=JCOORD(1,I1)-JCOORD(1,IO)
0050      ALFA=ATAN(AUX0/AUX)
0051      IF(AUX.LT.0.) ALFA=ALFA+3.141592
0052      IF(JCOORD(1,I1).EQ.JCOORD(1,IO))ALFA=SIGN(3.141592/2.,AUX0)
0053      RL=SQRT(AUX**2+AUX0**2)
0054      C=COS(ALFA)
0055      S=SIN(ALFA)
0056      UPI=C*UI+S*VI
0057      UPJ=C*UJ+S*VJ
0058      AUX0=(UPJ-UPI)/RL
0059      AUX=DBA(1)*UI+DBA(2)*VI+DBA(3)*UJ+DBA(4)*VJ+TENS(1,I)
0060      AUX1=AUX
0061      DEF(1,I)=DEF(1,I)+AUX0
0062      TENS(1,I)=DEF(1,I)*EA
0063      IF(CABS(TENS(1,I)).GT.FA)TENS(1,I)=SIGN(FA,TENS(1,I))
0064      AUX3=AUX-TENS(1,I)
0065      AUX=AUX3*NP*(3,I)*0.01
0066      AUX4=MIN(XTOLER*ABS(TENS(1,I)),0.5)
0067      IF(CABS(AUX4).LE.AUX4)GOTO41
0068      ELSE
0069 C#*#*#
0070      WRITE(LU1,38)I,TENS(1,I),AUX5
0071      38  FORMAT(7X"ACIER:"7X"10"15,3X"TEF:"E12.5,3X"TRS:"E12.5)
0072      39  WRITE(LU1,40)AUX0,AUX1,DEF(1,I)
0073      40  FORMAT(5X"DEF:"E12.5,3X"TCAL:"E12.5,3X"DEF:"E12.5)
0074      41  CONTINUE
0075 C#*#*#
0076      AUX0=0.
0077      IF(CABS(DEF(1,I)).GT.0)DEF(1,I)=10000.
0078      30  CHARG(2*I0-1)=CHARG(2*I0-1)-AUX*C+AUX0*S

```


SELF9 T=00003 IS ON CR00040 USING 00024 BLKS R=0000

```

0001          FTN4
0002 C----DATE:15/ 1/79
0003          PROGRAM ELF9
0004 C*****
0005 C*
0006 C*      PROGRAMME POUR L'OBTENTION DES FORCES RESIDUELLES DANS LES
0007 C*      ELEMENTS EN BETON.CONTROLE DE LA FISSURATION.
0008 C*
0009 C*****
0010          DIMENSION B(3,6),OB(3,6),BT(6,3),AE(3,1),AD(6,1),
0011          IP(4),IT(3),ITR(3),ORC(3,1),D(2),TC(3,1),
0012          IPR(5)
0013          COMMON /G0015/,ITIT9(36),IWO(6),INAM(3),IFIL(3),
0014          ICHAMP,HR,ITRREL,NC,EB,EA,VU,FB,FA,DA,TS,ESP,
0015          ICH,ITR,ITR2,ITR3,MITER,MITER,MXE,MXP,MXR,JCO,
0016          DEF(3,600),IMAT(600),FIS(600),
0017          DEPL(600),DEPL1(600),ILM(2,100)
0018          IPR=1,IPR(5),IPR(5),IPR(5),IPR(5),IPR(5),IPR(5),IPR(5),IPR(5),IPR(5)
0019
0020
0021 C-----
0022          CALL RMPPR(IP)
0023 C-----
0024          XTOLER=0.05
0025 C-----
0026          OIRIRECTIONNEMENT
0027          GOTO(4,2,2000),IP(4)+1
0028          2
0029          J=1,3
0030          AT(J,1)=TENS(J,1)
0031          CALL MATB(NPE(1,1),NPE(2,1),NPE(3,1),JCOOR,B,AREA)
0032          IPR=0
0033          GOTO35
0034 C-----
0035          4-----INITIALISATION DES CONTROLES
0036          IWO(4)=IWO(1)+MXE+MXP+MXR
0037          IWO(5)=0
0038          IWO(6)=0
0039 C-----
0040          5-----"POUR TOUS LES ELEMENTS
0041          I=0
0042          5
0043          I=I+1
0044          IP(4)=0
0045          IF(INAM(I))20,10,10
0046          C-----ELEMENTS EN ACIER ET DE LIAISON
0047          10
0048          CALL 380(IWO,IWO,36)
0049          GOTO 2000
0050          C-----ELEMENTS EN BETON
0051          IF(INAM(I).EQ.-1)GOTO110
0052          C-----
0053          110-----ELEMENTS FISSURES
0054          C-----
0055          120-----OBTENTION DE LA MATRICE (B) ET DE L'AUGMENTATION DES
0056          120-----DEFORMATIONS ET DES CONTRAINTES
0057          CALL MATB(NPE(1,1),NPE(2,1),NPE(3,1),JCOOR,B,AREA)
0058          IPR=0
0059          30
0060          DO30 J=1,3
0061          DO30 K=-1,0
0062          DO(2+J+K,1)=DEPL(2+NPE(J,1)+K)
0063          CALL RMPPR(1,IWO,JUBUF,36)
0064          CALL RMPPR(5,AD,3,6,1,AE)
0065          CALL RMPPR(5,OB,AD,3,6,1,AT)
0066 C#&&&
0067          GOTO33
0068          35
0069          WRITE(LU1,34)I
0070          FORMAT(7X,"BETON FISSURE:"5X"I:"15)
0071          WRITE(LU1,32)AE,AT,(TENS(J,1),J=1,3),(DEF(K,1),K=1,3)
0072          FORMAT(7X,"AEDEF:"3E15.5,7X"ATENS:"3E15.5,7X"TENS,INIT.:"
0073          3E15.5,7X"DEF,INIT.:"3E15.5)
0074          CONTINUE
0075          IPR(IP(4),EQ.1)GOTO70
0076 C-----
0077          70-----OBTENTION DEFORMATIONS ET CONTRAINTES(CALCULEES)
0078          DO40 J=1,3
0079          AT(J,1)=AT(J,1)+TENS(J,1)
0080          DEF(K,1)=DEF(K,1)+AE(J,1)
0081          C-----OBTENTION DES CONTRAINTES CORRESPONDANTES AUX DEFORMATIONS
0082          40
0083          CALL RMPPR(5,ALFA=OIRIRECTION FISSURATION-1
0084          IPR,IP(4),GT -3000)GOTO70

```

```

0007 ALFA=( -IMAT(I)-3000 )/10.
0008 IF( IMAT(I).LT.-3900)ALFA=ALFA-180.
0009 GOTO 80
0010 70 ALFA=( -IMAT(I)-1000 )/10.
0011 IF( IMAT(I).LT.-1900)ALFA=ALFA-180.
0012 80 ALFA=ALFA*3.141592/180.
0013 SC= SIN(ALFA)
0014 CC= COS(ALFA)
0015 SUX= SC*SUX
0016 S2= SC*S2
0017 SC= SC*SC
0018 CC= CC*CC
0019 D(1)=S2*DEF(1,1)+C2*DEF(2,1)-SC*DEF(3,1)
0020 D(2)=C2*SC*(DEF(1,1)-DEF(2,1))+DEF(3,1)*(C2-S2)
0021 SUX=C2*DEF(1,1)+S2*DEF(2,1)+SC*DEF(3,1)
0022 C***
0023 C-----
0024 UNE FISSURE S'EST FERMEE
0025 IF( AUX.LT.0.)WRITE( LU1,84)I,AUX,1
0026 IF( IMAT(I).LE.-3000)AND.( D(2).LT.0.)WRITE( LU1,84)I,D(2),2
0027 84 ATTENTION... FISSURE FERMEE!!!!... ELEMENT *IS,
0028 SUX=FB/12.4)*FISSURE*12)
0029 C***
0030 65 *
0031 CR(2,1)=0.
0032 CR(1,1)=0.
0033 CR(3,1)=0.
0034 CR(1)=AT(1,1)*C2+AT(2,1)*S2+AT(3,1)*2*SC
0035 CR(2)=AT(1,1)*S2+AT(2,1)*C2-AT(3,1)*2*SC
0036 CR(3)=AT(1,1)*SC+AT(2,1)*SC+AT(3,1)*(C2-S2)
0037 IF( IMAT(I).LE.-3000)GOTO 100
0038 IF( AUX.LT.0.004)CR(1,1)=0.15*EB*(1.-AUX/0.004)*D(1)
0039 IF( AUX.LT.FA/EA)CR(1,1)=FIS(1)*(AUX-FA/EA)**2
0040 CR(1,1).GT.0.64*FB***(2./3.))CR(1,1)=EB*AUX
0041 D(2,1)=D(2)*EB
0042 IF( CR(2,1).LT.0.64*FB***(2./3.))GOTO 500
0043 C-----
0044 UNE DEUXIEME FISSURE S'EST OUVERTE
0045 IF( IMAT(I)=IMAT(I)-2000
0046 GOTO 85
0047 90 DUX=D(2)/0.00218
0048 IF( AUX.GT.1.)IR=1
0049 SUX=FB/0.00218
0050 C***
0051 IF( EB/AUX-2..LT.0.)STOP 2503
0052 C***
0053 CR(2,1)=D(2)*EB/(1.+(EB/AUX-2.)*AUX+AUX**2)
0054 GOTO 500
0055 100 BUX=FIS(1)
0056 D(401,1)=1.2
0057 IF( AUX.LT.FA/EA)CR(111,1)=BUX*(AUX-FA/EA)**2
0058 IF( CR(111,1).GT.0.64*FB***(2./3.))CR(111,1)=EB*AUX
0059 BUX=D(2)
0060 BUX=0.64*FB***(2./3.)
0061 BUX=BUX/(FA/EA-BUX/EB)**2
0062 401 CONTINUE
0063 GOTO 500
0064 C-----
0065 ELEMENTS NON FISSURES
0066 C-----
0067 110 INAM(2)=2H90
0068 GOTO 400
0069 C-----
0070 ATTENTION CONTRAINTES RESIDUELLES
0071 500 T(1,1)=C2
0072 T(1,2)=S2
0073 T(1,3)=-2*SC
0074 T(2,1)=S2
0075 T(2,2)=C2
0076 T(2,3)=2*SC
0077 T(3,1)=SC
0078 T(3,2)=-SC
0079 T(3,3)=C2-S2
0080 CALL PMH(T,CR,3,3,1,TC)
0081 L=0
0082 D(520,1)=1.3
0083 AUX=AMAX1(0.5,XTOLER*ABS(CR(J,1)))
0084 IF( ABS(CR(J,1))-CR(J,1)).LE.AUX)GOTO 520
0085 TOLER=1
0086 L=1
0087 CONTINUE
0088 520 D(521,1)=1.3
0089 TENS(J,1)=TC(J,1)
0090 CR(J,1)=AT(J,1)-TC(J,1)

```

```

0159          CALL MTR(B,3,6,BT)
0160          CALL PMM(BT,CR,6,3,1,AD)
0161          AUX=AREA*ESP
0162          DO529 J=1,6
0163          AD(J,1)=AD(J,1)*AUX
0164          C***
0165          C***
0166          IF(L.EQ.0)GOTO550
0167          WRITE(LU1,34)I
0168          WRITE(LU1,533)TC,CR,FIS(I)
0169          533  FORMAT(X="TEMP:"3E13.5,3X"TRIS:"3E13.5,X" FIS:"E10.4)
0170          CONTINUE
0171          C***
0172          DO530 J=1,3
0173          L=HPE(J,1)
0174          DO530 K=-1,0
0175          530  CHARG(2*L+K)=CHARG(2*L+K)+AD(2*J+K,1)
0176          IF(IR.EQ.1)DEF(1,1)=10000.
0177          IF(I.LT.NE)GOTO5
0178          C-----CHANGEMENT DE PROGRAMME
0179          INAM(2)=2H10
0180          400  CALL FIXEOK(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3),IP(4),IP(5))
0181          END
0182          C-----
0183          C-----
0184          C-----SUBROUTINE "MATB" POUR LA FORMATION DE LA MATRICE "B"
0185          SUBROUTINE MATB(I,J,K,JCOOR,B,AREA)
0186          DIMENSION JCOOR(2,1),B(3,6)
0187          XI=JCOOR(1,I)
0188          YI=JCOOR(2,I)
0189          XJ=JCOOR(1,J)
0190          YJ=JCOOR(2,J)
0191          XK=JCOOR(1,K)
0192          YK=JCOOR(2,K)
0193          AREA=0.5*(XJ*YK+XI*YJ+XK*YI-(XJ*YI+XK*YJ+XI*YK))
0194          C***
0195          IF(AREA.LE.0.)STOP27
0196          C***
0197          AUX=2.*AREA
0198          BI=(YJ-YK)/AUX
0199          BJ=(YK-YI)/AUX
0200          BK=(YI-YJ)/AUX
0201          CI=(XK-XJ)/AUX
0202          CJ=(XI-XK)/AUX
0203          CK=(XJ-XI)/AUX
0204          BB(1,1)=BI
0205          BB(1,2)=0.
0206          BB(1,3)=BJ
0207          BB(1,4)=0.
0208          BB(1,5)=BK
0209          BB(1,6)=0.
0210          BB(2,1)=0.
0211          BB(2,2)=CI
0212          BB(2,3)=0.
0213          BB(2,4)=CJ
0214          BB(2,5)=0.
0215          BB(2,6)=CK
0216          BB(3,1)=CI
0217          BB(3,2)=BI
0218          BB(3,3)=CJ
0219          BB(3,4)=BJ
0220          BB(3,5)=CK
0221          BB(3,6)=BK
0222          END
0223          C-----
0224          C-----SUBROUTINE "PMM" POUR OBTENIR LE PRODUIT MATRICIEL (A)*(B)=(C)
0225          C-----
0226          SUBROUTINE PMM(A,B,N1,N2,N3,C)
0227          DIMENSION A(N1,N2),B(N2,N3),C(N1,N3)
0228          DO 20 I=1,N1
0229          DO 20 K=1,N3
0230          C(I,K)=0
0231          DO 10 L=1,N2
0232          C(I,K)=C(I,K)+A(I,L)*B(L,K)
0233          10  CONTINUE
0234          20  CONTINUE
0235          END
0236          C-----
0237          C-----SUBROUTINE "MTR" POUR OBTENIR (C)=(A)T
0238          C-----

```

```
0239      SUBROUTINE MTR(A,N1,N2,C)
0240      DIMENSION A(N1,N2),C(N2,N1)
0241      DO 10 I=1,N1
0242      DO 10 K=1,N2
0243 10      C(K,I)=A(I,K)
0244      END
0245      END$
```

SEL90 T=00003 IS ON CR00040 USING 00024 BLKS R=0000

```

0001          FTN4
0002 C----DATE:15/ 1/79
0003          PROGRAM EL90
0004 C*****
0005 C*
0006 C*          PROGRAMME POUR L'OBTENTION DES FORCES RESIDUELLES DANS LES
0007 C*          ELEMENTS EN BETON. CONTROLE DE LA FISSURATION.(BIS).
0008 C*
0009 C*****
0010          DIMENSION B(3,6),DB(3,6),BT(6,3),AE(3,1),AD(6,1),
0011          CAT(3,1),T(3,3),CR(3,1),D(2),TC(3,1),ER(3),
0012          CUBUF(36),IP(5),BUF(6)
0013          C,CP(2)
0014          COMMON IGO(5),ITITRE(36),IWO(6),IHAM(3),IFIL(3),
0015          CNE,NP,NR,FREL,NC,EB,EA,VU,FB,FA,DA,TO,ESP,
0016          CJC,I OFF,ITER,TOLER,NITER,MITER,MXE,MXP,MXR,JCO,
0017          CNPE(3,600),TENS(3,600),DEF(3,600),IMAT(600),FIS(600),
0018          JCOOR(2,400),CHARG(800),DEPL(800),ILM(2,100)
0019          EQUIVALENCE(CUBUF,DB),(I,IP(5))
0020          C,(LU1,IGO(4))
0021 C----
0022 C----
0023          CALL RMPAR(IP)
0024 C----
0025          XTOLER=0.05
0026          JPACO=0
0027 C----
0028 C----OBTENTION DE LA MATRICE (B) ET DE L'AUGMENTATION DES
0029 C----DEFORMATIONS ET DES CONTRAINTES
0030          CALL MATB(CNPE(1,1),CNPE(2,1),CNPE(3,1),JCOOR,B,AREA)
0031          IR=0
0032          DO30 J=1,3
0033          DO30 K=-1,0
0034          30 AD(2*J+K,1)=DEPL(2*CNPE(J,1)+K)
0035          CALL BUR(1,IWO,CUBUF,36)
0036          CALL PMM(B,AD,3,6,1,AE)
0037          CALL PMM(DB,AD,3,6,1,AT)
0038          DO31 J=1,3
0039          BUF(J)=AE(J,1)
0040          BUF(J+3)=AT(J,1)
0041          31 CONTINUE
0042 C----
0043 C----
0044          32 FORMAT(/X"ABETON:"5X"/"I5)
0045          33 FORMAT(X"ADEF:"3E15.5,/X"ATENS:"3E15.5)
0046          33 CONTINUE
0047 C----
0048 C----OBTENTION DEFORMATIONS ET CONTRAINTES(CALCULEES)
0049          DO 40 J=1,3
0050          AT(J,1)=AT(J,1)+TENS(J,1)
0051          DEF(J,1)=DEF(J,1)+AE(J,1)
0052 C----OBTENTION DES CONTRAINTES CORRESPONDANTES AUX DEFORMATIONS
0053 C----BETON NON FISSURE. "ALFA"=ORIENTATION DIRECTIONS PRINCIPALES
0054          IF(DEF(1,1).EQ. DEF(2,1))GOTO 45
0055          ALFA=0.5*ATAN(DEF(3,1)/(DEF(1,1)-DEF(2,1)))
0056          GOTO 50
0057          45 ALFA=0.5*SIGN(3.141592/2.,DEF(3,1))
0058          IF(DEF(3,1).EQ.0.)ALFA=0.
0059          50 SC=SIN(ALFA)
0060          AUX=COS(ALFA)
0061          C2=AUX*AUX
0062          S2=SC*SC
0063          SC=SC*AUX
0064 C----OBTENTION DES DEFORMATIONS PRINCIPALES
0065          D(1)=C2*DEF(1,1)+S2*DEF(2,1)+SC*DEF(3,1)
0066          D(2)=S2*DEF(1,1)+C2*DEF(2,1)-SC*DEF(3,1)
0067          CR(3,1)=0.
0068          K=0
0069 C----D(1)<=D(2) ..(VALEUR ARITHMETIQUE)
0070          IF(D(1).LE.D(2))GOTO 111
0071          K=1
0072          J=-1
0073          IF(ALFA.LE.0.)J=1
0074          ALFA=ALFA+3.141592*J/2.
0075          AUX=S2
0076          S2=C2
0077          C2=AUX
0078          SC=-SC
0079          AUX=D(1)

```

```

0079      D(1)=D(2)
0080      D(2)=AUX
0081      111  AUX=-AT(1,1)*SC+AT(2,1)*SC+AT(3,1)*(C2-S2)
0082      IF(AT(1,1).EQ.AT(2,1))GOTO105
0083      ALFAO=0.5*ATAN(2.*AT(3,1)/(AT(1,1)-AT(2,1)))
0084      GOTO106
0085      105  ALFAO=0.5*SIGN(3.141592/2.,AT(3,1))
0086      IF(AT(3,1).EQ.0)ALFAO=0.
0087      106  AX1=ALFAO*180./3.141592
0088      IF(K.EQ.1)AX1=AX1+90.*J
0089      AX2=ALFA*180./3.141592
0090      IF(ABS(AX1-AX2).GT.0.5)WRITE(LU1,109)I,AX1,AT,AUX,(DEF(J,I),
0091      CJ=1,3),AX2
0092      109  FORMAT(2X*TXV#0:"3X"EL:"15.4X"ALFO:"F10.4,2X"CON(X,Y,XY):"
0093      C,3(E11.5,3X)"C.P.XY:"E11.5,2X"DEP(X,Y,XY):"3(E11.5,3X),3X
0094      C*ALFA:"F10.4)
0095      CP(1)=AT(1,1)*C2+AT(2,1)*S2+AT(3,1)*2*SC
0096      CP(2)=AT(1,1)*S2+AT(2,1)*C2-AT(3,1)*2*SC
0097      C*****
0098      IF(CP(1).GT.CP(2))STOP2507
0099      C*****
0100      CP(1)=SQRT((AT(1,1)-AT(2,1))*2+4*AT(3,1)**2)/2.
0101      CP(2)=(AT(1,1)+AT(2,1))/2.+CP(1)
0102      CP(1)=CP(2)-2.*CP(1)
0103      IPACO=0
0104      C-----OBTENTION CONTRAINTES REELLES CORRESPONDANTES AUX
0105      C-----DEFORMATIONS CALCULEES
0106      IF((CP(2)/CP(1).GE.-0.50).AND.(D(1).NE.0.).OR.(D(2).NE.0.))
0107      C.AND.(CP(1).LT.0.))GOTO125
0108      ASSIGN 113 TO ILB
0109      VV=VU
0110      GOTO114
0111      112  ASSIGN 320 TO ILB
0112      VV=0.9*VU
0113      114  AUX=EB/(1.-VV*VV)
0114      CR(1,1)=AUX*(D(1)+VV*D(2))
0115      CR(2,1)=AUX*(D(2)+VV*D(1))
0116      C****
0117      IF(CR(1,1).GT.CR(2,1))STOP2510
0118      C****
0119      GOTO ILB
0120      118  IF((D(1).EQ.0.).AND.(D(2).EQ.0.))GOTO320
0121      C****
0122      IF((CR(1,1).EQ.0.).AND.(CR(2,1).EQ.0.))STOP2511
0123      C****
0124      A=CR(2,1)/CR(1,1)
0125      IF((CR(1,1).GE.0.).AND.(CR(2,1).GE.0.))GOTO112
0126      IF(A.GE.-0.50)GOTO125
0127      C----- DOMAINE COMPRESSION-TRACTION LINEAIRE
0128      119  AUX=VU*(0.9-0.05*A)
0129      IF(ABS(AUX-VV).LT.0.001)GOTO320
0130      ASSIGN 120 TO ILB
0131      VV=AUX
0132      GOTO114
0133      120  A=CR(2,1)/CR(1,1)
0134      C****
0135      IF(A.GE.-0.49)STOP2512
0136      C****
0137      GOTO119
0138      C----- DOMAINE HQH LINEAIRE
0139      125  CR(1,1)=CP(1)
0140      CR(2,1)=CP(2)
0141      AUX=0.01
0142      A0=CR(2,1)/CR(1,1)
0143      A9=A0
0144      C&&&&
0145      IF(I.NE.JPACO)GOTO161
0146      126  WRITE(LU1,160)I,A0
0147      160  FORMAT(2/,"X"ELEMENT:"15.5X"A:"10X"FF:"10X"C1(1):"10X"C1(2):"10X
0148      C"A1:"F10.3)
0149      161  CONTINUE
0150      C&&&&
0151      M=0
0152      N1=0
0153      N2=0
0154      C****
0155      IF(D(1).GE.0.)STOP2513
0156      C****
0157      IF(D(2).NE.0.)GOTO165
0158      IZ=0

```



```

0159      A=0.2
0160      A9=A
0161      GOTO170
0162 165    IZ=1
0163      AX1=1.
0164      AX2=0.201
0165      IF(D(2).LT.0.)GOTO166
0166      IZ=2
0167      AX1=0.199
0168      AX2=-0.5
0169 166    AO=AMINI(AO,AX1-0.9*AUX)
0170      AO=AMAX1(AO,AX2+0.9*AUX)
0171      DO 300 J=0,200
0172      DO 290 K=-1,1,2
0173      A=AO+K*J*AUX
0174      IF(K.EQ.-1)GOTO168
0175      IF(N1.EQ.1)GOTO280
0176      IF(A.LT.AX1)GOTO170
0177      N1=1
0178      A=AX1
0179      GOTO170
0180 168    IF(N2.EQ.1)GOTO280
0181      IF(A.GT.AX2)GOTO170
0182      N2=1
0183      A=AX2
0184  C****
0185      IF(J.EQ.0)STOP2514
0186  C****
0187 170    CALL ROT(-2.5,-2.5*A,ER,SR1,FB,EB,GA,LU1)
0188      EBJ=EB/(1.-VU*A)
0189      DO 200 N=1,2
0190      AUX0=D(N)/ER(N)
0191  C****
0192      IF(AUX0.GE.0.)GOTO175
0193      WRITE(LU1,171)I,N,A,D,ER
0194 171    FORMAT(2I6,6E12.5)
0195      STOP2515
0196  C****
0197 175    IF((N.EQ.1).OR.(A.LT.0.199).OR.(A.GT.0.201))GOTO172
0198      CR(2,1)=-10000.
0199      GOTO200
0200      IF(AUX0.LT.1)GOTO198
0201  C****
0202      IF(N.EQ.2)STOP2517
0203  C****
0204      IF(IPACO.NE.1)GOTO173
0205      IF(N.EQ.1)GOTO305
0206      GOTO200
0207 173    IF(IZ.EQ.0)GOTO305
0208      IF(IZ.EQ.2)GOTO195
0209      IF((N.EQ.1).AND.(K.EQ.1))N1=1
0210      IF((N.EQ.1).OR.(K.EQ.1))GOTO280
0211      IF(A.GT.0.210)GOTO174
0212      A=A+AUX*0.1
0213      GOTO170
0214 174    N2=1
0215      GOTO280
0216 195    IF((N.EQ.1).AND.(K.EQ.-1))N2=1
0217      IF((N.EQ.2).AND.(K.EQ.-1).AND.(A.LE.0.))N2=1
0218      IF((N.EQ.1).OR.(K.EQ.-1).OR.(A.LE.0.))GOTO280
0219      IF(A.LT.0.190)GOTO196
0220      A=A-AUX*0.1
0221      GOTO170
0222 196    N1=1
0223      GOTO280
0224 198    CR(N,1)=EBJ*D(N)/(1.+(EBJ*ER(N)/SR1
0225      C-1.-GA)*AUX0+GA*AUX0**2)
0226      IF(IZ.EQ.0)GOTO311
0227      EBJ=EB/(A-VU)
0228 200    CONTINUE
0229      IF(IPACO.EQ.0)GOTO199
0230      CR(2,1)=CR(1,1)*A9
0231      GOTO500
0232 199    FFF=CR(1,1)-CR(2,1)
0233  C&&&
0234      IF(I.NE.JPACO)GOTO207
0235 201    WRITE(LU1,206)A,FFF,CR(1,1),CR(2,1)
0236      206    FORMAT(11X,F10.5,3F16.3)
0237 207    CONTINUE
0238  C&&&

```

```

0239      IF(M.NE.0)GOTO209
0240      CRA=CR(1,1)
0241      CRB=CR(2,1)
0242 209    IF(ABS(FFF).LE.0.01)GOTO310
0243      IF(M.NE.0)GOTO210
0244      M=1
0245      IO=1
0246      IF(FFF.LT.0.)IO=-1
0247      GOTO 280
0248 210    I1=1
0249      IF(FFF.LT.0.)I1=-1
0250      IF(IO.EB.I1)GOTO270
0251      IF(CR(2,1).LT.-9999.)GOTO215
0252      IF(M.NE.2)GOTO220
0253      IF((A.LE.0.190).OR.(A.GE.0.210))GOTO310
0254 215    CR(2,1)=CR(1,1)
0255      GOTO310
0256 220    M=2
0257      A=A-K*AUX*0.9
0258      GOTO170
0259 270    IF(M.NE.2)GOTO280
0260      A=A+K*AUX*0.1
0261      GOTO170
0262 280    IF(J.EQ.0)GOTO 300
0263 290    CONTINUE
0264      IF(N1=N2.EQ.1)GOTO305
0265 300    CONTINUE
0266  C****
0267      STOP2516
0268  C****
0269  C-----ELEMENT EN RUPTURE
0270 305    IF(A9.LT.-1./15.)GOTO306
0271      IF((IPACO.EQ.1).OR.(A9.GE.0.2))GOTO304
0272      GOTO313
0273 304    IR=1
0274      GOTO524
0275 306    IF(A9.GT.-0.5)GOTO309
0276      WRITE(LU1,307)A9,ALFA,AT,(DEF(M,I),M=1,3)
0277      A9=-0.4999999
0278 307    FORMAT('X*DISCONTINUITE: "5X"A9:"E10.4,3X"ALFA:"E10.4,
0279  C/X*AT:"3E15.4,5X"DEF:"3E15.4)
0280 309    CALL ROT(-2.5,-2.5*A9.ER,SR1,FB,EB,GA,LU1)
0281      IF((IPACO.EQ.1).OR.(A9.LE.-0.4999))GOTO312
0282 313    IPACO=1
0283      GOTO125
0284 312    FIS(1)=SR1*A9/(FA/EA-ER(2))*2
0285      GOTO330
0286 310    CR(1,1)=0.5*(CR(1,1)+CR(2,1))
0287 311    CR(2,1)=A*CR(1,1)
0288      GOTO500
0289  C---RUPTURE DOMAINE LINEAIRE
0290 320    AUX=FB*(1./3.)
0291      IF(CR(1,1).LT.0.)AUX=(AUX*A-0.366157)/A
0292      AUX=FB*0.64/AUX
0293      IF(CR(2,1).LT.AUX)GOTO500
0294      AUX0=AUX*(1.-V4/A)/EB
0295      FIS(1)=AUX/(FA/EA-AUX0)*2
0296  C-----FISSURATION DES ELEMENTS
0297 330    TK=ALFA*180./3.141592
0298      J=-1
0299      IF(TK.LE.0.)J=1
0300      TK=TK+90.*J
0301      IF(TK.LT.0.)TK=TK+180.
0302      IMAT(I)=-1000-TK*10.
0303      DO340 J=1,3
0304 340    TENS(J,I)=AT(J,1)
0305      IP(4)=1
0306      GOTO 550
0307  C-----OBTENTION CONTRAINTES RESIDUELLES
0308 500    T(1,1)=C2
0309      T(1,2)=S2
0310      T(1,3)=-2*SC
0311      T(2,1)=S2
0312      T(2,2)=C2
0313      T(2,3)=2*SC
0314      T(3,1)=SC
0315      T(3,2)=-SC
0316      T(3,3)=C2-S2
0317      M=0
0318 501    A=CR(2,1)/CR(1,1)

```



```

0319      AUX8=CR(1,1)
0320      AUX9=CR(2,1)
0321      AUX7=A
0322      CALL PMM(T,CR,3,3,1,TC)
0323      L=0
0324      AUX6=AMIN1(AUX8,AUX9)
0325      DO520 J=1,2
0326      AUX=AMAX1(0.5,XTOLER*ABS(AUX6))
0327      IF(ABS(CP(J)-AUX6).LE.AUX)GOTO525
0328      IF((N.ER.1).OR.(A.GE.0.2).OR.(A.LE.-0.5))GOTO509
0329      M=1
0330      CR(1,1)=CRA
0331      CR(2,1)=CRA*A0
0332      WRITE(LU1,502)1,CRA,CRB
0333      502  FORMAT(/X*EL:"15,5X"CRA,CRB:"2F10.1)
0334      GOTO501
0335      509  L=1
0336      IF((A.LT.0.18).OR.(A.GT.0.22))TOLER=1
0337      525  AUX6=AMAX1(AUX8,AUX9)
0338      520  CONTINUE
0339      DO526 J=1,3
0340      TENS(J,I)=TC(J,I)
0341      526  CR(J,1)=AT(J,1)-TC(J,1)
0342      CALL MTR(B,3,6,BT)
0343      CALL PMM(BT,CR,6,3,1,AD)
0344      AUX=AREA*ESP
0345      DO519 J=1,6
0346      519  AD(J,1)=AD(J,1)*AUX
0347      C&&&&
0348      IF((L.ER.0).AND.(I.NE.JPACO))GOTO529
0349      524  BUX1=SQRT((AT(1,1)-AT(2,1))+*2+4*AT(3,1)**2)/2.
0350      BUX2=(AT(1,1)+AT(2,1))/2.
0351      BUX2=BUX2+BUX1
0352      BUX1=BUX2-2*BUX1
0353      BUX3=BUX2/BUX1
0354      521  WRITE(LU1,34)1
0355      WRITE(LU1,32)BUF
0356      C&&&&
0357      IF(IR.ER.1)GOTO540
0358      522  WRITE(LU1,522)AREA,AD
0359      FORMAT(/X*AREA:"E12.5,5X"AREA:"E12.4)
0360      523  WRITE(LU1,523)TC,CR,AUX8,AUX9,AUX7,BUX1,BUX2,BUX3
0361      C/X*TPF:"2E15.5,2X"ALFA:"F9.3,4X"TPLE:"2E15.5,2X"ALFA:"F9.3)
0362      529  CONTINUE
0363      C&&&&
0364      DO530 J=1,3
0365      L=NPE(J,1)
0366      DO530 K=-1,0
0367      530  CHARG(2*L+K)=CHARG(2*L+K)+AD(2*J+K,1)
0368      540  IF(IR.ER.1)DEF(1,1)=10000.
0369      IP(4)=2
0370      550  INAM(2)=2HF9
0371      CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3),IP(4),IP(5))
0372      END
0373      C-----
0374      C-----
0375      C-----
0376      SUBROUTINE *MATB* POUR LA FORMATION DE LA MATRICE "B"
0377      SUBROUTINE MATB(1,J,K,JCOOR,B,AREA)
0378      DIMENSION JCOOR(2,1),B(3,6)
0379      X1=JCOOR(1,1)
0380      Y1=JCOOR(2,1)
0381      XJ=JCOOR(1,J)
0382      YJ=JCOOR(2,J)
0383      XK=JCOOR(1,K)
0384      YK=JCOOR(2,K)
0385      AREA=0.5*(XJ*YK+XI*YJ+XK*Y1-(XJ*YI+XK*YJ+XI*YK))
0386      C***
0387      IF(AREA.LE.0.)STOP27
0388      C***
0389      AUX=2.*AREA
0390      BI=(YJ-YK)/AUX
0391      BJ=(YK-YI)/AUX
0392      BK=(YI-YJ)/AUX
0393      CI=(XK-XJ)/AUX
0394      CJ=(XI-XK)/AUX
0395      CK=(XJ-XI)/AUX
0396      B(1,1)=BI
0397      B(1,2)=0.
0398      B(1,3)=BJ
0399      B(1,4)=0.

```

```

0399      B(1,5)=BK
0400      B(1,6)=0.
0401      B(2,1)=0.
0402      B(2,2)=CI
0403      B(2,3)=0.
0404      B(2,4)=CJ
0405      B(2,5)=0.
0406      B(2,6)=CK
0407      B(3,1)=CI
0408      B(3,2)=BI
0409      B(3,3)=CJ
0410      B(3,4)=BJ
0411      B(3,5)=CK
0412      B(3,6)=BK
0413      END
0414      C-----
0415      C-----SUBROUTINE "PM" POUR OBTENIR LE PRODUIT MATRICIEL (A)*(B)=(C)
0416      C-----
0417      SUBROUTINE PM(A,B,N1,N2,N3,C)
0418      DIMENSION A(N1,N2),B(N2,N3),C(N1,N3)
0419      DO 20 I=1,N1
0420      DO 20 K=1,N3
0421      Z=0.
0422      DO 10 L=1,N2
0423      10  Z=Z+A(I,L)*B(L,K)
0424      20  C(I,K)=Z
0425      END
0426      C-----
0427      C-----
0428      C-----SUBROUTINE "MTR" POUR OBTENIR (C)=(A)T
0429      C-----
0430      SUBROUTINE MTR(A,N1,N2,C)
0431      DIMENSION A(N1,N2),C(N2,N1)
0432      DO 10 I=1,N1
0433      DO 10 K=1,N2
0434      10  C(K,I)=A(I,K)
0435      END
0436      C-----
0437      C-----
0438      C-----SUBROUTINE "ROT" POUR OBTENIR LES CONTRAINTES ET DEFORMATIONS
0439      C-----EN RUPTURE
0440      C-----
0441      SUBROUTINE ROT(T1,T2,ER,SR1,FB,EB,GA,LU1)
0442      DIMENSION ER(3),D(13),E(3,13)
0443      DATA D/1.,.62,.64,.525,.2,.13,0.,-.052,-.07,-.103,-.204,-.35,-.5
0444      C/E/2.6,-2.6,3.39,-2.88,-1.96,3.12,-3.,-1.33,2.5,
0445      C-3.08,-0.76,1.96,-3.15,0.,1.64,-3.,0.53,1.33,
0446      C-2.18,0.8,0.8,-1.43,0.6,0.23,-1.23,0.49,.22,
0447      C-0.85,0.29,0.14,-0.46,0.19,0.052,-0.315,0.17,0.04,
0448      C-0.18959,0.12065,0.017235/
0449      A=T2/T1
0450      VU=0.2
0451      C-----CONTROLE T1<=T2 ; T1<0; A>=0.5
0452      C****
0453      IF(T1.GT.T2)STOP31
0454      C****
0455      IF(A.LT.-0.50001)STOP33
0456      C****
0457      IF(T1.GE.0.)STOP34
0458      C****
0459      C-----OBTENTION CONTRAINTE RUPTURE SR1
0460      AUX0=FB**(.1/3.)
0461      IF(A.GT.-1./15.)GOTO10
0462      SR1=0.64*FB/(A*AUX0-0.366157)
0463      GOTO20
0464      10  AUX=3.65
0465      IF(A.LT.0.)AUX=(15.*AUX0-43.05468)/(AUX0+5.49236)
0466      SR1=-(1.+AUX*A)*FB/(1.+A)**2
0467      C-----OBTENTION DEFORMATIONS EN RUPTURE
0468      20  GA=AMAX1(0.,AMIN1(1.,1.+10.*A))
0469      RM=FRM(A)
0470      DO30 I=1,13
0471      IF(A.GT.D(I))GOTO40
0472      30  CONTINUE
0473      I=13
0474      40  IF(I.EQ.1)STOP36
0475      C****
0476      RM0=FRM(D(I-1))
0477      RM1=FRM(D(I))
0478      DO60 J=1,3

```

```

0479      ER(J)=E(J,I-1)+(E(J,I)-E(J,I-1))/(RM1-RM0)*(RM-RM0)
0480      ER(J)=ER(J)*1.E-03
0481 60     CONTINUE
0482      AUX=EB/(1.-VU*A)
0483      DO90 J=1,3
0484      AUX0=AUX*ER(J)/SR1-1.-GA
0485      IF(AUX0.GE.0.)GOTO80
0486      AUX2=ER(J)
0487      AUX0=AUX0+1.+GA
0488      ER(J)=(1.+GA)*SR1/AUX
0489 80     IF((J.EQ.1).AND.(A.EQ.VU))J=2
0490      IF(J.EQ.1)AUX=EB/(A-VU)
0491      IF(J.EQ.2)AUX=-EB/(VU*(1.+A))
0492 90     CONTINUE
0493      END
0494 C-----
0495 C----- FUNCTION FRM
0496 C-----
0497      FUNCTION FRM(A)
0498      FRM=-1.
0499      IF(A.LT.0.)FRM=3.
0500      PI=3.141592
0501      B=A
0502      IF(A.EQ.0.)B=1.E-20
0503      FRM=(ATAN(1./B)+FRM*PI/4.)/PI*6.4
0504      END
0505      END$

```

SEL10 T=00003 IS ON CR00040 USING 00007 BLKS R=0000

```

0001      FTN4
0002 C-----DATE:15/ 1/79
0003      PROGRAM EL10
0004 C*****
0005 C*
0006 C*      PROGRAMME POUR LA VERIFICATION DE LA VALIDITE DE LA
0007 C*      SOLUTION OBTENUE A CHAQUE ITERATION.
0008 C*
0009 C*****
0010      DIMENSION IP(5)
0011      COMMON IGO(5), ITITRE(36), IWO(6), INAM(3), IFIL(3),
0012      CNE, NP, NR, FREL, NC, EB, EA, VU, FB, FA, DA, TO, ESP,
0013      JCO, IDEF, ITER, TOLER, NITER, MITER, MXE, MXP, MXR, JCO,
0014      TENS(3,600), DEF(3,600), IMAT(600), FIS(600),
0015      CHARG(2,400), DEPL(800), ILM(2,100)
0016      EQUIVALENCE(LU1, IGO(4))
0017 C-----
0018      CALL RMPAR(IP)
0019      IIR=0
0020 C-----COMPARAISON DES FORCES NODALES RESIDUELLES AVEC LA TOLERANCE
0021 C-----MAXIMALE ADMISE ET DES DEFORMATIONS DES ELEMENTS AVEC CELLES
0022 C-----EN RUPTURE
0023      DO 100 I=1, NE
0024      IF(DEF(1, I) LE .9999) GOTO 100
0025      WRITE(LU1, 30) I
0026      FORMAT(7X"LE ELEMENT", I, 3X"EST EN RUPTURE")
0027      IIR=1
0028      100 CONTINUE
0029 C****
0030      IF(IIR.EQ.1) STOP 2201
0031 C****
0032      IF((NITER.EQ.10000).OR.(MOD(ITER-1, NITER).NE.0)) GOTO 170
0033      WRITE(LU1, 110) JCO, ITER, .05, .01, .05
0034      110 FORMAT(47X"CAS CHARG.", I, 14, 5X"ITER.", I, 15, 5X
0035      C" TOL. CONTR. (%) = "F5.2, 2X, "(ACIER (%)" = "F5.2", 2X, "(BET. FISS."
0036      C" NOEUD", 4X, "F. RES. (KG.)", 4X, "F. RES. Y(KG.)")
0037      140 DO 160 I=1, NP
0038      WRITE(LU1, 155) I, (CHARG(2*I+J), J=-1, 0)
0039      155 FORMAT(18, 2(F11.4, 7X))
0040      CONTINUE
0041      160 IF(TOLER.EQ.0.) GOTO 200
0042      IF(ITER.GT.3) GOTO 200
0043      C-----CONTRAINTE 25 NON EQUILIBREES NON NEGLIGEABLES. NOUV. ITER.
0044      ITER=ITER+1
0045      INAM(2)=2HF6
0046      TOLER=0.
0047      GOTO 1040
0048      200 INAM(2)=2H1A
0049      1040 CALL EXEC(10, INAM, IP(1), IP(2), IP(3), IP(4))
0050      9309 END
0051      9309 END*
0052

```

SEL1A T=00003 IS ON CR00040 USING 00015 BLKS R=0000

```

0001      FTN4
0002 C-----DATE: 21/ 4/78
0003      PROGRAM EL1A
0004 C*****
0005 C*
0006 C*      PROGRAMME POUR LA SORTIE DES CONTRAINTES A LA FIN DE
0007 C*      CHAQUE CAS DE CHARGEMENT. EVALUATION DES CONTRAINTES AUX NOEUDS.
0008 C*
0009 C*****
0010      DIMENSION IBUF(1100), CONTR(3,100), SUM(2,100), NN(100), CPR(2), IP(5)
0011      COMMON IGO(6), ITITRE(36), IWO(6), INAM(3), IFIL(3),
0012      CHE, NP, NR, PREL, INC, SB, EA, WU, FB, FA, DA, TO, ESP,
0013      CUC, IDEF, ITER, TOL, R, NITER, MITER, MXE, MXP, MXR, JCO,
0014      CNPE(3,600), TENS(3,600), DEF(3,600), IMAT(600), FIS(600),
0015      CUCOOR(2,400), CHARG(800), DEPL(800), ILM(2,100)
0016      ERG1=LENCE (LU1, IGO(4)), (IBUF, CONTR),
0017      CUCOOR, IDEF(3013), (NH, IBUF(1001))
0018 C-----
0019      CALL RMPAR(IP)
0020 C-----
0021 C-----INITIALISATION DES CONTROLES
0022      IWO(4)=IWO(1)+MXE+MXP
0023      IWO(5)=0
0024      IWO(6)=0
0025 C-----
0026 C-----SORTIE DES CONTRAINTES
0027 C-----
0028      200 WRITE(LU1,210)2HEL,2HEM,2HEN,2HTS,2H ,2H
0029      210 FORMAT(37,X,6A2,23X"(KG/CM2)",27,4X" I(T)"6X" SX"6X" SY"5X" TX"5X
0030      C" S-I"5X" S-II"5X" ALFA(DEGRES) ALFA FIS."5X" DEF-X"7X,
0031      C" DEF-Y"6X" DEF-KY")
0032 C-----
0033 C-----MMO=MM+11
0034 C-----
0035      MM=100
0036      MMO=1100
0037 C-----
0038      DO230 J=1,MM
0039      DO220 K=1,2
0040      CONTR(K,J)=0.
0041      220 SUM(K,J)=0.
0042      CONTR(3,J)=0.
0043      230 NN(J)=0
0044      L=NP/MM
0045      IF(MOD(NP,MM).NE.0)L=L+1
0046      JO=IWO(4)
0047      DO 235 I=1,L
0048      235 CALL BWR(2,IWO,IBUF,MMO)
0049 C****
0050      IF(IWO(4).GE.JO+MXE)STOP3000
0051 C****
0052      IWO(4)=JO
0053      IWO(5)=0
0054      IWO(6)=0
0055      L=0
0056      DO290 J=1,NE
0057      K=2HEE
0058      IF(IMAT(J).EQ.0)K=2HAC
0059      IF(IMAT(J).GT.0)K=2HLI
0060      IF(IMAT(J).EQ.400)K=2HHP
0061      IF(IMAT(J).LT.-1)K=2HFI
0062      IF(IMAT(J).LE.-3000)K=2HF2
0063      CALL CPRIN(TENS(1,J),TENS(2,J),TENS(3,J),CPR(1),CPR(2),AUX,
0064      C IMAT(J))
0065      AUX=AUX+180./3.141592
0066      AUX0=1.E+20
0067      IF(IMAT(J).GE.-1)GOTO239
0068      AUX0=(-IMAT(J)-1000)/10.
0069      IF(IMAT(J).LE.-3000)AUX0=(-IMAT(J)-3000)/10.
0070      IF(AUX0.GT.90)AUX0=AUX0-180.
0071      239 WRITE(LU1,240)J,K,(TENS(M,J),M=1,3),CPR,AUX,AUX0,(DEF(N,J)
0072      C N=1,3)
0073      240 FORMAT(14,"("A2)"*6F8.1,8X,F8.1,3E12.4)
0074 C-----ORTENTION DES CONTRAINTES PONDEREES AUX POINTS NODAUX
0075 C-----DEC ELEMENTS EN BETON
0076      AUX=0
0077      HEM=0
0078      IF(IMAT(J).GE.0)GOTO290

```

```

0079      DO 260 K=1,3
0080      AUX=AUX+JCOORD(1,NPE(K,J))
0081      AUX0=AUX0+JCOORD(2,NPE(K,J))
0082 260    CONTINUE
0083      DO 280 K=1,3
0084      N=NPE(K,J)
0085      AN=ABS(AUX-3.*JCOORD(1,N))
0086      BN=ABS(AUX0-3.*JCOORD(2,N))
0087      IF((N-1)/MM.EQ.L)GOTO 270
0088      CALL BWR(2,IWO,IBUF,MMO)
0089      L=(N-1)/MM
0090      IWO(4)=J0
0091      IWO(5)=0
0092      IWO(6)=0
0093      CALL SMO(IWO,IWO,L*MMO)
0094      CALL BWR(1,IWO,IBUF,MMO)
0095      IWO(4)=J0
0096      IWO(5)=0
0097      IWO(6)=0
0098      CALL SMO(IWO,IWO,L*MMO)
0099 270    N=N-L*MM
0100      SUM(1,M)=SUM(1,M)+AN/(AN+BN)
0101      SUM(2,M)=SUM(2,M)+BN/(AN+BN)
0102      CONTR(1,M)=CONTR(1,M)+AN*TEMS(1,J)/(AN+BN)
0103      CONTR(2,M)=CONTR(2,M)+BN*TEMS(2,J)/(AN+BN)
0104      CONTR(3,M)=CONTR(3,M)+TEMS(3,J)
0105      NN(M)=NN(M)+1
0106 260    CONTINUE
0107 230    CONTINUE
0108      CALL BWR(2,IWO,IBUF,MMO)
0109      INAM(2)=2H1B
0110 1040  CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3))
0111 9999  END
0112 C-----SUBROUTINE "CPRIN" POUR LE CALCUL DES CONTRAINTES PRINCIPALES
0113 SUBROUTINE CPRIN(TX,TY,TXY,T1,T2,ALFA,IMAT)
0114 T1=0.
0115 T2=0.
0116 ALFA=0.
0117 IF(IMAT.GE.0)RETURN
0118 IF(TX.EQ.0)GOTO5
0119 ALFA=0.5*ATAN(2.*TXY/(TX-TY))
0120 GOTO 10
0121 5     ALFA=0.5*3.141592/2.
0122 IF(TXY.EQ.0.)ALFA=0.
0123 IF(TXY.LT.0.)ALFA=-ALFA
0124 10   SC=COS(ALFA)
0125 T1=SIN(ALFA)
0126 C2=SC*SC
0127 S2=T1*T1
0128 SC=SC*T1
0129 T1=C2*TX+S2*TY+2*SC*TXY
0130 T2=S2*TX+C2*TY-2*SC*TXY
0131 END
0132 END*
```

SEL18 T=00003 IS ON CR00040 USING 00014 BLKS R=0000

```

0001      FTN4
0002 C----DATE: 28/ 8/78
0003      PROGRAM EL18
0004 C*****
0005 C*
0006 C*      PROGRAMME POUR LA SORTIE DES CONTRAINTES A LA FIN DE
0007 C*      CHAQUE CAS DE CHARGEMENT PASSAGE AU CAS DE CHARGEMENT
0008 C*      SUIVANT.
0009 C*
0010 C*****
0011 DIMENSION IBUF(1100), CONTR(3,100), SUM(2,100), NN(100),
0012 C CRR(2), IP(5), RBUF(2), JFIL(3),
0013 C LBUF(6002), SBUF(3,800), TBUF(3,400)
0014 COMMON IGO(5), ITITRE(36), IWO(6), INAM(3), IFIL(3),
0015 C NE, NP, NR, FRESL, NC, EB, EA, VU, FB, FA, DA, TO, ESP,
0016 C JC, JCF, JITER, TOLER, NITER, NITER, MXE, MXP, MXR, JCO,
0017 C CRPE(3,600), TENS(3,600), DEF(3,600), IMAT(600), FIS(600),
0018 C CCOGR(2,400), CHARG(800), DEPL(800), ILM(2,100)
0019 EQUIVALENCE (IBUF, CONTR), (SUM, IBUF(601)), (NN, IBUF(1001)),
0020 C (LU1, IGO(4)), (IBUF(2), RBUF), (LBUF(3), SBUF),
0021 C LBUF(3603), TBUF)
0022 DATA JFIL/2HRE, 2HSU, 2HLT/
0023 C-----
0024 C-----
0025      CALL RMPAR(IP)
0026 C-----
0027      IWO(4)=IWO(1)+MXE+MXP
0028      IWO(5)=0
0029      IWO(6)=0
0030 C-----
0031 C-----MMO=MM+11
0032 C-----
0033      MM=100
0034      MMO=1100
0035 C-----
0036      L=MM
0037      WRITE(LU1,210)2HPO, 2HIN, 2HT , 2HNO, 2HDA, 2HL:
0038 210  FORMAT(37,X,6A2,23X,"(KG/CM2)",2/,4X"1CT)"6X,"5X"6X,"5Y"5X"TX"5X
0039 C S-1"5X"6-11"3X"ALFA(DEGRES)"
0040 C-----SORTIE DE "JC"; "TENS" ET "CONTR" SUR "JFIL"
0041 C-----ECRIRE UNE DE "CONTRAINTES" AUX POINTS NODAUX PAR L, UNITE
0042 C-----LOGIQUE "LU1"
0043      LBUF(1)=JCO
0044      DO100 J=1,3
0045      DO100 K=1,NE
0046 100  SBUF(J,K)=TENS(J,K)
0047      DO 500 J=1, NP
0048      IF(MOD(J,MM).NE.1)GOTO 300
0049      CALL BUR(1,IWO,IBUF,MMO)
0050      L=L+MM
0051 300  M=J-L
0052      IF(NN(M).NE.0)GOTO 310
0053      CONTR(1,M)=1.E+06
0054      GOTO 400
0055 310  CONTR(1,M)=CONTR(1,M)/SUM(1,M)
0056      CONTR(2,M)=CONTR(2,M)/SUM(2,M)
0057      CONTR(3,M)=CONTR(3,M)/NN(M)
0058      CALL CPRIN(CONTR(1,M),CONTR(2,M),CONTR(3,M),CPR(1),CPR(2),
0059 C AUX,-1)
0060      AUX=AUX*180./3.141592
0061      WRITE(LU1,240)J,2HBE,(CONTR(K,M),K=1,3),CPR,AUX
0062 240  FORMAT(14,"(",A2")",6F8.1)
0063 400  IF((J.NE.NP).AND.(MOD(J,MM).NE.0))GOTO 500
0064      KK=NGD(J-1,MM)+1
0065      DO 450 K=1,3
0066      DO 450 K0=1, KK
0067 450  TBUF(K,J-KK+K0)=CONTR(K,K0)
0068 500  CONTINUE
0069      J=47*(JC-1)
0070      CALL EXEC(15,1028,LBUF,6002,JFIL,J)
0071 C-----NOUVEAU CAS DE CHARGEMENT
0072      JC=JC+1
0073      JCO=JCO+1
0074      IF(JC.GT.NC)GOTO 1050
0075      ITER=1
0076      IWO(4)=IWO(2)-MXE
0077      IWO(5)=0
0078      IWO(6)=0

```

```

0079      CALL SWO(IWO,IWO,IOFF)
0080      DO 1000 I=1,HP+1
0081      CALL BUR(1,IWO,IBUF,5)
0082      IOFF=IOFF+5
0083      IF(IBUF(1).EQ.0)GOTO 1010
0084      J=IBUF(1)
0085      CHARG(2*J-1)=CHARG(2*J-1)+RBUF(1)
0086      CHARG(2*J)=CHARG(2*J)+RBUF(2)
0087      1000 CONTINUE
0088 C-----RETOUR AU PROGRAMME ELF3
0089      1010 INAM(2)=2HF3
0090      1040 CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3))
0091      GOTO 9999
0092 C-----C.ETAIT LE DERNIER CAS DE CHARGEMENT
0093 C*****
0094      1050 IF(IGO(1).GE.0)STOP3777
0095 C*****
0096      GOTO 1010
0097      9999 END
0098 C-----SUBROUTINE "CPRIN" POUR LE CALCUL DES CONTRAINTES PRINCIPALES
0099      SUBROUTINE CPRIN(TX,TY,TXY,T1,T2,ALFA,IMAT)
0100      T1=0.
0101      T2=0.
0102      ALFA=0.
0103      IF(IMAT.GE.0)RETURN
0104      IF(TX.EQ.TY)GOTO5
0105      ALFA=0.5*ATAN(2.*TXY/(TX-TY))
0106      GOTO 10
0107      5 ALFA=0.5*3.141592/2.
0108      IF(TXY.EQ.0.)ALFA=0.
0109      IF(TXY.LT.0.)ALFA=-ALFA
0110      10 SC=COS(ALFA)
0111      T1=SIN(ALFA)
0112      C2=SC*SC
0113      S2=T1*T1
0114      SC=SC*T1
0115      T1=C2*TX+S2*TY+2*SC*TXY
0116      T2=S2*TX+C2*TY-2*SC*TXY
0117      END
0118      END$

```


SEL11 T=00003 IS ON CR00040 USING 00009 BLKS R=0000

```

0001      FTM4
0002 C---- DATE : 28/ 8/78
0003      PROGRAM EL11
0004 C*****
0005 C**
0006 C**      PROGRAMME POUR LE TRACE DES COURBES DE CONTRAINTES:
0007 C**      LECTURE DES DONNEES.
0008 C**
0009 C*****
0010      DIMENSION JBUF(61),LBUF(6002),SBUF(3,600),TBUF(3,400),
0011      CIP(5),JFIL(3),YYM(2)
0012      COMMON IGO(5),ITITRE(36),IWO(6),INAM(3),IFIL(3),
0013      ONE,MP,NR,FREL,NC,EB,EA,VU,FB,FA,DA,TO,ESP,
0014      CUC,IOFF,ITER,TOLER,NITER,MXE,MXP,MXR,JCO,
0015      CNPE(3,600),TENS(3,600),DEF(3,600),IMAT(600),FIS(600),
0016      CUBCOR(2,400),CHARG(800),DEPL(800),ILM(2,100)
0017      EQUIVALENCE(IGO(3),LU),(LBUF(3),SBUF),(LBUF(3603),TBUF),
0018      CXXNX(ESC),(LO,ITER),(XX,TOLER),(YY,NITER)
0019      C,(JBUF,ILM),(JBUF(51),ICOD),(JBUF(52),ESC),(JBUF(54),XL)
0020      C,(JBUF(56),YL),(JBUF(58),YYM)
0021      DATA JFIL/2HRE,2H3U,2HLT/
0022 C-----
0023      CALL RMPAR(IP)
0024 C-----
0025 C-----
0026 C-----LECTURE CONTRAINTES DU FICHIER 'RESUL'
0027 C-----
0028      IF(IP(4).EQ.1)GOTO20
0029 C-----
0030      5      PAUSE003
0031      READ(1,*)NHC
0032      J=47*(NHC-1)
0033      CALL EXEC(14,102B,LBUF,6002,JFIL,J)
0034      JCO=LBUF(1)
0035      DO6 J=1,3
0036      DO6 K=1,NE
0037      6      TENS(J,K)=SBUF(J,K)
0038      DO10 J=1,3
0039      DO10 I=1,MP
0040      10     DEF(J,I)=TBUF(J,I)
0041      LO=-1
0042 C-----LECTURE DONNEES
0043      YY=30.
0044      XX=0.
0045      PAUSE 4
0046 C----- ICOD=0 : TRACE DE FLECHES DE CONTRAINTES PRINCIPALES(NOEUDS)
0047 C----- ICOD=1 : IDEM. ELEMENTS
0048 C----- ICOD=4 : NOUVELLE LECTURE DE DONNEES
0049 C----- ICOD=5 : STOP
0050 C----- ICOD=AB : A=1(SX) A=2(SY) A=3(SXY)
0051 C----- B=1(Y=CTE.) B=2(X=CTE.)
0052 C----- ESC SERA LE NOMBRE(<=50) DE POINTS NODAUX OU D'ELEMENTS
0053 C----- (EX CE CAS, LES NUMEROS DES ELEMENTS SERONT INTRODITS
0054 C----- // // // NEGATIFS) // // // (POUR ICOD#0,4,5)
0055      20     READ(1,*)ICOD,ESC,XL,YL,YYM(1),YYM(2)
0056      IF(ICOD.EQ.4)GOTO5
0057 C***
0058      IF(ICOD.EQ.5)STOP7777
0059 C***
0060      IF(ICOD.GT.0)GOTO 1000
0061 C-----TRACE VECTEURS DES CONTRAINTES PRINCIPALES DANS LE BETON
0062      INAM(2)=2H13
0063      GOTO1111
0064 C----- TRACE DE COURBES
0065      1000  INAM(2)=2H12
0066      I=ESC+0.1
0067      DO1001 J=1,I
0068      1001  READ(LU,*)JBUF(J)
0069      1111  CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3),IP(4))
0070      END
0071      END*

```

SEL 12 T=00003 IS ON CR00040 USING 00014 BLKS R=0000

```

0001      FTH4
0002 C---- DATE : 24/ 2/78
0003      PROGRAM EL12
0004 C*****
0005 C*
0006 C*      PROGRAMME POUR LE TRACE DES COURBES DE CONTRAINTES.
0007 C*
0008 C*****
0009      DIMENSION CONTR(3,400),IBUF(2400),JBUF(61),X(50),Y(50),
0010      CIP(5),IAUX(4),YYM(2)
0011      COMMON IGO(5),ITITRE(36),IWO(6),INAM(3),IFIL(3),
0012      ONE,HP,HR,FREL,NC,EB,EA,VU,FB,FA,DA,TO,ESP,
0013      CJC,IOFF,ITER,TOLER,MITER,MITER,MXE,MXP,MXR,JCO,
0014      CHPE(3,600),TENS(3,600),DEF(3,600),IMAT(600),FIS(600),
0015      JCOORD(2,400),CHARG(800),DEPL(800),ILM(2,100)
0016      EQUIVALENCE (IBUF,CONTR),(CHARG,X),(DEPL,Y)
0017      C,(JBUF,DEF),(XNX,ESC),(LO,ITER),(XX,TOLER),(YY,MITER)
0018      C,(JBUF,ILM),(JBUF(51),ICOD),(JBUF(52),ESC),(JBUF(54),XL)
0019      C,(JBUF(56),YL),(JBUF(58),YYM)
0020      DATA IAUX/1000,100,10,1/
0021 C-----
0022      CALL RMPAR(IP)
0023 C-----
0024      MM=400
0025      CALL PLTLU(10)
0026 C-----
0027 C-----TRACE DES COURBES
0028 C-----
0029      1000 YY=YY-YL-8.
0030      IF(YY.GE.0.)GOTO1010
0031      YY=30.
0032      CALL PLOT(XX+8.,0.,-3)
0033      XX=0.
0034      GOTO1000
0035      1010 XX=AMAX1(XX,XL)
0036      NX=XNX+0.1
0037      DO1030 I=1,NX
0038      IF(JBUF(I).LT.0)GOTO1025
0039      X(I)=JCOORD(MOD(ICOD,10),JBUF(I))
0040      L=(JBUF(I)-1)/MM
0041      IF(L.EQ.L0)GOTO1020
0042      IWO(4)=IWO(1)
0043      IWO(5)=0
0044      IWO(6)=0
0045      LO=L
0046      CALL SWO(IWO,IWO,6*MM*L)
0047      CALL BUR(1,IWO,IBUF,6*MM)
0048      1020 Y(I)=CONTR((ICOD/10),JBUF(I)-MM*L)
0049      GOTO1030
0050      1025 Y(I)=-TENS((ICOD/10),-JBUF(I))
0051      J=2
0052      X(I)=0.
0053      IF(IMAT(-JBUF(I)).LT.0)J=3
0054      AUX=J
0055      DO1026 K=1,J
0056      1026 X(I)=X(I)+JCOORD(MOD(ICOD,10),NPE(K,-JBUF(I)))/AUX
0057      1030 CONTINUE
0058      X1=1.E+30
0059      X2=-1.E+30
0060      Y1=YYM(1)
0061      Y2=YYM(2)
0062      DO 1050 I=1,NX
0063      X1=AMIN1(X1,X(I))
0064      X2=AMAX1(X1,X(I))
0065      1050 CONTINUE
0066      X1=AMIN1(X1,0.)
0067      Y1=AMIN1(Y1,0.)
0068      Y2=AMAX1(Y2,0.)
0069      X2=(X2-X1)/XL
0070      Y2=(Y2-Y1)/YL
0071      X0=ABS(X1)/X2+4.
0072      Y0=ABS(Y1)/Y2+4.+YY
0073      CALL PLOT(X0,Y0,-3)
0074      L=3
0075      DO 1100 I=1,NX
0076      CALL PLOT(X(I)/X2,Y(I)/Y2,L)
0077      1100 L=2

```

```

0078 N=MOD( ICOD, 10)
0079 M=JCOOR(3-M, JBUF(1))
0080 J=2NH(M+3-M
0081 K=2NH(M+M
0082 KO=2HXY
0083 IF( ICOD. LT. 30)KO=2HY
0084 IF( ICOD. LT. 20)KO=2HX
0085 JBUF(8)=2H=
0086 IF( M. LT. 0)JBUF(8)=2H=-
0087 II=IABS(M)
0088 L1=0
0089 JBUF(9)=0
0090 JBUF(10)=0
0091 DO1110 KK=1,4
0092 JO=11/IAUX(KK)
0093 IF( (JO. NE. 0). OR. (L1. NE. 0))GOTO1105
0094 MMM=32
0095 GOTO1106
1105 L1=1
0096 M=48+JO
1106 IF( MOD(KK, 2). EQ. 1)MMM=MMM*256
0097 JBUF(8+(KK+1)/2)=JBUF(8+(KK+1)/2)+MMM
0100 II=11-JO*IAUX(KK)
1110 JCOCONTINUE
0101 JBUF(1)=2HCO
0102 JBUF(2)=2HHT
0103 JBUF(3)=2HHR.
0104 JBUF(4)=2HP
0105 JBUF(5)=2HOU
0106 JBUF(6)=2HR
0107 JBUF(7)=J
0108 JBUF(11)=2HCM
0109 JBUF(12)=2H);
0110 JBUF(13)=2HAB
0111 JBUF(14)=2HS.
0112 JBUF(15)=K
0113 CALL AXES(0., 0., JBUF, 30, 0., 1., X1, X2)
0114 JBUF(1)=2HOR
0115 JBUF(2)=2HDO
0116 JBUF(3)=2HXX
0117 JBUF(4)=2HEE
0118 JBUF(5)=2HS=
0119 JBUF(6)=2HS
0120 JBUF(7)=K0
0121 JBUF(8)=2H(K
0122 JBUF(9)=2HG/
0123 JBUF(10)=2HCM
0124 JBUF(11)=2H2)
0125 CALL AXES(-0.2, 0., JBUF, 22, 90., 1., Y1, X2)
0126 CALL PLOT(-X0, -Y0, -3)
0127 IHAN(2)=2H11
0128 IP(4)=1
0129 CALL EXEC(10, IHAN, IP(1), IP(2), IP(3), IP(4))
0130 END
0131 *
0132

```

SEL13 T=00003 IS ON CR00040 USING 00019 BLKS R=0000

```

0001      FTH4
0002 C-----DATE: 4/9/78
0003      PROGRAM EL13
0004 C*****
0005 C*
0006 C*      PROGRAMME POUR LE TRACE DES FLECHES DE CONTRAINTES
0007 C*      PRINCIPALES DANS LE BETON.
0008 C*
0009 C*****
0010      DIMENSION CONTR(3,400),JBUF(61),X(600),Y(600),
0011      CCPR(2),IP(5),IAUX(4),YYM(2)
0012      COMMON IGD(5),ITITRE(36),IWO(6),IHAM(3),IFIL(3),
0013      CHE,NP,NR,FREL,NC,EB,EA,YU,FB,FA,DA,TO,ESP,
0014      CJC,IOFF,ITER,TOLER,NITER,MITER,MXE,MXP,MXR,JCO,
0015      CHPE(3,600),TENS(3,600),DEF(3,600),IMAT(600),FIS(600),
0016      JCOORD(2,400),CHARG(800),DEPL(800),ILM(2,100)
0017      EQUIVALENCE (DEF,CONTR),(CHARG,X),(DEPL,Y)
0018      C,(XNX,ESC),(LO,ITER),(XX,TOLER),(YY,NITER)
0019      C,(JBUF,ILM),(JBUF(51),ICOD),(JBUF(52),ESC),(JBUF(54),XL)
0020      C,(JBUF(56),YL),(JBUF(58),YYM)
0021      DATA IAUX/1000,100,10,1/
0022 C-----
0023      CALL RMPAR(IP)
0024 C-----
0025      CALL PLTLU(10)
0026      IP(4)=1
0027 C-----
0028 C-----TRACE VECTEURS DES CONTRAINTES PRINCIPALES DANS LE BETON
0029      IF(ICOD.EQ.0)GOTO20
0030      DO15 I=1,NE
0031      X(I)=0.
0032      Y(I)=0.
0033      IF(IMAT(I).GE.0)GOTO15
0034      DO14 J=1,3
0035      K=NPE(J,I)
0036      X(I)=X(I)+JCOORD(1,K)/3.
0037      Y(I)=Y(I)+JCOORD(2,K)/3.
0038      14 CONTINUE
0039      15 CONTINUE
0040      NN=NE
0041      GOTO35
0042      20 DO30 I=1,NP
0043      X(I)=JCOORD(1,I)
0044      30 Y(I)=JCOORD(2,I)
0045      NN=NP
0046      35 X1=1.E+30
0047      Y1=1.E+30
0048      Y2=-1.E+30
0049      X2=-1.E+30
0050      DO40 I=1,NN
0051      X1=AMIN1(X1,X(I))
0052      Y1=AMIN1(Y1,Y(I))
0053      Y2=AMAX1(Y2,Y(I))
0054      X2=AMAX1(X2,X(I))
0055      40 CONTINUE
0056      X1=AMIN1(X1,0.)
0057      Y1=AMIN1(Y1,0.)
0058      X2=(X2-X1)/XL
0059      Y2=(Y2-Y1)/YL
0060 C****
0061      IF(ABS(X1)+ABS(Y1).GT.0.1)STOP7770
0062 C****
0063      Y1=(30.-YL)/2.
0064      CALL PLOT(0.,Y1,-3)
0065      DO 500 I=1,NN
0066      IF(ICOD.EQ.0)GOTO300
0067      IF(IMAT(I).GE.0)GOTO500
0068      CALL CPRIN(TENS(1,I),TENS(2,I),TENS(3,I),CPR(1),CPR(2),ALFA,-1)
0069      GOTO350
0070      300 IF(CONTR(1,I).GT.1.E+05)GOTO 490
0071 C-----ELEMENTS DE BETON
0072      CALL CPRIN(CONTR(1,I),CONTR(2,I),CONTR(3,I),CPR(1),CPR(2),
0073      ALFA,-1)
0074      350 X(I)=X(I)/X2
0075      Y(I)=Y(I)/Y2
0076      DO 480 K=1,2
0077      CALL FLECH(CPR(K),ALFA+3.141592/2.*(K-1),X(I),Y(I),ESC)
0078      GOTO480

```

```

0079 351 JBUF(1)=2H
0080 IF(CPR(K).LT.0.)JBUF(1)=2H -
0081 II=ABS(CPR(K))
0082 L1=0
0083 JBUF(2)=0
0084 JBUF(3)=0
0085 DO440 KK=1,4
0086 J0=1/IAUX(KK)
0087 IF((J0.NE.0).OR.(L1.NE.0))GOTO405
0088 MMM=32
0089 GOTO406
0090 405 L1=1
0091 MMM=48+J0
0092 406 IF(MOD(KK,2).EQ.1)MMM=MMM*256
0093 JBUF(1+(KK+1)/2)=JBUF(1+(KK+1)/2)+MMM
0094 II=II-J0*IAUX(KK)
0095 440 CONTINUE
0096 CALL SYMB(X(I),Y(I)-0.3*K,0.25,JBUF,0.,6)
0097 480 CONTINUE
0098 490 IF(MOD(I,MM).EQ.0)L=L+MM
0099 500 CONTINUE
0100 CALL PLOT(XL+8.,-Y1,-3)
0101 INAM(2)=2H11
0102 CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3),IP(4))
0103 END
0104 C-----SUBROUTINE "CPRIN" POUR LE CALCUL DES CONTRAINTES PRINCIPALES
0105 SUBROUTINE CPRIN(TX,TY,TXY,T1,T2,ALFA,IMAT)
0106 T1=0.
0107 T2=0.
0108 ALFA=0.
0109 IF(IMAT.GE.0)RETURN
0110 IF(TX.EQ.TY)GOTO5
0111 ALFA=0.5*ATAN(2.*TXY/(TX-TY))
0112 GOTO 10
0113 5 ALFA=0.5*3.141592/2.
0114 IF(TXY.EQ.0.)ALFA=0.
0115 IF(TXY.LT.0.)ALFA=-ALFA
0116 10 SC=COS(ALFA)
0117 T1=SIN(ALFA)
0118 C2=SC*SC
0119 S2=T1*T1
0120 SC=SC*T1
0121 T1=C2*TX+S2*TY+2*SC*TXY
0122 T2=S2*TX+C2*TY-2*SC*TXY
0123 END
0124 C-----SUBROUTINE "FLECH" POUR LE TRACE DES VECTEURS
0125 SUBROUTINE FLECH(TENS,ALF,X,Y,ESC)
0126 ALFA=ALF
0127 BUX=ABS(TENS*ESC)/2.
0128 DO200 I=1,2
0129 AUX=BUX
0130 CALL PLOT(X,Y,3)
0131 X0=X+AUX*COS(ALFA)
0132 Y0=Y+AUX*SIN(ALFA)
0133 AUX=AUX/5.
0134 J=1
0135 IF(TENS.LT.0.)J=-1
0136 DO 100 I=-1,1,2
0137 X1=X0-AUX*COS(ALFA+I*3.141592/6.)*J
0138 Y1=Y0-AUX*SIN(ALFA+I*3.141592/6.)*J
0139 CALL PLOT(X0,Y0,2)
0140 CALL PLOT(X1,Y1,2)
0141 100 CONTINUE
0142 ALFA=ALFA+3.141592
0143 200 CONTINUE
0144 END
0145 END$

```

ANNEXE D - SERIE DE PROGRAMMES 'FLF'

Elle comporte les sous-programmes : FLF \emptyset , FLF1, FLF2, FLF3, FLF4, FLF5, FLF6, FLF7, FL70, FLF8, FLF9, FL90, FL10 et FL11.

Les sous-routines 'BWR' et 'SWO' sont identiques à celles utilisées dans le programme 'CPC'.

1.- Description des variables du 'common'

- Les variables IGO (5), IWO (6), INAM (3), IFIL (3), NE, NP, NR, NC, EB, EA, WU, FB, DA, T \emptyset , ESP, JC, IOFF, ITER, TOLER, NITER, JC \emptyset , JCOOR, NPE, sont similaires à celles du programme 'ELF'.

- IWO1 (6), IWO2 (6), IWO3 (6), IWO4 (6) sont semblables à IWO (6).

NB.- Nombre d'éléments du bossage. Ils doivent être placés derrière ceux du hourdis.

NCAP.- Nombre de couches du hourdis (les deux premières correspondent aux aciers inférieur et supérieur, respectivement).

NCAPB.- Nombre maximal de couches des éléments du bossage.

MCAP (60).- Nombre de couches de chaque élément du bossage.

ZCOOR (20).- Cote du c.d.g. de chaque couche, en cm
(cf. fig. 3.20).

EPZ (20).- Epaisseur de chaque couche (cm).

DEF (6,NE).- Déformations des éléments au niveau du plan de référence (cf. 3.10) :

$$\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy}, -\omega''_{xx}, -\omega''_{yy}, 2\omega''_{xy}$$

CHARG (5 NP).- Vecteur des charges appliquées aux points nodaux :

$$F_x, F_y, F_z, T_x, T_y \text{ (en kg et cm.) (cf. 3.12)}$$

ILM (2,60).- Points nodaux avec les déplacements restreints:

ILM(1) : numéro du point nodal, ILM (2) : code=abcde
a,b,c,d,e valent 0 et 1 selon que u, v, w, θ_x , θ_y respectivement, soient libres ou empêchés.

Dans les appuis élastiques qui approchent l'encastrement élastique du hourdis dans les parois latérales du caisson, $ILM(2) = -\alpha$; α étant la constante du ressort (cf. 3.10):

FPRT (10), - coefficient de chargement de chaque étape;
 AXBUF (60), NPT, NPK, NPISP, NPAUX, NPKP, NPB, NPCC et NPDJ
 sont des variables auxiliaires.

- Les armatures sont définies de la manière suivante :

On établit une épaisseur équivalente des couches d'acier (supérieure et inférieure). Celles-ci supposées travailler dans le sens longitudinal (\vec{ox}).

Dans le sens transversal (\vec{oy}), le ferrailage est fixé moyennant deux coefficients :

acier transversal inférieur = acier longitudinal inférieur $\times \rho_i$
 " " supérieur = " " supérieur $\times \rho_s$

Le programme permet également de renforcer le ferrailage de n'importe quel élément, par l'intermédiaire des quatre coefficients :

$\rho_i^l(j), \rho_s^l(j), \rho_i^t(j), \rho_s^t(j)$, qui peuvent être établis pour tous les éléments 'j', où l'on veut modifier la quantité d'armatures.

2.- Listings

SFLFO T=00003 IS ON CR00040 USING 00024 BLKS R=0000

```

0001      FTH4
0002 C----DATE:15/ 1/79
0003      PROGRAM FLFO
0004 C*****
0005 C*
0006 C*      PROGRAMME INITIAL LECTURE DES DONNEES ET INITIALISATION
0007 C*      DU PROCESSUS DE CALCUL.
0008 C*
0009 C*****
0010      DIMENSION IBUF(11),IP(5),IHEUR(5),RBUF(5),LBUF(200),TBUF(5,200)
0011      C,CF(2)
0012      COMMON IGO(5),IWO(6),IWO1(6),IWO2(6),IWO3(6),IWO4(6),
0013      CINAM(3),IFIL(3),NE,NP,NR,NB,NC,EB,EA,VU,FB,FA,DA,TO,ESP,
0014      CJC,IQFF,ITER,TOLER,NITER,NCAP,HCAPB,HCAP(60),JCO,
0015      CNPE(3,350),ZCOOR(20),EPZ(20),DEF(6,350),AXBUF(60),
0016      CJCZCOOR(2,200),CHARG(1000),FPRT(10),ILM(2,69),
0017      CNPT,NPK,NPISP,NPAUX,NPKP,NP9,NPDJ,NPCC
0018      EQUIVALENCE (IBUF(2),RBUF),(LU1,IGO(4)),(CF,AXBUF(52))
0019 C-----
0020 C-----MAXIMUM: ELEMENTS:350...POINTS NODAUX:200...POINTS NON LIBRES:60
0021 C-----EL.BOSS:169...COUCHES:20...CAS CHARGEMENT:9
0022 C-----
0023 C-----
0024 C-----NOMBRE SECTEURS IFIL:48*(NPAUX-NPT+NPCC-NPB)+2+(10*NP-1)/128
0025 C-----+(12*NE-1)/128
0026 C-----
0027      CALL RMPAR(IGO)
0028 C---- IGO(1): CALCUL INITIAL(+1) CALCUL CONTINUATION(+2)
0029 C---- TRACE CONTRAINTES(3) // IL SERA NEGATIF SI L'ON
0030 C---- DESIRE LAISSER STOCKES LES RESULTATS INTERMEDIAIRES
0031 C---- IGO(2): TRACE DU SCHEMA DES ELEMENTS(0,1)
0032 C---- IGO(3): UN LOG LECTURE+100*UN LOG LECTURE TITRE ET FICHIER STOCK.
0033 C---- IGO(4): UN LOG ECRITURE
0034 C---- IGO(5): 1, SI IGO(1) NEGATIF; 0, SI IGO(1) POSITIF
0035 C----
0036      IF(IGO(5).EQ.1)IGO(1)=-IGO(1)
0037      MXE=350
0038      MXP=200
0039      MXR=60
0040      INAM(1)=2HFL
0041      INAM(2)=2HF1
0042      INAM(3)=2H
0043      LU=IGO(3)/100
0044 C---- LECTURE DU TITRE ET DES DONNEES GENERALES
0045      READ(LU,10)(LBUF(J),J=1,36)
0046      IF(LU1.EQ.6)CALL EXEC(3,11068,-1)
0047      WRITE(LU1,20)MXE,MXP,MXR,(LBUF(J),J=1,36)
0048      10  FORMAT(36A2)
0049      20  FORMAT(5//X,"*PROGRAMME JELF, (ELEMENTS FINIS NON LINEAIRES<FLE*
0050      C *XION ET EFFORTS DANS LE PLAN))*")
0051      C2//X*NOMBRE ELEMENTS<="15, /X"NOMBRE POINTS NODAUX<="15,
0052      C/X"NOMBRE POINTS NON LIBRES<="15,
0053      C4//X"TITRE:"//X,36A2)
0054      IFIL(3)=2H
0055      READ(LU,10)IFIL
0056      LU=MOD(IGO(3),100)
0057      WRITE(LU1,22)IFIL
0058      22  FORMAT(5//X,"FICHIER DU DISQUE POUR STOCKAGE FINAL:"3A2)
0059      IF(IFIL(1).EQ.2H )GOTO25
0060      CALL EXEC(18,IFIL,ISECT)
0061      IF(ISECT.NE.0)GOTO25
0062      WRITE(LU1,23)
0063      23  FORMAT(2//,"FICHIER NON TROUVE")
0064 C****
0065      STOP1003
0066 C****
0067      25  CALL EXEC(11,IHEUR)
0068      WRITE(LU1,26)(IHEUR(I),I=4,2,-1)
0069      26  FORMAT(3//X"HEURES : "15, /X"MINUTES : "15/X"SECONDES:"15)
0070      28  READ(LU,* )HE,NB,NP,NR,NITER,NCAP,HCAPB
0071      WRITE(LU1,30)HE,NB,NP,NR,NCAP,HCAPB,NITER
0072      TOLER=0
0073      30  FORMAT(2//X"N.ELEMENTS:"10X, I4, /X"N.ELEM.BOSSAGE:"6X, I4, /X,
0074      C"N.POINTS NODAUX:"5X, I4, /X
0075      C"N.POINTS NON LIBRES:"X, I4, /X"N.COUCHES DALLE:"5X, I4, /X"INAM:"
0076      C"COUCHES BOSSAGE:"14,2//X,"NITER:"15)
0077 C---- LECTURE DES CARACTERISTIQUES DU BETON ET DE L'ACIER
0078      READ(LU,* )EB,VU,FB,ESP,EA,FA,DA,TO

```



```

0079      WRITE(LU1,40)EB,VU,FB,ESP,EA,FA,DA,TO
0080      40      FORMAT(3//,X"MATIERIAUX:"2//,X"BETON:"//,X"MOD.ELASTICITE INITIAL"
0081      C"(KG/CM2):",3X,F10.2//,X"MODULE POISSON(COMPRESSION UNIAXIALE):"
0082      C,F6.2//,X"RES.COMPRESSION UNIAXIALE(KG/CM2):"
0083      CF10.2//,X"EPAISSEUR DALLE(CM):"14X,
0084      CF10.2,2//,X"ACIER"/X"MOD.ELASTICITE(KG/CM2):"4X,F10.2//,X,
0085      C"RESISTANCE ULTIME(KG/CM2):"F11.2//,X"DEFORMATION ULTIME:"8X,
0086      CF10.3,4//,X"COMPRESSION INITIALE DU BETON(KG/CM2):"F10.2)
0087      C----LECTURE DES DONNEES CONCERNANT LES ELEMENTS
0088      DO 200 I=1,NE
0089      200      READ(LU,* )K,(NPE(J,I),J=1,3)
0090      WRITE(LU1,210)(I,(NPE(J,I),J=1,3),I=1,NE)
0091      210      FORMAT(3//,X"ELEMENTS:"2//
0092      C,X,3("NUMERO:"3X"I"5X"J"5X"K"6X)
0093      C,/,500(X,3(14,17,216,6X),/))
0094      C----LECTURE DES COORDONNEES DES POINTS NODAUX ET MISE A ZERO DU
0095      C----VECTEUR "CHARG"
0096      C----LES COORDONNEES DU CENTRE DE SYMETRIE SONT(0,0)
0097      J=1
0098      DO 220 I=1,NP
0099      DO215 K=1,5
0100      CHARG(J)=0.
0101      215      J=J+1
0102      220      READ(LU,* )L,(JCOORD(K,I),K=1,2)
0103      WRITE(LU1,230)(I,(JCOORD(K,I),K=1,2),I=1,NP)
0104      230      FORMAT(3//,X"POINTS NODAUX:"2//,X,3("NUMERO:"4X"X(CM):"4X"Y(CM):"
0105      C,8X),2//,500(X,3(14,X,2110,8X),/))
0106      IF(IGO(1).EQ.3)GOTO239
0107      C----LECTURE COUCHES BOSSAGE
0108      DO235 I=1,NB
0109      LBUF(I)=1+NE-NB
0110      235      READ(LU,* )K,NCAP(I)
0111      WRITE(LU1,236)(LBUF(I),NCAP(I),I=1,NB)
0112      236      FORMAT(3//,3(" N.ELEM.BOSSAGE:"X"N.COUCHES:",3X)/200(3(X,114,
0113      C,111,4X)/))
0114      C----LECTURE DES DONNEES DES COUCHES
0115      DO 237 I=1,NCAPB
0116      237      READ(LU,* )K,EPZ(I),ZCOORD(I)
0117      WRITE(LU1,238)(I,EPZ(I),ZCOORD(I),I=1,NCAPB)
0118      238      FORMAT(3//," COUCHE:"3X"EPAISSEUR(CM):"3X"C.D.G.(CM):"/20
0119      C(I8,F17.5,F14.3/))
0120      239      CALL EXEC(17,IWO(1),IWO(2),IWO(3))
0121      N=IWO(2)+1-IWO(1)
0122      C***
0123      IF(IWO(3).NE.48)STOP1004
0124      C***
0125      AUX=6144
0126      NPT=IWO(1)
0127      NPK=NPT+IFIX((NCAP*(NE-NB)+NCAPB*NB)*10./AUX)+1
0128      NPISP=NPK+IFIX(NP*1000./AUX)+1
0129      NPAUX=NPT+IFIX(NP*20./AUX)+1
0130      NPKP=NPAUX+NPISP-NPK
0131      NPB=NPKP+IFIX(NE*450./AUX)+1
0132      NPDJ=NPB+IFIX(NE*54./AUX)+1
0133      NPCC=NPDJ+IFIX((NCAP*(NE-NB)+NCAPB*NB)*18./AUX)+1
0134      N=NPKP+1
0135      N=N+1-IWO(1)
0136      IF(M.GE.N)GOTO270
0137      WRITE(LU1,260)N,M
0138      260      FORMAT(3//,X"WORK AREA PLEINE;NOMBRE PISTES DESIREES:"14,
0139      C2X"NOMBRE PISTES DISPONIBLES:"14)
0140      C***
0141      STOP 1005
0142      C***
0143      270      IWO(2)=IWO(1)+N-1
0144      IWO(4)=NPCC+1
0145      IWO(5)=0
0146      IWO(6)=0
0147      DO271 J=1,3
0148      IWO1(I)=IWO(1)
0149      IWO2(I)=IWO(1)
0150      IWO3(I)=IWO(1)
0151      271      IWO4(I)=IWO(1)
0152      IOFF=0
0153      N=NPAUX-NPT+NPCC-NPB
0154      N=N*48+2+(10*NP-1)/128+(12*NE-1)/128
0155      IF(N.LE.ISECT)GOTO278
0156      WRITE(LU1,277)ISECT,N
0157      277      FORMAT(2//,X"NOMBRE SECTEURS IFIL:"15,4X"NOMBRE NECESSAIRE"
0158      C DE SECTEURS:"15)

```

```

0159 C****
0160 STOP1006
0161 C****
0162 278 IF(IGO(1).EQ.3)GOTO288
0163 C-----LECTURE RENFORCEMENTS ACIERS
0164 READ(LU,*)CF(1),CF(2)
0165 WRITE(LU1,241)CF(1),CF(2)
0166 241 FORMAT(3//X"COEF. ACIERS TRANSVERSAUX(INF,SUP)="2F10.3,3/,
0167 CX"ELEMENTS RENFORCES: CI-1 CI-2 CS-1 CS-2")
0168 DO248 I=1,NE
0169 READ(LU,*)IBUF(1),(RBUF(J),J=1,4)
0170 IF(1BUF(1).EQ.0)GOTO245
0171 WRITE(LU1,243)IBUF(1),(RBUF(J),J=1,4)
0172 243 FORMAT(119,X,4F6.2)
0173 GOTO246
0174 245 IBUF(1)=10000
0175 246 CALL BWR(2,180,IBUF,9)
0176 IF(1BUF(1).EQ.10000)GOTO249
0177 248 CONTINUE
0178 249 IWO(4)=HPCC
0179 IWO(5)=0
0180 IWO(6)=0
0181 C-----LECTURE DES RESTRICTIONS DE MOUVEMENTS
0182 DO 240 I=1,NR
0183 240 READ(LU,*)(ILM(J,I),J=1,2)
0184 WRITE(LU1,250)((ILM(J,I),J=1,2),I=1,NR)
0185 250 FORMAT(3//X"MOUVEMENTS EMPECHES:"2//X,3("P.NODAL:"5X"CODE:"
0186 C,10X)2//,500(X,3(14,I13,11X)/))
0187 C-----LECTURE DES CHARGES ET STOCKAGE DANS L'AIRES DE TRAVAIL
0188 WRITE(LU1,280)
0189 280 FORMAT(3//X"CHARGES:"2//X"INCREMENT CHARGES:"4X"P.NODAL",5X
0190 C*X(KG)"7X*Y(KG)"7X*P(KG)"7X*TX(KG*CM)"7X*TY(KG*CM)")
0191 DO285 I=1,NP
0192 READ(LU,*)LBUF(1),(TBUF(J,1),J=1,5)
0193 IF(LBUF(1).EQ.0)GOTO286
0194 285 CONTINUE
0195 286 K=1
0196 288 PAUSE 0000
0197 READ(LU,*)JCO,NC
0198 IF(IGO(1).EQ.3)GOTO401
0199 DO350 I=1,NC
0200 READ(LU,*)AUX
0201 FPR(1)=AUX
0202 L=JCO+I-1
0203 WRITE(LU1,287)L,AUX
0204 287 FORMAT(2//,111"FACTEUR:"F10.2//)
0205 DO 340 J=1,K
0206 IBUF(1)=LBUF(J)
0207 IF(1BUF(1).EQ.0)GOTO300
0208 DO291 M=1,5
0209 291 RBUF(M)=AUX*TBUF(M,J)
0210 WRITE(LU1,290)L,IBUF(1),RBUF
0211 290 FORMAT(111,12X,14,3X,3(F10.3,2X),2(F14.3,2X))
0212 IF(I.NE.1)GOTO 310
0213 DO292 M=-4,0
0214 292 CHARG(5*IBUF(1)+M)=RBUF(5+M)
0215 GOTO310
0216 300 DO301 M=1,5
0217 301 RBUF(M)=0
0218 310 IF(I.NE.1)CALL BWR(2,IWO,IBUF,11)
0219 IF(1BUF(1).EQ.0)GOTO 350
0220 340 CONTINUE
0221 C****
0222 STOP 1010
0223 C****
0224 350 CONTINUE
0225 C****
0226 400 IF(IWO(4).NE.HPCC)STOP1011
0227 C****
0228 401 WRITE(LU1,360)(IWO(J),J=1,3)
0229 360 FORMAT(3//X"STOCKAGE SUR L'AIRES DE TRAVAIL:"/" IWO(1)="15
0230 C,6X," IWO(2)="15.6X" IWO(3)="15)
0231 C-----CHANGEMENT DE PROGRAMME
0232 CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3))
0233 END
0234 END$

```

SFLF1 T=00003 IS ON CR00040 USING 00015 BLKS R=0000

```

0001 FTN4
0002 C-----DATE: 17/11/78
0003 PROGRAM FLF1
0004 C*****
0005 C*
0006 C* PROGRAMME POUR L'OBTENTION DE L'ETAT INITIAL DE CONTRAINTES ET *
0007 C* DEFORMATIONS DU BETON. *
0008 C*
0009 C*****
0010 DIMENSION KBUF(6144),RBUF(3072),DBUF(2100),IP(5)
0011 COMMON IGO(5),IWO(6),IWO1(6),IWO2(6),IWO3(6),IWO4(6),
0012 CINAM(3),IFIL(3),NE,NP,NR,NB,NC,EB,EA,VU,FB,FA,DA,TO,ESP,
0013 CJC,IQFF,ITER,TOLER,NITER,NCAP,NCAPB,NCAP(60),JCO,
0014 CNPE(3,350),ZCOOR(20),EPZ(20),DEF(6,350),XNBUF(60),
0015 CJCOOR(2,200),CHARG(1000),FPRT(10),ILM(2,60),
0016 CNPT,NPK,NPISP,NPAUX,NPKP,NPB,NPDJ,NPCC
0017 EQUIVALENCE (KBUF,RBUF),(DEF,DBUF),(LU1,IGO(4))
0018 C-----
0019 C-----
0020 CALL RMPAR(IP)
0021 IF(IGO(1).EQ.3)GOTO1200
0022 IF(1ABS(IGO(1)).EQ.2)GOTO980
0023 IF(TO.GE.0.)GOTO700
0024 AUX5=TO/EB
0025 AUX0=AUX5*VU*0.9
0026 GOTO900
0027 700 I=1
0028 AUX=EB
0029 AUX1=0.00218
0030 800 AUX0=TO/AUX
0031 810 AUX2=AUX0/AUX1
0032 AUX3=1.+(AUX*AUX1/FB-2.+AUX2)*AUX2
0033 AUX4=TO-AUX*AUX0/AUX3
0034 IF(AUX4.LE.TO*0.00001)GOTO850
0035 C****
0036 IF(AUX4.LT.0.)STOP 1040
0037 C****
0038 AUX0=AUX0+AUX4/(AUX*(1.-AUX2**2)/AUX3**2)
0039 GOTO 810
0040 850 IF(1.EQ.2)GOTO 900
0041 I=2
0042 AUX5=AUX0
0043 AUX=EB/VU
0044 AUX1=0.0008
0045 GOTO 800
0046 900 DO 950 I=1,NE
0047 DEF(1,I)=-AUX5
0048 DEF(2,I)=AUX0
0049 DO945 J=3,6
0050 DEF(J,I)=0.
0051 945 CONTINUE
0052 950 AUX5=-AUX5
0053 WRITE(LU1,960)AUX5,AUX0
0054 960 FORMAT(3/,X"DEF. INIT. --X:"E15.6/" DEF. INIT. --Y:"E15.6)
0055 IWO(4)=NPT
0056 IWO(5)=0
0057 IWO(6)=0
0058 DO982 I=1,NCAPB
0059 AUX=1.
0060 IF(1.LE.2)AUX=EA/EB
0061 RBUF(5*I-4)=-TO*AUX
0062 DO982 J=3,0,-1
0063 RBUF(5*I-J)=0.
0064 982 CONTINUE
0065 DO984 I=1,NE
0066 J=NCAP
0067 IF(1.GT.NE-NB)J=NCAP(1-NE+NB)
0068 CALL BUR(2,IWO,RBUF,10*J)
0069 984 CONTINUE
0070 C-----NUMERO INCREMENT DE CHARGE=1
0071 C-----ITERATION NUMERO 1
0072 980 JC=1
0073 ITER=1
0074 IF(1ABS(IGO(1)).NE.2)GOTO 1200
0075 C-----LECT. [ITENS],[KT],[ISP],[BF],[DJ],"CHARG" ET "DEF". STOCK
0076 C-----DANS "IFIL" LORS D'UNE PRELABLE UTILISATION DU PROGRAMME
0077 NN=1
0078 NN=6144

```

```

0079      HS=NM*(NPK-NPT)
0080      ASSIGN 1040 TO ILB
0081      K=0
0082      I=NPT
0083 1000   IWO(4)=I
0084      IWO(5)=0
0085      IWO(6)=0
0086      DO 1020 J=1,NS
0087      CALL EXEC(14,102B,KBUF,NN,IFIL,K)
0088      K=K+NN/128
0089      CALL BUR(2,IWO,KBUF,NN)
0090 1020   CONTINUE
0091      GOTO ILB
0092 1040   ASSIGN 1050 TO ILB
0093      I=NPK
0094      HS=NM*(NPISP-NPK)
0095      GOTO 1000
0096 1050   ASSIGN 1055 TO ILB
0097      I=NPISP
0098      HS=NM*(NPAUX-NPISP)
0099      GOTO 1000
0100 1055   ASSIGN 1058 TO ILB
0101      I=NPB
0102      NS=NM*(NPDJ-NPB)
0103      GOTO 1000
0104 1058   ASSIGN 1060 TO ILB
0105      I=NPDJ
0106      HS=NM*(NPCC-HPDJ)
0107      GOTO 1000
0108 1060   HS=10*NP
0109      ILB=0
0110 1065   I2=0
0111      ILB=ILB+1
0112 1070   J=MINO(HS,NN)
0113      CALL EXEC(14,102B,KBUF,J,IFIL,K)
0114      K=K+J/128
0115      IF(MOD(J,128).NE.0)K=K+1
0116      NS=NS-J
0117      DO 1080 I1=1,J/2
0118      GOTO(1073,1075),ILB
0119 1073   CHARG(I2+I1)=CHARG(I2+I1)+RBUF(I1)
0120      GOTO 1080
0121 1075   DBUF(I2+I1)=RBUF(I1)
0122 1080   CONTINUE
0123      I2=I2+J/2
0124      IF(NS.GT.0)GOTO 1070
0125      GOTO(1090,1200),ILB
0126 1090   HS=12*NE
0127      GOTO 1065
0128      IF(IGO(2).EQ.0)GOTO 2000
0129 C-----TRACE DES ELEMENTS
0130      INAM(2)=2HF2
0131      GOTO 2010
0132 C-----CHANGEMENT DE PROGRAMME
0133 2000   INAM(2)=2HF3
0134      IF(IABS(IGO(1)).EQ.2)INAM(2)=2HF6
0135      IF(IGO(1).EQ.3)INAM(2)=2H11
0136      IP(4)=0
0137 2010   CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3),IP(4))
0138      END
0139      END$

```

SFLF2 T=00003 IS ON CR00040 USING 00010 BLKS R=0000

```

0001 FTM4
0002 C----DATE: 17/11/78
0003 PROGRAM FLF2
0004 C*****
0005 C*
0006 C* PROGRAMME POUR LE TRACE DES ELEMENTS
0007 C*
0008 C*****
0009 DIMENSION X(2),Y(2),IASC(2),IP(5)
0010 COMMON IGD(5),IWO(6),IWO1(6),IWO2(6),IWO3(6),IWO4(6),
0011 CINAM(3),IFIL(3),NE,NP,NR,NB,NC,EB,EA,VU,FB,FA,DA,TO,ESP,
0012 CJC,IOFF,ITER,TOLER,NITER,HCAP,NCAPB,MCAP(60),JCO,
0013 CHPE(3,350),ZCOORD(20),EPZ(20),DEF(6,350),AXBUF(60),
0014 CJCOORD(2,200),CHARG(100),FPRT(10),ILH(2,60),
0015 CNPT,NPK,NPISP,NPAUX,NPKP,NPB,NPDU,NPCC
0016 C-----
0017 C-----
0018 CALL RMPAR(IP)
0019 C---- OBTENTION DES ESCALES
0020 X(1)=1.E+30
0021 X(2)=-1.E+30
0022 Y(1)=1.E+30
0023 Y(2)=-1.E+30
0024 DO10 I=1,NP
0025 AUX=JCOORD(1,I)
0026 AUX0=JCOORD(2,I)
0027 X(1)=AMIN1(X(1),AUX)
0028 Y(1)=AMIN1(Y(1),AUX0)
0029 X(2)=AMAX1(X(2),AUX)
0030 Y(2)=AMAX1(Y(2),AUX0)
0031 10 CONTINUE
0032 C****
0033 IF(ABS(X(1))+ABS(Y(1)).GT.0.1)STOP1060
0034 C****
0035 C---- INITIALISATION DU TRACEUR
0036 CALL PLTLU(10)
0037 PAUSE 1
0038 LU=IGD(3)/100
0039 READ(LU,*)XL,YL
0040 X(2)=(X(2)-X(1))/XL
0041 Y(2)=(Y(2)-Y(1))/YL
0042 C---- "DO" SUR TOUS LES ELEMENTS
0043 DO1009 I=1,NE
0044 AUX1=0.1
0045 AUX3=0.
0046 AUX4=0.
0047 C---- ELEMENTS EN BETON
0048 150 L=3
0049 DO 200 K=1,3
0050 M=MPE(1+MOD(K,3),I)
0051 IF(L.NE.3)GOTO170
0052 AUX=JCOORD(1,MPE(1,I))/X(2)
0053 AUX0=JCOORD(2,MPE(1,I))/Y(2)
0054 CALL PLOT(AUX,AUX0,L)
0055 L=2
0056 170 AUX=JCOORD(1,M)/X(2)
0057 AUX0=JCOORD(2,M)/Y(2)
0058 CALL PLOT(AUX,AUX0,L)
0059 AUX3=AUX3+AUX/3.
0060 AUX4=AUX4+AUX0/3.
0061 200 CONTINUE
0062 AUX3=AUX3-0.3
0063 C---- ECRITURE DES HUMEROS DES POINTS NODAUX
0064 1011 IF((I.GE.100).OR.(I.LT.10))GOTO1030
0065 CALL CODE
0066 WRITE(IASC,1010)I
0067 1010 FORMAT(I3)
0068 J=3
0069 GOTO 1002
0070 1030 CALL CODE
0071 WRITE(IASC,1040)I
0072 1040 FORMAT(I4)
0073 J=4
0074 IF(I.GT.9)GOTO 1002
0075 J=2
0076 IASC(1)=IASC(2)
0077 1002 CALL SYMB(AUX3,AUX4,0.15,IASC,0..J)
0078 1009 CONTINUE

```

```
0079 C---RESTRICTIONS MOUVEMENTS
0080 2001 DO 2008 I=1, NR
0081     J=ILM(1, I)
0082     AUX=JCOOR(1, J)/X(2)
0083     AUX0=JCOOR(2, J)/Y(2)
0084     CALL SYMB(AUX, AUX0, 0.25, 2, 0., -1)
0085 2008 CONTINUE
0086     CALL PLOT(0., 0., 3)
0087 C-----CHANGEMENT DE PROGRAMME
0088     INAM(2)=2HF3
0089     IF( IABS(IGO(1)).EQ.2) INAM(2)=2HF7
0090     IF( IGO(1).EQ.3) INAM(2)=2H11
0091     IP(4)=0
0092 2010 CALL EXEC(10, INAM, IP(1), IP(2), IP(3), IP(4))
0093     END
0094     END*
```

SFLF3 T=00003 IS ON CR00040 USING 00017 BLKS R=0000

```

0001 FTN4
0002 C-----DATE: 4/12/78
0003 PROGRAM FLF3
0004 C*****
0005 C*
0006 C* PROGRAMME POUR L'OBTENTION DE LA MATRICE [BF] DE FLEXION
0007 C* STOCKAGE DE CETTE MATRICE-CI,
0008 C* DANS L'AIRES DU TRAVAIL DU DISQUE.
0009 C*
0010 C*****
0011 DIMENSION IBUF(54),E(3),X(3,3),Y(3,3),F(3),G(3),AB(3,6),T(6,9),
0012 CABT(3,9),IP(5)
0013 COMMON IGO(5),IWO(6),IWO1(6),IWO2(6),IWO3(6),IWO4(6),
0014 CINAM(3),IFIL(3),NE,NP,NR,HB,NC,EB,EA,YU,FB,FA,DA,TO,ESP,
0015 CJC,IDFF,ITER,TOLER,NITER,NCAP,NCAPB,MCAP(60),JCO,
0016 CHPE(3,350),ZCOORD(20),EPZ(20),DEF(6,350),XKBUF(60),
0017 JCOORD(2,200),CHARG(1000),PPRT(10),ILM(2,600),
0018 CNPT,NPK,NPISP,NPAUX,NPKP,NPB,NPDU,NPCC
0019 ERUIVALENCE (IBUF,ABT),(LU1,IGO(4))
0020 C-----
0021 C-----
0022 CALL RMPAR(IP)
0023 CALL EXEC(2,18,INAM,-6)
0024 C-----INITIALISATION DES CONTROLES
0025 IWO(4)=NPB
0026 IWO(5)=0
0027 IWO(6)=0
0028 C-----OBTENTION [BF]
0029 DO6000 I=1,NE
0030 XX=0
0031 YY=0
0032 DO100 J=1,3
0033 XX=XX+JCOORD(1,NPE(J,I))/3
0034 YY=YY+JCOORD(2,NPE(J,I))/3
0035 100 CONTINUE
0036 XI=JCOORD(1,NP(1,I))-XX
0037 XJ=JCOORD(1,NP(2,I))-XX
0038 XK=JCOORD(1,NP(3,I))-XX
0039 YI=JCOORD(2,NP(1,I))-YY
0040 YJ=JCOORD(2,NP(2,I))-YY
0041 YK=JCOORD(2,NP(3,I))-YY
0042 BI=YJ-YK
0043 CI=XX-XJ
0044 AI=XJ*YK-YK*YJ
0045 BJ=YK-YI
0046 CJ=XI-XK
0047 BK=YI-YJ
0048 CK=XJ-XI
0049 AREA=1.5*AI
0050 E(1)=AI*(BI*BJ+BJ*BK+BK*BI)
0051 E(2)=AI*(CI*BJ+BJ*CK+CK*CI)
0052 E(3)=AI*(CJ*CK+CK*CI+CI*CJ)
0053 X(1,1)=BI*BI*AI+2.*AI*BI*BJ
0054 X(1,2)=BJ*BJ*AI+2.*AI*BJ*BK
0055 X(1,3)=BK*BK*AI+2.*AI*BK*BI
0056 Y(1,1)=BI*BI*AI+2.*AI*BI*BK
0057 Y(1,2)=BJ*BJ*AI+2.*AI*BJ*BI
0058 Y(1,3)=BK*BK*AI+2.*AI*BK*BJ
0059 X(2,1)=2.*AI*(BI*CI+BJ*CI+BI*CI)
0060 X(2,2)=2.*AI*(BJ*CI+BK*CI+BJ*CI)
0061 X(2,3)=2.*AI*(BK*CI+BI*CI+BK*CI)
0062 Y(2,1)=2.*AI*(BI*CI+BK*CI+BI*CI)
0063 Y(2,2)=2.*AI*(BJ*CI+BI*CI+BJ*CI)
0064 Y(2,3)=2.*AI*(BK*CI+BJ*CI+BK*CI)
0065 X(3,1)=AI*(CI*CI+2.*CI*CI)
0066 X(3,2)=AI*(CJ*CI+2.*CJ*CI)
0067 X(3,3)=AI*(CK*CI+2.*CK*CI)
0068 Y(3,1)=AI*(CI*CI+2.*CI*CI)
0069 Y(3,2)=AI*(CJ*CI+2.*CJ*CI)
0070 Y(3,3)=AI*(CK*CI+2.*CK*CI)
0071 F(1)=(BK-BJ)/2
0072 F(2)=(BI-BK)/2
0073 F(3)=(BJ-BI)/2
0074 G(1)=(CK-CJ)/2
0075 G(2)=(CI-CK)/2
0076 G(3)=(CJ-CI)/2
0077 DO190 II=1,3
0078 AUX=-2

```

```

0079      K=1
0080      IF( II.EQ.1)GOTO150
0081      K=3
0082      IF( II.EQ.2)GOTO150
0083      AUX=2.
0084      K=2
0085      150      DO180 J=2,6,2
0086      L=J/2
0087      AUX1=BK
0088      AUX2=BJ
0089      AUX3=CK
0090      AUX4=CJ
0091      IF(L.EQ.1)GOTO155
0092      AUX1=BI
0093      AUX2=BK
0094      AUX3=CI
0095      AUX4=CK
0096      IF(L.EQ.2)GOTO155
0097      AUX1=BJ
0098      AUX2=BI
0099      AUX3=CJ
0100      AUX4=CI
0101      155      AB( II,J-1)=(X(K,L)*AUX1-Y(K,L)*AUX2+E(K)*F(L))*AUX
0102      AB( II,J)=(X(K,L)*AUX3-Y(K,L)*AUX4+E(K)*G(L))*AUX
0103      180      CONTINUE
0104      190      CONTINUE
0105      DO 200 II=1,6
0106      DO 200 J=1,9
0107      200      T( II,J)=0.
0108      T(1,2)=1.
0109      T(2,3)=1.
0110      T(3,5)=1.
0111      T(4,6)=1.
0112      T(5,8)=1.
0113      T(6,9)=1.
0114      AUX=2.*AREA
0115      T(1,1)=CI/AUX
0116      T(1,4)=CJ/AUX
0117      T(1,7)=CK/AUX
0118      T(2,1)=-BI/AUX
0119      T(2,4)=-BJ/AUX
0120      T(2,7)=-BK/AUX
0121      DO250 II=3,5,2
0122      DO250 J=1,7,3
0123      T( II,J)=T(1,J)
0124      T( II+1,J)=T(2,J)
0125      250      CONTINUE
0126      CALL PMM(AB,T,3,6,9,ABT)
0127      AUX=8.*AREA**3
0128      DO260 II=1,3
0129      DO260 J=1,9
0130      260      ABT( II,J)=ABT( II,J)/AUX
0131      CALL BWR(2,IWO,IBUF,54)
0132      6000      CONTINUE
0133      C-----CHANGEMENT DE PROGRAMME
0134      INAM(2)=2HF4
0135      CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3))
0136      END
0137      C-----
0138      C-----SUBROUTINE "PMM" POUR OBTENIR LE PRODUIT MATRICIEL (A)*(B)=(C)
0139      C-----
0140      SUBROUTINE PMM(A,B,N1,N2,N3,C)
0141      DIMENSION A(N1,N2),B(N2,N3),C(N1,N3)
0142      DO 20 I=1,N1
0143      DO 20 K=1,N3
0144      Z=0.
0145      DO 10 L=1,N2
0146      10      Z=Z+A(I,L)*B(L,K)
0147      20      C(I,K)=Z
0148      END
0149      END*

```


SFLF4 T=00003 IS ON CR00040 USING 00024 BLKS R=0000

```

0001 FTN4
0002 C-----DATE: 16/ 1/79
0003 PROGRAM FLF4
0004 C*****
0005 C*
0006 C* PROGRAMME POUR L'OBTENTION DE LA MATRICE RAIDEUR TANGENTE *
0007 C* DES ELEMENTS EN BETON.STOCKAGE SUR L'AIRE DE TRAVAIL DU DISQUE *
0008 C*
0009 C*****
0010 DIMENSION RK(15,15),RBUF(5),RK0(9,9),D(3,3),E(3),ER(3),V(2),
0011 CTD(3,3),T(3,3),B(3,6),DB(3,9),BT(6,3),IP(5),C1(3,3),C4(3,3),
0012 CC3(3,3),DF(3),BF(3,9),BFT(9,3),RK1(6,6),RK2(6,9)
0013 C,NBUF(9),SBUF(4),CF(2)
0014 COMMON IGO(5),IWO(6),IWO1(6),IWO2(6),IWO3(6),IWO4(6),
0015 CIHAM(3),IFIL(3),NE,NP,NR,NB,NC,EB,EA,VU,FB,FA,DA,TO,ESP,
0016 CJC,IOFF,ITER,TOLER,NIITER,NCAP,MCAPB,MCAP(60),JCO,
0017 CHPE(3,350),ZCOOR(20),EPZ(20),DEF(6,350),AXSBUF(60),
0018 CJC0OR(2,200),CHARG(1000),FPRT(10),ILM(2,60),
0019 CHPT,NPK,NPISP,NPAUX,NPKP,NPB,NPDJ,NFCC
0020 EQUIVALENCE(LU1,IGO(4)),(RK0,RK1),(RK0,RK2)
0021 C,(CF,AXSBUF(52)),(NBUF(2),SBUF)
0022 C-----
0023 C-----
0024 CALL RNPARG(IP)
0025 CALL EXEC(2,18,INAM,-6)
0026 C-----INITIALISATION DES CONTROLES
0027 IWO(4)=HPT
0028 IWO1(4)=NPDJ
0029 IWO2(4)=NPKP
0030 IWO3(4)=NPB
0031 IWO4(4)=NPCC+1
0032 DO11 I=5,6
0033 IWO(I)=0
0034 IWO1(I)=0
0035 IWO2(I)=0
0036 IWO4(I)=0
0037 11 IWO3(I)=0
0038 C****
0039 IF(VU.NE.0.2)STOP1170
0040 C****
0041 CALL BWR(1,IWO4,NBUF,9)
0042 C-----*DO* POUR TOUS LES ELEMENTS
0043 DO 2000 I=1,NE
0044 DO2 J=1,3
0045 DO2 K=1,3
0046 C1(J,K)=0.
0047 C4(J,K)=0.
0048 2 C3(J,K)=0.
0049 JCA=NCAP
0050 IF(I.GT.NE-NB)JCA=MCAP(I-NE+NB)
0051 DO 450 ICA=1,JCA
0052 CALL BWR(1,IWO,RBUF,10)
0053 AUX=ZCOOR(ICA)
0054 DF(1)=DEF(1,I)+DEF(4,I)*AUX
0055 DF(2)=DEF(2,I)+DEF(5,I)*AUX
0056 DF(3)=DEF(3,I)-DEF(6,I)*AUX
0057 IF(ICA.GT.2)GOTO20
0058 DO9 J=1,3
0059 DO9 K=1,3
0060 9 D(J,K)=0.
0061 DO10 J=1,2
0062 D(J,J)=EA
0063 IF(ABS(DF(J)).GT.FA/EA)D(J,J)=0.
0064 10 CONTINUE
0065 GOTO400
0066 C-----COUCHES EN BETON
0067 C-----OBTENTION DE LA MATRICE (D) TANGENTE
0068 20 IF(RBUF(5) NE.0.)GOTO 200
0069 CXXXX
0070 CXXXX IF(ICA GT NCAP)GOTO200
0071 CXXXX
0072 C-----BETON NON FISSURE
0073 C-----OBTENTION DE "ALFA" POUR LES DIRECTIONS PRINCIPALES
0074 CALL CPRIN(RBUF(1),RBUF(2),RBUF(3),T1,T2,ALFA)
0075 C2=COS(ALFA)**2
0076 S2=SIN(ALFA)**2
0077 S0=SIN(ALFA)*COS(ALFA)
0078 C---- T2)=T1(VALEUR ARITHMETIQUE) ALFA CORRESPOND A T1

```

```

)079      IF(T1.LE.T2)GOTO 30
)080      J=-1
)081      IF(ALFA.LE.0.)J=1
)082      ALFA=ALFA+3.141592/2.*J
)083      AUX=S2
)084      S2=C2
)085      C2=AUX
)086      SC=-SC
)087      AUX=T1
)088      T1=T2
)089      T2=AUX
)090      30  EE(1)=EBB
)091      EE(2)=EBB
)092      Y(1)=VU
)093      Y(2)=VU
)094      IF((T1.EQ.0.).AND.(T2.EQ.0.))GOTO100
)095      IF(ABS(T2/T1).LT.0.01)T2=0.01*T1
)096      A=T2/T1
)097      IF(T1.EQ.0.)A=1.E+20
)098      IF((T1.GE.0.).AND.(T2.GE.0.))GOTO60
)099      IF(A.GE.-0.50)GOTO8).
0100      C-----DOMAINE LINEAIRE
0101      60  Y(1)=VU*(0.9-0.05/A)
0102      IF(A.GT.0.)Y(1)=0.9*VU
0103      Y(2)=Y(1)
0104      GOTO 100
0105      C-----DOMAINE NON LINEAIRE
0106      80  CALL ROT(T1,T2,ER,SR1,FB,EB,GA,LU1)
0107      EE(1)=C2*DF(1)+S2*DF(2)+SC*DF(3)
0108      EE(2)=S2*DF(1)+C2*DF(2)-SC*DF(3)
0109      EE(3)=2*SC*(DF(2)-DF(1))+(C2-S2)*DF(3)
0110      IF(ABS(EE(3)).GT.1.E-06)WRITE(LU1,81)I,ALFA,EE(1),EE(2),EE(3),ICA
0111      81  FORMAT(/X,"EXY#0:"3X"EL:"15,4X"ALF:"F10.6"DEF.PRINC.(X,Y,XY):"
0112      C3(E10.4,4X),/, "COUCHE"15)
0113      EBJ=EB/(1.-VU*A)
0114      AUX=-EB/(VU*(1.+A))
0115      AUX0=T1/AUX
0116      85  AUX2=AUX0/ER(3)
0117      AUX3=1.+(AUX*ER(3)/SR1-1.-GA+AUX2*GA)*AUX2
0118      AUX4=T1-AUX*AUX0/AUX3
0119      IF(ABS(AUX4).LE.ABS(T1)*0.00001)GOTO86
0120      C****
0121      IF(AUX4.GT.0.)STOP1773
0122      C****
0123      AUX0=AUX0+AUX4/(AUX*(1.-GA*AUX2**2)/AUX3**2)
0124      GOTO85
0125      86  E(3)=AUX0
0126      DO 90 J=1,3
0127      AUX0=AMIN1(1.,E(J)/ER(J))
0128      E(J)=EBJ*(1.-GA*AUX0**2)/(1.+(EBJ*ER(J)/SR1
0129      C-1.-GA)*AUX0+GA*AUX0**2)**2
0130      IF((J.EQ.1).AND.(A.EQ.VU))J=2
0131      IF(J.EQ.1)EBJ=EB/(A-VU)
0132      IF(J.EQ.2)EBJ=-EB/(VU*(1.+A))
0133      90  CONTINUE
0134      Y(1)=E(1)/(E(1)*A-E(3)*(1.+A))
0135      E(1)=-Y(1)*E(3)*(1.+A)
0136      IF(A.EQ.VU)GOTO95
0137      Y(2)=E(2)*A/(E(2)-E(3)*(1.+A))
0138      E(2)=-Y(2)*E(3)*(1.+A)
0139      GOTO100
0140      95  V(2)=A
0141      E(2)=E(1)*A/V(1)
0142      C-----MATRICE(D) ORTHOTROPE REPEREE AUX DIRECTIONS PRINCIPALES
0143      C-----DES CONTRAINTES
0144      100  AUX=E(1)/(1.-V(1)*V(2))
0145      D(1,1)=AUX
0146      D(1,2)=AUX*V(2)
0147      D(1,3)=0
0148      D(2,2)=AUX*V(2)/V(1)
0149      D(2,3)=0
0150      D(3,3)=E(1)/(1.+2.*V(1)+V(1)/V(2))
0151      DO 120 J=2,3
0152      DO 120 K=1,J-1
0153      120  D(J,K)=0(K,J)
0154      C-----PASSAGE AU SYSTEME DE REFERENCE GLOBAL
0155      130  T(1,1)=C2
0156      T(1,2)=S2
0157      T(1,3)=-2*SC
0158      T(2,1)=S2

```

```

0159      T(2,2)=C2
0160      T(2,3)=2*SC
0161      T(3,1)=SC
0162      T(3,2)=-SC
0163      T(3,3)=C2-S2
0164      CALL PMM(T,D,3,3,3,TD)
0165      CALL PMMT(TD,T,3,3,3,D)
0166      GOTO 400
0167 C-----BETON FISSURE EN DEUX DIRECTIONS
0168      DO 210 J=1,3
0169      DO210 K=1,3
0170      210 D(J,K)=0.
0171      ASSIGN 130 TO ILB1
0172      S2=1.
0173      C2=0.
0174      SC=0.
0175 CXXXX
0176 CXXXX IF(ICA.LE.NCAP)GOTO215
0177 CXXXX ASSIGN 300 TO ILB1
0178 CXXXX IF(RBUF(5).EQ.0.)GOTO260
0179 CXXXX IF(DF(1).GE.0.64*FB**(2./3.)/EB)GOTO212
0180 CXXXX D(2,2)=EB
0181 CXXXX WRITE(LU1,251)I,ICA,DF(1)
0182 CXXXX IF(DF(1).LT.0.004)D(3,3)=0.15*EB*(1.-DF(1)/0.004)
0183 CXXXX GOTO305
0184 CXXXX
0185      215 ALFA=RBUF(4)
0186      IF(ALFA.GT.900.)ALFA=ALFA-1000.
0187      IF(ALFA.GT.90.)ALFA=ALFA-180.
0188      IF(RBUF(4).LT.900.)GOTO250
0189      216 ASSIGN 240 TO ILB
0190      220 ALFA=ALFA*3.141592/180.
0191      C2=COS(ALFA)**2
0192      S2=SIN(ALFA)**2
0193      SC=SIN(ALFA)*COS(ALFA)
0194      GOTO ILB
0195      240 AUX0=C2*DF(1)+S2*DF(2)+SC*DF(3)
0196      DO 245 I11=1,2
0197      IF(AUX0.GE.0.64*FB**(2./3.)/EB)GOTO244
0198      D(I11,I11)=EB
0199      WRITE(LU1,251)I,ICA,AUX0
0200      WRITE(LU1,243)I11
0201      243 FORMAT(" FISSURE"12)
0202      244 AUX0=S2*DF(1)+C2*DF(2)-SC*DF(3)
0203      245 CONTINUE
0204      GOTO130
0205 C-----BETON FISSURE EN UNE DIRECTION
0206      250 ASSIGN 260 TO ILB
0207      GOTO 220
0208      260 T2=S2*RBUF(1)+C2*RBUF(2)-2.*SC*RBUF(3)
0209 CXXXX
0210 CXXXX IF(ICA.GT.NCAP)GOTO263
0211 CXXXX
0212      AUX0=C2*DF(1)+S2*DF(2)+SC*DF(3)
0213      IF(AUX0.GE.0.64*FB**(2./3.)/EB)GOTO262
0214 C****
0215      D(1,1)=EB
0216      WRITE(LU1,251)I,ICA,AUX0
0217      251 FORMAT(// " ATTENTION... FISSURE FERMEE!!!... ELEMENT"15,
0218 C3X," COUCHE"15,3X"AUX0="E12.4)
0219      262 CONTINUE
0220 C****
0221      IF(AUX0.LT.0.004)D(3,3)=0.15*EB*(1.-AUX0/0.004)
0222      263 D(2,2)=EB
0223      IF(T2.GE.0.)GOTOILB1
0224      ER(2)=-0.00218
0225      SR1=-FB
0226      E(2)=S2*DF(1)+C2*DF(2)-SC*DF(3)
0227 C****
0228      IF(E(2).GE.0.)STOP1176
0229 C****
0230      AUX0=E(2)/ER(2)
0231 C****
0232      IF(EB*ER(2)/SR1-2..LT.0.)STOP1174
0233 C****
0234      D(2,2)=EB*(1.-AUX0**2)/(1.+(EB*ER(2)/SR1-2.)*AUX0
0235 C+AUX0**2)**2
0236      GOTO ILB1
0237 CXXXX
0238 CXXXX D(3,3)=EB/(2.*(1.+VU))

```

```

0239 C%305 D(1,1)=D(2,2)
0240 C%%%% D(2,2)=EB
0241 C%%%% GOTO400
0242 C%%%%
0243 C----OBTENTION ICJ ET STOCKAGE IDJ
0244 400 AUX=EPZ(ICA)
0245 CUX=1.
0246 CUX0=1.
0247 IF(ICA.GT.2)GOTO408
0248 CUX0=CF(ICA)
0249 IF(I.NE.HBUF(1))GOTO408
0250 CUX=CUX*SBUF(2+ICA-1)
0251 CUX0=CUX0*SBUF(2+ICA)
0252 408 AUX0=ZCOORD(ICA)+AUX/2.
0253 AUX1=AUX0-AUX
0254 AUX2=0.5*(AUX0**2-AUX1**2)
0255 AUX3=(AUX0*AUX0*AUX0-AUX1*AUX1*AUX1)/3.
0256 D0415 J=1,3
0257 D0410 K=1,3
0258 C1(J,K)=C1(J,K)+CUX*D(J,K)*AUX
0259 C4(J,K)=C4(J,K)+CUX*D(J,K)*AUX2
0260 410 C3(J,K)=C3(J,K)+CUX*D(J,K)*AUX3
0261 CUX=CUX0
0262 CONTINUE
0263 CALL BWR(2,IW01,D,18)
0264 450 CONTINUE
0265 C----OBTENTION MATRICE RAIDEUR
0266 CALL MATB(NPE(1,1),NPE(2,1),NPE(3,1),JCOOR,B,AREA)
0267 CALL MTR(B,3,6,BT)
0268 CALL BWR(1,IW03,BF,54)
0269 CALL MTR(BF,3,9,BFT)
0270 CALL PMM(C1,B,3,3,6,DB)
0271 CALL PMM(BT,DB,6,3,6,RK1)
0272 D0500 J=1,3
0273 L=5*(J-1)
0274 D0500 K=1,3
0275 M=5*(K-1)
0276 D0500 IJ=1,2
0277 D0500 IK=1,2
0278 RK(L+IJ,M+IK)=RK1(2*(J-1)+IJ,2*(K-1)+IK)*AREA
0279 500 CONTINUE
0280 CALL PMM(C3,BF,3,3,9,DB)
0281 CALL PMM(BFT,DB,3,3,9,RK0)
0282 D0510 J=1,3
0283 L=5*J-3
0284 D0510 K=1,3
0285 M=5*K-3
0286 D0510 IJ=1,3
0287 D0510 IK=1,3
0288 RK(L+IJ,M+IK)=RK0(3*(J-1)+IJ,3*(K-1)+IK)*AREA
0289 510 CONTINUE
0290 CALL PMM(C4,BF,3,3,9,DB)
0291 CALL PMM(BT,DB,6,3,9,RK2)
0292 D0520 J=1,3
0293 L=5*(J-1)
0294 D0520 K=1,3
0295 M=5*K-3
0296 D0520 IJ=1,2
0297 D0520 IK=1,3
0298 RK(L+IJ,M+IK)=RK2(2*(J-1)+IJ,3*(K-1)+IK)*AREA
0299 520 RK(M+IK,L+IJ)=RK(L+IJ,M+IK)
0300 CONTINUE
0301 CALL BWR(2,IW02,RK,450)
0302 IF(I.NE.HBUF(1))GOTO2000
0303 CALL BWR(1,IW04,NBUF,9)
0304 2000 CONTINUE
0305 C-----CHANGEMENT DE PROGRAMME
0306 INAM(2)=2HF5
0307 CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3))
0308 END
0309 C----
0310 C----
0311 C-----SUBROUTINE "MATB" POUR LA FORMATION DE LA MATRICE "B"
0312 SUBROUTINE MATB(I,J,K,JCOOR,B,AREA)
0313 DIMENSION JCOOR(2,1),B(3,6)
0314 XI=JCOOR(1,1)
0315 YI=JCOOR(2,1)
0316 XJ=JCOOR(1,J)
0317 YJ=JCOOR(2,J)
0318 XK=JCOOR(1,K)

```

```

YK=JCOORD(2,K)
AREA=0.5*(XJ*YK+XI*YJ+XK*YI-(XJ*YI+XK*YJ+XI*YK))
C***
IF(AREA.LE.0.)STOP27
C***

```

```

AUX=2*AREA
H1=(YJ-YK)/AUX
H2=(YK-YI)/AUX
H3=(YI-YJ)/AUX
H4=(XK-XJ)/AUX
H5=(XI-XK)/AUX
H6=(XJ-XI)/AUX
H7=(1,1)=H1
H8=(1,2)=H2
H9=(1,3)=H3
H10=(1,4)=H4
H11=(1,5)=H5
H12=(1,6)=H6
H13=(2,1)=H7
H14=(2,2)=H8
H15=(2,3)=H9
H16=(2,4)=H10
H17=(2,5)=H11
H18=(2,6)=H12
H19=(3,1)=H13
H20=(3,2)=H14
H21=(3,3)=H15
H22=(3,4)=H16
H23=(3,5)=H17
H24=(3,6)=H18
H25=(3,6)=H19

```

----- SUBROUTINE "PHM" POUR OBTENIR LE PRODUIT MATRICIEL (A)*(B)=(C)

```

SUBROUTINE PHM(A,B,N1,N2,N3,C)
DIMENSION A(N1,N2),B(N2,N3),C(N1,N3)
DO 20 I=1,N1
DO 20 K=1,N3
N=0
DO 10 L=1,N2
N=N+A(I,L)*B(L,K)
C(I,K)=N
END

```

----- SUBROUTINE "PHMT" POUR OBTENIR LE PRODUIT MATRICIEL (A)*(B)^T=(C)

```

SUBROUTINE PHMT(A,B,N1,N2,N3,C)
DIMENSION A(N1,N2),B(N3,N2),C(N1,N3)
DO 20 I=1,N1
DO 20 K=1,N3
N=0
DO 10 L=1,N2
N=N+A(I,L)*B(K,L)
C(I,K)=N
END

```

----- SUBROUTINE "MTR" POUR OBTENIR (C)=(A)^T

```

SUBROUTINE MTR(A,N1,N2,C)
DIMENSION A(N1,N2),C(N2,N1)
DO 10 I=1,N1
DO 10 K=1,N2
C(K,I)=A(I,K)
END

```

----- SUBROUTINE "CPRIN" POUR LE CALCUL DES CONTRAINTES PRINCIPALES

```

SUBROUTINE CPRIN(TX,TY,TXY,T1,T2,ALFA)
T1=0
T2=0
ALFA=0
IF(TX.EQ.TY)GOTO5
ALFA=0.5*ATAN(2.*TXY/(TX-TY))
GOTO 10
ALFA=0.5*SIGN(3.141592/2.,TXY)
IF(TXY.EQ.0.)ALFA=0
C2=COS(ALFA)**2
C3=SIN(ALFA)**2
S2C=SIN(ALFA)*C2
C1=2*TX+S2C*TY+2*S2C*TXY

```

```

0399      T2=52*TX+C2*TY-2*SC*TX
0400      END
0401  C-----
0402  C-----SUBROUTINE "ROT" POUR OBTENIR LES CONTRAINTES ET DEFORMATIONS
0403  C-----EN RUPTURE
0404  C-----
0405      SUBROUTINE ROT(T1,T2,ER,SR1,FB,EB,GA,LU1)
0406      DIMENSION ER(3),D(13),E(3,13)
0407      DATA D/1.,.82,.64,.525,.2,.15,0.,-.052,-.07,-.103,-.204,-.35,-.5
0408      C/ER/-2.6,-2.6,3.39,-2.88,-1.96,3.12,-3.1,-1.33,2.5,
0409      C/-3.08,-0.76,1.96,-3.15,0.,1.64,-3.0,0.55,1.33,
0410      C/-2.18,0.8,0.8,-1.43,0.6,0.28,-1.23,0.49,2.2,
0411      C/-0.85,0.29,0.14,-0.46,0.19,0.052,-0.313,0.17,0.04,
0412      C/-0.18959,0.12065,0.017235/
0413      A=T2/T1
0414      VU=0.2
0415  C-----CONTROLE T1<=T2 : T1<0 : A>-0.5
0416  C****
0417      IF(T1.GT.T2)STOP31
0418  C****
0419      IF(A.LT.-0.50001)STOP33
0420  C****
0421      IF(T1.GE.0.)STOP34
0422  C****
0423  C-----OBTENTION CONTRAINTE RUPTURE SR1
0424      AUX0=FB*(1./3.)
0425      IF(A.GT.-1./15.)GOTO10
0426      SR1=0.64*FB/(A*AUX0-0.366157)
0427      GOTO20
0428  10
0429      AUX=3.65
0430      IF(A.LT.0.)AUX=(15.*AUX0-43.05468)/(AUX0+5.49236)
0431      SR1=-((1.+AUX*A)*FB/(1.+A)**2)
0432  C-----OBTENTION DEFORMATIONS EN RUPTURE
0433  20
0434      GA=AMAX1(0.,AMIN1(1.,1.+10.*A))
0435      RM=FRM(A)
0436      DO30 I=1,13
0437      IF(A.GT.D(I))GOTO40
0438      CONTINUE
0439  30
0440      I=13
0441      IF(I.EQ.1)STOP36
0442  C****
0443      RMO=FRM(D(I-1))
0444      RM1=FRM(D(I))
0445      DO60 J=1,3
0446      ER(J)=E(J,I-1)+(E(J,I)-E(J,I-1))/(RM1-RMO)*(RM-RMO)
0447      ER(J)=ER(J)*1.E-03
0448  60
0449      CONTINUE
0450      AUX=EB/(1.-VU*A)
0451      DO90 J=1,3
0452      AUX0=AUX*ER(J)/SR1-1.-GA
0453      IF(AUX0.GE.0.)GOTO80
0454      AUX2=ER(J)
0455      AUX0=AUX0+1.+GA
0456      ER(J)=(1.+GA)*SR1/AUX
0457  80
0458      IF((J.EQ.1).AND.(A.EQ.VU))J=2
0459      IF(J.EQ.1)AUX=EB/(A-VU)
0460      IF(J.EQ.2)AUX=-EB/(VU*(1.+A))
0461  90
0462      CONTINUE
0463      END
0464  C-----
0465  C-----FONCTION FRM
0466  C-----
0467      FUNCTION FRM(A)
0468      FRM=-1.
0469      IF(A.LT.0.)FRM=3.
0470      PI=3.141592
0471      B=A
0472      IF(A.EQ.0.)B=1.E-20
0473      FRM=(ATAN(1./B)+FRM*PI/4.)/PI*6.4
0474      END
0475      ENDS

```

SFLF5 T=00003 IS ON DR00040 USING 00015 BLKS R=0000

```

0001 FTN4
0002 C-----DATE: 21/11/78
0003 PROGRAM FLF5
0004 C*****
0005 C*
0006 C* PROGRAMME POUR LA FORMATION ET LE STOCKAGE
0007 C* DE LA MATRICE RAIDEUR TANGENTE GLOBALE.
0008 C*
0009 C*****
0010 DIMENSION KBUF(4000), ISP(20,200), IBUF(450)
0011 C, RK(15,15), JBUF(1000), SK(500), IEL(200), IP(5)
0012 COMMON IGO(5), IWO(6), IWO1(6), IWO2(6), IWO3(6), IWO4(6),
0013 CINAM(3), IFIL(3), NE, NP, NR, NB, NC, EB, EA, YU, FB, FA, DA, TO, ESP,
0014 CJC, IOFF, ITER, TOLER, NITER, NCAP, NCAPB, MCAP(60), JCO,
0015 CNPE(3,350), ZCOOR(20), EPZ(20), DEF(6,350), AXBUF(60),
0016 CJCOOR(2,200), CHARG(1000), FPRT(10), ILM(2,60),
0017 CNPT, NPK, NPISP, NPAUX, NPKP, NPB, NPDJ, NPCC
0018 EQUIVALENCE (KBUF, ISP), (IBUF, RK), (JBUF, SK)
0019 C-----
0020 C-----
0021 CALL RMPAR(IP)
0022 CALL EXEC(2,18,INAM,-6)
0023 C-----MISE A ZERO DES CONTROLES "ISP" STOCKES DANS L'AIRE DE TRAVAIL
0024 C-----'NH' EST LE NOMBRE PLUS GRAND DE FILES DU VECTEUR 'ISP'
0025 C-----QUI EST ADMIS EN MEMOIRE
0026 C-----
0027 NH=200
0028 C-----
0029 IWO2(4)=NPISP
0030 IWO2(5)=0
0031 IWO2(6)=0
0032 IWO3(4)=IWO2(4)
0033 DO30 I=1, NH
0034 DO30 J=2, 20
0035 30 ISP(J, I)=0
0036 DO 100 I=1, NP
0037 K=MOD(I-1, NH)+1
0038 ISP(1, K)=1
0039 IEL(I)=0
0040 IF((MOD(I, NH).NE.0).AND.(I.NE.NP))GOTO100
0041 CALL BWR(2, IWO2, KBUF, 20*K)
0042 100 CONTINUE
0043 IWO2(4)=IWO3(4)
0044 IWO2(5)=0
0045 IWO2(6)=0
0046 JN=0
0047 DO110 I=4, 6
0048 110 IWO3(I)=IWO2(I)
0049 NF=NP/NH
0050 IF(MOD(NP, NH).NE.0)NF=NF+1
0051 DO450 IN=1, NF
0052 CALL BWR(1, IWO2, KBUF, 20*MIN0(NH, NP-JN))
0053 IWO(4)=NPKP
0054 IWO(5)=0
0055 IWO(6)=0
0056 C-----*DO* POUR TOUS LES ELEMENTS
0057 DO400 I=1, NE
0058 ND=3
0059 KN=0
0060 IO=0
0061 C-----OBTENTION DE LA LIGNE ET LA COLONNE DE LA MATRICE RAIDEUR GLOBALE
0062 DO 350 J=1, ND
0063 JO=NPE(J, I)
0064 IF((JO.LE.JN).OR.(JO.GT.JN+NH))GOTO345
0065 IF(KN.EQ.0)CALL BWR(1, IWO, IBUF, 450)
0066 C-----LECTURE DES LIGNES DE LA MATRICE RAIDEUR COMPACTE GLOBALE
0067 C-----QUI EST EMMAGASINEE DANS L'AIRE DE TRAVAIL DU DISQUE
0068 IF(IEI(JO).EQ.0)GOTO200
0069 IWO1(4)=NPK
0070 IWO1(5)=0
0071 IWO1(6)=0
0072 DO150 M=1, 20
0073 CALL SWO(IWO1, IWO1, 50*(JO-1))
0074 150 CONTINUE
0075 CALL BWR(1, IWO1, JBUF, 1000)
0076 GOTO230
0077 200 IEL(JO)=1
0078 DO 210 M=1, 500

```

```

0079      210      SK(N)=0.
0080      230      IO=IO+1
0081              I1=0
0082              DO330 L=1,ND
0083              I1=I1+1
0084              IF(JO.GT.NPE(L,I))GOTO329
0085 C-----OBTENTION PREMIER ISP(N,I)VIDE POUR Y STOCKER LE NUMERO DU NOEUD
0086 C-----DANS LA MATRICE GLOBALE DONT LES TERMES SONT EMMAGASINNES
0087 C-----DANS LES COLONNES 'N' ET 'N+1' DE LA MATRICE GLOBALE COMPACTE
0088              DO310 M=1,20
0089              IF(ISP(N,JO-JN)-NPE(L,I))305,320,305
0090      305      IF(ISP(N,JO-JN))308,315,310
0091 C****
0092      308      STOP 1201
0093 C****
0094      310      CONTINUE
0095 C****
0096      315      STOP 1205
0097 C****
0098      315      ISP(N,JO-JN)=NPE(L,I)
0099 C-----ACCUMULATION DE LA RAIDEUR ELEMENTALE
0100 C-----SUR LA MATRICE RAIDEUR COMPACTE
0101      320      DO325 K=0,4
0102              IE=100*K
0103              DO324 KK=4,0,-1
0104              SK(IE+3*N-KK)=SK(IE+5*N-KK)+RK(IO+K,I1+4-KK)
0105      325      CONTINUE
0106      329      I1=I1+4
0107      330      CONTINUE
0108              IO=IO+4
0109              KN=1
0110              IW01(4)=NPK
0111              IW01(5)=0
0112              IW01(6)=0
0113              DO 340 M=1,20
0114              CALL SWO(IW01,IW01,50*(JO-1))
0115      340      CONTINUE
0116              CALL SWRX(2,IW01,JBUF,1000)
0117              GOTO 350
0118              IO=IO+5
0119              CONTINUE
0120      350      IF(KN.EQB.0)CALL SWO(IW0,IW0,450)
0121              CONTINUE
0122              CALL SWRX(2,IW03,KBUF,20*MIN0(NN,NP-JN))
0123              JN=JN+NN
0124              CONTINUE
0125      400      CONTINUE
0126 C-----FIN DE PROGRAMME
0127      400      CALL SWO(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3))
0128      405
0129      405

```


SFL76 T=00003 IS ON CR00040 USING 00015 BLKS R=0000

```

0001 FTN4
0002 C-----DATE: 4/12/78
0003 PROGRAM SFL76
0004 *****
0005 CC*
0006 CC* PROGRAMME POUR L'INTRODUCTION DES CONDITIONS AUX LIMITES.
0007 CC* S'IL S'AGIT DE LA TERMINAISON, POSSIBILITE DE STOCKAGE DE
0008 CC* CERTAINES VALEURS SUR UN FICHIER, POUR UNE POSTERIEURE
0009 CC* LECTURE, LORS D'UN NOUVEAU PASSAGE DU PROGRAMME.
0010 CC*
0011 *****
0012 CC*
0013 CC* DIMENSION KBUF(6144),RBUF(3072),SK(500),
0014 CC* I(10),J(10),L(10),M(10),N(10),O(10),P(10),Q(10),R(10),S(10),T(10),U(10),V(10),W(10),X(10),Y(10),Z(10),
0015 CC* AA(10),BB(10),CC(10),DD(10),EE(10),FF(10),GG(10),HH(10),II(10),JJ(10),KK(10),LL(10),MM(10),NN(10),OO(10),PP(10),
0016 CC* QQ(10),RR(10),SS(10),TT(10),UU(10),VV(10),WW(10),XX(10),YY(10),ZZ(10),
0017 CC* AAA(10),BBB(10),CCC(10),DDD(10),EEE(10),FFF(10),GGG(10),HHH(10),III(10),JJJ(10),KKK(10),LLL(10),
0018 CC* MMM(10),NNN(10),OOO(10),PPP(10),QQQ(10),RRR(10),SSS(10),TTT(10),UUU(10),VVV(10),WWW(10),XXX(10),
0019 CC* YYY(10),ZZZ(10),
0020 CC* ALPHABET(26),NUMERIC(10),ALPHA(10),BETA(10),GAMMA(10),DELTA(10),Epsilon(10),ZETA(10),ETA(10),THETA(10),
0021 CC* IOTA(10),KAPPA(10),LAMBDA(10),MUT(10),NUN(10),XI(10),XIIPRIME(10),OMICRON(10),PI(10),RHO(10),
0022 CC* SIGMA(10),TAU(10),Upsilon(10),PHI(10),PHIPRIME(10),CHIFFRE(10),
0023 CC*
0024 CC*
0025 CC*
0026 CC*
0027 CC*
0028 CC*
0029 CC*
0030 CC*
0031 CC*
0032 CC*
0033 CC*
0034 CC*
0035 CC*
0036 CC*
0037 CC*
0038 CC*
0039 CC*
0040 CC*
0041 CC*
0042 CC*
0043 CC*
0044 CC*
0045 CC*
0046 CC*
0047 CC*
0048 CC*
0049 CC*
0050 CC*
0051 CC*
0052 CC*
0053 CC*
0054 CC*
0055 CC*
0056 CC*
0057 CC*
0058 CC*
0059 CC*
0060 CC*
0061 CC*
0062 CC*
0063 CC*
0064 CC*
0065 CC*
0066 CC*
0067 CC*
0068 CC*
0069 CC*
0070 CC*
0071 CC*
0072 CC*
0073 CC*
0074 CC*
0075 CC*
0076 CC*
0077 CC*
0078 CC*
0079 CC*
0080 CC*
0081 CC*
0082 CC*
0083 CC*
0084 CC*
0085 CC*
0086 CC*
0087 CC*
0088 CC*
0089 CC*
0090 CC*
0091 CC*
0092 CC*
0093 CC*
0094 CC*
0095 CC*
0096 CC*
0097 CC*
0098 CC*
0099 CC*
0100 CC*

```

```

0079 C----STOCKAGE DE [TENS],[KT],[ISP],[BF],[DJ],"CHARG" ET "DEF" DANS
0080 C-----LE FICHIER "IFIL" DU DISQUE
0081 600  NN=1
0082      NN=6144
0083      NS=NM*(NPK-NPT)
0084      ASSIGN 700 TO ILB
0085      K=0
0086      I=NPT
0087 610  IWO(4)=I
0088      IWO(5)=0
0089      IWO(6)=0
0090      DO 640 J=1,NS
0091      CALL BWR(1,IWO,KBUF,NN)
0092      CALL EXEC(15,1022,KBUF,NN,IFIL,K)
0093      K=K+NN/128
0094 640  CONTINUE
0095      GOTO ILB
0096 700  ASSIGN 710 TO ILB
0097      I=NPK
0098      NS=NM*(NPISP-NPK)
0099      GOTO 610
0100 710  ASSIGN 711 TO ILB
0101      I=NPISP
0102      NS=NM*(NPAUX-NPISP)
0103      GOTO 610
0104 711  ASSIGN 713 TO ILB
0105      I=NPS
0106      NS=NM*(NPDJ-NPS)
0107      GOTO 610
0108 713  ASSIGN 715 TO ILB
0109      I=NPDJ
0110      NS=NM*(NPCC-NPDJ)
0111      GOTO 610
0112 715  NS=10*NP
0113      ILB=0
0114 720  I2=0
0115      ILB=ILB+1
0116 730  J=MIN0(NS,NN)
0117      DO 780 I1=1,J/2
0118      GOTO(745,760),ILB
0119 745  RBUF(I1)=CHARG(I2+I1)
0120      GOTO 780
0121 760  RBUF(I1)=DBUF(I2+I1)
0122 780  CONTINUE
0123      I2=I2+J/2
0124      CALL EXEC(15,1028,KBUF,J,IFIL,K)
0125      K=K+J/128
0126      IF(MOD(J,128).NE.0)K=K+1
0127      NS=NS-J
0128      IF(NS.GT.0)GOTO 730
0129      GOTO(790,800),ILB
0130 790  NS=12*NE
0131      GOTO 720
0132 C-----TERMINAISON DU PROGRAMME
0133 C-----*
0134 800  IF(JC.GT.NC)STOP 1444
0135 C-----*
0136 C-----CHANGEMENT DE PROGRAMME
0137 810  INAM(2)=2NF7
0138      CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3))
0139 8200  BRND
0140      END*

```

SFLF7 T=00003 IS ON CR00040 USING 00011 BLKS R=0000

```

0001 FTN4
0002 C----DATE: 4/12/78
0003 C----PROGRAM FLF7
0004 C*****
0005 C
0006 C PROGRAMME POUR LA RESOLUTION DU SYSTEME PAR UNE
0007 C METHODE D'ELIMINATION.
0008 C
0009 C*****
0010 C DIMENSION RBUF(500), IMET(20), IP(5)
0011 C KSP(20,200), JBUF(6144)
0012 C COMMON IGO(5), IWO(6), IWO1(6), IWO2(6), IWO3(6), IWO4(6),
0013 C INAM(3), IFIL(3), NE, NP, NR, NB, NC, EB, EA, VU, FB, FA, DA, TO, ESP,
0014 C JCO, IOFF, ITER, TOLER, NITER, NCAP, NCAPB, NCAP(60), JCO,
0015 C NZOR(3,350), NZOOR(20), EPZ(20), DEF(6,350), AXBUF(60),
0016 C NZOR(2,200), CHARG(1000), PFRT(10), ILM(2,60),
0017 C NP, NPK, NPISP, NPPIX, NPKP, HPB, NPDJ, NPCC
0018 C EQUIVALENCE (JBUF, KSP), (RBUF, JBUF(101)), (LU1, IGO(4))
0019 C
0020 C
0021 C CALL RMPAR(IP)
0022 C CALL EXEC(2,18,INAM,-6)
0023 C POUR VE LA PREMIERE ITERATION, ON REDEFINIT LE VECTEUR ISP
0024 C
0025 C
0026 C
0027 C
0028 C
0029 C
0030 C
0031 C
0032 C
0033 C
0034 C
0035 C
0036 C
0037 C
0038 C
0039 C
0040 C
0041 C
0042 C
0043 C
0044 C
0045 C
0046 C
0047 C
0048 C
0049 C
0050 C
0051 C
0052 C
0053 C
0054 C
0055 C
0056 C
0057 C
0058 C
0059 C
0060 C
0061 C
0062 C
0063 C
0064 C
0065 C
0066 C
0067 C
0068 C
0069 C
0070 C
0071 C
0072 C
0073 C
0074 C
0075 C
0076 C
0077 C

```

SFL70 T=00003 IS ON CR00040 USING 00024 BLKS R=0000

```

0001 FTN4
0002 C----DATE: 5/12/78
0003 PROGRAM FL70
0004 C*****
0005 C*
0006 C* PROGRAMME POUR LA RESOLUTION DU SYSTEME PAR UNE
0007 C* METHODE D'ELIMINATION.
0008 C*
0009 C*****
0010 DIMENSION RBUF(500,13),ISP(20,13),JBUF(260),
0011 CIP(5),IMET(200),SSUF(500),TEMP(5)
0012 C LSP(20),DEPL(1000),TBUF(500)
0013 COMMON IBO(3),IWO(6),IWO1(6),IWO2(6),IWO3(6),IWO4(6),
0014 C IBO1(3),IWO1(3),HE,HP,HR,HB,NC,EB,EA,VU,FB,FA,DA,TO,ESP,
0015 C IBO2(3),IWO2(3),TOLER,MITER,HCAP,HCAPB,HCAP(60),JCO,
0016 C IBO3(3),IWO3(3),ZCOR(20),EPZ(20),DEF(6,350),XBUF(60),
0017 C IBO4(3),IWO4(3),CHARG(1000),FPRT(10),ILM(2,60),
0018 C IBO5(3),IWO5(3),NPAUX,NPKP,NPB,NPOJ,NPCC
0019 EQU:VALENCE (JBUF,ISP),(LU1,IWO(4)),(DEPL,CHARG)
0020 C (TBUF,RBUF)
0021 C----
0022 C----
0023 CALL RMPAR(IP)
0024 C----
0025 CALL EXEC(2,1B,INAM,-6)
0026 C----
0027 C----
0028 NT=20
0029 NN=13
0030 C----
0031 361 IWO(4)=NPAUX
0032 IWO(5)=0
0033 IWO(6)=0
0034 DO360 I=4,6
0035 IWO1(I)=IWO(I)
0036 IWO2(I)=IWO(I)
0037 360 IWO3(I)=IWO(I)
0038 IWO3(4)=NPISP
0039 IL=0
0040 LL=-1
0041 IJK=-1
0042 ASSIGN 369 TO ILB
0043 C----BOUCLE SUR LES EQUATIONS
0044 DO520 I=1,5*NP
0045 IF(I.EQ.5*NP)GOTO501
0046 IJK=1+IJK
0047 IF(IJK.EQ.5)IJK=0
0048 II=:00*IJK
0049 IF(IJK.NE.0)GOTO364
0050 C---LECTURE SBUF,LSP POUR CHAQUE NOEUD
0051 JJ=(I+4)/5
0052 J=(JJ-1)/NN)*NN
0053 IF(LL.NE.J)GOTO362
0054 DO359 K=1,500
0055 359 SBUF(K)=RBUF(K,JJ-LL)
0056 CALL SUD(IWO1,IWO1,1000)
0057 GOTO363
0058 362 CALL BWR(1,IWO1,SBUF,1000)
0059 363 CALL BWR(1,IWO3,LSP,20)
0060 364 AUX=SBUF(II+1+IJK)
0061 IF(ABS(AUX).LT.1E-10)GOTO3300
0062 DEPL(I)=DEPL(I)/AUX
0063 C---BOUCLE SUR LES LIGNES A ELIMINER
0064 LL=LL
0065 DO470 ICOD=0,1
0066 DO460 M=1+ICOD,NT
0067 IF((M.EQ.1).AND.(IJK.EQ.4))GOTO460
0068 IN=LSP(M)
0069 IF(IN)365,470,365
0070 365 IL=((IN-1)/NN)*NN
0071 IF(M.EQ.1)GOTO369
0072 IF(LL.EQ.-1)GOTO368
0073 IF(ICOD.EQ.1)GOTO390
0074 IF(IL.NE.LL)GOTO460
0075 GOTO369
0076 390 IF(IL.EQ.LL)GOTO460
0077 IF(IL.EQ.LL)GOTO369
0078 M=2

```

```

0079 366 IWO(4)=NPAUX
0080 IWO(5)=0
0081 IWO(6)=0
0082 DO 367 LKK=1,20
0083 CALL SWO(IWO,IWO,50*LL)
0084 367 CONTINUE
0085 CALL BWR(N,IWO,RBUF,1000*MINO(NP-LL,NN))
0086 IF(N.EQ.1)GOTO1LB
0087 368 IWO(4)=NPISP
0088 IWO(5)=0
0089 IWO(6)=0
0090 CALL SWO(IWO,IWO,20*IL)
0091 CALL BWR(1,IWO,ISP,20*MINO(NP-IL,NN))
0092 IF(LL.EQ.-1)LL0=IL
0093 N=1
0094 LL=IL
0095 GOTO366
0096 0 --- RECHERCHE DES LIGNES APPROPRIEES
0097 369 DO380 N=1,NT
0098 IPI=ISP(N,IN-LL)
0099 IF(N.EQ.1)IA=LSP(N)
0100 IF(IA)370,400,370
0101 370 IPI=IPI
0102 CONTINUE
0103 400 DO405 M=-4,0
0104 TEMP(5+M)=SBUF(II+5*M+N)/AUX
0105 0 --- BOUCLE SUR LES COLONNES A ELIMINER
0106 DO420 N=1,NT
0107 IPI=LSP(N)
0108 IF(IPI)406,440,406
0109 406 IPI=IPI
0110 410 IPI=IPI
0111 DO416 JJ=0,4
0112 IF((M.EQ.1).AND.(JJ.LE.IJK))GOTO416
0113 DO415 J=-4,0
0114 K=1000*JJ+5*IN+J
0115 IF(M.EQ.1)GOTO414
0116 RBUF(K,IN-LL)=RBUF(K,IN-LL)-TEMP(JJ+1)*SBUF(II+5*N+J)
0117 GOTO415
0118 414 SBUF(K)=SBUF(K)-TEMP(JJ+1)*SBUF(II+5*N+J)
0119 CONTINUE
0120 CONTINUE
0121 CONTINUE
0122 0 --- DEPL. DU VECTEUR CHARG.
0123 440 DO450 JJ=0,4
0124 IF((M.EQ.1).AND.(4-JJ.LE.IJK))GOTO460
0125 450 DEPL(5*IN-JJ)=DEPL(5*IN-JJ)-DEPL(I)*SBUF(II+5*M-JJ)
0126 CONTINUE
0127 CONTINUE
0128 0 --- REDEFIN. LIGNES POUR SUBSTIT. ARRIERE
0129 480 DO500 M=1,NT
0130 DO490 J=0,4
0131 IF((M.EQ.1).AND.(4-JJ.LE.IJK))GOTO500
0132 SBUF(II+5*M-J)=SBUF(II+5*M-J)/AUX
0133 CONTINUE
0134 CONTINUE
0135 IF(IJK.NE.4)GOTO520
0136 CALL BUR(2,IWO2,SBUF,1000)
0137 J=1/5
0138 J=(JJ-1)/NN)*NN
0139 IF(ALL.NE.J)GOTO520
0140 DO510 K=1,500
0141 RBUF(K,JJ-LL)=SBUF(K)
0142 CONTINUE
0143 520 IWO(4)=NPAUX
0144 IWO(5)=0
0145 IWO(6)=0
0146 DO 529 LKK=1,20
0147 CALL SWO(IWO,IWO,50*LL)
0148 529 CONTINUE
0149 CALL BWR(2,IWO,RBUF,1000*MINO(NP-LL,NN))
0150 ASSIGN 535 TO IL8
0151 IL=((NP-1)/NN)*NN
0152 IF(IL.NE.LL)GOTO368
0153 535 DEPL(5*NP)=DEPL(5*NP)/RBUF(405,NP-LL)
0154 ASSIGN 538 TO ILB
0155 0 --- SUBSTIT ARRIERE
0156 DO560 J=NP,1,-1
0157 M=((J-1)/NN)*NN
0158 IF(IL.NE.LL)GOTO368

```

```

0159 538 D0550 K=0,4
0160 IJK=100*(4-K)
0161 IM=5*J-K
0162 D0545 M=1,NT
0163 JJ=ISP(M,J-LL)
0164 IF(JJ)540,550,540
0165 540 IM=IJK+5*M
0166 D0542 L=0,4
0167 IF((M.EQ.1).AND.(L.GE.K))GOTO545
0168 DEPL(IM)=DEPL(IM)-RBUF(IM-L,J-LL)*DEPL(5*JJ-L)
0169 CONTINUE
0170 CONTINUE
0171 CONTINUE
0172 CONTINUE
0173 C&&&& IF(ITER.LE.0)GOTO1999
0174 C&&&& CONTINUE
0175 2000 WRITE(LU1,2010)
0176 2010 FORMAT(10/)
0177 INAM(2)=2HF8
0178 IP(4)=0
0179 CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3))
0180 GOTO9999
0181 3300 WRITE(LU1,2)I,II,IJK,J,LL,LL0,AUX
0182 C&&&& GOT09998
0183 C&&&&
0184 2 FORMAT(5//X"TERME DIAG. NUL ,LIGNE:"15/X"II,IJK,J,LL,LL0,AUX:"
0185 C,5I10,F15.5)
0186 C&&&&
0187 1999 IWO1(5)=0
0188 IWO1(6)=0
0189 IWO(5)=0
0190 IWO(6)=0
0191 IWO(4)=HPK
0192 IWO1(4)=HPISP
0193 D010 I=1,HP
0194 CALL BWR(1,IWO,SBUF,1000)
0195 CALL BWR(1,IWO1,LSP,20)
0196 D06 J=1,5
0197 TEMP(J)=0
0198 6 D08 L=1,20
0199 IF(LSP(L).EQ.0)GOTO12
0200 D07 J=1,5
0201 MM=100*(J-1)
0202 D07 M=1,5
0203 TEMP(J)=TEMP(J)+SBUF(5*(L-1)+M+MM)*DEPL(5*(LSP(L)-1)+M)
0204 7 CONTINUE
0205 8 CONTINUE
0206 12 IF(I.EQ.1)GOTO11
0207 IWO3(4)=HPISP
0208 IWO3(5)=0
0209 IWO3(6)=0
0210 IWO2(4)=HPK
0211 IWO2(5)=0
0212 IWO2(6)=0
0213 D030 K=1,I-1
0214 CALL BWR(1,IWO3,LSP,20)
0215 D025 L=1,20
0216 IF(LSP(L).EQ.0)GOTO26
0217 IF(LSP(L).NE.1)GOTO25
0218 CALL BWR(1,IWO2,TBUF,1000)
0219 D023 J=1,5
0220 D023 M=1,5
0221 MM=100*(M-1)
0222 TEMP(J)=TEMP(J)+TBUF(5*(L-1)+J+MM)*DEPL(5*(K-1)+M)
0223 23 CONTINUE
0224 GOTO30
0225 25 CONTINUE
0226 26 CALL SWO(IWO2,IWO2,1000)
0227 CONTINUE
0228 11 WRITE(LU1,9)I,TEMP
0229 9 FORMAT(//1"14,5X"F:"5E14.5)
0230 10 CONTINUE
0231 GOT02000
0232 C&&&&
0233 9998 STOP1602
0234 C&&&&
0235 9999 END

```

0239 . END*

SFLFB T=00003 IS ON CR00040 USING 00024 BLKS R=0000

```

0001      FTN4
0002      C----DATE: 16/ 1/79
0003      PROGRAM FLFB
0004      C*****
0005      C*
0006      C*      PROGRAMME POUR OBTENIR LES FORCES MODALES NON EQUILIBREES
0007      C*      DANS LES ELEMENTS COUCHES EN ACIER STOCKAGE DANS
0008      C*      LE VECTEUR "CHARG".
0009      C*
0010      C*****
0011      DIMENSION IP(5),BF(3,9),JBUF(54),DJ(3,3),AD(6,1),DF(3),AT(5,1)
0012      C,CR(3,1),FRES(3,5),B(3,6),BT(6,3),AE(6),DF0(3)
0013      C,CF(2),IWO5(6),NBUF(9),SBUF(4)
0014      C,COMMON, IWO5(6),IWO6(6),IWO1(6),IWO2(6),IWO3(6),IWO4(6),
0015      C,INAM(3),ITIL(3),HE,HP,NR,NB,NC,EB,EA,VU,FB,FA,DA,TO,ESP,
0016      C,COOR(3,3),ITER,TOLER,NITER,NCAP,MCAP8,MCAP(60),JCO,
0017      C,COOR(3,3),COOR(20),EPZ(20),DEF(6,350),AXBUF(60),
0018      C,COOR(3,3),CHARG(1000),FPRT(10),ILM(2,60),
0019      C,CHRG(3),NPAISP,NPAUX,NPKP,NPB,NPDJ,NPCC
0020      C,DEUIVALENCE(LU1,IG0(4)),(I,IP(5)),(JCA,IP(2)),(ICA,IP(3)),
0021      C,(JBUF,SBUF),(DJ,BF),(AD,BF),(DF,AXBUF),(AT,AXBUF(4)),(CR,AXBUF(9))
0022      C,(FRES,AXBUF(12)),(B,AXBUF(27)),(AREA,AXBUF(45)),(AE,AXBUF(46))
0023      C,(NBUF(2),SBUF),(CF,AXBUF(52)),(IWO5,AXBUF(54))
0024      C-----
0025      C-----
0026      CALL RMPAR(IP)
0027      GOTO(1,100),IP(4)+1
0028      C-----
0029      C-----INITIALISATION DES CONTROLES
0030      1
0031      IWO(4)=NPDJ
0032      IWO1(4)=NPB
0033      IWO2(4)=NPAUX
0034      IWO3(4)=NPT
0035      IWO4(4)=NPT
0036      IWO5(4)=NPCC+1
0037      DO4 I=1,3
0038      IWO5(I)=IWO(I)
0039      DO2 I=5,6
0040      IWO(I)=0
0041      IWO1(I)=0
0042      IWO2(I)=0
0043      IWO3(I)=0
0044      IWO4(I)=0
0045      C-----
0046      2
0047      TOLER=0.
0048      CALL BUR(1,IWO5,NBUF,9)
0049      IP(1)=NBUF(1)
0050      DO7 I=1,4
0051      AXBUF(56+I)=SBUF(I)
0052      C-----
0053      C-----'DO' ELEMENTS
0054      5
0055      I=0
0056      I=I+1
0057      DO3 K=1,3
0058      DO3 J=1,5
0059      3
0060      FRES(K,J)=0.
0061      JCA=NCAP
0062      IF(I.GT,HE-NB)JCA=MCAP(I-NE+NB)
0063      CALL BUR(1,IWO1,JBUF,54)
0064      CALL MATB(CHPE(1,I),NPE(2,I),NPE(3,I),JCOOR,8,AREA)
0065      C-----
0066      C-----CALCUL DEFORMATIONS PLANES
0067      DO10 J=1,3
0068      AEC(J)=0.
0069      DO6 K=1,3
0070      DO6 L=-1,0
0071      6
0072      AEC(J)=AEC(J)+B(J,2*K+L)*CHARG(5*NPE(K,I)-3+L)
0073      DEF(J,I)=DEF(J,I)+AEC(J)
0074      AEC(J+3)=0.
0075      DO8 K=1,3
0076      DO8 L=-2,0
0077      8
0078      AEC(3+J)=AEC(3+J)+BF(J,3*K+L)*CHARG(5*NPE(K,I)+L)
0079      DEF(3+J,I)=DEF(3+J,I)+AEC(J+3)
0080      10
0081      CONTINUE
0082      C-----
0083      C-----'DO' COUCHES
0084      20
0085      ICA=0
0086      ICA=ICA+1
0087      CALL BUR(1,IWO3,AT,10)
0088      CALL BUR(1,IWO,DJ,18)

```


SFLF9 T=00003 IS ON CR00040 USING 00021 BLKS R=0000

```

0001          FTN4
0002 C-----DATE: 16/ 1/79
0003          PROGRAM FLF9
0004 C*****
0005 C*
0006 C*          PROGRAMME POUR L'OBTENTION DES FORCES RESIDUELLES DANS LES
0007 C*          ELEMENTS EN BETON. COUCHES FISSUREES.
0008 C*
0009 C*****
0010          DIMENSION AT(5,1),T(3,3),CR(3,1),D(2),TC(3,1),
0011          CCP(3),DF(3),IP(5)
0012          COMMON IGO(5),IWO(6),IWO1(6),IWO2(6),IWO3(6),IWO4(6),
0013          CYNAM(3),IFIL(3),NE,NP,NR,HB,NC,EB,EA,VU,FB,FA,DA,T0,ESP,
0014          CJC,IOFF,ITER,TOLER,NITER,MCAP,MCAPB,MCAP(60),JCO,
0015          CNPE(3,350),ZCDDR(20),EPZ(20),DEF(6,350),AXBUF(60),
0016          CUCOOP(2,200),CHARG(1000),FPRT(10),ILM(2,60),
0017          CNPT,NPK,NPISP,NPAUX,NPKP,NPB,NPDJ,NPCC
0018          EQUIVALENCE(I,IP(5)),(LU1,IGO(4))
0019          C,(ICA,IP(3)),(JCA,IP(2))
0020          C,(DF,AXBUF),(AT,AXBUF(4)),(CR,AXBUF(9))
0021 C-----
0022 C-----
0023          CALL RMPAR(IP)
0024 C-----
0025          XTOLER=0.05
0026 C-----
0027 C-----DIRECTIONNEMENT
0028          IR=0
0029          GOTO(70,35),IP(4)
0030 C-----
0031 C-----COUCHES FISSUREES.
0032 C-----
0033 C*****
0034          35 WRITE(LU1,34)I,ICA
0035          34 FORMAT(/X"BETON FISSURE:"5X"I:"15,3X"C:"13)
0036          31 WRITE(LU1,32)DF,(AT(J,1),J=1,3)
0037          32 FORMAT(X"DEF:"3E15.5,/X"TEMC:"3E15.5)
0038 C*****
0039 C-----OBTENTION DES CONTRAINTES CORRESPONDANTES AUX DEFORMATIONS
0040 C-----BETON FISSURE. ALFA=DIRECTION FISSURATION-1
0041          70 ALFA=AT(4,1)
0042          IF(ALFA.GT.900.)ALFA=ALFA-1000.
0043          IF(ALFA.GT.90.)ALFA=ALFA-180.
0044 C*****
0045 C***** IF(ICA.LE.NCAP)GOTO75
0046 C***** DF(2)=0.
0047 C***** DF(3)=0.
0048 C***** AT(2,1)=0.
0049 C***** AT(3,1)=0.
0050 C***** C2=0.
0051 C***** S2=1.
0052 C***** SC=0.
0053 C***** IF(AT(5,1).EQ.0.)GOTO76
0054 C***** S2=0.
0055 C***** C2=1.
0056 C***** GOTO76
0057 C*****
0058          75 ALFA=ALFA*3.141592/180.
0059          SC=SIN(ALFA)
0060          AUX=COS(ALFA)
0061          C2=AUX*AUX
0062          S2=SC*SC
0063          SC=SC*AUX
0064          76 D(2)=S2*DF(1)+C2*DF(2)-SC*DF(3)
0065          D(1)=-2.*SC*(DF(1)-DF(2))+DF(3)*(C2-S2)
0066          AUX=C2*DF(1)+S2*DF(2)+SC*DF(3)
0067 C*****
0068 C----- UNE FISSURE S'EST FERMEE
0069          IF(AUX.LT.0.)WRITE(LU1,84)I,ICA,AUX,1
0070          IF(AT(4,1).GT.900.)AND(D(2).LT.0.)WRITE(LU1,84)I,ICA,D(2),2
0071          84 FORMAT(/X"ATTENTION...FISSURE FERMEE!!!...ELEMENT"15,
0072          CX"C:"13,3X"AUX="E12.4,X"FISS."12)
0073 C*****
0074          85 CR(2,1)=0.
0075          CR(1,1)=0.
0076          CR(3,1)=0.
0077          CP(1)=AT(1,1)*C2+AT(2,1)*S2+AT(3,1)*2*SC
0078          CP(2)=AT(1,1)*S2+AT(2,1)*C2-AT(3,1)*2*SC

```

```

0079      CP(3)=-AT(1,1)*SC+AT(2,1)*SC+AT(3,1)*(C2-S2)
0080      CXXXXX
0081      CXXXXX IF(ICA.LE.NCAP)GOTO86
0082      CXXXXX IF(AT(5,1).EQ.0.)GOTO88
0083      CXXXXX GOTO87
0084      CXXXXX
0085      86      IF(AT(4,1).GT.900.)GOTO100
0086      IF(AUX.LT.0.004)CR(3,1)=0.15*EB*(1.-AUX/0.004)*D(1)
0087      87      IF(AUX.LT.FA/EA)CR(1,1)=AT(5,1)*(AUX-FA/EA)**2
0088      IF(CR(1,1).GT.0.64*FB**(2./3.))CR(1,1)=EB*AUX
0089      88      IF(D(2).LT.0.)GOTO 90
0090      CR(2,1)=D(2)*EB
0091      IF(CR(2,1).LT.0.64*FB**(2./3.))GOTO500
0092      CXXXXX
0093      CXXXXX IF(ICA.LE.NCAP)GOTO89
0094      C!!!!
0095      C!!!! ATTENTION,CELA EST SPECIFIQUE DU CAS ETUDIE DANS LA THESE
0096      CXXXXX IF((I.GT.327).AND.(I.LT.332))GOTO500
0097      C!!!!
0098      CXXXXX AUX=0.64*FB**(2./3.)
0099      CXXXXX AT(5,1)=AUX/(FA/EA-AUX/EB)**2
0100      CXXXXX CR(2,1)=0.
0101      CXXXXX IF(D(2).LT.FA/EA)CR(2,1)=AT(5,1)*(D(2)-FA/EA)**2
0102      CXXXXX GOTO500
0103      CXXXXX
0104      C---- UNE DEUXIEME FISSURE S'EST OUVERTE
0105      89      AT(4,1)=AT(4,1)+1000.
0106      GOTO85
0107      90      AUX=-D(2)/0.00218
0108      IF(AUX.GT.1.)IR=1
0109      AUX0=FB/0.00218
0110      C****
0111      IF(EB/AUX0-2..LT.0.)STOP2503
0112      C****
0113      CR(2,1)=D(2)*EB/(1.+(EB/AUX0-2.)*AUX+AUX**2)
0114      GOTO 500
0115      C---- BETON FISSURE EN DEUX DIRECTIONS
0116      100      BUX=AT(5,1)
0117      DO401 III=1,2
0118      IF(AUX.LT.FA/EA)CR(III,1)=BUX*(AUX-FA/EA)**2
0119      IF(CR(III,1).GT.0.64*FB**(2./3.))CR(III,1)=EB*AUX
0120      AUX=D(2)
0121      BUX=0.64*FB**(2./3.)
0122      BUX=BUX/(FA/EA-BUX/EB)**2
0123      401      CONTINUE
0124      C---- OBTEINTION CONTRAINTES RESIDUELLES
0125      500      T(1,1)=C2
0126      T(1,2)=S2
0127      T(1,3)=-2*SC
0128      T(2,1)=S2
0129      T(2,2)=C2
0130      T(2,3)=2*SC
0131      T(3,1)=SC
0132      T(3,2)=-SC
0133      T(3,3)=C2-S2
0134      CALL PMM(T,CR,3,3,1,TC)
0135      L=0
0136      DO520 J=1,3
0137      AUX=AMAX1(0.9,XTOLER*ABS(CR(J,1)))
0138      IF(ABS(CP(J)-CR(J,1)).LE.AUX)GOTO520
0139      TOLER=1
0140      L=1
0141      520      CONTINUE
0142      DO521 J=1,3
0143      CR(J,1)=AT(J,1)-TC(J,1)
0144      521      AT(J,1)=TC(J,1)
0145      IF(L.EQ.0)GOTO550
0146      WRITE(LU1,34)I,ICA
0147      WRITE(LU1,533)TC,CR,AT(5,1)
0148      533      FORMAT('X' TEF: '3E13.5,3X' TRES: '3E13.5,X' FIS: 'E10.4)
0149      550      CONTINUE
0150      C****
0151      IF(IR.NE.1)GOTO900
0152      WRITE(LU1,890)I,ICA
0153      890      FORMAT('/X' BETON FISSURE EN RUPTURE!!'3X'I,ICA:'2I5)
0154      WRITE(LU1,533)TC,CR,AT(5,1)
0155      C****
0156      STOP 1746
0157      C****
0158      C---- CHANGEMENT DE PROGRAMME

```

```

0159 900 INAM(2)=2HF8
0160 IP(4)=1
0161 400 CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3),IP(4),IP(5))
0162 END
0163 C-----
0164 C-----SUBROUTINE "PMM" POUR OBTENIR LE PRODUIT MATRICIEL (A)*(B)=(C)
0165 C-----
0166 SUBROUTINE PMM(A,B,N1,N2,N3,C)
0167 DIMENSION A(N1,N2),B(N2,N3),C(N1,N3)
0168 DO 20 I=1,N1
0169 DO 20 K=1,N3
0170 Z=0.
0171 DO 10 L=1,N2
0172 10 Z=Z+A(I,L)*B(L,K)
0173 20 C(I,K)=Z
0174 END
0175 END$

```

SFL90 T=00003 IS ON CR00040 USING 00024 BLKS R=0000

```

0001          FTN4
0002 C----DATE: 4/12/78
0003          PROGRAM FL90
0004 C*****
0005 C*
0006 C*          PROGRAMME POUR L'OBTENTION DES FORCES RESIDUELLES DANS LES
0007 C*          ELEMENTS EN BETON. COUCHES NON FISSUREES.
0008 C*
0009 C*****
0010          DIMENSION AT(5,1),T(3,3),CR(3,1),D(2),TC(3,1),ER(3),
0011          CDF(3),IP(5),BUF(6),CP(2)
0012          COMMON IGO(5),IMO(6),IMO1(6),IMO2(6),IMO3(6),IMO4(6),
0013          CINAM(3),IFIL(3),NE,NP,NR,NB,NC,EB,EA,YU,FB,FA,DA,TO,ESP,
0014          CJC,IGFF,ITER,TOLER,HITER,NCAP,NCAPB,MCAP(60),JCO,
0015          CNPE(3,350),ZCOORD(20),EPZ(20),DEF(6,350),AXBUF(60),
0016          CJCOORD(2,200),CHARG(1000),FPRT(10),ILM(2,60),
0017          CNPT,NPK,NPISP,NPAUX,NPKP,NPB,NPDJ,NPCC
0018          EQUIVALENCE(I,IP(5))
0019          C,(LU1,IGO(4)),(JCA,IP(2)),(ICA,IP(3))
0020          C,(DF,AXBUF),(AT,AXBUF(4)),(CR,AXBUF(9))
0021 C-----
0022 C-----
0023          CALL RMPAR(IP)
0024 C-----
0025          XTOLER=0.05
0026          JPACO=0
0027          IR=0
0028 C-----
0029          DO 31 J=1,3
0030          BUF(J)=DF(J)
0031          BUF(J+3)=AT(J,1)
0032 C&&&&
0033          34          FORMAT(/X'I:'I5,3X'COUCHE:'I3)
0034          32          FORMAT(X'DEF:'3E15.5,/X'TENC:'3E15.5)
0035 C&&&&
0036 C-----OBTENTION DES CONTRAINTES CORRESPONDANTES AUX DEFORMATIONS
0037 C-----BETON NON FISSURE. "ALFA"=ORIENTATION DIRECTIONS PRINCIPALES
0038          IF(DF(1).EQ.DF(2))GOTO45
0039          ALFA=0.5*ATAN(DF(3)/(DF(1)-DF(2)))
0040          GOTO50
0041          45          ALFA=0.5*SIGN(3.141592/2.,DF(3))
0042          IF(DF(3).EQ.0.)ALFA=0.
0043          50          SC=SIN(ALFA)
0044          AUX=COS(ALFA)
0045          C2=AUX*AUX
0046          S2=SC*SC
0047          SC=SC*AUX
0048 C-----OBTENTION DES DEFORMATIONS PRINCIPALES
0049          D(1)=C2*DF(1)+S2*DF(2)+SC*DF(3)
0050          D(2)=S2*DF(1)+C2*DF(2)-SC*DF(3)
0051          CR(3,1)=0.
0052          K=0
0053 C-----
0054          D(1)<=D(2)...(VALEUR ARIMETIQUE)
0055          IF(D(1).LE.D(2))GOTO 111
0056          K=1
0057          J=-1
0058          IF(ALFA.LE.0.)J=1
0059          ALFA=ALFA+3.141592*J/2.
0060          AUX=S2
0061          S2=C2
0062          C2=AUX
0063          SC=-SC
0064          AUX=D(1)
0065          D(1)=D(2)
0066          D(2)=AUX
0067          111          AUX=-AT(1,1)+SC+AT(2,1)+SC+AT(3,1)*(C2-S2)
0068          IF(AT(1,1).EQ.AT(2,1))GOTO105
0069          ALFA0=0.5*ATAN(2.*AT(3,1)/(AT(1,1)-AT(2,1)))
0070          GOTO106
0071          105          ALFA0=0.5*SIGN(3.141592/2.,AT(3,1))
0072          IF(AT(3,1).EQ.0.)ALFA0=0.
0073          106          AX1=ALFA0*180./3.141592
0074          IF(K.EQ.1)AX1=AX1+90.*J
0075          AX2=ALFA*180./3.141592
0076          IF(ABS(AX1-AX2).GT.1.)WRITE(LU1,109)I,ICA,AX1,(AT(J,1),J=1,3)
0077          C,AUX,(DF(J),J=1,3),AX2
0078          109          FORMAT(/X'TXY#0:'3X'EL:'I5,X'C:'I3,4X'ALFO:'F10.4,2X'CON.(X,Y,'
          C'XY):',3(E11.5,3X)*C.P.XY:'E11.5,/X'DEF(X,Y,XY):'3(E11.5,3X),3X

```

```

0079      C*ALFA: *F10.4)
0080      CP(1)=AT(1,1)*C2+AT(2,1)*S2+AT(3,1)*2*SC
0081      CP(2)=AT(1,1)*S2+AT(2,1)*C2-AT(3,1)*2*SC
0082      C****
0083      IF(CP(1).GT.CP(2))STOP2507
0084      C****
0085      CP(1)=SQRT((AT(1,1)-AT(2,1))**2+4*AT(3,1)**2)/2.
0086      CP(2)=(AT(1,1)+AT(2,1))/2.+CP(1)
0087      CP(1)=CP(2)-2.*CP(1)
0088      IPACO=0
0089      C-----OSTENTION CONTRAINTES REELLES CORRESPONDANTES AUX
0090      C-----DEFORMATIONS CALCULEES
0091      IF((CP(2)/CP(1).GE.-0.50).AND.((D(1).NE.0.).OR.(D(2).NE.0.))
0092      C.AND.(CP(1).LT.0.))GOTO125
0093      ASSIGN 118 TO ILB
0094      VV=VU
0095      GOTO114
0096      112  ASSIGN 320 TO ILB
0097      VV=0.9*VU
0098      114  AUX=EB/(1.-VV*VV)
0099      CR(1,1)=AUX*(D(1)+VV*D(2))
0100      CR(2,1)=AUX*(D(2)+VV*D(1))
0101      C****
0102      IF(CR(1,1).GT.CR(2,1))STOP2510
0103      C****
0104      GOTO ILB
0105      118  IF((D(1).EQ.0.).AND.(D(2).EQ.0.))GOTO320
0106      C****
0107      IF((CR(1,1).EQ.0.).AND.(CR(2,1).EQ.0.))STOP2511
0108      C****
0109      A=CR(2,1)/CR(1,1)
0110      IF((CR(1,1).GE.0.).AND.(CR(2,1).GE.0.))GOTO112
0111      IF(A.GE.-0.50)GOTO125
0112      C---- DOMAINE COMPRESSION-TRACTION LINEAIRE
0113      119  AUX=VU*(0.9-0.05/A)
0114      IF(ABS(AUX-VV).LT.0.001)GOTO320
0115      ASSIGN 120 TO ILB
0116      VV=AUX
0117      GOTO114
0118      120  A=CR(2,1)/CR(1,1)
0119      C****
0120      IF(A.GE.-0.49)STOP2512
0121      C****
0122      GOTO119
0123      C---- DOMAINE NON LINEAIRE
0124      125  CR(1,1)=CP(1)
0125      CR(2,1)=CP(2)
0126      AUX=0.01
0127      A0=CR(2,1)/CR(1,1)
0128      A9=A0
0129      C####
0130      IF(I.NE.JPACO)GOTO161
0131      126  WRITE(LU1,160)I,ICA,A0
0132      160  FORMAT(27,X*EL:"14," C:"13,5X"A:"10X"FF:"10X"C1(1):"10X"C1(2):"
0133      C10X"A1="F10.3)
0134      161  CONTINUE
0135      C####
0136      M=0
0137      M1=0
0138      M2=0
0139      C****
0140      IF(D(1).GE.0.)STOP2513
0141      C****
0142      IF(D(2).NE.0.)GOTO165
0143      IZ=0
0144      A=0.2
0145      A9=A
0146      GOTO170
0147      165  IZ=1
0148      AX1=1.
0149      AX2=0.201
0150      IF(D(2).LT.0.)GOTO166
0151      IZ=2
0152      AX1=0.199
0153      AX2=-0.5
0154      166  A0=AMIN1(A0,AX1-0.9*AUX)
0155      A0=AMAX1(A0,AX2+0.9*AUX)
0156      DO 300 J=0,200
0157      DO 200 K=-1,1,2
0158      A=A0+K*J*AUX

```

```

0159      IF(K.EQ.-1)GOTO168
0160      IF(N1.EQ.1)GOTO280
0161      IF(A.LT.AX1)GOTO170
0162      N1=1
0163      A=AX1
0164      GOTO170
0165      168      IF(N2.EQ.1)GOTO280
0166      IF(A.GT.AX2)GOTO170
0167      N2=1
0168      A=AX2
0169      C****
0170      IF(J.EQ.0)STOP2514
0171      C****
0172      170      CALL ROT(-2.5,-2.5*A,ER,SR1,FB,EB,GA,LU1)
0173      EBJ=EB/(1.-VU*A)
0174      DO 200 H=1,2
0175      AUX0=0(H)/ER(H)
0176      C****
0177      IF(AUX0.GE.0.)GOTO175
0178      WRITE(LU1,171)I,ICA-N,A,D,ER
0179      171      FORMAT(3I6,6E12.5)
0180      STOP2515
0181      C****
0182      175      IF((N.EQ.1).OR.(A.LT.0.199).OR.(A.GT.0.201))GOTO172
0183      CR(2,1)=-10000.
0184      GOTO200
0185      172      IF(AUX0.LT.1.)GOTO198
0186      C****
0187      IF(N.EQ.2)STOP2517
0188      C****
0189      IF(IPACO.NE.1)GOTO173
0190      IF(N.EQ.1)GOTO305
0191      GOTO200
0192      173      IF(IZ.EQ.0)GOTO305
0193      IF(IZ.EQ.2)GOTO195
0194      IF((N.EQ.1).AND.(K.EQ.1))N1=1
0195      IF((N.EQ.1).OR.(K.EQ.1))GOTO280
0196      IF(A.GE.0.210)GOTO174
0197      A=A+AUX*0.1
0198      GOTO170
0199      174      N2=1
0200      GOTO280
0201      195      IF((N.EQ.1).AND.(K.EQ.-1))N2=1
0202      IF((N.EQ.2).AND.(K.EQ.-1).AND.(A.LE.0.))N2=1
0203      IF((N.EQ.1).OR.(K.EQ.-1).OR.(A.LE.0.))GOTO280
0204      IF(A.LE.0.190)GOTO196
0205      A=A-AUX*0.1
0206      GOTO170
0207      196      N1=1
0208      GOTO280
0209      198      CR(H,1)=EBJ*D(H)/(1.+(EBJ*ER(H)/SR1
0210      C-1.-GA)*AUX0+GA*AUX0**2)
0211      IF(IZ.EQ.0)GOTO311
0212      EBJ=EB/(A-VU)
0213      200      CONTINUE
0214      IF(IPACO.EQ.0)GOTO199
0215      CR(2,1)=CR(1,1)*A9
0216      GOTO500
0217      199      FFF=CR(1,1)-CR(2,1)
0218      C&&&&
0219      IF(I.NE.JPACO)GOTO207
0220      201      WRITE(LU1,206)A,FFF,CR(1,1),CR(2,1)
0221      206      FORMAT(11X,F10.5,3F16.3)
0222      207      CONTINUE
0223      C&&&&
0224      IF(M.NE.0)GOTO209
0225      CRA=CR(1,1)
0226      CRB=CR(2,1)
0227      209      IF(ABS(FFF).LE.0.01)GOTO310
0228      IF(M.NE.0)GOTO210
0229      N=1
0230      I0=1
0231      IF(FFF.LT.0.)I0=-1
0232      GOTO 280
0233      210      I1=1
0234      IF(FFF.LT.0.)I1=-1
0235      IF(I0.EQ.I1)GOTO270
0236      IF(CR(2,1).LT.-9999.)GOTO215
0237      IF(M.NE.2)GOTO220
0238      IF(A.LE.0.190).OR.(A.GE.0.210)GOTO310

```

```

0239 215 CR(2,1)=CR(1,1)
0240 GOTO310
0241 220 M=2
0242 A=A-K*AUX*0.9
0243 GOTO170
0244 270 IF(M.NE.2)GOTO280
0245 A=A+K*AUX*0.1
0246 GOTO170
0247 280 IF(J.EQ.0)GOTO 300
0248 290 CONTINUE
0249 IF(M1*M2.EQ.1)GOTO305
0250 300 CONTINUE
0251 C****
0252 STOP2516
0253 C****
0254 C-----ELEMENT EN RUPTURE
0255 305 IF(A9.LT.-1./15.)GOTO306
0256 IF((IPACO.EQ.1).OR.(A9.GE.0.2))GOTO304
0257 GOTO313
0258 304 IR=1
0259 GOTO521
0260 306 IF(A9.GT.-0.5)GOTO309
0261 WRITE(LU1,307)I,ICA,A9,ALFA,(AT(M,1),M=1,3),(DF(M),M=1,3)
0262 A9=-0.4999999
0263 307 FORMAT('X'/'DISCONT.'/'X*EL:'/'I4' C:'/'I3,4X"A9:"/'E10.4,3X"ALFA:"/'E10.4,
0264 C/'X*AT:'/'J5,4,5X"DEFI:"/'J5,4)
0265 309 CALL ROT(-2.5,-2.5+A9,ER,SR1,FB,EB,GA,LU1)
0266 IF((IPACO.EQ.1).OR.(A9.LE.-0.4999))GOTO312
0267 313 IPACO=1
0268 GOTO125
0269 312 AT(5,1)=SR1*A9/(FA/EA-ER(2))*2
0270 GOTO330
0271 310 CR(1,1)=0.5*(CR(1,1)+CR(2,1))
0272 311 CR(2,1)=A*CR(1,1)
0273 GOTO500
0274 C-----RUPTURE DOMAINE LINEAIRE
0275 320 AUX=FB*(1./3.)
0276 IF(CR(1,1).LT.0.)AUX=(AUX*A-0.366157)/A
0277 AUX=FB*0.64/AUX
0278 IF(CR(2,1).LT.AUX)GOTO500
0279 AUX0=AUX*(1.-VY/A)/EB
0280 AT(5,1)=AUX/(FA/EA-AUX0)*2
0281 C-----FISSURATION DES ELEMENTS
0282 330 TK=ALFA*180./3.141592
0283 J=-1
0284 IF(TK.LE.0.)J=1
0285 TK=TK+90.*J
0286 IF(TK.LT.0.)TK=TK+180.
0287 AT(4,1)=TK
0288 IP(4)=2
0289 INAM(2)=2HF9
0290 GOTO900
0291 C-----ORIENTATION CONTRAINTES RESIDUELLES
0292 500 T(1,1)=C2
0293 T(1,2)=S2
0294 T(1,3)=-2*SC
0295 T(2,1)=S2
0296 T(2,2)=C2
0297 T(2,3)=2*SC
0298 T(3,1)=SC
0299 T(3,2)=-SC
0300 T(3,3)=C2-BS2
0301 M=0
0302 501 A=CR(2,1)/CR(1,1)
0303 AUX8=CR(1,1)
0304 AUX9=CR(2,1)
0305 AUX7=A
0306 CALL PHM(T,CR,3,3,1,TO)
0307 L=0
0308 AUX6=AMINI(AUX8,AUX9)
0309 00520 J=1,2
0310 AUX=AMAX1(0.9,XTOLER*ABS(AUX6))
0311 IF(ABS(CP(J)-AUX6).LE.AUX)GOTO525
0312 IF((M.EQ.1).OR.(A9.GE.0.2).OR.(A.LE.-0.5))GOTO509
0313 M=1
0314 CR(1,1)=CRA
0315 CR(2,1)=CRA*A0
0316 WRITE(LU1,502)I,ICA,CRA,CRB
0317 502 FORMAT('X'/'EL:'/'I5,' C:'/'I3,5X"CRA,CRB:"/'2F10.1)
0318 GOTO501

```

```

0319 509 L=1
0320 IF((A.LT.0.18).OR.(A.GT.0.22))TOLER=1
0321 525 AUX6=AMAX1(AUX8,AUX9)
0322 520 CONTINUE
0323 DO526 J=1,3
0324 CR(J,1)=AT(J,1)-TC(J,1)
0325 526 AT(J,1)=TC(J,1)
0326 C***
0327 IF((L.EQ.0).AND.(I.NE.JPACO))GOTO529
0328 524 BUX1=SQRT((BUF(4)-BUF(5))*2+4.*BUF(6)*2)/2.
0329 BUX2=(BUF(4)+BUF(5))/2.
0330 BUX2=BUX2+BUX1
0331 BUX1=BUX2-2*BUX1
0332 BUX3=BUX2/BUX1
0333 521 WRITE(LU1,34)I,ICA
0334 WRITE(LU1,32)BUF
0335 IF(IR.EQ.1)GOTO545
0336 WRITE(LU1,523)TC,CR,AUX8,AUX9,AUX7,BUX1,BUX2,BUX3
0337 523 FORMAT('X' TEF: '3E15.5,5X' TRES: '3E15.5,
0338 C/X' TPF: '2E15.5,2X' ALFA: 'F9.3,4X' TPC: '2E15.5,2X, 'ALFA: 'F9.3)
0339 529 CONTINUE
0340 C***
0341 540 IF(IR.NE.1)GOTO549
0342 545 WRITE(LU1,546)I,ICA
0343 546 FORMAT('/X' BETON EN RUPTURE!!'5X'I,ICA:'2I5)
0344 C***
0345 STOP 1746
0346 C***
0347 549 IP(4)=1
0348 550 INAM(2)=2HF8
0349 900 CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3),IP(4),IP(5))
0350 END
0351 C----
0352 C----
0353 C-----SUBROUTINE "PMN" POUR OBTENIR LE PRODUIT MATRICIEL (A)*(B)=(C)
0354 C-----
0355 SUBROUTINE PMN(A,B,N1,N2,N3,C)
0356 DIMENSION A(N1,N2),B(N2,N3),C(N1,N3)
0357 DO 20 I=1,N1
0358 DO 20 K=1,N3
0359 Z=0
0360 DO 10 L=1,N2
0361 10 Z=Z+A(I,L)*B(L,K)
0362 20 C(I,K)=Z
0363 END
0364 C-----
0365 C-----
0366 C-----SUBROUTINE "ROT" POUR OBTENIR LES CONTRAINTES ET DEFORMATIONS
0367 C-----EN RUPTURE
0368 C-----
0369 SUBROUTINE ROT(T1,T2,ER,SRI,FB,EB,GA,LU1)
0370 DIMENSION ER(3),D(13),E(3,13)
0371 DATA D/1.,.82,.64,.525,.2,.13,0.,-.052,-.07,-.103,-.204,-.35,-.5
0372 C/,E/-2.6,-2.6,3.39,-2.88,-1.96,3.12,-3.1,-1.33,2.5,
0373 C-3.08,-0.76,1.96,-3.15,0.,1.64,-3.0,0.53,1.33,
0374 C-2.18,0.8,0.8,-1.43,0.6,0.28,-1.23,0.49,0.22,
0375 C-0.85,0.29,0.14,-0.46,0.19,0.052,-0.315,0.17,0.22,
0376 C-0.18959,0.12065,0.017235/
0377 A=T2/T1
0378 VU=0.2
0379 C-----CONTROLE T1<=T2 ; T1<0 ; A>=0.5
0380 C****
0381 IF(T1.GT.T2)STOP31
0382 C****
0383 IF(A.LT.-0.50001)STOP33
0384 C****
0385 IF(T1.GE.0.)STOP34
0386 C****
0387 C-----OBTENTION CONTRAINTE RUPTURE SRI
0388 AUX0=FB*(1./3.)
0389 IF(A.GT.-1./15.)GOTO10
0390 SRI=0.64*FB/(A+AUX0-0.366157)
0391 GOTO20
0392 10 AUX=3.65
0393 IF(A.LT.0.)AUX=(15.*AUX0-43.05468)/(AUX0+5.49236)
0394 SRI=-(1.+AUX*A)*FB/(1.+A)**2
0395 C-----OBTENTION DEFORMATIONS EN RUPTURE
0396 20 GA=AMAX1(0.,AMIN1(1.,1.+10.*A))
0397 RM=FRM(A)
0398 DO30 I=1,13

```



```

0399      IF(A.GT.D(I))GOTO40
0400 30    CONTINUE
0401      I=13
0402 40    IF(I.EQ.1)STOP36
0403 C****
0404      RM0=FRM(D(I-1))
0405      RM1=FRM(D(I))
0406      DO60 J=1,3
0407      ER(J)=E(J,I-1)+(E(J,I)-E(J,I-1))/(RM1-RM0)*(RM-RM0)
0408      ER(J)=ER(J)*1.E-03
0409 60    CONTINUE
0410      AUX=EB/(1.-VU*A)
0411      DO90 J=1,3
0412      AUX0=AUX*ER(J)/SR1-1.-GA
0413      IF(AUX0.GE.0.)GOTO80
0414      AUX2=ER(J)
0415      AUX0=AUX0+1.+GA
0416      ER(J)=(1.+GA)*SR1/AUX
0417 80    IF((J.EQ.1).AND.(A.EQ.VU))J=2
0418      IF(J.EQ.1)AUX=EB/(A-VU)
0419      IF(J.EQ.2)AUX=-EB/(VU*(1.+A))
0420 90    CONTINUE
0421      END
0422 C----
0423 C---- FUNCTION FRM
0424 C----
0425      FUNCTION FRM(A)
0426      FRM=-1
0427      IF(A.LT.0)FRM=3.
0428      PI=3.141592
0429      B=A
0430      IF(A.EQ.0.)B=1.E-20
0431      FRM=(ATAN(1./B)+FRM*PI/4.)/PI*6.4
0432      END
0433      ENDS

```

SFL10 T=00003 IS ON CR00040 USING 00019 BLKS R=0000

```

0001      FTH4
0002 C-----DATE: 16/12/78
0003      PROGRAM FL10
0004 C*****
0005 CC*
0006 CC*      PROGRAMME POUR LA VERIFICATION DE LA VALIDITE DE LA
0007 CC*      SOLUTION OBTENUE A CHAQUE ITERATION. SORTIE DES RESULTATS.
0008 CC*      STOCKAGE DES RESULTATS DANS LE DISQUE. PASSAGE AU CAS SUIVANT.
0009 CC*
0010 C*****
0011      DIMENSION IP(5), TENS(5), CPR(2), IBUF(56), JFIL(3), SBUF(4,3,50)
0012 C, LBUF(8402), RBUF(5)
0013 C, TBUF(5)
0014      COMMON IGO(5), IWO(6), IWO1(6), IWO2(6), IWO3(6), IWO4(6),
0015 C INAM(3), IFIL(3), NE, NP, NR, NB, NC, EB, EA, VU, FB, FA, DA, TO, ESP,
0016 C JJC, IOFF, ITER, TOLER, NITER, NCAP, NCAPB, MCAP(60), JCO,
0017 C CNPE(3,350), ZCOR(20), EPZ(20), DEF(6,350), AXBUF(60),
0018 C CJCOR(2,200), CHARG(1000), FPRT(10), ILM(2,60),
0019 C CNPT, NPK, NPISP, NPAUX, NPKP, NPB, NPDJ, NPCC
0020 C EQUIVALENCE(LU1, IGO(4)), (LBUF(3), SBUF), (LBUF(2), RBUF)
0021 C DATA JFIL/2HRE, 2HSU, 2HLT/
0022 C-----NOMBRE SECTEURS JFIL:66*NC
0023 C-----
0024 C-----CALL RMPAR(IP)
0025 C-----SORTIE DES FORCES NODALES NON EQUILIBREES.
0026      IF((NITER.EQ.10000).OR.(MOD(ITER-1,NITER).NE.0))GOTO170
0027      WRITE(LU1,110)JCO,ITER,0.05,0.01,0.05
0028 110  FORMAT(4//,X"CAS CHARG.:"14,5X"ITER.:"15,5X
0029 C" TOL. CONTR.(%)="F5.2,2X,"(ACIER(%))="F5.2")",2X"(BET.FISS."
0030 C"(%)="F6.3")",2/
0031 C" NOEUD"4X"F.RES.X(KG.)"4X"F.RES.Y(KG.)"4X"F.RES.Z(KG.)"3X
0032 C" M.RES.TX(K.CM)"2X"M.RES.TY(K.CM)" )
0033 140  DO 160 I=1,NP
0034      WRITE(LU1,155)I,(CHARG(5*I+J),J=-4,0)
0035 155  FORMAT(I6,5(F11.4,5X))
0036 160  CONTINUE
0037 170  IF(TOLER.EQ.0.)GOTO200
0038      IF(ITER.GT.2)GOTO200
0039 C-----CONTRAINTES NON EQUILIBREES NON NEGLIGEABLES.HOUV.ITER.
0040      ITER=ITER+1
0041      INAM(2)=2HF6
0042      TOLER=0.
0043      GOTO1040
0044 C-----
0045 C-----SORTIE DES CONTRAINTES
0046 C-----
0047 200  WRITE(LU1,210)2HEL,2HEM,2HEN,2HTS,2H ,2H
0048 210  FORMAT(3//,X,6A2,23X"(KG/CM2)",2//,4X"I(C)"10X"SX"6X"SY"5X"TXY"5X
0049 C"S-I"5X"S-II"2X"ALFA(DEG) ALFA FIS."5X"EPS-X"7X,
0050 C"EPS-Y"6X"GAM-XY",/79X"PSI-XX"6X"PSI-YY"5X"PSI-XY")
0051      IWO(4)=NP
0052      IWO(5)=0
0053      IWO(6)=0
0054      L=0
0055      DO290 J=1,NE
0056      HN=0
0057      JCA=NCAP
0058      IF(J.GT.NE-NB)JCA=MCAP(J-NE+NB)
0059      DO290 ICA=1,JCA
0060      K=2HBE
0061      IF(ICA.LE.2)K=2HAC
0062      CALL BUR(1,IWO,TENS,10)
0063      IF(TENS(5).NE.0.)K=2HF1
0064      IF(TENS(4).GT.900.)K=2HF2
0065      CALL CPRIM(TENS(1),TENS(2),TENS(3),CPR(1),CPR(2),AUX)
0066      AUX=AUX+180./3.141592
0067      AUX0=1.E+20
0068      IF(TENS(5).EQ.0.)GOTO239
0069      AUX0=TENS(4)
0070      IF(AUX0.GT.900.)AUX0=AUX0-1000.
0071      IF(AUX0.GT.90.)AUX0=AUX0-180.
0072 239  CALL CODE
0073      WRITE(IBUF,240)J,ICA,K,(TENS(M),M=1,3),CPR,AUX,AUX0,(DEF(M,J)
0074 C,N=NN+1,NN+3)
0075 240  FORMAT(14,"("11")-("A2")"6F8.1,8X,F8.1,3E12.4)
0076      IF(ICA.LE.2)GOTO246
0077      DO 245 K=39,56
0078 245  IBUF(K)=2H

```

```

0079 246 WRITE(LU1,247)IBUF
0080 247 FORMAT(56A2)
0081 NN=3
0082 290 CONTINUE
0083 C-----
0084 IWO(4)=NPT
0085 IWO(5)=0
0086 IWO(6)=0
0087 C-----STOCKAGE CONTRAINTES DES COUCHES:3,(3+NCAP)/2,NCAP
0088 LBUF(1)=JCO
0089 K=(3+NCAP)/2
0090 DO400 I=1,NE
0091 JCA=NCAP
0092 IF(I.GT.NE-NB)JCA=NCAP(I-NE+NB)
0093 J=0
0094 DO400 ICA=1,JCA
0095 IF((ICA.NE.3).AND.(ICA.NE.K).AND.(ICA.NE.NCAP))GOTO390
0096 CALL BUR(1,IWO,TBUF,10)
0097 J=J+1
0098 C****
0099 IF(J.GT.3)STOP3776
0100 C****
0101 DO350 L=1,4
0102 350 SBUF(L,J,I)=TBUF(L)
0103 GOTO400
0104 CALL SWO(IWO,IWO,10)
0105 390 CONTINUE
0106 400 J=66*(JC-1)
0107 CALL EXEC(15,102B,LBUF,8402,JFIL,J)
0108 C-----NOUVEAU CAS DE CHARGEMENT
0109 JC=JC+1
0110 JCO=JCO+1
0111 ITER=1
0112 IF(JC.GT.NC)GOTO 1050
0113 IWO(4)=NPCC
0114 IWO(5)=0
0115 IWO(6)=0
0116 CALL SWO(IWO,IWO,I0FF)
0117 DO 1000 I=1,NP+1
0118 CALL BUR(1,IWO,LBUF,11)
0119 I0FF=I0FF+11
0120 IF(LBUF(1).EQ.0)GOTO1010
0121 J=LBUF(1)
0122 DO350 K=-4,0
0123 550 CHARG(5*J+K)=CHARG(5*J+K)+RBUF(5+K)
0124 1000 CONTINUE
0125 C-----RETOUR AU PROGRAMME ELF3
0126 1010 INAM(2)=2HF4
0127 1040 CALL EXEC(10,INAM,IP(1),IP(2),IP(3))
0128 GOTO9999
0129 C-----C'ETAIT LE DERNIER CAS DE CHARGEMENT
0130 C****
0131 1050 IF(IG0(1).GE.0)STOP3777
0132 C****
0133 GOTO 1010
0134 9999 END
0135 C-----SUBROUTINE *CPRIN* POUR LE CALCUL DES CONTRAINTES PRINCIPALES
0136 SUBROUTINE CPRIN(TX,TY,TXY,T1,T2,ALFA)
0137 T1=0.
0138 T2=0.
0139 ALFA=0.
0140 IF(TX.EQ.TY)GOTO5
0141 ALFA=0.5*ATAN(2.*TXY/(TX-TY))
0142 GOTO 10
0143 5 ALFA=0.5*3.141592/2.
0144 IF(TXY.EQ.0.)ALFA=0.
0145 IF(TXY.LT.0.)ALFA=-ALFA
0146 10 SC=COS(ALFA)
0147 T1=SIN(ALFA)
0148 C2=SC*SC
0149 S2=T1*T1
0150 SC=SC*T1
0151 T1=C2*TX+S2*TY+2*SC*TXY
0152 T2=S2*TX+C2*TY-2*SC*TXY
0153 END
0154 END*

```

SFL11 T=00003 IS ON CR00040 USING 00016 BLKS R=0000

```

0001      FTN4
0002 C-----DATE: 22/2/79
0003      PROGRAM FL11
0004 C*****
0005 C*
0006 C*      PROGRAMME POUR LE TRACE DES COURBES DE CONTRAINTES
0007 C*      PRINCIPALES.
0008 C*
0009 C*****
0010      DIMENSION LBUF(8402),SBUF(4,3,350)
0011      C, IP(5),JFIL(3),X(350),Y(350),CPR(2)
0012      COMMON IGO(5),IWO(6),IWO1(6),IWO2(6),IWO3(6),IWO4(6),
0013      CINAH(3),IFIL(3),NE,NP,NR,NB,NC,EB,EA,VU,FB,FA,DA,TO,ESP,
0014      CJC,IQFF,ITER,TOLER,NITER,NCAP,NCAPB,NCAP(60),JCO,
0015      CNPE(3,350),ZCOOR(20),EPZ(20),DEF(6,350),AXBUF(60),
0016      JCOOR(2,200),CHARG(1000),FPRT(10),ILM(2,60),
0017      CNPT,NPK,NPISP,NPAUX,NPKP,NPB,NPDJ,NPCC
0018      EQUIVALENCE(IGO(3),LU),(LBUF(3),SBUF)
0019      C,(X,CHARG),(Y,CHARG(501))
0020      DATA JFIL/2HRE,2HSU,2HLT/
0021 C-----
0022      CALL RMPAR(IP)
0023 C-----
0024 C-----
0025 C-----LECTURE CONTRAINTES DU FICHIER 'JFIL'
0026 C-----
0027 C-----
0028      5      PAUSE 33
0029      READ(1,*)NMC
0030      IF(NMC.EQ.0)GOTO2000
0031      J=66*(NMC-1)
0032      CALL EXEC(14,102B,LBUF,8402,JFIL,J)
0033      JCO=LBUF(1)
0034 C-----LECTURE DONNEES
0035      20     READ(1,*)ESC,XL,YL
0036 C-----
0037      CALL PLTLU(10)
0038 C-----
0039 C-----TRACE VECTEURS DES CONTRAINTES PRINCIPALES DANS LE BETON
0040      DO15 I=1,NE
0041      X(I)=0.
0042      Y(I)=0.
0043      DO14 J=1,3
0044      K=NPE(J,I)
0045      X(I)=X(I)+JCOOR(1,K)/3.
0046      Y(I)=Y(I)+JCOOR(2,K)/3.
0047      14     CONTINUE
0048      15     CONTINUE
0049      35     X1=1.E+30
0050      Y1=1.E+30
0051      Y2=-1.E+30
0052      X2=-1.E+30
0053      DO40 I=1,NE
0054      X1=AMINI(X1,X(I))
0055      Y1=AMINI(Y1,Y(I))
0056      Y2=AMAX1(Y2,Y(I))
0057      X2=AMAX1(X2,X(I))
0058      40     CONTINUE
0059      X1=AMINI(X1,0.)
0060      Y1=AMINI(Y1,0.)
0061      X2=(X2-X1)/XL
0062      Y2=(Y2-Y1)/YL
0063 C*****
0064 C***** IF(ABS(X1)+ABS(Y1).GT.0.1)STOP7770
0065 C*****
0066      Y1=(30.-YL)/2.
0067      CALL PLOT(0.,Y1,-3)
0068      DO 1000 ICA=1,3
0069      PAUSE 44
0070      DO 500 I=1,NE
0071      CALL CPRIN(SBUF(1,ICA,I),SBUF(2,ICA,I),SBUF(3,ICA,I),CPR(1),
0072      C,CPR(2),ALFA)
0073      IF(ICA.NE.1)GOTO45
0074      X(I)=X(I)/X2
0075      Y(I)=Y(I)/Y2
0076      45     DO 480 K=1,2
0077      CALL FLECH(CPR(K),ALFA+3.141592/2.*(K-1),X(I),Y(I),ESC)
0078      480     CONTINUE

```

```

0079      500  CONTINUE
0080      PAUSE 55
0081  C----  ELEMENTS FISSURES
0082      DO600 I=1,NE
0083      IF(SBUF(4,ICA,I).EQ.0.)GOTO600
0084      AUX0=SBUF(4,ICA,I)
0085      IF(AUX0.GT.900.)AUX0=AUX0-1000.
0086      AUX0=AUX0*3.141592/180.
0087      AUX0=AUX0+3.141592/2.
0088      CCC=0.5*COS(AUX0)
0089      SSS=0.5*SIN(AUX0)
0090      CALL PLOT(X(I)-CCC,Y(I)-SSS,3)
0091      CALL PLOT(X(I)+CCC,Y(I)+SSS,2)
0092      IF(SBUF(4,ICA,I).LE.900.)GOTO600
0093      CALL PLOT(X(I)+SSS,Y(I)-CCC,3)
0094      CALL PLOT(X(I)-SSS,Y(I)+CCC,2)
0095  600   CONTINUE
0096      CALL PLOT(0.,0.,3)
0097      1000 CONTINUE
0098      GOTO5
0099  C****
0100  2000 STOP7777
0101  C****
0102      END
0103  C-----SUBROUTINE *CPRIN* POUR LE CALCUL DES CONTRAINTES PRINCIPALES
0104      SUBROUTINE CPRIN(TX,TY,TXY,T1,T2,ALFA)
0105      T1=0.
0106      T2=0.
0107      ALFA=0.
0108      IF(TX.EQ.TY)GOTO5
0109      ALFA=0.5*ATAN(2.*TXY/(TX-TY))
0110      GOTO 10
0111  S      ALFA=0.5*3.141592/2.
0112      IF(TXY.EQ.0.)ALFA=0.
0113      IF(TXY.LT.0.)ALFA=-ALFA
0114      10   SC=COS(ALFA)
0115      T1=SIN(ALFA)
0116      C2=SC*SC
0117      S2=T1*T1
0118      SC=SC*T1
0119      T1=C2*TX+S2*TY+2*SC*TXY
0120      T2=S2*TX+C2*TY-2*SC*TXY
0121      END
0122  C-----SUBROUTINE *FLECH* POUR LE TRACE DES VECTEURS
0123      SUBROUTINE FLECH(TENS,ALF,X,Y,ESC)
0124      ALFA=ALF
0125      BUX=ABS(TENS*ESC)/2.
0126      DO200 II=1,2
0127      AUX=BUX
0128      CALL PLOT(X,Y,3)
0129      X0=X+AUX*COS(ALFA)
0130      Y0=Y+AUX*SIN(ALFA)
0131      AUX=AUX/5.
0132      J=1
0133      IF(TENS.LT.0.)J=-1
0134      DO 100 I=-1,1,2
0135      X1=X0-AUX*COS(ALFA+I*3.141592/6.)*J
0136      Y1=Y0-AUX*SIN(ALFA+I*3.141592/6.)*J
0137      CALL PLOT(X0,Y0,2)
0138      CALL PLOT(X1,Y1,2)
0139      100  CONTINUE
0140      ALFA=ALFA+3.141592
0141      200  CONTINUE
0142      END
0143      END*

```