TABLIERS - DALLES BIAIS OU COURBES

PROGRAMME DE CALCUL MRB - EL



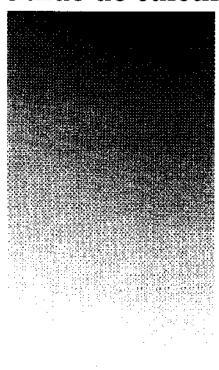




TABLIERS - DALLES BIAIS OU COURBES

PROGRAMME DE CALCUL MRB - EL

Guide de calcul



Mai 1995

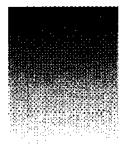
Document réalisé et diffusé par le



SERVICE D'ÉTUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES

Centre des Techniques d'Ouvrages d'Art

46, avenue Aristide Briand - B.P. 100 - 92223 Bagneux Cedex - FRANCE TÉL : (1) 46 11 31 31 - Télécopieur : (1) 46 11 31 69 - Telex 632263



Ce document a été réalisé sous la direction de M. A. L. MILLAN, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, par :

MM. H. Huynh et V. Le Khac, Ingénieurs E.N.P.C.

La présentation a été assurée avec l'aide de M. J. P. Gilcart

Division Méthodologie et Logiciels Arrondissement Ouvrages courants

NOTE DE PRESENTATION

Les programmes PSIDA et PSIDP du SETRA calculent les tabliers-dalles en béton armé et en béton précontraint, de biais et de courbure en plan modéré, c'est-à-dire pour des angles de biais mécaniques (l'angle de biais mécanique est celui formé par la direction des plus grands moments en travée et la perpendiculaire aux bords libres) supérieurs à 70 grades environ et pour des portées angulaires (c'est-à-dire rapports des portées développées au rayon de courbure en plan) ne dépassant pas 0,3 radians.

Les tabliers-dalles de biais et de courbure en plan plus prononcés, en raison de la torsion introduite et de la répartition des efforts (dans les angles obtus et vers les bords libres) différente de celle fournie par la méthode de Guyon-Massonnet-Barres utilisée par les programmes PSIDA et PSIDP, sortent du domaine d'utilisation de ces derniers. Le programme MRB, permettant d'étudier ces cas particuliers, qui se rencontrent de plus en plus dans la construction des ouvrages d'art courants en raison des servitudes de terrain, complète la panoplie des programmes de calcul de tabliers-dallles du SETRA.

La méthode utilisée est celle développée par J. Leray, professeur au Collège de France, connue sous le nom de "Méthode par Réflexions Bi-harmoniques" (M.R.B.), dont on trouvera une brève présentation en Annexe 3.

Le présent document est essentiellement destiné à mettre en conformité le programme de calcul MRB existant avec la réglementation actuelle (B.A.E.L.91 et B.P.E.L.91). De ce fait, il remplace le dossier MRB.BP 70 (édition septembre 1970) et les "Extraits" MRB.BP 78 (édition mai 1978).

En outre, par rapport à l'ancien programme MRB, un effort important a été consacré à l'ergonomie du bordereau des données, qui a été repensé dans l'esprit d'un format "semi-libre" permettant une plus grande souplesse d'utilisation et supprimant toute donnée redondante.

Dans ce même esprit, certaines fonctionnalités supplémentaires ont été développées, telles que la génération automatique des données relatives au calcul du tablier d'un passage inférieur en portique ouvert (PIPO) biais, la simplification des données relatives aux charges permanentes non réparties, aux charges variables quelconques et aux poussées au vide de la précontrainte.

SOMMAIRE

	Page
1. GENERALITES	7
2. NOTE EXPLICATIVE DES DONNEES	9
- TABLEAU 0 : Eléments comptables de la note de calcul	12
- TABLEAU A : Caractéristiques de la dalle et des appuis	12
- TABLEAU B : Matrices d'élasticité des appuis	18
- TABLEAU C : Spécifications de calcul et surfaces d'influence	20
- TABLEAU D : Charges permanentes	24
- TABLEAU E : Charge A(l)	30
- TABLEAU F : Charge B _c	33
- TABLEAU GA: Charges variables quelconques	36
- TABLEAU GB : Charges d'épreuve	38
- TABLEAU H : Caractéristiques des matériaux et classe de vérification	39
- TABLEAU IA: Actions verticales de la précontrainte	46
- TABLEAU IB: Actions horizontales d'une précontrainte longitudinale translatable	50
- TABLEAU IC : Actions horizontales d'une précontrainte quelconque	54
3. NOTE DE CALCUL COMMENTEE	59
4. ANNEXE 1 : Compléments sur la modélisation et les dispositions constructives	113
5. ANNEXE 2 : Modélisation du piédroit d'un portique ouvert pour MRB	127
6. ANNEXE 3 : Rappel de la Méthode par Réflexions Biharmoniques (MRB)	135
7. BORDEREAU DES DONNEES	En encart
8 GRILLE DE MODELISATION E	in encart

GENERALITES

Le programme MRB-EL est conçu pour l'étude des tabliers-dalles en béton armé ou en béton précontraint soumis à des conditions d'appui quelconques, dans lesquels on peut ranger les ponts-dalles de biais prononcé ou de forte courbure en plan.

Les seules conditions restrictives sont que la dalle doit être d'inertie isotrope et constante et que l'ouvrage doit posséder des bords rectilignes et parallèles, ou circulaires et concentriques.

1 - CONDITIONS D'EXPLOITATION.

L'exploitation du programme M.R.B. s'effectue en service bureau, comme pour l'ensemble des programmes de ponts types du SETRA : le client envoie le bordereau des données rempli au SETRA, Centre des Techniques d'Ouvrages d'Art, à l'attention du gestionnaire du programme, qui se charge de son passage en machine et de l'envoi de la note de calcul (en trois exemplaires). Le tarif correspondant est donné dans le barème des calculs automatiques d'ouvrages d'art, réévalué et diffusé annuellement. Le délai entre la réception du bordereau des données et le départ de la note de calcul est de l'ordre de 5 jours ouvrables.

Le bordereau peut être rempli sur papier ou sur disquette (sous forme ASCII).

2 - PRESENTATION DU PROGRAMME

La modélisation de l'étude des ponts-dalles par le programme MRB-EL est basée sur une représentation de l'ouvrage au moyen d'un maillage carré qui définit les points d'étude et les points de charge propres à la méthode utilisée par MRB.

Son fonctionnement peut être décomposé en trois étapes :

- Une étape d'interprétation des données qui permet de modéliser automatiquement la structure et les cas de charge sous une forme assimilable par le calculateur de structure. Il est ainsi possible de décrire avec un minimum de données:
 - des modélisations particulières telles que celles des portiques ouverts (PIPO),
 - les charges réglementaires A(l), B_c et des charges variables quelconques,
 - · les effets de la précontrainte, si besoin est.
- Une étape de calculs de structure qui fournit à la demande :
 - les effets d'une dénivellation d'appui sur les réactions d'appuis et le tenseur de flexion, résultats particulièrement utiles pour les opérations de vérinage et l'étude des effets des tassements d'appuis,
 - les surfaces d'influence des réactions d'appui, du déplacement vertical et des composantes du tenseur de flexion.
 - les états de déformation, de flexion et d'effort tranchant.
- Une étape de calculs d'application, destinée à fournir automatiquement les quantités d'armatures passives nécessaires, aussi bien pour les dalles en béton armé (application des règles B.A.E.L.) qu'en béton précontraint (application des règles B.P.E.L.).

3 - UNITES ADOPTEES

Les unités adoptées sont celles du Système International, recommandées par les Eurocodes, basées sur le système numérique décimal à sept unités de base :

- masses volumiques : kg/m³,
- poids volumiques: kN/m³,
- charges et les forces localisées ou réparties : kN, kN/m, kPa (ou kN/m²),
- moments: kN.m.
- contraintes : MPa.

Hormis ces unités de base, les autres données et résultats sont exprimés dans les unités d'usage, à savoir : les angles en grades, les sections d'armatures passives en cm², les sections d'armatures de précontrainte en mm² et la déformée de la dalle en mm.

RAPPEL:

- $1 \text{ kN} \approx 0.102 \text{ tf}$
- 1 MPa $\approx 102 \text{ tf/m}^2$.

4 - REGLEMENTS ET SIGLES UTILISES

Dans ce document, on désigne par :

- D.C.79: Les Directives Communes relatives au calcul des constructions de 1979.
- F 61, II : Fascicule 61, titre II, du CCTG, relatif au règlement de charges sur les ponts-routes.
- B.P.E.L. 91 : Règles de calcul de béton précontraint aux états-limites.
- B.A.E.L. 91 : Règles de calcul de béton armé aux états-limites.
- E.L.S.: états-limites de service.
- E.L.U.: états-limites ultimes.

NOTE EXPLICATIVE DES DONNEES

1 - REPRESENTATION GRAPHIQUE DU MODELE

On trouvera en encart à ce document des originaux du maillage carré en vue de la représentation graphique du modèle MRB de l'ouvrage étudié.

Ces documents ne peuvent être utilisés que pour les ouvrages à bords libres parallèles et rectilignes. Dans le cas d'ouvrages à bords libres circulaires et concentriques, de rayon R, le maillage est constitué de la manière suivante :

- les "I" sont des arcs de cercles concentriques au cercle de rayon R définissant l'axe longitudinal de l'ouvrage, l'effet rayonnant étant considéré dans le sens I croissant. Cette convention doit être rigoureusement respectée dans la modélisation ;
- les "J" sont des segments de droite radiaux espacés d'une maille sur l'axe longitudinal de l'ouvrage.

Avant de remplir le bordereau des données, on devra s'attacher à dessiner le modèle de l'ouvrage sur le maillage; au cours de ce travail, il pourra être nécessaire de simplifier, voire modifier certains éléments de la structure étudiée pour tenir compte des contraintes du programme.

Cette opération est fondamentale car elle facilite le remplissage des données et leur contrôle par le SETRA.

On indiquera:

- par un trait renforcé, les bords libres du modèle ;
- par un cercle, l'emplacement des points d'appui, en mentionnant leur numéro d'ordre ;
- les droites représentant les armatures de précontrainte qui limitent les zones de précontrainte longitudinale et transversale (si elles existent).

Sur des copies de ce dessin du modèle, il faut, s'il y a lieu :

- tracer les limites d'application des charges A(l) envisagées ;
- implanter les camions de la charge B_e;
- représenter les configurations des différents cas de charges variables quelconques.

2 - SYNTAXE DU BORDEREAU DES DONNEES

Le bordereau des données de MRB est de format "semi-libre". Il comporte quatre types de données :

- Les commentaires : toute ligne débutant par le caractère "#" est considérée comme une ligne de commentaires et ignorée par l'interpréteur. Ces lignes sont néanmoins très utiles pour identifier les données écrites sans ambiguïté.
- Les chaînes de caractères : les chaînes de caractères sont écrites entre quotes : 'xxx'. Les apostrophes internes aux chaînes doivent être doublées (exemple : 'REACTION D''APPUI'). L'utilisation du caractère "#", réservé aux commentaires, n'est pas permise.
- Les mots clés: les mots clés sont les entités permettant à l'interpréteur d'identifier les données. Ils sont fixés par la syntaxe du bordereau, largement explicitée ci-après. Ils peuvent comporter des lettres (A à Z et "_", blanc souligné) et des chiffres (0 à 9).
- Les données : elles peuvent être de type numérique, alphanumérique, ou être réduites au signe "=". Leur forme et leur utilisation sont détaillées ci-après.

ENTIER:

Toute suite de caractères purement numériques précédée ou non d'un signe est considérée comme entier. Il ne contient pas de point décimal.

Les notations suivantes sont acceptées comme entiers : (±)xxx (par exemple : -123).

Le signe + est pris par défaut.

REEL:

Toute suite de caractères purement numériques comportant éventuellement la lettre E pour l'exposant, des signes - et/ou un point décimal est considérée comme réel.

Les notations suivantes sont acceptées comme réels :

 $(\pm)xx.(xx)(E(\pm)xx)$ (par exemple : -1.E2, -100.).

Le signe + est pris par défaut, pour la mantisse et pour l'exposant.

ALPHANUMERIQUE:

Ces données servent à renvoyer sur une donnée numérique déjà connue ou pour stipuler une option (par exemple AP10 utilisé à la place d'une donnée renverra sur la donnée correspondante de l'appui 10).

CARACTERE "=":

Ce caractère désigne une valeur prise par défaut.

IMPORTANT:

- Dans les commentaires des données, une donnée est décrite sous sa forme littérale suivie par la mention (I) pour entier, (R) pour réel, (A) pour alphanumérique et (=) pour une valeur prise par défaut.
- Lorsque le signe "=" est pré-imprimé et que l'on ne désire pas conserver la valeur par défaut, il convient d'écrire la valeur souhaitée en surimpression.

3 - COMPOSITION DU BORDEREAU DES DONNEES

Le bordereau des données comporte les tableaux suivants :

- TABLEAU 0 : Eléments comptables de la note de calcul.

- TABLEAU A: Caractéristiques de la dalle et des appuis.

- TABLEAU B: Matrices d'élasticité des appuis.

- TABLEAU C: Spécifications de calcul et surfaces d'influence.

- TABLEAU D: Charges permanentes.

- TABLEAU E: Charge A(l).

- TABLEAUF: Charge B_c .

- TABLEAU GA: Charges variables quelconques.

TABLEAU GB: Charges d'épreuve.

- TABLEAU H: Caractéristiques des matériaux et classes de vérification.

- TABLEAU IA : Actions verticales de la précontrainte.

- TABLEAU IB: Actions horizontales d'une précontrainte longitudinale translatable.

TABLEAU IC : Actions horizontales d'une précontrainte quelconque.

4 - DONNEES REPETITIVES

L'utilisateur dispose, pour les données répétitives, d'un nombre limité de lignes, jugé suffisant dans les cas courants.

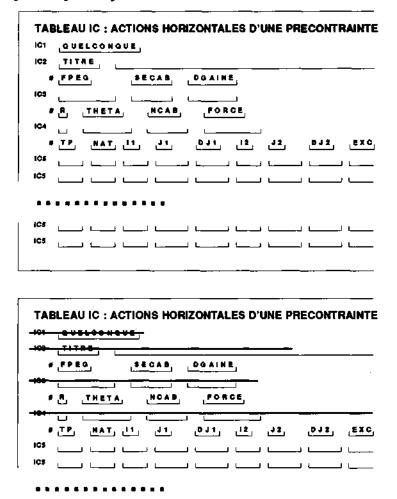
Lorsque ce nombre est insuffisant, il convient de :

- dupliquer la page,
- rayer les parties inutiles pour que la lecture se poursuive dans l'ordre.

Les données pouvant nécessiter le recours à cette démarche sont signalées par la mention :

DONNEES REPETITIVES (CF. § 4)

Par exemple, dans le cas où le nombre de lignes IC5 est insuffisant pour introduire les excentrements d'une précontrainte quelconque, on procédera comme suit :



5 - CONVENTIONS LIGNES-COLONNES

Les appellations de colonne de noeuds et de ligne de noeuds sont liées à la présentation des résultats sur la note de calcul, dans laquelle les colonnes et les lignes correspondent respectivement aux "I" et aux "J" de la représentation graphique du modèle. De même, la qualification de droite ou de gauche est en rapport avec la note de calcul, ainsi, le bord "gauche du modèle" est celui pour lequel les résultats sont donnés à "gauche" de la note de calcul et correspond à I=1.

TABLEAU 0

LIGNE 0

ELEMENTS COMPTABLES DE LA NOTE DE CALCUL

Ne pas remplir.

LIGNES T1, T2

TITRE DE L'OUVRAGE

Ce titre sera imprimé sur la page de garde de la note de calcul.

TABLEAU A

CARACTERISTIQUES DE LA DALLE ET DES APPUIS

LIGNE AT

DEFINITION DE LA BANDE INFINIE

MMAX (I)

Nombre de mailles représentant la largeur droite de l'ouvrage. On doit respecter les inégalités suivantes :

$6 \le MMAX \le 20$

Il est utile de limiter autant que possible la valeur de MMAX, car ce paramètre intervient dans le volume et le coût de la note de calcul. Un compromis doit être recherché entre le coût, la précision de calcul (pour les ouvrages de largeur droite supérieure à 20 m, on peut aller jusqu'à 2 m pour la dimension de la maille sans trop porter préjudice à la précision des calculs) et la possibilité de positionner les points d'appui (voir Annexe 1, § 1).

LIGNE A2

DEFINITION GENERALE DE L'OUVRAGE

HDALLE (R)

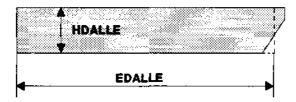
Epaisseur moyenne de la dalle en mètre, revêtement non compris. La coupe transversale de la dalle d'étude est un rectangle dont l'épaisseur est égale à la moyenne des distances droites entre l'intrados et l'extrados (encorbellements exclus) de la dalle réelle.

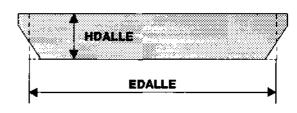
EDALLE (R)

Distance droite entre bords libres de la dalle en mètre.

Si la dalle ne comporte pas d'encorbellements, EDALLE est la largeur de la dalle équivalente (dalle rectangulaire de même épaisseur et de même inertie de flexion que la dalle étudiée) à la dalle prise dans sa totalité.

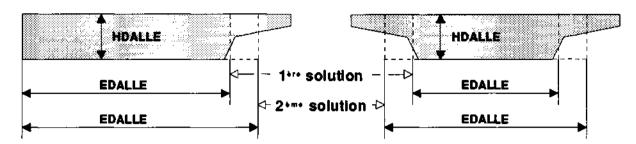
DALLE SANS ENCORBELLEMENTS





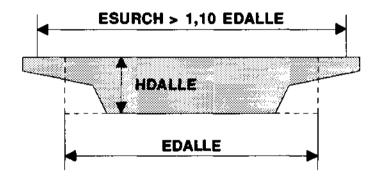
Si la dalle comporte des encorbellements, EDALLE est la largeur de la dalle équivalente soit à la nervure uniquement (lère solution), soit à la dalle prise dans sa totalité (2ème solution).

DALLE AVEC ENCORBELLEMENTS



Si la dalle comporte de larges encorbellements, il convient de choisir la première solution pour être dans le sens de la sécurité. La prise en compte des charges (permanentes et d'exploitation) en console peut être effectuée à l'aide du tableau D pour les charges permanentes (voir tableau D), du tableau E pour les charges A(l) (voir commentaires de la ligne E4) et des tableaux GA et GB pour les autres charges, en s'inspirant de la démarche exposée pour le tableau D.

DALLE AVEC LARGES ENCORBELLEMENTS



Les efforts, et donc les ferraillages transversal et longitudinal des encorbellements latéraux, s'il en existe, ne sont pas fournis par la note de calculs. Ils peuvent être justifiés à partir des indications de l'Annexe 3 (Calcul des encorbellements) du document "Guide de calcul du programme PSIDP.EL" du SETRA (Octobre 1985).

RC (R OU A)

Rayon en mètre du cercle définissant l'axe de symétrie longitudinal de la dalle d'étude, dans le cas d'un ouvrage courbe en plan. Dans la modélisation, il faut respecter la convention de MRB concernant l'effet rayonnant : pour un même angle au centre, la longueur des arcs croit avec I.

Porter D si l'ouvrage est rectiligne.

EI(ROU=), EV(ROU=)

Respectivement modules de déformation longitudinale instantanée et différée du béton de la dalle en MPa, servant à calculer la rigidité de la dalle.

Porter = si l'on veut adopter les valeurs réglementaires des modules de déformation du béton, calculées en fonction de la valeur de f_{c28} définie dans le tableau H.

NUELS (R OU =), NUELU (R OU =)

Coefficients de Poisson v avec lesquels le programme calcule *les efforts*, respectivement aux ELS et ELU.

Porter = si l'on veut adopter les valeurs 0,20 et 0,00 respectivement pour NUELS et NUELU.

NUDEF (R OU =)

Coefficient de Poisson utilisé dans le calcul des déformations aux ELS.

Porter = si l'on veut adopter la valeur 0,20.

REMARQUE:

 Le règlement B.A.E.L. 91 préconise, pour le coefficient de Poisson, sauf cas particuliers, la valeur 0,00 pour le calcul des efforts, tant aux ELS qu'aux ELU, et 0,20 pour le calcul des déformations.

Donc, selon la lettre du B.A.E.L. 91, il convient de porter 0,00 pour NUELS, et laisser la valeur par défaut pour NUELU (=0,00) et NUDEF (=0,20).

- Le règlement B.P.E.L. 91 indique que le coefficient de Poisson du béton non fissuré est pris égal à 0,20 et qu'il est pris égal à 0,00 en cas de fissuration. Ceci veut dire implicitement que le calcul des efforts doit être fait avec un coefficient de Poisson égal à 0,20 aux ELS et à 0,00 aux ELU. Pour le calcul des déformations, on peut admettre, sauf cas particuliers, la valeur 0,20 pour être en harmonie avec le B.A.E.L. 91.

Donc, selon l'esprit du B.P.E.L. 91, il convient de laisser les valeurs par défaut pour NUELS (=0,20), NUELU (=0,00) et NUDEF (=0,20), sachant que les déformations sont calculées seulement aux ELS.

LIGNE A3

DEFINITION DES LIGNES D'APPUIS

LIAPP1, ..., LIAPP6 (I, I)

Numéros d'ordre des couples d'appuis extrêmes définissant les lignes d'appui (le numéro d'ordre de chaque appui est défini en lignes A6). Le nombre de lignes d'appuis est limité à 6.

Pour chaque ligne d'appui, le numéro d'ordre du premier appui doit être plus petit que celui du second appui.

Pour les portiques ouverts (PIPO), introduire les appuis des lignes d'appui intérieures délimitant la traverse supérieure.

REMARQUE:

Ces données servent à :

- Délimiter la dalle (pour éviter l'indétermination, les lignes d'appuis extrêmes doivent comporter au moins deux appuis).
- Définir les portées. Lorsqu'une ligne d'appui intermédiaire comporte un seul appui, il convient de répéter son numéro : le calcul des portées est effectué à partir de la droite passant par cet appui et ayant pour pente la moyenne de celles des deux lignes d'appui adjacentes.

LIGNE A4

NATURE DES APPUIS

ELAST (R OU A)

Coefficients d'élasticité en m/kN des points d'appui.

Ce coefficient donne le déplacement du point d'appui en mètre sous l'effet d'une force de 1 kN.

- Si tous les points d'appui sont rigides (ELAST = 0.0), ou bien s'ils ont le même coefficient d'élasticité, porter cette valeur dans ELAST et ne pas remplir les colonnes ELAST des lignes A6
- Porter E si l'élasticité de chaque appui est introduite en lignes A6
- Porter M si les coefficients d'élasticité sont intégralement introduits dans le tableau B sous forme de matrices, ne pas remplir alors les colonnes ELAST des lignes A6.
- Porter P s'il s'agit de calcul d'un PIPO biais, simulé uniquement selon les modalités de l'Annexe 2; remplir la ligne A5, ne pas remplir les données NATEL et DENIV suivantes ni les colonnes ELAST des lignes A6.

REMARQUE:

Lorsqu'on simule le fonctionnement d'un portique ouvert selon la méthode traditionnelle du dossier PIPO, c'est-à-dire au moyen des appuis élastiques et des poussées de terre introduites sous forme de charges rectangulaires, porter E et remplir les lignes A6.

NATEL (A)

Nature de l'élasticité des appuis.

A remplir seulement si ELAST \neq 0.0 ou ELAST \neq P

- I : l'élasticité est considérée comme instantanée,
- V : l'élasticité est considérée comme différée.

REMARQUE SUR LA PRISE EN COMPTE DE LA NATURE DE L'ELASTICITE :

Le programme calcule les coefficients d'influence avec les coefficients d'élasticité différée e, et suppose que le produit du coefficient d'élasticité par le module de déformation du béton est le même pour les charges de courte durée d'application que pour les charges de longue durée d'application, c'est-à-dire :

$$\varepsilon_i \cdot E_i = \varepsilon_v \cdot E_v$$
 avec :
$$\begin{cases}
\varepsilon_i , \varepsilon_v : \text{coefficients d'élasticité intantanée et différée de l'appui} \\
E_i , E_v : \text{modules de déformation intantanée et différée du béton}
\end{cases}$$

Cette hypothèse est approximativement vérifiée pour les ouvrages de type PIPO (Cf. Annexe 2).

Dans le cas contraire, il sera impossible d'obtenir des résultats exacts à la fois pour les charges instantanées et pour les charges soutenues. Il est donc conseillé de procéder de la manière suivante.

Soit "e" la valeur rentrée :

- Si l'on désire des résultats exacts pour les charges soutenues, il faut prendre ε=ε, et NATEL=V.
- Si l'on désire des résultats exacts pour les charges instantanées, il faut prendre $\varepsilon = \varepsilon_i$ et NATEL=I. Le programme adoptera alors $\varepsilon_v = E_i/E_v \cdot \varepsilon_i$.

Il faut toutefois remarquer que, dans les cas courants des appareils d'appui en élastomère fretté, dont le rapport $\varepsilon_i/\varepsilon_r$ = est proche de 1, l'erreur commise reste faible, de l'ordre de 5 %.

DENIV (A)

Ne pas remplir si ELAST = P (cas d'un PIPO simulé uniquement selon les modalités de l'Annexe 2)

- DN: Pas de dénivellation des appuis. Ne pas remplir les colonnes DENIV des lignes A6.
- DI: Dénivellations des appuis et calcul des effets dus aux dénivelées avec le module de déformation instantanée E_i . Remplir les colonnes DENIV des lignes A6. Cette valeur est conseillée pour le calcul des effets dus au vérinage des appuis et au gradient thermique.
- DV : Dénivellations des appuis et calcul des effets dus aux dénivelées avec le module de déformation différée E_v . Remplir les colonnes DENIV des lignes A6.

RAYAPP(ROU=)

Rayon équivalent R moyen en mètre des appareils d'appui pour le calcul de l'influence de la dimension des appareils d'appui sur les moments et les contraintes de flexion. R est donné par la formule $\pi \cdot R^2 = a \cdot b$, a et b étant les dimensions en plan moyennes des appareils d'appui.

Porter = si la valeur R = HDALLE/2, prise par défaut, convient.

LIGNE A5

CALCUL DE PIPO SELON L'ANNEXE 2

Remplir cette ligne si et seulement si ELAST = P (ligne A4). On modélise l'effet des poussées des terres par des dénivellations d'appuis et le fonctionnement du piédroit par deux lignes d'appuis élastiques suivant les modalités exposées à l'Annexe 2.

Ne pas remplir si le fonctionnement du piédroit est simulé autrement.

Les données ci-après peuvent être fournies par un programme approprié (par exemple, PSH ou ST1 du SETRA) préalable au calcul MRB.

Z0 (R)

Déplacement vertical (+ vers le bas du tablier) en tête du piédroit, dû aux poussées des terres, en m.

OMEGAO(R)

Rotation en tête du piédroit, due aux poussées des terres, en radian.

RKMAX (R), RKMIN (R)

Coefficients majorateur et minorateur à appliquer aux effets des dénivellations définies par Z0 et OMEGA0 pour obtenir les effets maximal et minimal des poussées des terres. Si le calcul préalable au programme MRB fournit Z0 et OMEGA0 avec un coefficient de Rankine égal à 1,00, il est conseillé de prendre RKMAX = 0,50 et RKMIN = 0,25.

A11 (R), A12 (R), A22 (R)

Termes de la matrice d'élasticité du piédroit, fournis par le calcul préalable au programme MRB.

I IGNE A6

POSITION ET NATURE DES APPUIS

DONNEES REPETITIVES (CF. § 4)

AP(I)

Numéro d'ordre des points d'appui $(1 \le AP \le 60)$

I (R), J (R)

Coordonnées en un multiple de demi-mailles des points d'appui.

Un point d'appui doit être obligatoirement à l'intérieur de la bande, soit :

$2 \le I \le MMAX$

Les points d'appui sont numérotés ligne d'appui par ligne d'appui de sorte que :

- les lignes d'appui soient toujours décrites dans le même sens (I croissants ou I décroissants),
- l'inégalité suivante soit vérifiée :

$J(N4) \ge J(N3)$

Dans le modèle MRB, lorsque les points d'appui d'une même ligne ne sont pas parfaitement alignés, il apparaît des moments d'encastrement "parasites" entre appuis qui faussent les résultats du calcul, surtout quand les appuis sont rigides. Il est donc conseillé d'introduire l'élasticité des appareils d'appui en élastomère pour atténuer ce phénomène.

Sauf les cas de biais très particuliers (20,50 grades, 29,50 grades, 37,50 grades, 50 grades, 70 grades, 100 grades) pour lesquels il est facile de modéliser l'ouvrage avec un nombre de points d'appui par ligne supérieur à 4, pour une valeur de MMAX donnée (voir Annexe 1), il faut, en général, modifier légèrement les biais des différentes travées pour pouvoir aligner les points d'appui d'une même ligne.

Dans de tels cas, il faut veiller à ce que les portées droites et biaises des différentes travées du modèle MRB soient légèrement supérieures à celles de l'ouvrage à étudier pour que les résultats aillent dans le sens de la sécurité.

PONT COURBE A DEUX TRAVEES AVEC UN MONO-APPUI

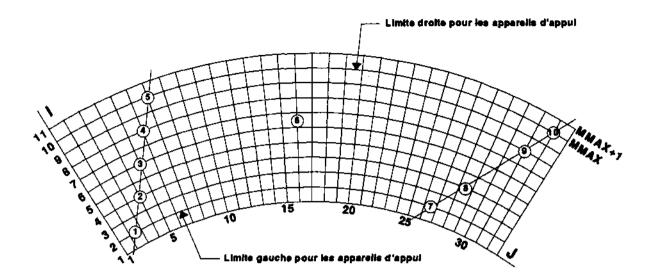


TABLEAU DES COORDONNEES DES POINTS D'APPUI

Appui	1	J
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	2. 4. 6. 8. 10. 5. 4. 8. 10.	2.5 4. 5. 6. 7. 16. 26.5 28.5 31. 32.

ELAST (R OU A)

A remplir lorsque ELAST = E en ligne A4.

- Valeur du coefficient d'élasticité de l'appui considéré.
- APn si l'appui considéré possède le même coefficient d'élasticité que l'appui n déjà connu. Ne pas laisser de blanc entre AP et le numéro de l'appui (exemple : AP11).

REMARQUE:

Le programme décode les données ligne par ligne, dans le sens naturel de la lecture. Il convient d'en tenir compte lorsqu'on fait référence sous la forme APn à un appui déjà connu.

Par exemple, lorsqu'on remplit la deuxième colonne AP de la ligne i, les appuis décrits en première colonne AP ne sont connus que pour les lignes de rang inférieur ou égal à i.

DENIV (R OU A)

Dénivelée des appuis en mètre. A remplir lorsque DENIV = DI ou DV en ligne A4.

Le signe positif des dénivelées correspond à des dénivellations vers le bas du tablier.

- Valeur de la dénivelée de l'appui considéré.
- APn si l'appui considéré a la même dénivelée de l'appui n déjà connu. Ne pas laisser de blanc entre AP et le numéro de l'appui (exemple : AP13).

Pour les appuis élastiques, la dénivellation est imposée à l'appui considéré, et non à la dalle elle-même.

TABLEAU B

MATRICES D'ELASTICITE DES APPUIS

Dans les cas complexes où le fonctionnement des appuis est interdépendant, l'utilisation de ce tableau permet d'obtenir des résultats plus satisfaisants que la simple introduction de coefficients d'élasticité individuels dans le tableau A.

Ne joindre ce tableau que si ELAST = M en ligne A4

LIGNE B1

MOT CLE

GROUPES

Mot clé qui commande le calcul des efforts de la dalle dont le fonctionnement des appuis est régi par des matrices.

LIGNE B2

DEFINITION DES GROUPES D'APPUIS

DONNEES REPETITIVES (CF. § 4)

GR (I)

Numéro des groupes d'appuis.

MA (I)

Numéro de la matrice régissant le fonctionnement du groupe d'appuis considéré.

AP....AP (I)

Numéro d'ordre des points d'appui formant le groupe d'appuis considéré.

Si le nombre d'appuis d'un groupe dépasse 20, passer à la ligne suivante en portant la lettre C dans la colonne GR (on peut aussi passer à la ligne suivante avant d'avoir rempli 20 données). Ne pas remplir la colonne MA dans ce cas.

LIGNE B3

MOTCLE

MATRICES

Mot clé définissant les matrices.

LIGNE 84

DEFINITION DES MATRICES

DONNEES REPETITIVES (CF. § 4)

MA(I)

Numéro d'ordre de la matrice dont on va définir les coefficients.

ELAST (R)

Coefficients d'élasticité constituant les termes de la matrice considérée.

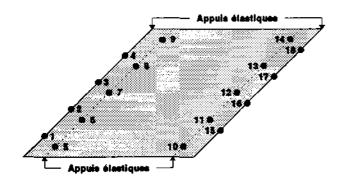
Les matrices d'élasticité étant symétriques, on ne rentre que les termes de la matrice triangulaire supérieure, ligne par ligne, dans l'ordre des colonnes soit n(n+1)/2 termes si la matrice concerne n appuis (voir exemple ci-contre). Si la matrice triangulaire supérieure comporte plus de 6 éléments, passer à la ligne suivante en portant la lettre C dans la colonne MA (on peut aussi passer à la ligne suivante avant d'avoir rempli 6 données).

Il est à noter que certains termes a_{ij} de la matrice peuvent être négatifs, lorsque l'appui j se déplace avec le signe contraire de la force appliquée sur l'appui i.

La prise en compte des coefficients d'élasticité ELAST dans le calcul des effets dus aux différents cas de charge respecte la même démarche que celle du tableau A (Cf. ligne A4).

EXEMPLE ILLUSTRANT LE TABLEAU B

Prenons le cas de 18 appuis élastiques, conformément à la figure ci-dessous :



GROUPES	APPUIS	MATRICES
1	1, 5	1
2	2, 6	1
3	3, 7	1
4	9, 8, 4	2
5	10, 11, 15	2
6	16, 12	1
7	17, 13	1
8	18, 14	1

Si δ désigne le déplacement d'un appui et F sa réaction, on aura, pour chaque groupe de deux appuis (i, j) et pour chaque groupe de trois appuis (i, j, k):

$$\begin{pmatrix} \boldsymbol{\delta}_i \\ \boldsymbol{\delta}_j \end{pmatrix} = \boldsymbol{M}_1 \cdot \begin{pmatrix} \boldsymbol{F}_i \\ \boldsymbol{F}_j \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} \boldsymbol{\delta}_i \\ \boldsymbol{\delta}_j \\ \boldsymbol{\delta}_k \end{pmatrix} = \boldsymbol{M}_2 \cdot \begin{pmatrix} \boldsymbol{F}_i \\ \boldsymbol{F}_j \\ \boldsymbol{F}_k \end{pmatrix}$$

Admettons que l'on ait :

$$M_1 = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \qquad \begin{aligned} a_{11} &= 0,3462 \cdot 10^{-5} m/kN \\ a_{12} &= a_{21} = 0,0142 \cdot 10^{-5} m/kN \\ a_{22} &= 0,2478 \cdot 10^{-5} m/kN \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{pmatrix} & b_{11} = 0,246 \cdot 10^{-5} m/kN & b_{22} = 0,260 \cdot 10^{-5} m/kN \\ b_{12} = b_{21} = 0,020 \cdot 10^{-5} m/kN & b_{23} = b_{32} = 0,030 \cdot 10^{-5} m/kN \\ b_{13} = b_{31} = 0,010 \cdot 10^{-5} m/kN & b_{33} = 0,321 \cdot 10^{-5} m/kN \end{aligned}$$

Le tableau B pourra être rempli de la façon suivante :

TABLEAU C

SPECIFICATIONS DE CALCUL ET SURFACES D'INFLUENCE

LIGNE C1 MOT CLE

SPEC

Mot clé qui commande le décodage du tableau C.

JMIN (I), JMAX (I)

LIGNE C2

SPECIFICATIONS DE CALCUL

Numéros des colonnes limitant la zone, dans le sens longitudinal de l'ouvrage, pour laquelle l'utilisateur demande les résultats. On doit respecter la condition :

JMAX ≤ JMIN + 149

Le choix des paramètres JMIN, JMAX a une répercussion importante sur le volume et surtout le coût de la note de calcul, qui est proportionnel à la différence (JMAX-JMIN). Il convient donc de limiter la zone d'étude quand cela s'avère possible : c'est le cas notamment lorsque l'ouvrage présente une symétrie longitudinale, car on peut limiter la zone d'étude à la moitié de l'ouvrage (voir commentaires ci-contre).

CUMDEN (I)

- 1 : cumul des effets dus aux dénivellations d'appuis avec ceux de l'état à vide et combinaisons d'actions aux ELS et ELU.
- 0 : pas de cumul et impression des résultats à titre indicatif.

Ne pas remplir si DENIV=DN ou ELAST=P (Cf. tableau A).

DENELU (R OU =)

Coefficient de prise en compte dans les combinaisons d'actions des effets dus aux dénivellations aux ELU.

Porter = s'il est égal à 1.35.

Ne pas remplir si DENIV=DN (Cf. tableau A) ou CUMDEN=0.

REMARQUE:

Le coefficient de prise en compte des effets dus aux dénivellations d'appuis aux ELS est pris égal à 1,00 par le programme.

LIGNE CO

SURFACES D'INFLUENCE

Mots-clés qui commandent le calcul des surfaces d'influence de déplacement et de moments des points d'étude définis en lignes C5.

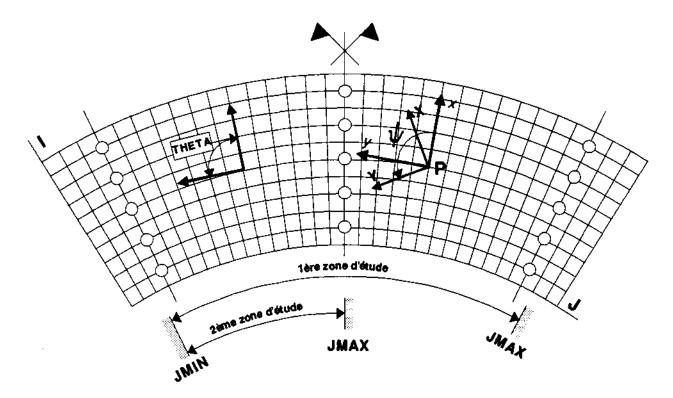
DEPL (A)

- N : pas de calcul des surfaces d'influence de déplacements,
- I : calcul des surfaces d'influence de déplacements avec E_i,
- V : calcul des surfaces d'influence de déplacements avec E_v.

MOMENTS (I)

- 1 : calcul des surfaces d'influence de moments,
- 0 : pas de calcul.

COMMENTAIRES SUR LE TABLEAU C



INTERET DE LA LIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE

L'ouvrage dessiné présente un axe de symétrie. Si, de plus, les charges appliquées sont également symétriques par rapport à cet axe, on peut restreindre la sortie des résultats à la moitié de l'ouvrage, à savoir, la 2ème zone d'étude.

REPERE MRB

- (P_x, P_y) : axes de référence.

Les moments de référence (M_x, M_y, M_{xy}) et les contraintes de référence $(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_{xy})$ sont exprimés dans ce repère.

- (P_X, P_Y) : axes principaux.

Les moments principaux (M_x, M_y) et les contraintes principales $(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_{xy})$ sont exprimés dans ce repère. Ψ donne la direction mécanique principale.

Les appellations de la note de calcul MRB-EL sont :

- $M_x(\sigma_x)$: moment (contrainte) transversal(e)

- $M_y(\sigma_y)$: moment (contrainte) longitudinal(e)

- $M_{xy}(\sigma_{xy})$: moment (contrainte) de torsion (de cisaillement)

- $M_X(\sigma_X)$: moment (contrainte) principal(e) minimal(e)

- $M_Y(\sigma_Y)$: moment (contrainte) principal(e) maximal(e)

Ψ : direction mécanique principale.

LIGNE C4

SPECIFICATIONS DE DIRECTION

Ne pas remplir si le calcul des surfaces d'influence de moments n'est pas demandé (MOMENTS=0 en ligne C3).

THETA (R OU A)

Direction en grades, comptée à partir de la normale aux bords libres dans le sens trigonométrique, suivant laquelle le tenseur des moments est calculé (voir commentaires, page précédente).

Par convention, la direction d'un moment est celle des contraintes qu'il engendre.

$0 GR \le THETA \le 200 GR$

Porter T si les directions sont données en totalité en lignes C5.

CONVENTION:

Le programme considère en sortie la direction THETA comme "longitudinale". Par exemple, si l'on désire obtenir les surfaces d'influence de moments suivant les axes de références (P_x, P_y) , porter 100.0.

Si la valeur est la même pour tous les points précisés en lignes C5, porter ici cette valeur et ne pas remplir les colonnes THETA en lignes C5.

LIGNE C5

DEFINITION DE POINTS D'ETUDE

Ne pas remplir si le calcul des surfaces d'influence n'est pas demandé.

PT(I)

Numéros des points pour lesquels on demande le calcul des surfaces d'influence. Le nombre de points est limité à 30.

I(R), J(R)

Coordonnées en un multiple de demi-mailles des points où l'on demande les surfaces d'influence.

I et J doivent satisfaire les conditions suivantes :

$2 \le I \le MMAX$ et .IMIN $\le J \le .IMAX$

THETA (R OU A)

Pour chaque point, direction en grades, comptée à partir de la normale aux bords libres, suivant laquelle le tenseur des moments est calculé pour les surfaces d'influence de moments.

A ne remplir que si THETA = T en ligne C4.

Porter PTn si la direction pour le point considéré est la même que celle pour le point n déjà connu. Ne pas laisser de blanc entre PT et le numéro du point (Exemple : PT3).

Il est rappelé que le mode de lecture ligne par ligne du programme détermine si une valeur est déjà connue ou pas (Cf. ligne A6).

LIGNE C6

SURFACES D'INFLUENCE DES REACTIONS D'APPUI

REACT

Mot clé qui commande le calcul des surfaces d'influence des réactions d'appui des points d'appui définis en ligne C7.

Barrer la ligne si l'on ne souhaite pas le calcul et ne pas remplir la ligne C7.

LIGNE C7

NUMEROS D'APPUI

AP, ..., AP (I)

Numéros des points d'appui pour lesquels on demande le calcul des surfaces d'influence des réactions d'appui. Le nombre d'appuis est limité à 60.

LIGNE C8

SPECIFICATIONS DE SORTIE DE RESULTATS

IMP (A)

Mot clé qui commande la sortie des résultats.

- S : sortie standard comportant les résultats suivants :
 - 1/Les surfaces d'influence si elles sont demandées (lignes C3 et C6).
 - 2/ Pour chaque cas de charge,
 - Aux ELS, en combinaisons quasi-permanente, fréquente (pour les ouvrages en B.P.) et rare :
 - Aux ELU, en combinaisons fondamentales ;

Le programme fournit :

- · Les réactions d'appui et leur somme en kN;
- Les déplacements en mm (+ vers le bas du tablier), uniquement aux ELS;
- Les moments de référence (moments longitudinal, transversal et de torsion) en kN.m/m (kN.m par mètre de largeur dans la direction normale à celle de la contrainte engendrée par le moment);
- 3/ Pour les ouvrages en B.P., vis-à-vis des combinaisons quasi-permanente, fréquente et rare aux ELS, le programme fournit:
 - Les enveloppes maximales et minimales des contraintes normales, en MPa, à la facette perpendiculaire aux câbles en faces supérieure et inférieure de la dalle;
 - Les enveloppes minimales des contraintes normales, en MPa, à la facette perpendiculaire aux câbles dans les sections d'enrobage de la dalle;
 - Lorsqu'un dépassement des contraintes-limites réglementaires a lieu, calculé avec une tolérance de 0,5 MPa (voir Annexe 1, §4.2,a), le programme édite un message précisant le cas de charge et le noeud correspondants.
- 4/ Pour l'ensemble des combinaisons d'actions, le programme fournit:
 - Les enveloppes des réactions d'appui, en kN;
 - Les enveloppes des contraintes de cisaillement, en MPa;
 - Les enveloppes des ferraillages horizontaux, verticaux, et des chevêtres incorporés sur culées, en cm²/m (cm² par mètre de largeur dans la direction normale à celle des armatures passives).
- 5/Le programme fournit, à la fin, un avant-métré du ferraillage et un ratio correspondant aux cas de charges introduits.
- T: sortie totale.
 - Le programme fournit, en plus des résultats de l'option standard, les contraintes dans les directions de précontrainte (ouvrage en B.P.), sous combinaison fondamentale aux ELU, et le ferraillage intermédiaire sous chaque combinaison d'actions.

DES (I)

Option non opérationnelle.

TABLEAU D

CHARGES PERMANENTES

Ne pas joindre ce tableau si le calcul n'est pas souhaité.

LIGNE D1 MOT CLE

PERMANENTE

Mot clé qui commande le calcul des efforts dus à la charge permanente (structure et équipements).

Pour les PIPO simulés selon les modalités de l'Annexe 2, le programme combine ces efforts avec ceux dus aux poussées des terres maximale et minimale (Cf. ligne A5 et Annexe 2).

LIGNE D2

COEFFICIENT DE PONDERATION

VAL

Mot clé permettant de décoder la valeur du coefficient défini ci-dessous.

GAMMAG(ROU = OUBLANC)

Coefficient de pondération des actions permanentes défavorables en combinaisons fondamentales aux ELU.

Ne rien porter ou porter = s'il est réglementaire (1,35).

LIGNE D3

VALEUR DE CALCUL

REPARTIE (R)

Valeur de la densité de la charge permanente répartie (poids propre et équipements) en kN/m².

LIGNE D4 MOT CLE

AUTRE

Mot clé qui commande la prise en compte éventuelle de charges permanentes autres que la charge répartie définie ci-dessus.

LIGNE D5

DEFINITION DES CHARGES NON REPARTIES

DONNEES REPETITIVES (CF. § 4)

D'une façon générale, ce bordereau permet de simuler, par cumul de charges de forme géométrique prédéterminée, toute charge permanente non uniformément répartie sur le modèle MRB; ce chargement est cumulé avec la charge permanente répartie introduite en ligne D3.

Par exemple, les encorbellements se comportent comme des consoles encastrées dans la nervure. Leur poids propre et les équipements qu'ils supportent peuvent être simulés par un couple et un effort tranchant appliqués sur les bords libres de la dalle MRB sous forme de charges rectangulaires (voir exemple ci-après).

TP(I)

Numéro d'ordre des charges élémentaires composant le cas de charge qui représente les charges non réparties. Le nombre de charges élémentaires est limité à 150.

NAT (A)

Donnée alphanumérique définissant la forme géométrique des charges élémentaires :

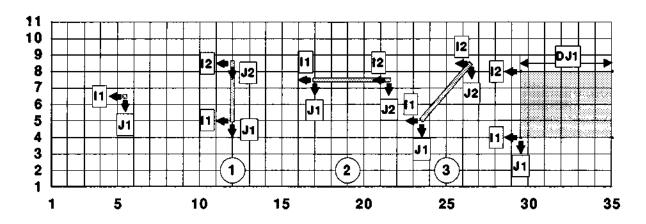
- C : charge concentrée,
- L: charge linéique,
- R: charge rectangulaire,
- P ou (blanc) : charge en parallélogramme,
- T: charge trapézoïdale,
- TPn si la géométrie considérée se déduit par translation de coordonnées de celle de la charge n déjà connue. Ne pas laisser de blanc entre TP et n (exemple : TP10).

I1 (R), J1 (R), DJ1 (R), I2 (R), J2 (R), DJ2 (R)

Paramètres définissant les dimensions de la forme géométrique de la charge élémentaire considérée dans le maillage MRB.

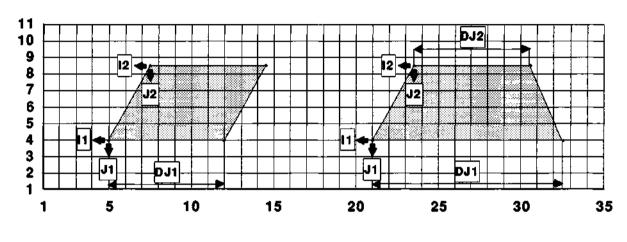
Ces données, définies en mailles, à 0,1 maille près (1 chiffre après le point décimal), doivent respecter les conventions suivantes :

- Charge concentrée : remplir (I1, J1), coordonnées du point de charge.
- Charge linéique: remplir (I1, J1), (I2, J2), coordonnées des deux extrémités du segment de droite délimitant la charge.
- Charge rectangulaire: remplir (I1, J1), DJ1, I2.
 - (I1, J1) : coordonnées de l'un des sommets gauches du rectangle.
 - DJ1 : largeur du rectangle (DJ1 doit être positif).
 - I2 : ordonnée du deuxième sommet gauche.



CHARGE	N	l1	J1	DJ1	‡2	J2	DJ2
CONCENTRE	С	6.6	5.4				
LINEIQUE 1	Ļ	5.	12.		8.6	12.	
LINEIQUE 2	L	7.5	16.9		7.5	21.6	<u></u>
LINEIQUE 3	L	5.1	23.6		8.5	26.5	
RECTANGLE	R	4.	29.5	5.5	8.		

- Charge en parallélogramme: remplir (I1, J1), DJ1, (I2, J2).
 - (I1, J1), DJ1: même définition que pour la charge rectangulaire.
 - (I2, J2) : coordonnées du deuxième sommet gauche du parallélogramme.
- Charge trapézoïdale: remplir (I1, J1), DJ1, (I2, J2) et DJ2.
 - I1, J1, DJ1, I2, J2: même définition que pour la charge en parallélogramme.
 - DJ2 : largeur du parallélogramme au niveau du deuxième sommet gauche.
- Charge déduite d'une autre charge "n" par translation de coordonnées : remplir (I1, J1) pour implanter la nouvelle charge.



CHARGE	Z	11	J1	DJ1	12	J2	DJ2
PARALLELOGRAMME	4	4.	5.	7.	8.6	7.4	
TRAPEZE	Ţ	4.	21.	11.5	8.4	23.6	7.1

CHARGE (R OU A)

- Valeur en kN pour une charge concentrée.
- Valeur linéique en kN/m pour une charge linéique.
- Valeur surfacique en kN/m² pour une charge répartie.
- TPn si la valeur de la charge est la même que celle de la charge n déjà connue. Ne pas laisser de blanc entre TP et n (exemple : TP10). La charge n à laquelle on se réfère doit être de même "nature" (concentrée, linéique ou surfacique).

AFFECTATION DES CHARGES AUX NOEUDS

Le programme MRB proprement dit n'accepte que des charges concentrées aux noeuds du maillage. Les différents types de charges décrits ci-dessus doivent donc être convertis de façon aussi précise que possible en de tels chargements avant de passer au stade des calculs de structure.

Les méthodes utilisées sont détaillées ci-après aux fins de vérifications éventuelles, en se plaçant dans le cas le plus général d'un ouvrage courbe.

CHARGES CONCENTREES

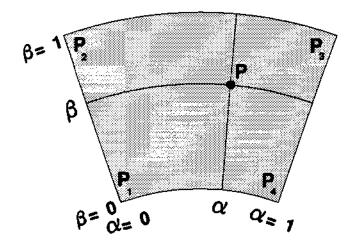
Soient α $(0 \le \alpha \le 1)$ et β $(0 \le \beta \le 1)$ les coordonnées adimensionnelles du point d'application de la charge P par rapport au "carré curviligne" où elle se trouve placée. Les charges P_i affectées à chacun des quatre sommets sont, par convention :

$$P_1 = P \cdot (1 - \alpha) \cdot (1 - \beta)$$

$$P_2 = P \cdot (1 - \alpha) \cdot \beta$$

$$P_3 = P \cdot \alpha \cdot \beta$$

$$P_4 = P \cdot \alpha \cdot (1 - \beta)$$



CHARGES LINEIQUES

Le réseau du maillage découpe la charge linéique en segments. Le programme recherche le milieu de chaque segment et lui affecte sa charge correspondante (égale au produit de la densité de la charge linéique par la longueur du segment). Il répartit ensuite ces charges comme des charges concentrées.

Pour les ouvrages courbes les charges linéiques sont considérées comme des segments de droite si elles ne sont pas parallèles à l'axe des J. Dans le cas contraire, on considère la charge comme étant répartie sur un arc de cercle parallèle aux bords libres de l'ouvrage.

CHARGES DE TYPE "TRAPEZE"

On considère que toutes les charges de ce type (rectangle, parallélogramme, trapèze) sont curvilignes; c'est-à-dire que leurs côtés parallèles à l'axe des J suivent la courbure de l'ouvrage (voir exemple ci-après).

Le réseau du maillage découpe ces charges en triangles et en quadrilatères curvilignes. Le programme recherche le centre de gravité de chacun de ces éléments et lui affecte sa charge correspondante (égale au produit de la densité de charge par l'aire du triangle ou du quadrilatère). Il répartit ensuite ces charges comme des charges concentrées.

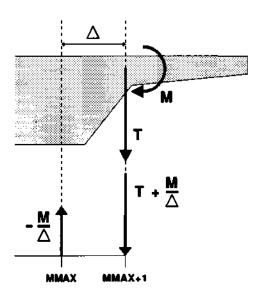
EXEMPLE ILLUSTRANT LE TABLEAU D

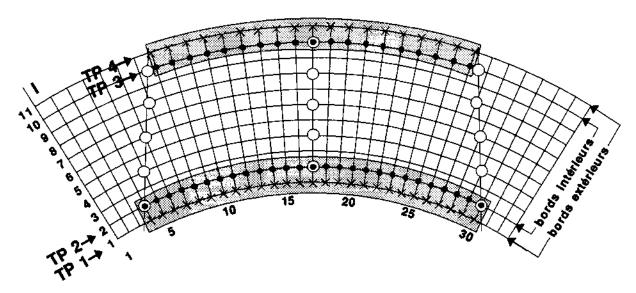
Soient T et M l'effort tranchant et le couple d'encastrement (comptés par mètre de longueur) dus à l'encorbellement.

L'effort tranchant est introduit en appliquant sur les bords extérieurs une charge linéique de densité T.

Le couple d'encastrement est introduit par une distribution de deux forces égales et opposées distantes d'une maille transversalement, qui conduit à appliquer respectivement sur les bords extérieurs et les bords intérieurs situés à une maille des derniers, une charge linéique de densité:

$$\pm \frac{M}{\Delta}$$





- x: charge positive (effort tranchant+force due au couple d'encastrement),
- : charge négative (force due au couple d'encastrement).

NOTA: Dans le cas des ponts-dalles courbes, les symboles x et • n'ont qu'une signification qualitative (charge positive ou négative) car les noeuds sont soumis à des charges différentes selon qu'ils sont situés sur le bord intérieur ou sur le bord extérieur de la dalle.

Prenons pour exemple les valeurs suivantes :

$$T = 18,5 \, kN/m$$
, $M = 22,20 \, kNm/m$, $RC = 500 \, m$, $EDALLE = 8 \, m$ et $MMAX = 10$ d'où l'on tire :

$$\Delta = \frac{\text{EDALLE}}{\text{MMAX}} = 0.8 \, m \quad \frac{\text{M}}{\Delta} = 27,75 \, kN/m \quad \text{T} + \frac{\text{M}}{\Delta} = 46,25 \, kN/m$$

En fonction de ces données, le tableau D sera rempli de la manière suivante :

TABLEAU D : CHARGE PERMANENTE

Le programme calcule la charge par noeud en suivant les conventions relatives aux charges linéiques (Cf. § "Affectation des charges aux noeuds" ci-dessus).

TABLEAU E

CHARGE A(l)

Ce tableau sert à calculer les efforts dus à la charge A(l) réglementaire (F.61,II).

Ne pas joindre ce tableau si le calcul n'est pas souhaité.

LIGNE E1

VALEUR DE CALCUL

ESURCH (R)

Largeur chargeable en mètres telle qu'elle est définie par l'article 2 du F 61, II. La largeur chargeable peut être plus grande que la largeur de la dalle EDALLE (Cf. ligne A2).

LIGNE E2

SPECIFICATIONS DE CALCUL

CLASSE (I)

Classe de l'ouvrage = 1, 2 ou 3 (F 61, II).

CUMUL (I)

- 1: Cumul avec les efforts de l'état à vide et combinaisons d'actions aux ELS et ELU.
- 0 : Pas de cumul et impression des résultats à titre indicatif.

Pour les PIPO simulés selon les modalités de l'Annexe 2, le programme cumule ces efforts avec ceux dus aux poussées des terres maximale et minimale (Cf. ligne A5 et Annexe 2).

LIGNE E3

COEFFICIENTS DE PONDERATION

VAL

Mot clé permettant de décoder les valeurs des coefficients définis ci-après.

Ne rien porter sur cette ligne si tous les coefficients sont réglementaires.

Lorsque certains coefficients ne sont pas réglementaires, porter = pour ceux qui le sont et la valeur désirée pour les autres.

ELS

Coefficients de pondération aux ELS définis ci-après.

GAMMACAR (R OU =)

Coefficient de pondération à appliquer pour obtenir les valeurs caractéristiques des charges vis-à-vis des combinaisons rares à partir de leurs valeurs nominales.

Porter = s'il est réglementaire (= 1,20).

PSI1(ROU=)

Coefficient de pondération à appliquer pour obtenir les valeurs de calcul des charges vis-à-vis des combinaisons fréquentes à partir des valeurs caractéristiques définies ci-dessus.

Porter = s'il est réglementaire (= 0,6 pour les ponts de 1ère classe, 0,4 pour les ponts de 2ème classe et 0,2 pour les ponts de 3ème classe).

ELU

Coefficients de pondération aux ELU définis ci-après.

GAMMACAR (R OU =)

Coefficient de pondération à appliquer pour obtenir les valeurs caractéristiques des charges vis-à-vis des combinaisons fondamentales à partir de leurs valeurs nominales.

Porter = s'il est réglementaire (= 1,07).

GAMMAQ1 (R OU =)

Coefficient de pondération à appliquer pour obtenir les valeurs de calcul des charges vis-à-vis des combinaisons fondamentales à partir de leurs valeurs caractéristiques définies ci-dessus.

Porter = s'il est réglementaire (= 1,50).

LIGNE E4

DEFINITION DES CAS DE CHARGE

AXE (R), NVOIES (I)

On définit une bande chargée par les paramètres AXE (distance en mètres entre l'axe de la bande et le bord libre gauche de la dalle) et NVOIES (nombre de voies chargées).

On doit respecter les inégalités suivantes :

$$0.0 \le AXE \le EDALLE$$
 ET $0 \le NVOIES \le N$

N désignant le nombre total de voies chargeables.

Règles de calcul des différents paramètres des charges A(l).

Le nombre total de voies chargeables N et la valeur de la largeur d'une voie ν sont calculés à partir de ESURCH. (Cf. ligne E1) de la façon suivante :

$$N = \text{partie entière de} \left(\frac{\text{ESURCH}}{3} + 0.01 \right)$$

 $N = 2 \text{ si } 5 \text{ m} \leq \text{ESURCH} < 6 \text{ m} \quad (\text{F 61, II, art. 2.2})$
 $v = \frac{\text{ESURCH}}{N}$

La largeur de la bande chargée numéro i est égale à :

$$\nu \times NVOIES(i)$$

Les limites de la bande chargée numéro i sont :

- pour la limite gauche par rapport au bord gauche de la dalle :

$$AXE(i) - \frac{v \cdot NVOIES(i)}{2}$$

- pour la limite droite par rapport au bord droit de la dalle :

EDALLE - AXE(i) -
$$\frac{v \cdot \text{NVOIES}(i)}{2}$$

La valeur réglementaire a_2 est calculée en fonction de v et de la classe de l'ouvrage.

T1, T2, T3, T4, T5, T12, T23, T34, T45 (A)

Travées chargées indépendamment (T1, T2, T3, T4, T5) ou couples de travées adjacentes chargées simultanément (T12, T23, T34, T45) par la bande définie par AXE et NVOIES.

Porter "Ti" ou "Tij" sur la ligne correspondant à la bande avec laquelle on veut charger indépendamment la travée i ou simultanément le couple de travées adjacentes (i, j). On peut charger, successivement, avec la même bande, plusieurs travées ou couples de travées (voir exemple).

Pour les PIPO, ne pas renseigner (la traverse est chargée par défaut).

Règles de calcul de la densité des charges A(l).

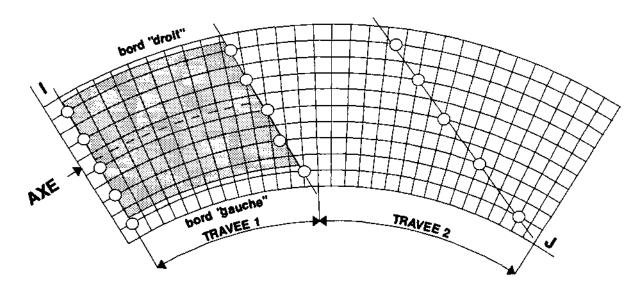
Le programme définit les travées par les données introduites en lignes A3.

Les portées l_i des différentes travées i sont calculées à partir des coordonnées des appuis. Lorsque les deux lignes d'appuis d'une travée ne sont pas parallèles, l_i est pris égal à la portée moyenne de la travée.

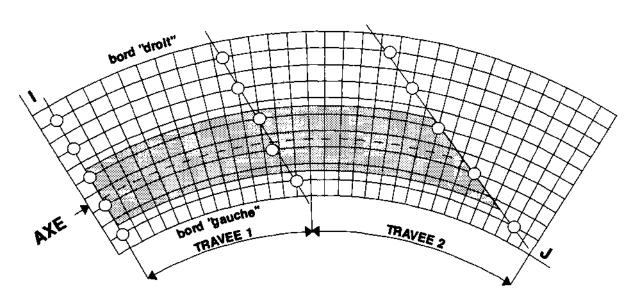
Les travées sont ensuite chargées par des charges de type trapèze (Cf. tableau D), avec une densité calculée réglementairement par (F.61,II):

$$A(l_i) = \left(230 + \frac{36000}{l_i + 12}\right) \cdot \frac{10^{-3}}{0,102} \quad kN/m^2$$

EXEMPLE ILLUSTRANT LE TABLEAU E



TRAVEE 1 CHARGEE PAR LA BANDE N°1



TRAVEE 1 CHARGEE PAR LA BANDE N°2 TRAVEE 2 CHARGEE PAR LA BANDE N°2 TRAVEES (1 + 2) CHARGEES PAR LA BANDE N°2

BORDEREAU DES DONNEES:

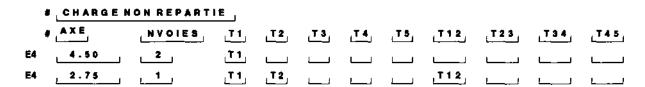


TABLEAU F

CHARGE B.

Ne pas joindre ce tableau si le calcul n'est pas souhaité.

LIGNE F1 MOT CLE

BC

Mot clé qui commande le calcul des efforts dus à la charge B_c .

LIGNE F2 SPECIFICATIONS DE CALCUL

CLASSE (I)

Classe de l'ouvrage = 1, 2 ou 3 (F 61, II).

Porter = dans si l'on a déjà fixé la classe de l'ouvrage pour A(l) dans le tableau E (ligne E2). CUMUL (I)

- 1 : Cumul avec les efforts de l'état à vide et combinaisons d'actions aux ELS et ELU.
- 0 : Pas de cumul et impression des résultats à titre indicatif.

Pour les PIPO simulés selon les modalités de l'Annexe 2, le programme cumule ces efforts avec ceux dus aux poussées des terres maximale et minimale (Cf. ligne A5 et Annexe 2).

LIGNE F3

COEFFICIENTS DE PONDERATION

VAL

Mot clé permettant de décoder les valeurs des coefficients définis ci-après.

Ne rien porter sur cette ligne si tous les coefficients sont réglementaires.

Lorsque certains coefficients ne sont pas réglementaires, porter = pour ceux qui le sont et la valeur désirée pour les autres.

ELS

Coefficients de pondération aux ELS définis ci-après.

GAMMACAR (R OU =)

Coefficient de pondération à appliquer pour obtenir les valeurs caractéristiques des charges vis-à-vis des combinaisons rares à partir de leurs valeurs nominales.

Porter = s'il est réglementaire (= 1,20).

PSI1 (R OU =)

Coefficient de pondération à appliquer pour obtenir les valeurs de calcul des charges vis-à-vis des combinaisons fréquentes à partir des valeurs caractéristiques définies ci-dessus.

Porter = s'il est réglementaire (= 0,6 pour les ponts de 1ère classe, 0,4 pour les ponts de 2ème classe et 0,2 pour les ponts de 3ème classe).

ELU

Coefficients de pondération aux ELU définis ci-après.

GAMMACAR (R OU =)

Coefficient de pondération à appliquer pour obtenir les valeurs caractéristiques des charges vis-à-vis des combinaisons fondamentales à partir de leurs valeurs nominales.

Porter = s'il est réglementaire (= 1.07).

GAMMAQ1 (R OU =)

Coefficient de pondération à appliquer pour obtenir les valeurs de calcul des charges vis-à-vis des combinaisons fondamentales à partir de leurs valeurs caractéristiques définies ci-dessus.

Porter = s'il est réglementaire (= 1,50).

LIGNE F4

CARACTERISTIQUES DU CAMION

VAL

Mot clé permettant de décoder les valeurs définies ci-après.

Ne rien porter sur cette ligne si toutes les valeurs sont réglementaires.

Lorsque certaines valeurs ne sont pas réglementaires, porter = pour celles qui le sont et la valeur désirée pour les autres.

LARG (R OU =)

Distance en mètres entre les roues d'un même essieu du camion B_c .

Porter = si elle est réglementaire (= 2,00 m).

LONG1 (R OU =)

Distance en mètres entre les deux essieux arrière du camion B_{c} .

Porter = si elle est réglementaire (= 1,50 m).

LONG2 (R OU =)

Distance en mètres entre les deux essieux extrêmes du camion B_c .

Porter = si elle est réglementaire (= 6,00 m).

POIDS1 (R OU =)

Poids en kN d'une roue arrière du camion B_c .

Porter = s'il est réglementaire (= 6 tf \approx 58,824 kN).

POIDS2 (ROU =)

Poids en kN d'une roue avant du camion B_c .

Porter = s'il est réglementaire (= 3 tf \approx 29,412 kN).

LIGNE F5

TITRE DU CAS DE CHARGE

DONNEES REPETITIVES (CF. § 4)

CAS (T)

Numéro d'ordre du cas de charge considéré. Le nombre total est limité à 5.

SENS (A)

Sens de circulation (voir commentaire).

- GD de gauche à droite,
- DG de droite à gauche.

DYNAM (R OU A)

- Coefficient de majoration dynamique du cas de charge considéré.
- CASn si le cas considéré admet le même coefficient que celui du cas n déjà connu. Ne pas laisser de blanc entre CAS et n (exemple : CAS1).

·.....,

Chaîne de caractères, servant de titre, qui sera imprimée au début des résultats relatifs au cas de charge B_c considéré (par exemple :'Deux files BC sur la travée 1').

I (R), J (R)

Coordonnées en mailles, à 0,1 maille près (1 chiffre après le point décimal) de la roue arrière droite d'un camion : chaque couple (I, J) représente donc un camion ; il faut remplir autant de couples qu'il existe de camions. Le nombre de camions par cas de charge est limité à 12.

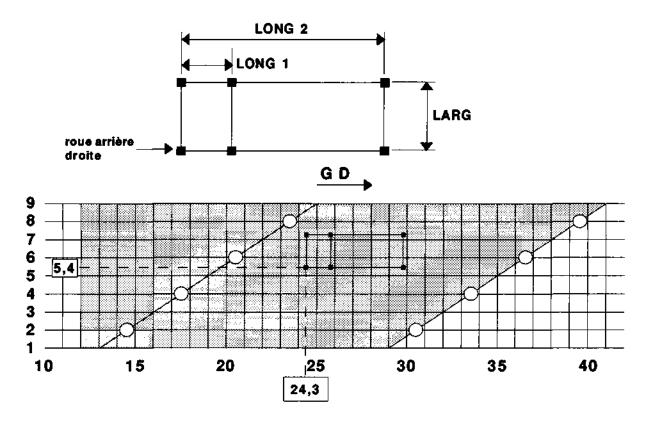
Les roues du camion peuvent être placées sur les bords libres de la dalle ainsi qu'à l'extérieur de la zone d'étude définie par JMIN et JMAX (Cf. tableau C).

Règle de positionnement des roues d'un camion

A partir des coordonnées (I, J) de la roue arrière droite, du sens de circulation (SENS) et des dimensions du camion (LARG, LONG1, LONG2), le programme positionne les autres roues du camion (effet rayonnant compris, pour les ponts-courbes) et les considère comme des charges concentrées.

EXEMPLE ILLUSTRANT LE TABLEAU F

Coordonnées en mailles de la roue arrière droite : I = 5.4, J = 24.3



BORDEREAU DES DONNEES:

F5	CAS	1 SENS	G D	DYNAM	1.117	CAMION	BCSU	RLATRAVE	E E 2
	# <u></u>	Ţ	1	رك	1	٦	_1	.	
F6	5.40	24.30	<u></u>						

TABLEAU GA

CHARGES VARIABLES QUELCONQUES

Ne pas joindre ce tableau si le calcul n'est pas souhaité.

LIGNE GA1 MOT CLE

VAR

Mot clé qui commande le calcul des charges variables quelconques.

LIGNE GA2

SPECIFICATIONS DE CALCUL

CUMUL (I)

- 1 : Cumul avec les efforts de l'état à vide et combinaisons d'actions aux ELS et ELU.
- 0 : Pas de cumul et impression des résultats à titre indicatif.

Pour les PIPO simulés selon les modalités de l'Annexe 2, le programme cumule ces efforts avec ceux dus aux poussées des terres maximale et minimale (Cf. ligne A5 et Annexe 2).

LIGNE GA3

TITRE DU CAS DE CHARGE

DONNEES REPETITIVES (CF. § 4)

CAS (T)

Numéro d'ordre du cas de charge considéré. Le nombre total des cas de charges variables quelconques est limité à 20.

'......

Chaîne de caractères, servant de titre, qui sera imprimée au début des résultats relatifs au cas de charge considéré (par exemple :'MC120 sur la travée 2')

LIGNE GA4

COEFFICIENTS DE PONDERATION

ELS

Coefficients de pondération aux ELS définis ci-après.

GAMMACAR (R)

Coefficient de pondération à appliquer pour obtenir les valeurs caractéristiques des charges vis-à-vis des combinaisons rares à partir de leurs valeurs nominales.

PSI1 (R)

Coefficient de pondération à appliquer pour obtenir les valeurs de calcul des charges vis-à-vis des combinaisons fréquentes à partir des valeurs caractéristiques définies ci-dessus.

ELU

Coefficients de pondération aux ELU définis ci-après.

GAMMACAR (R)

Coefficient de pondération à appliquer pour obtenir les valeurs caractéristiques des charges vis-à-vis des combinaisons fondamentales à partir de leurs valeurs nominales.

Porter = s'il est réglementaire (= 1,07).

GAMMAQ1(R)

Coefficient de pondération à appliquer pour obtenir les valeurs de calcul des charges vis-à-vis des combinaisons fondamentales à partir de leurs valeurs caractéristiques définies ci-dessus.

Porter = s'il est réglementaire (= 1.50).

LIGNE GA5

POSITIONS ET POIDS DU CAS DE CHARGE

DONNEES REPETITIVES (CF. § 4)

Se reporter aux commentaires des lignes D5.

REMARQUES:

- Les lignes GA1 et GA2 s'appliquent à l'ensemble des cas de charges variables ; en cas d'utilisation de plusieurs feuilles, les rayer à partir de la feuille n°2.
- Si le nombre de charges élémentaires dépasse 8, continuer sur les lignes GA5 suivantes après avoir rayé les lignes GA3, GA4 et éventuellement les lignes GA1, GA2 lorsqu'une nouvelle feuille est nécessaire.
- Les charges introduites doivent être pondérées par les coefficients de majoration dynamique et éventuellement par les coefficients de dégressivité transversale.

TABLEAU GB

CHARGES D'EPREUVE

Ce tableau permet de calculer les charges d'épreuve ou éventuellement de compléter un calcul MRBEL précédemment passé au SETRA par un calcul de charges d'épreuve. Ne pas joindre ce tableau si le calcul n'est pas souhaité.

LIGNE GB1 MOT CLE

EPR

Mot clé qui commande le calcul des charges d'épreuve.

LIGNE GB2

MRBEL NO (I OU =)

- Numéro du calcul MRBEL précédemment passé au SETRA s'il existe.

-0 ou = sinon

LIGNE GB3

DONNEES REPETITIVES (CF. § 4)

CAS(I)

Numéro d'ordre du cas de charge considéré. Le nombre total des cas de charges d'épreuve est limité à 20.

Chaîne de caractères, servant de titre, qui sera imprimée au début des résultats relatifs au cas de charge considéré

LIGNE GB4

POSITIONS ET POIDS DU CAS DE CHARGE

SPECIFICATIONS DE CALCUL

TITRE DU CAS DE CHARGE

DONNEES REPETITIVES (CF. § 4)

Se reporter aux commentaires des lignes D5.

REMARQUES:

- Les lignes GB1 et GB2 s'appliquent à l'ensemble des cas de charges d'épreuve ; en cas d'utilisation de plusieurs feuilles, les rayer à partir de la feuille n°2.
- Si le nombre de charges élémentaires dépasse 10, continuer sur les lignes GB4 suivantes après avoir rayé la ligne GB3 et éventuellement les lignes GB1, GB2 lorsqu'une nouvelle feuille est nécessaire.
- Le programme fournit les effets des charges d'épreuve seules.
- Dans le cas où le numéro MRBEL (ligne GB2) est donné, le programme reprend le bordereau du calcul mentionné si le délai de sauvegarde n'est pas dépassé, en purge les données non nécessaires au calcul des effets dus aux charges d'épreuve introduites. Après avoir purgé ces éléments, le programme constitue un nouveau bordereau en y adjoignant le tableau GB.

TABLEAU H

CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET CLASSES DE VERIFICATION

LIGNE H1

VALEUR DE CALCUL

FC28 (R)

Résistance à la compression du béton à l'âge de 28 jours, en MPa.

LIGNE H2

COEFFICIENTS ET VALEURS DE CALCUL POUR LE BETON

VAL

Mot clé permettant de décoder les valeurs définies ci-après.

Ne rien porter sur cette ligne si toutes les valeurs sont réglementaires.

Lorsque certaines valeurs ne sont pas réglementaires, porter = pour celles qui le sont et la valeur désirée pour les autres.

FT28 (R OU =)

Résistance caractéristique du béton à la traction à 28 jours, en MPa.

Porter = si elle est réglementaire (= 0.6+0.06. f_{c28}).

COREBE (R OU =)

Coefficient tenant compte de la diminution de la résistance à la compression du béton dans le diagramme contraintes-déformations (B.A.E.L. 91, A.4.3.4. ou B.P.E.L. 91, 6.3.312).

Porter = s'il est réglementaire (= 0.85).

THETA (R OU =)

Coefficient tenant compte de la durée probable d'application de combinaisons d'actions de courte durée (inférieure à 1 heure) dans le diagramme contraintes-déformations du béton.

Porter = s'il est réglementaire (=0.85)

REMARQUES:

- Les charges d'exploitation des ponts-routes sont considérées comme de courte durée. Il leur est appliqué le coefficient THETA.
- Les autres actions sont considérées comme de longue durée. Il leur est appliqué un coefficient 1,00.
- Lorsqu'une action de courte durée et une action de longue durée font partie de la même combinaison, le coefficient appliqué à la combinaison est THETA.

GAMMAB (R OU =)

Coefficient y, affectant la résistance du béton.

Porter = s'il est réglementaire (= 1,50).

EPSBO (R OU =)

Valeur de la déformation au maximum de contrainte (pic de contrainte) du béton, en 10⁻³.

Porter = si elle est réglementaire (= 2.10^{-3}).

EPSBU (R OU =)

Valeur de la déformation à la rupture du béton, en 10⁻³.

Porter = si elle est réglementaire (= $3.5.10^{-3}$).

REMARQUE:

Il est rappelé que la loi déformation-contrainte du béton adoptée est définie par le diagramme parabole-rectangle.

COBELI (R OU=)

Contrainte de compression-limite du béton dans la vérification des états-limites vis-à-vis de la durabilité (B.A.E.L. 91, A.4.5.2.).

Porter = si elle est réglementaire (= $0.6.f_{c28}$).

LIGNE H3

SPECIFICATION DE CALCUL EN B.A.E.L.

FIS(A)

Niveau de fissuration aux ELS dans le calcul en béton armé (dalle en béton armé, dalle précontrainte dans le sens longitudinal et armée dans le sens transversal, dalle doublement précontrainte vérifiée en classe III).

- PP: fissuration peu préjudiciable.
- FP: fissuration préjudiciable.
- TP: fissuration très préjudiciable.

Ne pas remplir lorsqu'un calcul en béton armé aux ELS n'est pas demandé (dalle doublement précontrainte vérifiée en classe I ou II, par exemple).

LIGNE H4 ENROBAGES

VAL

Mot clé permettant de décoder les valeurs définies ci-après. Utilisation identique à celle de la ligne H2.

ENROBI (R), ENROBS (R)

Enrobage en mètre du ferraillage horizontal des faces supérieure et inférieure de la dalle. Ne rien porter si les enrobages sont de 0,03 m.

LIGNE H5

ARMATURES PASSIVES

VAL

Mot clé permettant de décoder les valeurs définies ci-après. Utilisation identique à celle de la ligne H2.

N(ROU=)

Coefficient d'équivalence acier-béton (calcul en béton armé).

Porter = s'il est égal à 15.

FS1 (R OU =), FS2 (R OU =)

Limite d'élasticité des armatures passives horizontales disposées suivant les directions 1 et 2 (définies par les angles THETA1 et THETA2 en lignes H6 ci-après), en MPa.

Porter = si elles sont égales à 500 MPa.

FS3 (R OU =)

Limite d'élasticité des étriers, en MPa.

Porter = si elle est égale à 500 MPa.

ES(ROU=)

Module de déformation longitudinale des armatures passives

Porter = s'il est égal à 200.000 MPa.

GAMMAS (R OU =)

Coefficient γ , d'affinité du diagramme contraintes-déformations des armatures passives dans le calcul aux ELU.

Porter = s'il est égal à 1,15.

SIGMAS1 (R OU =), SIGMAS2 (R OU =)

Contraintes de traction-limite des armatures passives horizontales disposées suivant les directions 1 et 2 (définies par les angles THETA1 et THETA2 ci-après) dans les calculs aux ELS, en MPa.

Porter = si:

- la fissuration est considérée comme peu préjudiciable,
- la traction-limite est égale à min $(2/3 \cdot f_s; 110 \cdot \sqrt{\eta \cdot f_{QS}})$ en fissuration préjudiciable,
- la traction-limite est égale à min $(0, 5 \cdot f_s; 90 \cdot \sqrt{\eta \cdot f_{Q8}})$ en fissuration très préjudiciable.

 f_s étant la limite d'élasticité des armatures passives, définie ci-dessus, et η valant 1,6.

Ne pas remplir lorsqu'un calcul en béton armé aux ELS n'est pas demandé.

ESFER (R OU =)

Valeur de la déformation maximale de l'acier, en 10⁻³.

Porter = si elle est réglementaire (10.10⁻³).

LIGNE H6

DIRECTIONS DE FERRAILLAGE

R (A)

Paramètre stipulant le caractère relatif ou absolu du repère par rapport auquel les directions d'armatures passives sont définies (figure ci-contre).

R: repère relatif,

A : repère absolu.

Dans le cas d'un ouvrage à bords rectilignes, porter R.

THETA1 (R), THETA2 (R)

Direction de la nappe d'armature n°1 (respectivement n°2), comptée trigonométriquement en grades soit par rapport à la radiale courante (repère relatif) soit par rapport à la radiale J = 1 (repère absolu).

$0 GR \le THETA1 \le 200 GR$ $0 GR \le THETA2 \le 200 GR$

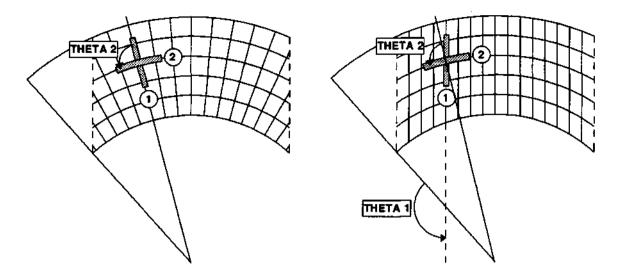
En chaque noeud, la direction d'une nappe d'armatures peut être définie soit par son angle avec la radiale passant par ce noeud (cas du repère relatif), soit par son angle avec la radiale J=1 (cas du repère absolu); dans ce dernier cas, on obtient des armatures rectilignes parallèles entre elles (voir exemple ci-après).

Bien entendu, dans le cas d'ouvrages rectilignes, on aboutit au même résultat quelque soit le type de repère choisi.

REMARQUE:

On dispose de quatre lignes permettant de définir de un à quatre couples de directions d'armatures. Le programme fournit, pour chacun des couples de directions choisis, la répartition correspondante des sections d'armatures passives aux noeuds du modèle.

EXEMPLE D'UTILISATION DES REPERES RELATIFS OU ABSOLUS:



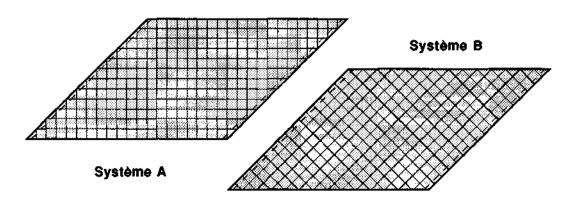
BORDEREAU DES DONNEES:

	# <u>B</u>	THETA 1	<u>.B</u> ,	THETA2	# R	THETAL	R	THETA2
H6	,A,	0.0	<u>R</u> ,	100.	H6 A	133.	LR,	100.

En pratique, les directions de ferraillage pourront être choisies selon les indications développées ci-après, complétées par celles de l'Annexe 1.

- Pour les dalles en béton précontraint, la première nappe d'armatures passives (la plus proche des parois) est toujours dirigée parallèlement à la direction de la précontrainte longitudinale, la deuxième nappe étant généralement perpendiculaire à la première (système A de la figure ci-après).
 - Dans le cas des dalles peu biaises (angle de biais géométrique supérieur à environ 70 grades), la deuxième nappe sera généralement disposée parallèlement aux lignes d'appui (l'emploi du programme MRB ne présente dans ce cas un intérêt que pour les ouvrages courbes).
- Pour les dalles en béton armé droites ou peu biaises (même remarque que ci-dessus), les armatures seront généralement orientées parallèlement aux bords libres et aux lignes d'appui.
- Pour les dalles en béton armé de biais prononcé (angle de biais géométrique inférieur à environ 70 grades) comportant deux ou plusieurs travées continues ou les tabliers-dalles à une travée plus longue que large, on choisira également de préférence le système A.
- Pour les dalles en béton armé de biais prononcé à travée unique plus large que longue, il sera préférable d'opter pour le système B, constitué de fers respectivement parallèles et perpendiculaires aux lignes d'appui.

SYSTEMES DE FERRAILLAGE:



Pour les tabliers-dalles courbes en plan, qui peuvent être selon les cas droits ou biais, on s'inspirera des indications ci-dessus.

Lorsque le choix de l'un ou de l'autre des systèmes A ou B n'est pas évident a priori, on pourra demander le calcul de ces deux systèmes et choisir celui qui s'avère être le plus économique (le programme fournit à cette fin la consommation totale d'acier pour chaque système de ferraillage).

Dans tous les cas, on sera amené, pour des raisons d'efficacité mécanique, à disposer des armatures parallèles aux bords libres, sachant que, de plus, ces zones sont soumises à des concentrations d'efforts. A cet effet, on sera amené à placer :

- Dans le cas du système A, des chaînages parallèles aux lignes d'appui sur culées, afin de reprendre les moments développés dans ces zones dites de "chevêtres incorporés".
- Dans le cas du système B, sur une certaine largeur, des chaînages parallèles aux bords libres destinés à reprendre les moments de flexion positifs.

Là encore, on pourra consulter utilement l'Annexe 1 en ce qui concerne les dispositions de détail relatives à ces ferraillages locaux.

Les efforts dans les angles, et en particulier dans les angles obtus, sont repris de manière efficace par les armatures parallèles aux bords libres du système A. Ce système pourra de ce fait être utilisé seul, en modulant bien entendu le ferraillage suivant les résultats de la note de calcul. Le système B, en revanche, devra être complété par des armatures parallèles aux bords libres, dont les sections sont également fournies par la note de calcul.

A cet égard, il convient de rappeler que le programme MRB donne les résultats relatifs aux cas de charge spécifiés par l'utilisateur, et ceux-là seulement. En conséquence, les ferraillages locaux cités ci-dessus ne pourront être correctement calculés qu'à condition que l'étude de cas de charge spécifiquement agressifs vis-à-vis des efforts correspondants ait été prévue.

LIGNE H7

SPECIFICATIONS DE CALCUL EN B.P.E.L.

CLASSE (I)

Classe de vérification en béton précontraint (B.P.E.L. 91 6.1,2):

- 1: classe I,
- 2: classe II.
- 3 : classe III.

LIGNE H8

ARMATURES DE PRECONTRAINTE

VAL

Mot clé permettant de décoder les valeurs définies ci-après. Utilisation identique à celle de la ligne H2.

NI(ROU=)

Coefficient d'équivalence acier-béton instantané.

Porter = s'il est égal à 5.

NV (R OU =)

Coefficient d'équivalence acier-béton différé.

Porter = s'il est égal à 15.

EP(ROU=)

Module de déformation longitudinale des armatures de précontrainte.

Porter = s'il est égal à 194 000 MPa.

GAMMAP(ROU=)

Coefficient γ_p d'affinité du diagramme contraintes-déformations des armatures de précontrainte dans le calcul aux ELU.

Porter = s'il est égal à 1,15.

LIGNE H9

COEFFICIENTS ET VALEURS DE CALCUL

VAL

Mot clé permettant de décoder les valeurs définies ci-après. Utilisation identique à celle de la ligne H2.

ELS(ROU=)

Coefficient de prise en compte de la précontrainte aux ELS.

Porter = si on désire calculer avec la valeur probable P_m de la précontrainte (B.P.E.L. 91, 4.4.). Porter la valeur P_2/P_m ou P_1/P_m suivant que l'on désire un calcul aux ELS avec la valeur caractéristique minimale, P_2 , ou maximale, P_1 , de la précontrainte (B.P.E.L. 91, commentaire 4.4.).

Dans la majorité des cas, il est conseillé de prendre la valeur P₂/P_m.

ELU(ROU=)

Coefficient y, de prise en compte de la précontrainte aux ELU.

Porter = s'il est égal à 1,00 (B.P.E.L. 91, 4.5,1).

RHOU(ROU=)

Coefficient de prise en compte de la surtension de la précontrainte aux ELU.

Porter = si les armatures de précontrainte sont adhérentes (= 1,00, B.P.E.L. 91, 6.3,31.). Sinon, porter la valeur adéquate (B.P.E.L. 91, 6.3,32.).

RHOS (R OU =)

Fraction de prise en compte de la section des armatures de précontrainte et de la surtension de celles-ci dans le calcul aux ELS en classe de vérification III (calcul en section fissurée).

Porter = si les armatures de précontrainte sont adhérentes (= 0,50, B.P.E.L. 91, 5.2.2). Sinon porter la valeur adéquate (B.P.E.L. 91, 5.2,2.).

SURLIR (R OU =)

Surtension-limite des armatures de précontrainte sous l'effet de la combinaison rare en classe de vérification III.

Porter = si elle est égale à 200 MPa.

SURLIF (R OU =)

Surtension-limite des armatures de précontrainte sous l'effet de la combinaison fréquente en classe de vérification III.

Porter = si elle est égale à 100 MPa.

FLIMA1 (R OU =), FLIMA2 (R OU =)

Contrainte de traction-limite en MPa, sous l'effet des combinaisons fréquentes, des armatures passives dans les deux directions 1 et 2, des dalles en béton précontraint vérifiées en classe III.

Porter = si elle est égale à $0.35 \times 500 = 175 \text{ MPa}$.

LIGNE H10 VALEURS LIMITES

VAL

Mot clé permettant de décoder les valeurs définies ci-après. Utilisation identique à celle de la ligne H2.

Ces données servent à émettre des messages d'avertissement en cas de dépassement.

COBQP(ROU=)

Contrainte de compression-limite du béton sous l'effet de la combinaison quasi-permanente, en MPa.

Porter = si elle est réglementaire (= $0.60.f_{c28}$).

COBRF (R OU =)

Contrainte de compression-limite du béton sous l'effet des combinaisons rares et des combinaisons fréquentes, en MPa.

Porter = si elle est réglementaire (= $0.70.f_{c28}$).

Les trois couples de données suivantes définissent les tractions-limites du béton dans les sections d'enrobage (données notées à la fin avec le chiffre 1, par exemple : TRRA1) et en dehors de celles-ci (données notées à la fin avec le chiffre 2, par exemple : TRRA2) sous l'effet des différentes combinaisons (B.P.E.L. 91, 6.1.23).

TRRA1 (R OU =), TRRA2 (R OU =)

Combinaisons rares.

Porter = si ces tractions sont :

- égales à 0 en classe de vérification I,
- respectivement égales à f₁₂₈ pour TRRA1 et 1,5.f₁₂₈ pour TRRA2 en classe de vérification II,
- non limitées, en classe de vérification III.

TRFR1 (R OU =), TRFR2 (R OU =)

Combinaisons fréquentes.

Porter = si ces tractions sont :

- égales à 0 en classe de vérification I,
- respectivement égales à 0 pour TRFR1 et non limitée pour TRFR2, en classe de vérification II.
- non limitées, en classe de vérification III.

TRQP1 (R OU =), TRQP2 (R OU =)

Combinaisons quasi-permanentes.

Porter = si ces tractions sont :

- 0 quelle que soit la classe de vérification (condition spécifique à MRB, voir Annexe 1, § 4.2-, a)
- respectivement égale à 0 pour TRQP1 et non limitée pour TRQP2, en classe de vérification III.

TABLEAU IA

ACTIONS VERTICALES DE LA PRECONTRAINTE

Les actions verticales de la précontrainte servent à calculer les réactions d'appui, les déplacements, les efforts tranchants et les moments.

Les poussées au vide sont introduites suivant les mêmes règles que les charges permanentes (Cf. lignes D5 du tableau D et paragraphe "affectation des charges aux noeuds").

LIGNE IA1 MOT CLE

POUSSEE AU VIDE

Mot clé qui commande la lecture des poussées au vide de l'ensemble de la précontrainte (longitudinale et éventuellement transversale).

LIGNE IA2 TITRE

TITRE '....'

Titre, introduit entre quotes, qui sera qui sera imprimé au début des résultats.

LIGNE IA3 POUSSEES AU VIDE

DONNEES REPETITIVES (CF. § 4)

Le remplissage des lignes IA3 est identique à celui des lignes D5 du tableau D en ce qui concerne les conventions et les remarques.

TP(I)

Numéro d'ordre des charges élémentaires composant la poussée au vide de la précontrainte. Le nombre de charges élémentaires est limité à 150.

NAT(A)

Donnée alphanumérique définissant la forme géométrique des charges élémentaires :

- C: charge concentrée,
- L : charge linéique,
- R: charge rectangulaire,
- P ou (blanc) : charge en parallélogramme,
- T : charge trapézoïdale,
- TPn si la géométrie considérée se déduit par translation de coordonnées de celle de la charge n déjà connue. Ne pas laisser de blanc entre TP et n (exemple : TP10).

I1 (R), J1 (R), DJ1 (R), I2 (R), J2 (R), DJ2 (R)

Paramètres définissant les dimensions de la forme géométrique de la charge élémentaire considérée dans le maillage MRB.

Ces données, définies en mailles, à 0,001 maille près (3 chiffres après le point décimal), doivent respecter les conventions suivantes :

- Charge concentrée : remplir (I1, J1), coordonnées du point de charge.
- Charge linéique: remplir (I1, J1), (I2, J2), coordonnées des deux extrémités du segment de droite délimitant la charge.

- Charge rectangulaire: remplir (I1, J1), DJ1, I2.
 - (I1, J1) : coordonnées de l'un des sommets gauches du rectangle.
 - DJ1 : largeur du rectangle (DJ1 doit être positif).
 - I2 : ordonnée du deuxième sommet gauche.
- Charge en parallélogramme: remplir (I1, J1), DJ1, (I2, J2).
 - (I1, J1), DJ1 : même définition que pour la charge rectangulaire.
 - (I2, J2) : coordonnées du deuxième sommet gauche du parallélogramme.
- Charge trapézoïdale: remplir (I1, J1), DJ1, (I2, J2) et DJ2.
 - I1, J1, DJ1, I2, J2 : même définition que pour la charge en parallélogramme.
 - DJ2 : largeur du parallélogramme au niveau du deuxième sommet gauche.
- Charge déduite d'une autre charge "n" par translation de coordonnées : remplir (I1, J1) pour implanter la nouvelle charge.

CHARGE (R OU A)

Poussée au vide correspondant à la valeur probable (ou moyenne) de la précontrainte longitudinale (et transversale si elle existe), relative à la configuration définie ci-dessus :

- Valeur en kN pour une charge concentrée.
- Valeur linéique en kN/m pour une charge linéique.
- Valeur surfacique en kN/m² pour une charge répartie.
- TPn si la valeur de la charge est la même que celle de la charge n déjà connue. Ne pas laisser de blanc entre TP et n (exemple : TP10). La charge n à la quelle on se réfère doit être de même "nature" (concentrée, linéique ou surfacique).

CONVENTIONS DE SIGNE:

"+" vers le bas du tablier. "-" vers le haut.

COMMENTAIRES SUR LE TABLEAU IA

GENERALITES SUR L'ACTION D'UNE PRECONTRAINTE

L'action de la précontrainte est équivalente à :

- Des poussées au vide réparties, de densité :

 $\frac{F}{P}$

- F: effort normal probable (ou moyen), à l'infini, toutes pertes déduites, par mètre de largeur dans la direction normale à celle des armatures de précontrainte, en kN/m.
- R: rayon de courbure en élévation du tracé des câbles en m.
- Des efforts aux ancrages, qui se décomposent en :
 - Couples concentrés de valeur F.e, e étant la distance de la fibre moyenne de la dalle au point d'ancrage. Ces couples peuvent être introduits sous forme d'un couple constitué de deux forces opposées centrées sur la ligne d'appui extrême, de manière analogue à celle de l'exemple illustrant le tableau D. Lorsque e est faible, ce couple peut être négligé.
 - Composantes horizontales, dont l'effet est équivalent à celui d'une force horizontale centrée dans chaque section.
 - Composantes verticales, qui peuvent être introduites comme des poussées au vide concentrées.

MODALITES D'INTRODUCTION DES DONNEES D'UNE PRECONTRAINTE

Les poussées au vide, ainsi que les couples et les composantes verticales des efforts d'ancrage d'une précontrainte sont à introduire dans le tableau IA.

Les composantes horizontales sont quant à elles à introduire soit dans le tableau IB (dans le cas d'une précontrainte translatable) ou IC (dans le cas d'une précontrainte quelconque).

Lorsqu'on est en présence de plusieurs précontraintes de directions différentes, l'ensemble des poussées au vide doit être introduit à l'aide du tableau IA. Chaque charge élémentaire étant ajoutée aux précédentes, il est conseillé, pour plus de lisibilité, de définir d'abord toutes les charges relatives à la première précontrainte, puis celles relatives à la deuxième, etc., plutôt que d'essayer d'introduire directement l'effet global. On peut, le cas échéant, laisser une ligne blanche entre deux ensembles de données pour les séparer visuellement.

La règle d'affectation aux noeuds des poussées au vide est la même que pour les charges permanentes (Cf. lignes D5, tableau D).

En raison des approximations des longueurs d'application des poussées au vide, la somme de ces dernières, composantes verticales des forces d'ancrage comprises, peut ne pas être strictement nulle. Le programme considère la valeur-limite de 100 kN; si la somme des poussées au vide, en valeur absolue, est supérieure à cette dernière, un avertissement sera imprimé par le programme de décodage des données en amont du programme MRB proprement dit et le programme MRB s'arrête à la lecture de cet avertissement. Il existe, néanmoins, une option qui permettrait de continuer le calcul si l'on le souhaite.

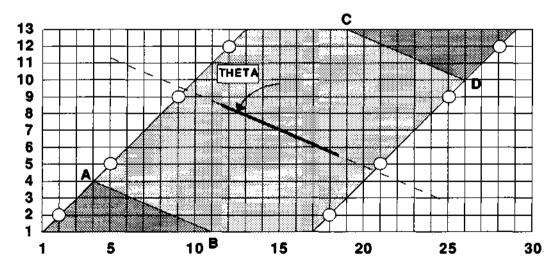
ZONES PRECONTRAINTES ET ZONES SIMPLEMENT ARMEES

Pour une précontrainte longitudinale parallèle aux bords libres, on peut considérer que la zone où la précontrainte est entièrement épanouie règne sur l'ensemble de la dalle équivalente faisant l'objet du modèle MRB, à moins que des contraintes spécifiques n'amènent à fortement concentrer les câbles dans une zone particulière.

Pour une précontrainte transversale, on peut considérer, par prudence, que cette même zone est réduite à celle où les câbles sont logés, le reste de la dalle étant considéré comme simplement armé vis-à-vis de cette direction. Le programme MRB délimite les zones à armer par les données du tableau IC et calcule les sections d'armatures passives selon les règles B.P.E.L. sans effort normal.

Il en va de même lorsque la précontrainte n'est pas parallèle aux bords libres. Ainsi, dans l'exemple ci-après, les câbles sont dirigés suivant la direction THETA et sont logés dans la zone limitée par les deux segments de droite AB et CD. Les armatures des angles aigus seront calculées par le programme MRB selon les règles B.P.E.L. sans effort normal.

Les zones de régularisation de la précontrainte doivent quant à elles faire l'objet de justifications complémentaires selon les règles relatives aux zones d'appui simple d'about (article 7.5, B.P.E.L. 91) et aux zones d'application de forces concentrées (Annexe 4, B.P.E.L. 91).





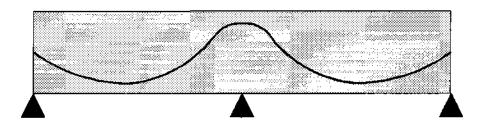
B.P.E.L.



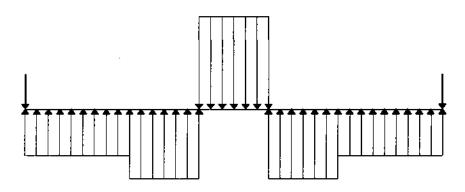
B.P.E.L. sans effort normal

EXEMPLE ILLUSTRANT LE TABLEAU IA

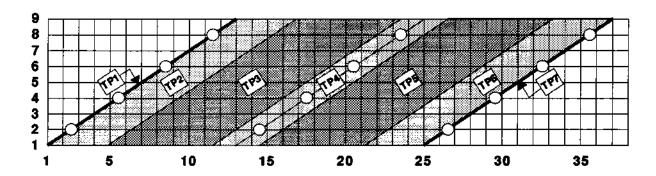
TRACE DU CABLE:



CHARGEMENT EQUIVALENT A L'ACTION VERTICALE DE LA PRECONTRAINTE :



CHARGES INTRODUITES DANS MRB:



BORDEREAU DES DONNEES:

IA2	A2 TITRE 'ACTIONS VERTICALES DE LA PRECONTRAINTE'									
	* <u>T P</u>	MAT	<u>_11</u>	ا ل	D J 1	<u> 12</u>	J 2	DJ2	CHARGE	
IA3	_1	L.	1.	1.		.	_ 13.		52.981	
IA3	2		1.	1.	4.8	.	13.		-14.392	
EAI	3		1.	5.8	5.7	9.	17.8		-19.628	
IA3	4		<u>.1.</u>	11.5	3.	9.	23.5	<u></u>	72.739	
IA3	5	TP3	<u>ر. 1</u>	14.5					TP3	
IAS	_ 6	TP2,	լ1. ,	20.2	<u> </u>			ـــــا	T P 2	
IA3	_7	TP1	1.	25.	نــــا	<u></u>			T P 1	

TABLEAU IB

ACTIONS HORIZONTALES D'UNE PRECONTRAINTE LONGITUDINALE TRANSLATABLE

Les actions horizontales de la précontrainte, concomitamment avec les poussées au vide, servent à calculer les contraintes en face supérieure et inférieure de la dalle et les sections d'armatures passives aux ELU et ELS.

Un tracé est considéré comme translatable si l'on retrouve les mêmes excentrements en faisant une translation parallèle à la direction des lignes d'appuis, ce qui suppose que :

- les lignes d'appui soient parallèles entre elles,
- les câbles d'une même famille admettent le même tracé, dont la vue en plan est parallèle aux bords libres (droits ou courbes).

Dans le sens transversal, une précontrainte longitudinale translatable peut comporter plusieurs familles de câbles qui présentent des tracés translatables différents.

Les données générales pour chaque famille de câbles sont introduites en lignes IB2 et IB3.

La définition en plan, les excentrements et effort normaux de chaque famille de câbles sont introduits en lignes IB4 et IB5.

Si le tracé n'est pas translatable, ne pas joindre ce tableau et utiliser le tableau IC.

LIGNE IB1 MOT CLE

TRANSLATABLE

Mot clé qui précise la nature du tracé des câbles de la précontrainte longitudinale.

LIGNE IB2

TITRE '....'

Titre, introduit entre quotes, de la famille de précontrainte translatable.

Le mot TITRE, utilisé comme mot clé, sert à définir une famille de précontrainte translatable.

LIGNE 1B3 CARACTERISTIQUES DES ARMATURES DE PRECONTRAINTE

FPEG(R)

Contrainte caractéristique de déformation garantie des armatures de précontrainte, en MPa.

SECAB(R)

Section d'une armature de précontrainte en mm².

DGAINE (R)

Diamètre d'encombrement de la gaine en mètre.

LIGNE IB4 ZONES DE PRECONTRAINTE ET VALEURS DE CALCUL IDE (I), 1FI (I)

Numéro des lignes de noeuds, dans le sens transversal, du début et de la fin de la famille de câbles de tracé translatable (voir exemple ci-après).

La largeur définie par IDE et IFI représente la zone dans laquelle la précontrainte de la famille considérée est pleinement épanouie. La réunion de ces zones est égale à la largeur totale de la dalle équivalente, dans la mesure où l'épaisseur et la longueur de la dalle y permettent un épanouissement total de la précontrainte, au delà de la zone de régularisation.

Ainsi, lorsque la précontrainte doit être diffusée sur toute la largeur introduite (EDALLE) de la dalle, même si les câbles ne sont pas logés sur toute la largeur de celle-ci (cas des dalles à larges encorbellements), les familles de câbles latérales doivent s'étendre de la ligne I=1 à la ligne I=MMAX+1.

Dans tous les cas, les zones de régularisation de la précontrainte doivent faire l'objet de justifications complémentaires selon les règles relatives aux zones d'appui simple d'about (article 7.5, B.P.E.L. 91) et aux zones d'application de forces concentrées (Annexe 4, B.P.E.L. 91).

IREF (I)

Numéro de la ligne de noeuds choisie pour fournir les excentrements et l'effort normal de la précontrainte en lignes IB5 (voir exemple ci-après).

NCAB(R)

Nombre d'armatures de précontrainte par mètre de largeur dans la direction normale aux câbles.

FORCE (R OU A)

Effort normal probable (ou moyen) de la précontrainte, à l'infini, toutes pertes déduites, par mètre de largeur dans la direction normale à celle de l'armature de précontrainte, en kN/m.

Cet effort est la moyenne des efforts normaux probables le long du tracé des câbles, en tenant compte de la diffusion de la précontrainte de la famille considérée et des autres familles de câbles s'il y a lieu.

Si l'on veut introduire un effort normal variable le long du tracé, porter F et remplir les colonnes FORCE des lignes IB5.

LIGNE IB5

ACTIONS HORIZONTALES DE LA PRECONTRAINTE

DONNEES REPETITIVES (CF. § 4)

TP(I)

Numéro d'ordre des points du tracé qui admettent le même excentrement et le même effort normal $(1 \le I \le 150)$.

J(R)

Données (à 0,1 maille près) qui forment avec IREF, introduit en ligne IB4, le point de coordonnées (IREF, J) pour lequel on fournit l'excentrement et éventuellement l'effort normal.

L'ensemble de ces points (limité à 150) pour une même valeur de IREF constitue une description discrète du tracé des câbles.

EXC (R OU A)

- Excentrement en mètre, compté positivement vers le haut, par rapport à la sous dalle, du point (IREF, J) défini ci-dessus.
- TPn si le point considéré admet le même excentrement que celui du point n déjà connu. Ne pas laisser de blanc entre TP et n (exemple : TP10). Se reporter à la remarque de la ligne A6 en ce qui concerne la lecture des données par le programme.

REMAROUES:

- La connaissance de l'excentrement des câbles est nécessaire pour le calcul des sections d'armatures passives aux ELU (dans tous les cas) et aux ELS (pour les ouvrages vérifiés en classe III). On ne commettra pas d'erreurs trop sensibles pour ces calculs en définissant le tracé au moins aux points où il existe un changement de courbure, aux points d'ancrage, aux points hauts, aux points bas et aux points d'inflexion.

Entre ces points, on pourra ne fournir qu'un nombre limité de valeurs.

- Lorsqu'on dispose préalablement au calcul MRB-EL d'un calcul PSIDP-EL, on peut utiliser directement le tableau des cotes de l'axe des câbles de ce dernier.

En effet, pour chaque travée, le programme PSIDP-EL fournit ces cotes en des abscisses équidistantes, définies par un intervalle introduit dans le bordereau des données. Il convient, en vue de pouvoir utiliser directement les résultats de PSIDP-EL, de choisir, pour chaque travée, un nombre d'intervalles égal au nombre de mailles du calcul MRB-EL.

FORCE (R OU A)

Ne remplir cette colonne que si la colonne FORCE de la ligne IB4 a été codée F.

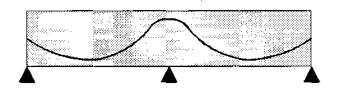
- Effort normal probable (ou moyen) de la précontrainte, à l'infini, toutes pertes déduites, par mètre de largeur dans la direction normale à celle de l'armature de précontrainte, en kN/m, relatif au point (IREF, J) considéré.
- TPn si le point considéré admet le même effort normal que celui du point n déjà connu. Ne pas laisser de blanc entre TP et n (exemple : TP10). Se reporter à la remarque de la ligne A6 en ce qui concerne la lecture des données.

COMMENTAIRES SUR LE TABLEAU IB

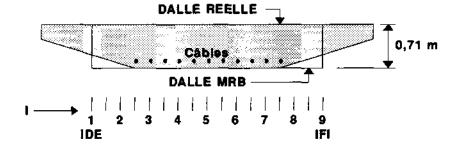
- Les excentrements et les efforts normaux en chaque noeud du maillage sont calculés de la façon suivante :
 - Sur la ligne I=IREF, on effectue une interpolation par rapport à J à partir des valeurs fournies en $J_1, ..., J_n$.
 - Sur les autres lignes, on adopte la valeur calculée en I=IREF à la même abscisse relative par rapport à la ligne d'appuis située à gauche, ce qui revient à effectuer une translation par rapport aux lignes d'appuis.
- Les lignes IB2, IB3, IB4 et IB5 définissent une famille de câbles. Lorsqu'il existe plusieurs familles de câbles, il faut remplir ces quatre lignes pour chaque famille.
- Le programme procède à un contrôle de cohérence des excentrements. Ceux-ci doivent être compris à 5 mm près entre :
 - $a = \max(1.5 \cdot \text{DGAINE} ; 0.5 \cdot \text{DGAINE} + 0.04)$
 - HDALLE-a

EXEMPLE ILLUSTRANT LE TABLEAU IB

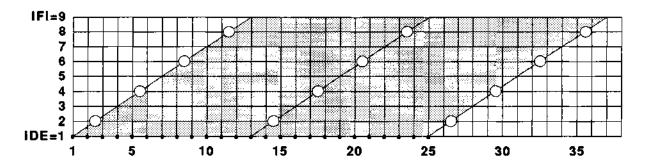
TRACE DU CABLE:







REPRESENTATION DU MODELE:



BORDEREAU DES DONNEES:

*	FPEG	SECAB	DGAINE			
IB3	1230,39	603.	0.061			
*	IDE IFI	LIREF	NCAB	FORCE		
184	1 9		6.276	F		
#	TP J	EXC	FORCE	<u>T P</u> . <u>J</u> .	EXC	FORCE
185	<u> </u>	.355	3197.	25 25.	_ T P 1	T P 1
(B5	2 2.	.322	3216.	24 24.	TP2	TP2
1B5	3 3.	. 297	3234.	23 23.	TP3	T P 3
185	. 4 ن ـ 4 .	.278	3253.	22 22.	TP4	TP4
1 B 5	5 5.	.267	3271.	21 21.	TP5	T P 5
IB5	6.	. 263	3290.	20, 20.	TP6	T P 6
IB5	7 7.	.260	3308.	19 19.	TP7	TP7
IB5	8 8.	. 2 6 2	3327.	18 18.	TPB	TPS
185	9 9.	.306	3357.	17 17.	TP9	TPS
185	10 10.	.339	3382.	16, 18.	TP10	T P 1 0
185	11 11.	.382	3406.	15 15.	TP11	TP11
185	12 12.	.429	3431.	14 14.	TP12	TP12
1B5	13 13.	.447	3455.			1

TABLEAU IC

ACTIONS HORIZONTALES D'UNE PRECONTRAINTE QUELCONQUE

Ce tableau remplit les mêmes fonctions que celles du tableau IB lorsque le tracé de câbles n'est pas translatable (ponts-dalles aux lignes d'appuis non parallèles entre elles, etc.).

Il s'applique également aux précontraintes transversales.

LIGNE IC1

MOT CLE

QUELCONQUE

DONNEES REPETITIVES (CF. § 4)

Mot clé qui précise la nature du tracé des câbles.

Les lignes IC2, IC3, IC4, IC5 définissent les actions horizontales d'une précontrainte, il convient donc de répéter l'ensemble de ces lignes autant de fois qu'il y a de cas de précontrainte.

Le nombre de précontraintes quelconques est limité à 6.

LIGNE IC2

TITRE '....'

Titre, introduit entre quotes, de la famille de précontrainte quelconque.

Le mot TITRE, utilisé comme mot clé, sert à définir une famille de précontrainte quelconque.

LIGNE IC3

CARACTERISTIQUES DES ARMATURES DE PRECONTRAINTE

FPEG(R)

Contrainte caractéristique de déformation garantie des armatures de précontrainte, en MPa.

SECAB(R)

Section d'une armature de précontrainte en mm².

DGAINE (R)

Diamètre d'encombrement de la gaine en mètre.

LIGNE IC4 VALEURS DE CALCUL

R (A)

Paramètre stipulant le caractère relatif ou absolu du repère par rapport auquel la direction des armatures de précontrainte sont définies.

R: repère relatif.

A : repère absolu.

Dans le cas d'un ouvrage à bords rectilignes, porter R.

THETA (R)

Direction des câbles, comptée trigonométriquement en grades soit par rapport à la radiale courante (repère relatif) soit par rapport à la radiale J = 1 (repère absolu) (voir commentaires de la ligne H6 du tableau H).

 $0 \text{ GR} \le \text{THETA} \le 200 \text{ GR}$

NCAB(R)

Nombre d'armatures de précontrainte par mètre de largeur dans la direction normale aux câbles.

FORCE (R OU A)

Effort normal probable (ou moyen) de la précontrainte, à l'infini, toutes pertes déduites, par mètre de largeur dans la direction normale à celle de l'armature de précontrainte, en kN/m.

Cet effort est la moyenne des efforts normaux probables le long du tracé des câbles, en tenant compte de la diffusion de la précontrainte de la famille considérée et des autres familles de câbles s'il y a lieu.

Si l'on veut introduire un effort normal variable le long du tracé, porter F et remplir les colonnes FORCE des lignes IC5.

LIGNE ICS

ACTIONS HORIZONTALES DE LA PRECONTRAINTE

DONNEES REPETITIVES (CF. § 4)

Ce bordereau permet de fixer l'effort normal et l'excentrement des câbles en chaque noeud du maillage au moyen de zones élémentaires possédant des formes géométriques simples.

Ces zones élémentaires sont les mêmes et obéissent aux mêmes règles que celles qui servent à décrire les charges permanentes (Cf. lignes D5 du tableau D et paragraphe "affectation des charges aux noeuds").

Les noeuds situés à l'intérieur et sur le contour d'une même zone possèdent le même excentrement et le même effort normal.

TP (I)

Numéro d'ordre des zones élémentaires. Le nombre de zones est limité à 150.

NAT (A)

Donnée alphanumérique définissant la forme de la zone élémentaire :

- C: point (dans ce cas, il doit s'agir d'un noeud),
- L: segment (le segment doit passer exactement par un ou plusieurs noeuds),
- R: rectangle,
- P ou (blanc) : parallélogramme,
- T: trapèze,
- TPn si la zone considérée se déduit par translation de coordonnées de celle de la zone n déjà connue. Ne pas laisser de blanc entre TP et n (exemple : TP10).

I1 (R), J1 (R), DJ1 (R), I2 (R), J2 (R), DJ2 (R)

Paramètres définissant les dimensions de la zone considérée dans le maillage MRB.

Ces données, définies en mailles, à 0,1 maille près (1 chiffre après le point décimal), doivent respecter les conventions suivantes :

- Point: remplir (I1, J1), coordonnées du point.
- Segment: remplir (I1, J1), (I2, J2), coordonnées des deux extrémités du segment de droite.
- Rectangle: remplir (I1, J1), DJ1, I2.
 - (I1, J1) : coordonnées de l'un des sommets gauches du rectangle.
 - DJ1 : largeur du rectangle (DJ1 doit être positif).
 - 12 : ordonnée du deuxième sommet gauche.
- Parallélogramme: remplir (I1, J1), DJ1, (I2, J2).
 - (I1, J1), DJ1: même définition que pour un rectangle.
 - (I2, J2) : coordonnées du deuxième sommet gauche du parallélogramme.
- *Trapèze*: remplir (I1, J1), DJ1, (I2, J2) et DJ2.

- I1, J1, DJ1, I2, J2: même définition que pour le trapèze.
- DJ2 : largeur du parallélogramme au niveau du deuxième sommet gauche.
- Zone déduite d'une autre zone "n" par translation de coordonnées : remplir (I1, J1) pour implanter la nouvelle zone.

EXC (R OU A)

- Excentrement en mètre, compté positivement vers le haut, par rapport à la sous dalle, dans la zone.
- TPn si la zone considérée admet le même excentrement que celui du point n déjà connu. Ne pas laisser de blanc entre TP et n (exemple : TP10).

FORCE (R OU A)

Ne remplir cette colonne que si la colonne FORCE de la ligne IC4 a été codée "F".

- Effort normal probable (ou moyen) de la précontrainte, à l'infini, toutes pertes déduites, par mètre de largeur dans la direction normale à celle de l'armature de précontrainte, en kN/m, relatif à la zone considérée.
- TPn si la zone considérée admet le même effort normal que celui de la zone n déjà connue.

COMMENTAIRES SUR LE TABLEAU IC

ZONES PRECONTRAINTES ET ZONES SIMPLEMENT ARMEES

MRB détermine ces zones à l'aide des données fournies par le présent tableau IC et adapte le mode de justification à la nature de la zone (se reporter aux commentaires du tableau IA).

La règle adoptée est la suivante :

- Un noeud du maillage est considéré comme faisant partie d'une zone non précontrainte si il n'appartient à aucune des zones élémentaires définies par les lignes IC5. Dans ce cas, les sections d'armatures passives sont calculées suivant les règles B.P.E.L. sans effort normal.
- Dans le cas contraire, le noeud est considéré comme appartenant à une zone précontrainte et on applique entièrement les règles B.P.E.L.

Il convient donc de porter une grande attention à bien définir tous les nœuds appartenant à la zone précontrainte.

Les zones de régularisation doivent quant à elles faire l'objet de justifications complémentaires selon les règles relatives aux zones d'appui simple d'about (article 7.5, B.P.E.L. 91) et aux zones d'application de forces concentrées (Annexe 4, B.P.E.L. 91).

CONTROLES DE COHERENCE

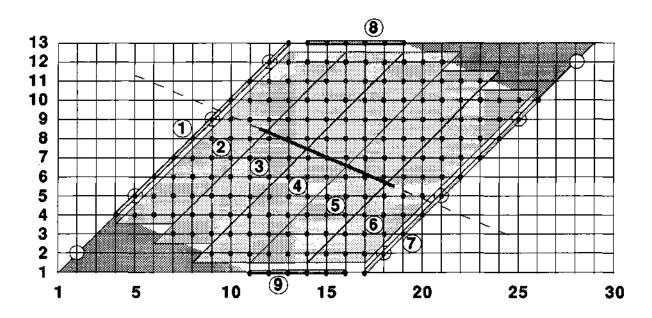
Comme pour le tableau IB, le programme procède à un contrôle de cohérence des excentrements, ceux-ci devant être compris à 5 mm près entre :

- $a = \max(1.5 \cdot \text{DGAINE} ; 0.5 \cdot \text{DGAINE} + 0.04)$
- HDALLE-a

Le programme contrôle également que tous les noeuds appartenant au polygone convexe circonscrit à la zone courante ont été définis.

EXEMPLE ILLUSTRANT LE TABLEAU IC

REPRESENTATION DU MODELE:



BORDEREAU DES DONNEES:

TABLEAU IC: ACTIONS HORIZONTALES D'UNE PRECONTRAINTE QUELCONQUE

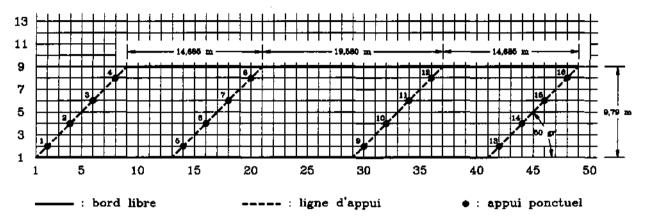
IC1 QUELCONQUE	
IC2 TITHE 'PRECONTRAINTE LONGITUDINALE'	
# FPEG SECAB DGAINE	
IC3 1255. 11550608	
# R THETA NCAB FORCE	
IC4 FI 70.5 6.522 6950.	
# TP NAT IT, JT DJ1 12 J2 DJ2 EXC	FORCE
IC5 1 L 4. 4. 13. 13.	
IC5 2, 3.5, 4. 3. 12.5, 16	
IC5 3 TP2 2.5 624	
IC5 4 1.5 8	
ICS 5 1.5 11. TP	3
IC5 6 1.5 14. TP	2
IC5 _ 7 _ TP1 _ 1 17	1
IC5 8; L 13. 14. 13. 19 TP	<u> 1 </u>
IC5 9, TP8, 1., 10.,	<u>1</u>

NOTE DE CALCUL COMMENTEE

BORDEREAU DE DONNEES REMPLI DU CALCUL NO 0000 DU 20/05/94

Un tablier-dalle à trois travées en béton précontraint a été pris comme modèle d'application. Ses caractéristiques géométriques, en plan, sont données dans la figure suivante.

Une note de calcul MRB a été faite, conformément au règlement BPEL91, à partir des données introduites dans le bordereau de données ci-joint. Pour la compréhension de ce dernier, il convient de se référer aux "COMMENTAIRES DES DONNEES".



NUM DATE NIV TEL INGENIEUR MRRET, 0000 200594

CODE CLIENT

MRHMEL 0000 200594

MODELE D'APPLICATION

TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT

TARLEAU A : CARACTERISTIQUES DE LA DALLE ET DES APPUIS

MAGAX 8

#HDALLE EDALLE RC EI EV NUELS NUELD NUDEF .700 9.790 D = = = = =

#LIAPP 1 LIAPP 2 LIAPP 3 LIAPP 4 LIAPP 5 LIAPP 6

ELAST NATEL DENIV RAYAPP

#AP	I	J	ELAST	DENIV	AP	I	J	ELAST	DENIV
1	2.0	2.0			2	4.0	4.0		
3	6.0	6.0			4	8.0	8.0		
5	2.0	14.0			6	4.0	16.0		
7	6.0	18.0			8	8.0	20.0		
9	2.0	30.0			10	4.0	32.0		
11	6.0	34.0			12	8.0	36.0		
13	2.0	42.0			14	4.0	44.0		
15	6.0	46.0			16	8.0	48.0		

Tableau c : specifications de calcul et surface d'influence

SPEC

#JMIN JMAX CUMDEN DENELU 1 37 0 .0

SUPPRICES D'INFLUENCE

DEPL N MOMENTS (

SPECIFICATIONS DES SORTIES

IMP S DES 0

```
60
# TABLEAU D : CHARGE PERMANENTE
PERMANENTE
#ELU CAMBOAG
VAL 1.350
REPARTIE 21.562
# TABLEAU E : CHARGE A(L)
ESURCH 7.500
#CLASSE COMUL
#ELS CAMPACAR PSI1 ELU GAMPACAR GAMPAQ1
# ARE NVOIES T1 T2 T3 T4 T5 T12 T23 T34 T45 4.895 2 T1 T2 T12 T12 T12 T12 T12
  3.02
6.77
# TABLEAU F : CHARGE BC
BC
#CLASSE CUMUL
FEIS CAMPACAR PSI1 ELU CAMPACAR CAMPAGI
      LARG LONG1 LONG2 POIDS1 POIDS2
#
VAL
CAS 1 SENS DG DYNAM 1.155 'BC EXCENTRE DANS L''ANGLE OBTUS, SUR LA TRAVEE 1'
                          I J
                                       I J I
                                                         J
CAS 2 SENS GD DYNAM 1.127 'BC EXCENTRE DANS L''ANGLE OBTUS, SUR LA TRAVEE 2'
                                 J
                                        I J
                                                    I
                                                          J
# I J I J
6.3 20. 6.3 28.6
                            I
# TABLEAU GA : CHARGES VARIABLES QUELCONQUES
VAR
#CUNUL
CAS 1 ' MC120 CENTRE SUR LA TRAVEE 1'
               PST1 ELU CAMBGACAR CAMBGAG1
.000 1.000 1.350
#ELS CANMACAR
                 31
8.5
8.5
                         DJ1
5.0
5.0
# TP NAT 11
1 R 3.5
2 R 6.2
                                I2
                                        J2 DJ2
                                                           CHARGE
                                4.3
                                                          101.744
101.744
CAS 2 ' MC120 CENTRE SUR LA TRAVEE 2'
               PSI1 ELU GAMBACAR GAMBAQ1
.000 1.000 1.350
#ELS CAMBACAR
# TP NAT II
1 R 3.5
2 R 6.2
                                12
                          DJ1
                  л
                                          J2
                                                 DJ2
                                                           CHARGE
```

CAS 3 ' NC120 EXCENTRE DANS L''ANGLE OBTUS, SUR LA TRAVEE 1'

PSII ELU CAMBOACAR CAMBOAQI

DJI

1.000

12

2.1

J2 DJ2

FELS CAMPACAR

TP NAT II 1 R 1.3 2 R 4.0

1.000

.000

Л 9. 5.0 9. 5.0 99.004

CHARGE

101.744 101.744

CAS 4 ' MC120 EXCENTRE DANS L''ANGLE OBTUS, SUR LA TRAVÉE 2'

#ELS GAMMACAR PSI1 ELU GAMMACAR GAMMAG1 1.000 1.350

TP NAT II JI DJI I2 J2 DJ2 CHARGE 1 R 7.7 20. 5.0 6.9 99.004 2 R 5.0 20. 5.0 4.2 99.004

CAS 5 'MC120 SUR LA PILE 1'

#ELS GAMMACAR PSI1 ELU GAMMACAR GAMMACAL 1.000 1.350

TP NAT II JI DJI 12 J2 DJ2 CHARGE 1 R 5.0 15.5 5.0 5.8 101.744 2 R 7.7 15.5 5.0 7. 101.744

TABLEAU H : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX ET CLASSES DE VERIFICATION

BETON

FC28 35.000

FT28 COREBE THETAC GAMMAB EPSBO EPSBU COBELI VAL

CALCUL EN BETON ARME

FIS FP

ENROBI ENROBS

VAI

N FS1 FS2 FS3 ES GANNAS SIGNAS1 SIGNAS2 EPSFER VAL

#R THETAL R THETA2 R 100.000 R .000

CALCUL EN BETON PRECONTRAINT

CLASSE 2

NI NV EP CAMMAP

ELS ELU RHOU RHOS SURLIR SURLIF FLIMA1 FLIMA2 VAL

COBOP COERF TRRAI TRRA2 TRFR1 TRFR2 TROP1 TROP2
VAL

TABLEAU IA : ACTIONS VERTICALES DE LA PRECONTRAINTE

POUSSEE AU VIDE

TITRE 'ACTIONS VERTICALES DE LA PRECONTRAINTE'

# 139	NAT	Il	л	DJI	I2	<i>J</i> 2	DJ2	CHARGE
1	L	1.000	1.000		9,000	9,000		111.940
2	P	1.000	1,000	4.800	9,000	9.000		-26.302
3	P	1.000	5.800	6.625	9.000	13.800		-29.587
4	P	1.000	12.425	.575	9.000	20.425		332.278
5	P	1.000	13.000	2.536	9.000	21.000		62.179
6	P	1.000	15.536	5.464	9.000	23.536		-28.563
7	TP6	1.000	21.000					TP6
8	TP5	1.000	26.464					1295
9	TP4	1.000	29.000					TP4
10	TP 3	1.000	29.575					TP 3
11	TP 2	1.000	36.200					TP 2
12	TP1	1.000	41.000					TP1

TABLEAU IB : ACTIONS HORIZONTALES # D'UNE PRECONTRAINTE LONGITUDINALE TRANSLATABLE

TRANSLATABLE

TITRE 'ACTIONS HORIZONTALES DE LA PRECONTRAINTE'

FPEC SECAB DCAINE 1680.00 1116.00 .07000

# IDE		ires 1	NCAB 1.532	FORCE 1851.629				
# TP 1 3 5 7 9 11 13 15 17 19	3.0 3.0 5.0 7.0 9.0 11.0 13.0 17.0	EXC .353 .199 .121 .123 .208 .377 .588 .498 .298	1.532	FORCE	TP 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20	J 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0 14.0 14.0 18.0 20.0	EXC .266 .150 .112 .154 .282 .493 .565 .292 .225	FORCE
21 23 25 27 29 31 33 35 37 39	21.0 23.0 25.0 27.0 29.0 31.0 33.0 35.0 37.0 39.0 41.0	.131 .172 .298 .498 .588 .377 .208 .123 .121 .199 .353			22 24 26 28 30 32 34 36 38 40	22.0 24.0 26.0 26.0 30.0 32.0 34.0 36.0 38.0 40.0	.141 .225 .392 .565 .493 .282 .254 .112 .150 .266	

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT, DES TRANSPORTS ET DU TOURISME

SERVICE D'ETUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES (S.E.T.R.A.)

CENTRE DES TECHNIQUES D'OUVRAGE D'ART

XXXX XXXXX		XXX		0000000000 00000000000	X00000000X	
XX XX	XX	XX	ж	XX	XX	XX
XX X	K XX	XX	XX	XX	XX	XX
XX 3	2000	XX	ж	XX	XX	XX
XX	ХX	XX	XXXX	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	XXXXXXXXXXX)0000XX
XX		XX	XXXX	200000000	XXXXXXXXXXX)00000X
XX		ЖX	ХX	XX	XX	XX
XX		XX	ЖX	XX	XX	300
XX		XX	XX	XX	XX	3000
XXXX		XXXXX	XXXX	30000	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	TATE AND
XXXX		XXXX	XXXX	XXXXX	XXXXXXXXXXXXXX	XXXXXXX

NOTE DE CALCUL DE PONT-DALLE ISOTROPE PAR LA METHODE DES REFLEXIONS BIHARMONIQUES M R B E L ** V E R S I O N 94 - 1

MRREL 0000

DATE 20/05/94

MODELE D'APPLICATION TABLIER-DALLE À TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT

- -la rentse à un entrepremeur de la presente note de calcul n'attenue en rien sa responsabilite et ne le dispense pas notamment des obligations qui lui incombent en vertu de l'article 29 du cahter des clauses administratives generales (ccag)
- -DE MEME, SA REMISE À UN BUREAU D'ETUDES NE DECHARCE PÀS CELUI-CI DE SA RESPONSABILITE DE CONCEPTEUR, NOTAMMENT EN CE QUI CONCERNE LE CHOIX DES DONNEES ET LES ADAPTATIONS EVENTUELLES À SON PROJET DES RESULTATS DU CALCUL

La note de calcul commentée suit les règles de présentation suivantes:

- Elle n'est pas exhaustive, en raison du caractère répétitif de certains résultats.
- La typographie est arrangée pour faciliter la présentation
- Plusieurs pages de la note de calcul imprimées par le programme sont tronquées et représentées sur une page.
 Elles sont séparées par une ligne continue fine:

- Les commentaires sont séparés du texte imprimé par le programme par une ligne constituée d'astérisques:

* PIAN DE LA NOTE DE CALCUL MRB-EL NO 0000 *

```
PACE
 RAPPEL DES CARACTERISTIQUES DE LA DALLE
 CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES ET MECANIQUES DES APPUIS
 RAPPEL DES DONNEES RELATIVES AUX CALCULS BAEL - RPEL
 RAPPEL DES CHARGEMENTS
 RAPPEL DES COEFFICIENTS DE PONDERATION DES CHARGES
 REPRESENTATION DES CHARGES
 REPRESENTATION
             - CHARGE NO 1 : CHARGE PERMANENTE
- CHARGE NO 2 : A(L) 2 VOIE(S) SI
                                                           VOIE (S) SUR LA TRAVEE 1
              - CHARGE NO 3 : A(L) 2 VOIE(S) SUR LA TRAVEE 2
              - CHARGE NO 4 : A(L) 2 VOIE(S) SUR LES TRAVEES 1 ET 2
                                                                                                                                                                                               11
12
13
14
15
             - CHARGE NO 4 : A(L) 2 VOLE(S) SUR LAS TRAVEES 1 ET 2

- CHARGE NO 5 : A(L) 1 VOLE(S) SUR LA TRAVEE 1

- CHARGE NO 6 : A(L) 1 VOLE(S) SUR LA TRAVEE 2

- CHARGE NO 7 : BC EXCENTRE DANS L'ANGLE OBTUS, SUR LA TRAVEE 1

- CHARGE NO 8 : BC EXCENTRE DANS L'ANGLE OBTUS, SUR LA TRAVEE 2

- CHARGE NO 9 : MC120 CENTRE SUR LA TRAVEE 1

- CHARGE NO 10 : MC120 CENTRE SUR LA TRAVEE 1
             - CHARGE NO 11 : MC120 EXCENTRE DANS L'ANGLE CETUS, SUR LA TRAVEE 1 - CHARGE NO 12 : MC120 EXCENTRE DANS L'ANGLE CETUS, SUR LA TRAVEE 2
                                                                                                                                                                                               18
                                                                                                                                                                                               19
20
             - CHARGE NO 13 : MC120 SUR LA PILE 1
- CHARGE NO 14 : ACTIONS VERTICALES DE LA PRECONTRAINTE
- DES EXCENTREMENTS (EN M.) DE LA PRECONTRAINTE LONGITUDINALE TRANSLATABLE
- DES EFFORTS NORMAUX (EN KN/N) DE LA PRECONTRAINTE LONGITUDINALE TRANSLATABLE
              - CHARGE NO 13 ;
                                                                                                                                                                                               21
                                                                                                                                                                                               22
                                                                                                                                                                                               23
CORRECTION DES MOMENTS ET CONTRAINTES
                                                                                                                                                                                               25
REACTIONS D'APPUI ET ETATS DE PLEXION
             - DE LA PRECONTRAINTE SEULE (CALCUL AVEC POISSON = .200 )
- DE LA COMBINAISON QUASI-PERMANENTE (E. L. S.):
- 1.000*(CAS 14:PR)+1.000*(CAS 1:CP)
                                                                                                                                                                                               26
                                                                                                                                                                                               34
                                                    - ENVELOPPE DES CONTRAINTES NOFMALES
                                                                                                                                                                                               39
             - DE LA COMBINAISON FREQUENTE
                                                                                  (E. L. S.) :
                                                    - 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+.720 *(CAS 2 )
                                                    - 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+.720 *(CAS 2 )
- 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+.720 *(CAS 3 )
- 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+.720 *(CAS 4 )
- 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+.720 *(CAS 5 )
- 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+.720 *(CAS 6 )
- 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+.720 *(CAS 7 )
- 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+.720 *(CAS 8 )
                                                                                                                                                                                                49
                                                                                                                                                                                               54
59
                                                                                                                                                                                               64
                                                                                                                                                                                               69
                                                                                                                                                                                               74
                                                     - ENVELOPPE DES CONTRAINTES NORMALES
                                                                                                                                                                                               79
             - DE LA COMBINAISON RAPE
                                                                                  (E. L. S.) :
                                                   RRFE (K. I. S.):
- 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+1.200*(CAS 2 )
- 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+1.200*(CAS 3 )
- 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+1.200*(CAS 3 )
- 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+1.200*(CAS 4 )
- 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+1.200*(CAS 5 )
- 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+1.200*(CAS 6 )
- 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+1.200*(CAS 7 )
- 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+1.200*(CAS 8 )
                                                                                                                                                                                               84
                                                                                                                                                                                               89
                                                                                                                                                                                               94
                                                                                                                                                                                               99
                                                                                                                                                                                             104
                                                                                                                                                                                             109
                                                                                                                                                                                             114
                                                    - 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+1.000*(CAS 9 )
                                                                                                                                                                                             119
                                                    - 1.000* (CAS 14 : PR)+1.000* (CAS 1 : CP)+1.000* (CAS 10)
                                                                                                                                                                                             124
                                                    - 1.000*(CAS 14 : FR)+1.000*(CAS 1 : CP)+1.000*(CAS 11)
- 1.000*(CAS 14 : FR)+1.000*(CAS 1 : CP)+1.000*(CAS 12)
- 1.000*(CAS 14 : FR)+1.000*(CAS 1 : CP)+1.000*(CAS 13)
                                                                                                                                                                                             129
                                                                                                                                                                                             134
                                                                                                                                                                                             139
                                                     - ENVELOPPE DES CONTRAINTES NORMALES
                                                                                                                                                                                             144
             - DE LA PRECONTRAINTE SEULE (CALCUL AVEC POISSON = .000 )
                                                                                                                                                                                             149
                                                    ONDAMENTALE (E. I. U.):
- 1.000*(CAS 14 : PR)+1.350*(CAS 1 : CP)
             - DE LA COMBINATSON FONDAMENTALE
                                                                                                                                                                                             153
                                                    - 1.000*(CAS 14 : PR)+1.350*(CAS 1 : CP)+1.605*(CAS 2 )
- 1.000*(CAS 14 : PR)+1.350*(CAS 1 : CP)+1.605*(CAS 3 )
- 1.000*(CAS 14 : PR)+1.350*(CAS 1 : CP)+1.605*(CAS 4 )
                                                                                                                                                                                             157
                                                                                                                                                                                             161
                                                                                                                                                                                             165
                                                    - 1.000* (CAS 14 : PR)+1.350* (CAS 1 : CP)+1.605* (CAS 5 )
                                                                                                                                                                                             169
                                                    - 1.000*(CAS 14 : PR)+1.350*(CAS 1 : CP)+1.605*(CAS 6 )
                                                                                                                                                                                             173
                                                          .000*(CAS 14 : PR)+1.350*(CAS 1 : CP)+1.605*(CAS 7 )
                                                    - 1
                                                                                                                                                                                             177
                                                    - 1.000*(CAS 14 : PR)+1.350*(CAS 1 : CP)+1.605*(CAS 8 )
- 1.000*(CAS 14 : PR)+1.350*(CAS 1 : CP)+1.350*(CAS 9 )
- 1.000*(CAS 14 : PR)+1.350*(CAS 1 : CP)+1.350*(CAS 10)
                                                                                                                                                                                             181
                                                                                                                                                                                             185
                                                                                                                                                                                             189
                                                    - 1.000* (CAS 14 : PR)+1.350* (CAS 1 : CP)+1.350* (CAS 11)
                                                                                                                                                                                             193
                                                    - 1.000* (CAS 14 : PR)+1.350* (CAS 1 : CP)+1.350* (CAS 12)
                                                                                                                                                                                             197
                                                    - 1.000*(CAS 14 : PR)+1.350*(CAS 1 : CP)+1.350*(CAS 13)
                                                                                                                                                                                             201
ENVELOPPE MAXINGLE DES REACTIONS D'APPUT ET DES CONTRAINTES DE CISATLLEMENT D'EFFORT TRANCHANT
                                                                                                                                                                                             205
FERRATULAGE ENVELOPPE
                                                                                                                                                                                             210
EVALUATION DU METRE D'ARMATURE PASSIVE
                                                                                                                                                                                             215
```

MODELE D'APPLICATION TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT METRICL NO 0000 DU 20/05/94

RAPPEL DES CARACTERISTIQUES DE LA DALLE

* *

CARACTERISTIQUES MECANIQUES DE LA DALLE

MODULE DE DEFORMATION INSTANTANEE 35982.000 MPA
MODULE DE DEFORMATION DIFFEREE 11994.000 MPA
COEFFICIENT DE POISSON POUR LE CALCUL DES SOLLICITATIONS
AUX E.L.S.: 0.200
AUX E.L.U.: 0.000

COMPTICIENT DE POISSON POUR LE CALCUL DES DEFORMATIONS : 0.200

CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA DALLE

RAYON DE COURBURE MESURE DANS L'AXE LONGITUDINAL INFINI L'ARGEUR DE LA DALLE 9.790 M EPAISSEUR DE LA DALLE 0.700 M

DEFINITION DU MAILLAGE DE LA DALLE

NOMERE DE LIGNES 50
NOMERE DE MAILLES PAR LIGNE (MMAX) 8
NOMERO DE LA LIGNE DE NOEUDS DU DEBUT DE L'ETUDE (JMIN) 1
NUMERO DE LA LIGNE DE NOEUDS DE LA FIN DE L'ETUDE (JMAX) 37

COORDONNEES DES NOEUDS DELIMITANT LA DALLE

MODELE D'APPLICATION TABLIER-DALLE À TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT MRBEL NO 0000 DU 20/05/94

PAGE 2

CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES ET MECANIQUES DES APPUIS

RAYON EQUIVALENT MOYEN DES APPAREILS D'APPUI 0.350 M

NOMBRE TOTAL D'APPUIS 16

APPUI	I	J	elasticite en m/kn	Denivelse en m
1	2.0	2.0	0.0000000D+00	0.0000000D+00
2	4.0	4.0	0.0000000D+00	0.0000000D+00
3	6.0	6.0	0.0000000D+00	0.0000000D+00
4	9.0	8.0	0.000000D+00	0.0000000000+00
5	2.0	14.0	0.0000000D+00	0.0000000D+00
6	4.0	16.0	0.0000000D+00	0.0000000D+00
7	6.0	18.0	0.0000000 00+ 00	0.0000000D+00
8	8.0	20.0	0.00000000p+00	0.0000000D+00
9	2,0	30.0	0.0000000D+00	0.0000000D+00
10	4.0	32.0	0.0000000D+00	0.0000000D+00
11	6.0	34.0	0.0000000D+00	0.0000000D+00
12	8.0	36.0	0.0000000D+00	0.0000000D+00
13	2.0	42.0	0.0000000D+00	0.0000000D+00
14	4.0	44.0	0.0000000D+00	0.0000000D+00
15	6.0	46.0	0.0000000D+00	0.0000000D+00
16	8.0	48.0	0.0000000D+00	0.0000000D+00

MODALITES D'APPLICATION DES REGLES BAEL ET BPEL AU CALCUL MRB

Nous reprenons, cí-après, les grandes lignes des modalités d'application des règles BAEL et BPEL au calcul MRB, exposées au paragraphe 4 de l'Annexe 1.

Pour les dalles, d'un point de vue réglementaire (chapitre 9, BPEL91), on distingue :

- les zones "à répartition régulière" et les autres;
- les moments fléchissants généraux et locaux;
- les parties de tablier précontraintes et celles qui ne le sont pas:
- dans les parties précontraintes, on distingue les sections (ou facettes) parallèles et perpendiculaires aux câbles.

Les sections parallèles aux câbles, ainsi que les sections parallèles à la direction mécanique principale, sont à justifier vis-à-vis des moments locaux, conformément aux règles BAEL.

Les sections perpendiculaires aux câbles, ainsi que les sections perpendiculaires à la direction mécanique principale (dans le cas d'une simple précontrainte), sont à justifier :

- vis-à-vis des moments généraux, selon la classe fixée par le marché, dans les zones dites "à répartition régulière";
- vis-à-vis des moments locaux, conformément à la classe 3 du BPEL, dans les autres zones.

En pratique, on peut considérer que les zones à répartition régulière sont en gros les zones centrales des travées, leur étendue étant fonction de la géométrie (notamment du biais) du tablier et des conditions d'appui. En fait, pour les tabliers nécessitant un calcul MRB, donc de biais prononcé, cette zone est relativement réduite.

Les modalités de justification ne sont donc identiques ni d'une partie à l'autre, ni d'une zone à l'autre. Pour plusieurs raisons, elles ne peuvent pas être appliquées telles quelles dans un calcul automatique :

- les zones à répartition régulière ne peuvent pas être déterminées avec exactitude par voie algorithmique ;
- ces zones sont réduites dans le cas des tabliers de biais prononcé, qui constitue le domaine d'emploi privilégié du programme MRB;
- de plus, les moments généraux, obtenus par un lissage à large échelle des moments locaux, sont peu représentatifs et ne permettent pas, en particulier, de cerner correctement les états de contraintes sous l'action des charges roulantes, souvent déterminantes pour ce type d'ouvrage.

Ces raisons ont conduit à adopter une démarche plus simple pour le programme MRB. Elle consiste à :

- ne pas distinguer les zones à répartition régulière des autres,
- ne considérer que les moments locaux.

A) JUSTIFICATIONS A L'ETAT LIMITE DE SERVICE.

Ainsi, les justifications sont menées partout vis-à-vis des moments locaux :

- pour toutes les sections, selon le niveau de fissuration du BAEL retenu, introduit en donnée du programme ;
- pour les sections normales aux câbles, selon la classe du BPEL retenue, également introduite en donnée du programme(classe 2, sauf cas très spécifiques).

Cette démarche est entièrement concordante avec les règles BPEL rappelées ci-dessus, excepté pour les justifications vis-à-vis des contraintes normales de traction du béton, pour lesquelles elle est plus sévère.

Il en résulte que cette démarche risque d'entraîner des dépassements injustifiés des contraintes limites. A cet égard, on peut distinguer deux cas :

- Dépassement dans les zones "à répartition régulière"

Dans ce cas, les dépassements résultent du fait que les contraintes sont calculées sous les moments locaux, plus importants que les moments généraux à prendre en compte réglementairement.

Néanmoins, il convient bien sûr de s'assurer que ces dépassements ne proviennent pas d'une insuffisance réelle du câblage. En toute rigueur, ce contrôle nécessite d'estimer les moments généraux dans les sections critiques et de comparer les contraintes correspondantes aux valeurs limites réglementaires, ce qui est loin d'être simple.

Dans l'immense majorité des cas, il est cependant possible d'éviter ces calculs fastidieux en tenant compte de règles établies par la pratique :

- un écart inférieur à 0,5 MPa entre les contraintes de traction du béton sous moments locaux et les valeurs limites réglementaires sous moments généraux est toujours acceptable;
- lorsque le câblage à vérifier par MRB a été déterminé par le programme PSIDP du SETRA, la condition ci-dessus est toujours satisfalte.
- Dépassement en dehors des zones "à répartition régulière"

Dans ce cas, il s'agit de dépassements par rapport aux valeurs limites associées à la classe 2, plus contraignante que la classe 3, applicable dans ces zones.

Là encore, il convient de s'assurer que ces dépassements ne proviennent pas d'une insuffisance réelle du câblage, ce qui nécessite de comparer les valeurs atteintes aux valeurs limites de la classe 3. D'après le tableau ci-dessus, il suffit de vérifier que le béton reste comprimé sous combinaisons quasi-permanentes.

Pour faciliter ces contrôles, les messages éventuels de dépassement édités par MRB indiquent la combinaison d'actions et le noeud où un dépassement est constaté.

Par ailleurs, sachant que le programme ne peut pas faire la distinction entre les zones "à répartition régulière" et les autres, il indique :

- si le dépassement est inférieur ou supérieur à 0,5 MPa;
- si le béton est ou non décomprimé sous combinaisons quasi-permanentes.

En dernier lieu, le strict respect des règles BPEL nécessite de justifier les facettes parallèles et perpendiculaires à la direction mécanique principale dans les mêmes conditions que les facettes parallèles et perpendiculaires au câble.

Cependant, il a été jugé inutile d'alourdir la note de calculs par cette vérification compte tenu de son caractère très arbitraire :

- d'une part, cette direction est calculée pour un chargement uniforme, de ce fait, elle ne possède aucune propriété particulière pour d'autres cas de charge;
- d'autre part, ce calcul ne tient pas compte de l'effort normal apporté par la précontrainte, qui modifie les directions principales du tenseur des contraintes en ayant tendance à les rapprocher des directions perpendiculaires et parallèles aux câbles.

La validité de ces considérations a été confirmée par de nombreux calculs de test qui montrent en outre que les justifications des facettes parallèles et perpendiculaires à la direction mécanique principale sont en pratique couvertes par les justifications des facettes parallèles et perpendiculaires aux câbles.

Pour ce qui concerne les aciers passifs, le programme MRB les détermine conformément aux règles BAEL et BPEL et en particulier aux conditions de la classe 3 rappelées ci-dessus, de façon que soient respectées les limites de traction des aciers passifs d'une part et de surtension des aciers de précontrainte d'autre part.

B) JUSTIFICATIONS A L'ETAT LIMITE ULTIME.

La démarche est la même que celle du paragraphe "A" ci-dessus : pas de distinction de zones à répartition régulière, justifications vis-à-vis des seuls moments locaux et considération des mêmes sections à savoir les sections perpendiculaires et parallèles aux câbles.

C) JUSTIFICATIONS VIS-A-VIS DES CONTRAINTES TANGENTES.

Le calcul MRB-BP est strictement conforme aux règles BAEL et BPEL.

MODELE D'APPLICATION TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT MRREEL NO 0000 DU 20/05/94

RAPPEL DES DONNEES RELATIVES AUX CALCULS BAEL - BPEL

CLASSE DE L'OUVRAGE = 1

CALCUL EN BAEL : LA FISSURATION DU BETON EST PREJUDICIARLE

CALCUL EN BPEL : CLASSE DE VERIFICATION = 2

RETON

CONTRAINTES DE RUPTURE PAR COMPRESSION FC28 = 35.00 MPA , PAR TRACTION FT28 = 2.70 MPA

CALCULS ELU :

CCEF. DE REDUCTION DE LA COMPRESSION DU BETON = 0.850 CCEF. THETA POUR LES ACTIONS DE COURTE DUREE = 0.850 CAMBOAB = 1.500 EPSBO = 0.002000EPSBU = 0.003500

CALCULS HIS: CONTRAINTE LIMITE DE COMPRESSION DU BETON # 21.00 MPA

CONTRAINTES LIMITES EXIGEES AUX ELS SELON LA CLASSE DE VERIFICATION EN BPEL:

EN COMPRESSION SOUS COMBINALISONS QUASI PERMANENTE = 21.000 MPA , RARE ET FREQUENTE = 24.500 MPA

EN TRACTION SOUS COMBINAISON(S)

RARES EN SECTION D'ENROBAGE = 2.700 MPA HORS SECTION D'ENROBACE = 4.050 MPA FREQUENTES EN SECTION D'ENROBACE = 0.000 MPAHORS SECTION D'ENROBAGE = INFINI QUASI-PERMANENTE EN SECTION D'ENROBAGE = 0.000 MPA HORS SECTION D'ENROBAGE = INFINI

ARMATURES PASSIVES

ES = 0.20000E+06 MPA CAMBRAS = 1.150 EPSFER = 0.010000

ES = 0.20000E+05 REAL CHER-BETON = 15.0

COEF. D'EQUIVALENCE ACTER-BETON = 15.0

ENROBAGE SUPERIEUR = 0.030 M

DIRECTIONS DES ARROTURES PASSIVES :

DIRECTION 1 SYSTEME R1 DIRECTION 2 RŹ 100.000 GR R 0.000 CER

ARMATURES SUIVANT LA DIRECTION 1 :

LIMITE D'ELASTICITE = 500.00 MPA CONTRAINTE LIMITE DE TRACTION (CALCUL EN ELS) = 228.63 MPA

ARMATURES SUIVANT LA DIRECTION 2 :

LIMITE D'ELASTICITE = 500.00 MPA CONTRAINTE LIMITE DE TRACTION (CALCUL EN ELS) = 228.63 MPA LIMITE D'ELASTICITE DES CADRES ET ETRIERS = 500.00 MPA

MODELE D'APPLICATION TARLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT MRBEL NO 0000 DU 20/05/94 PAGE

ARMATURES DE PRECONTRAINTE

NV = 15.0 MODULE D'ELASTICITE EP = 0.19400E+06 MPA COMPTTCTENTS D'EQUIVALENCE NI = 5.0 COMPTICIENT DE PRISE EN COMPTE DE LA PRECONTRAINTE AUX ELS = 1.000 , AUX ELU = 1.000 COEFFICIENT DE PRISE EN COMPTE DE LA SURTENSION AUX ELU = 1.000

VERIFICATION EN CLASSE 3 |-

2

1

COEFFICIENT DE PRISE EN COMPTE DE LA SURTENSION DE LA PRECONTRAINTE AUX ELS = 0.500 SURTENSION-LIMITE DE LA PRECONTRAINTE EN COM. RARE = 200.000 MPA , EN COM. FREQUENTE = 100.000 MPA

CONTRAINTE-LIMITE DE TRACTION DES ACIERS PASSIFS SOUS COM. FREQUENTE DANS LA DIRECTION 1 = 175.000 MPA ET LA DIRECTION 2 = 175.000 MPA

CONTRAINTE-LIMITE DE TRACTION DES ACTERS PASSIFS SOUS COM. RARE

DANS LA DIRECTION 1 = 228.631 MPA ET LA DIRECTION 2 = 228.631 MPA

NOMBRE DE FAMILLES DE PRECONTRAINTE LONGITUDINALE TRANSLATABLE 1 FFEG = 1680.00 MPA SECAB =1116.00 MM2 DGAINE = 0.07000 M PRECONTRAINTE TRANSLATABLE NO 1

NERE DE CABLES/M = 1.532

DIRECTION = 100.000 GR

LINITE DE LA ZONE PRECONTRAINTE IDE = 1 IFI = 9

 $\lfloor 1
floor$ Le béton doit être non décomprimé sous combinaisons quasi-permanentes (voir commentaire précédent et Annexe 1, § 4.2-a, pour plus de détails).

[2] Ces donnéees $\,$ permettent au programme MRBEL de déterminer le ferraillage de façon que soient respectées les limtes de traction des aciers passifs d'une part et de surtension de précontrainte d'autre part, selon les conditions de la classe 3 du BPEL (voir commentaire précédent et Annexe 1, § 4.2-a, pour plus de détails).

MRBEL NO 0000 DU 20/05/94

* RAPPEL DES CHARGEMENTS *

MODELE D'APPLICATION TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT NREEL NO 0000 DU 20/05/94 PACE 6

RAPPEL DES COEFFICIENTS DE PONDERATION DES CHARGES

CAS	Ю	1	TIRE			Prise en c Els rare e		1
:	l :	CHARGE PERMANENTE		1.000	1.000	1.000	1.350	
:	2 :	A(L) 2 VOIE(S) SUR LA TRAVEE 1		0.000	0.720	1.200	1.605	
								2
1	3 ;	A(L) 2 VOIE(S) SUR LA TRAVEE 2	!	0.000	0.720	1.200	1.605	
	4 :	A(L) 2 VOIE(S) SUR LES TRAVEES	1 ET 2	0.000	0.720	1.200	1.605	
į.	5 :	A(L) 1 VOIE(S) SUR LA TRAVEE 1		0.000	0.720	1.200	1.605	
	6 :	A(L) 1 VOIE(S) SUR LA TRAVEE 2	!	0.000	0.720	1.200	1.605	
	7 :	BC EXCENTRE DANS L'ANGLE OBTUS,	SUR LA TRAVEE 1	0.000	0.720	1.200	1.605	
	:	BC EXCENTRE DANS L'ANGLE OBTUS,	SUR LA TRAVEE 2	0.000	0.720	1.200	1.605	
9	:	MC120 CENTRE SUR LA TRAVEE 1		0.000	0.000	1.000	1.350	
10	:	MC120 CENTRE SUR LA TRAVEE 2		0.000	0.000	1.000	1.350	
13	L :	MC120 EKCENTRE DANS L'ANGLE C	BTUS, SUR LA TRAVEE 1	0.000	0.000	1.000	1.350	
12	2 :	MC120 EKCENTRE DANS L'ANGLE C	BTUS, SUR LA TRAVEE 2	0.000	0.000	1.000	1.350	
13	3 :	MC120 SUR LA PILE 1		0.000	0.000	1.000	1.350	
14	:	ACTIONS VERTICALES DE LA PRECON	TRAINTE	1.000	1.000	1.000	1.000	

ELS Q.P.: Combinaison Quasi-Permanente aux Etats Limites de Service ELS FRE.: Combinaison Fréquente aux Etats Limites de Service ELS RARE: Combinaison Rare aux Etats Limites de Service

ELU FOND. : Combinaison Fondamentale aux Etats Limites Ultimes

Coefficient de pondération de la valeur nominale des charges sans caractère particulier pour la vérification des états limites ultimes = 1.605 = 1.50*1.07

MODELE D'APP	ЫС	ATION					
TABLIER-DALL	A 3	TROIS	TRAVEES	EN	BETON	PRECONTRAINT	

MRREL NO 0000 DU 20/05/94 PAGE 7

* REPRESENTATION DES CHARGES *

La note de calcul MRB fournit la répartition de tous les cas de charges récapitulés dans la page précédente. En particulier, pour la précontrainte, en plus de la répartition des poussées au vide, le programme donne également la répartition des efforts normaux et des excentrements. Cette représentation est très utile pour contrôler l'exactitude des charges introduites dans le bordereau de données.

En raison du caractère répétitif des cas de charges, seuls quelques extraits les plus représentatifs sont fournis dans les pages suivantes.

MRBEL NO 0000 DU 20/05/94

1 CAS DE CHARGE NUMERO 1 CHARGE PERMANENTE DE DENSITE 21.561 KN/M2 REPARTITION DES CHARGES (EN KN) AUX NOEUDS DU MAILLAGE COORDONNEES $I \rightarrow$ DU NOEUD 5 2 3 4 6 7 8 9 1 3.6 1.8 1.8 15.2 * 15.2* 2 16.1 31.4 15.2 1.8 15.2* 31.4 32.3 4 16.1 32.3 31.4 * 1.8 32.3 32.3 5 1.8 16.1 32.3 15.2 6 31.4 32.3 15.24 1.8 16.1 32.3 31.4 32.3 32.3 32.3 15.2 16.1 16.1 32.3 1.8 32.3 32.3 32.3 32.3 31.4 15.2* 8 1.8 16.1 32.3 32.3 31.4 11.7 4 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 10 16.1 32.3 32.3 32.3 32.3 16.1 16.1 16.1 16.1 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 11 16.1 32.3 12 16.1 16.1 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 1 2 32.3 32.3 16.1 16.1 16.1 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3* 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 16.1 32.3 32.3 32.3 32.3 16 17 32.3 16.1 32.3 32.3 32.3 32.3 16.1 32.3* 16.1 3 16.1 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 16.1 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 20 21 16.1 16.1 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3* 16.1 32.3 32.3 32.3 32.3 16.1 22 32.3 32.3 32.3 32.3 16.1 16.1 23 16.1 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 16.1 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 25 16.1 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 32.3 16.1

Ce tableau représente la répartition de la charge permanente de densité 21.561 kN/m² aux différents nœuds du maillage MRB.

Les nœuds entourés de deux astérisques représentent les appuis : par exemple le nœud de coordonnées (I = 2 , J = 2) représente l'appui no 1.

Pour des raisons de clarté de présentation, la totalité de la dalle n'est pas reproduite ici, alors que la note de calcul MRB en fournit la totalité.

- 2 Charge au nœud courant de la dalle
 - surface de la maille*densité de charge
 - = 1.22375*1.22375*21.561 = 32.288979, valeur arrondie à 32.3 kN par le format d'impression
- 3 Charge au nœud courant du bord libre
 - = 32.288979/ 2 = 16.144489, valeur arrondie à 16.1 kN
- Charge au nœud de coordonnées (I=8, J=9)

Ce nœud est entouré de trois mailles carrées de charge et d'une demi-maille triangulaire de charge. Conformément à la règle indiquée au paragraphe "Affectation des charges aux nœuds" (voir tableau D, chapitre "COMMENTAIRES DES DONNEES"), la charge nodale est donc la somme de quatre charges. Les trois premières sont identiques et correspondent au quart de la charge d'une maille. La quatrième correspond à l'affectation de la charge triangulaire à son sommet.

La charge du nœud est donc égale à $3/4*32.288979+0.5*32.288979*(2/3)^2 = 24.216734+7.175329 = 31.392063$, valeur arrondie à 31.4 kN

MRREL NO 0000 DU 20/05/94 PAGE 10

CAS DE CHARGE NUMERO 3

A(L) DEFINIE PAR UNE BANDE DONT L'AXE EST DISTANT DU BORD LIBRE GAUCHE DE 4.895 M, SUR LA TRAVEE 2 DENSITE = 13.431 KN/M2, A1 = 1.000, A2 = .933 SUR 2 VOIE(S) NOMBRE TOTAL DE VOIES = 2 , LARGEUR D'UNE VOIE = 3.750 M

									EUDS DU MATLLAGE	
COORDONINEES			CKS CHAR	LES SONT	PONDERES	S PAR LES	CORFE	TOTRNIE I	DE DECRESSIVITE TRANSVERSALE	
DU NOEUD	: I → 1	2	-		-	6	7		9	
J 1			3	4	5	•		8	-	
↓ 2	•	***	•	•	•	•	•	•	•	
3	•		•	•	•	•	•	•	•	
4	•	•	•	***	•	•	•	•	•	
5	•	•		•	•	•	•	•	•	
6			:	· ·		***			:	
7								•	•	
8							•	***	•	
9			•		•	•	•	•	•	
10	•	•	•		•	•	•		•	
11 12	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
13	0.0	0.0	•	•	•	•	•	•	•	
14	0.0 *	2.7*	1.0	•	:	•	:	•	•	
15	0.0	10.0	8.9	1.0		•	:	· ·	•	
16	0.0	10.6	18.3 *	8.9*	1.0				-	
17	0.0	10.6	18.8	18.3	8.9	1.0	•		•	
18	0.0	10.6	18.8	18.8	18.3 *		1.0		•	
19	0.0	10.6	18.8	18.8	18.8	18.3	8.9	1.0	A*-	
20	0.0	10.6	18.8	18.8	18.8	18.8 1	8.3 *	7.3*	0.0	_
										1
21	0.0	10.6	18.8	18.8	18.8	18.8 1	8.8	10.6	0.0	ئا
22	0.0	10.6	18.8	18.8			8.8	10.6	0.0	
23	0.0	10.6	18.8	18.8			8.8	10.6	0.0	
24	0.0	10.6	18.8	18.8	18.8	18.8 1	8.8	10.6	0.0	
o e				10.0					A A	<u> </u>
25 26	0.0 0.0	10.6 10.6	18.8 18.8	18.8 18.8			.8.8 .8.8	10.6 10.6	0.0	
27	0.0	10.6	18.8	18.8			8.8	10.6	0.0	
28	ŏ.ŏ	10.6	18.8	18.8			8.8	10.6	0.0	
29	0.0	10.6	18.8	18.8			8.8	10.6	0.0	
										C:
										 3
30	0.0 *	7.3*	18.3	18.8			8.8	10.6	0.0	_
31	•	1.0	8.9	18.3			8.8	10.6	0.0	
32 33	•	•	1.0 *	8.9* 1.0			8.8 8.8	10.6 10.6	0.0 0.0	
34	•	•	•	1.0			8.3	10.6	0.0	
35	Ċ	:	•	•			8.9	10.0	0.0	
36				÷			1.0 *	2.7*	0.0	
37	•		•		•			0.0	0.0	
38			•		•		•		•	
39	•		•	•		•	•	•	•	
		Ť			Ť			T		
		←	une voie=3.75m → une voie=				-3.75m	\rightarrow		
Ť Ť										
		← t	rois mail	l es= 3.67	lm→← tro	ois maille	3. 67	71 n →		

¹ Charge au nœud courant de la zone chargée

L'axe de la bande chargée par A(l) est à 4.895m du bord libre gauche, il est confondu avec la ligne I = 5 Les bords extrêmes de la bande sont respectivement à 3.75m - 3.671m = 0.079m des lignes I = 2 et I = 8

Par unité de maille dans le sens J, la charge comprise entre la ligne I = 8 et le bord droit de la bande A(l) est donc 0.079*1.22375*13.431*1.000*.933 = 1.211 kN. Le nœud de coordonnées I = 8 et J = 24 est entouré de deux charges identiques à la précédente et de deux charges d'une maille. D'après la règle d'affectation des charges, la charge totale affectée à ce nœud est donc égale à 2*1.211*(1-.5)*(1.22375-0.079/2)/1.22375 + 2*18.766/4 = 10.555 kN, valeur arrondie à 10.6 kN.

La charge affectée à ce nœud est égale à 2.*1.211*(1-.5)*(0.079/2)/1.22375 = 0.039 kN, valeur arrondie à 0.0 kN.

⁼ surface de la maille*densité de charge*a1*a2

^{= 1.22375*1.22375*13.431*1.000*.933 = 18.766,} valeur arrondie à 18.8 kN par le format d'impression

² Charge au nœud courant voisin du bord de la zone chargée : nœud de coordonnées (I = 8, J = 24)

³ Charge au nœud courant voisin du bord de la zone chargée : nœud de coordonnées (I = 9 , J = 29)

NRBEL NO 0000 DU 20/05/94 PAGE 15

CAS DE CHARGE NUMERO 8

BC EXCENTRE DANS L'ANGLE OBTUS, SUR LA TRAVEE 2
SENS = GD, NERE DE CAMIONS = 2, NERE DE VOIES = 1, COEFF. MAJORATION DYNAMIQUE = 1.127, COEFF. BC = 1.200
POIDS ROUE ARRIERE = 58.823 KN, POIDS ROUE AVANT = 29.412 KN
LARGEUR DE L'ESSIEU = 2.000 M, DISTANCE DES ESSIEUX ARRIERE = 1.500 M, DISTANCE DES ESSIEUX EXTREMES = 6.000 M

REPARTITION DES CHARGES (EN KM) AUX NOEUDS DU MAILLAGE CES CHARGES SONT PONDEREES PAR LES COEFFICIENTS DE DEGRESSIVITE TRANSVERSALE ET DE MAJORATION DYNAMIQUE COORDONNEES $I \rightarrow$ DU NORUD 1 2 3 4 5 6 7 8 9 *** 2 3 *** 5 6 *** 10 11 13 14 *** 17 *** 18 19 20 55.7 6 29.1 *@74.3* 1 21 43.1 🕏 22.5 **@**57.5 22 12.6 6.6 16.8 23 2.7 1.4 3,6 24 25 25.1 ® 13.1 **@33.6** 26 28 22.3 11.6 29.7 43.1 🙃 **@**57.5 29 22.5 30 *** 46.0 B 24.0 **多紅.4** 31 32 *** 7.2 33 13.8 18.5 34 14.0*® 7.3 **® 18.7** 35 36

Les signes \oplus ajoutés dans ce tableau indiquent de façon approximative les positions des roues de Bc. Les positions exactes de la roue arrière droite des deux camions, introduites dans le bordereau de données, sont respectivement les points de coordonnées (I = 6.3, J = 20) et (I = 6.3, J = 28.6).

1 Charge au nœud de coordonnées (I = 8, J = 20)

La charge de ce nœud est affectée par la roue arrière gauche du premier camion, dont la masse est de 58.823 kN et la position est déduite de celle de la roue arrière droite par une translation de 2./1.22375 maille dans le sens de I (2. et 1.22375 étant respectivement la distance des roues d'un même essieu et la valeur de la maille en mètre). Les coordonnées de cette roue sont I = 6.3+2./1.22375 = 7.934 et J = 20.

Conformément à la règle d'affectation des charges concentrées, la charge du nœud est donc égale à : 58.823*(7.934-7.)*8*bc = 54.941*1.127*1.2 = 74.3 kN

MRRHEL NO 0000 DU 20/05/94

CAS DE CHARGE NUMERO 10

					_
MC120	CENTRE	SUR	LA	TRAVEE	2

				REPA	RTITION	DES	CHARGES	(EN KN)	AUX	NOEUDS	DU MATILLAGE		
COORDONNEES	I-	>											
DU NOEUD	ī	2	3	4	5		6	7	8	9			
J 1			_	•	-				•	-			
	•	***	•	•	•		•	•	•	•			
	•		•	•	-		•	•	•	•			
3	•	•	-	.:.	•		•	•	•	•			
4	•	•	•	***	•		•	•	•	-			
5	•	•	•	•	-		:.	•	•	•			
<u>6</u>	•	•	•	•	•	*	**	•	•	•			
7	•	•	•	•			•	•		•			
8	•	-	•	•	•		•	•	***	•			
. 9	•	•	•	•			•	•	•	•			
10	•	•	•	•	•		•	•	•	•			
10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23	•	•		•			•	•	•	•			
12	•	-	•	•	•		•	-	•	•			
13	-			•			•	•	•	•			
14	•	***	•	•			•	•	•	•			
15	•	•	•	. •	•		•	•	•	•			
16	•	•		***			•	•		•			
17	•	•	•	•	•		• .	•	•	•			
18	•	•		•	•	*	**	•		•			
19	•	•		•						•			
20	•	•		-	•		•	-	***	•			
21	•	•	. • .	•_		_	• _	. • .		•			
22		•	2.3	11.7	9.0	. 5	.9 (8.9	•				
23			16.2	81.7	5.8	41	.5 62	2.3	•				
24		•	18.5	93.4	6.7	47	.4 7	1.2	•				
							-	_					1
												 ,	
25 26 27			18.5	93.4	6.7	47		1.2	•				
26			18.5	93.4	6.7	47	.4 7	1.2	•				
27		•	16.2	81.7	5.8	41		2.3	•				
28			2.3	11.7	0.8	5	.9 8	3.9	•				
29			-		•				-				
30		***					•		•	•			
28 29 30 31 32 33 34		•							-				
32				***					•				
33					•								
34						*	**						
35							•						
36									***				

Les positions des chenilles de Mc120, introduites dans le bordereau de données sous forme de charge répartie et rectangulaire, sont respectivement

$$(I1 = 3.5, J1 = 22.5, DJ1 = 5., I2 = 4.3)$$
 et

$$(I1 = 6.2, J1 = 22.5, DJ1 = 5., I2 = 7.0)$$

Leur densité de charge, également introduite dans le bordereau de données, est égale à 99.004 kN/m²

1 Charge au nœud de coordonnées (I = 7, J = 24).

La charge de ce nœud est affectée par la deuxième chenille définie par (I1 = 6.2, J1 = 22.5, DJ1 = 5., I2 = 7.0). Par unité de maille dans le sens de J, cette chenille affecte une charge répartie de $1.22375^{\circ}1.22375^{\circ}(7.-6.2)^{\circ}99.004 = 118.612$ kN, centrée sur la ligne I = 6.2 + (7.-6.2)/2 = 6.6

Le nœud considéré est entouré de deux charges identiques à la précédente. Sa charge est donc égale à : $2.^118.612^(1.-.5)^(6.6-6.) = 71.167$, valeur arrondie à 71.2 kN.

MRBEL NO 0000 DO 20/05/94

CAS DE CHARGE NUMERO 14

ACTI	ONS VERT	ICALES D	E LA PREG	CONTRAIN	TE.						
				REPA	RTITION	DES CHAR	GES (EN K	XUA (M	NOEUDS I	U MAILLAGE	
COORDONNE	ES I →							·			
DU NOEUD		2	3	4	5	6	7	8	9		
J 1	44.1	46.2									
J 2	29.8 *		46.2			-	-	-	-		
3	-19.7	10.1	78.3	46.2	-	-	•	•	•		
4	-19.7	-39.4	10.1 *		46.2	•	•	•	•		
5	-19.7	-39.4	-39.4	10.1	78.3	46.2	•	•	•		
6	-20.0	-40.5	-39.4	-39.4		78.3*	46.2	•	-		
ž	-22.8	-41.1	-40.5	-39.4	-39.4	10.1	78.3	46.2	•		
8	-22.2	-44.9	-41.1	-40.5	-39.4	-39.4	10.1 *	78.3*	46.2		
•		44.5		-40.0	-22.4	-35.4	10.1	,0.5			_
											1
9	-22.2	-44.3	-44.9	-41.1	-40.5	-39.4	-39.4	10.1	34.2		لئا
10	-22.2	-44.3	-44.3	-44.9	-41.1	-40.5		-39.4	-19.7		
11	-22.2	-44.3	-44.3	-44.3	-44.9	-41.1		-39.4	-19.7		
12	-20.7	-44.3	-44.3	-44.3	-44.3	-44.9		-39.4 -40.5	-19.7		
13	115.9	84.5	-44.3	-44.3	-44.3	-44.3		-40.3 -41.1	-20.8		
13	113.9	04.3	-44.3	-44.3	-44.3	-44.3	-44.7	-41.1	-20.6		
14	74 3 *	179.5*	84.5	-44.3	-44.3	-44.3	-44.3	-44.9	-21.1		2
15	44.3	120.8	179.5	84.5	-44.3	-44.3		-44.3	-22.2		
16	5.6	67.5	120.8 *		84.5	-44.3		-44.3	-22.2		
17	-21.0	-12.7		120.8	179.5	84.5	-44.3	-44.3	-22.2		
18	-21.4	-42.4	-12.7	67.5	120.8 *			-44.3	-22.2		
19	-21.4	-42.8	-42.4	-12.7	67.5	120.8	179.5	84.5	-22.2		
20	-21.4	-42.8		-42.4	-12.7	67.5	120.8 *				
21	-20.2	44.0		-42.8	-42.4	-12.7		120.8	63.5		
22	-22.6	-40.4		-42.8	-42.8	-42.4	67.5 : -12.7	67.5	46.6		
23	-21.4	-44.0		-44.0	-42.8			-12.7			
24	-21.4	-42.8		-40.4	-42.6 -44.0	-42.8		-42.4	23.3		
25	-21.4	-42.8		-44.0	-40.4	-42.8 -44.0		-42.4 -42.8	-18.3		
25 26	-18.3	-42.4			-40.4 -44.0				-21.4		
27	23.3	-12.7		-42.8		-40.4		-42.8	-21.4		
28	46.6	67.5		-42.8 -42.4	-42.8 -42.8	-44.0		-44.0	-21.4		
29	63.5	120.8				-42.8		-40.4	-22.6		
	105.2 *		120.8	-12.7 67.5	-42.4 -12.7	-42.8		-44.0	-20.2		
	-22.2					-42.4		-42.8	-21.4		
32	-22.2	84.5 -44.3	179.5 84.5 *	120.8	67.5 120.8	-12.7		-42.8 -42.4	-21.4		
33						67.5			-21.4		
	-22.2 -22.2	-44.3	-44.3	84.5	179.5	120.8		-12.7	-21.0		
	-22.2	-44.3		-44.3		179.5*		67.5	5.6		
		-44.3		-44.3	-44.3	84.5		120.8	44.3		
36	-21.1	-44.9		-44.3	-44.3	-44.3	84.5 * 3		74.3		
37	-20.8	-41.1		-44.3	-44.3	-44.3	-44.3	84.5	115.9		
	-19.7	-40.5		-44.9	-44.3	-44.3		-44.3	-20.7		
	-19.7	-39.4		-41.1	-44.9	-44.3		-44.3	-22.2		
	-19.7	-39.4		-40.5	-41.1	-44.9		-44.3	-22.2		
41	34.2	10.1		-39.4	-40.5	-41.1		-44.3	-22.2		
42		78.3 *		-39.4	-39.4	-40.5		-44.9	-22.2		
43	•	46.2	78.3	10.1	-39.4	-39.4		-41.1	-22.8		
44	•	•		78.3 *		-39.4		-40.5	-20.0		
45	•	•	•	46.2	78.3	10.1		-39.4	-19.7		
46			•		46.2 *	78.3*	10.1	-39.4	-19.7		

1 Calcul de la poussée au vide au nœud de coordonnées (I = 9, J = 8).

La poussée au vide de ce nœud est affectée par deux configurations de charge introduites dans le bordereau de données (Tableau IA, voir page 61). La première est une charge linéique dont les extrémités sont les points (I=1, J=1) et (I=9, J=9) et la densité est de 111.94 kN/m. La deuxième est une charge répartie en parallélogramme dont les sommets sont les points (I=1, J=1), (I=9, J=9), (I=9, J=13.8), (I=1, J=13.8) et la densité est de -26.302 kN/m².

La charge linéique de longueur 1.22375m/sin50gr = 1.730643m (la diagonale d'une maille) affecte au nœud considéré le quart de sa valeur, soit 1.730643*111.94/4 = 48.432 kN.

La charge répartie affecte au nœud considéré la part de la charge en demi-maille triangulaire, dans le rapport $(1/3)^*(1/3)$, soit $-26.302^*(1.22375)^2*0.5^*(1/3)^*(1/3) = -2.188$ kN

La charge du nœud considéré est donc égale à 48.432-2.188 = 46.244, valeur arrondie à 46.2 kN.

Calcul de la poussée au vide au nœud de coordonnées (I = 5 , J = 13).

La poussée au vide de ce nœud est affectée par la configuration de charge répartie en parallélogramme (trapèze no 3, introduit dans le bordereau de données) dont les sommets sont les points : (I = 1, J = 5.8), (I = 9, J = 13.8), (I = 9, J = 20.425), (I = 1, J = 12.425) et la densité est de -29.587 kN/m².

Par maille, cette configuration affecte une charge de -29.587*(1.22375)² = -44.308 kN. Le nœud considéré est entouré de quatre mailles, sa charge est donc égale à -44.308*4/4 = -44.308, valeur arrondie à -44.3 kN.

MRHEL NO 0000 DU 20/05/94 PAGE 22

		REPRES	ENTATION	DES E	CENTRIDARNIS	(EN	M.)	DE 1	LA PRECON	TRAINTE	LONGITUDINALE	TRANSLATABLE
COORDONNE	ES I →											
DU NOEUL) 1	2	3	4	5	6		7	8	9		
J 1	0.353											
↓ 2	0.266 *	0.353*										
3	0.199	0.266	0.353									
4	0.150	0.199	0.266 *	0.353*		_						
5	0.121	0.150	0.199	0.266	0.353							
6	0.112	0.121	0.150	0.199	0.266 * 0.	353*						
7	0.123	0.112	0.121	0.150	0.199 0.	266	0.:	353				
8	0.154	0.123	0.112	0.121		199			* 0.353*			
9	0.208	0.154	0.123	0.112		150		199	0.266	0.353		
10	0.282	0.208	0.154	0.123		121		L50	0.199	0.266		
11	0.377	0.282	0.208	0.154		112	0.:		0.150	0.199		
12	0.493	0.377	0.282	0.208		123		L12	0.121	0.150		
13	0.588	0.493	0.377	0.282		154		L23	0.112	0.121		
14	0.565 *	0.588*	0.493	0.377		208		L54	0.123	0.112		
15	0.498	0.565	0.588	0.493		282		208	0.154	0.123		
16	0.292	0.498	0.565 *			377		282	0.208	0.154		
17	0.298	0.292	0.498	0.565		493	0.3		0.282	0.208		
18	0.225	0.298	0.292	0.498		588*		193	0.377	0.282		
19	0.172	0.225	0.298	0.292		565	0.5		0.493	0.377		
20	0.141	0.172	0.225	0.298		498		65 1		0.493		
21	0.131	0.141	0.172	0.225		292		198	0.565	0.588		
22	0.141	0.131	0.141	0.172		298		292	0.498	0.565		
23	0.172	0.141	0.131	0.141		225	0.3		0.292	0.498		
24 25	0.225	0.172	0.141	0.131 0.141		172		225	0.298 0.225	0.292 0.298		
	0.298	0.225	0.172 ******		0.131 0.	141	0.3				********	*********

L'excentrement aux nœuds de la dalle est déduit par interpolation et translation à partir des données du tableau IB (voir page 62)

MODELE D'APPLICATION TABLIER-DALLE À TROIS TRAVEES EN BETON PRÉCONTRAINT

MRREEL NO 0000 DU 20/05/94 PAGE 23

REPRESENTATION DES EFFORTS NORMAUX (EN KN/M) DE LA PRECONTRAINTE LONGITUDINALE TRANSLATABLE COORDONNERS I → DU NOBUD 2 3 5 9 1 1852. 1852.* 1852.* 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852.* 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852.* 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. * 1852. 1852. 1852.* 8 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 10 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1652. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 12 13 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852 1852 1852. 1852. 1852. 1852. 1852 1852. 14 15 16 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852.* 1852.* 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852 1852. 1852. 1852. 1852.* 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852.* 1852 1852. 1852. 19 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852 1852 20 21 1852. 1852. 1852 1852. 1852. 1852 1852. 1852. 1852.* 1852. 1852. 1852 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 22 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 24 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 1852. 25 1852 1852 1852 1852 1852 1852 1852 1852 1852

L'effort normal aux nœuds de la dalle est déduit à partir des données du tableau IB (voir page 62)

* CALCUL DES EFFORTS *

1/ Pour chaque cas de charge,

- Aux ELS, en combinaisons quasi-permanente, fréquente (pour les ouvrages en B.P.) et rare,
- Aux ELU, en combinaison fondamentale,

Le programme fournit les résultats suivants :

- Les réactions d'appui et leur somme.
- Les déplacements (uniquement aux ELS).
- Les moments longitudinal, transversal et de torsion.
- 2/ Pour les ouvrages en B.P., vis-à-vis des combinaisons quasi-permanente, fréquente et rare, le programme fournit :
 - Les enveloppes maximales et minimales des contraintes normales à la facette perpendiculaire aux câbles en faces supérieure et inférieure de la dalle.
 - Les enveloppes <u>minimales</u> des contraintes normales à la facette perpendiculaire aux câbles dans les sections d'enrobage de la dalle.

Lorsqu'un dépassement des contraintes-limites réglementaires a lieu, calculé avec une tolérance de 0.5 MPa (voir Annexe 1, § 4.2, a), le programme édite un message précisant le cas de charge et le nœud correspondants.

3/ Pour l'ensemble des combinaisons d'actions, le programme fournit les enveloppes des réactions d'appui, des contraintes de cisaillement, des ferraillages horizontaux, verticaux et des chevêtres incorporés sur culées. et, à la fin, un avant-métré du ferraillage et un ratio correspondants.

MRREL NO 0000 DU 20/05/94

CORRECTION DES MOMENTS PRINCIPAUX

EN FONCTION DU RAYON DU CERCLE DE SURFACE EQUIVALENTE DE L'APPAREIL D'APPUI

LA PREMIERE LICHE INDIQUE LE RAYON EN M DU CERCLE D'APPUI

LA SECONDE LIGNE FOURNIT LE TERME ADDITIF EN KNM/M À APPORTER AU MOMENT APPLICABLE POUR UNE REACTION D'APPUI DE 1000 KN

0.058	0.117	0.175	0.233	0.292	0.350	0.408	0.467	0.525	0.583	0.642	0.700
-36.426	-27.758	-19.902	-12.723	-6.117	0.000	5.693	11.015	16.011	20.719	25.168	29.386

CORRECTION DES CONTRAINTES PRINCIPALES

EN FONCTION DU RAYON DU CERCIE DE SURFACE EQUIVALENTE DE L'APPAREIL D'APPUT

LA PREMIERE LIGNE INDIQUE LE RAYON EN M DU CERCIE D'APPUI LA SECONDE LIGNE FOURNIT LE TERME ADDITIF EN MPA A APPORTER À LA CONTRAINTE APPLICABLE POUR UNE REACTION D'APPUI DE 1000 KN

0.058	0.117	0.175	0.233	0.292	0.350	0.408	0.467	0.525	0.583	0.642	0.700	
-0.446	-0.340	-0.244	-0.156	-0.075	0.000	0.070	0.135	0.196	0.254	0.308	0.360	

La méthode MRB présente une singularité pour l'étude locale de la flexion au droit d'une force concentrée (voir Annexe 3, §3.2.3). Pour l'étude de cette partie singulière, on a admis que le domaine d'application des forces extérieures est un cercle de rayon R et que la loi de distribution à l'intérieur de ce domaine est uniforme; en outre, on s'intéresse à l'effort de flexion non pas au centre du cercle mais à la valeur moyenne prise le long d'une coupure radiale, orientée selon la direction normale à celle de la flexion étudiée.

Lorsque aucune charge concentrée exceptionnelle ne s'applique sur les points d'étude, cette approximation est valable pour l'étude de la flexion de ces derniers. Tel n'est pas le cas des zones d'appui où s'appliquent des réactions d'appui pouvant atteindre plusieurs milliers de kN. Les moments et contraintes de flexion doivent donc être convenablement corrigés en fonction du rayon du cercle d'appui et des réactions d'appui (voir Annexe 3, §3.2.3, E).

Dans les tableaux de corrections (additives) donnés ci-dessus, la correction est nulle pour un rayon de 0.35m. Cette valeur est prise, forfaitairement, égale à la moitié de l'épaisseur de la dalle étudiée. Le programme MRB corrige les moments et les contraintes de flexion au droit des points d'appui en fonction de cette valeur pour le rayon du cercle d'appui et des réactions d'appui calculées.

Dans le cas général, cette correction forfaitaire suffit, il s'avère inutile de corriger les moments ou contraintes au droit des appuis en fonction des dimensions en plan de l'appareil d'appui effectivement mis en place.

Dans le cas où les points d'appui risquent d'être critiques (cas, par exemple, des appuis de la pile centrale des ouvrages à deux travées en béton précontraint), il convient d'apporter une correction plus précise en fonction des dimensions de l'appareil d'appui. Cette dernière opération peut se faire de la façon suivante :

- Calcul du rayon R du cercle d'appui, R= $\sqrt{a.b/\pi}$, a et b étant les dimensions en plan de l'appareil d'appui considéré.
- Calcul de la correction des moments ou des contraintes pour une réaction d'appui de 1000 kN correspondant au rayon R
 par l'interpolation des valeurs correctives données ci-dessus.
- Calcul de la correction exacte en fonction de la valeur réelle de la réaction d'appui.

NRREI, NO 0000 DU 20/05/94 PACE: 26

REACTIONS D'APPUI ET ETATS DE FLEXION DUS AUX ACTIONS DE LA PRECONTRAINTE SEULE

* *

REACTIONS D'APPUI EN KN (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)

APPUI	REACTION	APPUI	REACTION
1	219.82	9	-53.42
2	-139.78	10	112.34
3	147.82	11	440.14
4	-246.52	12	-483.07
5	-483.07	13	-246.52
6	440.14	14	147.82
7	112.33	15	-139.78
8	-53.42	16	219.82

SCHOOL DES REACTIONS D'APPUI EN EN -5.355

Les informations relatives à la précontrainte seule permettent de :

- Vérifier si la somme des réactions d'appui, qui est en fait la somme des poussées au vide, est nulle ou presque.

Théoriquement, cette dernière doit être strictement nulle. Cependant en raison des approximations inévitables lors de l'introduction des poussées au vide dans le bordereau de données, il est presque impossible d'avoir une somme strictement nulle. Le programme MRB admet une tolérance de 100 kN. Si la valeur absolue de la somme des réactions d'appui correspondant aux actions verticales de précontrainte dépasse cette limite, le programme émet un message et s'arrête.

- Envisager un rajustement du nombre de câbles de précontrainte tout en gardant le même tracé.

En raison du caractère répétitif des informations, il s'avère utile de tronquer les tableaux des moments et des contraintes imprimés par la note de calcul MRB dans les pages suivantes. La note de calcul fournit des résultats de J=1 à J=37, qui sont respectivement les valeurs de JMIN et JMAX introduites en bordereau de données.

MODELE D'APPLICATION MRBEL NO 0000 DU 20/05/94
TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT PAGE, 27

ACTIONS DE LA PRECONTRAINTE SEULE

DEPLACEMENT VERTICAL EN MM, COMPTE POSITIVEMENT VERS LE BAS (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)

COO	RDONNEE	s						
DΦ	NOEUD	2	3	4	5	6	7	8
	1	•	•		•			
	2	.00			•	•		
	3	-3.84	05					
	4	-7.52	-3.72	.00	•			
	5	-10.83	-7.16	-3.53	02		•	
	6	-13.51	-10.09	-6.69	-3.31	.00	•	
	7	-15.27	-12.24	-9.1 9	-6.10	-2.98	.12	
	8	-15.93	-13.39	-10.83	-8.20	-5.47	-2.70	.00
	9	-15.35	-13.43	-11.50	-9.47	-7.31	-5.08	-2.89
	10	-13.53	-12.33	-11.13	-9.81	-8.35	-6.77	-5.19
	11	-10. ഒ	-10.21	-9.78	-9.23	-8.49	-7.59	-6.62
	12	-6.95	-7.33	-7.67	-7.85	-7.79	-7.49	-7.06
	13	-3.12	-4.17	-5.17	-5.94	-6.42	-6.60	-6.57
	14	.00	-1.39	-2.75	-3.86	-4.65	-5.12	-5.35
	15	1.57	.34	92	-2.00	-2.81	-3.35	-3.64
	16	1.61	.82	.00	65	-1.21	-1.60	-1.78
	17	. 35	.14	.00	~ 0.8	16	20	11

actions de la precontrainte seule Moment flechissant transversal en knm/m (calcul avec poisson = 0.200)

COORDONNE	ts .								
DU NOBUD	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	.00	•						•	
2	.00	-8.12							
3	.00	-10.88	22.43			•			
4	.00	-16.6 1	4.91	46.32					
5	.00	-23.84	-17.26	12.41	23.90				
6	.00	-29.90	-36.80	-25.01	-6.54	17			
7	.00	-34.39	-51.18	-51.25	-41.29	-19.62	20.56	-	
8	.00	-36.31	-59.05	-67.23	-62.82	-43.03	-2.88	37.85	
9	.00	-33.95	-60.13	-73.89	-74.62	-59.23	-25.67	12.85	.00
10	.00	-26.51	-53.98	-74.01	-80.66	-70.89	-45.28	-14.45	.00
11	.00	-12.30	-41.06	-69.26	-84.25	-80.81	-ഖ.09	-30.79	.00
12	.00	13.35	-21.0 9	-61.62	-85.40	-88.37	-72.39	-41.06	.00
13	.00	60.57	6.78	-50.94	-82.30	-89.84	-77.71	-46.48	.00
14	.00	101.55	41.83	-32.18	-69.21	-80.58	-73.89	-46.82	.00
15	.00	87.79	70.52	-3.73	-38.42	-55.37	-59.30	-41.14	.00
16	.00	52.6 8	64.77	7.87	18.60	-14.79	-34.30	-29.67	.00
17	.00	17.39	33.68	33.15	56.50	33.88	.75	-11.05	.00
18	.00	-10.78	97	28.08	60.70	63.45	48.97	13.45	.00
19	.00	-28.10	-30.49	-5.41	35.76	65.98	78.51	45.52	.00
20	.00	-37.82	-50.62	-37.46	-2.57	42.41	71.79	ជ.15	.00

La méthode MRB ne permet de calculer les efforts de la dalle qu'à une maille des bords libres. En vue de calculer le ferraillage des bords libres, le programme a extrapolé forfaitairement les moments aux bords libres de la façon suivante (voir Annexe 1, § 3.2, b):

Les moments de flexion longitudinale et de torsion développés en un point P' d'un bord libre, sous un cas de charge donné, sont déduits par extrapolation linéaire de ceux qui se développent aux points P₁ et P₂ se trouvant respectivement à une maille et à deux mailles du bord libre, les trois points P', P₁ et P₂ étant alignés et situés sur une droite ayant la même pente que la moyenne des pentes des deux lignes d'appui l'encadrant.

Il est rappelé que le moment transversal aux bords libres est nul.

DOORDONNEES DU NOEUD 1 2 3	l -23.55 -22.66				1914/M (CDAI 5	CUL AVEX	POISSO))		
NOEUD 1 2 3	1 -23.55 -22.66			4	5	6	_				
1 2 3	-23.55 -22.66			4	5	6	_				
2 3	-22.66	-18.26				•	7	8	9 .		
3		-18.26						•			
	-50 22										
4 -		-35.80		•		•		-			
		-85.54				•		•	•		
5 -		-150.37				•		•			
					-117.76		• .				
7 -					-166.74				•		
					-203.68				•		
					-228.27				-14.34		
					-230.39						
					-201.89						
12					-140.73						
	437.17				-55.40						
	462.16				36.18						
		368.07	306.65		112.98	42.73		-44.53			
		309.86							-5.72		
17	197.52	230.05	244.30	260.03	251.43	214.08	163.02	130.80	88.42		
		140.88			252.27	259.65			186.10		
19 20	7.24 -89.44	46.45 -48.20	84.24 -11.48	137.83	200.87 105.15	256.99 182.76			279.89 353.34		

Calcul du moment longitudinal au nœud de coordonnées (I = 9, J = 17), par extrapolation.

D'après la méthode rappelée à la page précédente, le moment longitudinal au nœud considéré est déduit par extrapolation linéaire de ceux des nœuds de coordonnées (I=8; J=16) et (I=7; J=15), ces moments sont respectivement 40.32 et -7.78, ce qui donne -7.78+(40.32+7.78)*2 = 88.42

MODELE D'APPLICATION MEREL NO 0000 TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN HETON PRECONTRAINT PAGE 30

ACTIONS DE LA PRECONTRAINTE SEULE

ACTIONS DE LA PRECONTRAINTE SEULE MOMENT DE TORSION EN KAM/M (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)

COORDONNE	pe .									
		2	•		E	-	7		9	
DO NOBOD		2	3	•	5	6	,	8	3	
1	32.72		•	•	•	•	•	•	•	
2	31.25	22.34	•		•	•	•	•		
3	13.79		11.97		•		-			
4	-11.93	-11.11	-7.72	.71						
5	-34.51	-35.83	-36.00	-21.00	-5.65					
6	-57.47	-59.01	-59.73	-48.87	-29.81	-14.96				
7	-83.29		-83.51				-36.78			
8			-107.85				-77.65	-70.10	-	
Š						-121.04				
10						-133.87				
ii						-130.24				
12						-112.02		-85.60		
13								-58.10		
	-94.90	-								
14	-6.83	-16.43						-26.25		
15	61.32			53.45			4.80	6.38		
16	108.76	9 3.01	110.79				40.11	36.34		
17	114.57	103.92	124.69	127.79	113.27	96.92	73.93	60.82	67.88	
										F
									<u> </u>	
18	99.44	88.94	99.08	111.02	118.52	116.80	98.13	78.07	81.52	L
19	74.14	63.02	63.31	73.30			95.77	81.79		
20	43.14	33.04	26.59	27.90			57.70	52.50		
20	43.14	33.04	20.39	27.90	37.70	30.33	37.10	52.50	w. 44	

 \blacksquare Calcul du moment de torsion au nœud de coordonnées (I = 9 , J = 17), par extrapolation.

Le moment de torsion au nœud considéré est déduit par extrapolation linéaire de ceux des nœuds de coordonnées :

(I=8, J=16) et (I=7; J=15), ces moments sont respectivement 4.80 et 36.34, ce qui donne :

 $4.80+(36.34-4.80)^2 = 67.88$

MODELE D'APPLICATION TABLIER-DALLE À TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT MREEL NO 0000 DU 20/05/94 PAGE 31

DU 20/05/94

ACTIONS DE LA PRECONTRAINTE SEULE

CONTRAINTE NORMALE A LA FACETTE PERPENDICULAIRE AUX CABLES, EN MPA, SUR LA FACE SUPERIEURE

(CALCUL AVEC POISSON = 0.200)

(DIRECTION DE LA CONTRAINTE COMPTEE TRIGONOMETRIQUEMENT A PARTIR DE LA NORMALE AUX BORDS LIBRES = 100.000 CR)

∞	RDONNEZ	:S							
ĎŪ	NORUD	2	3	4	5	6	7	8	
	1								
	2	2.4215							
	3	2.2068	2.4863						
	4	1.5977	2.0460	2.5082					
	5	.8040	1.1652	1.6059	2.0231				
	6	.0307	. 3459	.7370	1.2032	1.6133			
	7	5743	2704	.1097	. 6035	1.2598	1.8676		
	8 9	9231	6414	2950	.1511	.7242	1.4769	2.1686	
	9	9333	7174	4578	1500	.2124	. 6186	1.0172	
	10	5160	4084	2961	~.1759	0627	.0311	.0961	
	11	. 4526	.3850	.2910	.1730	.0477	0859	2207	
	12	2.1579	1.7658	1.3445	.9219	.5375	.2134	0614	
	13	4.7466	3.7351	2.7795	1.9669	1.3171	.8181	. 4397	
	14	7.1992	5.8045	4.2484	3.0882	2.2344	1.6247	1.1817	
	15	7.1522	6.4000	5.2822	4.0286	3.1684	2.5500	2.0999	
	16	6.4394	6.0001	5.3002	4.8199	4.1567	3.5697	3.1389	
	17	5.4621	5.6366	5.8292	5.7240	5.2666	4.6414	4.2468	
	18	4.3702	4.7944	5.3594	5.7342	5.8246	5,6535	5.3569	
	19	3.2140	3.6766	4.3329	5.1048	5.7920	6,2281	6.3127	
	20	2.0550	2.5046	3.1197	3.9327	4.8831	5.7560	6.4528	
									_

 $[\]boxed{1}$ Calcul de la contrainte normale sur la face supérieure au nœud de coordonnées (I = 8 , J = 20)

σ_s = 6M/h²+F/b, où M étant le moment longitudinal (voir page 79), h l'épaisseur de la dalle et F l'effort normal.

 $[\]sigma_s = 6*310.96/(0.70)^2+1852./0.70 = 6453.387 kN/m^2$, soit 6.453328 MPa, valeur très proche de 6.4528 en raison d'arrondi.

MRREL NO 0000 DU 20/05/94 PAGE 32

ACTIONS DE LA PRECONTRAINTE SEULE

CONTRAINTE NORMALE A LA FACETTE PERPENDICULAIRE AUX CABLES, EN MPA, SUR LA FACE INFERIEURE

(CALCUL AVEC POISSON = 0.200)
(DIRECTION DE LA CONTRAINTE COMPTEE TRIGONOMETRIQUEMENT A PARTIR DE LA NORMALE AUX BORDS LIERES = 100.000 GR)

COO	RDONNE	ZS						
DU	NOEUD	2	3	4	5	6	7	8
	1	•	•		•			
	2	2.8688			•	•	•	
	3	3.0835	2.8041					
	4	3.6927	3.2444	2.7821				
	5	4.4864	4.1251	3.6845	3.2673			
	6	5.2597	4.9445	4.5534	4.0872	3.6770		
	7	5.8646	5.5607	5.1807	4.6869	4.0306	3.4228	
	8	6.2135	5.9318	5.5853	5.1392	4.5662	3.8135	3.1218
	9	6.2237	6.0078	5.7482	5.4403	5.0779	4.6718	4.2732
	10	5.8064	5.6988	5.5865	5.4663	5.3530	5.2593	5.1943
	11	4.8377	4.9054	4.9994	5.1173	5.2427	5.3763	5.5111
	12	3.1324	3.5245	3.9459	4.3684	4.7529	5.0770	5.3518
	13	.5438	1.5552	2.5109	3.3235	3.9732	4.4723	4.8507
	14	-1.9088	5141	1.0420	2.2022	3.0560	3.6657	4.1087
	15	-1.8618	-1.1097	.0082	1.2618	2,1220	2.7404	3.1905
	16	-1.1490	7097	0099	. 4705	1.1336	1.7207	2.1514
	17	1718	3462	5388	4336	.0238	. 6490	1.0436
	18	.9202	.4960	0691	4438	5342	3631	0665
	19	2.0764	1.6137	. 9574	.1856	5017		-1,0223
	20	3.2353	2.7858	2.1707	1.3577	.4073		-1.1624

Calcul de la contrainte normale sur la face inférieure au nœud de coordonnées (I = 8 , J = 20)

 $\sigma_i = -6M/h^2 + F/h = -6*310.96/(0.70)^2 + 1852./0.70$

= -1161.959 kN/m², soit -1.1620 MPa, valeur très proche de -1.1624 en raison d'arrondi.

MODELE D'APPLICATION TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT MERCEL NO 0000 DU 20/05/94 PAGE 34

REACTIONS D'APPUI ET ETATS DE FLEXION SOUS LA

COMBINAISON QUASI-PERMANENTE (E. L. S.) : 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)

CHARGE PERMANENTE DE DENSITE 21.561 KN/M2

REACTIONS D'APPUI EN KN (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)

APPUI	REACTION	APPUI	REACTION
1	368.66	9	1238.78
2	267.69	10	849.71
3	397.46	11	1166.71
4	96.46	12	778.33
5	778.32	13	96.45
6	1166.71	14	397.46
7	849.71	15	267.69
8	1238.79	16	368.66

SOMME DES REACTIONS D'APPUI EN EN 10327.590

Vérification de la répartition de la charge permanente.

La surface de la dalle est de 9.79*48.95 = 479.2205m², son poids est de 21.561*479.2205 = 10332.47 kN.

En tenant compte de la somme non nulle des poussées au vide (-5.355 kN, page 78), on obtiendra 10332.47-5.355 = 10327.115 kN, valeur très proche de 10327.590 en raison d'arrondi.

MRREL NO 0000 DU 20/05/94 PAGE 35

COMPINAISON QUASI-PERMANENTE (E. L. S.) : 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)
DEPLACIMENT VERTICAL EN MM, COMPTE POSITIVEMENT VERS LE BAS (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)

cu	RUCNUEES							
DŪ	NORUD	2	3	4	5	6	7	8
	1	•	•			•		
	2	.00	•		•		•	
	3	-1.02	.03		•		•	
	4	-2.00	99	.00	•			
	5	-2.91	-1.94	~.97	.03		•	
	6	-3.66	-2.78	-1.87	94	.00		
	7	-4.20	-3.44	-2.64	-1.79	88	.12	
	8	-4.48	-3.87	-3.23	-2.52	-1.72	86	.00
	9	-4.44	-4.05	-3.61	-3.09	-2.49	-1.83	-1.15
	10	-4.06	-3.93	-3.74	-3.48	-3.13	-2.72	-2.29
	11	-3.34	-3.51	-3. 61	-3.63	-3.56	-3.43	-3.27
	12	-2.35	-2.82	-3.22	-3.52	-3.73	-3.87	-3.97
	13	-1.19	-1. 9 3	-2.59	-3.16	-3.62	-4.01	-4.36
	14	.00	89	-1.78	-2.57	-3.25	-3.84	-4.40
	15	1.35	. 23	88	-1.82	-2.63	-3.39	-4.11
	16	2.49	1.27	.00	91	-1.81	-2.70	-3.54
	17	3.31	2.24	1.15	.14	88	-1.85	-2.76
	18	3.84	2.96	2.07	1.09	.00	92	-1.86
	19	4.09	3.38	2.67	1.88	. 99	.04	92
	20	4.13	3.57	3.02	2.44	1.76	. 92	.00

MODELE D'APPLICATION TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT MREEL NO 0000 DU 20/05/94 PAGE 36

COMBINAISON QUASI-PERMANENTE (E. L. S.) : 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)
MOMENT FLECHISSANT TRANSVERSAL EN KNM/M (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)

COO	RDÓNNEES									
DŪ	NOEUD	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1	.00								
	2	.00	-23.19							
	3	.00	-13.50	7.44		-				
	4	.00	-5.23	2.53	-14.20					
	5	.00	-7.05	-9.56	-9.41	4.04				
	6	.00	-9.98	-14.46	-11.69	-5.45	-34.77			
	7	.00	-12.21	-18.83	-20.14	-22.36	-23.19	9.32		-
	8	.00	-14.21	-22.97	-26.99	-27.46	-19.09	2.60	5.83	
	9	.00	-15.15	-25.83	-30.53	~29.74	-21.83	-8.80	.88	.00
	10	.00	-15.24	-26.97	-32.71	-31.83	-25.20	-14.47	-3.53	.00
:	11	.00	-15.23	-27.65	-33.76	-33.98	-28.25	-18.60	-7.80	.00
	12	.00	-17.05	-28.64	-33.51	-35.15	-31.13	-22.05	-10.85	.00
	13	.00	-32.73	-24.63	-29.86	~35.78	-32.56	-24.33	-12.78	.00
	1,4	.00	-38.69	3.36	-28.21	-37.58	-31.11	-23.85	-13.69	.00
	15	.00	-3.41	14.79	-52.80	-34.67	-22.42	-20.89	-13.49	.00
	16	.00	28.34	29.23	-94.81	1.68	-10.72	-18.62	-12.86	.00
	17	.00	20.46	20. வ	-16.60	22.11	-18.25	-14.99	-10.67	.00
:	18	.00	8.22	17.93	35.05	44.84	-41.25	11.24	-12.85	.00
:	19	.00	2.28	11.98	31.38	41.70	16.66	20.92	-48.80	.00
:	20	.00	-1.13	4.71	17.17	32.68	47.83	32.37	-83.07	.00

MODELE D'APPLICATION TARLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT NEBEL NO 0000 DU 20/05/94 PAGE 37

Conbinaison quasi-perganente (e. l. s.) : 1.000* (cas 14 : Pr)+1.000* (cas 1 : CP) moment fiechissant longitudinal en rnm/m (calcul avec poisson = 0.200)

COO	RDONNEE	Ś								
DΦ	NOEUD	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1	-54.66								•
	2	2.47	-27.04		•				•	•
	3	-10.51	-7.8 5	.58						
	4	-28.94	-19.46	-18.17	-21 . 9 1,				-	
	5	-44.81	-35.32	-28.41	-12.97	-3.76				•
	6	-62.47	-50.05	-41 .70	-33.26	-32.94	-39.96	-		
	7	-77.60	-63.98	-55.28	-45.82	-33.38	-8.14	10.29	•	•
	8	-88.07	-75.06	-65.48	-53.84	-37.99	-18.13	1.62	18.67	•
	9	-92.46	-81.06	-72.52	-62.04	-49.79	-36.23	-21.24	-1.37	27.04
	10	-85.39	-80.08	-74.06	-67.88	-60.66	-53.26	-45.69	-38.78	-4.36
	11	-46.27	-68.86	-67.71	-67.64	-66.88	-65.28	-64.15	-63.89	-56.32
	12	12.10	-42.22	-52.33	-60.91	-66.08	-70.40	-73.83	-77.24	-82.09
	13	-96.11	-6.58	-38.17	-48.86	-58.15	-68.14	-75.93	-81.64	-90.32
	14	103.29	-33.05	-25.26	-24.65	-44.41	-61.32	-71.12	-78.34	-89.45
	15	85.58	57.03	30.00	3.43	-41.33	-52,89	-59.50	-67.20	-80.76
	16	70.40	74.90	10.77	-76.17	-44.25	-28.89	-38.72	-50.10	-63.28
	17	73.27	72.32	64.23	63.84	38.78	16.33	-20.13	-31.19	-40.70
	18	62.13	64.96	74.24	80.46	39.40	-26.62	-11.65	-8.39	-23.67
	19	43.52	49.77	56. 66	64.35	66.54	62.85	31.38	2.14	3.34
	20	23.58	31.89	37.41	45.34	56.47	56.26	-4.12	-72.63	15.92

MRREEL NO 0000 DO 20/05/94 PAGE 38

COMBINAISON QUASI-PERGAMENTE (E. L. S.) : 1.000* (CAS 14: PR)+1.000* (CAS 1: CP) NOMENT DE TORSION EN KNM/M (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)

∞	ROCKE	S								
DŪ	NORUD	1	2	3	4	5	6	7	6	9
	1	21.34		•						
	2	4.92	6.32							
	3	-6.68	85	-8.70						
	4	-6.19	-7.79	-6.62	-2.03					
	5	-11.36	-12.25	-8.89	-9.63	-12.71				
	6	-18.38	-18.72	-18.30	-16.63	-10.19	-2.91			
	7	-26.91	-26.79	-26.09	-22.55	-14.04	-15.37	-19.81		
	8	-37.56	~35.89	-35.20	-32.95	-30.91	-31.79	-29.69	-25.13	
	9	-50.24	-45.21	-44.87	-43.90	-43.52	-44.06	-42.35	-41.48	-30.44
	10	-65.78	-53.73	-52.87	-51.97	-51.41	-51.23	-51.16	-51.53	-53.27
	11	-83.90	-60.27	-57.22	-55.48	-54.49	-53.44	-52.42	-51.89	-60.71
	12	-51.35	-61.69	-54.77	-53.51	-52.74	-51.15	-49.45	-48.22	-52.62
	13	-13.61	-46.65	-39.49	-48.14	-46.61	-44.62	-43.52	-42.28	-44.02
	14	-45.14	-30.42	-41.95	-42.46	-34.08	-34.18	-35.69	-34.96	-35.12
	15	-30.28	-19.71	-47.22	-24.51	-8.80	-24.52	-28.16	-26.91	-26.41
	16	23.45	7.88	5.72	1.62	-14.32	-23.13	-20.19	-17.89	-18.14
	17	34.02	30.70	46.05	17.27	-25.63	-12.66	-2.54	-8.95	-7.62
	18	31.65	32.56	37.95	30.08	17.62	9.37	-4.04	-2.54	2.29
	19	28.97	29.20	31.11	36,60	46.62	24.34	-9.78	15.91	-2.53
	20	26.07	25.80	26.75	32.02	40.64	42.39	42.63	46.40	35.87

MODELE D'APPLICATION TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN RETON PRECOMPRAINT MERBEL NO 0000 DU 20/05/94 PACE 39

ENVELOPPE MAXIMALE DES CONTRAINTES NORMALES, EN MPA, À LA FACETTE PERPENDICULAIRE AUX CARLES, DE LA PRECONTRAINTE TRANSLATABLE.
EN FACE SUPERIEURE SOUS LA COMBINAISON QUASI PERMANENTE (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)
(DIRECTION DE LA CONTRAINTE CONTRE TRIGONOMETRIQUEMENT À PARTIR DE LA NORMALE AUX BORDS LIBRES = 100.000 GR)

COORDONNIEE	S						
DU NORUD	2	3	4	5	6	7	8
1							
2	2.3141	•				•	
3	2.5491	2.6522	_		_		_
4	2.4069	2.4227	2.3769		_		
Š	2.2127	2.2973	2.4864	2.5991	·		-
6	2.0324	2.1346	2.2380	2.2418	2.1559		
ž	1.8618	1.9683	2.0842	2.2364	2.5455	2.7712	
ė.	1.7260	1.8434	1.9859	2.1800	2.4232	2.6650	2.8738
ğ	1.6526	1.7571	1.8855	2.0355	2.2016	2.3851	2.6284
10	1.6646	1.7384	1.8139	1.9024	1.9930	2.0857	2.1703
11	1.8020	1.8161	1.8169	1.8263	1.8458	1.8597	1.8629
12	2.1282	2.0044	1.8994	1.8360	1.7831	1.7411	1.6994
13	2.5646	2.1778	2.0469	1.9331	1.8108	1.7155	1.6455
14	2.2405	2.3359	2.3434	2.1014			1.6859
					1.8944	1.7743	
15	3.3435	3.0126	2.6872	2.1391	1.9976	1.9166	1.8223
16	3.5624	2.7770	1.7125	2.1033	2.2914	2.1711	2.0317
17	3.5307	3.4317	3.4269	3.1200	2.8451	2.3987	2.2632
18	3.4406	3.5543	3.6305	3.1276	2.3192	2.5026	2.5424
19	3.2546	3.3390	3.4331	3.4599	3.4148	3.0294	2.6714
20	3.0357	3.1033	3.2004	3.3367	3.3341	2.5947	1.7559
21	2.8317	2.8932	2.9791	3.0871	3.1916	3.2612	3.3921
22	2.6756	2.7295	2.8076	2.9209	3.1041	3.4342	3.8147
23	2.5818	2.6316	2.6918	2.7889	2.9442	3.1762	3.4507
24	2.5807	2.6055	2.6414	2.6900	2.7722	2.8800	2.9863
25	2.7010	2.6830	2.6618	2.6562	2.6618	2.6830	2.7010
26	2.9863	2.8800	2.7722	2.6900	2.6414	2.6055	2.5807
27	3.4507	3.1762	2.9442	2.7889	2.6918	2.6316	2.5818
28	3.8147		3.1041	2.9209	2.8076	2.7295	2.6756
29	3.3921	3.2612	3.1916	3.0871	2.9791	2.8932	2.8317
30	1.7559	2.5947	3.3341	3.3367	3.2004	3.1033	3.0357
31	2.6714	3.0294	3.4148	3.4599	3.4331	3.3390	3.2547
32	2.5424	2.5026	2.3192	3.1276	3.6305	3.5543	3.4406
33	2.2632	2.3987	2.8451	3.1200	3.4270	3.4317	3.5307
34	2.0317	2.1711	2,2914	2.1033	1.7125	2.7770	3.5624
35	1.8223	1.9166	1.9976	2.1391	2.6872	3.0126	3.3435
36	1.6859	1.7743	1.8944	2.1014	2.3434	2.3359	2.2404
37	1.6455		1.8108	1.9331	2.0469	2.1778	2.5646

Ce tableau permet de contrôler le dépassement éventuel de la compression-limite réglementaire, sous combinaison quasipermanente (0.6*f_{c28} = 21 MPa, hors section d'enrobage, en classe 2), en face supérieure de la dalle.

Lorsqu'un dépassement a lieu, le programme édite un message précisant le cas de charge et le nœud correspondants.

MRBEL NO 0000 DU 20/05/94 PAGE 40

ENVELOPPE MAXIMALE DES CONTRAINTES NORMALES, EN MPA, À LA FACETTE PERPENDICULAIRE AUX CABLES, DE LA PRECONTRAINTE TRANSLATABLE

EN FACE INVERTEURE SOUS LA COMBINALSON QUASI PERMANENTE (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)

(DIRECTION DE LA CONTRAINTE CONPTEE TRIGONOMETRIQUEMENT À PARTIR DE LA NORMALE AUX BORDS LIBRES = 100.000 GR)

∞	ROONNEE	S						
DΩ	HOEUD	2	3	4	5	6	7	8
	1				•			
	2	2.9763						
	3	2.7413	2.6381		•			
	4	2.8835	2.8677	2.9135				
	5 6	3.0776	2.9931	2.8039	2.6913			
	6	3.2580	3.1558	3.0524	3.0486	3.1345		
	7	3.4286	3.3221	3.2062	3.0539	2.7449	2.5192	•
	8	3.5643	3.4470	3.3045	3.1104	2.8672	2.6254	2.4166
	9	3.6378	3.5332	3.4049	3.2549	3.0888	2.9052	2.6620
	10	3.6258	3.5520	3.4764	3.3879	3.2974	3.2047	3.1200
	11	3.4884	3.4743	3.4735	3.4641	3.4445	3.4307	3.4275
	12	3.1622	3.2859	3.3910	3.4543	3.5073	3.5492	3.5909
	13	2.7257	3.1126	3.2435	3.3573	3.4795	3.5749	3.6449
	14	3.0499	2.9545	2.9470	3.1890	3.3960	3.5160	3.6045
	15	1.9468	2.2778	2.6032	3.1512	3.2926	3.3738	3.4681
	16	1.7280	2.5133	3.5778	3.1870	2.9990	3.1193	3.2587
	17	1.7596	1.8587	1.8634	2.1704	2.4452	2.8916	3.0272
	18	1.8497	1.7361	1.6599	2.1628	2.9712	2.7878	2.7480
	19	2.0357	1.9514	1.8572	1.8305	1.8755	2.2610	2.6190
	20	2.2547	2.1871	2.0900	1.9537	1.9562	2.6956	3.5345
	21	2.4586	2.3971	2.3113	2.2032	2.0987	2.0292	1.8983
	22	2.6147	2.5608	2.4827	2.3695	2.1862	1.8562	1.4757
	23	2.7086	2.6588	2.5985	2.5014	2.3462	2.1141	1.8397
	24	2.7097	2.6849	2.6490	2.6004	2.5181	2.4104	2.3041
	25	2.5894	2.6074	2.6286	2.6342	2.6286	2.6074	2.5894

Ce tableau permet de contrôler le dépassement éventuel de la compression-limite réglementaire, sous combinaison quasipermanente (0.6*f_{c28} = 21 MPa, hors section d'enrobage, en classe 2), en face inférieure de la dalle.

Lorsqu'un dépassement a lieu, le programme édite un message précisant le cas de charge et le nœud correspondants.

MODELE D'APPLICATION MREEL NO 0000 DU 20/05/94 TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT PAGE 41

ENVELOPPE MINIMALE DES CONTRAINTES NORMALES, EN MPA, À LA FACETTE PERPENDICULAIRE AUX CABLES, DE LA PRECONTRAINTE TRANSLATABLE

EN FACE SUPERIEURE SOUS LA COMBINAISON QUASI PERMANENTE (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)
(DIRECTION DE LA CONTRAINTE CONPTEE TRIGONOMETRIQUEMENT A PARTIR DE LA NORMALE AUX BORDS LIBRES = 100.000 GR)

000	ROOMEE	s						
DΦ	NOEUD	2	3	4	5	6	7	8
	1							
	2	2.3141						
	3	2.5491	2.6522	•				
	4	2.4069	2.4227	2.3769				
	5	2.2127	2.2973	2.4864	2.5991			
	6	2.0324	2.1346	2.2380	2.2418	2.1559		
	7	1.8618	1.9683	2.0842	2.2364	2.5455	2.7712	
	8	1.7260	1.8434	1.9859	2.1800	2.4232	2.6650	2.8738
	8 9	1.6526	1.7571	1.8855	2.0355	2.2016	2.3851	2.6284
	10	1.6646	1.7384	1.8139	1.9024	1.9930	2.0857	2.1703
	11	1.8020	1.81តា	1.8169	1.8263	1.8458	1.8597	1.8629
	12	2.1282	2.0044	1.8994	1.8360	1.7831	1.7411	1.6994
	13	2.5646	2.1778	2.0469	1.9331	1.8108	1.7155	1.6455
	14	2.2405	2.3359	2.3434	2.1014	1.8944	1.7743	1.6859
	15	3.3435	3.0126	2.6872	2.1391	1.9976	1.9166	1.6223
	16	3.5624	2.7770	1.7125	2.1033	2.2914	2.1711	2.0317
	17	3.5307	3.4317	3.4269	3.1200	2.8451	2.3987	2.2632
	18	3.4406	3.5543	3.6305	3.1276	2.3192	2.5026	2.5424
	19	3.2546	3.3390	3.4331	3.4599	3.4148	3.0294	2.6714
	20	3.0357	3.1033	3.2004	3.3367	3.3341	2.5947	1.7559
	21	2.8317	2.8932	2.9791	3.0871	3.1916	3.2612	3.3921
	22	2.6756	2.7295	2.8076	2.9209	3.1041	3.4342	3.8147
	23	2.5818	2.6316	2.6918	2.7889	2.9442	3.1762	3.4507
	24	2.5807	2.6055	2.6414	2.6900	2.7722	2.8800	2.9863
	25	2.7010	2.6830	2.6018	2.6562	2.6618	2.6830	2.7010

Ce tableau et le suivant (enveloppes minimales des contraintes normales respectivement en face supérieure et face inférieure) sont identiques aux deux tableaux précédents (enveloppes maximales des contraintes normales respectivement en face supérieure et face inférieure) car on a considéré la charge permanente comme unique action quasi-permanente.

Malgré son caractère redondant, le programme conserve l'édition de ces tableaux en prévision d'éventuelle prise en compte d'autres actions quasi-permanentes.

MRREEL NO 0000 DU 20/05/94 PAGE

enveloppe minimale des contraintes normales, en mpa, a la facette perpendiculaire aux cables, DE LA PRECONTRAINTE TRANSLATABLE

EN FACE INFERIEURE SOUS LA COMBINAISON QUASI PERMANENTE (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)
(DIRECTION DE LA CONTRAÎNTE COMPTEE TRIGONOMETRIQUEMENT A PARTIR DE LA NORMALE AUX BORDS LIERES = 100.000 GR)

000	RDONNEZ	S						
ĐΨ	NORUD	2	3	4	5	6	7	8
	1							
	2	2.9763		•				
	3	2.7413	2.6381					
	4	2.8835	2.8677	2.9135		:		
	5	3.0776	2.9931	2.8039	2.6913			
	6	3.2580	3.1558	3.0524	3.0486	3.1345		
	7	3.4286	3.3221	3.2062	3.0539	2.7449	2.5192	
	8	3.5643	3.4470	3.3045	3.1104	2.8672	2.6254	2.4166
	9	3.6378	3.5332	3.4049	3.2549	3.0888	2.9052	2.6620
	10	3.6258	3.5520	3.4764	3.3879	3.2974	3.2047	3.1200
	11	3.4884	3.4743	3.4735	3.4641	3.4445	3.4307	3.4275
	12	3.1622	3.2859	3.3910	3.4543	3.5073	3.5492	3.5909
	13	2.7257	3.1126	3.2435	3.3573	3.4795	3.5749	3.6449
	14	3.0499	2.9545	2.9470	3.1890	3.3960	3.5160	3.6045
	15	1.9468	2.2778	2.6032	3.1512	3.2928	3.3738	3.4681
	16	1.7280	2.5133	3.5778	3.1870	2.9990	3.1193	3.2587
:	17	1.7596	1.8587	1.8634	2.1704	2.4452	2.891,6	3.0272
	18	1.8497	1.7361	1.6599	2.1628	2.9712	2.7878	2.7480
	19	2.0357	1.9514	1.8572	1.8305	1.8755	2.2610	2.6190
	20	2.2547	2.1871	2.0900	1.9537	1.9562	2.6956	3.5345
	21	2.4586	2.3971	2.3113	2.2032	2.0987	2.0292	1.8983
	22	2.6147	2.5608	2.4827	2.3695	2.1862	1.8562	1.4757
	23	2.7086	2.6588	2.5985	2.5014	2.3462	2.1141	1.8397
	24	2.7097	2.6849	2.6490	2.6004	2.5181	2.4104	2.3041
	25	2.5894	2.6074	2.6286	2.6342	2.6286	2.6074	2.5894

MODELE D'APPLICATION TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT MRREL NO 0000 DU 20/05/94

enveloppe minimale des contraintes normales, en mpa, a la facette perpendiculaire aux cables,

DE LA PRECONTRAINTE TRANSLATABLE
DANS LA SECTION D'ENROBAGE SOUS LA COMBINAISON QUASI PERMANENTE (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)
(DIRECTION DE LA CONTRAINTE COMPTEE TRIGONOMETRIQUEMENT A PARTIR DE LA NORMALE AUX BORDS LIBRES = 100.000 GR)

COORDONNEES									
DO NOTOD	2	3	4	5	6	7	8		
1									
2	2.5430								
3	2.6394	2.6431							
4	2.6765	2.6318	2.5624						
5	2.7626	2.6909	2.6357	2.6310					
6	2.8623	2.7838	2.6987	2.6210	2.4942				
7	2.9429	2.8850	2.7975	2.6989	2.6392	2,6085			
8	2.9656	2,9499	2.8788	2.7715	2.6744	2.6345	2.5786		
Š	2.9033	2.9547	2.9339	2.8612	2.7656	2.6794	2.6442		
10	2.7489	2.8810	2.9349	2.9274	2.8763	2.7970	2.7076		
11	2.5560	2.7328	2.8605	2.9306	2.9489	2.9235	2.8575		
12	2.4502	2.5774	2.7240	2.8556	2.9457	2.9887	2.9802		
13	2.5881	2.4689	2.5819	2.7205	2.8621	2.9693	3.0251		
14	2.2485	2.4260	2.5314	2.5877	2.7246	2.8716	2.9796		
15	2.8647	2.7848	2.6497	2.4543	2.5767	2.7222	2.8591		
16	2.7579	2.6866	1.7312	2.2612	2.5118	2.5951	2.7100		
17	2,2328	2.7418	2.8909	2.8256	2.6669	2.5522	2.6048		
īź	2.2884	2.2218	2.7662	2.7968	2.3257	2.5441	2.6064		
19	2.2447	2.3340	2.2782	2.7453	2.8871	2.7912	2.6480		
20	2.3295	2.3441	2.3961	2.3231	2.7298	2.5991	1.7736		
21	2.4778	2.4446	2.4258	2.4469	2.3907	2.7209	2.8799		
22	2.6170	2.5695	2.5138	2.4640	2.4393	2.2777	2.7889		
23	2.6640	2.6496	2.6033	2.5289	2.4487	2.4070	2.2700		
24	2.6586	2.6570	2.6464	2.6050	2.5425	2.4909	2.4922		
25	2.6085	2.6146	2.6303	2.6350	2.6303	2.6146			
*****	*****	*****	*****	*****	******	*****			

Ce tableau permet de contrôler le dépassement éventuel de la traction-limite réglementaire sous combinaison quasipermanente, en section d'enrobage (0 MPa), quelle que soit la classe de vérification en B.P.E.L. (voir Annexe 1, § 4.2-a: Dépassement en dehors des zones "à répartition régulière")

Lorsqu'un dépassement a lieu, le programme édite un message précisant le cas de charge et le nœud correspondants.

MREEL NO 0000 DU 20/05/94 PAGE 49

REACTIONS D'APPUI ET ETATS DE FLEXION SOUS LA

COMBINAISON FREQUENTE

(E. L. S.) : 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+.720 *(CAS 3)

A (L) DEFINIE PAR UNE BANDE DON'T L'AME EST DISTANT DU BORD LIBRE GAUCHE DE 4.895 M, SUR LA TRAVEE 2

DENSITE = 13.431 KN/N2, A1 = 1.000, A2 = .933 SUR 2 VOIE(S)

NOMBRE TOTAL DE VOIES = 2 . LARGEUR D'UNE VOIE = 3.750 M

* *

REACTIONS D'APPUI EN KN (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)

APPUI	REACTION	APPUI	REACTION
1	366.53	9	1645.41
2	267.64	10	945.26
3	469.89	11.	1381.29
4	-60.04	12	810.53
5	810.52	13	-60.04
6	1381.29	14	469.89
7	945.26	15	267.64
8	1645.42	16	366.53

SOMME DES REACTIONS D'APPUI EN RN 11653.004

1 Vérification de la somme des réactions d'appui.

Le poids total de la bande chargée est égal à 13.431*2*3.75*19.58 = 1972.342 kN, 19.58 étant la portée biaise, en mètre, de la travée 2. La somme des réactions d'appui de la combinaison est donc égale à, tous coefficients pris en compte, 0.72*1.*.933*1972.342+10327.59 = 11652.53 kN, 10327.59 étant la somme des réactions d'appui en kN de la combinaison quasi-permanente (voir page 81). Le résultat est très proche de 11653.004 kN, en raison d'arrondi.

MODELE D'APPLICATION TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT MREEL NO 0000 DU 20/05/94

COMBINAISON FREQUENTE (E. L. S.): 1.000*(CAS 14: PR)+1.000*(CAS 1: CP)+.720 *(CAS 3)
DEPLACEMENT VERTICAL EN MM, COMPTE POSITIVEMENT VERS LE RAS (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)

∞	RDONNEES	3						
DŪ	NOEUD	2	3	4	5	6	7	8
	1		•			•		
	2	.00	•					•
	3	-1.07	.03					
	4	-2.10	-1.05	.00				
	5	-3.05	-2.05	-1.02	.03			
	6	-3.85	-2.93	-1.98	-1.01	.00		
	7	-4.43	-3.64	-2.81	-1.92	94	.13	
	8	-4.74	-4.12	-3.46	-2.71	-1.86	93	.00
	9	-4.72	-4.34	-3.90	-3.37	-2.74	-2.04	-1.32
	10	-4.35	-4.25	-4.09	-3.84	-3.50	-3.09	-2. 6 6
	11	-3.63	-3.85	-4.01	-4.08	-4.05	-3.96	-3.85
	12	-2.59	-3.15	-3.64	-4.03	-4.33	-4.55	-4.75
	13	-1.34	-2.21	-3.00	-3.70	-4.29	-4.81	-5.30
	14	.00	-1.06	-2.12	-3.09	-3.94	-4.71	-5.45
	15	1.58	.24	-1.10	-2.25	-3.28	-4.25	-5.21
	16	3.01	1.54	.00	-1.17	-2.33	-3.48	-4. ស
	17	4.20	2.86	1.47	.16	-1.19	-2.47	-3.71
	18	5.14	3.98	2.78	1.46	.00	-1.29	-2.60
	19	5.81	4.83	3.80	2.66	1.37	. 02	-1.36
	20	6.25	5.42	4.58	3.66	2.60	1.35	.00

```
MODELE D'APPLICATION
TABLIER-DALLE À TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT
```

MRREL NO 0000 DU 20/05/94 PACE 51

COMBINALSON FREQUENTS.	(E. L. S.) : 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+.720 *(CAS 3)
HOMENT FLECHISSANT	TRANSVERSAL EN RRM/M (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)
CORTICONNECTS	

DU NOEUD	•	•	2		5	_	-	8	9
DO NOBOD	1	2	3	•	3	6	7		9
<u> </u>	.00		•	•	•	•	•	•	•
2	.00	-24.10	.*	•	•	•	•	•	•
3	.00	-14.76	4.72		•			•	
4	.00	-6.88	83	-19.32			•		
5	.00	-9.08	-13.57	-15.49	-4.91				
6	.00	-12.53	-19.30	-18.74	-15.52	-51.04			
7	.00	~15.37	-24.73	-28,62	-33.86	-35.93	8.39		
8	.00	-17.89	-29.68	-36.22	-38.39	-28.53	2.18	22,21	
ğ	.00	-19.07	-32.71	-39.38	-38.99	-28.37	-7.24	11.91	.00
10	.00	-19.12	-33,58	-40.68	-39.35	-29.77	-13.81	. 49	.00
ii	.00	-19.02	-33.95	-41.06	-40.53	-32.26	-19.23	-6.48	.00
12	.00	-20.91	-34.91	-40.77	-41.68	-35.40	-23.67	-10.79	.00
13									
	.00	-37.18	-31.12	-38.03	-43.29	-37.51	-26.66	-13.37	.00
14	.00	-42.30	-2.90	-39.31	-47.19	-36.72	-26.66	-14.72	.00
15	.00	-2.12	9.87	-72.40	-46.18	-27.89	-24.22	-15.19	.00
16	.00	35.29	31.23	-121.92	-6.54	-16.01	-23.52	-16.09	.00
17	.00	30.29	28.76	-21.98	18.99	-26.43	-22.92	-16.95	.00
18	.00	20.63	35.47	50.12	54.29	-49.93	1.41	-25.82	.00
19	.00	17.40	37.19	58.53	62.88	23.19	10.64	-79.85	,00
20	.00	15.87	34.61	51.65	63.74	68.07		-126.68	.00
		15.07	34.02	J1. W	w	٠٠.٠,	30.43		

1 Valeur utilisée pour calculer la section d'acier dans la direction normale aux câbles, en face supérieure (voir page 106)

MODELE D'APPLICATION NO 0000 DU 20/05/94 TABLIER-DALLE A TROIS TRAVERS EN BETON PRECONTRAINT

COMPTRATEON PERCHAPITY (E. L. S.) : 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+.720 *(CAS 3)

OCRDON	NEES									
Ų NOS	7000 I	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	-54.85								•	
2	1.39	-27.55				•	•		•	
3	-12.62	-9.23	26							
4	-32.39	-21.75	-19.84	-22.94						
5	-49.72	-38.44	-30.88		-5.56					
6	-68.12	-53.84	-44.48							
7	-83.52	-68.59	-57.96							
8	-95.17	-81.41	-69.05							
9	-102.79	-90.87	-79.29	-64.59						
10	-101.33	-95.41	-86.58					-33.89	12.៩	
11	-69.88	-91.63	-88.03			-78.14				
12	-22.08	-74.02	-81.93			-94.71		-100.15		
13	-144.35	-48.78	-78.16					-116.02		
14	59.83	-85.72	-75.48					-122.93		
15	30.09	4.66	-27.09					-120.45		
16	25.32	28.78			-115.83			-110.23		
17	52.98	44.42	27.47	18.96	-17.11	-44.40	-84.22	-97.23	-106.77	
18	67.79	61.44	63.52	58.59	-1.40			-81.02	-95.54	
19	74.22	71.18	69.90	64.79	48.24	21.84			-77.83	
20	78.37	77.47	74.56	69.9 0	62.68	35.50	-68.97	-180.54	-87.07	

Valeur utilisée pour calculer la contrainte maximale en face inférieure (voir page 89) et la contrainte minimale en face supérieure (voir page 90) et la section d'acter dans la direction normale aux câbles, en face supérieure (voir page 106)

```
MODELE D'APPLICATION
TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT
```

MRREL NO 0000 DU 20/05/94 PAGE 53

COMBINAISON FREQUENTE (E. L. S.): 1.000*(CAS 14: PR)+1.000*(CAS 1: CP)+.720 *(CAS 3)
NOMENT DE TORSION EN KNM/M (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)
CORDONNEES

CCC	PLOCHNIKE	S									
DŪ	NOEUD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	1	19.73		•				•			
	2	2.94	4.44								
	3	-9.36	-3.30	-10.84		-		_		•	
	4	-9.75	-10.97	-9.53	-4.41	•		•		•	
	5	-15.50	-16.30	-12.58	-12.60					•	
	6	-22.95	-23.89	-22.85	-20.15	-12.26	-3.33			•	
	7	-32.54	-33.56	-32.27	-27.60	-17.49	-19.30	-23.68			
	8	-45.21	-44.88	-44.16	-41.85	-40.33	-43.07	-42.87	-38.85		
	9	-60.51	-56.82	-57.22	-57.35	-58.98	-62.83	-65.03	-62.57	-54.02	
	10	-78.76	-68,01	-68.43	-69.25	-71.07	-73.85	-76.11	-76.52	-82.27	
	11	-99.30	-77.06	-75.51	-75.51	-76.56	-77.64	-78.25	-78.59	-88.00	
	12	-67.82	-80.81	-75.36	-75.55	-76.13	-75.95	-75.61	-75.59	-81.07	
	13	-31.86	-68.07	-62.33	-71.98	-70.71	-69.57	-69.75	-69.85	-72.93	
	14	-71.40	-53.89	-68.32	-68.18	-58.15	-59.13	-62.09	-62.58	-64.09	
	15	-5 5.72	-42.70	-75.92	-50.91	-31.92	-50.46	-55.35	-54.54	-5 5. 41	
	16	8.41	-9.03	-14.00	-22.66	-42.77	-52.62	-48.49	-45.07	-46.99	
	17	24.30	22.00	37.65	-1.55	-56.50	-43.38	-30.20	-34.35	-34.79	
	18	26.81	30.75	35.58	20.95	50	-15.01	-30.46	-23.73	-20.20	
:	19	31.03	34.75	37.19	39.99	45.34	14.06	-29.11	5.89	-17.27	
:	20	36.81	39.68	42.69	48.38	55.92	55.12	53.54	58.56	42.24	
										_	

1 Valeur utilisée pour calculer la section d'acier dans la direction normale aux câbles, en face supérieure (voir page 106)

NODELE D'APPLICATION TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT MRREL NO 0000 DU 20/05/94 PAGE 79

ENVELOPPE MAXIMALE DES CONTRAINTES NORMALES, EN MPA, À LA FACETTE PERPENDICULAIRE AUX CABLES, DE LA PRECONTRAINTE TRANSLATABLE

EN FACE SUPERIEURE SOUS LA COMBINAISON FREQUENTE (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)

(DIRECTION DE LA CONTRAINTE COMPTEE TRICCHOMETRIQUEMENT A PARTIR DE LA NORMALE AUX BORDS LIBRES = 100.000 GR)

COX	ROOMEE	S						
DÜ	NORUD	2	3	4	5	6	7	8
	1							•
	2	2.3127	•		•	•		•
	3	2.6583	2.7015	•		•	•	•
	4	2.6614	2.5340	2.3734	•	•		•
	5	2.6801	2.6748	2.7720	2.7608		•	•
	6	2.7257	2.7547	2.7458	2.5625	2.3136	•	
	7	2.7418	2.7728	2.7713	2.7523	2.9406	3.1085	
	8	2.7352	2.7830	2.8201	2.8588	2.9152	3.1147	3.4309
	9	2.7170	2.7697	2.8194	2.8543	2.8610	2.8531	3.0465
	10	2.6868	2,7382	2.7761	2.8113	2.8386	2.8719	2.9018
	11	2.6521	2.6865	2.7024	2.7269	2.7607	2.7852	2.7908
	12	2.6311	2.5916	2.5789	2.6146	2.6476	2.6698	2.6715
	13	2.4875	2.2822	2.4039	2.5029	2.5365	2.5491	2.5518
	14	2.1434	2.2320	2.3874	2.4408	2.4334	2.4481	2.4483
	15	3.2346	2.8888	2.5573	2.2642	2.3292	2.3890	2.3851
	16	3.4784	2.6413	1.5603	2.0133	2.4035	2.4092	2.3526
	17	3.6800	3.5305	3.4764	3.0705	2.7631	2.3519	2.3157
	18	3.5429	3.6321	3.6687	3.1178	2.2650	2.4448	2.4907
	19	3.5167	3.5011	3.4617	3.4697	3.4107	3.0159	2.6568
	20	3.5938	3.5582	3.5011	3.4126	3.3521	2.6140	1.7793
	21	3.6658	3.6336	3.5871	3.5102	3.3661	3.2845	3.4149
	22	3.7480	3.7268	3.7078	3.6990	3.7451	3.9479	4.2142
	23	3.8316		3.8276	3.8560	3.9441	4.1175	4.3382
	24	3.9233	3.9173	3.9219	3.9394	3.9953	4.0819	4.1710
	25	4.0291	4.0024	3.9755	3.9675	3.9755	4.0024	4.0291
	26	4.1710	4.0819	3.9953	3.9394	3.9219	3.9173	3.9233
	27	4.3382	4.1175	3.9441	3.8560	3.8276	3.8286	3.8316
	28	4.2142		3.7451	3.6990	3.7078	3.7268	3.7480
	29	3.6203	3.5077	3.5484	3.5789	3.6256	3.6522	3.6765
	30	2.1059	2.8552	3.5300	3.6656	3.6853	3.6989	3.7174
	31	2.8853	3.2003	3.5395	3.5437	3.5840	3.5887	3.5753
	32	2.6528	2.5719	2.3421	3.1601	3.6719	3.5938	
								3.4934
	33	2.3262	2.4488	2.8901	3.1565	3.4623	3.4659	3.5616
	34	2.0757	2.2149	2.3359	2.1443	1.7498	2.8093	3.5901
	35	1.8554	1.9518	2.0341	2.1740	2.7181	3.0398	3.3670
	36	1.7102	1.8007	1.9219	2.1281	2.3676	2.3571	2.2587
	37	1.6616	1.7334	1.8298	1.9519	2.0645	2.1938	2.5789

Ce tableau permet de contrôler le dépassement éventuel de la compression-limite réglementaire sous combinaison fréquente, en face supérieure de la dalle. (0.7*f_{c28} = 24.5 MPa, hors section d'enrobage, en classe 2)

Lorsqu'un dépassement a lieu, le programme édite un message précisant le cas de charge et le nœud correspondants.

MRGEL NO 0000 DU 20/05/94

enveloppe maximale des contraintes normales, en mpa, a la facette perpendiculaire aux cables, de la precontrainte translatable

EN FACE INFERIEURE SOUS LA COMBINAISON FREQUENTE (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)
(DIRECTION DE LA CONTRAINTE COMPTEE TRIGONOMETRIQUEMENT A PARTIR DE LA NORMALE AUX BORDS LIERES = 100.000 GR)

	RECONDUEZ MORUD		2	4	5	•	7	ê
70		2	3	4	9	6	,	5
	1	3.0072	•	•	•	•	•	•
	2		0 6400	•	•	•	•	•
	3	2.7582	2.6483	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	•	•	•	•
	4	2.9115	2.8881	3.0057		•	•	•
	5	3.1158	3.0233	2.8298	2.7132		•	•
	6	3.3045	3.1898	3.0794	3.08 9 6	3.1911	•	•
	7	3.4850	3.3550	3.2088	3.0388	2.7087	2.4588	•
	8	3.6420	3.4907	3.2984	3.0794	2.8068	2.5541	2.7133
	9	3.7579	3. aa	3.4361	3.2304	3.0417	2.8328	2.5701
:	10	3.8135	3.7053	3.5868	3.4490	3.3092	3.1780	3.0832
	11	3.7672	3.7231	3.6893	3.6478	3.6020	3.5697	3.5509
	12	3,5516	3.6484	3.7258	3.7667	3.8050	3.8375	3.8715
	13	3.2533	3,6022	3.7020	3.7982	3.9123	4.0011	4.0658
	14	4.1075	3.6904	3,5250	3.7611	3.9622	4.0699	4.1505
	15	2.8218	3.0624	3.3187	3.8837	3.9878	4.0373	4.1201
	16	2.4489	3.3322	4.5577	4.0635	3.7672	3.8566	3.9949
	17	2.2817	2.4429	2.4902	2.8546	3.1889	3.6764	3.8358
	18	2.2483	2.1322	2.1208	2.8399	3.8766	3.6229	3.6373
	19	2.4129	2.3375	2.2661		2.5082	3.1136	3.6672
:	20	2.6011	2.5407	2.4538	2.3220	2.3817	3.5404	4.8559
								-
	21	2.7645	2.7072	2.6264		2.4315	2.3836	2.3922
:	22	2.8735	2.8222	2.7476		2.4647	2.1449	1.7737
:	23	2.9158	2.8680	2.8104	2.7173	2.5677	2.3423	2.0748
	24	2.8618	2.8390	2.8057	2.7607	2.6833	2.5814	2.4814
	25	2.6829	2.7037	2.7282	2.7363	2.7386	2.7241	2.7131
	26	2.3345	2.4456	2.5587		2.7055	2.7508	2.7845
	27	1.8425	2.1163	2.3476	2.5018	2.6051	2.6792	2.7407
	28	1.4849	1.8641	2.1926	2.3739	2.4854	2.5620	2. 5148
	29	2.2495	2.1473	2.1097	2.2108	2.3162	2.4002	2.4605
	30	4.8559	3.4897	2.2105	1.9622	2.0956	2.1909	2.2574
	31	3.6672	3.0839	2.3777	2.0545	1.8618	1.9549	2.0384
	32	3.6373	3.6229	3.7285	2.6623	1.9277	1.8673	1.8928
	33	3.8358	3.6764	3.1889	2.8546	2.4130	2.3088	2.1013
3	34	3.9949	3.8566	3.7672	4.0635	4.5577	3.2637	2.2927
	35	4.1201	4.0373	3.9878	3.8837	3.3188	2.9769	2.5881
	36	4.1505	4.0699	3.9622		3.5250	3.5694	3.6948
	37	4.0658	4.0011	3.9123	3.7982	3.7020	3.6022	3.2425
-	• •				J. 1302	51,420	J. 0022	

Ce tableau permet de contrôler le dépassement éventuel de la compression-limite réglementaire sous combinaison fréquente, en face inférieure de la dalle $(0.7^{\circ}f_{c28} = 24.5 \text{ MPa}, \text{ hors section d'enrobage, en classe 2})$.

Lorsqu'un dépassement a lieu, le programme édite un message précisant le cas de charge et le nœud correspondants.

Calcul de l'enveloppe maximale des contraintes normales à la facette perpendiculaire aux câbles, en face inférieure, sous la combinaison fréquente, au nœud de coordonnées (I = 8, J = 20).

Cette enveloppe maximale correspond au cas de charge no 3.

Le moment longitudinal au nœud considéré est égale à -180.54 kNm/m (voir page 87).

La contrainte en face inférieure

 σ_i = -6*(-180.54)/0.7° + 1852./0.7 = 4856 kN/m² soit 4.856 MPa , valeur très proche de 4.8559 donnée par la note de calcul, en raison d'arrondi.

NERBELL NO 0000 DO 20/05/94 PAGE

ENVELOPPE MINIMALE DES CONTRAINTES NORMALES, EN MPA, À LA FACETTE PERPENDICULAIRE AUX CABLES,

DE LA PRECONTRAINTE TRANSLATABLE
EN FACE SUPERIEURE SOUS LA COMBINAISON FREQUENTE (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)
(DIRECTION DE LA CONFRAINTE COMPTEE TRIGONOMETRIQUEMENT À PARTIR DE LA NORMALE AUX BORDS LIBRES = 100.000 GR)

DIT	rdoninee Noeud	2	3	4	5	6	7	8
D V	1	2		•	3	٠	,	•
	2	2.2832	•	•	•	•	•	•
	3	2.5322	2.6420	•	•	•	•	•
	4	2.3789	2.4022	2.2847	•	•	•	•
	5	2.1745	2.2671	2.4606	2.5771	•	•	•
						0.0000	•	•
	6	1.9859	2.1005	2.2110	2.2008	2.0993		•
	7	1.8054	1.9354	2.0815	2.2516	2.5817	2.8315	-*
	8	1.6483	1.7997	1.9920	2.2109	2.4836	2.7363	2.5770
	9	1.5325	1.6742	1.8543	2.0599	2.2487	2.4575	2.7203
	10	1.4769	1.5851	1.7036	1.8413	1.9811	2.1124	2.2071
	11	1.5232	1.5672	1.6011		1.6884	1.7207	1.7395
	12	1.7388	1,6420	1.5646		1.4854	1.4528	1.4188
	13	2.0370	1,6881	1.5884	1.4922	1.3781	1.2893	1.2245
:	14	1.1829	1.5999	1.7654	1.5292	1.3282	1.2204	1.1399
:	15	2.4686	2.2280	1.9716	1.4067	1.3025	1.2531	1.1703
	16	2.8415	1.9582	. 7326		1.5231	1.4338	1,2955
	17	3.0087	2,8475	2.8001	2.4357	2.1015	1.6140	1.4546
	18	3.0421	3.1581	3.1696		1.4138	1.6674	1.6531
	19	2.8775	2.9529			2.7822	2.1765	1.6232
	20	2.6893	2.7497			2.9087	1.7500	. 4345
		2.0033	4.1991	2.0300	2.7064	2.5007	1. 1500	. 4343
	21	2.5259	2.5832	2,6639	2.7665	2.8589	2.9068	2.8982
	22	2.4169	2.4682	2.5428	2.6509	2.8257	3.1455	3.5167
	23	2.3745	2.4224	2.4799	2.5730	2.7227	2.9481	3.2156
	23 2 4	2.4285	2.4514	2.4847	2.5296	2.6070		
							2.7090	2.8090
	25 06	2.6074	2.5867	2.5621	2.5521	2.5518	2.5662	2.5773
	26	2.9558	2.8448	2.7316	2.6422	2.5848	2.5396	2.5059
	27	3.4478	3.1740	2.9428	2.7885	2.6853	2.6112	2.5497
	28	3.8055	3.4263	3.0978	2.9164	2.8050	2.7284	2.6755
	29	3.0408	3.1431	3.1807	3.0796	2.9741	2.8902	2.8299
	30	. 4345	1.8007	3.0798	3.3282	3.1948	3.0995	3.0330
	31	1.6232	2.2065	2.9126	3.2358	3.4286	3.3355	3.2519
	32	1.6531	1.6674	1.5619	2.6280	3.3626	3.4230	3.3976
	33	1.4546	1.6140	2.1015	2.4357	2.8773	2.9816	3.1891
	34	1.2955	1.4338	1.5231	1.2269	.7326	2.0266	2.9976
	35	1.1703	1.2531	1.3025	1.4067	1.9716	2.3135	2.7022
	36	1.1399	1.2204	1.3282	1.5292	1.7654	1.7209	1.5955
	37	1.2245	1.2893	1.3781	1.4922	1.5884	1.6881	2.0479
,						T. 3444	T. 3001	F. 4413

Ce tableau fournit l'enveloppe minimale des contraintes normales sous combinaison fréquente, en face supérieure de la dalle, qui sont en dehors des sections d'enrobage. Comme la traction n'y est pas limitée en classe 2 de vérification, il n'est pas vraiment nécessaire d'imprimer ces résultats. Cependant, le calcul MRBPEL étant effectué pour la phase en service à l'infini, ces derniers peuvent servir à cerner les contraintes normales en situation d'exécution, qui sont réglementairement limitées.

Calcul de l'enveloppe minimale des contraintes normales à la facette perpendiculaire aux câbles, en face supérieure, sous la combinaison fréquente, au nœud de coordonnées (I = 8, J = 20).

Cette enveloppe minimale correspond au cas de charge no 3.

Le moment longitudinal au nœud considéré est égal à -180.54 kNm/m (voir page 87).

La contrainte en face supérieure

 $\sigma_c = 6^{\circ}(-180.54)/0.7^{\circ} + 1852./0.7 = 435 \text{ kN/m}^{\circ}$ soit 0.4350 MPa, valeur très proche de 0.4345 donnée par la note de calcul, en raison d'arrondi.

NERBEL NO 0000 DU 20/05/94

PAGE 82

ENVELOPPE MINIDALE DES CONTRAINTES NORMALES, EN MPA, À LA FACETTE PERPENDICULAIRE AUX CABLES, DE LA PRECONTRAINTE TRANSLATABLE EN FACE INVERIEURE SOUS LA COMBINAISON FREQUENTE (CALCUL AVEC POISSON = 0.200) (DIRECTION DE LA CONTRAINTE CONCTEE TRIGONOMETRIQUEMENT À PARTIR DE LA NORMALE AUX BORDS LIBRES = 100.000 GR)

coo	ROONNEE	s						
DO	NOEUD	2	3	4	5	6	7	8
	1							
	2	2.9777						
	3	2.6321	2.5888					
	4	2.6290	2.7564	2.9170				
	5	2.6103	2.6155	2.5184	2.5296			
	6	2.5647	2.5357	2.5446	2.7278	2.9768		
	7	2.5486	2.5175	2.5191	2.5380	2.3498	2.1819	
	8	2.5551		2.4702	2.4316	2.3752	2.1757	1.8595
	9	2.5733	2.5207	2.4709		2.4294	2.4372	2.2439
;	10	2.6036		2.5142		2.4518	2.4185	2.3886
	11	2.6383		2.5879		2.5297	2.5052	2.4996
	12	2.6592		2.7115		2.6427	2.6206	2.61.89
	13	2.8029		2.8865		2.7539		2.7386
:	14	3.1470	3.0584	2.9030	2.8496	2.8570	2.8423	2.8421
	15	2.0557	2.4016	2.7330	3.0262	2.9612	2.9013	2.9053
:	16	1.8120	2.6491	3.7301		2.8869	2.8811	2.9377
:	17	1.6104	1.7599	1.8140	2.2199	2.5272	2.9385	2.9746
:	18	1.7475	1.6583	1.6216	2.1726	3.0254	2.8455	2.7997
:	19	1.7736	1.7892	1.8287	1.8207	1.8797	2.2744	2.6335
;	20	1.6966	1.7322	1.7892	1.8777	1.9383	2.6763	3.5111
:	21	1.6245	1.6568	1.7033	1.7802	1.9242	2.0059	1.8755
	22	1.5424	1.5636	1.5825	1.5914	1.5452	1.3425	1.0762
:	23	1.4587	1.4618	1.4628	1.4343	1.3463	1.1729	. 9522
:	24	1.3670	1.3731	1.3684	1.3509	1.2950	1.2085	1.1193
:	25	1.2612		1.3148		1.3148	1.2879	1.2612
	26	1.1193	1.2085	1.2950	1.3509	1.3684	1.3731	1.3670
	27	. 9522	1.1729	1.3463		1.4628	1.4618	1.4587
	28			1.5452		1.5825	1.5636	1.5424
	29			1.7419		1.6647	1.6381	1.6139
	30	3.1845	2.4351			1.6051	1.5915	1.5730
	31					1.7064	1.7016	1.7151
	32	2.6376		2.9483	2.1303	1.6185	1.6966	1.7970
	33	2.9641	2.8416	2.4003	2.1339	1.8280	1.8245	1.7288
	34	3.2146	3.0755	2.9545	3.1461	3.5405	2.4811	1.7003
	35	3.4349		3.2562	3.1164	2.5722	2.2506	1.9234
	36	3.5801	3.4896	3.3684	3.1623	2.9227	2.9333	3.0317
:	37	3.6288	3.5570	3.4606	3.3385	3.2258	3.0966	2.7115

Ce tableau fournit l'enveloppe minimale des contraintes normales sous combinaison fréquente, en face inférieur de la dalle, qui sont en dehors des sections d'enrobage. Comme la traction n'y est pas limitée en classe 2 de vérification, il n'est pas vraiment nécessaire d'imprimer ces résultats. Cependant, le calcul MRBPEL étant effectué pour la phase en service à l'infini, ces derniers peuvent servir à cerner les contraintes normales en situation d'exécution, qui sont réglementairement limitées.

MREBEL NO 0000 DU 20/05/94

ENVELOPPE MINIMALE DES CONTRAINTES NORMALES, EN MPA, À LA FACETTE PERPENDICULAIRE AUX CABLES, DE LA PRECONTRAINTE TRANSLATABLE

DANS LA SECTION D'ENROBAGE SOUS LA COMBINAISON FREQUENTE (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)
(DIRECTION DE LA CONTRAÎNTE COMPTEE TRIGONOMETRIQUEMENT A PARTIR DE LA NORMALE AUX BORDS LIBRES = 100.000 GR)

NOEUD	s 2	3	4	5	6	7	8		
1		•		•	•				
2	2.5335		•	•	•				
3	2.6381	2.6288	-'	•	•	•	•		
4	2.6334	2.6306	2.5340	_•	•	•	•		
5	2.6148	2.6235	2.5767	2.6115	. •	•	•		
6	2.5683	2.5498	2.5716	2.6185	2.4767	. •			
7	2.5505	2.5234	2.5353	2.5668	2.4857	2.5102			
8	2.5598	2.5101	2.4782	2.4591	2.4477	2.3916	2.41.62		
9	2.5834	2.5271	2.4744	2.4457	2.4571	2.4931	2.4285		
10	2.6158	2.5652	2.5210	2.4824	2.4606	2.4477	2.4575		
11	2.5266	2.6160	2.5959	2.5677	2.5320	2.5116	2.5183		
12	2.3033	2.5391	2.6522	2.6531	2.6429	2.6211	2.6201		
13	2.2143	2.2842	2.5335	2.6602	2.6734	2.6787	2.6807		
14	1.2121	1.9046	2.3134	2.5272	2.6676	2.6964	2.7138		
15	2.4837	2.2363	2.1679	2.1781	2.5032	2.6723	2.7128		
16	2.6693	2.0171	.7709	1.6402	2.2220	2.5171	2.6761		
17	2.1632	2.6700	2.6939	2.4399	2.2599	2.2563	2.5193		
18	2.2425	2.1856	2,7096	2.4671	1.4384	1.9524	2.2710		
19	2.0725		2.2649	2.6910	2.6882	2.1859	1.9210		
20	1.8782	2.0452	2.2612	2,2878	2.6776	1.8267	.4787		
			_						
									
21	1.7295	1.8460	2.0262	2.2572	2.3094	2.6773	2.7247		
22	1.6243	1.6748	1.7860	1.9527	2.1518	2.0385	2.7523		
23	1.5808	1.5497	1.5844	1.6661	1.7916	1.9847	1.8567		
24	1.6117	1.5039	1.4633	1.4840	1.5535	1.7011	1.9607		
25	1.7357	1.5478	1.4517	1.4211	1.4517	1.5478	1.7357		
26	1.9607	1.7011	1.5535	1.4840	1.4633	1.5039	1.6117		
27	2.3404	1.9847	1.7916	1.6661		1.5497	1.5808		
28	2.7877	2.4107	2.1518	1.9527	1.7860	1.6748	1.6243		
29	2.7695	2.7064	2.4826	2.2263	2.0009	1.8309	1.7200		
30	.4787	1.8731	2.6986	2.4615	2.1786	1.9527	1.7782		
31	1.9210	2.2153	2.7292	2.7178	2.4762	2.2219	2.0340		
32	2.2710	1.9524	1.5835	2.6295	2.7333	2.4744	2.2647		
32 33	2.5193	2.2563	2.2599	2.4399	2.7181	2.6865			
							2.4802		
34	2.7054	2.5171	2.2220	1.6402	.7709	2.0797	2.6885		
35	2.6073	2.7185	2.5032	2.1781	2.1679	2.3201	2.6631		
36	2.9711	2.6085	2.7216	2.5272	2.3134	1.9903	1.6165		
37	3.0189	2.9630	2.6126	2.7185	2.5335	2.2842	2.2220		

Ce tableau permet de contrôler le dépassement éventuel de la traction-limite réglementaire sous combinaison fréquente, dans la section d'enrobage de la dalle (0. MPa, en classe 2).

Lorsqu'un dépassement a lieu, le programme édite un message précisant le cas de charge et le nœud correspondants.

Calcul de l'enveloppe minimale des contraintes normales à la facette perpendiculaire aux câbles, dans la section d'enrobage, sous la combinaison fréquente, au nœud de coordonnées (I = 8, J = 20).

L'enveloppe minimale correspond au cas de charge no 3. Les contraintes en faces inférieure et supérieure sont respectivement $\sigma_i = 4.8559$ MPa et $\sigma_s = 0.4345$ MPa. (voir pages 89 et 90)

La section d'enrobage à ce nœud est centrée à la cote 0.588m par rapport à la sous dalle (valeur de l'excentrement déduite de celles introduites en bordereau de données (voir page 75)). Par rapport à la sous dalle, les deux bords de la section d'enrobage sont à la cote $y = 0.588+1.5\phi$ et $y' = 0.588+1.5\phi$, ϕ étant le diamètre d'encombrement de la gaine ($\phi = 0.07m$).

$$y = 0.693 \text{ m}$$

$$y' = 0.483 \text{ m}.$$

Les contraintes à ces bords sont, h étant l'épaisseur de la dalle :

$$\sigma_{\rm V} = \sigma_{\rm s} + (\sigma_{\rm i} - \sigma_{\rm s})(h - y)/h = 0.4345 + 0.0442 = 0.4787 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{v'} = \sigma_s + (\sigma_i - \sigma_s)(h - y')/h = 0.4345 + 1.3706 = 1.8051 \text{ MPa}$$

La plus petite de ces deux valeurs (0.4787 MPa) est l'enveloppe minimale des contraintes normales dans la section d'enrobage.

```
MODELE D'APPLICATION
TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN HETON PRECONTRAINT
```

MREEL NO 0000 DU 20/05/94

COMBINAISON RARE (E. L. S.) : 1.000* (CAS 14 : PR)+1.000* (CAS 1 : CP)+1.200* (CAS 3) NOMENT FLECHISSANT TRANSVERSAL EN KNM/M (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)

UNDER TO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	.00	-		•			•	•	•
2	.00	-24.70	•	•	•	•	•	•	•
2	.00	-15.60	2.90	•	•	•	•	•	•
3	.00	-7.98	-3.07	-22.73	•	•	•	•	•
5				-19.54	_10.00	•	•	•	•
	.00	-10.44	-16.24		-10.88	a	•	•	•
6	.00	-14.22	-22.53	-23.44	-22.24	-61.88	-,	•	•
7	.00	-17.48	-28.67	-34.28	-41.53	-44.42	7.77	'	•
8	.00	-20.35	-34.15	-42.37	-45.68	-34.63	1.90	33.13	٠
9	.00	-21.67	-37.30	-45.28	-45.15	-32.73	-6.21	19.26	.00
10	.00	-21.72	-37.99	-46.00	-44.36	-32.82	-13.37	3.16	.00
11	.00	-21.55	-38.14	-45.93	-44.90	-34.93	-19.65	-5.60	.00
12	.00	-23.48	-39.08	-45. ជ	-46.03	-38.25	-24.74	-10.74	.00
13	.00	-40.15	-35. 45	-43.47	-48.31	-40.82	-28.22	-13.76	.00
14	.00	-44.71	-7.07	-46.72	-53.60	-40.47	-28.54	-15.40	.00
15	.00	-1.26	6.60	-85.47	-53.86	-31.53	-26.43	-16.32	.00
16	.00	39.92	32.57	-139.99	-12.02	-19.54	-26.78	-18.24	.00
17	.00	36.85	34.19	-25.56	16.91	-31.89	-28.20	-21.14	.00
18	.00	28.90	47.17	60.17	60.59	-55.71	-5.15	-34.46	.00
19	.00	27.48	53,99	76.63	76.99	27.55		-100.55	.00
20	.00	27.20	54.54	74.63	84.45	81.56		-155.74	.00
21	.00	25.95	51.72	69.20	76.83	70.47	16.76	-87.33	.00
22	.00	24.05	47.17	61.46	64.26	51.58	20.15	-9.80	.00
23	.00	21.35	42,66	54.40	55.51	44.86	25.78	8.93	.00
24	.00	19.04	38.26	49.80	51.51	44.51	30.83	14.30	.00
25	.00	16.93	34.70	46.37	50.78	46.37	34.70	16.93	.00
23	.00	10.33	34.10	40.37	30.78	40.37	34.70	10.33	.00

1 Valeur utilisée pour calculer la section d'acier, en face inférieure dans la direction normale aux câbles (voir page 109)

```
MODELE D'APPLICATION MEBEL MO 0000 DU 20/05/94
TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT PAGE 92
```

COMBINAISON RARE (E. L. S.) : 1.000*(Cas 14 : PR)+1.000*(Cas 1 : CP)+1.200*(Cas 3) MOMENT FLECHISSANT LONGITUDINAL EN KNM/M (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)

COORDONNE	22								
DO INCIDEUD	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-54.98						•		
2	. 67	-27.90		•			•		
3	-14.02	-10.14	81	-			•		
4	-34.70	-23.27	-20.95	-23.62					
5	-52.99	-40.51	-32.53	-16.48	~6.76				
6	-71.88	-56.37	-46.33	-36.93	-38.52	-47.66			
7	-87.47	-71.66	-59.76	-46.18	-27.55	8.91	39.98		
8	-99.90	-85.64	-71.43	-53.01	-26.77	8.62	53.07	94.49	
9	-109.68	-97.41	-83.81	-66.29	-44.55	-19.02	8.98	38.49	149.01
10	-111.95	-105.63	-94. 9 2	-82.91	-68.97	-54.88	-41.97	-30.63	23.92
11	-85.63	-106.81	-101.58	-97.02	-91.88	-86,71	-83.07	-80.68	-70.25
12	-44.86	-95.22	-101,66	-106.47	-108.59	-110.92	-113.07	-115.43	-119.39
13	-176.51	-76.91	-104.82	-111.27	-118.17	-127.05	-133.94	-138.94	-147.78
14	30.85	-120.83	-108.96	-103.31	-122.29	-138.38	-146.51	-152.66	-164.81
15	-6.90	-30.26	-65.15	-93.96	-141.02	-147.49	-149.81	-155.95	-171.38
16	-4.73	-1.96	-91.37	-209.54	-163.54	-133.46	-139.07	-150.31	-165.39
17	39.46	25.82	2.97	-10.96	-54.36	-84.89	-126.94	-141.26	-150.81
18	71.56	59.10	56.38	44.01	-28.60	-129.70	-125.32	-129.44	-143.45
19	94.68	85.44	78.73	65.09	36.04	-5.50	-80.63	-140.53	-131.94
20	114.90	107.85	99.33	86.28	66.81	21.65	-112.20	-252.48	-155.74
21	135.08	128.77	121.02	110.02	93.67	68.38	34.23	13.19	-424.34
22	154.57	148.45	142.63	135.79	128.42	124.73	134.36	149.89	138.58
23	172.29	164.94	161.81	158.40	156.98	160.52	171.48	186.58	265.54
24	187.90	177.48	175.31	173.98	173.73	176.85	182.77	189.11	238.80
25	206.75	185.33	182.68	180.17	179.38	180.17	182.68	185.33	206.75

¹ Valeur utilisée pour calculer la section d'acier, en face inférieure dans la direction normale aux câbles (voir page 109)

NO 0000 DU 20/05/94

93

(Binaison rare (E. L. S.) : 1.000* (Cas 14: PR)+1.000* (Cas 1: CP)+1.200* (Cas 3: MOMENT DE TORSION EN KNM/M (CALCUL AVEC POISSON = <math>0.200) COMBINAISON RARE

DQ 3	KONEUD	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	L	18.67								
2	2	1.62	3.20						•	
3	3	-11.14	-4.93	-12.27						
4	1	-12.12	-13.09	-11.47	-5.99				•	
	5	-18.27	-19.01	-15.04	-14.91	-16.87				
	5	-26.00	-27.33	-25.89	-22.49	-13.64	-3.61			
7	7	-36.30	-38.07	-36,40	-30.97	-19.79	-21.92	-26.26		
	3	-50.31	-50.87	-50.14	-47.79	-46.60	-50.60	-51.65	-48.00	
9	•	-67.35	-64.56	-65.45	-66.31	-69.29	-75.35	-80.16	-76.62	-69.74
10)	-87.40	-77.52	-78.81	-80.76	-84.18	-88.93	-92.74	-93.17	-101.60
11		-109.56	-88.24	-87.70	-88.87	-91.27	-93.77	-95.47	-96.39	-106.19
12	2	-78.81	-93.56	-89.08	-90.25	-91.72	-92.49	-93.05	-93.84	-100.03
13	3	-44.03	-82.36	-77.56	-87.88	-86.77	-86.20	-87.24	-88.23	-92.21
14	ı	-88.91	-69.54	-85.91	-85.33	-74.19	-75.77	-79.69	~80.99	-83. 41
15		-72.67	-58.03	-95.05	-68.51	-47.32	-67.76	-73.48	-72.95	-74.74
16	5	-1.63	-20.31	-27.15	-38.85	-61, .73	-72.29	-67.37	-63.19	-66.22
17		17.82	16.19	32.05	-14.10	-77.08	-63.85	-48.63	-51.28	-52.90
18	3	23.57	29.53	34.01	14.86	-12.58	-31.26	~48.07	-37.86	-35.20
19	•	32.40	38.45	41.25	42.25	44.49	7.22	-42.00	79	-27.10
20)	43.97	48.93	53.32	59.29	66.11	63.61	60.81	66,66	46.48
21		56.03	59.70	65.47	73.88	86.64	108.65	141.81	115.22	175.31
22	2	66.45	69.24	75.43	84.42	97.22	114.51	128.84	120.20	169.62
23		74.24	76.83	82.46	89.82	98.48	106.44	109.42	106.12	98.59
24	l .	78.70	82.88	87.21	92.40	96.84	99.02	97.72	94.46	83.40
25	,	79.49	88.21	91.53	94.72	96.03	94.72	91.53	88.21	79.49

 $oxed{1}$ Valeur utilisée pour calculer la section d'acier, en face inférieure dans la direction normale aux câbles (voir page 109)

MODELE D'APPLICATION

TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT

MRREL NO 0000 DU 20/05/94 124

REACTIONS D'APPUI ET ETATS DE FLEXION SOUS LA

COMPLINATISON PARE

(E. L. S.) : 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+1.000*(CAS 10)

MC120 CENTRE SUR LA TRAVEE 2

REACTIONS D'APPUI EN KN (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)

APPUI	REACTION	APPUI	REACTION
1	366.12	9	1780.74
2	268.12	10	852.06
3	490.95	11	1297.22
4	-92.86	12	789.14
5	786,68	13	-102.91
6	1280.68	14	493.68
7	785.05	15	268.06
. 8	1884,99	16	365.97
SCHOOL DES REACTIONS D'APPU	I EN KN 11513.709		

1 Vérification de la somme des réactions d'appui.

Le poids total du convoi Mc₁₂₀ est égal à 2*99.004*5*(4.3-3.5)* 1.22375² = 1186.119 kN (voir bordereau de données, tableau GA, cas 2, page 60), 1.22375 étant la valeur de la maille MRB, en mètre.

La somme des réactions d'appui de la combinaison est donc égale à, tous coefficients pris en compte, 1186.119+10327.59 = 11513.71 kN, 10327.59 étant la somme des réactions d'appui en kN de la combinaison quasi-permanente (voir page 81). Le résultat est très proche de 11513.709 kN, en raison d'arrondi.

```
MODELE D'APPLICATION
                                                                                           MREEL NO 0000
                                                                                                               DU 20/05/94
Tablier-Daliz a trois travees en beton precontraint
                                                                                           PMS
                                                                                                    125
     PRIMAISON PARE (E. L. S.): 1.000*(CAS 14: PR)+1.000*(CAS 1: CP)+1.000*(CAS 10)
DEPLACEMENT VERTICAL EN NM, COMPTE POSITIVEMENT VERS LE BAS (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)
  COMPLICATION PART
COORDONNEES
   HOEUD
                         3
                                   4
                                            5
                                                     6
                                                                       8
                .00
    3
              -1.07
                         .03
     4
             -2.10
                       -1.05
                                   .00
                       -2.05
-2.93
                                            .03
                                -1.02
    5
             -3.05
              -3.84
                                                     .00
                                -1.98
                                          -1.01
     6
7
                       -3.64
                                -2.81
              -4.42
                                          -1.92
                                                    -.94
                                                              .14
              -4.73
                       -4.12
                                          -2.72
                                                   -1.87
                                                                        .00
                                -3.46
                       -4.33
                                -3.90
                                          -3.38
                                                   -2.76
                                                            -2.07
              -4.71
   10
             -4.34
                       -4.25
                                -4.10
                                         -3.87
                                                   -3.54
                                                            -3.14
                                                                     -2.73
   11
             -3.62
                       -3.85
                                -4.03
                                         -4.11
                                                   -4.11
                                                            -4.04
                                                                     -3.96
   12
             -2.58
                       -3.16
-2.22
                                -3.67
                                         -4.08
                                                   -4.41
                                                            -4.67
                                                                     -4.90
   13
             -1.34
                                -3.03
-2.15
                                         -3.75
                                                   -4.39
                                                            -4.95
                                                                     -5.49
   14
15
                .00
                       -1.07
                                          -3.15
                                                   -4.05
                                                            -4.88
                                                                     -5.68
               1.58
                                -1.12
                                          -2.31
                                                   -3.39
                                                            -4.44
                                                                     -5.47
                                          -1.20
               3.02
                        1.55
                                  .00
                                                            -3.67
                                                   -1.25
               4.25
                        2.90
                                 1.50
                                                            -2.64
                                                                     -4.00
                                                     .00
                        4.09
   18
               5.25
                                 2.87
                                          1.52
                                                            -1.40
                                                                     -2.85
                        5.05
   19
               6.04
                                  4.01
                                          2.83
                                                    1.47
                                                              -00
                                                                     -1.53
                        5.82
                                           4.00
                                                             1.49
   20
               6.64
                                 4.97
                                                    2.87
                                                                        .00
MODELE D'APPLICATION
                                                                                           MREEL NO 0000
                                                                                                               DU 20/05/94
TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT COMBINAISON RARE (E. L. S.) : 1.000*(0
                                                                                           PAGE
                                                                                                    126
     MEINAISON RARE (E. L. S.): 1.000*(CAS 14: PR)+1.000*(CAS 1: CP)+1.000*(CAS 10)
MOMENT FIECHISSANT TRANSVERSAL EN KNM/M (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)
COORDONNEES
    NORUD
                         2
                                  3
                                                                                          9
                .00
                                  .
                .00
                      -24.25
    3
                .00
                      -14.95
                                 4.23
                      -7.08
-9.28
                                        -20.33
     4
                .00
                                -1.36
                               -14.09
    5
                .00
                                        -16.52
                                                   -6.81
                               -19.80
-25.23
                                                 -17.43
-35.77
                .00
                      -12.73
                                        -19.72
                                                           -55.05
    6
                      -15.58
                                        -29.62
                                                                      6.38
                .00
                                                           -38.56
                .00
                      -18.04
                               -30.04
                                        -36.97
                                                  -39.65
                                                           -29.76
                                                                              25.97
                .00
                      -19.01
                               -32.67
                                        -39.48
                                                  -39.22
                                                           -28.33
                                                                     -5.91
                                                                              14.74
   10
                .00
                      -18.71
                               -32.86
                                        -39.61
                                                 -38.38
                                                           -28.56
                                                                    -12.14
                                                                               2.10
                                                                                           .00
   11
                .00
                     -18.08
                               -32.32
                                        -38.99
                                                 -38.26
                                                           -29.98
                                                                    -17.17
                                                                              -5.12
                                                                                           .00
   12
                               -32.17
-27.23
                                                                               -9.33
                                                                                           .00
                . 00
                      -19.25
                                        -37.27
                                                  -37.88
                                                           -31.92
                                                                    -21.01
                .00
                                                                                           .00
                     -34.40
-39.33
                                                 -37.48
                                                                    -23.16
   13
                                        -32.71
                                                           -32.50
                                                                             -11.64
                                                                                          .00
                .00
                                 1.62
                                        -31.13
                                                  -38.48
                                                           -29.74
                                                                    -22.08
                                                                             -12.65
   14
   15
                                                                                          .00
                .00
                       -1.44
                                14.45
                                        -58.48
                                                  -33.95
                                                           -18.48
                                                                    -18.23
                                                                             -12.82
                       33.77
                                33.53
                                       -102.51
                                                            -2.63
                                                                    -15.49
                                                                             -13.87
                                                                                          .00
                .00
                                                    7.81
                                30.35
                                        -10.21
   17
                .00
                       28.80
                                                   35.48
                                                            -3.82
                                                                    -13.04
                                                                             -16.43
                                                                                          . 00
                .00
   18
                       20.10
                                36.36
                                         56.69
                                                   69.14
                                                           -17.39
                                                                      9.06
                                                                             -29.58
                                                                                           . 00
                       18.32
                                39.58
                                         66.36
                                                   79.45
                                                                     16.16
                                                                             -93.48
   19
                -00
                                                            46.98
                                                                                          . 00
   20
                .00
                       18.56
                                40.34
                                         63.50
                                                   81.68
                                                            86.59
                                                                     35.71 -147.83
                                                                                          .00
MODRIE D'APPLICATION
                                                                                           MRRPET, NO 0000
                                                                                                              DO 20/05/94
TABLIER-DALLE A TROIS TRAVERS EN HETON PRECONTRAINT
                                                                                           PAGE
                                                                                                    127
                                    (E. L. S.) : 1.000*(CAS 14 : PR)+1.000*(CAS 1 : CP)+1.000*(CAS 10)
     MOMENT FLECHISSAMT LONGITUDINAL EN ROM/M (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)
COORDONNEES
DΠ
    NORTO
                         2
                                  3
                                                     5
                                                                                 8
                                                                                          9
            -54.86
              1.25
                      -27.64
                       -9.43
                                  -. 41
            -12.92
            -32.84
                      -22.03
                               -20.12
                                        -23.20
    5
            -50.21
                     -38.64
                               -31.14
                                        -15.45
                                                   -6.05
    6
            -68.32
                     -53.79
                               -44.45
                                        -35. 61
                                                 -37.12
                                                           -46.10
                               -57.36
                                                 -28.47
                                                            4.87
2.78
    7
            -83.09
                     -68.12
                                        -45.18
                                                                     32.48
                                        -51.60
-62.72
                               -67.92
                                                                              75.31
    8
             -94.08
                     -80.55
                                                 -28.33
                                                                     40.48
                                                                              29.98
                               -78.02
                                                 -43.74
           -101.30
                     -89.85
                                                          -21.53
                                                                                      118.14
   10
            -99.71
                      -94.51
                               -85.62
                                        -75.63
                                                 -63.78
                                                          ~51.59
                                                                    -40.04
                                                                             -29.70
                                                                                       19.49
            -68.33
                      -91.05
                               -87.72
                                        -85.05
                                                 -81.53
                                                                    -74.37
   12
            -19.54
                     -73.80
                               -82.39
                                        -89.31
                                                 -92.97
                                                          -96.05
                                                                    -98.39 -100.67 -104.49
   13
           -138.43
                     -48.67
                               -79.27
                                        -88.88
                                                 -97.51 -106.93 -113.94 -118.75 -126.97
   14
15
             54.58
                     -85.98
                               -77.81
                                        -76.54
                                                 -96.56 -113.20 -121.98 -128.16 -139.12
             22.77
                       -3.10
                               -33.52
                                        -61.44
                                                -107.56 -117.66 -122.33 -128.85 -142.38
                               -60.79
                                        -158.62
                                                -123.04 -103.72 -111.75 -123.04 -135.72
   16
              9.05
                       13.17
             25.34
                       19.32
                                                  -34.96
                                                           -62.12 -101.48
                                 3.56
                                         -3.17
                                                                           -116.96 -123.75
   18
             32.25
                       29.02
                                29.58
                                         25.60
                                                 -26.56 -103.54 -104.53 -114.89 -122.17
   19
             36.45
                       37.75
                                32.70
                                         24.47
                                                    5.25
                                                          -27.29
                                                                   -90.74 -144.59 -128.30
   20
             46.32
                       51.90
                                43.25
                                         31.94
                                                  16.64
                                                          -21.64 -143.68 -271.68 -184.66
                                                                                                                              1
```

Valeur utilisée pour calculer la contrainte maximale en face inférieure (voir page 97) et la contrainte minimale en face supérieure (voir page 98)

MRREEL NO 0000 DU 20/05/94

PAGE

ERINAISON RAFE (E. L. S.): 1.000*(CAS~14:PR)+1.000*(CAS~1:CP)+1.000*(CAS~10)MOMENT DE TORSION EN KNM/M (CALCUL AVEC POISSON = 0.200) COMBINAISON RARE

COO	COORDONNEES										
DŪ	NOEUD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	1	19.43									
	2	2.57	4.08				-		-		
	3	-9.84	-3.74	-11.27							
	4	-10.34	-11.40	-10.04	-4.90				•		
	5	-16.08	-16.86	-13.12	-13.37	-15.81			•		
	6	-23.38	-24.48	-23.38	-20.58	-12.55	-3.41				
	7	-32.88	-34.24	-32.89	-28.11	-17.83	-20.11	-24.79			
	8	-45.60	-45.71	-45.10	-43.00	-41.91	-45.46	-45.98	-42.17	•	
	9	-60.96	-57.80	-58.54	-59.28	-61.81	-66.85	-70.25	-67.62	-59.55	
	10	-79.15	-68.99	-70.00	-71.72	-74.71	-78.77	-82.01	-82.68	-89.27	
	11	-99.46	-77.78	-77.01	-78.15	-80.57	-83.01	-84.65	-85.52	-95.10	
	12	-68.20	-80.91	-76.40	-77.92	-80.18	-81.63	-82.51	-83.22	-89.03	
	13	-31.43	-67.09	-62.36	-73.51	-74.55	-75.52	-77. 21	-78.20	-81.78	
	14	-66.56	-51.44	-65.97	-68.22	-ഖ.78	-65.38	-70.16	-71.73	-73.90	
	15	-50.48	-39.59	-71.46	-49.72	-35.50	-56.62	-64.02	-64.53	-66.25	
	16	9.83	-7.36	-12.63	-21.38	-42.95	-57.55	-58.00	-55.82	-58.90	
	17	24.22	22.12	35.75	-1.26	-53.70	-47.80	-41.27	-44.84	-47.62	
	18	26.10	31.30	34.42	19.09	-3.38	-20.52	-38.18	-30.77	-31.67	
	19	31.16	37.42	38.37	38.53	40.16	9.96	-32.70	4.64	-20.26	
	20	40.44	46.06	48.75	52.38	58.24	58.78	59.27	64.93	47.45	

MODELE D'APPLICATION TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT

DU 20/05/94 MERCEL NO 0000 PACE 144

ENVELOPPE MAXIMALE DES CONTRAINTES NORMALES, EN MPA, A LA FACETTE PERPENDICULAIRE AUX CABLES DE LA PRECONTRAINTE TRANSLATABLE

EN FACE SUPERLEURE SOUS LA COMBINAISON RARE (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)
(DIRECTION DE LA CONTRAINTE COMPTEE TRIGONOMETRIQUIMENT A PARTIR DE LA NORMALE AUX BORDS LIBRES = 100.000 GR)

∞	RDONNEZ	Ś						
DŪ	NOEUD	2	3	4	5	6	7	8
	1			•	•			
	2	2.3426				•		•
	3	2.7311	2.7344	•				
	4	2.8310	2.6081	2.3927		-		
	5	2.9917	2.9265	2.9624	2.8685			
	6	3.1879	3.1681	3.0844	2.7763	2.4188	•	
	7	3.3285	3.3092	3.2294	3.0963	3.2040	3.3334	
	8	3.4080	3.4095	3.3763	3.3113	3.2432	3.4145	3.8022
	9	3.6949	3.5708	3.4806	3.4001	3.3006	3.2320	3.3252
	10	4.0536	3.8478	3.7019	3.5985	3. 61.4 5	3.6032	3.5249
	11	3.9852	3.7576	3.6128	3.6455	3.7111	3.7241	3.6487
	12	3.4600	3.2240	3.3611	3.4342	3.5329	3.5722	3.5130
	13	2.6546	2.5278	2.8341	2.9967	3.1217	3.1826	3.1596
	14	2.3297	2.4383	2.4714	2.6671	2.7927	2.8972	2.9566
	15	3.2977	2.9832	2.7398	2.3475	2.5503	2.7040	2.7603
	16	3.4223	2.5603	1.4755	2.2169	2.6790	2.6434	2.5666
	17	3.7795	3.5963	3.5094	3.0477	2.9452	2.5686	2.5551
	18	3.6111	3.6839	3.6942	3.1112	2.2289	2.4063	2.5601
	19	3.6914	3.6093	3.4807	3.4762	3.4080	3.0070	2.6472
	20	3.9658	3.861.5	3.7016	3.5278	3.4971	2.6269	1.7950
	21	4.2219	4.1271	4.0697	4.0296	3.7924	3.4978	3.4301
	22	4.4629	4.3916	4.4123	4.5132	4.5757	4.8394	5.0924
	23	4.6649	4.6266	4.5892	4.7684	4.9250	5.2065	5.4519
	24	4.8184	4.9157	5.0430	5.0580	5.1424	5.2182	5.2292
	25	5.0153	5.1106	5.2241	5.2346	5.2821	5.3027	5.2574
	26	5.0447	5.0781	5.1346	5.0993	5.1321	5.1342	5.0767
	27	4.9299	4.7765	4.7222	4.6508	4.6843	4.7160	4.6852
	28	4.4805	4.2904	4.1724	4.2177	4.3080	4.3916	4.4629
	29	3.7725	3.6720	3.7863	3.9068	4.0567	4.1582	4.2397
	30	2.3392	3.0289	3.6606	3.8848	4.0085	4.0960	4.1719
	31	3.0280	3.3142	3.6226	3.5995	3.6846	3.7553	3.7890
	32	2.7263	2.6182	2.3573	3.1817	3.6995	3.6201	3.5285
	33	2.3682	2.4821	2.9200	3.1608	3.4859	3.4887	3.5821
	34	2.1051	2.2441	2.3655	2.1716	1.7747	2.8308	3.6085
	35	1.8775	1.9753	2.0585	2.1972	2.7388	3.0579	3.3827
	36	1.7265	1.8183	1.9403	2.1459	2.3838	2.3713	2.2708
	37	1.6724	1.7453	1.8424	1.9644	2.0763	2.2045	2.5884

Ce tableau permet de contrôler le dépassement éventuel de la compression-limite réglementaire sous combinaison rare, en face supérieure de la dalle. $(0.7^{\circ}f_{c28} = 24.5 \text{ MPa}, \text{ hors section d'enrobage, en classe 2})$

Lorsqu'un dépassement a lieu, le programme édite un message précisant le cas de charge et le nœud correspondants.

MPREEL NO 0000 DT 20/05/94

PAGE 145

enveloppe maximale des contraintes normales, en mpa, a la facette perpendiculaire aux cables DE LA PRECONTRAINTE TRANSLATABLE

EN FACE INTERIEURE SOUS LA COMBINAISON RARE (CALCUL AVEC POISSON = 0.200) (DIRECTION DE LA CONTRAINTE COMPTEE TRIGONOMETRIQUEMENT À PARTIR DE LA MORMALE AUX BORDS LIERGES = 100.000 GR)

α	ORDORBUE	s						
Dt	NORUD	2	3	4	5	6	7	8
	1	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	•	•	•	•	•	•
	2	3.0278	•	•	•	•	•	•
	3	2.7694	2.6551		•	•	•	•
	•	2.9302	2.9018	3.0671		•	•	•
	5	3.1413	3.0435	2.8470	2.7279		•	
	6	3.3355	3.2125	3.0974	3.1169	3.2287	. •	
	7	3.5226	3.3769	3.2125	3.0761	2.7992	2.8125	. •
	8	3.6938	3.5199	3.3207	3.1553	2.9568	2.9103	3.2850
	9	3.8380	3.6714	3.4569	3.2888	3.1570	3.0109	2.7951
	10	3.9387	3.8075	3.6604	3.4097	3.3171	3.2390	3.1658
	11	3.9530	3.8891	3.8332	3.7703	3.7070	3.6624	3.6331
	12	3.8112	3.8900	3.9490	3.9749	4.0034	4.0297	4.0586
	13	3.6051	3.9287	4.0076	4.0922	4.2008	4.2853	4.3465
	14	5.7697	4.6324	3.9102	4.1426	4.3396	4.4392	4.5145
	15	3.6440	3.5855	3.7958	4.3720	4.4512	4.4796	4.5548
	16	2.9295	3.8781	5.2110	4.6478	4.2794	4.3481	4.4857
	17	2.6297	2.8324	2.9081	3.3108	3.6847	4.1996	4.3749
	18	2.5140	2.3963	2.4281	3.2913	4.4802	4.1797	4.2302
	19	2.6643	2.5949	2.5387	2.5809	2.9793	3.7563	4.4157
	20	2.8320	2.7764	2.6964	2.5676	2.9102	4.4046	5.9719
	-					_		
	21	2.9684	2.9139	2.8365	2.7377	2.6533	2.6769	2.8169
	22	3.0460	2.9964	2,9242	2.8195	2,6503	2.3373	1.9723
	23	3.0540	3.0074	2.9517	2,8613	2.7154	2.4944	2.2316
	24	2.9633	2.9417	2.9101	2.8676	2.7934	2.6954	2.5996
	25	2.7453	2.7679	2.7947	2.8077	2.8119	2.8019	2.7955
	26	2.3548	2.4691	2.5858	2.6800	2.7432	2.7948	2.8343
	27	1.8444		2.3509	2.5082	2.6094	2.6928	2.7621
	28	1.4911	1.8694	2.1968	2.3769	2.4875	2.5650	2.6178
	29							
		2.6126	2.5846	2.4376	2.3420	2.3195	2.4023	2.4617
	30	5.7368	4.1210	2.7331	2.3700	2.3248	2.2906	2.2609
	31	4.3659	3.6325	2.8949	2.5420	2.3233	2.2397	2.2476
	32	4.2302	4.1797	4.2334	3.0381	2.3712	2.3168	2.3243
	33	4.3749	4.1996	3.6847	3.3108	2.7794	2.6719	2.4769
	34	4.4857	4.3481	4.2794	4.6478	5.2110	3.7640	2.6692
	35	4.5548	4.4796	4.4512	4.3720	3.7958	3.4430	3.0157
	36	4.5145	4.4392	4.3396	4.1426	3.9102	3.9794	4.1248
	37	4.3465	4.2853	4.2008	4.0922	4.0076	3.9287	3.5869

Ce tableau permet de contrôler le dépassement éventuel de la compression-limite réglementaire sous combinaison rare, en face inférieure de la dalle. ($0.7*f_{c28} = 24.5 \text{ MPa}$, hors section d'enrobage, en classe 2)

Lorsqu'un dépassement a lieu, le programme édite un message précisant le cas de charge et le nœud correspondants.

Calcul de l'enveloppe maximale des contraintes normales à la facette perpendiculaire aux câbles, en face inférieure, sous la combinaison rare, au nœud de coordonnées (I = 8, J = 20).

L'enveloppe maximale correspond au cas de charge no 10.

Le moment longitudinal à ce nœud est égal à -271.68 kNm/m (voir page 95).

La contrainte en face inférieure $\sigma_i = -6*(-271.68)/0.7^2 + 1852./0.7 = 5.9724$ MPa, valeur très proche de 5.9719 MPa.

MRREL NO 0000 DU 20/05/94

enveloppe minimale des contraintes normales, en mpa, a la facette perpendiculaire aux carles de la precontrainte translatable

EN FACE SUPERIEURE SOUS LA COMBINAISON RARE (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)

(DIRECTION DE LA CONTRAINTE COMPTEE TRIGONOMETRIQUEMENT À PARTIR DE LA MORMALE AUX BORDS LIBRES = 100.000 CR)

coa	RDONNEZ	s						
	NOEUD	2	3	4	5	6	7	8
	1	•		•				
	2	2.2626		•				
	3	2.5210	2.6352					
	4	2.3602	2.3886	2.2233				
	5	2.1491	2.2469	2.4434	2.5625			
	6	1.9549	2.0779	2.1930	2.1735	2.0116		
	ž	1.7677	1.9135	2.0778	2.2142	2.4912	2.4779	
	ė	1.5966	1.7705	1.9696	2.1351	2.3336	2.3800	2.0054
	Š	1.4524	1.6190	1,8335	2.0016	2,1334	2.2794	2.4953
	10	1.3517	1.4829	1.6300	1.8006	1.9732	2.0514	2.1246
	11	1.3373	1.4013	1.4572	1.5201	1.5834	1.6280	1.6573
	12	1.4792	1.4003	1.3414	1.3155	1.2869	1.2607	1.2318
	13	1.6853	1.3617	1.2027	1.1982	1.0895	1.0051	. 9439
	14	4794	.6580	1.3801	1.1478	.9508	.8512	.7759
	15	1.6464	1.7049	1.4946	.9184	.8392	.8108	.7356
	15 16	2.3609	1.4123	.0794	.6426	1.0109	. 9423	. 8046
	16 17	2.5606	2.4580	2.3823	1.9795	1.6057	1.0908	. 9155
			2.8940	2.8623	1.9990	.8101	1.1107	1.0602
	18	2.7764				2.3111	1.5341	.8747
	19	2.6261	2.6955	2.7516	2.7095			
	20	2.4584	2.5139	2.5940	2.7228	2.3802	. 8858	6815
								匸
	21	2.3220	2.3765	2.4538	2.5527	2.6371	2.6135	2.4734
	22	2.2443	2.2940	2.3662	2.4708	2.6400		3.3181
	23	2.2364	2.2830	2.3387	2.4291	2.5749		3.0588
			2.2630	2.3802	2.4228		2.5950	
	24	2.3271				2.4969		2.6908
	25	2.5451	2.5224	2.4957	2.4827	2.4785	2.4884	2.4948
	26	2.9355	2.8213	2.7046	2.6104	2.5472		2.4561
	27	3.4459	3.1726	2.9395	2.7821	2.6809		2.5282
	28	3.7993	3.4210	3.0935	2.9134	2.8028	2.7254	2.6725
	29	2.6778	2.7058	2.8528	2.9484	2.9709	2.8881	2.8287
	30	4464	1.1694	2.5572	2.9204	2.9655		3.0295
	31	. 9244	1.6579	2.3955	2.7483	2.9670		3.0427
	32	1.0602	1.1107	1.0570	2.2522	2.9192	2.9736	2.9661
:	33	. 9155	1.0908	1.6057	1.9795	2.5109	2.6185	2.8135
:	34	.8046	. 9423	1.0109	. 6426	.0794	1.5264	2.6211
	35	.7356	.8108	. 8392	.9184	1.4946		2.2747
	36	.7759	. 8512	. 9508	1.1478	1.3801	1.3110	1.1656
	37	. 9439	1.0051	1,0895	1.1982	1.2827	1.3617	1.7034
				_,,,,,,				

Ce tableau permet de contrôler le dépassement éventuel de la traction-limite réglementaire sous combinaison rare, en face supérieure de la dalle (-1.5°f₁₂₈ = -4.05 MPa, hors section d'enrobage, en classe 2).

Lorsqu'un dépassement a lieu, le programme édite un message précisant le cas de charge et le nœud correspondants.

Calcul de l'enveloppe minimale des contraintes normales à la facette perpendiculaire aux câbles, en face supérieure, sous la combinaison rare, au nœud de coordonnées (I = 8, J = 20).

L'enveloppe minimale correspond au cas de charge no 10.

Le moment longitudinal à ce nœud est égal à -271.68 kNm/m (voir page 95).

La contrainte en face supérieure $\sigma_s = 6*(-271.68)/0.7^2 + 1852./0.7 = -.681$ MPa, valeur très proche de -.6815 MPa.

MRREL NO 0000 DT 20/05/94 PACE 147

enveloppe minimale des contraintes normales, en mpa, a la facette perpendiculaire aux carles DE LA PRECONTRAINTE TRANSLATABLE
EN FACE INFERIEURE SOUS LA COMBINAISON RARE (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)
(DIRECTION DE LA CONTRAINTE COMPTEE TRIGONOMETRIQUEMENT A PARTIR DE LA NORMALE AUX BORDS LIBRES = 100.000 GR)

CO0	RDONNEL	S						
DŪ	NORUD	2	3	4	5	6	7	8
	1	•	•		•	•	•	
	2	2.9478						
	3	2.5592	2.5559		•		•	
	4	2. 4594	2.6822	2.8977				
	5	2.2987	2.3638	2.3280	2.4219			
	6	2.1024	2.1223	2.2060	2.5140	2.8716		
	7	1.963,9	1.9812	2.0610	2.1941	2.0863	1.9570	
	8	1.8823	1.8809	1.9141	1.9791	2.0472	1.8759	1.4881
	9	1.5955	1.7195	1.8097	1.8903	1.9898	2.0584	1.9652
	10	1.2368	1.4426	1.5885	1.6919	1.6759	1.6872	1.7655
	11	1.3052	1.5327	1.6776	1.6449	1.5793	1.5663	1.6416
	12	1.8303	2.0664	1.9292	1.8562	1.7575	1.7181	1.7773
	13	2.6357	2.7626	2.4563	2.2936	2.1686	2.1078	2.1308
	14	2.9607	2.8521	2.8190	2.6233	2.4977	2.3931	2.3338
	15	1.9927	2.3071	2.5506	2.9429	2.7401	2.5864	2.5300
	16	1.8680	2.7301	3.8149	3.0735	2.6113	2.6469	2.7238
	17	1.5108	1.6940	1.7810	2,2427	2.3452	2.7217	2.7353
	18	1.6793	1.6064	1.5961		3.0615	2.8840	2.7303
	19	1.5989	1.6811	1,8097	1.8142	1.8824	2.2834	2.6432
	20	1.3246	1.4289	1.5887	1.7626	1.7932	2.6635	3.4954
	21	1.0685	1.1633	1,2207	1.2608	1.4980	1.7926	1.8603
	22	.8275	.8987	.8781	.7772	.7147	. 4509	.1979
	23	. 6255	. 6638	.7012	. 521.9	.3654	.0839	1615
	24	.4719	.3747	.2473	.2323	.1479	.0722	.0611
	25	.2751	.1798	.0662	.0557	.0082	0123	.0329
	26	.2457	.2122	.1557	.1910	.1582	.1561	.2137
	27	.3605	.5139	.5681	. 6395	. 6061	.5744	. 6052
	28	.8098	1.0000	1.1179	1.0727	. 9824	.8987	.8275
	29	1.5179	1.6183	1.5041	1.3836	1.2337	1.1321	1.0507
	30	2.9512	2,2615	1.6298	1.4056	1.2818	1.1944	1.1185
	31	2.2624	1.9761	1.6677	1.6909	1.6058	1.5351	1.5013
	32	2.5640	2.6722	2.9331	2.1086	1.5909	1.6703	1.7618
	33	2.9221	2.8082	2,3703	2.1096	1.8044	1.8017	1.7082
	34	3.1853	3.0463	2.9248		3.5157	2.4596	1.6818
	35	3.4129	3.3151	3.2319		2,5516	2.2325	1.9077
	36	3.5639	3.4720	3.3501	3.1445	2.9066	2.9191	3.0196
	37	3.6180	3.5451	3.4480	3.3259	3.2141	3.0859	2.7020
			-	•		-		

Ce tableau permet de contrôler le dépassement éventuel de la traction-limite réglementaire sous combinaison rare, en face inférieure de la dalle (-1.5°f₁₂₈ = -4.05 MPa, hors section d'enrobage, en classe 2).

Lorsqu'un dépassement a lieu, le programme édite un message précisant le cas de charge et le nœud correspondants.

MREEL NO 0000 DU 20/05/94 PAGE 148

ENVELOPPE MINIMALE DES CONTRAINTES NORMALES, EN MPA, À LA FACETTE PERPENDICULAIRE AUX CABLES DE LA PRECONTRAINTE TRANSLATABLE DANS LA SECTION D'ENFORME SOUS LA COMBINAISON RARE (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)

(DIRECTION DE LA CONTRAINTE COMPTEE TRIGONOMETRIQUEMENT À PARTIR DE LA NORMALE AUX BORDS LIBRES = 100.000 GR)

	RONNEZ							
DŪ	NOEUD	2	3	4	5	6	7	8
	1		•			•		•
	2	2.5271						
	3	2.5988	2.6192					
	4	2.5093	2.6298	2.5150	•			
	5	2.3432	2.4394	2.4739	2.5801			
	6	2.1272	2.1895	2.3240	2.5744	2.4651		
	7	1.9756	2.0116	2.1361	2.3153	2.3434	2.4446	
	8	1.9216	1.8962	1.9475	2.0647	2.2078	2,2298	2.3080
	9	1.7425	1.7671	1.8264	1.9248	2.0740	2.2160	2.2780
	10	1.6513	1.6110	1.6428	1.7110	1.7202	1.8104	2.0017
	īi	1.9829	1.8601	1.8130	1.6964	1.6006	1.6156	1.7707
	12	2.2054	2.3591	2.1399	1.9666	1.8031	1.7367	1.8170
	13	1.9650	2.1611	2.5012	2.3971	2.2354	2.1355	2.1410
	14	4169	1.2371	2.1681	2.4869	2.5411	2.4284	2.3498
	15	1.7320	1.7237	1.8299	1.9939	2.4543	2.6037	2.5462
	16	2.4397	1.5180	.1307	1.2262	2.0288	2.4652	2.6535
	17	2.1169	2.5099	2.4048	1.9929	1.9086	2.0590	2.4623
	18	2.2119	2.1614	2.6719	2.0544	.8468	1.5579	2.0474
	19	1.9576	2.2127	2.2561	2.6531	2.3397	1.5563	1.3906
	20 [,]	1.5774	1.8459	2.1713	2.2342	2.4536	1.0366	ഖ50
	03		1 4460	1 7061	0 0040	0.1100	0 (000	0 4000
	21	1.2306	1.4469	1.7091	2.0242	2.1109	2.6223	2.4882
	22	. 9625	1.0784	1.2164	1.4176	1.7792	1.6233	2.7279
	23	. 8332	.8110	.9011	. 9284	1.1471	1.4963	1.3381
	24	.8880	. 6082	. 4255	. 4805	. 6260	. 9544	1.4861
	25	1.0877	. 6517	. 3315	. 2481	. 2795	. 4964	. 9286
	26	1.5688	1.0464	. 6323	. 4435	.3430	. 4121	. 6792
	27	2.2339	1.6891	1.2803	1.0235	. 8156	.7282	. 6150
	28	2.7870	2.3490	1.9601	1.6118	1.3007	1.0784	. 9625
	29	2.6554	2.6526	2.4398	2.0793	1.7176	1.4218	1.2147
	30	3846	1.2959	2.5816	2.4221	2.0336	1.6918	1.4107
	31	1.4259	1.6776	2.4169	2.6579	2.4581	2.1472	1.8935
	32	2.0474	1.5579	1.0888	2.2859	2.6788	2,4697	2.2489
	33	2.4623	2.0590	1.9086	1.9929	2,5225	2.6259	2.4765
	34	2.7023	2.4652	2.0288	1.2262	.1307	1.6223	2.6278
	35 36	2.5961 2.9654	2.7160	2.4543 2.7197	1.9939 2.4869	1.8299	1.8633	2.3064
			2.5991			2.1691	1.6998	1.1952
	37	3.0149	2.9589	2.6052	2.7172	2.5012	2.1611	1.9779

Ce tableau permet de contrôler le dépassement éventuel de la traction-limite réglementaire sous combinaison rare, dans la section d'enrobage de la dalle ($-f_{128} = -2.7$ MPa, en classe 2).

Lorsqu'un dépassement a lieu, le programme édite un message précisant le cas de charge et le nœud correspondants.

Calcul de l'enveloppe minimale des contraintes normales à la facette perpendiculaire aux câbles, dans la section d'enrobage, sous la combinaison rare, au nœud de coordonnées (I = 8, J = 20).

L'enveloppe minimale correspond au cas de charge no 10. Les contraintes en faces inférieure et supérieure sont respectivement $\sigma_i = 5.9719$ MPa et $\sigma_s = -.6815$ MPa.(voir pages 97 et 98)

La section d'enrobage à ce nœud est centrée à la cote 0.588m par rapport à la sous dalle (valeur de l'excentrement déduite de celles introduites en bordereau de données (voir page 75)). Par rapport à la sous dalle, les deux bords de la section d'enrobage sont à la cote $y = 0.588+1.5\phi$ et $y' = 0.588+1.5\phi$, ϕ étant le diamètre d'encombrement de la gaine ($\phi = 0.07m$).

y = 0.693 m

y' = 0.483 m.

Les contraintes à ces bords sont, h étant l'épaisseur de la dalle :

$$\sigma_{V} = \sigma_{s} + (\sigma_{j} - \sigma_{s})(h - y)/h = -.6815 + .06653 = -.6150 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{v'} = \sigma_s + (\sigma_f - \sigma_s)(h - y')/h = -.6815 + 2.0626 = 1.3811 \text{ MPa}$$

La plus petite de ces deux valeurs (-.6150 MPa) est l'enveloppe minimale des contraintes normales dans la section d'enrobage.

MREEL NO 0000 DU 20/05/94 PAGE 189

REACTIONS D'APPUI ET ETATS DE FLEXION SOUS LA

CONSTRAISON FORDAMENTALE

(E. L. U.) : 1.000* (CAS 14 : PR)+1.350* (CAS 1 : CP)+1.350* (CAS 10)

MC120 CENTRE SUR LA TRAVEE 2

* *

REACTIONS D'APPUI EN EN (CALCUL AVEC POISSON = 0.000)

APPUI	REACTION	APPUI	REACTION
1	426.89	9	2484.12
2	413.09	10	1122.29
3	600.06	μ	1488.09
4	-36.45	12	1267.42
5	1259.55	13	~50.56
6	1471.98	14	603.52
7	1034.67	15	413.31
8	2620.27	16	427.12

SCHOOL DES REACTIONS D'APPUI EN RN 15545.380

Vérification de la somme des réactions d'appui.

Le poids total du convoi Mc₁₂₀ est égal à 1186.119 kN (voir page 94)

La somme des réactions d'appui de la précontrainte seule est égale à -5.355 kN (voir page 78)

La somme des réactions d'appui de la combinaison quasi-permanente égale à 10327.59 kN (voir page 81).

La somme des réactions d'appui de la combinaison fondamentale du cas de charge considéré est égale à : -5.355 + 1.35*(10327.59-(-5.355))+1.35*1186.119 = 15545.38 kN.

MODELE D'APE TABLIER-DALI			vees en e	ETON PRE	CONTRAIN	T			nreel Page	NO 0000 I	Ø 20/05/94
COMBINAISO MOMENT						(CAS 14 TUL AVEC			1 : CP)+1.	.350* (CAS 10)	
COORDONNEES											
DOL NOBOD	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	.00		•								
2	.00	-25.87	•		•			•	•		
3	.00	-19.00	-3.22								
4	.00	-5.12	-2.07	-40.86				•			
5	.00	-5.36	-14.42	-29.31							
6	.00	-8.74	-16.96	-20.30	-18.38	-67.75					
7	.00	-11.65	-20.24	~26.33	-38.04	-51.92	-1.84				
8	.00	-14.55	-24.64	~32.45	-39.35	-34.99	-6.16	12.38			
9	.00	-16.46	-27.27	-32.76	-33.31	-24.93	-6.46	9.41	.00		
10	.00	-17.83	-27.82	-30.13	-26.03	-16.30	-2.81	6.91	.00		
11	.00	-20.74	-28.46	-25.83	-18.96	-9.29	. aı	5.65	.00		
12	.00	-30.11	-30.30	-19.19	-11.29	-3.59	3.38	5.52	.00		
13	.00	-64.55	-22.71	-7.23	-4.59	1.45	5.71	5.79	.00		
14	.00	-61.48	19.55	-3.76	-3.97	6.59	8.18	5.37	.00		
15	.00	-25.64	20.62	-44.40	.02	16.85	9.05	2.61	.00		
16	.00	35.21	56.98	-83.25	46.28	23.55	2.55	-3.95	.00		
17	.00	42.21	50.3 9	2.32	55.41	61	-6.19	-15.08	.00		
18	.00	39.62	64.53	86.90	101.48	-17.59	13.90	-43.97	.00		
19	.00	42.47	77.76	109.64	115.72	59.91	15.83	-138.01	.00		
20	.00	44.09	82.19	112.26	127.25	124.50	66.91	-172.22	.00		
21	.00	41.04	79.18	107.94	117.71	104.29	19.97	-135.90	.00		

¹ Valeur utilisée pour calculer la section d'acier, en face supérieure, dans la direction parallèle aux câbles (voir page 105)

```
MODELE D'APPLICATION
```

MRREEL NO 0000 DU 20/05/94

TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT PAGE 191 COMBINAISON FONDAMENTALE (E. L. U.) : 1.000*(CAS 14 : PR)+1.350*(CAS 1 : CP)+1.350*(CAS 10) MOMENT FLECHISSANT LONGITUDINAL EN KNM/M (CALCUL AVEC POISSON = 0.000) COORDONNEES DU NOEUD 2 3 9 -60.79 14.15 -.57 -28.44 2.75 2 3.91 3 -8.64 5.79 -4.28 2.61 -20.34 1.46 4.47 17.14 15.33 3.20 8.30 13.22 14.17 -1.69 -18.82 7 3.32 8.15 15.14 21.16 30.93 58.68 66.60 108.79 8 -.07 2.95 13.10 25.68 44.37 67.48 89.03 -8.19 -25.72 15.60 47.57 13.63 -9.37 150.97 31.14 63.40 2.59 9 82.07 10 11 12 22.41 -19.76 -7.00 3.50 30.51 -21.34 -16.30 75.10 -14.90 -21.78 -42.07 -31.79 -25.17 -2.39 -48.22-37.69-14.88 -52.16 -72.80 -75.10 -75.56 -70.02 -64.34 -59.26 -54.68 13 -314.95 -109.26 -130.71 -118.98 -106.61 -100.52 -95.41 -90.17 -89.61 14 15 -196.74 -143.79 -68.34 -231.10 -135.13 -133.30 -126.65 -120.54-121.07 -92.51 -120.80 -147.24 -79.53 -87.82 -173.26 -31.90 -57.59 -83.13 -138.50 -172.25 -164.24 -150.65 -144.06 -145.67 16 17 -256.22 -218.70 -173.28 -162.85 -162.51 -161.48 -31.90 -87.09 -135.65 -147.69 -179.94 -183.37 -174.37 -143.47 -228.98 -222.42 -208.40 -203.88 -90.90 -141.44 -228.13 -265.11 -236.86 18 -19.92 -35.64 -60.90 .77 31.96 18.20 -7.95 -43.24 73.**9**6 65.93 35.63 -1.82 -47.49 -124.97 -304.25 -442.10 -307.80 134.02 127.97 99.90 66.80 29.25 -18.15 -61.76 -65.09-656.07

 $oxed{1}$ Valeur utilisée pour calculer la section d'acier, en face supérieure, dans la direction parallèle aux câbles (voir page 105)

	NODELE D'APPLICATION NRBEL NO 0000 DU 20/05/94 TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN HETON PRECONTRAINT PAGE 192											
_	COMBINAISON FONDAMENTALE (E. L. U.): 1.000*(CAS 14: PR)+1.350*(CAS 1: CP)+1.350*(CAS 10) NOMENT DE TORSION EN KNM/M (CALCUL AVEC POISSON = 0.000) COORDONNEES											
DU	NOEUD	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
200	1	18.09			•	,	•	,	۰	•		
	<u> </u>	-10.17	-3.33	•	•	•	•	•	•	•		
	2			24.75	•	•	•	•	•	•		
	3	-22.81	-11.83	-24.75	0,00	•	•	•	•	•		
	2	-12.45	-14.24		-8.26	•••	•	•	•	•		
	5	-12.84	-12.28	-5.67		-22.90	_*		•	•		
	6	-15.75	-14.96		-11.53		3.09		•	•		
	7	-20.91	-20.88	-17.08	-10.99		-8.67					
	8	-30.29		-26.01	-22.39		-30.92					
	9	-43.78			-37.54	-41.84	-50.69			-42.95		
	10	-62.32	-49.46	-48.23	-49.80	-55.31	-63.19	-69.42	-69.94	-73.00		
	11	-85.02	-58.94	-55.14	-57.20	-63.71	-70.73	-75.56	-76.61	-83.17		
:	12	-30.57	-65.60	-55.56	-61.03	-69.71	-76.31	-80.28	-81.48	-83.80		
	13	4.18	-59.86	-46.17	-69.65	-76.96	-81.56	-85.26	-86.34	-87.41		
:	14	-85.78	-65.18	-89.15	-92.59	-82.62	-86.42	-91.24	-91.44	-92.40		
	15	-85.55	-72.79	-134.54	-99.44	-72.17	-95.49	-99.87	-96.10	-97.63		
:	16	-9.03	-36.72	-59.80	-78.32	-106.25	-117.48	-107.70	~97.62	-100.97		
:	17	12.11	6.24	12.11	-53.17	-135.07	-120.15	-98.57	-94.68	-95.38		
	18	22.87	27.78	21.52	-12.99	-56.39	-88.12	-112.19	-87.76	-81.66		
	19	42.45	49.12	43.44	34.62			-112.11		-76.94		
	20	69.43	75.33	75.36	75.67	76.48	65.58		53.18	21.43		
	21	100.62	102.13	108.22	114.27		154.62		132.63	218.46		
												_
												——— 1

 $oxed{1}$ Valeur utilisée pour calculer la section d'acier, en face supérieure, dans la direction parallèle aux câbles (voir page 105)

MODELE D'APPLICATION MEDEL NO 0000 DU 20/05/94 TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT PAGE 205

ENVELOPPE DES REACTIONS D'APPUI EN KN AUX ELS (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)

APPUI	REACTION	APPUI	REACTION
1	411.92	9	1916.50
2	506.82	10	1058.05
3	567.19	11	1524.34
4	620.63	12	831.99
5	1859.10	13	113.44
6	1524.34	. 14	518.17
7	1576.78	15	268.06
8	2005.63	16	368.88
	*******************	***********	

L'enveloppe des réactions d'appui sert à dimensionner les appareils d'appui et à calculer les chevêtres incorporés aux culées (voir page 111).

MRRET. NO 0000 DU 20/05/94 PAGE 206

ENVELOPPE DES CONTRAINTES DE CISAILLEMENT EN MEA AUX ELS (CALCUL AVEC POISSON = 0.200)

DU	NOEUD RDOMNEELS	•	2			4	~	
טע		2	3	4	5	6	7	8
	1 2 3	• • • •	•	•	•	-	•	•
	2	.00	•	•	•	•	•	•
	3	.06	.02	•	•	•		•
	4	.03	.07	.00	•	•		
	5	.03	.04	.09	.04			
	6	.04	.04	.04	.09	.00		
	5 6 7	.04	.03	.04	.05	.10	.10	_
	À	.06	.05	.06	.06	.09	.12	.00
	8	.06	.06	.06	.05	.08	.11	.15
	10	. 05	.06	.05	.05	.07	.09	.11
	10	.05		. 05	.05		.09	
	11	.06	.07	.04	.05	.05	.07	.08
	12 13	.17	.12	.07	. 05	.05	. 05	.06
	13	. 33	.17	.10	.08	.08	.07	.07
	14	.00	. 26	.11	.08	.08	.07	.06
	15	.32	.13	.18	.06	. 05	. 05	.04
	16	.17	.29	.00	.19	.06	.04	.03
	17	. 05	.14	.34	.16	.16	.06	.03
	18	.05	.07	.14	.24	.00	.17	.10
	19	.05	.05	.06	.12	.26	.20	.31
	20	.05	.05	.06	.07	.19	.20	.00
		.05		.06			.40	.00
	21	.05	.06	.06	.07	.10	.25	.48
	22	.06	.07	.08	.08	.10	.15	.22
	23	. 07	. 08	.08	. 07	. 08	.09	.08
	24	.07	.07	. 07	.05	.04	.05	.06
	25	.06	.06	.07	.07	. 07	.08	.08
	26	.07	.06	. 05	.07	.07	.07	.07
	27	.08	.08	.09	.07	.07	.08	.08
	28	.20	.13	.10	.08	.08	.08	.07
	29 29	. 44	.23	.10		.05	.06	.05
					.06			
	30	.00	.30	.19	.06	.06	.04	.04
	31	.30	.20	. 25	.12	. 05	. 05	. 05
	3 <i>2</i>	.08	.11	.00	.24	.14	.07	.04
:	33	.04	.05	.09	.16	.34	.14	.05
	34	.03	.04	. 05	.18	.00	.29	.16
	35	.02	.03	.04	.03	.18	.12	.15
	36	.02	.02	.02	.03	.05	.08	.00
:	37	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
,	31	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00

Ce sont des contraintes calculées à partir des efforts tranchants agissant sur les facettes verticales les plus cisaillées. L'enveloppe est prise par rapport à toutes les combinaisons constituant les états limites de service.

En général, ces contraintes 7 doivent satisfaire les deux conditions suivantes (voir BPEL91, article 7.2)

$$\bullet \ \tau^2 \ \le \ 0.4 f_{tj}(f_{tj} + 2/3\sigma) \ = \ 0.4^* 2.7 (2.7 + 2/3^* 1852/0.7^* 10^{-3}) \ = \ 4.821 \ MPa$$

$$\bullet \ \tau^2 \le 2 f_{ti} / f_{ci} (0.6 f_{ci} - \sigma) (f_{ti} + 2/3\sigma) \ = \ 2^* 2.7/35^* (0.6^* 35 - 1852/0.7^* 10^{-3})^* (2.7 + 2/3^* 1852/0.7^* 10^{-3}) \ = \ 12.641 \ MPa$$

 $\sigma = 1852./0.7*10^{-3}$ MPa étant la contrainte normale à la section.

$$\tau \leq \min(\sqrt{4.821}, \sqrt{12.641}) = 2.196 \text{ MPa}$$

MODELE D'APPLICATION TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES E	MREEL NO 0000 PAGE 207	DU 20/05/94							
ENVELOPPE DES REACTIONS D'APPUI EN KN AUX ELU (CALCUL AVEC POISSON = 0.000)									
APPUI	REACTION	APPUI	REACTION						
1	470.86	9	2662.18						
2	722.11	10	1404.57						
3	734.79	11	1771.70						
4	916.31	12	1328.61						
5	2684.84	13	234.94						
6	1792.43	14	631.14						
7	2090.22	15	413.70						
8	2774.53	16	427.98						

L'enveloppe des réactions d'appui sert à dimensionner les appareils d'appui et à calculer les chevêtres incorporés aux culées (voir page 111)

NEGEL NO 0000 DU 20/05/94

ENVELOPPE DES CONTRAINTES DE CISATILLEMENT EN MPA AUX ELU (CALCUL AVEC POISSON = 0.000)

	RDONNEES							
DŪ	NOEUD	2	3	4	5	6	7	8
	1	•	•	•		•		•
	2	.00	•	•	•	•	•	•
	3	.09	. 05				-	•
	4	.09	.14	.00	•		•	•
	5 6	.08	.10	.18	.09	•	•	•
	6	. 09	.10	.12	.18	.00		
	7	.08	.08	. 09	.12	.19	.12	
	8	.09	.08	.11	.12	.16	. 21	.00
	9	.09	.08	.08	.09	.13	.20	.27
	10	.11	.10	.09 .09	.07	.08	.12	.16
	11	.16 .36	.14	.09	.07	.08	.09	.09
	12	.36	.26	.17	.11	.09	.08	.09
	13	.ស	.36	.24	.17	.15	.13	.12
	14	.00	.47	.26	.18	.16	.14	.12
	15	.49	.23	.26	.16	.13	.12	.11
	16	.27	. 35	.00	.26	.13	.11	.09
	17	.12	. 22	. 43	.18	. 29	.11	.10
	18	.11	.15	.23	.37	.00	. 25	.19
	19	.11	.11	.14	.24	. 40	.29	.46
	20	.10	.11	.14	.20	.36	. ជ	.00
	21	.11	.12	.14	.16	. 25	. 46	.77
	22	.12	.13	.17	.17	.22	.32	. 43
	23	.11	.13	.15	.15	.18	. 21	.21
	24	.09 .07 .10	.10	.08	.08	.10	.12	.12
	25	. 07	.08	.10	.10	.08	.10	.09
	26	.10	.12	.11	.12	.10	.11	.10
	27	.18	.19	.18	.14	.14	.13	.12
	28	. 39	.29	. 23	.17	.16	.15	.13
	29	.71	. 43	. 25	.16	.14	.13	.12
	30	.00	. 59	.36	.18	.12	.11	.11
	31	. 44	. 29	.40	.24	.14	.12	.12
	32	.16	.13	.00	.36	.23	.15	.11
	33	.07	. 05	.14	.18	. 43	.22	.12
	34	.05	.04	.04	.22	.00	.35	. 22
	35	.05	. 05	. 05	.06	.21	.09	. 25
	36	.06	.06	.06	.08	.08	.13	.00
	37	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00

Ce sont des contraintes calculées à partir des efforts tranchants agissant sur les facettes verticales les plus cisaillées. L'enveloppe est prise par rapport à toutes les combinaisons constituant les états limites ultimes.

En général, ces contraintes v doivent satisfaire la condition suivante (voir BPEL91, article 9.6,4)

•
$$\tau \le 0.09 f_{ci}/\gamma_b = 0.09*35/1.5 = 2.1 \text{ MPa}$$

MODELE D'APPLICATION TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT MRREL NO 0000 DU 20/05/94 PAGE 209

* CALCUL DU FERRATLIAGE *

TABLIER-	'APPLICAT	ROIS IR				INT				reel MGE	NO 0000 210	DU	20/05/94
* ENVETO	* ENVELOPPE DES SECTIONS D'ACTER EN CM2/ML *												
	* POUR L'ARMTURE DEFINIE PAR *												
	TACE SUPER			-	*								
	LA DIREC		. 300 (വാരം വ	RQ #								
	RAPPORT A												

COORDONN	IEES												
DU NOEUL		2	3	4	5	6	7	8	9				
1	3.50			-	_		Ĭ	-	_				
2	3.50 *	3.50*			·			·					
3	3.50	3.50	3.50	-	-	-	-	•	-				
ă	3.50	3.50	3.50 *	3.50*	•			•	:				
5	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50		•	•	•				
6	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50 *	3.50*	•	•	•				
7	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50		-				
ė	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50 *	3.50*	•				
9	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50				
10	3.50	3.50	3.50	3,50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50				
11	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50				
12	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50				
13	24.99	3.50	3.50	3,50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50				
14	3.50 *	3.50*	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50				
15	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50				
16	3.50	3.50	3.50 *	3.50*	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50				
17	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50				
18	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50 *	3.50*	3.50	3.50	3.50				
19	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50				
20	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50 *	4.64*	4.64				
21	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	25.73				
			-										_
													<u> </u>
22	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50				ك
23	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3,50				
24	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50				
25	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50				
26	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50				
27	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50				
28	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50				
******	*****	*****	****	*****	*****	****	******	*****	*****		****	***	*****

Le ferraillage longitudinal étant parailèle aux bords libres, le chaînage de renforcement de ces derniers, calculé selon les règles du § 4.2-b) de l'Annexe 1, a été inclus dans les sections d'acier des lignes I=1; I=2 et I=8; I=9.

Calcul de l'enveloppe de la section d'acier au nœud de coordonnées (I = 9, J = 21), en face supérieure, dans la direction parallèle aux câbles.

Cette enveloppe correspond au calcul sous combinaison fondamentale aux ELU du cas de charge no 10 (voir pages 101 et 102) dont les moments (en kNm/m) sont :

Moment transversal My = 0.0 ; Moment longitudinal Mx = -656.07 ; Moment de torsion Mxy = 218.46

Le moment ultime appliqué, calculé conformément aux formules de l'Annexe 12A du BPEL91, est égal à -861.752 kNm/m (pour mémoire, dans ces formules, le moment de torsion Mxy change de signe en raison de différence de repères)

L'effort normal de la précontrainte est 1852kN/m

Les sections d'acier passif en face inférieure et en face supérieure étant respectivement 3.5 cm²/m et 25.73 cm²/m, un calcul intermédiaire donne les résultats suivants :

Hauteur du béton comprimé = 0.129m ; Raccourcissement du béton = -2.429 10⁻³

Allongement de l'acier actif = 8.729 10⁻³; Allongement de l'acier passif en face supérieure = 10 10⁻³

Raccourcissement de l'acier passif en face inférieure = -1.575 10⁻³

Moment des forces internes de la section = -861.752 kNm/m; Effort normal interne de la section = 1847.467 kN/m

Les deux dernières valeurs sont à comparer respectivement avec le moment ultime appliqué de -861.752 kNm/m et l'effort normal de 1852 kN/m

MODELE D'APPLICATION TARLIER-DAILE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT ***********************************													
COORDONNEES DU NOEUD 1 2 3 4 5 6 7 8 9													
1	9.45	2		-		•	,	_	,				
ž	9.45 *	9.45*	•	•	•	•	•	•	•				
3	9.45	9.45	9.45	•	•	•	•	•	•				
4	9.45	9.45	9.45	* 9.45*	•	•	•	•	•				
5	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	•	•	•	•				
6	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45*	•	•	•				
ž	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	•	:				
ė	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	* 9.45*	•				
9	9.45	9.45	9.45	9.53	9.63	9.45	9.45	9.45	9.45				
10	9.45	9.45	10.27	10.97	11.03	10.44	9.45	9.45	9.45				
11	11.09	10.17	11.12	11.71	11.78	11.20	10.24	9.45	9.82				
12	10.64	10.64	11.17	11.69	11.83	11.29	10.35	9.46	9.46				
13	10.42	10.42	9.45	11.05	11.32	10.66	9.84	9.45	9.45				
14	12.47 *		9.45	10.72	10.32	9.45	9.45	9.45	9.45				
15	9.45	9.45	9.45	12.14	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45				
16	9.45	9.45		* 14.32*	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45				
17	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45				
18	9.45	9.45	9.45	3.00	9.45		9.45	9.45	9.45				
19	9.45	9.45	9.45	3.00	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45				
20	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45		18.53				
								Ŀ		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			1
21	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	14.52	17.60				ليا
22	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.82				
23	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45				
24	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45				
25	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45				
26	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45				
27	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45				
28	9.82	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45				

Calcul de l'enveloppe de la section d'acier au nœud de coordonnées (I = 8 , J = 20), en face supérieure, dans la direction normale aux câbles.

Cette enveloppe correspond au calcul sous combinaison fréquente aux ELS du cas de charge no 3 (voir pages 87 et 88) dont les moments (en kNm/m) sont :

Moment transversal My = -126.68 ; Moment longitudinal Mx = -180.54 ; Moment de torsion Mxy = 58.56

Le moment ultime appliqué, calculé conformément aux formules de l'Annexe 12A du BPEL91, est égal à -185.23 kNm/m (pour mémoire, dans ces formules, le moment de torsion Mxy change de signe en raison de différence de repères)

L'effort normal de la précontrainte est 0 kN/m

Les sections d'acier passif en face inférieure et en face supérieure étant respectivement 3.0 cm²/m et 18.53 cm²/m, un calcul intermédiaire donne les résultats suivants :

Hauteur du béton comprimé = 0.161m ; Contrainte de compression du béton = 4.04 MPa

Contrainte de traction de l'acier passif en face inférieure = 0 MPa

Contrainte de traction de l'acier passif en face supérieure = 175 MPa (contrainte de traction limite sous combinaison fréquente)

Le moment interne de la section, pris par rapport à l'acier passif tendu est : $0.161*4.04/2*(0.625-0.161/3)*10^3 = 185.81 \text{ kNm/m}, 0.625 étant la hauteur utile en mètre de l'acier passif tendu en face$ supérieure.

Cette valeur est à comparer avec la valeur absolue du moment appliqué -185.23 kNm/m

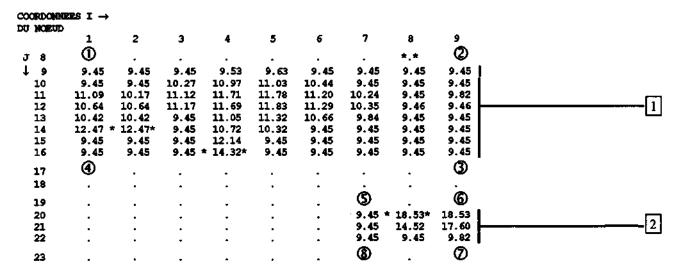
FERRAILLAGE TRANSVERSAL ADOPTE POUR LA FACE SUPERIEURE

Dans la mesure où les charges sont représentatives, il est possible de faire le zonage du ferraillage transversal comme il suit.

Pour envelopper les 9.45 cm²/mi requis que l'on constate partout dans le tableau précédent, il convient de disposer perpendiculairement aux bords libres un ferraillage plancher constitué des Ø16 avec un espacement e=0.21 m (9.57 cm²/ml),.

Il reste à renforcer ce ferraillage plancher par des quantités d'acier nécessaires et selon les zones pour bien envelopper les valeurs maximales données par la note de calcul.

Pour illustrer de façon claire ce renforcement, nous avons repris, ci-dessous, le tableau précédent purgé des valeurs 9.45 aux noeuds non concernés par ce renforcement.



1 La zone à renforcer est un rectangle dont les sommets ont les coordonnées suivantes :

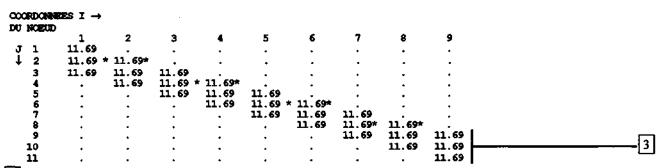
①
$$(I=1, J=8.5)$$
, ② $(I=9, J=8.5)$, ③ $(I=9, J=16.5)$, ④ $(I=1, J=16.5)$.

Il convient de renforcer cette zone par des Ø16 avec un espacement e=0.42 m (4.79 cm²/ml) pour envelopper, avec le ferraillage plancher de $9.57 \text{ cm}^2/\text{ml}$, la quantité maximale de $14.32 \text{ cm}^2/\text{ml}$ observée au noeud (I=4, J=16).

2 La zone à renforcer est un rectangle dont les sommets ont les coordonnées suivantes :

$$(I=7, J=19.5), (I=9, J=19.5), (I=9, J=22.5), (I=7, J=22.5).$$

Il convient de renforcer cette zone par des Ø16 avec un espacement e=0.21 m (9.57 cm²/ml) pour envelopper, avec le ferraillage plancher (9.57 cm²/ml), la quantité maximale de 18.53 cm²/ml observée au nocud (I = 9, J = 20)



D'après les résultats donnés à la page 111, relatifs au ferraillage de chevêtre incorporé, il faut prévoir un ferraillage disposé parallèlement aux lignes d'appui, de densité 11.69 cm²/ml (6/216/ml) sur une largeur de 2.97 m, mesurée dans l'axe de l'ouvrage et à partir de chaque face d'about.

Sur le modèle, dans la zone de culée, nous avons purgé toutes les valeurs imprimées, et placé la valeur 11.69 aux noeuds correspondants du chevêtre incorporé.

Il est rappelé que ces ferraillages des chevêtres incorporés doivent être disposés sur les faces <u>supérieure et inférieure</u>, en troisième lit.

Par ailleurs, toutes les armatures constituant le ferraillage transversal doivent être <u>ancrées par des crochets sur les bords</u> libres.

	'APPLICA'	ROIS TR				INT			Merel Page	NO 0000 212	DŪ	20/05/94
* POUR L * *LES	PPE DES : 'ARMATURI YSTEME DE ACE INFEI	DEFINI FERRAL	E PAR		ML * * *							
	LA DIREX		: 100.0	000 GRAD	es *							
* *PAR	RAPPORT A	LA NOR	MALE AU	BORD LIB	RE *							
	*****	****	*****	*****	***							
COORDONN												
DO NORUD		2	3	4	5	6	7	8	9			
1	3.50		-		•		•		•			
2	3.50 *	3.50*	. •		•		•		•			
3	3.50	3.50	3.50	. •	•	•	•	•				
4	3.50	3.50	3.50 *	3.50*		•	•	•	•			
5 6	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50		•	•	•			
5	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50 *	3.50*		•				
7	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	•	•			
8	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50 *	3.50*	3.50			
. 9	3.50 3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50 3.50	3.50			
10 11	3.50 3.50	3.50 3.50	3.50 3.50	3.50 3.50	3.50 3.50	3.50 3.50	3.50	3.50	3.50 3.50			
12	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50 3.50	3.50	3.50			
13	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50			
14	3.50 *	3.50*	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50			
15	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50			
16	3.50	3.50	3.50 *	3.50*	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50			
17	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50			
18	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50 *	3.50*	3.50	3.50	3.50			
19	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50			
20	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50 *	3.50*	3.50			
21	3.50	3.50	3,50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50			
									_			
												1
22	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.61	4.83			ن
23	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.62	4.10	6:05			
24	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	4.63			
25	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.71			
26	4.13	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50			
27	5.13	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50			
28	3.50	3.50	3.50	3.50	3,50	3.50	3.50	3.50	3.50			

Le ferraillage longitudinal étant parallèle aux bords libres, le chaînage de renforcement de ces derniers, calculé selon les règles du \S 4.2-b) de l'Annexe 1, a été inclus dans les sections d'acier des lignes I=1, I=2 et I=8, I=9.

Cette enveloppe correspond à l'armature de peau, selon BPEL91.

Calcul de l'enveloppe de la section d'acier au nœud de coordonnées (I = 9, J = 21), en face inférieure, dans la direction parallèle aux câbles.

MODELE D'	ALLE A T	ROIS TE				ALINT				nfoel Page	NO 0000 213	DŪ	20/05/94
* ENVELOR	PR DES S	ECTIONS	D'ACTER										
* POUR L'	STIDE DE			•	-								
	CE INFER		IN SERVICE	+	-								
	LA DIREC			000 GRAI									
	APPORT A												

COORDONNE													
DO NOEUD	 1	2	3	4	5	6	7	8	9				
1	9.45	-		•	3	•	•	•	•				
2	9.45 *	3.00*	•	•	•	•	•	•	•				
3	9.45	9.45	9.45	•	•	•	•	•	•				
4	9.45	9.45	9.45 *	9.45*	•	•	•	•	•				
5	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	•	•	•	•				
ĕ	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	* 3.00*	•	•	•				
ž	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	•	•				
8	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	* 9.45*	•				
ğ	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45				
10	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45				
îĭ	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45				
12	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45				
13	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45				
14	9.45 *	3.00*	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45				
15	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45				
16	9.45	9.45	9.45 *	3.00*	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45				
17	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45				
18	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45		9.45	9.45	9.45				
19	9.45	9.45	9.45	9.63	11.39	9.45	9.45	9.45	9.45				
20	9.45	9.45	9.45	10.71	12.79	13.01	9.45		9.45				
21	9.45	9.45	9.45	11,23	13.88	14.56	14.26	9.45	9.45				
22	9.45	9.45	9.45	10.96	13.15	12.97	13.26	10.28	15.29				
23	9.45	9.45	9.45	11.43	11.69	11.61	11.05	9.94	9.94				
24	9.45	9.45	9.51	11.75	11.20	11.14	10.16	9.45	9.45				
25	9.45	9.45	9.73	11.54	11.04	11.01	10.13	9.45	9.45				
					Щ.								1
26	9.45	9.45	10.16	11.16	11.20	10.77	9.93	9.45	9.45				_
27	9.94	9.94	11.05	11.81	11.69	10.83	9.45	9.45	9.45				
	15.29	10.28	12.41	12.97	12.26	10.96	9.45	9.45	9.45				
29	9.45	9.45	13.43	13.83	12.33	10.74	9.45	9.45	9.45				
30	9.45 *	3.00*	9.45	12.06	11.77	10.03	9.45	9.45	9.45				
31	9.45	9.45	9.45	9.45	10.61	9.63	9.45	9.45	9.45				
32	9.45	9.45	9.45 *	3.00*	9.45	9.45	9.45	9.45	9.45				

Calcul de l'enveloppe de la section d'acier au nœud de coordonnées (I = 5 , J = 25), en face inférieure, dans la direction normale aux câbles.

Cette enveloppe correspond au calcul sous combinaison rare aux ELS du cas de charge no 3 (voir pages 93 et 94) dont les moments (en kNm/m) sont :

Moment transversal My = 50.78; Moment longitudinal Mx = 197.38; Moment de torsion Mxy = 96.03

Le moment ultime appliqué, calculé conformément aux formules de l'Annexe 12A du BPEL91, est égal à 146.98 kNm/m

L'effort normal de la précontrainte est 0 kN/m

Un calcul intermédiaire donne les résultats suivants :

Hauteur du béton comprimé = 0.128m ; Contrainte de compression du béton = 3.936 MPa

Contrainte de traction de l'acier passif en face supérieure = 0 MPa

Section d'acier passif de la face supérieure = 9.45 cm²/m (condition de non-fragilité = $0.25^*f_{ij}/f_e^*h = 0.25^*2.7/500^*.7$ = 9.45cm²/m, h = .7 m étant l'épaisseur de la dalle, voir page 65)

Contrainte de traction de l'acter passif en face inférieure=228.63 MPa (contrainte de traction limite sous combinaison rare)

Le moment interne de la section, pris par rapport à l'acier passif tendu est :

 $0.128*3.936/2*(0.625-0.128/3)*10^3 = 146.69 \text{ kNm/m}$, 0.625 étant la hauteur utile en mètre de l'acier passif tendu en face inférieure.

Cette valeur est égale au moment appliqué de 146.98 kNm/m, à très peu de chose près.

FERRAILLAGE TRANSVERSAL ADOPTE POUR LA FACE INFERIEURE

On adopte pour le ferraillage transversal inférieur le même principe de zonage préconisé pour celui de la face supérieure (voir page 107).

Un ferraillage plancher constitué des Ø16 avec un espacement e=0.21 m (9.57 cm²/ml), disposés perpendiculairement aux bords libres. Cette quantité d'acier enveloppe bien les 9.45 cm²/ml requis que l'on constate partout dans le tableau précédent.

Il reste à renforcer ce ferraillage plancher par des quantités d'acier nécessaires et selon les zones pour bien envelopper les valeurs maximales données par la note de calcul.

Pour illustrer de façon claire ce renforcement, nous avons repris, ci-dessous, le tableau précédent purgé des valeurs 9.45 aux noeuds non concernés par ce renforcement.

La zone à renforcer est un polygone dont les côtés sont soit parallèles soit perpendiculaires aux bords libres et dont les sommets ont les coordonnées suivantes :

①
$$(I=1, J=26.5)$$
, ② $(I=2.5, J=26.5)$, ③ $(I=2.5, J=18.5)$, ④ $(I=9, J=18.5)$

Il convient de renforcer par des Ø16 avec un espacement e=0.42 m (4.79 cm²/ml) pour avoir la même disposition que le ferraillage transversal supérieur et atteindre la valeur 14.36 cm²/ml supérieure à la section d'acier requise aux différents noeuds, sauf aux noeuds de coordonnées (I=1, J=28), (I=9, J=22) et (I=6, J=21) où il faut ajouter localement un Ø16 pour envelopper les valeurs 15.29 cm²/ml et 14.56 cm²/ml.

Il est rappelé que, sur les culées, en plus de ce ferraillage, un ferraillage de chevêtre incorporé doit être disposé parallèlement aux lignes d'appui, en troisième lit, comme il a été dit pour la face supérieure.

Par ailleurs, toutes les armatures constituant ce ferraillage transversal doivent être <u>ancrées par des crochets sur les bords</u> <u>libres.</u>

COC	RDONNE	ZES I →								
DÜ	NOEUD									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
J	1				•		-	•	•	•
Į.	2		*.*						•	
	3						-			
	4		•		*.*		•			
	5 6						-			
	6						*.*			
	7	•		•		-				
	8			•		•		•	*.*	•
	9	•		•		•		•	•	
	10	•	•	•		-		•		•
	11	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	12	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	13	•	<u> </u>	•	•	•	•	•	•	•
	14	•	*,*	•	-	•	•	•	•	•
	15	•	•	•	4.4	•	•	•	•	•
	16 17	•	•	•	*,*	•	•	•	•	•
	11	•	٠ 👝	•	•	•	•	•	•	
	18		. ③				*.*			4
	19	_	_	9.45	9, 63	11.39	9.45	9.45	9.45	9.45
	20			9.45	10.71	12.79	13.01	9.45		9.45
	21	•		9.45	11.23	13.88	14.56	14.26	9.45	9.45
	22			9.45	10.96	13.15	12.97	13.26	10.28	15.29
	23			9.45	11.43	11.69	11.61	11.05	9.94	9.94
	24			9.51	11.75	11.20	11.14	10.16	6 .	⑤
		•	•						.	•
	25	<u>.</u>	• _	9.73	11.54	11.04	11.01	10.13	•	•
	26	0	. ②	10.16	11.16	11.20	10.77	9.93		
	27	9.94	9.94	11.05	11.81	11.69	10.83	9.45	•	•
	28	15.29	10.28	12.41	12.97	12.26	10.96	9.45	•	•
	29	9.45	9.45	13.43	13.83	12.33	10.74	9.45	•	•
	30	9.45 *		9.45	12.06	11.77	10.03	9.45	•	•
	31	9.45	9.45.	9.45	9.45	10.61	9.63	9.45	•	•
							J. W		⇔ ΄	•
	32	®		•		•	•	. '	υ.	•

MRBEL NO 0000 DU 20/05/94 MODELE D'APPLICATION TABLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT PAGE 214 ENVELOPPE DES SECTIONS D'ETRIER EN CM2/M2 COORDONNEES DU NOTUD 2 3 5 6 7 9 9.20 2.30* 9.20 2.30 9.20 2.30 3 2.30 * 9.20 2.30 2.30* 9.20 2.30 2.30 2.30 2.30 9.20 2.30 2.30 2.30 2.30* 7 9.20 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 9.20 9.20 9.20 2.30 2.30 2.30 2.30* 8 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 9.20 9 10 11 12 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 9.20 2.30 2.30 2.30 9.20 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30* 13 9.20 2.30 2.30 14 15 9.20 2.30 9.20 2.30 2.30 2.30 2.30 9.20 16 17 18 19 2.30 * 2.30 9.20 9.20 2.30 2.30 2.30* 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 9.20 9.20 2.30 2.30 2.30 2.30 9.20 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30* 2.30 2.30 9.20 2.30 2.30* 2.30 9.20 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 20 21 9.20 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 9.20 2.30 2.30 2.30 2.30 22 9.20 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 9.20 23 24 25 2.30 2.30 2.30 9.20 9.20 9.20 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 9.20 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 2.30 9.20 9.20 2.30 2.30 2.30 9.20 D'après l'article 9.6,41 du BPEL91, - un minimum d'étriers A_t tel que $A_t \ge 0.4 \ ^{\circ} \gamma_s/f_e = 0.4 \ ^{\circ} 1.15/500 \ ^{\circ} 10^4 = 9.2 \ \mathrm{cm}^2/\mathrm{m}^2$ est à prévoir sur une largeur égale à 0.5 h à partir des bords libres, h étant l'épaisseur de la dalle. - un minimum d'étriers A_t tel que $A_t \ge 0.1 * \gamma_s/f_e = 0.1*1.15/500*10^4 = 2.3 cm²/m² est à prévoir sur le reste de la daile.$ MODELE D'APPLICATION MERBEL NO 0000 DU 20/05/94 TARLIER-DALLE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT 215 ********** CHEVETRES INCORPORES SUR CULEES * IL Y A LIEU DE DISPOSER PARALLELEMENT AUX LIGNES D'APPUI SUR CHAÇUE FACE DU TABLIER, UN FERRAILLAGE DEFINI PAR LES CONDITIONS SULVANIES (OF ANNEXE 1, DOSSIER MRBEL) : - POUR LE CHEVETRE INCORPORE SUR LA CULEE DE GAUCHE : 11.684 CM2/ML LARGEUR = 2.970 N 1 - POUR LE CHEVETRE INCORPORE SUR LA CULEE DE DROTTE : 9.699 CM2/ML LARGEUR = 1 LES LANGEURS SONT MESUREES PARALLELIMENT À L'AXE LONGITUDINAL DE TABLER ET À PARTIR DE CHAQUE FACE D'ABOUT l'ensemble de ce ferraillage doit etre rien ancre par des crochets

L'ouvrage étant symétrique, on a donc limité l'étude sur un peu plus de sa moitié (un peu plus de sa moitié et non sa moitié en raison du biais). Le chargement envisagé est donc limité également dans la même zone, ce qui explique la différence des densités de ferraillage des chevêtres sur culées, alors qu'en toute logique, elles doivent être identiques. En pratique, la densité à mettre en place sera le maximum de ces deux valeurs.

MODELE D'APPLICATION TABLIER-DAILE A TROIS TRAVEES EN BETON PRECONTRAINT NRREL NO 0000 DU 20/05/94 PAGE 216

DIRECTION DES ARMATURES

(LES DIRECTIONS SONT COMPTEES TRIGONOMETRIQUEMENT A PARTIR DE LA NORMALE AU BORD LIERE)

 SYSTEME
 REPERE
 THETA1
 REPERE
 THETA2

 1
 R
 100.000 GR
 R
 0.000 GR

HAUTEURS UTILES

LES SECTIONS D'ARMATURES ONT ETE CALCULEES AVEC LES HAUTEURS UTILES SUIVANTES :

 DIRECTION 1
 DIRECTION 2

 FACE SUPERIEURE
 0.655 M
 0.625 M

 FACE INFERIEURE
 0.655 M
 0.625 M

CONSOMMATION D'ACIER FERRAILLAGE PRINCIPAL

FACE SUPERIEURE FACE INFERIEURE

SYSTEME DE FERRALLIAGE 1 4.157 T 4.051 T

NOTA : LA COMPARAISON DE CES QUANTITES PERMET DE FINER LE CHOIX DU SYSTÈME DE FERRAILLAGE PRINCIPAL. BLEN ENTENDU, CE CHOIX DEPEND D'AUTRES CONSIDERATIONS D'ORDRE PRATIQUE TELLES QUE LE FACONNAGE ET LA MISE EN PLACE DES FERS

AVANT-NETRE

ETRIER D'EFFORT TRANCHANT 0.687 T

CHEVETRE INCORPORE 1.380 T

SYSTEME DE FERRAILLAGE 1

FERRALLIAGE PRINCIPAL 8.207 T

CHAINAGE BORDS LIBRES 0.000 T

TOTAL 10.275 T RATIO 38.286 KG/N3

L'avant-métré et donc le ratio des aciers, donnés par la note de calcul, dépendent étroitement de la représentativité des chargements introduits en données.

De plus, ils ne tiennent pas compte du supplément de ferraillage résultant des règles d'épure d'arrêt des barres (décalage de l'épure, ancrage rectiligne ou par courbure), des dispositions particulières à certains éléments (frettage vis-à-vis des pressions localisées, fixation des équipements...), du façonnage et de la mise en place des fers ...

Pour ces raisons, ces valeurs doivent être considérées comme minimales et en aucun cas elles ne peuvent pas être prises comme valeurs définitives de référence dans l'estimation du coût de l'ouvrage.

ANNEXE 1

COMPLEMENTS SUR LA MODELISATION ET LES DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

Le programme MRB-EL est un programme général destiné à l'étude des dalles présentant un biais ou une courbure en plan. Ce programme calcule en chaque noeud les déformations, les efforts, les contraintes, ainsi que le ferraillage, à partir des données introduites, qui sont essentiellement :

- les caractéristiques géométriques et mécaniques ;
- la modélisation :
- les cas de charge;
- le choix du système de ferraillage et en particulier de la direction des armatures.

La présente annexe a pour but de détailler certaines dispositions particulières d'ordre constructif et de calcul, telles que la modélisation, l'introduction des charges et le ferraillage de ces tabliers particuliers.

1 - MODELISATION

1.1 - Biais et portées

La modélisation, dans un système de maillage carré, d'un pont-dalle en vue d'un calcul MRB, doit respecter les conditions suivantes :

- Les appuis extrêmes doivent être situés à au moins une maille du bord libre.
- Les appuis doivent être placés soit au droit d'un noeud, soit au milieu de deux noeuds, soit au centre de quatre noeuds, c'est-à-dire que leurs coordonnées doivent être multiples de 0,5 maille.

Par ailleurs, pour éviter les moments d'encastrement parasites qui faussent les résultats, il est souhaitable d'aligner les points d'appui d'une même ligne, ce qui n'est pas possible pour n'importe quel biais en raison des contraintes citées précédemment. Par conséquent, il convient de remplacer le biais géométrique réel par l'angle le plus proche possible de ce dernier et dont la tangente est approximativement égale au rapport des multiples de 0,5 maille.

Par exemple, il est préférable de remplacer un biais géométrique de 60 grades par l'angle dont la tangente est égale à 3,5/2,5, c'est-à-dire 60,51 grade. On peut ainsi placer un point d'appui toutes les 3,5 mailles dans le sens des I et toutes les 2,5 mailles dans le sens des J (figure 1).

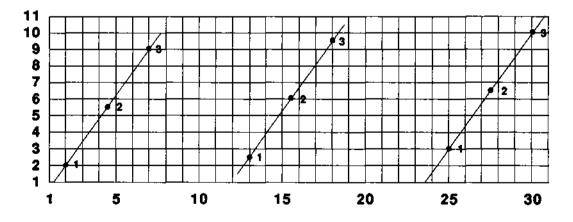


FIGURE 1 : Biais normalisés

Lorsqu'il est nécessaire d'adopter des biais approchés, il est recommandé de choisir les valeurs des portées droites et biaises des différentes travées du modèle légèrement supérieures à celles des portées droites et biaises de l'ouvrage réel.

Ces précautions permettent d'obtenir des résultats fiables, sans sous-estimation (efforts et ferraillage), car les efforts et le ferraillage sont sensiblement proportionnels au carré des portées mécaniques qui, sont elles-mêmes comprises entre les portées biaises et droites de l'ouvrage.

Le tableau suivant donne les biais en grades, multiples de 0,5 gr, les plus proches des angles dont la valeur de la tangente est égale au rapport DI/DJ, DI étant la distance en mailles (multiples de 0,5 maille) dans le sens des I et DJ dans le sens des J, entre deux points d'appui consécutifs.

Les angles marqués d'une astérisque (*) sont conseillés car ils permettent de placer un grand nombre de points d'appui en raison de la faible valeur de DI (égale à 0,5 - 1,0 - 1,5 - 2,0 - 2,5).

BIAIS	DI	DJ
92,5	4,0	0,5
91,0	3,5	0,5
89,5	3,0	0,5
* 87,5	2,5	0,5
* 84,5	2,0	0,5
82,5	3,5	1,0
* 79,5	1,5	0,5
77,0	4,0	1,5
* 76,0	2,5	1,0
74,0	3,5	1,5
* 70,5	1,0	0,5
67,0	3,5	2,0
* 65,5	2,5	1,5
64,5	4,0	2,5
* 62,5	1,5	1,0
60,5	3,5	2,5
* 59,0	2,0	1,5
* 57,0	2,5	2,0
56,0	3,0	2,5

BIAIS	DI	DJ
55,0	3,5	3,0
54,0	4,0	3,5
* 50,0	0,5	0,5
46,5	4,0	4,5
45,0	3,0	3,5
* 44,0	2,5	3,0
* 43,0	2,0	2,5
42,0	3,5	4,5
* 41,0	1,5	2,0
40,0	4,0	5,5
* 39,5	2,5	3,5
39,0	3,5	5,0
* 37,5	1,0	1,5
36,0	3,5	5,5
* 35,5	2,5	4,0
35,0	4,0	6,5
* 34,5	1,5	2,5
33,5	3,5	6,0
* 33,0	2,0	3,5

DI	DJ
2,5	4,5
3,5	6,5
4,0	7,5
0,5	1,0
4,0	8,5
3,0	6,5
2,5	5,5
2,0	4,5
1,5	3,5
4,0	9,5
2,5	6,0
1,0	2,5
2,5	6,5
4,0	10,5
3,5	9,5
2,0	5,5
3,0	8,5
4,0	11,5
0,5	1,5
	2,5 3,5 4,0 0,5 4,0 3,0 2,5 2,0 1,5 4,0 2,5 4,0 3,5 2,0 3,0 4,0

1.2 - Finesse du maillage

La précision des résultats (efforts et ferraillage) demande un maillage suffisamment fin du modèle MRB. En particulier, le nombre de mailles dans le sens transversal de la dalle doit être suffisant, mais doit néanmoins rester compatible avec les limites du programme. A cet égard, le choix de mailles dont les côtés présentent des dimensions de l'ordre de deux fois l'épaisseur de la dalle constitue un compromis généralement acceptable. Ces dimensions sont comprises entre 1 et 2 m, compte tenu des épaisseurs couramment rencontrées.

Dans le cas des portiques, la modélisation de la traverse doit également tenir compte des conditions de liaison entre celle-ci et les piédroits. Les modalités correspondantes sont exposées dans l'Annexe 2.

2 - INTRODUCTION DES CHARGES

Outre les charges permanentes et les actions de la précontrainte, si l'ouvrage en comporte, il est nécessaire de bien introduire les charges d'exploitation et en particulier les charges roulantes. Pour ces dernières, il est à noter en effet que le programme n'effectue que les calculs (efforts et ferraillage notamment) relatifs aux cas de charges définis en données. Il ne fait donc aucun calcul d'effets enveloppes en déplaçant les charges.

Il en résulte que les cas de charges doivent être définis par l'utilisateur de sorte à être aussi défavorables que possible vis-à-vis de l'effet envisagé.

Dans ce but, on prévoira bien sûr des cas de charge défavorables vis-à-vis des sollicitations globales de flexion sur appuis et en travée, mais également des cas de charge défavorables vis-à-vis des sollicitations dans les zones locales telles que les bords libres, les zones de chevêtres incorporés et les angles (Cf. ci-après).

Sans cette précaution, les ferraillages spécifiques calculés par le programme dans ces zones risquent d'être notablement sous-estimés.

3 - FERRAILLAGE

Dans le cas général, le ferraillage est constitué d'armatures passives longitudinales, transversales, et verticales, ces dernières étant formées de cadres et d'étriers.

Ces armatures passives ont pour rôle essentiel de reprendre les efforts dans le béton, de répartir les fissures éventuelles et de limiter ainsi leur ouverture, moyennant le respect de certaines conditions portant sur l'enrobage, l'espacement, le diamètre des aciers et surtout leur taux de travail.

Un choix correct de la direction des armatures est primordial, puisqu'il conditionne l'efficacité mécanique et l'économie d'un système de ferraillage.

En principe, du fait du caractère tensoriel des efforts (moments et efforts normaux), le ferraillage de chaque face de la dalle doit comporter au moins deux directions distinctes d'armatures, c'est-à-dire formant entre elles un angle supérieur à environ 20 grades. En pratique, pour des raisons d'efficacité mécanique et d'économie, on verra ci-après qu'il est hautement souhaitable de porter ce minimum à 70 grades.

Ce ferraillage est à compléter par des armatures verticales formées de cadres et d'étriers pour la reprise des efforts tranchants, soit généraux, soit de poinçonnement local.

Ce principe est applicable à chacune des parties de la dalle que constituent :

- les zones centrales des travées.
- les zones, dites de chevêtres incorporés, d'étendue plus ou moins importante, proches des appuis,
- les zones de bords libres,
- les angles.

Il convient de distinguer en outre les zones d'about et les encorbellements en raison du caractère spécifique des efforts qui s'y développent.

3.1 - Directions des armatures principales

En principe, le ferraillage de la dalle consiste à disposer en tout point des armatures longitudinales et transversales de façon à reprendre efficacement le tenseur de moments, en tenant compte, s'il y a lieu, de l'effet de la précontrainte.

L'idéal serait de pouvoir faire varier la direction et la densité des armatures d'une zone à l'autre de façon à reprendre les efforts qui, eux aussi, varient en direction et en densité. Cependant, un tel ferraillage n'est bien évidemment pas réalisable en pratique.

Pour cette raison, il est toujours indiqué de conserver une certaine continuité de la direction des armatures entre les diverses parties de dalle. A cet effet, il est souhaitable :

- que les armatures faisant partie d'une même face et d'un même type de ferraillage (longitudinal ou transversal) soient parallèles entre elles, pour faciliter leur raccordement entre les différentes zones,
- que les armatures en faces supérieure et inférieure possèdent au moins une direction commune, afin de faciliter la fixation des aciers entre eux au moyen des cadres et étriers.

En pratique, les armatures longitudinales pourront être orientées, suivant les cas, soit parallèlement à l'axe longitudinal de l'ouvrage (cas le plus courant), soit perpendiculairement aux lignes d'appui.

Pour les dalles précontraintes, ces deux directions sont également les deux directions les plus pratiques pour le câblage longitudinal, sachant en outre que les armatures passives longitudinales devront être parallèles aux câbles afin de faciliter la fixation de ceux-ci.

En ce qui concerne les armatures transversales, il est toujours souhaitable, pour des raisons d'efficacité mécanique, de les disposer perpendiculairement aux aciers longitudinaux. Cependant, on peut être amené à s'écarter de cette direction dans certains cas de figure, pour des raisons pratiques de façonnage et de mise en place des aciers, sans que, toutefois, l'angle aigu formé par ces deux directions ne descende en dessous de 70 grades, faute de quoi la consommation en aciers deviendrait trop importante.

Ces considérations conduisent aux indications pratiques suivantes, en ce qui concerne les directions principales des armatures :

- Pour les dalles précontraintes, la première nappe d'armatures passives (la plus proche des parois) sera toujours dirigée parallèlement à la direction de la précontrainte longitudinale, la deuxième nappe étant généralement perpendiculaire à la première (système A de la figure 2 ci-après).
 - Dans le cas des dalles peu biaises (angle de biais géométrique supérieur à environ 70 grades), la deuxième nappe sera généralement disposée parallèlement aux lignes d'appui.
- Pour les dalles en béton armé droites ou peu biaises (angle de biais géométrique supérieur à environ 70 grades), les armatures seront généralement orientées parallèlement aux bords libres et aux lignes d'appui.
- Pour les dalles en béton armé de biais prononcé (angle de biais géométrique inférieur à environ 70 grades) comportant deux ou plusieurs travées continues, ou les dalles constituées d'une seule travée plus longue que large, on choisira également de préférence le système A.
- Pour les dalles en béton armé de biais prononcé à travée unique plus large que longue, il sera préférable d'opter pour le système B de la figure 2, constitué d'aciers respectivement parallèles et perpendiculaires aux lignes d'appui.

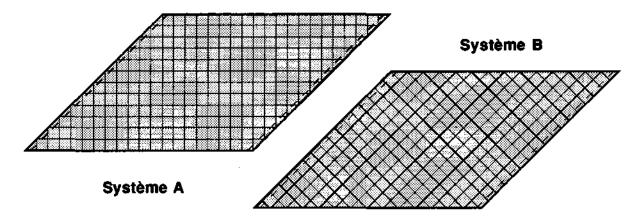


FIGURE 2 : Systèmes de ferraillage

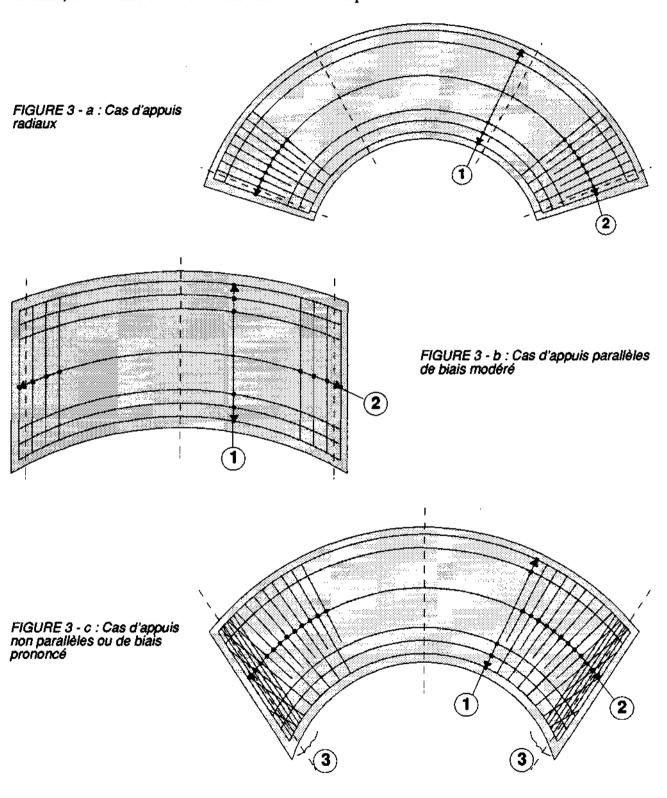
Dans tous les cas, on sera amené à compléter ce ferraillage par un certain nombre de ferraillages locaux, qui font l'objet du paragraphe 3.2.

Pour les dalles courbes en plan, qui peuvent être selon les cas droites ou biaises, il est toujours possible de disposer les armatures longitudinales de façon concentrique aux bords libres. En ce qui concerne les armatures transversales, plusieurs cas sont à distinguer :

- Lorsque les appuis sont tous radiaux, les armatures transversales peuvent prendre la direction radiale. On obtient ainsi le système de ferraillage le plus efficace du point de vue mécanique (figure 3 a).
- Lorsque les appuis sont parallèles entre eux et que le biais est modéré (angle de biais géométrique supérieur à 70 grades), il est commode de disposer les armatures transversales parallèlement aux appuis (figure 3 b).
- Dans le cas contraire, c'est-à-dire lorsque les appuis ne sont pas parallèles entre eux ou que le tablier est de biais prononcé (angle de biais géométrique inférieur à 70 grades), il est judicieux de disposer les armatures transversales radialement. On obtient ainsi le système de ferraillage le plus efficace du point de vue mécanique, à condition bien entendu, pour des raisons déjà exposées plus haut, de compléter ce système par des chaînages parallèles aux lignes d'appui sur culées et localisés dans ces zones (Cf. figure 3 c et paragraphe 3.2)

Quelle que soit l'option de ferraillage adoptée, il importe d'assurer l'ancrage des aciers ainsi que le recouvrement correct entre les armatures d'une même zone d'une part et entre les armatures des zones voisines d'autre part.

La direction des armatures une fois adoptée, il ne reste plus qu'à faire varier la densité d'aciers (longueur, diamètre et répartition) en fonction des efforts qui se développent dans les diverses parties de dalle, c'est-à-dire en fonction des résultats fournis par la note de calculs.



FIGURES 3 a. b et c : Ferraillage des dalles courbes.

- Ferraillage longitudinal courant Ferraillage transversal courant
- Ferraillage localisé aux abouts - - : Lignes d'appuis

La note de calculs MRB fournit en chaque noeud du maillage les sections d'aciers requises pour le système de ferraillage adopté. Compte tenu de la finesse du maillage, il est nécessaire de diviser le tablier en zones dans chacune desquelles il soit possible de prévoir le même ferraillage. Un zonage optimum sera celui qui résulte d'un compromis entre la simplicité de la mise en place des armatures et la consommation en acier.

3.2 - Ferraillages locaux

Les efforts particuliers que subissent certaines zones de la dalle ne peuvent pas toujours être repris par les seules armatures principales, décrites au paragraphe 3.1. On sera donc amené à disposer dans ces zones un complément de ferraillage, placé ou non suivant les directions du ferraillage principal et destiné à reprendre le plus efficacement possible ces efforts particuliers.

Ces directions, ainsi que les sections d'armatures correspondantes, sont calculées automatiquement par le programme MRB.

Rappelons à ce sujet la remarque importante faite au paragraphe 2 : les efforts calculés dans ces zones locales ne peuvent être représentatifs qu'à condition d'avoir prévu des cas de charge spécifiques, de nature à cerner correctement leur maximum.

a) Chevêtres incorporés aux abouts

La méthode MRB ne permet pas de cerner de façon rigoureuse les moments développés dans la dalle au voisinage des appuis d'extrémité, en raison de l'effet de fuite dû au fait que le modèle de calcul est une bande infinie, alors que le tablier réel repose sur des appuis à distance finie des abouts.

Il est cependant possible d'évaluer approximativement le ferraillage nécessaire pour reprendre les efforts développés dans ces zones, à partir des charges introduites en données. Le programme MRB calcule ce ferraillage suivant la règle empirique donnée ci-après.

Si R désigne la réaction d'appui maximale de l'appareil d'appui le plus chargé d'une ligne d'appuis, le moment transversal unitaire (par unité de longueur mesurée suivant l'axe du tablier) développé dans le chevêtre est approximativement égal à R/4. En pratique, on admet que les moments positifs et négatifs sont du même ordre de grandeur et on dispose parallèlement aux lignes d'appui, sur les deux faces de la dalle, une section d'acier suffisante pour reprendre ce moment, sans prendre en compte le ferraillage courant (figures 4 et 5).

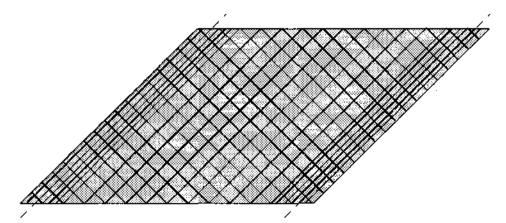
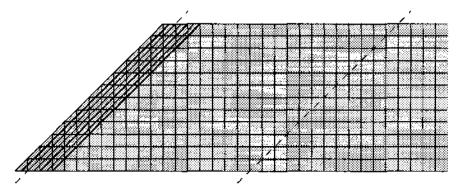


FIGURE 4 : Ferraillage d'un about par ajout d'une troisième nappe d'aciers dans le cas du système A.

FIGURE 5 : Ferraillage des abouts par un renforcement des aciers transversaux de la trame courante dans le cas du système B.



Cette densité de ferraillage doit régner sur chaque face d'une zone d'about, sur une largeur droite d'au moins 3h et une largeur comptée suivant l'axe de l'ouvrage d'au moins 2e/3, soit, en largeur droite :

$$\max\left(3h;\frac{2e}{3}\sin\varphi\right)$$

où h désigne la hauteur de la dalle, e l'espacement maximal entre les appareils d'appui de la ligne d'appui considérée et ϕ l'angle de biais.

b) Ferraillage des bords libres

Le ferraillage à disposer dans les zones de bords libres mérite une attention toute particulière en raison de l'importance des efforts de flexion et de torsion qui se développent dans ces zones, ces efforts croissant avec le biais du tablier.

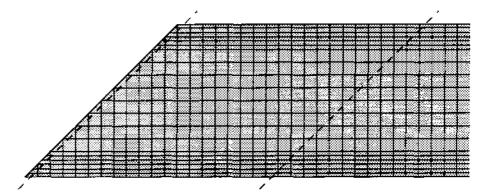
Sur le plan du calcul, il n'est pas aisé de cerner les efforts dans ces zones de façon rigoureuse en raison des problèmes de passage aux limites qu'elles présentent. La méthode MRB ne permet, quant à elle, de calculer les efforts dans la dalle qu'à une certaine distance des bords libres.

Il est cependant possible d'évaluer de façon approximative le ferraillage nécessaire pour reprendre ces efforts à partir des charges introduites en données. Le programme MRB calcule ces efforts selon les règles forfaitaires décrites ci-après.

Les moments de flexion longitudinale et de torsion développés en un point P' d'un bord libre, sous un cas de charge donné, peuvent être déduits par extrapolation linéaire de ceux qui se développent aux points P_1 et P_2 se trouvant respectivement à une maille et à deux mailles du bord libre, les trois points P', P_1 et P_2 étant alignés et situés sur une droite parallèle aux lignes d'appui.

Le programme évalue ensuite le ferraillage à disposer parallèlement au bord libre (figures 6 et 7) pour reprendre le tenseur de moments obtenu ci-dessus, en tenant compte d'une participation du système de ferraillage de la zone voisine. Cette prise en compte exige cependant que ces aciers soient prolongés jusqu'au bord libre et qu'ils y soient bien ancrés, par crochets ou retours d'équerre (figure 8).

FIGURE 6 : Ferraillage des bords libres par un renforcement des aciers longitudinaux de la trame courante dans le cas du système A.



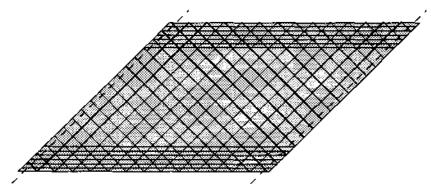


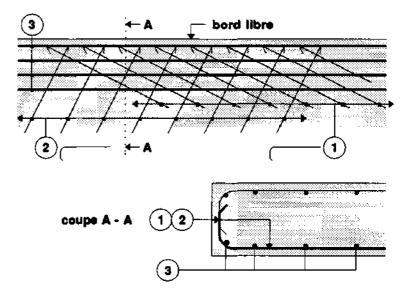
FIGURE 7 : Ferraillage des bords libres par ajout d'une troisième nappe d'aciers dans le cas du système B.

Cependant, en pratique, toute armature non parallèle au bord ne reprend pas de façon très efficace les efforts de cisaillement qui se développent le long des bords libres. Le programme MRB en tient compte pour le calcul des aciers des bords libres dans les conditions détaillées ci-après.

FIGURE 8 : ancrage des armatures près des bords libres.

1), 2) : aciers courants ancrés au bord libre

3) : renforts du bord libre



Si l'on désigne par :

- (M'_x, M'_y, M'_x) , le tenseur de moments au bord libre ;
- A₁, A₂, les sections des aciers prolongés et ancrés au bord libre ;
- A₃, la section des aciers parallèles au bord libre;

le moment transversal M', étant nul, A_3 est à déterminer de façon :

- que A_3 reprenne à lui seul les cisaillements de torsion développés par M'_{xy} le long du bord libre ;
- que l'ensemble A₁, A₂, A₃ reprenne le tenseur (M'_x, M'_{xy}), ce qui est en pratique réalisé la plupart du temps.

Lorsque l'une des directions de A_1 ou A_2 est parallèle au bord libre (par exemple A_1), la section A_3 est alors à remplacer par $A'_3 = \max(A_3, A_1)$.

D'un point de vue pratique, il est tout indiqué de conserver pour ce ferraillage une section d'acier constante dans chaque zone de bord libre, de largeur au moins égale à trois fois l'épaisseur de la dalle.

c) Efforts dans les angles

Les plus grands moments prenant naissance dans les angles de la dalle (en particulier dans les angles obtus), ne sont pas orientés selon la direction des bords libres. De ce fait, la manière la plus efficace de reprendre ces efforts consiste à disposer un quadrillage d'armatures sur chacune des faces du tablier.

En pratique, ce ferraillage peut être réalisé :

- dans le cas du système A (figures 9 a et 10 a), en renforçant les aciers parallèles aux bords libres, conformément aux résultats fournis par la note de calculs;
- dans le cas du système B (figures 9 b et 10 b), en ajoutant une troisième nappe d'armatures parallèles aux bords libres, dont les sections sont également fournies par la note de calculs.

d) Pourcentage minimum

En tout point d'une face susceptible d'être tendue, les différentes nappes d'armatures placées en ce point doivent avoir une section telle que la structure ne soit fragile dans aucune direction.

Il en résulte que dans le cas où les deux directions d'armatures ne sont pas orthogonales entre elles et forment un angle aigu θ , il convient de disposer dans chaque direction une section d'armature au moins égale à $0.06 \cdot \sin^2 \theta / 2$ (%) de l'aire du béton, soit par exemple :

- 0.24 % pour $\theta = 66.7$ gr (60°)
- 0.41 % pour $\theta = 50$ gr (45°)

Ces valeurs sont à comparer au pourcentage minimum de 0,12 % obtenu lorsque les armatures sont orthogonales entre elles.

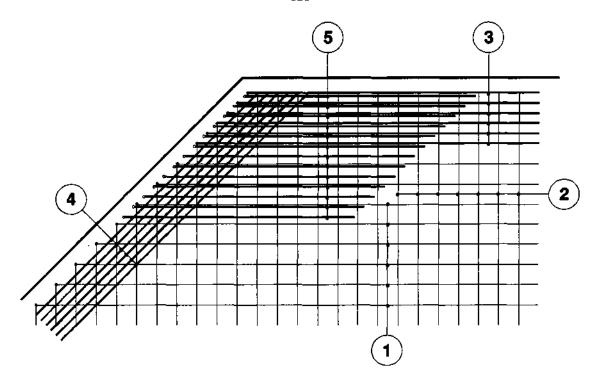


FIGURE 9 - a : système A.

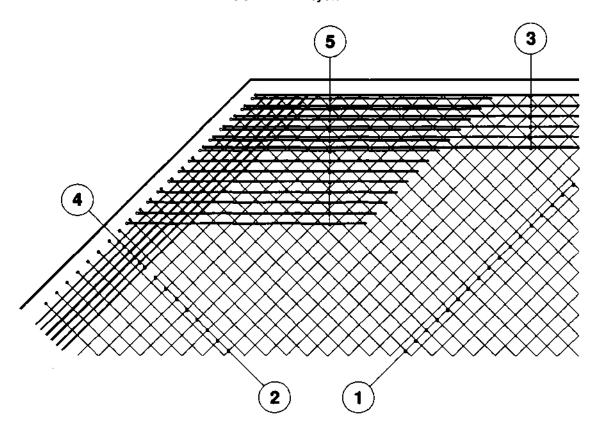


FIGURE 9 - b : système B.

FIGURES 9 a et b : Ferraillage d'un angle obtus pour les systèmes A et B.

- Ferraillage longitudinal courant
 Ferraillage transversal courant
 Renforcement des bords libres
 Chevêtre incorporé
 Renforcement de l'angle

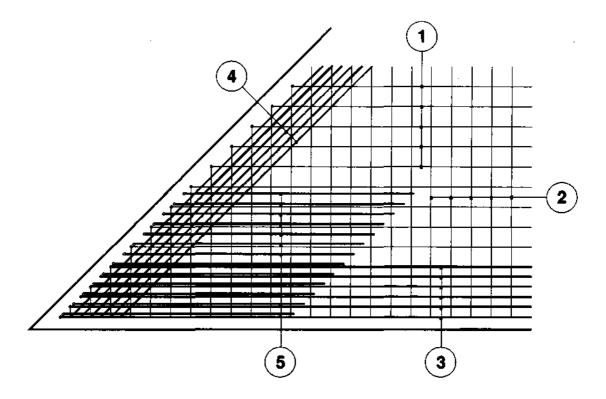


FIGURE 10 - a : système A.

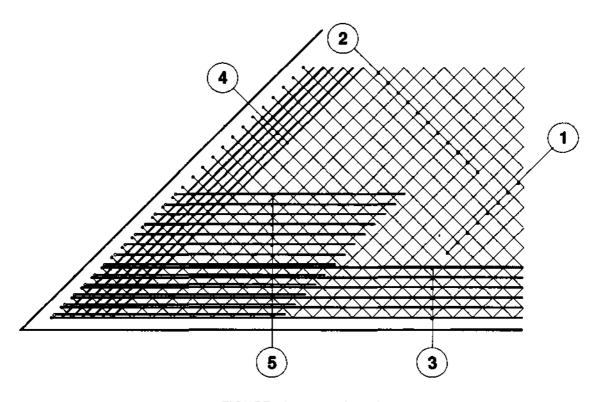


FIGURE 10 - b : système B.

FIGURES 10 a et b : Ferraillage d'un angle aigu pour les systèmes A et B.

- Ferraillage longitudinal courant Ferraillage transversal courant Renforcement des bords libres Chevêtre incorporé Renforcement de l'angle

4 - MODALITES D'APPLICATION DES REGLES BAEL ET BPEL AU CALCUL MRB

4.1 - Tabliers-dalles en béton armé

L'application des règles BAEL pour la justification des tabliers-dalles en béton armé est assez simple.

En particulier, les justifications vis-à-vis des contraintes normales sont à effectuer sous l'effet des efforts locaux et selon le niveau de fissuration retenu, introduit en donnée pour le calcul, à savoir : fissuration peu préjudiciable, préjudiciable ou très préjudiciable.

Les tabliers-dalles en béton armé sont normalement à justifier en fissuration peu préjudiciable, sauf en cas d'exposition à une ambiance agressive (embruns marins, salage fréquent, etc.), auquel cas ils sont à justifier en fissuration préjudiciable.

4.2 - Tabliers-dalles en béton précontraint

a) Justifications vis-à-vis des contraintes normales à l'E.L.S.

Contrairement au cas des tabliers en béton armé, l'application des règles BAEL et surtout BPEL aux tabliers-dalles en béton précontraint est très complexe. Pour s'en rendre compte, ces règles sont rappelées ci-après dans le cas le plus simple et le plus fréquent de tabliers précontraints dans une seule direction.

Rappelons que ces tabliers sont justifiés en classe 2, la classe 1 ne s'appliquant pas aux ponts monolithiques (BPEL, article 1.3, commentaire) et la classe 3 devant rester expérimentale pour les ponts-dalles. Dans ces conditions :

- Les parties non précontraintes sont à justifier conformément aux règles BAEL. En toute rigueur, comme pour les dalles en béton armé, ces parties peuvent être justifiées en fissuration peu préjudiciable ou préjudiciable. Cependant, il est commode à tous points de vue d'opter pour le niveau de fissuration préjudiciable, qui est celui exigé pour les parties précontraintes (BPEL, article 6.1,24).

En revanche, dans les parties précontraintes, on distingue les sections (ou facettes) parallèles et perpendiculaires aux câbles.

- Les sections parallèles aux câbles, ainsi que les sections parallèles à la direction mécanique principale, sont à justifier vis-à-vis des efforts locaux, conformément aux règles BAEL et selon le niveau de fissuration préjudiciable (voir ci-dessus).
- Les sections perpendiculaires aux câbles, ainsi que les sections perpendiculaires à la direction mécanique principale, sont à justifier :
 - vis-à-vis des efforts généraux, conformément à la classe 2 du BPEL, dans les zones dites "à répartition régulière";
 - vis-à-vis des efforts locaux, conformément à la classe 3 du BPEL, dans les autres zones.

Les classes, ainsi que les contraintes limites de traction associées sont rappelées dans le tableau ci-après, avec les notations suivantes :

- $\overline{\sigma_s} = \min(\frac{2}{3}f_e; 110\sqrt{\eta \cdot f_{ij}})$, où f_{ij} désigne la limite de rupture par traction du béton, et η le coefficient de fissuration.
- f_e: limite d'élasticité des aciers passifs,
- f_{re}: limite de rupture des aciers de précontrainte,
- $\Delta \sigma_{\rm p}$: surtension des aciers de précontrainte.

En ce qui concerne les contraintes de compression du béton, à évaluer sous efforts locaux, elles sont limitées, quelle que soit la classe, à :

- 0,6 f_{e28} sous les combinaisons quasi-permanentes,
- 0.7 f_{e28} sous les combinaisons rares,
- 0,7 f_{c28} en cours de construction.

où f_{e28} désigne la résistance caractéristique à la compression du béton à 28 jours.

		CLASSE DE JU	ISTIFICATION
COMBINAISONS D'ACTIONS	Matériau	CLASSE 2	CLASSE 3
En construction	Béton	0,7 f _{ij} en section d'enrobage 1,5 f _{ij} ailleurs	
Quasi permanentes	Béton		0 en section d'enrobage
	Béton	0 en section d'enrobage	
Fréquentes	Aciers passifs		$\sigma_s \le 0.35 f_{\bullet}$
	Précontrainte		Δσ _p ≤ 100 MPa
	Béton	f _{ij} en section d'enrobage 1,5 f _{tj} ailleurs	
Rares	Aciers passifs		$\sigma_{\mathbf{z}} \leq \overline{\sigma_{\mathbf{s}}}$
	Précontrainte		$\Delta \sigma_{p} \leq f_{rg}/10$

D'un point de vue réglementaire, on distingue ainsi :

- d'une part les parties de tablier précontraintes et celles qui ne le sont pas,
- d'autre part, dans les parties précontraintes, les zones dites à "répartition régulière" et les autres.

En pratique, on peut considérer que les zones à répartition régulière sont en gros les zones centrales des travées, leur étendue étant fonction de la géométrie (notamment du biais) du tablier et des conditions d'appui. En fait, pour les tabliers nécessitant un calcul MRB, donc de biais prononcé, cette zone est relativement réduite.

Les modalités de justification ne sont donc identiques ni d'une partie à l'autre, ni d'une zone à l'autre. Pour plusieurs raisons, elles ne peuvent pas être appliquées telles quelles dans un calcul automatique :

- les zones à répartition régulière ne peuvent pas être déterminées avec exactitude par voie algorithmique;
- ces zones sont réduites dans le cas des tabliers de biais prononcé, qui constitue le domaine d'emploi privilégié du programme MRB;
- de plus, les efforts généraux, obtenus par un lissage à large échelle des efforts locaux, sont peu représentatifs et ne permettent pas, en particulier, de cerner correctement les états de contraintes sous l'action des charges roulantes, souvent déterminantes pour ce type d'ouvrage.

Ces raisons ont conduit à adopter une démarche plus simple pour le programme MRB-BP. Elle consiste à :

- ne pas distinguer les zones à répartition régulière des autres,
- ne considérer que les efforts locaux.

Ainsi, les justifications sont menées partout vis-à-vis des efforts locaux :

- pour toutes les sections, selon le niveau de fissuration du BAEL retenu, introduit en donnée du programme :
- pour les sections perpendiculaires aux câbles, selon la classe du BPEL retenue, également introduite en donnée du programme (classe 2, sauf cas très spécifiques).

Cette démarche est entièrement concordante avec les règles BPEL rappelées ci-dessus, excepté pour les justifications vis-à-vis des contraintes normales de traction du béton, pour lesquelles elle est plus sévère.

Il en résulte que cette démarche risque d'entraîner des dépassements injustifiés des contraintes limites. A cet égard, on peut distinguer deux cas :

Dépassement dans les zones "à répartition régulière"

Dans ce cas, les dépassements résultent du fait que les contraintes sont calculées sous les efforts locaux, plus importants que les efforts généraux à prendre en compte réglementairement.

Néanmoins, il convient bien sûr de s'assurer que ces dépassements ne proviennent pas d'une insuffisance réelle du câblage. En toute rigueur, ce contrôle nécessite d'estimer les efforts généraux dans les sections critiques et de comparer les contraintes correspondantes aux valeurs limites réglementaires, ce qui est loin d'être simple.

Dans l'immense majorité des cas, il est cependant possible d'éviter ces calculs fastidieux en tenant compte de règles établies par la pratique :

- un écart inférieur à 0,5 MPa entre les contraintes de traction du béton sous efforts locaux et les valeurs limites réglementaires sous efforts généraux est toujours acceptable;
- lorsque le câblage à vérifier par MRB a été déterminé par le programme PSIDP du SETRA, la condition ci-dessus est toujours satisfaite.
- Dépassement en dehors des zones "à répartition régulière"

Dans ce cas, il s'agit de dépassements par rapport aux valeurs limites associées à la classe 2, plus contraignante que la classe 3, applicable dans ces zones.

Là encore, il convient de s'assurer que ces dépassements ne proviennent pas d'une insuffisance réelle du câblage, ce qui nécessite de comparer les valeurs atteintes aux valeurs limites de la classe 3. D'après le tableau ci-dessus, il suffit de vérifier que le béton reste comprimé sous combinaisons quasi-permanentes.

Pour faciliter ces contrôles, les messages éventuels de dépassement édités par MRB indiquent la combinaison d'actions et le noeud où un dépassement est constaté.

Par ailleurs, sachant que le programme ne peut pas faire la distinction entre les zones "à répartition régulière" et les autres, il indique :

- si le dépassement est inférieur ou supérieur à 0,5 MPa;
- si le béton est ou non décomprimé sous combinaisons quasi-permanentes.

En dernier lieu, le strict respect des règles BPEL nécessite de justifier les facettes parallèles et perpendiculaires à la direction mécanique principale dans les mêmes conditions que les facettes parallèles et perpendiculaires au câble.

Cependant, il a été jugé inutile d'alourdir la note de calculs par cette vérification compte tenu de son caractère très arbitraire :

- d'une part, cette direction est calculée pour un chargement uniforme, de ce fait, elle ne possède aucune propriété particulière pour d'autres cas de charge;
- d'autre part, ce calcul ne tient pas compte de l'effort normal apporté par la précontrainte, qui modifie les directions principales du tenseur des contraintes en ayant tendance à les rapprocher des directions perpendiculaires et parallèles aux câbles.

La validité de ces considérations a été confirmée par de nombreux calculs de test qui montrent en outre que les justifications des facettes parallèles et perpendiculaires à la direction mécanique principale sont en pratique couvertes par les justifications des facettes parallèles et perpendiculaires aux câbles.

Pour ce qui concerne les aciers passifs, le programme MRB les détermine conformément aux règles BAEL et BPEL et en particulier aux conditions de la classe 3 rappelées ci-dessus, de façon que soient respectées les limites de traction des aciers passifs d'une part et de surtension des aciers de précontrainte d'autre part.

b) Justifications vis-à-vis des contraintes normales à l'E.L.U.

La démarche est la même que celle du paragraphe "a" ci-dessus : pas de distinction de zones à répartition régulière, justifications vis-à-vis des seuls efforts locaux et considération des mêmes sections à savoir les sections perpendiculaires et parallèles aux câbles.

c) Justifications vis-à-vis des contraintes tangentes

Le calcul MRB-BP est strictement conforme aux règles BAEL et BPEL.

ANNEXE 2

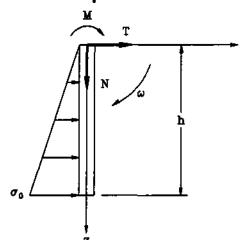
MODELISATION DU PIEDROIT D'UN PORTIQUE OUVERT POUR MRB

1 - GENERALITES

Cette annexe comporte deux parties: la première présente la démarche à suivre pour procéder au calcul par le programme MRB du tablier d'un passage inférieur en portique ouvert (PIPO) biais, la seconde développe le principe de calcul donnant la matrice de souplesse en tête d'un piédroit de portique ouvert, ainsi que les déplacements dus à la poussée des terres, afin de pouvoir en tirer une modélisation pour le programme MRB. Il est à noter que les formules de cette seconde partie ne sont données qu'à titre d'information, les calculs correspondants peuvent être effectués par tout programme approprié (par exemple, les programmes PSH ou ST1 du SETRA).

2 - CALCUL MRB DU TABLIER D'UN PORTIQUE OUVERT BIAIS

2.1 - Principe



Considérons le piédroit d'un portique ouvert dont les déplacements horizontaux sont bloqués en tête (par la présence y de la traverse) et soumis à la poussée des terres.

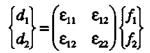
Quel que soit le mode de fondation, si l'on note z et ω le déplacement vertical et la rotation de la tête, on peut toujours écrire :

 z_o et ω_o étant les déplacements dus à la poussée des terres en l'absence de sollicitation (N,M) en tête du piédroit.

FIGURE 1

Dans le programme MRB, la présence du piédroit est modélisée par deux lignes d'appuis élastiques séparées d'une distance "u". Dans ce qui suit on suppose les lignes continues et on raisonne toujours par unité de longueur.

Les deux lignes d'appuis ne sont pas indépendantes, mais supposées reliées par une matrice d'élasticité.



où d_1 et d_2 sont les déplacements et f_1 et f_2 les forces appliquées aux deux lignes d'appui étudiées

La ligne d'appui n°1 se trouve par définition au-dessus du piédroit.

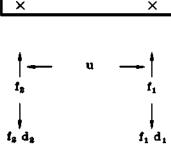


FIGURE 2

En écrivant la compatibilité des efforts et des déplacements entre le piédroit et la traverse, on aboutit à :

$$\begin{cases} d_1 \\ d_2 \end{cases} \approx \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} \end{pmatrix} \begin{cases} f_1 \\ f_2 \end{cases} + \begin{cases} z_o \\ z_o - u\omega_o \end{cases}$$

Avec:

$$\varepsilon_{11} = A_{11} \qquad \qquad \varepsilon_{12} = A_{11} - A_{12}u$$

$$\varepsilon_{22} = A_{11} - 2A_{12}u + A_{22}u^2 - \frac{u^3}{3EI_3}$$

 I_3 : inertie de la traverse

E: module de déformation du béton

Pour mémoire: z_o et ω_o conservent leurs notations déjà définies.

Il est donc possible de modéliser le piédroit par deux lignes d'appuis élastiques interdépendantes et deux déplacements imposés à ces lignes d'appuis, ces derniers représentant la poussée des terres.

Cette modélisation peut être considérée comme rigoureuse, à deux réserves près :

- les lignes d'appui ne peuvent être continues, il sera donc nécessaire de les introduire sous forme d'appuis ponctuels;
- il est nécessaire de considérer deux jeux de valeurs pour les coefficients ε_{ij} , l'une pour les efforts de courte durée d'application, l'autre pour les efforts de longue durée d'application.

2.2 - Modélisation de l'ouvrage

Dans le modèle MRB, la géométrie de la traverse est parfaitement connue par la connaissance des appuis délimitant la traverse (Cf. ligne A3 du bordereau des données). Soient N1, N2, N3, N4 ces appuis.

L'emplacement des appuis modélisant les piédroits est défini par l'utilisateur et doit répondre aux critères suivants :

- La portée de la travée centrale, modélisant la traverse, est prise égale à la distance des milieux des piédroits du portique ouvert.
- N1<N2 et N3<N4 (condition générale pour MRB).
- L'emplacement des deux lignes d'appui servant à simuler le comportement du piédroit vis-à-vis de la traverse doit être compris entre une demi-maille et le cinquième de la largeur droite de l'ouvrage.
- Les appuis sont décrits dans le même sens (J croissant ou décroissant avec le numéro des appuis : condition générale pour MRB).
- Les appuis doivent se trouver à, au moins, une maille du bord libre (condition générale pour MRB).
- Les appuis fonctionnent soit par doublet : un appui sur la ligne d'appui intérieure, un autre sur la ligne d'appui extérieure, soit par triplet: dans l'angle obtus on combine 2 appuis sur la ligne intérieure avec un appui sur la ligne extérieure. Ceci revient à dire que la ligne d'appui intérieure comporte un appui de plus que la ligne extérieure.

Le programme vérifie les égalités suivantes, qui traduisent le respect de ce critère :

$$N2 - N1 = N1 - 1$$

$$N4 - N3 = NAPTO - N4$$

NAPTO étant le nombre total d'appuis.

- La droite joignant les deux appuis d'un même doublet doit être la plus proche possible de la perpendiculaire à la ligne d'appui.

EXEMPLE:

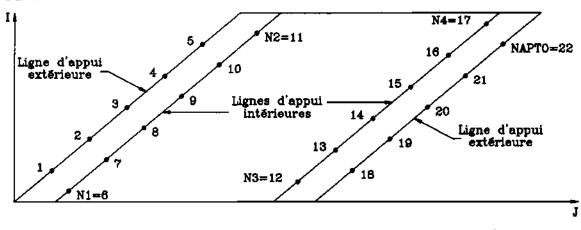


FIGURE 3

Les appuis fonctionnant par doublet sont :

Les appuis fonctionnant par triplet sont :

5-10-11; 18-13-12

2.3 - Prise en compte des données par le programme MRB

Le calcul préalable au programme MRB doit fournir :

- les valeurs de z_o et ω_o dues à la poussée des terres,
- les valeurs de A_{11} , A_{12} et A_{22} sous charges de longue durée d'application.

Ces valeurs, introduites en ligne A5 du bordereau des données, peuvent être calculées par les indications présentées au paragraphe 3 ci-après.

Les coefficients ε_{ij} étant calculés avec E_{ν} , le programme considère les coefficients $\varepsilon_{ij} \frac{E_{\nu}}{E_{\nu}}$

 E_i étant le module de déformation instantanée du béton, pour le calcul des effets sous charges de courte durée d'application (charges d'exploitation). Cette démarche constituera une bonne approximation en ce qui concerne les portiques ouverts, car les appuis élastiques simulant le piédroit se comportent approximativement de la même façon que le béton.

Par ailleurs, les valeurs numériques de z_o , ω_o définissant l'effet des poussées des terres dépendent linéairement de la valeur k, coefficient de poussée de Rankine. Le programme portique ouvert fournit ces valeurs avec k = 1. Le programme MRB calcule les effets maximal et minimal des poussées des terres à l'aide de ces données et des paramètres RKMAX et RKMIN (Cf. ligne A5) et envisage les cas de chargement suivants :

- Charge permanente (Cf. tableau D) + poussées des terres maximale et minimale.
- Charges A(l) (Cf. tableau E) + poussées des terres maximale et minimale.
- Charges B_c (Cf. tableau F) + poussée des terres moyenne.
- Charges variables quelconques (Cf. tableau G) + poussée des terres moyenne.

2.4 - Calcul des données complémentaires par le programme MRB

L'implantation des appuis (§ 2.2) et les données explicitées en 2.3 permettent au programme MRB de calculer les données complémentaires nécessaires à la modélisation. Ces calculs sont effectués indépendamment pour chaque piédroit.

Dans un premier temps, le programme calcule les coefficients ε_{11} , ε_{12} et ε_{22} par les formules données en 2.1.

Dans un deuxième temps, il détermine l'emplacement des angles obtus et les numéros d'appuis qui fonctionneront par doublet et par triplet, en adoptant le critère suivant (q désigne le nombre d'appuis d'une ligne intérieure, soit N2 - N1 + 1, soit N4 - N3 + 1):

- Si J est croissant avec le numéro des appuis :

Piédroit	Doublets	Triplets
gauche	(K,K+q+1) pour K=1 à N1-1	(N2-1,N2,N2-q)
droit	(K,K+q+1) pour K=N3+2 à N4	(N3,N3+1,N3+q)

- Si J est décroissant avec le numéro des appuis :

Piédroit	Doublets	Triplets
gauche	(K,K+q) pour K=1 à N1-1	(N1,N1+1,N1+1-q)
droit	(K,K+q) pour K=N3 à N4-2	(N4-1,N4,N4-1+q)

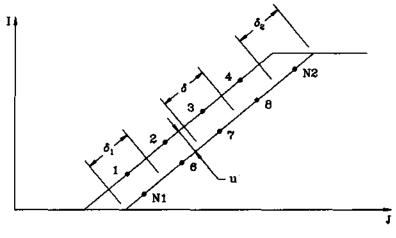


FIGURE 4

Le programme calcule ensuite, pour chaque piédroit :

- δ_1 : distance entre le bord de dalle et le milieu des deux appuis les plus proches dans l'angle aigu
- δ: distance entre deux appuis courants
- δ_2 : distance entre le bord de dalle et le milieu des deux appuis les plus proches dans l'angle obtus.

On procède enfin à la détermination des élasticités des groupes d'appuis :

Si $\varepsilon_{11} = \varepsilon_{12} = z_o = 0$, on est en présence d'une ligne d'appui intérieure rigide, et les appuis ne sont pas interdépendants.

Le programme affecte alors :

- ELAST = 0, DENIV = 0 aux appuis intérieurs

- ELAST = $\varepsilon_{22}/\delta_1$ à l'appui extérieur côté angle aigu
- ELAST = ε_{22} / ($\delta + \delta_2$) à l'appui extérieur côté angle obtus
- ELAST = ε_{22} / δ aux appuis extérieurs restants
- DENTV = $-u \omega_o$ à tous les appuis extérieurs.

Dans le cas contraire, les deux lignes d'appuis sont interdépendantes et le programme les modélise à l'aide de matrices d'élasticité de la manière suivante :

- pour les appuis formant un doublet :

$$\begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} \\ e_{12} & e_{22} \end{pmatrix}$$

avec:

 $e_{ij} = \varepsilon_{ij} / \delta_1$ pour le doublet côté angle aigu

 $e_{ij} = \varepsilon_{ij} / \delta$ pour les autres doublets

- pour les appuis formant un triplet :

$$\begin{pmatrix} e_{11} & e_{11} & e_{12} \\ e_{11} & e_{11} & e_{12} \\ e_{12} & e_{12} & e_{22} \end{pmatrix}$$

avec: $e_{ij} = \varepsilon_{ij} / (\delta + \delta_2)$

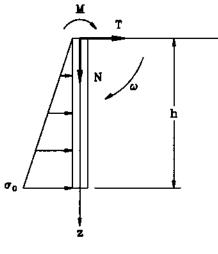
Par ailleurs, il affecte:

- DENIV = z_o à tous les appuis intérieurs,
- DENIV = $z_o u\omega_o$ à tous les appuis extérieurs.

3 - PRINCIPE DE CALCUL DE LA SOUPLESSE D'UN PIEDROIT DE PORTIQUE OUVERT.

Le but du présent paragraphe est de développer certaines propriétés admises dans le paragraphe 2 et de servir éventuellement d'exemple pour modéliser par MRB des conditions d'appui particulières. En pratique, tous les calculs décrits ci-après peuvent être effectués par n'importe quel programme à barres.

3.1 - Etude du plédroit libre en tête



On note (N, M, T), (z, ω, y) les efforts et déplacements en tête du piédroit et (N_p, M_p, T_p) , (z_p, ω_p, y_p) les efforts et déplacements en pied.

On suppose en outre l'existence en pied d'une matrice de souplesse:

FIGURE 5

Par ailleurs, les relations suivantes sont faciles à établir:

$$\begin{aligned}
 N_p &= N \\
 M_p &= M + Th + \frac{1}{6}\sigma_o h^2 \\
 W &= \omega_p + \frac{h}{FL}M + \frac{h^2}{2FL}T + \frac{h^3}{24FL}\sigma_o \\
 &= \psi_p + h\omega_p + \frac{h^2}{2FL}M + \frac{h^3}{3FL}T + \frac{h^4}{30FL}\sigma_o
 \end{aligned}$$

avec : $\sigma_o = \gamma . k . h$, où γ , k,h désignent respectivement la masse volumique du sol, le coefficient de poussée et la hauteur du piédroit.

En combinant ces équations, on aboutit à:

$$\begin{cases} z \\ \omega \\ y \end{cases} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & a_{22} & a_{23} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} N \\ M \\ T \end{Bmatrix} + \frac{\sigma_o h}{2} \begin{Bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{Bmatrix}$$

Avec:

$$a_{11} = A a_{12} = D a_{13} = F + Dh$$

$$a_{22} = B + \frac{h}{E_{\nu}I_{2}} a_{23} = E + Bh + \frac{h^{2}}{2E_{\nu}I_{2}} a_{33} = C + 2Eh + Bh^{2} + \frac{h^{3}}{3E_{\nu}I_{2}}$$

$$b_{1} = F + \frac{Dh}{3} b_{2} = E + \frac{Bh}{3} + \frac{h^{2}}{12E_{\nu}I_{2}} b_{3} = C + \frac{4}{3}Eh + \frac{Bh^{2}}{3} + \frac{h^{3}}{15E_{\nu}I_{2}}$$

3.2 - Etude du piédroit bloqué en tête

La présence de la traverse supérieure amène à imposer y = 0.

On obtient alors:

Avec:

$$A_{11} = a_{11} - \frac{a_{13}^2}{a_{33}} \qquad A_{12} = a_{12} - \frac{a_{23}a_{13}}{a_{33}} \qquad A_{22} = a_{22} - \frac{a_{23}^2}{a_{33}}$$

$$z_o = \left[b_1 - \frac{a_{13}}{a_{33}}b_3\right] \frac{\sigma_o h}{2} \qquad \omega_o = \left[b_2 - \frac{a_{23}}{a_{33}}b_3\right] \frac{\sigma_o h}{2}$$

3.3 - Cas particulier Important

Un cas important, car courant, est celui où l'application d'un effort N_{ρ} en pied n'entraîne aucun déplacement de celui-ci (hypothèse admise pour les semelles ou les pieux centrés).

On observe dans ce cas, en suivant le déroulement à partir du paragraphe 3.1, que :

$$A = D = F = 0$$
 $a_{11} = a_{12} = a_{13} = 0$ $A_{11} = A_{12} = 0$ $b_1 = 0$ $z_o = 0$

Les formules données en 2.1. amènent alors à :

$$\varepsilon_{11} = \varepsilon_{12} = 0$$

On aboutit donc à:

$$d_1 = 0$$

$$d_2 = \varepsilon_{22} f_2 - u \omega_o$$

Dans ce cas, la modélisation n'aboutit plus à deux lignes d'appuis élastiques interdépendantes, mais à une ligne d'appuis rigides et à une ligne d'appuis élastiques, d'élasticité ϵ_{22} .

ANNEXE 3

RAPPEL DE LA METHODE PAR REFLEXIONS BIHARMONIQUES (MRB)

1 - POSITION DU PROBLEME

Le comportement des ponts-dalles peut être assimilé approximativement à celui des plaques minces homogènes et isotropes.

On a choisi le modèle de la bande infinie, homogène, isotrope, sans poids, pareillement appuyée et chargée; son étude mathématique explicite semblait abordable; quant à l'approximation faite, elle semblait valable pour autant que le principe de Saint Venant l'était. Ce dernier s'annonce en ces termes:

Etant donné un corps élastique et un système de forces extérieures de torseur nul (équivalent à 0), les contraintes du corps élastique tendent rapidement vers zéro au delà du domaine d'application des charges.

La théorie des poutres de Saint Venant est la première application de son principe.

On peut énoncer ce corollaire comme suit :

Etant donnée une poutre infinie sans poids, les bouts infinis n'emmagasinent qu'une énergie infime. Dans ces conditions, la suppression des bouts infinis n'apporte qu'une perturbation négligeable à l'état de tension de la partie intermédiaire (figure 1).



FIGURE 1

Le corollaire précédent peut se généraliser au cas des ponts-plaques :

Au delà des appuis et des charges extrêmes, les deux bouts infinis de la bande sans poids n'emmagasinent qu'une énergie interne relativement faible. La déformation et la tension de la bande infinie non pesante diffèrent donc peu de celles de la plaque qui s'en déduit par suppression des bouts infinis au delà des appuis et des charges extrêmes.

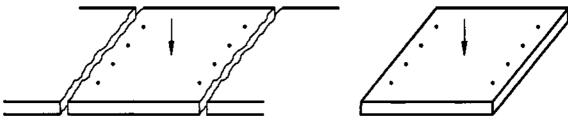


FIGURE 2

Cette généralisation présente deux résultats d'un intérêt fondamental, à savoir l'utilisation de la fonction de Green (dont la définition sera donnée au paragraphe 2.1) dans l'étude des ponts-plaques appuyés, d'une part, et son traitement numérique par la création des tables de coefficients d'influence, d'autre part. Ce sont les points qui seront développés dans cette annexe (*).

^(*) La partie mathématique de cette annexe s'est inspirée d'un développement plus complet, rédigé par les soins de NGUYEN Van Ke, Ingénieur au SETRA, et publié dans le dossier MRB.BP 70.

2 - SOLUTION MATHEMATIQUE DE L'ETUDE DES PONTS-DALLES

Sous réserve que les forces directement appliquées et les réactions d'appui soient perpendiculaires au plan moyen de la plaque, l'étude des ponts-plaques appuyés se ramène au problème théorique de l'influence d'une force concentrée sur la déformation et sur le tenseur de flexion de la bande infinie, homogène, isotrope, à bords libres et parallèles, sans appui.

Nous verrons au paragraphe 2.1 la forme sous laquelle le problème a été posé et la solution mathématique qui en a été formulée.

Le paragraphe 2.2 montrera comment le calcul numérique de la déformation de la bande infinie appuyée peut être traité à partir du calcul de la déformation de la bande infinie sans appui soumise à une force concentrée.

2.1 - Etude de la fonction de Green dans la bande élastique, homogène, isotrope par la méthode des réflexions

Le problème général de la construction de la fonction de Green, G(z,z'), M-harmonique (c'est-à-dire $\left(\frac{\delta^2}{\delta x^2} + \frac{\delta^2}{\delta y^2}\right)^M G(z,z') = 0$), homogène et isotrope avec les conditions aux limites linéaires et homogènes, a fait l'objet d'une étude par J. Leray, professeur au Collège de France. Ces travaux donnent la structure de G(z,z') et montrent comment cette fonction a été construite dans le cas particulier de fonction biharmonique (c'est-à-dire M=2), permettant le calcul, par ordinateur, de la bande fléchie à bords libres parallèles.

La définition de la fonction de Green de la bande fléchie peut être explicitée dans les termes suivants [8].

Dans le plan de la variable complexe z=x+iy, considérons la bande B(a): |z| < a. Les deux bouts sont donc $z = i \infty$ et $z = -i \infty$.

Les charges et les réactions d'appui sont orthogonales à la bande, ainsi que sa déformation w(z); w(z) est donc une fonction réelle de la variable complexe z; les tensions sont des combinaisons linéaires des dérivées secondes de w(z). Le problème de la bande élastique est de calculer w(z), connaissant la bande, ses appuis et ses charges.

Supposons que la bande soit simplement appuyée en son bout $z = i \infty$ [ou $z = -i \infty$]. Appliquons à la bande une charge unité en z' = x' + y'; la réaction d'appui $-S_+$ en $i \infty$ [ou $-S_-$ en $-i \infty$] l'équilibre; la bande reste évidemment plane au voisinage de son bout non appuyé $z = -i \infty$ [ou $z = +i \infty$]; donnons aux appuis un déplacement tel que la déformation de la bande s'annule au bout non appuyé $z = -i \infty$ [ou $z = +i \infty$]; notons cette déformation

$$G(z,z')+\tilde{G}(z,z')$$
 [ou $G(z,z')-\tilde{G}(z,z')$]

On a ainsi défini deux fonctions G(z,z') et $\tilde{G}(z,z')$. G(z,z') sera nommée fonction de Green; quand on aura constaté que $\tilde{G}(z,z')$ est un polynôme en x, x', y-y', \tilde{G} sera nommée polynôme anti-asymptotique à la fonction de Green.

A l'aide du théorème de réflexion de Hans Lewy [1], J. Leray a démontré quatre théorèmes relatifs à la fonction de Green biharmonique applicable aux calculs des plaques à bords libres parallèles; d'où le nom de MRB (Méthode par Réflexions Biharmoniques) utilisé pour désigner le programme. Nous nous bornons à reproduire, ci-après, l'énoncé de ces théorèmes.

THEOREME D'EXISTENCE.

Il existe deux fonctions G(z,z') et G(z,z') ayant les propriétés suivantes : ce sont des fonctions holomorphes réelles des variables réelles (x,x',y-y') définies pour $x,|x| \le a,|x'| \le a$;

- $G(z,z') - \frac{1}{2\pi} |z-z'|^2 \log |z-z'|$ et $\tilde{G}(z,z')$ sont des fonctions biharmoniques de (x,y).

- G(z,z') et $\tilde{G}(z,z')$ vérifient les conditions aux bords (pour $x=\pm a$):

$$\frac{\partial^2 G}{\partial x^2} + v \frac{\partial^2 G}{\partial y^2} = \frac{\partial^3 G}{\partial x^3} + (2 - v) \frac{\partial^3 G}{\partial x \partial y^2} = 0$$

où v est une constante donnée: le coefficient d'élasticité de Poisson;

G(z,z'), $\tilde{G}(z,z')$ et toutes leurs dérivées sont à croissance lente (c'est-à-dire plus lente que $|y-y'|^k$, quand k est grand) pour $y-y'\to\pm\infty$; pour $y-y'\to+\infty$ [resp. $-\infty$], la fonction $G(z,z')-\tilde{G}(z,z')$ [resp. $G(z,z')+\tilde{G}(z,z')$] tend rapidement vers 0 (c'est-à-dire plus rapidement que $|y-y'|^k$ quel que soit k).

THEOREME D'UNICITE.

Considérons les fonctions réelles F(z) qui vérifient les conditions suivantes :

- elles sont définies et biharmoniques pour $|x| \le a$;
- elles vérifient les conditions aux bords du théorème d'existence;
- leurs dérivées d'ordre ≤ 6 sont continues et à croissance lente.

Ces fonctions sont les combinaisons linéaires à coefficients constants des six polynômes suivants qui vérifient évidemment les conditions imposées à F:

$$p_1(x, y) = 1, p_2 = x, p_3 = y, p_4 = xy, p_5 = vx^2 - y^2, p_6 = vx^2y - \frac{y^3}{3}.$$

Ce théorème a les corollaires immédiats que voici:

- G(z,z') et $\tilde{G}(z,z')$ sont uniques
- $\tilde{G}(z,z')$ est un polynôme en (x,y), combinaison des six polynômes précédents.

THEOREME DE SYMETRIE.

G(z,z') et $\tilde{G}(z,z')$ sont respectivement symétrique et anti-symétrique:

$$G(z,z') = G(z',z)$$
 et $\tilde{G}(z,z') = -\tilde{G}(z',z)$

Ce théorème montre que la bande sur appuis respecte le principe de réciprocité de la résistance des matériaux, c'est-à-dire le principe de conservation de l'énergie.

THEOREME SUR LE DEGRE DE $\hat{G}(z,z')$.

 $\tilde{G}(z,z')$ est un polynôme en (x,x',y-y') de degré 3.

Ce théorème permet de calculer, au moyen de G, la flexion de la bande sans appui, soumise à un système de forces équivalent à 0.

Le problème de la bande circulaire infinie M-harmonique peut être ramené, par transformation conforme, à celui d'une bande rectiligne.

Rappelons qu'une transformation conforme est une transformation biunivoque de la forme :

$$f(x,y) = g(x,y) + i \cdot h(x,y)$$

et vérifiant les conditions de Cauchy:

$$\frac{\partial g}{\partial x} = \frac{\partial h}{\partial y}$$
 et $\frac{\partial g}{\partial y} = \frac{\partial h}{\partial x}$

C'est ainsi que l'expression de G(z,z') dans la bande biharmonique à bords libres et rectilignes a pu être généralisé au cas de la bande hélicoïdale par Mme Bergeron [18], de la Faculté d'Orsay. Dans ce cas, $\tilde{G}(z,z')$ a été construit explicitement et $G(z,z')-\tilde{G}(z,z')$ a été construit sous forme de développements limités par rapport à C, courbure en plan de l'axe de la bande.

2.2 - Calcul de la bande Infinie appuyée et chargée

Le calcul de la bande infinie appuyée et chargée peut être mené à partir de tables pré-calculées des coefficients d'influence de la bande sans appui de la façon suivante.

2.2.1 - NOTATIONS

Adoptons les notations suivantes :

- z_i affixe de la force concentrée F_i .
- F_t mesure de la force concentrée comptée positivement quand elle s'exerce vers le bas.
- z, affixe du point d'étude k.
- $z_i(z_i)$ affixe de l'appui i(j); i et j entiers $(1 \le i, j \le n)$.
- d_i dénivellation de l'appui i, comptée positivement vers le bas.
- ε_i coefficient d'élasticité de l'appui j ou dénivellation de l'appui j pour une valeur unitaire de la réaction d'appui R_j .
- R_i mesure de la réaction d'appui j comptée positivement quand elle s'exerce vers le haut
- $G(z_k, z_l)$ coefficients d'influence de la force concentrée unitaire appliquée en z_l sur le déplacement vertical au point d'affixe z_k de la bande sans appui, défini au déplacement d'ensemble près $u_{xk}+v_{yk}+w$.
- $G_{x^2}(z_k, z_l)$ coefficients d'influence de la force concentrée unitaire appliquée en z_l sur les composantes du tenseur des courbures au point d'affixe z_k de la bande sans appuis. $G_{xy}(z_k, z_l)$
- $w(z_k, z_l)$ déplacement vertical du point d'affixe z_k dû à la force concentrée F_l appliquée en z_l de la bande appuyée, compté positivement vers le bas.
- $C_x(z_k, z_l)$ $C_y(z_k, z_l)$ $C_{xy}(z_k, z_l)$ composantes du tenseur des courbures au point d'affixe z_k dû à la force concentrée F_l appliquée en z_l .
- $M_x(z_k, z_l)$ $M_y(z_k, z_l)$ $C_{pr}(z_k, z_l)$ composantes du tenseur des moments au point d'affixe z_k dû à la force concentrée F_l appliquée en z_l de la bande appuyée.

2.2.2 - EXPRESSION DES REACTIONS D'APPUI, DE LA DEFORMATION ET DE LA FLEXION DE LA BANDE INFINIE APPUYEE

Il y a identité mécanique entre le problème de la bande appuyée qui est soumise à l'influence de la force extérieure F_l et celui de la bande sans appui qui est soumise à l'influence du même système de forces extérieures F_l et du système de réactions d'appui R_l .

D'après le théorème de superposition, on a :

$$w(z_{k}, z_{l}) = F_{l} \cdot G(z_{k}, z_{l}) - \sum_{j} R_{j} \cdot G(z_{k}, z_{j}) - (u_{x_{k}} + v_{y_{k}} + w)$$

$$C_{x}(z_{k}, z_{l}) = F_{l} \cdot G_{x^{2}}(z_{k}, z_{l}) - \sum_{j} R_{j} \cdot G_{x^{2}}(z_{k}, z_{j})$$

$$C_{y}(z_{k}, z_{l}) = F_{l} \cdot G_{y^{2}}(z_{k}, z_{l}) - \sum_{j} R_{j} \cdot G_{y^{2}}(z_{k}, z_{j})$$

$$C_{xy}(z_{k}, z_{l}) = F_{l} \cdot G_{xy}(z_{k}, z_{l}) - \sum_{j} R_{j} \cdot G_{xy}(z_{k}, z_{j})$$

$$(1)$$

Les inconnues R_j , u, v, w, au nombre de n+3, sont reliées entre elles par un système de n+3 relations. Les n premières traduisent les conditions d'appui :

$$w(z_i, z_i) = d_i + \varepsilon_i \cdot R_i$$
 pour i=1,n

Les trois dernières traduisent que le torseur des efforts extérieurs est nul (système des efforts extérieurs équivalent à zéro).

De façon explicite, on a:

e façon explicite, on a:

$$\sum_{j} [G(z_{i}, z_{j}) + \varepsilon_{i} \cdot \delta_{ij}] \cdot R_{j} + u_{x_{i}} + v_{y_{i}} + w = F_{l} \cdot G(z_{i}, z_{j}) - d_{i}$$

$$\sum_{j} x_{j} \cdot R_{j} = x_{l} \cdot F_{l}$$

$$\sum_{j} y_{j} \cdot R_{j} = y_{l} \cdot F_{l}$$

$$\sum_{j} R_{j} = F_{l}$$

$$(2)$$

Introduisons les notations suivantes pour désigner des vecteurs de n+3 composantes :

$$- \{R(z_l)\} = [R_1, ..., R_i, ..., R_n, u, v, w]$$

$$- \{G(z_l)\} = [G(z_1, z_l), ..., G(z_i, z_l), ..., G(z_n, z_l), x_l, y_l, 1]$$

$$- \{G_{x^2}(z_l)\} = [G_{x^2}(z_1, z_l), ..., G_{x^2}(z_i, z_l), ..., G_{x^2}(z_n, z_l), 0, 0, 0]$$

$$- \{G_{y^2}(z_l)\} = [G_{y^2}(z_1, z_l), ..., G_{y^2}(z_i, z_l), ..., G_{y^2}(z_n, z_l), 0, 0, 0]$$

$$- \{G_{xy}(z_l)\} = [G_{xy}(z_1, z_l), ..., G_{xy}(z_i, z_l), ..., G_{xy}(z_n, z_l), 0, 0, 0]$$

$$- \{D\} = [d_1, ..., d_i, ..., d_n, 0, 0, 0]$$

Il est à remarquer que, d'après le principe de réciprocité, on a :

$${G(z_l)} = [G(z_l, z_1), ..., G(z_l, z_i), ..., G(z_l, z_n), x_l, y_l, 1]$$

Notons également [A] la matrice des coefficients de l'application linéaire qui transforme $\{R(z_i)\}$ en $\{G(z_i)\}$:

$$[A] = \begin{bmatrix} G(z_1, z_1) + \varepsilon_1 & \cdots & \cdots & G(z_1, z_n) & x_1 & y_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ G(z_i, z_1) & \cdots & G(z_i, z_j) + \varepsilon_i \cdot \delta_{ij} & \cdots & G(z_i, z_n) & x_i & y_i & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_1) & \cdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_1) & \cdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_1) & \cdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_1) & \cdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & y_n & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_1 & \cdots & X_j & \cdots & X_n & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_1 & \cdots & Y_j & \cdots & y_n & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & y_n & 1 & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & y_n & 1 & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & y_n & 1 & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & y_n & 1 & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & y_n & 1 & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & y_n & 1 & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & y_n & 1 & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & y_n & 1 & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & y_n & 1 & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & y_n & 1 & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & y_n & 1 & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & y_n & 1 & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & y_n & 1 & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & y_n & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & y_n & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & y_n & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & y_n & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & y_n & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & x_n & \vdots \\ G(z_n, z_n) + \varepsilon_n & \vdots \\ G$$

Le système (2) s'écrit :

$$[A] \cdot \{R(z_i)\} = F_i \cdot \{G(z_i)\} - \{D\}$$

Sa solution revient à écrire :

$$\{R(z_t)\} = F_t \cdot [A]^{-1} \cdot \{G(z_t)\} - [A]^{-1} \cdot \{D\}$$
(3)

Le système (1) s'écrit, en supposant que $\{D\} = 0$:

$$w(z_{k}, z_{l}) = F_{l} \cdot [G(z_{k}, z_{l}) - \{G(z_{k})\} \cdot [A]^{-1} \cdot \{G(z_{l})\}]$$

$$C_{x}(z_{k}, z_{l}) = F_{l} \cdot \Big[G_{x^{2}}(z_{k}, z_{l}) - \{G_{x^{2}}(z_{k})\} \cdot [A]^{-1} \cdot \{G(z_{l})\}\Big]$$

$$C_{y}(z_{k}, z_{l}) = F_{l} \cdot \Big[G_{y^{2}}(z_{k}, z_{l}) - \{G_{y^{2}}(z_{k})\} \cdot [A]^{-1} \cdot \{G(z_{l})\}\Big]$$

$$C_{xy}(z_{k}, z_{l}) = F_{l} \cdot [G_{xy}(z_{k}, z_{l}) - \{G_{xy}(z_{k})\} \cdot [A]^{-1} \cdot \{G(z_{l})\}]$$

$$(4)$$

On passe des composantes du tenseur des courbures à celles du tenseur des moments par application des relations moments-courbures.

$$\begin{cases}
M_{x}(z_{k}, z_{l}) \\
M_{y}(z_{k}, z_{l}) \\
M_{xy}(z_{k}, z_{l})
\end{cases} = \frac{EI}{1 - v^{2}} \cdot \begin{pmatrix} 1 & v & 0 \\ v & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1 - v) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} C_{x}(z_{k}, z_{l}) \\ C_{y}(z_{k}, z_{l}) \\ C_{xy}(z_{k}, z_{l}) \end{pmatrix}$$
(5)

E: inertie par unité de largeur de la bande

I : module de déformation

2.2.3 - INFLUENCE D'UNE DENIVELLATION D'APPUI SUR LES REACTIONS D'APPUI

Supposons qu'aucune force extérieure ne soit appliquée sur la bande et imposons une dénivellation unitaire à l'appui i seul.

$$F_{t}=0$$

$$d_i = \delta_{ii}$$

Les composantes de $\{R(z_i)\}\$ sont alors les opposées des éléments de la ième colonne de $[A]^{-1}$.

D'où l'interprétation mécanique des éléments de $[A]^{-1}$: l'élément appartenant à la ième ligne et à la jème colonne représente l'opposé de la réaction d'appui j sous l'influence de la dénivellation unitaire de l'appui i.

2.2.4 - SURFACES D'INFLUENCE

Le calcul des surfaces d'influence n'a de sens qu'en l'absence de toute dénivellation d'appui.

Supposons que $\{D\} = 0$.

Par définition des surfaces d'influence, $F_i=1$.

- Surface d'influence des réactions d'appui.

Le calcul de la surface d'influence de la réaction d'appui i consiste à calculer la composante de rang i de $\{R(z_i)\}$ pour différentes valeurs de z_i en appliquant (3).

- Surface d'influence du déplacement vertical et des composantes du tenseur de flexion.

Le calcul de la surface d'influence de l'une des déformations consiste à appliquer l'une des formules de (1) dans laquelle z_k est fixe, z_l prenant différentes valeurs.

Il est numériquement avantageux de calculer au préalable le vecteur $\{G(z_k)\}\cdot [A]^{-1}$ dont les composantes sont indépendantes de la variable z_i . Les *n* premières d'entre elles représentent l'influence d'une dénivellation de chacun des appuis sur l'une des déformations recherchées en z_k , ceci en l'absence de toute force extérieure directement appliquée.

Les surfaces d'influence des composantes du tenseur des moments se déduiront des surfaces d'influence des composantes du tenseur des courbures par les relations (5).

2.2.5 · ETAT DE DEFORMATION, DE FLEXION ET D'EFFORT TRANCHANT

Le système des forces extérieures est fixe ; ce dernier, en pratique, est constitué par un ensemble de forces verticales F_h l=1,m.

La détermination d'un état de déformation consiste à appliquer la formule (1) dans le cas où z_k est variable et z_l est fixe.

Il est numériquement avantageux de calculer au préalable le vecteur $[A]^{-1} \cdot \left\{ \sum_{l=1}^{m} F_l \cdot G(z_l) \right\}$ dont les

composantes sont indépendantes de la variable z_k . Les *n* premières d'entre elles représentent d'après (2) les réactions d'appui sous l'influence du système de forces extérieures F_l , l=1,m.

La détermination des états de flexion se fait à partir de celles des états de déformations par application de (5)

Les efforts tranchants dans deux directions orthogonales Ox, Oy ont respectivement pour expressions:

$$T_{x} = \frac{EI}{1 - v^{2}} \cdot \frac{\partial}{\partial x} (C_{x} + C_{y}) = \frac{EI}{1 - v^{2}} \cdot \frac{\partial}{\partial x} (\Delta w)$$

$$T_{y} = \frac{EI}{1 - v^{2}} \cdot \frac{\partial}{\partial y} (C_{x} + C_{y}) = \frac{EI}{1 - v^{2}} \cdot \frac{\partial}{\partial y} (\Delta w)$$
(5)

 Δw est un invariant du tenseur des courbures. En un point donné, sa valeur est donc indépendante du référentiel.

Les expressions (5) montrent que T_x et T_y sont proportionnels aux composantes du vecteur gradient de la fonction de point Δw ; on peut donc parler du vecteur effort tranchant principal.

Notons T et φ son module et son orientation par rapport à Ox, on a :

$$T = \sqrt{T_x^2 + T_y^2}$$
 ; $\varphi = \text{Arctg} \frac{T_y}{T_x}$

La section d'orientation $\phi + \frac{\pi}{2}$ (c'est-à-dire celle dont la normale fait avec l'axe Ox un angle ϕ) est soumise à l'effort tranchant maximum T tandis que la section d'orientation ϕ n'est soumise à aucun effort tranchant.

3 - TRAITEMENT NUMERIQUE DU PROBLEME

L'étude de l'influence d'un système de forces extérieures appliquées en un ensemble de points noté (Z') sur le comportement de la plaque en un ensemble de points noté (Z) ne fait intervenir que les coefficients d'influence des forces appliquées aux éléments de (Z') sur les points d'étude (Z).

Cette étude peut donc se ramener avantageusement à un traitement de tables pré-calculées.

Dans le cas particulier de la bande homogène et isotrope à bords parallèles, ces tables peuvent être établies une fois pour toutes, et leur consistance notablement réduite grâce à la propriété de translation axiale des coefficients d'influence.

3.1 - Tables pré-calculées de coefficients d'influence de la déformation et du tenseur des courbures de la bande a bords rectilignes

3.1.1 - STRUCTURE DES TABLES TRANSLATABLES

Au préalable, rappelons les propriétés de la fonction de Green de la bande à bords rectilignes et de ses dérivées secondes :

- Réciprocité:

$$G(z,z') = G(z',z)$$

- Translation:

$$G(z,z') = G(z+ib,z'+ib)$$
, b étant un réel quelconque.

- Symétrie :

$$G(z,z') = G(\overline{z},\overline{z}')$$

G(z,z') = G(-z,-z') dans le cas de la bande à bords rectilignes.

$$G(z,z') = G\left(\frac{1}{c^2z}; \frac{1}{c^2z'}\right)$$

dans le cas de la bande à bords circulaires, c étant la courbure en plan de la bande.

Supposons que les ensembles (Z) et (Z') soient confondus et qu'ils représentent les affixes d'un maillage rectangulaire dont les côtés sont respectivement parallèle et perpendiculaire aux bords libres ; de plus supposons que le côté parallèle aux bords libres ait une valeur donnée.

Posons:

$$0 \le y \le NMAX \cdot \beta$$
 et $0 \le y' \le NMAX \cdot \beta$

NMAX étant le nombre de mailles dans le sens longitudinal (voir figure 3 et 4).

Vu les propriétés de G(z,z'), le calcul des valeurs des influences des forces appliquées en (Z') sur les déformations de (Z) peut être condensé au calcul des valeurs des influences de (z') sur (z), (z) étant le sous-ensemble de (Z) dont les éléments satisfont aux conditions suivantes :

y = 0; $-a < x \le 0$ dans le cas des bandes à bords rectilignes (voir figure 3).

y = 0; $-a < x \le 0$ dans le cas des bandes à bords circulaires (voir figure 4).

(z') étant le sous-ensemble de (Z') dont les éléments satisfont aux conditions suivantes :

$$y' \ge 0$$
; $-a \le x' \le a$

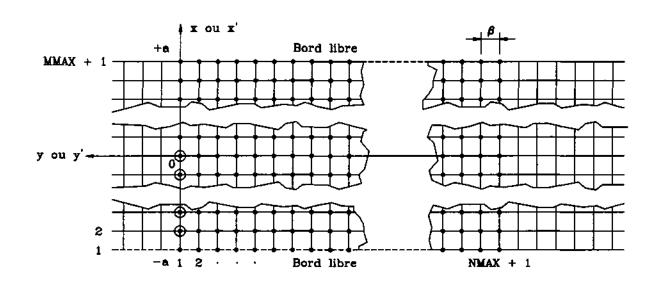


FIGURE 3 : Bande à bords rectilignes

O: Noeud d'étude appartenant au sous-ensemble (Z).

• : Noeud chargé appartenant au sous-ensemble (Z').

Nombre de noeuds d'étude = partie entière de (MMAX+1)/2; MMAX étant le nombre de mailles représentant la largeur droite de la bande.

Nombre de noeuds chargés = (MMAX+1) (NMAX+1)

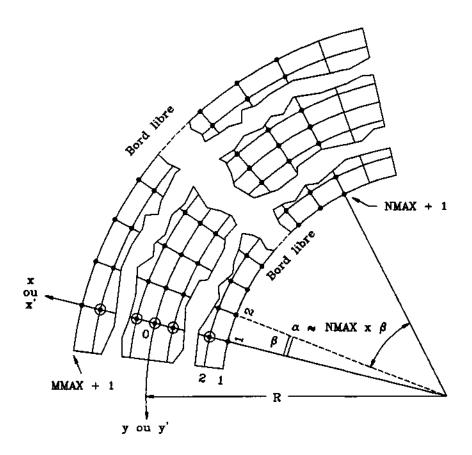


FIGURE 4 : Bande à bords circulaires

O: Noeud d'étude appartenant au sous-ensemble (Z).

• : Noeud chargé appartenant au sous-ensemble (Z').

3.1.2 - STRUCTURE DES TABLES TRANSLATABLES PRE-CALCULEES

D'après le paragraphe 3.1.1, les tables translatables qui ont été pré-calculées dépendent de deux paramètres :

- le coefficient de Poisson,
- la configuration du maillage.

Les tables ont été établies avec :

- deux valeurs du coefficient de Poisson, égales à 0,00 et 0,20,
- un maillage translatable à mailles carrées.

L'utilisateur a seulement la latitude de choisir la densité du maillage défini par MMAX, qui représente le nombre de mailles transversales avec la condition $6 \le MMAX \le 20$.

Précisons qu'une table de coefficients d'influence se rapporte à l'étude d'un certain type de déformation (déplacement vertical, courbure longitudinale, transversale ou de torsion) en un noeud d'affixe donnée.

Remarque: La création de table nécessite une définition d'un maillage carré. Il est à remarquer que ce maillage n'est pas à confondre avec la notion de maillage utilisée dans la méthode des éléments finis, qui constitue une discrétisation de la structure.

3.2 - Calcul numérique de la fonction de Green et de ses dérivées d'ordre 2

Nous exposons dans ce qui suit le calcul numérique qui constitue le noyau du programme MRB. Les résultats mathématiques utilisés, basés sur les travaux théoriques, ont été établis par ailleurs. Nous ne jugeons pas utile de les reproduire ici.

3.2.1 - EXPRESSION DE G(z, z')

a) Rappel de l'expression générale de G(z,z')

G(z,z') peut s'exprimer plus simplement en fonction des variables sans dimension :

$$\frac{z}{a} \operatorname{et} \frac{z'}{a} \implies G(z, z') = a^2 \cdot G\left(\frac{z}{a}, \frac{z'}{a}\right)$$
$$G(z, z') = a^2 \cdot G\left(\frac{z}{a}, \frac{z'}{a}\right)$$

Par la suite z et z'sont les affixes du point d'étude et du point de charge dans l'espace homothétique de l'espace tel que la largeur de la bande soit de :

$$2a = 0.50$$

On donne l'expression générale de G(z,z') pour Im(z-z') > 0 étant entendu que si Im(z-z') < 0, on se ramènera aux conditions précédentes en profitant de la première propriété de symétrie :

$$G(z,z') = G(\overline{z},\overline{z}')$$

$$8\rho \cdot G(z,z') = \text{Re}[\psi_2(z-z') + \phi_2(z+\overline{z}')]$$

$$+2\rho \cdot \text{Re}\left(1 - x\frac{\partial}{\partial x} - x'\frac{\partial}{\partial x'}\right)[\phi_1(z-z') + \psi_1(z+\overline{z}')]$$

$$+\rho^2 \cdot \text{Re}\left(1 - 2x\frac{\partial}{\partial x}\right)\left(1 - 2x'\frac{\partial}{\partial x'}\right)[\psi_0(z-z') + \phi_0(z+\overline{z}')]$$

où : Im = partie imaginaire ; Re = partie réelle

$$\phi_{1} = \frac{\phi_{0}(z+2a) + \phi_{0}(z-2a)}{2} \pm i \frac{z^{2}}{4} \qquad \phi_{2} = \left(i + \frac{\rho^{2}}{4} \frac{d^{2}}{dz^{2}}\right) \phi_{0}$$

$$\psi_{1} = \frac{\psi_{0}(z+2a) + \psi_{0}(z-2a)}{2} \pm i \frac{z^{2}}{4} \qquad \psi_{2} = \left(1 + \frac{\rho^{2}}{4} \frac{d^{2}}{dz^{2}}\right) \psi_{0}$$

avec:

$$\phi_{0}(z) = \int \frac{(z - \omega)^{2}}{2} \cdot \operatorname{tg} \pi \omega \cdot d\omega + \rho^{2} \int P_{2}(\omega) \cdot \operatorname{tg} \pi \omega \cdot d\omega + \sum_{k=2}^{\infty} \rho^{2k} \left(\frac{d}{dz}\right)^{2k-3} [P_{2k}(z) \cdot \operatorname{tg} \pi z]$$

$$\psi_{0}(z) = -\rho \int (z - \omega) \cdot \omega \cdot \cot g \pi \omega \cdot d\omega - \sum_{k=1}^{\infty} \rho^{2k+1} \left(\frac{d}{dz}\right)^{2k-2} [P_{2k+1}(z) \cdot \cot g \pi z]$$

$$P_{2k}(z) = \frac{1}{(2k)!} \prod_{n=\frac{1}{2}-k}^{k-\frac{1}{2}} (z - n) \qquad \left(n - \frac{1}{2} \text{ entier}\right)$$

$$P_{2k+1}(z) = \frac{1}{(2k+1)!} \prod_{m=-k}^{k} (z - m) \qquad (m \text{ entier})$$

On en déduit les expressions explicites suivantes des fonctions φ_i et ψ_i :

$$\varphi_0(z) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(z-\omega)^2}{2} \cdot \operatorname{tg} \pi \omega \cdot d\omega + \rho^2 \int_{-\infty}^{\infty} P_2(\omega) \cdot \operatorname{tg} \pi \omega \cdot d\omega + \sum_{k=2}^{\infty} \rho^{2k} \frac{d^{2k-3}}{dz^{2k-3}} [P_{2k}(z) \cdot \operatorname{tg} \pi z]$$

$$\begin{split} \psi_0(z) &= -\rho \int_{-\infty}^{z} (z - \omega) \cdot \omega \cdot \cot g \pi \omega \cdot d\omega - \sum_{k=1}^{\infty} \rho^{2k+1} \frac{d^{2k-2}}{dz^{2k-2}} [P_{2k+1}(z) \cdot \cot g \pi z] \\ \phi_1(z) &= -\int_{-\infty}^{z} \frac{(z - \omega)^2}{2} \cdot \cot g \pi \omega \cdot d\omega - \rho^2 \int_{-\infty}^{z} \frac{\omega^2}{2} \cdot \cot g \pi \omega \cdot d\omega \\ &- \sum_{k=1}^{\infty} \rho^{2k+2} \frac{d^{2k-1}}{dz^{2k-1}} \left[\frac{z}{2k+2} \cdot P_{2k+1}(z) \cdot \cot g \pi z \right] \\ \psi_1(z) &= \rho \int_{-\infty}^{z} (z - \omega) \cdot \omega \cdot \tan \omega \cdot d\omega + \sum_{k=1}^{\infty} \rho^{2k+1} \frac{d^{2k-2}}{dz^{2k-2}} \left[\frac{z}{2k+1} \cdot P_{2k}(z) \cdot \tan \omega \right] \\ \phi_2(z) &= +\int_{-\infty}^{z} \frac{(z - \omega)^2}{2} \cdot \tan \omega \cdot d\omega - \rho^2 \int_{-\infty}^{z} \frac{1}{2} \left(\omega^2 + \frac{1}{4} \right) \cdot \tan \omega \cdot d\omega \\ &+ \sum_{k=1}^{\infty} \rho^{2k+2} \frac{d^{2k-1}}{dz^{2k-1}} \left[\frac{1}{2k+2} \left(\frac{z^2}{2k+1} + \frac{1}{4} \right) \cdot P_{2k}(z) \cdot \tan \omega \right] \\ \psi_2(z) &= -\rho \int_{-\infty}^{z} (z - \omega) \cdot \omega \cdot \cot g \pi \omega \cdot d\omega - \sum_{k=0}^{\infty} \rho^{2k+3} \frac{d^{2k}}{dz^{2k}} \left[\frac{1}{2k+3} \left(\frac{z^2}{2k+3} + \frac{1}{4} \right) \cdot P_{2k+1}(z) \cdot \cot g \pi z \right] \end{split}$$

b) Développement de G(z,z') et de ses dérivées secondes suivant les puissances de ρ

La valeur de ν relative au béton est comprise entre 0,15 et 0,30 ; donc ρ appartient à l'intervalle :

$$\left[\frac{1}{5};\frac{1}{4}\right]$$

Le programme évalue G(z,z') et ses dérivées secondes en calculant l'expression de leur développement suivant les puissances de ρ jusqu'au terme d'ordre 4 inclus.

Pour Im(z-z') > 0 l'expression de ce développement est la suivante :

$$8\rho \cdot G(z,z') = \frac{1}{2} \int_{z}^{z+\overline{z}'} (z+\overline{z}'-\omega)^2 \cdot \operatorname{tg}\pi\omega \cdot d\omega + \alpha\rho + \beta\rho^2 + \gamma\rho^3 + \delta\rho^4 + \varepsilon(\rho^4)$$

avec:

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$$

$$\begin{cases} \alpha_1 = -\int_{z-z'}^{z-z'} (z - z' - \omega) \cdot \omega \cdot \cot \pi \omega \cdot d\omega \\ \alpha_2 = -\int_{z-z'}^{z-z'} (z - z' - \omega)^2 \cdot \cot \pi \omega \cdot d\omega \\ \alpha_3 = 2(x - x') \int_{z-z'}^{z-z'} (z - z' - \omega) \cdot \cot \pi \omega \cdot d\omega \end{cases}$$

$$\beta = \beta_1 + \beta_2$$

$$\begin{cases} \beta_1 = \frac{1}{2} \int_{z-z'}^{z+\overline{z}'} (\omega^2 + \frac{1}{4}) \cdot \tan \omega \cdot d\omega + \frac{5}{2} \int_{z-z'}^{z+\overline{z}'} (z - \overline{z}' - \omega)^2 \cdot \tan \omega \cdot d\omega \\ \beta_2 = -2(x + x') \int_{z-z'}^{z+\overline{z}'} (z + \overline{z}') \cdot \tan \omega \cdot d\omega + 4xx' \int_{z-z'}^{z+\overline{z}'} \tan \omega \cdot d\omega \end{cases}$$

$$\begin{split} \gamma_1 &= -\int\limits_{-\infty}^{z-z'} \omega^2 \cdot \cot \pi \omega \cdot d\omega - \frac{1}{3}(z-z') \left(\frac{(z-z')^2}{2} + \frac{1}{4} \right) \cot \pi (z-z') \\ \gamma_2 &= (x-x')(z-z')^2 \cdot \cot \pi (z-z') - \int\limits_{-\infty}^{z-z'} (z-z'-\omega) \cdot \cot \pi \omega d \cdot \omega \\ \gamma_3 &= 2(x-x') \int\limits_{-\infty}^{z-z'} \omega \cdot \cot \pi \omega \cdot d\omega + 4xx'(z-z') \cdot \cot \pi (z-z') \\ \delta_1 &= \frac{(z+\overline{z'})}{3} \left((z+\overline{z'})^2 - \frac{1}{4} \right) \cdot \tan \pi (z+\overline{z'}) - (x+x') \left((z+\overline{z'})^2 - \frac{1}{4} \right) \cdot \tan \pi (z+\overline{z'}) \\ \delta_2 &= \frac{1}{2} \int\limits_{-\infty}^{z+\overline{z'}} \left(\omega^2 - \frac{1}{4} \right) \cdot \tan \omega \cdot d\omega + \frac{1}{8} \frac{\partial}{\partial z} \left[\left(\frac{(z+\overline{z'})^2}{3} + \frac{1}{4} \right) \left((z+\overline{z'})^2 - \frac{1}{4} \right) \cdot \tan \pi (z+\overline{z'}) \right] \\ \delta_3 &= -\frac{x+x'}{3} \frac{\partial}{\partial z} \left[(z+\overline{z'}) \left((z+\overline{z'})^2 - \frac{1}{4} \right) \cdot \tan \pi (z+\overline{z'}) \right] \\ \delta_4 &= 2xx' \frac{\partial}{\partial z} \left[\left((z-\overline{z'})^2 - \frac{1}{4} \right) \cdot \tan \pi (z+\overline{z'}) \right] \end{split}$$

L'expression précédente de G(z,z') peut se mettre sous la forme :

$$8\rho G(z,z') = -G_3 + \rho \cdot (G_1 + G_2) + \rho^2 \cdot (G_3 + G_4 + G_5) + \rho^3 \cdot (G_6 + G_7 + G_8 - G_2)$$
$$+ \rho^4 \cdot (G_9 + G_{10} - G_4) + \varepsilon(\rho^4)$$

dans laquelle on a posé d'une part :

$$S(z) = \frac{1}{2} \int_{0}^{z} \left(\omega^{2} - \frac{1}{4} \right) \cdot \operatorname{tg} \pi \omega \cdot d\omega$$

et d'autre part :

$$G_{1} = -\frac{1}{\pi}(z - z')(\overline{z} - \overline{z}') \cdot \log|2 \sin \pi(z - z')|$$

$$G_{2} = -(\overline{z} - \overline{z}')\left(S\left(z - z' + \frac{1}{2}\right) - S\left(z - z' - \frac{1}{2}\right)\right)$$

$$G_{3} = \frac{1}{2}(z + \overline{z}')\left\{(z + \overline{z}')\left[S(z + \overline{z}' + 1) + S(z + \overline{z}' - 1) - 2S(z + \overline{z}')\right] - S(z + \overline{z}' + 1) + S(z + \overline{z}' - 1)\right\}$$

$$+ \frac{1}{8}\left[6S(z + \overline{z}') + S(z + \overline{z}' + 1) + S(z + \overline{z}' - 1)\right]$$

$$G_{4} = S(z + \overline{z}')$$

$$G_{5} = -\frac{1}{\pi}(z - z')(\overline{z} - \overline{z}') \cdot \log|2 \cos \pi(z + \overline{z}')|$$

$$G_{6} = \frac{1}{6}\left((z - z')^{2} + \frac{1}{2}\right)(z - z') \cdot \cot \pi(z - z')$$

$$G_{7} = -4xx'(z - z') \cdot \cot \pi(z - z')$$

$$G_{8} = -(x - x')(z - z')^{2} \cdot \cot \pi(z - z')$$

$$G_9 = \frac{1}{2} \left((z + \overline{z}')^2 - \frac{1}{4} \right) \left(\frac{z + z'}{2} + \frac{4}{3} (\overline{z} + z') \right) \cdot \operatorname{tg} \pi(z + \overline{z}')$$

$$G_{10} = \left(\frac{1}{4} (z + \overline{z}')^2 + \frac{1}{3} (z + \overline{z}') (\overline{z} + z') - 4xx' - \frac{1}{16} \right) \left((z + \overline{z}') \cdot \operatorname{tg} \pi(z + \overline{z}') + \frac{\pi}{2} \cdot \frac{(z + \overline{z}')^2 - \frac{1}{4}}{\cos^2 \pi(z + \overline{z}')} \right)$$

Les dérivées partielles d'ordre 2 par rapport à x et y s'expriment linéairement en fonction des dérivées partielles d'ordre 3 par rapport à z et \overline{z} :

$$\frac{\partial^2 G(z,z')}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 G(z,z')}{\partial z^2} + 2 \frac{\partial^2 G(z,z')}{\partial z \cdot \partial \overline{z}}$$

$$\frac{\partial^2 G(z,z')}{\partial y^2} = -\frac{\partial^2 G(z,z')}{\partial z^2} + 2 \frac{\partial^2 G(z,z')}{\partial z \cdot \partial \overline{z}}$$

$$\frac{\partial^2 G(z,z')}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2 G(z,z')}{\partial z^2}$$

Ces dérivées peuvent aussi se mettre sous la forme :

$$8\rho \cdot \frac{\partial^{2}G(z,z')}{\partial z^{2}} = -G'_{3} + \rho \cdot (G'_{1} + G'_{2}) + \rho^{2} \cdot (G'_{3} + G'_{4} + G'_{5})$$

$$+ \rho^{3} \cdot (G'_{6} + G'_{7} + G'_{8} - G'_{2}) + \rho^{4} \cdot (G'_{9} + G'_{10}) + \varepsilon(\rho^{4})$$

$$8\rho \cdot \frac{\partial G(z,z')}{\partial z \partial \overline{z}} = \rho \cdot (G''_{1} + G''_{2}) + \rho^{2} \cdot G''_{5} + \rho^{3} \cdot (G''_{7} + G''_{8} - G''_{2}) + \rho^{4} \cdot G''_{9} + \varepsilon(\rho^{4})$$

en posant:

$$G'_{1} = -(\overline{z} - \overline{z}') \left(2 \cot \pi (z - z') - \frac{\pi (z - z')}{\sin^{2} \pi (z - z')} \right)$$

$$G'_{2} = (\overline{z} - \overline{z}') \left(\cot \pi (z - z') - \frac{\pi (z - z')}{\sin^{2} \pi (z - z')} \right)$$

$$G'_{3} = -\frac{1}{\pi} \operatorname{Log} | 2 \cos \pi (z + \overline{z}') |$$

$$G'_{4} = (z + \overline{z}') \cdot \operatorname{tg} \pi (z + \overline{z}') + \frac{\pi}{2} \cdot \frac{(z + \overline{z}')^{2} - 0.25}{\cos^{2} \pi (z + \overline{z}')}$$

$$G'_{5} = 2(\overline{z} - \overline{z}') \cdot \operatorname{tg} \pi (z + \overline{z}') + \frac{\pi (z - z')(\overline{z} - \overline{z}')}{\cos^{2} \pi (z + \overline{z}')}$$

$$G'_{6} = (z - z') \cdot \cot \pi (z - z') - \frac{\pi (z - z')^{2} + \frac{1}{6}}{\sin^{2} \pi (z - z')} + \frac{\pi^{2}}{3} \cdot \left((z - z')^{3} + \frac{1}{2} (z - z') \right) \cdot \frac{\cos \pi (z - z')}{\sin^{3} \pi (z - z')}$$

$$G'_{7} = -4x' \cot \pi (z - z') + \frac{4\pi \cdot x' \cdot (2x + z - z')}{\sin^{2} \pi (z - z')} - 8\pi^{2} x x' (z - z') \cdot \frac{\cos \pi (z - z')}{\sin^{3} \pi (z - z')}$$

$$G'_{8} = -2(x - x' + z - z') \cdot \cot \pi(z - z') + \pi(4(x - x') + z - z') \cdot \frac{z - z'}{\sin^{2}\pi(z - z')}$$

$$-2\pi^{2}(x - x')(z - z')^{2} \cdot \frac{\cos \pi(z - z')}{\sin^{3}\pi(z - z')}$$

$$G'_{9} = \frac{1}{2}(z + \overline{z}') \cdot \tan \pi(z + \overline{z}') + \frac{\pi}{4} \cdot \frac{(z + \overline{z}')^{2} - 0.25}{\cos^{2}\pi(z + \overline{z}')}$$

$$+ \left(4x - \frac{z + \overline{z}'}{2}\right) \left(\tan \pi(z + \overline{z}') + \frac{2\pi(z + \overline{z}')}{\cos^{2}\pi(z + \overline{z}')} + \frac{\pi^{2} \cdot \tan \pi(z + \overline{z}') \cdot ((z + \overline{z}')^{2} - 0.25)}{\cos^{2}\pi(z + \overline{z}')}\right)$$

$$G'_{18} = \left(\frac{(z + \overline{z}')^{2} - 0.25 + (z + \overline{z}')(\overline{z} + z')}{3} - 4xx'\right) \left(6\pi \cdot \frac{0.5 + \pi(z + \overline{z}') \cdot \tan \pi(z + \overline{z}')}{\cos^{2}\pi(z + \overline{z}')} + \pi[(z + \overline{z}')^{2} - 0.25]\right) \left[\frac{2\pi^{2} \cdot \tan^{2}\pi(z + \overline{z}')}{\cos^{2}\pi(z + \overline{z}')} + \frac{\pi^{2}}{\cos^{4}\pi(z + \overline{z}')}\right]$$

$$\left\{\frac{6\pi[0.5 + \pi(z + \overline{z}') \tan \pi(z + \overline{z}')]}{\cos^{2}\pi(z + \overline{z}')} + \pi[(z + \overline{z}')^{2} - 0.25]\right] \left[\frac{2\pi^{2} \cdot \tan^{2}\pi(z + \overline{z}')}{\cos^{2}\pi(z + \overline{z}')} + \frac{\pi^{2}}{\cos^{4}\pi(z + z')}\right]$$

$$G''_{1} = -\frac{1}{\pi} \text{Log} \left[2 \sin \pi(z - z') \right] - (z - z') \cot \pi(z - z')$$

$$G''_{2} = (z - z') \cot \pi(z - z')$$

$$G''_{3} = (z - z') \tan \pi(z - z') + \frac{1}{\pi} \text{Log} \left[2 \cos \pi(z + \overline{z}')\right]$$

$$G''_{3} = -2x' \cot \pi(z - z') + \frac{2\pi x'(z - z')}{\sin^{2}\pi(z - z')}$$

$$G''_{3} = \frac{5}{3}\left[(z + \overline{z}') \tan \pi(z + \overline{z}') + \frac{1}{2}[(z + \overline{z}')^{2} - 0.25] \frac{\pi}{\cos^{2}\pi(z + \overline{z}')}\right]$$

$$+ \left[\frac{1}{3}(z + \overline{z}') - 2x'\right] \left[\tan \pi(z + \overline{z}') + \frac{2\pi(z + z')}{\cos^{2}\pi(z + \overline{z}')} + \frac{\pi^{2} \tan \pi(z + \overline{z}')}{\cos^{2}\pi(z + \overline{z}')}\right]$$

c) Transformation de l'intégrale S(Z) en série

L'expression explicite de S(z) est la suivante :

$$S(z) = \frac{1}{4} \int_{i-\infty}^{z} \left(\omega^2 - \frac{1}{4}\right) \left[\operatorname{tg} \pi \omega - i\right] d\omega + \frac{1}{4} \int_{-i-\infty}^{z} \left(\omega^2 - \frac{1}{4}\right) \left[\operatorname{tg} \pi \omega + i\right] d\omega$$

La partie impaire de l'expression sous le signe somme fait que :

$$\int_{-i\infty}^{z} \left(\omega^{2} - \frac{1}{4} \right) \operatorname{tg} \pi \omega d\omega = \int_{i\infty}^{z} \left(\omega^{2} - \frac{1}{4} \right) \operatorname{tg} \omega \pi d\omega$$

La partie paire de l'expression sous le signe somme fait que :

$$\int_{-i\infty}^{z} i \left(\omega^2 - \frac{1}{4}\right) d\omega = -\int_{i\infty}^{z} i \left(\omega^2 - \frac{1}{4}\right) d\omega + \int_{-z}^{z} i \left(\omega^2 - \frac{1}{4}\right) d\omega$$

Il s'ensuit que:

$$S(z) = \frac{1}{2} \int_{i\infty}^{z} \left(\omega^{2} - \frac{1}{4} \right) [\log \pi \omega - i] d\omega + \frac{i}{2} \left(\frac{z^{2}}{3} - \frac{z}{4} \right)$$

Intégrons par parties :

$$S(z) = -\frac{1}{2} \left(z^2 - \frac{1}{4} \right) \left[\frac{1}{4} \text{Log} \mid 2 \cos \pi z \mid +iz \right] + \frac{i}{2} \left(\frac{z^3}{3} - \frac{z}{4} \right) + S_1(z)$$

avec:

$$S_1(z) = \int_{-i\infty}^{z} \omega \left[\frac{1}{\pi} \text{Log} \left[2\cos \pi \omega \right] + i\omega \right] d\omega$$

comme:

$$\frac{1}{\pi} \text{Log} | 2 \cos \pi \omega | + i \omega = \frac{1}{\pi} \text{Log} | 1 + e^{2i\pi\omega} |$$

et que :

$$|e^{i\pi\omega}| < 1$$

nous pouvons développer le logarithme en série entière

$$\text{Log} | 1 + e^{2i\pi\omega} | = e^{2i\pi\omega} - e^{4i\pi\omega} + ... + (-)^{n-1} \frac{e^{2i\pi\pi\omega}}{n} + ...$$

d'où:

$$S_1(z) = \sum_{n=1}^{\infty} (-)^n e^{2i\pi nz} \left[\frac{iz}{2(n\pi)^2} - \frac{1}{4(n\pi)^3} \right]$$

En définitive nous avons pour Im(z) > 0

$$S(z) = -\frac{1}{2\pi} \left(z^2 - \frac{1}{4} \right) \text{Log} \left[2\cos \pi z \right] - \frac{iz^3}{3} + \sum_{n=1}^{\infty} (-)^n e^{2in\pi z} \left[\frac{iz}{2(n\pi)^2} - \frac{1}{4(n\pi)^3} \right]$$

3.2.2 - EXPRESSION DE $ilde{G}(z,z')$ POLYNOME ANTI-ASYMPTOTIQUE DE LA FONCTION DE GREEN

a) Rappel de l'expression générale de $\tilde{G}(z,z')$

$$8\rho\bar{G}(z,z') = \frac{(1+\rho)(3\rho-1)}{2(1-\rho)}(x^2+x'^2)(y-y')$$
$$-(1+\rho)xx'(y-y') + \frac{(1+\rho)^2}{6(1-\rho)}(y-y')^3 + \frac{(1+\rho)(1-5\rho+6\rho^2)}{24(1-\rho)^2}(y-y')$$

b) Développement de $\tilde{G}(z,z')$ et de ses dérivées secondes suivant les puissances de ρ .

Ayant développé l'expression de $\tilde{G}(z,z')$, et de ses dérivées d'ordre 2 suivant les puissances de ρ , il nous faut chercher les valeurs anti-asymptotiques correspondant à ces développements limités jusqu'à l'ordre 4.

$$8\rho\bar{G}(z,z') = (1+\rho)xx'(y-y') - \frac{1}{24}(1-2\rho-4\rho^2+4\rho^4+\epsilon(\rho^4))(y-y')$$
$$-\frac{1}{6}(1+3\rho+4\rho^2+4\rho^3+4\rho^4+\epsilon(\rho^4))(y-y')^3$$
$$+\frac{1}{2}(1-\rho-4\rho^2-4\rho^3-4\rho^4+\epsilon(\rho^4))(x^2+x'^2)(y-y')$$

et pour les dérivées secondes :

$$8\rho \frac{\partial^2 \tilde{G}(z,z')}{\partial x^2} = (1 - \rho - 4\rho^2 - 4\rho^3 - 4\rho^4 + \varepsilon(\rho^4))(y - y')$$

$$8\rho \frac{\partial^2 \tilde{G}(z,z')}{\partial y^2} = (1 + 3\rho + 4\rho^2 + 4\rho^3 + 4\rho^4 + \varepsilon(\rho^4))(y - y')$$

$$8\rho \frac{\partial^2 \hat{G}(z, z')}{\partial x \partial y} = (1 + \rho)x' + (1 - \rho - 4\rho^2 - 4\rho^3 - 4\rho^4 + \varepsilon(\rho^4))x$$

Ordonnons suivant les puissances de ρ :

$$8\rho \hat{G}(z,z') = \left[xx' - \frac{1}{24} - \frac{(y-y')^2}{6} + \frac{(x^2 + x'^2)}{2}\right](y-y') + \alpha\rho + \beta\rho^2 + \gamma\rho^3 + \delta\rho^4 + \varepsilon(\rho^4)$$

avec

$$\alpha = \left[xx' + \frac{1}{12} - \frac{(y - y')^2}{2} - \frac{(x^2 + x'^2)}{2} \right] (y - y')$$

$$\beta = \left[\frac{1}{6} - \frac{2}{3} (y - y')^2 - 2(x^2 + x'^2) \right] (y - y')$$

$$\gamma = \left[-\frac{2}{3} (y - y')^2 - 2(x^2 + x'^2) \right] (y - y')$$

$$\delta = \left[-\frac{1}{6} - \frac{2}{3} (y - y')^2 - 2(x^2 + x'^2) \right] (y - y')$$

$$8\rho \frac{\partial^2 \bar{G}(z,z')}{\partial x^2} = (y-y') - \rho(y-y') - 4\rho^2(y-y') - 4\rho^3(y-y') - 4\rho^4(y-y') + \varepsilon(\rho^4)$$

$$8\rho \frac{\partial^2 G(z,z')}{\partial y^2} = (y-y') + 3\rho(y-y') + 4\rho^2(y-y') + 4\rho^3(y-y') + 4\rho^4(y-y') + \epsilon(\rho^4)$$

$$8\rho \frac{\partial^2 \tilde{G}(z,z')}{\partial x \partial y} = (x+x') + \rho(x'-x) - 4\rho^2 x - 4\rho^3 x - 4\rho^4 x + \varepsilon(\rho^4)$$

On peut vérifier que les coefficients des développements limités en ρ de G(z,z') et de ses dérivées secondes tendent rapidement vers leurs valeurs anti-asymptotiques quand $\text{Im}(z\pm z') \to \pm \infty$

3.3 - ETUDE LOCALE DE LA FLEXION AU DROIT D'UNE FORCE CONCENTREE.

La fonction de Green présente quand z tend vers z' une singularité qui est mise en évidence par le terme G_1 du paragraphe 3.2.1 (B).

Au voisinage de z' on peut écrire :

$$G(z,z') = \frac{1}{8\pi}(z-z')(\overline{z}-\overline{z}')\operatorname{Log}|z-z'| + g(z,z')$$

où g(z,z') est une fonction régulière.

Cette expression et ses dérivées premières sont bornées ; par contre ses dérivées secondes tendent vers l'infini.

L'étude de la flexion au droit d'une force concentrée n'a donc de sens que si la force est répartie sur un domaine de dimension non nulle.

Pour l'étude de cette partie singulière, nous admettons que le domaine d'application (C) des forces extérieures est un cercle de rayon R et que la loi de distribution à l'intérieur de ce domaine est uniforme; en outre on s'intéresse à l'effort de flexion non pas en $\Omega(z')$ le centre de (C), mais à la valeur moyenne prise le long d'une coupure radiale à (C) de longueur 2r et orientée selon une direction normale à celle de la flexion longitudinale (voir figure 5).

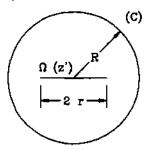
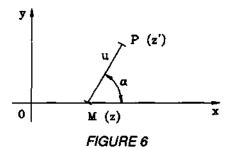


FIGURE 5

a) Expression de la courbure $C_{yz}(z,z')$ en un point M(z) de 0x sous l'influence d'une force concentrée en P (voir figure 6).



Posons:

$$\Gamma(x-x',y-y') = \frac{1}{8\pi}(z-z')(\overline{z}-\overline{z}')\operatorname{Log}|z-z'|$$

ei

$$Z = z - z' = (x - x') + i(y - y') = X + iY$$

il vient:

$$\Gamma(X,Y) = \frac{1}{16\pi}(X^2 + Y^2) \operatorname{Log}(X^2 + Y^2)$$

et

$$16\pi \frac{\partial^2 \Gamma(X,Y)}{\partial Y^2} = 2[\text{Log}(X^2 + Y^2) + 1] + \frac{4Y^2}{X^2 + Y^2}$$

Sachant que

$$X = u \cos \alpha$$

$$Y = u \sin \alpha$$

nous avons encore:

$$C_{y^2}(z,z') = \frac{1}{4\pi EI} \left[\text{Log } u + \frac{1}{2} + \sin^2 \alpha \right] + g_{y^2}(z,z')$$

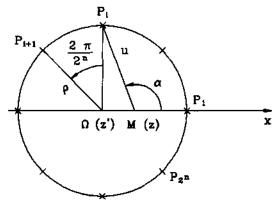


FIGURE 7

b) Expression de la courbure $C_{y^2}(z,z')$ en un point M(z) de 0x sous l'influence d'une charge circulaire uniforme de centre $\Omega(z')$ et de rayon ρ (voir figure 7).

Nous utilisons un procédé de dédoublement qui consiste à étudier l'influence de 2^n forces concentrées $P_1, P_2, \ldots, P_i, \ldots, P_{2^n}$ équidistantes entre elles de $\frac{2\pi}{2^n}\rho$ et d'égale mesure $\frac{1}{2^n}$ pour n entier variant de 0 à l'infini.

La valeur moyenne de $C_{2}(z,z')$ est :

$$C_{y^2}(z,z') = \frac{1}{4\pi EI}(C_1 + C_2) + g_{y^2}(z,z')$$

avec

$$C_1 = \frac{1}{2^{n+1}} \operatorname{Log}[\rho^{2^{n+1}} + d^{2^{n+1}} - \rho^{2^n} d^{2^n} \cos(2^n \theta)] + \frac{1}{2}$$

$$C_2 = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{d}{\rho}\right)^{2^{n+1}-2} + 1 + \left(\frac{d}{\rho}\right)^{2^n-2} \left[\left(\frac{d}{\rho}\right)^2 + 1\right] \cos(2^n \theta)}{\left(\frac{d}{\rho}\right)^{2^{n+1}} + 1 - 2\left(\frac{d}{\rho}\right)^{2^n} \cos(2^n \theta)}$$

La valeur moyenne recherchée est la limite de l'expression précédente quand $n \to \infty$

$$C_{y^2}(z,z') = \frac{1}{4\pi EI} [\text{Log}\,\rho + 1] + g_{y^2}(z,z')$$
 si $\rho > a$

$$C_{y^2}(z, z') = \frac{1}{4\pi EI} \left[\text{Log } d + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \frac{\rho^2}{d^2} \right] + g_{y^2}(z, z') \quad \text{si} \quad \rho < d$$

c) Valeur moyenne sur un rayon r, de la courbure $C_{y^2}(z,z')$ engendrée par une charge uniformément répartie sur la surface d'un cercle de rayon ρ et de centre $\Omega(z')$ (voir figure 8).

$$C_{y^2}(z,z') = \frac{1}{4\pi EI} \left[\text{Log } r - \frac{1}{2} + \frac{2\rho}{r} - \frac{1}{2} \frac{\rho^2}{r^2} \right] + g_{y^2}(z,z') \quad si \quad r > \rho$$

$$C_{y^2}(z,z') = \frac{1}{4\pi EI} [\text{Log}\,\rho + 1] + g_{y^2}(z,z')$$
 si $r < \rho$

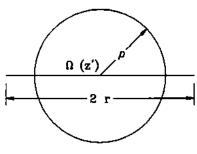


FIGURE 8

d) Valeur moyenne, sur un rayon r, de la courbure C_{y^2} engendrée par une charge uniformément répartie sur la surface d'un cercle de rayon R.

Pour r > R

$$C_{y^2} = \frac{1}{\pi E I R^2} \int_0^R \frac{1}{4\pi} \left[\text{Log } r - \frac{1}{2} + \frac{2\rho}{r} - \frac{1}{2} \frac{\rho^2}{r^2} \right] 2\pi \rho d\rho + g_{y^2}(z, z')$$

$$C_{y^2} = \frac{1}{4\pi EI} \left[\text{Log} \, r - \frac{1}{2} + \frac{4R}{3r} - \frac{1}{4} \frac{R^2}{r^2} \right] + g_{y^2}(z, z')$$

Pour r = R

$$C_{y^2} = \frac{1}{4\pi EI} \left[\text{Log } r + \frac{7}{12} \right] + g_{y^2}(z, z')$$

Pour r < R

$$C_{y^2} = \frac{1}{4\pi^2 EIR^2} \left[\pi r^2 \left(\log r + \frac{7}{12} \right) + 2\pi \int_r^R (\log \rho + 1) d\rho \right] + g_{y^2}(z, z')$$

$$C_{y^2} = \frac{1}{4\pi EI} \left[\text{Log}R + \frac{1}{2} + \frac{1}{12} \frac{r^2}{R^2} \right] + g_{y^2}(z, z')$$

e) Correction du moment de flexion au droit des appuis.

Les tables de $C_{2}(z,z')$ sont dressées à l'aide de l'approximation suivante :

$$C_{y^2}(z,z') = \frac{1}{4\pi EI} \left[\text{Log } 0,033 + \frac{1}{2} \right] + g_{y^2}(z,z')$$

Cette approximation suffit pour l'étude de la flexion des points courants qui ne sont pas soumis à des charges concentrées exceptionnelles. Tel n'est pas le cas des zones d'appui qui sont soumises à l'influence de réactions pouvant atteindre plusieurs milliers de kN.

Nous devons donc apporter sur le moment de flexion longitudinal une correction manuelle qui résulte de la différence entre les deux expressions de C_{v^2}

$$\Delta M_y = \frac{P}{4\pi} \left[\text{Log} \frac{R}{0.033} - 1 + \frac{4R}{3r} - \frac{1R^2}{4r^2} \right]$$
 pour $R < r$

$$\Delta M_y = \frac{P}{4\pi} \left[\text{Log} \frac{R}{0.033} + \frac{1}{12} \frac{r^2}{R^2} \right]$$
 pour $R > r$

P désigne la valeur de la réaction de l'appui considéré. Il n'est pas tenu compte, dans cette correction, de l'influence du coefficient de Poisson.

Nous sommes conduits à apporter sur le moment de flexion transversale ΔM_x la même correction pour des raisons évidentes de symétrie ; il n'y a pas de correction à apporter sur le moment de torsion.

3.4 - CALCUL NUMERIQUE DE LA FONCTION DE GREEN DE LA BANDE A BORDS LIBRES RECTILIGNES.

Les fonctions $\varphi_i(z)$ et $\psi_i(z)$, qui interviennent dans l'expression de la fonction de Green de la bande rectiligne, ont été développées suivant les puissances de ρ . Leur calcul numérique est poussé jusqu'à l'ordre 4 inclus.

La fonction de Green fait appel à diverses quadratures qui peuvent toutes se ramener à une seule intégrale :

$$S(z) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{z} \left(\omega^{2} - \frac{1}{4} \right) \operatorname{tg} \pi \omega d\omega$$

où
$$\int_{z}^{z} = \int_{z}^{z} + \int_{z}^{z}$$

S(z) a été développée en série et calculée comme telle.

La valeur d'un coefficient d'influence est déterminée par consultation des tables translatables précalculées si $|y-y'| \le \beta NMAX$; sinon, elle est évaluée par l'approximation qu'en donne $\tilde{G}(z,z')$, le polynôme anti-asymptotique.

3.5 - CALCUL NUMERIQUE DE LA FONCTION DE GREEN POUR LA BANDE A BORDS LIBRES CIRCULAIRES.

En vue de son calcul numérique, la fonction de Green de la bande à bords circulaires a été décomposée en deux termes : $G = \tilde{G} + (G - \tilde{G})$.

 \tilde{G} , le premier terme que nous appellerons "effet poutre" et $G - \tilde{G}$, le second terme que nous appellerons "effet plaque", ont été développés suivant les puissances de C, la courbure de l'axe longitudinal.

La valeur de l'effet plaque de la bande à bords circulaires $G - \tilde{G}$, limitée au premier terme, est exactement égale à celle de l'effet plaque de la bande à bords rectilignes.

En posant $z = re^{i\theta}$ et $z' = r'e^{i\theta'}$, le calcul de la fonction de Green de la bande circulaire est fiat comme suit (voir figure 4):

- si $|\theta-\theta'| \le NMAX \times \beta$, il y a tout d'abord consultation des tables translatables précalculées, la plaque étant supposée rectiligne; le calcul définitif consiste à corriger cette valeur lue en lui retranchant le terme anti-asymptotique correspondant à la bande à bords rectilignes et en lui ajoutant le terme anti-asymptotique correspondant à la bande à bords circulaires.
- si $|\theta \theta'| > NMAX \times \beta$, on se contente de la valeur du polynôme anti-asymptotique \tilde{G} de la bande à bords circulaires.

3.6 - CALCUL NUMERIQUE DES EFFORTS TRANCHANTS.

Les développements du § 2.2.5. Montrent que le calcul d'un état d'efforts tranchants consiste à évaluer ΔW , le gradient du laplacien de la déformation, sans qu'il soit fait appel au traitement des tables précalculées de coefficient d'influence. Contrairement au calcul du déplacement vertical et du tenseur des courbures, on évalue ce gradient par différence des valeurs de ΔW aux noeuds du maillage.

Le choix de cette méthode implique le calcul préalable des états de flexion.

4 - BIBLIOGRAPHIE

1. H. LEWY On the reflection laws of second order differential operations in two independent variables-Bull, of the Amer. Math. Soc., n°2 March 1959. 2. A. HERGENRÖDER Einflussfelder der Momente schiefwinkliger Blatten - 1961. H. RÜSCH 3. J. BALAS Der Einfluss der Ouerdehnungszahl auf den Spannungszustand einer A. HANUSKA 45° schiefen Platten - Der Bauingenieur - Mars 1991. GUYON Méthode de calcul des ponts à poutres multiples - Annaies de 4. MASSONNET 1'I.T.B.T.P. - Janvier 1962. A. MEHMEL Ein modellstatischer Beitrag zum Tragverhalten schiefwinkliger 5. H. WEISE Platten - Béton und Stahlbetonbau - Octobre 1962. H. WEISE Ein modellstatischer Beitrag zur Untersuchung punktförmig gestützter 6. schiefwinkliger Platten unter besonderer Berücksichtigung der elastischen Auflagernachgiebigkeit - Darmstadt 1963. 7. S. GURALNICK Laboraty study of a 45-foot square flat plate structure - Journal of the American Concrete Institute - Septembre 1963. R. LA FRAUCH J. LERAY Fonction de Green M - harmonique. Flexion de la bande élastique, 8. homogène, isotrope à bords libres.- Annales des Ponts et Chaussées - 135è Année, No 1 Février 1965. 9. J. LERAY Séminaire sur les équations aux dérivées partielles - Collège de France - Novembre 1963, Mai 1964. Calcul, par réflexions, des fonctions M - harmoniques dans une bande 10. J. LERAY plane vérifiant aux bords M conditions différentielles, à coefficients constants - Archiwum Mechaniki Stosowanei - 5.16 (1964). 11. J. LERAY Flexion de la bande homogène isotrope à bords libres et du rectangle à deux bords parallèles appuyés - Archiwum Mechaniki Stosowanej -1.17 (1965). 12. J. LERAY Calcul numérique des plaques fléchies - Application de la méthode des réflexions biharmoniques par recours à un programme de calcul électronique - quelques résultats obtenus - Archiwum Mechaniki Stosowane j - 3.17 (1965). 13. J. LERAY & PHAM Sur le calcul des transformées de Laplace par lesquelles s'exprime la flexion de la bande élastique, homogène, à bords libres - Archiwum THE LAI Mechaniki Stosowanej - 2.20 (1968). 14. C.E.B. Théorie des lignes de rupture - COMITE EUROPEEN DU BETON -Bulletin d'information n°67 - Avril 1968. 15. SCHLEICHER Les plaques biaises à travées solidaires - DUNOD. WENEGER 16. PHAM THE LAI Tenseur de Green d'une bande élastique plane à bords libres de contrainte. Madame BERGERON Sur le calcul des transformées de Laplace par lesquelles s'exprime la 17. flexion de la bande élastique, homogène, à bords renforcés. 18. Madame BERGERON Sur le calcul des transformées de Laplace par lesquelles s'exprime la flexion de la bande hélicoïdale élastique, homogène, à bords libres.

Etude graphique de couverture : CONCEPT GRAPHIC 45 : 38 96 81 04 Photogravure et Impression : HELIOSERVICE 77250 Veneux-Les Sablons © 64 70 50 20

Cet ouvrage est propriété de l'Administration, il ne pourra être utilisé ou reproduit, même partiellement, sans l'autorisation du SETRA.

© 1995 SETRA

Dépôt légal : Mai 1995 N° ISBN 2 11085759 5

MRB-EL BORDEREAU DES DONNEES

TABLEAU 0 : ELEMENTS COMPTABLES DE LA NOTE DE CALCUL

		NUM	DATE	NIV	TEL	INGENIEUR	CODE CLIENT
LO	$\mathbf{M}_{1}\mathbf{R}_{1}\mathbf{B}_{1}-\mathbf{E}_{1}\mathbf{E}_{1}$						1.1.
	1	9	14	20	23	31	61
71							
T2							

M N A X, 2 8				
#HDALLE, EDALLE, RC,	E I	E.V.	NUELS	мокго иорі
2 10 18				57 64
#LIAPP1 LIAPP2 LIAPPS	LIAPP4	LIAPP5 LIAI	P 6	
2 6 10 14 18 22		34 38 42	46	
#(ELAST) NATEL DE	IIV, RAYAPP	ı		
2 14 21	28	ı		
# ZO ONZGAO RI	CHAY, RKNIH	<u> </u>	<u> </u>	LA 2 2
2 12 22	29	36	48	L
#AP I U ELAST	DENIV	AP, I,	ELAST,	DENIV
		1 1 1 1 1 1 1 1		
				

TABLEAU B: MATRICES D'ELASTICITE DES APPUIS

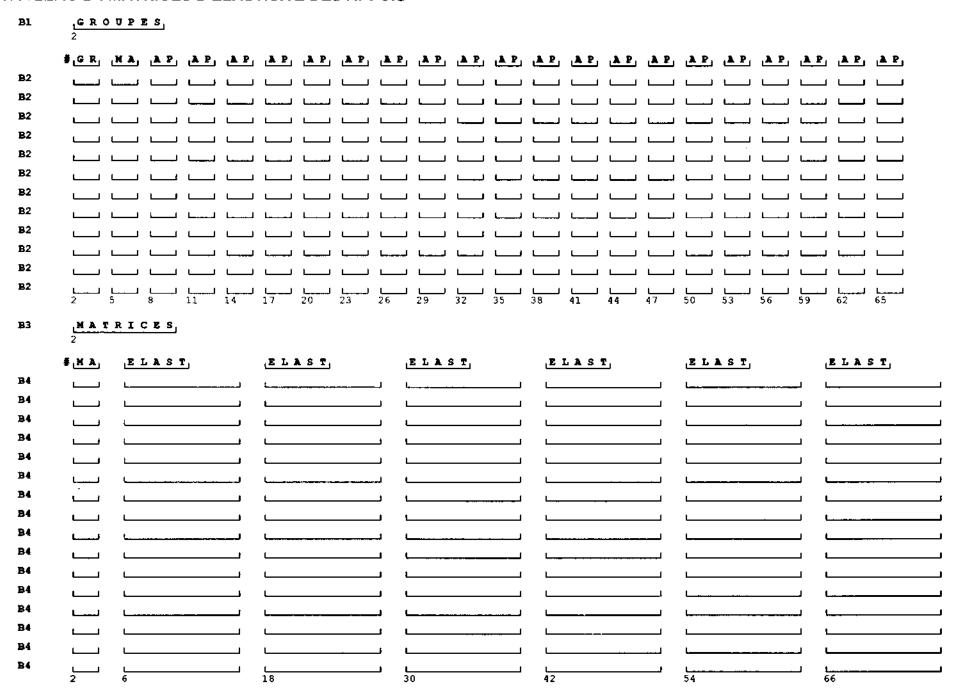


TABLEAU C: SPECIFICATIONS DE CALCUL ET SURFACES D'INFLUENCE

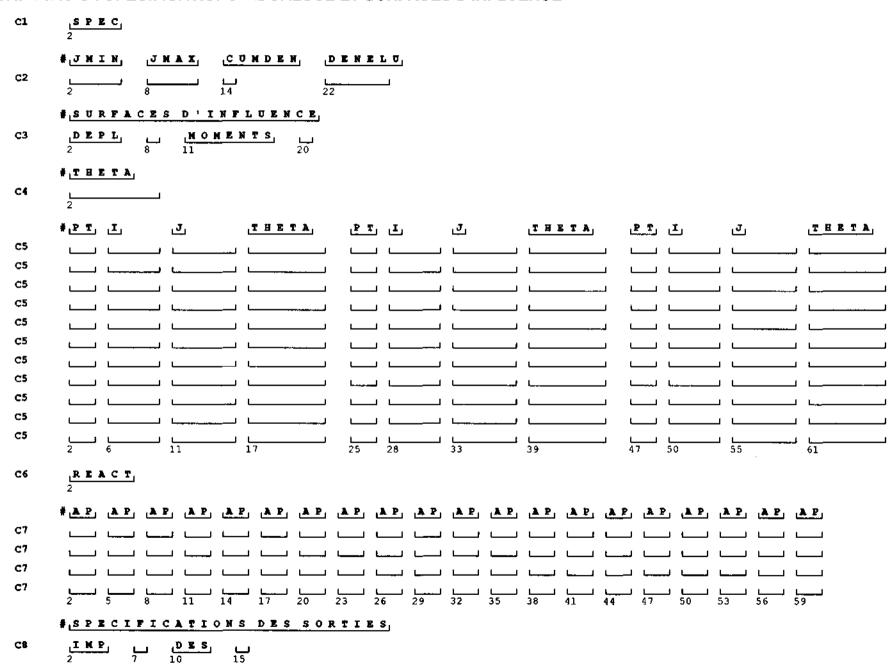


TABLEAU D: CHARGE PERMANENTE

D1	P E R M	ANENTE							
	# E L C	GINNIC	Ī						
D2	V A L	7							
D3	REPARTIE 12								
	#,CHAR	GE NON R	EPARTI	E,					
D4	AUTR	E							
	# T P	NAT	I 1	<u>J 1</u>	DJ1	I 2	J 2	D J 2	CHARGE
D5	لسسسا	L		L	L				
D5								·	
D5									
D5								·	L
D5	ـــــا			<u></u>					
D5						L	L	L	
D5						ــــــــــــــــــــــــــــــــــــــ	<u> </u>		
D5					ــــــــــــــــــــــــــــــــــــــ	ر			
D5		l			<u></u>				
D5	1	···						<u> </u>	
D5		1		L					
D5								E I	L
D5									
D5	<u> </u>	1	<u> </u>						
D5			<u> </u>						
D5									
D5									
D5	1 1				1 .				
D5			()		1 1				
D5								, ,	
D5				<u> </u>					
D5		, ,	L .	1			,		
D5									
	2	7	14	20	27	33	39	46	52

TABLEAU E : CHARGES A(L)

E1	ESTRCH	10						
E2		<u>сомот</u> 10						
E3	V A L , 7	17		31	ACAR GAS	(N A Q 1,		
	#LARGEURS	NVOIES,	T1 T2		T 5 T 1 2	т 2 3,	T 3 4,	£ 4 5
E4		<u> </u>		ت ب				-
E4								
E4	L	L.,					لسسما	
E4	2	11	20 24	28 32	36 40	45	50	 55

TABLEAU F : CHARGES Bc

```
F1 BC
  #,CLASSE, CUMUL,
F2
  #ELS GANNACAR PSI1 ELU GANNACAR GANNAQ1
  # CARACTERISTIQUES DES CAMIONS,
      LARG
             LONG1,
                   LONG2, POIDS1, POIDS2,
F4

2

7

16

25

34

43
  CAS, 1 SENS DYNAH, '
                    I, J
                            [I] [J]
                                     LI
                                         , J
                                              ιΙ,
                                                 ւՄ
F6
   ±i ∪ i v
                    (\mathbf{I}_1 \quad (\mathbf{J}_1 \quad (\mathbf{I}_1 \quad (\mathbf{J}_1)
                                     I,
                                        J,
                                              <sub>ι</sub>Ι<sub>ι</sub>
                                                 J
F6
F6
  CAS, 3, SENS, DYNAM, C
  #<sub>[</sub>I] <sub>[</sub>J<sub>]</sub>
                    [\mathbf{I}] [\mathbf{J}] [\mathbf{I}] [\mathbf{J}]
           L J
                                    I,
                                                 ιJ
F6
   F6
F5
  T J
                                        J.
           I J
                            L J
                                     I
                                              I.
                                                 رق
F6
   2 7 14 39 26 31 38 43 50
```

TABLEAU GA: CHARGES VARIABLES QUELCONQUES

	no un.	JIIAIIGEO T	~!!!~~~~	o wolloo.	.4020				
GA1	▼ A R ,								
	# C U N U	L.							
GA2									
	<u>ப</u> 2								
GA3	.CAS.								
	C A S.		-		•				
		GAMMAC	3 D D (1	
	# E L S	GARRAC	<u> </u>	11	ELU, G	YHMYCY	R GAHN	A V I	
GA4		7			31		41		
		,	17		31		41		
	# T P	NAT	(I 1)	J 1	D J 1	I 2	J 2)	D J 2	CHARGE
GA.5	ــــا			L			ىــــــــا		
GA5		1 1							1 1
GA5									
GA5									
GA5	<u> </u>		<u> </u>			L	J		
			<u> </u>	<u></u>					
GA5	L				ш		L		<u> </u>
GA5					t				L
GA5	بـــــا	7	14	20	27	3.3	39	46	52
	2	7	14	20	27	33	39	46	52
GA3	2 A S	<u> </u>	· 	<u>, ,</u>					
	# E L S	GAMMAC	AR _I PS	: I 1	ELU G	AHHACA	R, GAHH	AQ1	
GA4		1 <u>.</u>	l		<u>∟</u> 31		ـــــــــــــــــــــــــــــــــــــ		
		7	17		31		41		
	# T P	NAT	<u>I 1</u>	J 1	D J 1	<u>I 2</u>	ப் 2	D J 2	CHARGE
GA5									1
GA5									
GA5									
GA.5		`							
GA.5		ш.	ـــــــــــــا			<u> </u>	L		1
GA5		L	L			<u> </u>	·	<u> </u>	<u> </u>
GA5	L	_			<u> </u>	L			<u> </u>
GA5		<u></u>	14	20	27	33	39	46	L
	2	1	14	20	27	33	39	46	52

TABLEAU GB: CHARGES D'EPREUVE

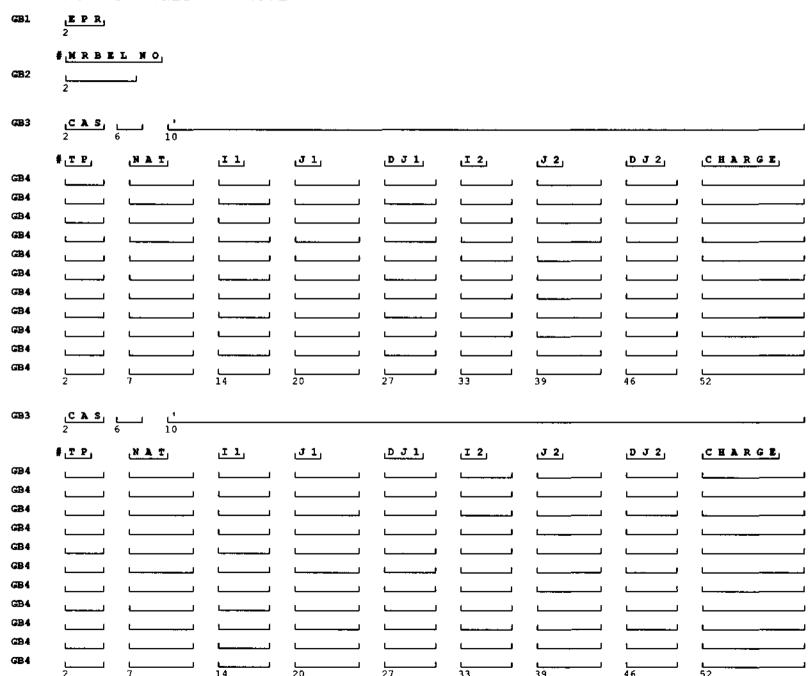
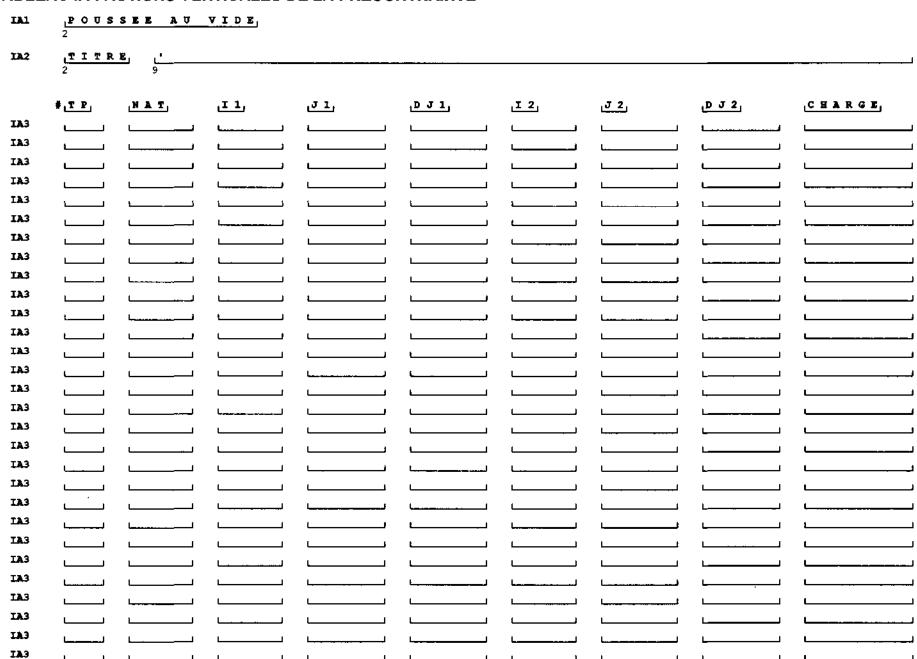


TABLEAU H: CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

```
#,BETON,
H1 (FC28)
 FT28 COREBE, THETA GANNAB, EPSBO EPSBO COBELI
#ICALCUL EN BETON ARME,
H3 1 5 7
 # ENROBI, ENROBS.
# M FS1 FS2 ES GANNAS, SIGNAS1 SIGNAS2 EPSFER
 #R THETA1 R THETA2
 2 5 14 17
 #, CALCUL EN BETON PRECONTRAINT,
H7 CLASSE 10
# ELS, ELU, RHOU, RHOS, SURLIR, SURLIF, FLIMAL, FLIMA2,
# COBQP COBRF TRRA1, TRRA2, TRFR1, TRFR2, TRQP1, TRQP2
```

TABLEAU IA: ACTIONS VERTICALES DE LA PRECONTRAINTE



L_

TABLEAU IB: ACTIONS HORIZONTALES D'UNE PRECONTRAINTE LONGITUDINALE TRANSLATABLE

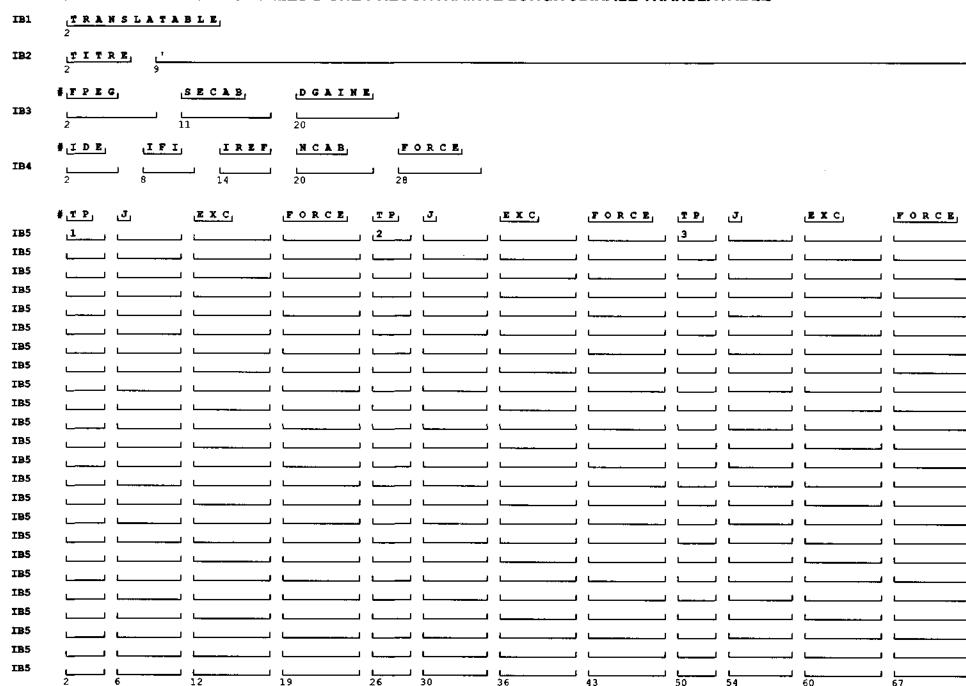
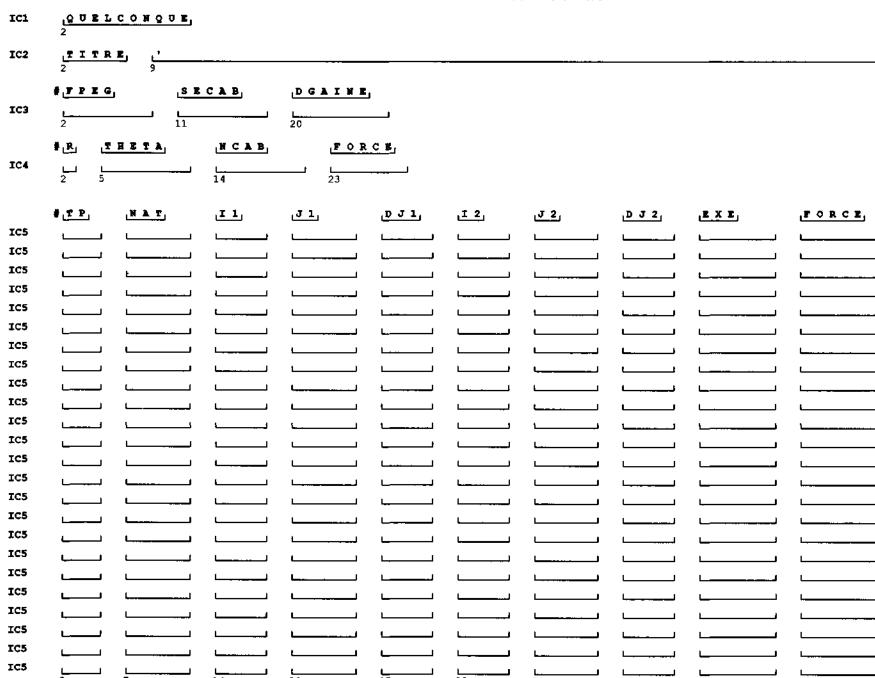
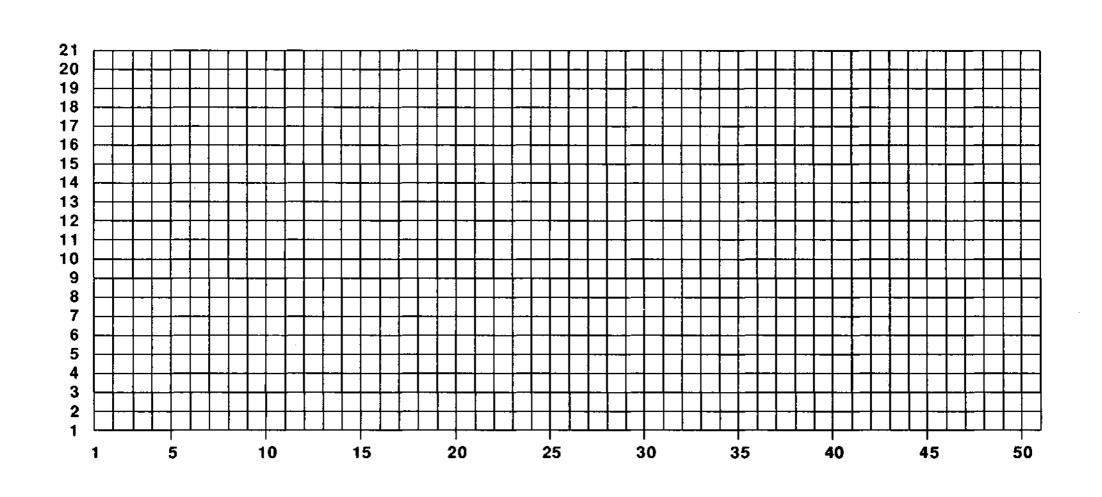


TABLEAU IC: ACTIONS HORIZONTALES D'UNE PRECONTRAINTE QUELCONQUE



REPRESENTATION GRAPHIQUE DU MODELE Cas courant : JMAX = 50 mailles



REPRESENTATION GRAPHIQUE DU MODELE Cas général : J > 50 mailles

Découper et coller 2 ou 3 maillages pour constituer le maillage requis dans le sens des J

