

251-68-011

PROGRAMME-MACHINE

pour le calcul des ponts
à béquilles verticales



par

J. R. LaHaye, Ing.

CANQ
VO
247



251-68 001

PROGRAMME-MACHINE

pour le calcul des ponts
à béquilles verticales

par

J. R. LaHaye, Ing.

475590

MINISTÈRE DE LA VOIRIE

PROVINCE DE QUÉBEC

Ministère des Transports
Centre de documentation
700, boul. René-Lévesque Est,
21^e étage
Québec (Québec) G1R 5H1

Programme pour le calcul des ponts-béquilles

à l'aide d'un ordinateur.

préparé

et

présenté

par

J. R. LaHaye, Ing.,
conseiller technique.

août 1965

CAUQ
VO
247
Dépôt

S O M M A I R E

- I - Avant-propos
- II - Terminologie et conventions
- III - Description du programme

A - Généralités

- 1 - Type de charpente
- 2 - Objet du programme
- 3 - Méthode de calcul
- 4 - Elément fondamental du portique
- 5 - Géométrie de la travée et de la béquille.

B - Données et cartes d'entrée

- 1 - Données générales
- 2 - Données pour les travées
- 3 - Données pour les béquilles et pour les lignes d'influence
- 4 - Nombre et séquence des cartes
- 5 - Relation entre les données et les caractéristiques physiques du portique.

C - Particularités et restrictions

- 1 - Dissymétrie
- 2 - Charges ponctuelles
- 3 - Effets de la température
- 4 - Poussée des remblais
- 5 - Encastresments - appuis
- 6 - Cas particuliers.

D - Résultats

- 1 - Charges propres - température - remblais
- 2 - Lignes d'influence.

IV - Application à un portique à cinq travées

- 1 - Description de la charpente
- 2 - Données fondamentales
- 3 - Formulaire de transmission
- 4 - Résultats.

Le présent rapport décrit un programme-machine mis au point entre février et juillet 1965 pour le calcul automatique des ponts-béquilles du Service des Ponts et Structures du Ministère de la Voirie. Le programme lui-même est écrit en langage FORTAN pour l'ordinateur I.B.M. 1410 (80 K) du Centre de traitement électronique des données du Gouvernement.

Une première expérience dans l'application de cette technique aux calculs de ponts avait été réalisée chez nous en 1964 par l'auteur du programme actuel en collaboration avec M. R. Pagé, du Centre de traitement de l'information. Elle avait conduit à la mise en service de deux programmes: le premier, pour le calcul des portiques à quatre travées ou moins, et l'autre, pour les poutres continues à huit travées ou moins. Elle avait été en même temps l'occasion d'une étude assez approfondie de la logique et de la formulation analytique des calculs de charpentes hyperstatiques selon la méthode de "Hardy Cross".

Une analyse encore plus poussée de ce type de problème a permis la construction d'un modèle mathématique beaucoup plus général et l'élaboration d'un programme qui, non seulement remplace les deux premiers, mais étend considérablement leur champ d'application tout en réduisant au minimum le nombre des conditions restrictives.

De plus, les deux programmes originaux exigeaient un total de sept (7) opérations distinctes sur un ordinateur I.B.M. 1410 (40 K): quatre opérations en séquence pour le programme des portiques et trois pour celui des poutres continues. Le nouveau programme, par contre, ne requiert qu'une seule opération sur l'ordinateur I.B.M. 1410 (80 K) pour produire, sous une forme plus claire, des résultats équivalents. En outre, le formulaire utilisé pour la communication des données a été de beaucoup simplifié.

Ce programme peut s'appliquer à la grande majorité des charpentes qui sont réalisées par le Service des Ponts et Structures de la Voirie et son utilisation, moyennant quelques minutes d'ordinateur et \$30 à \$40 par problème, représente, sur le calcul manuel, une économie moyenne de deux à trois semaines du temps d'un ingénieur de projets. Il permet, en outre, la simulation de plusieurs conditions ou combinaisons pour le même projet, de sorte que l'ingénieur peut véritablement rechercher la solution économique en se libérant des opérations manuelles trop fastidieuses et, par le fait même, de nombreux risques d'erreurs.

J. R. LaHaye, Ing.

août 1965

II - TERMINOLOGIE et CONVENTIONS

Nœud: un point de la charpente où existe un appui; ou un point qui correspond à l'extrémité d'une barre. Un nœud peut être appuyé ou non.

Rotule: Un nœud ou un point de la charpente qui ne transmet pas de rotation, donc aucun moment, mais qui transmet tout déplacement, donc les efforts tranchants et/ou axiaux.

Barre: partie rectiligne d'une charpente qui est comprise entre deux nœuds.

Travée: Une barre qui porte des charges verticales.

Montant ou béquille: une barre verticale qui porte une ou deux travées et qui peut subir des charges horizontales.

Encastrement: un appui de la charpente où aucune rotation n'est possible pour l'extrémité de la barre.

Continuité: propriété d'une charpente qui transmet en tous ses points les moments et les efforts. Donc là où il y a une rotule, il y a discontinuité.

Homogénéité: une charpente est dite homogène si tous ses éléments sont solidaires, c'est-à-dire si le déplacement de l'un dans une direction quelconque entraîne nécessairement le déplacement de tous les autres. La rotule est un facteur d'homogénéité et même si elle ne transmet pas de rotation elle permet à tout mouvement de se répercuter.

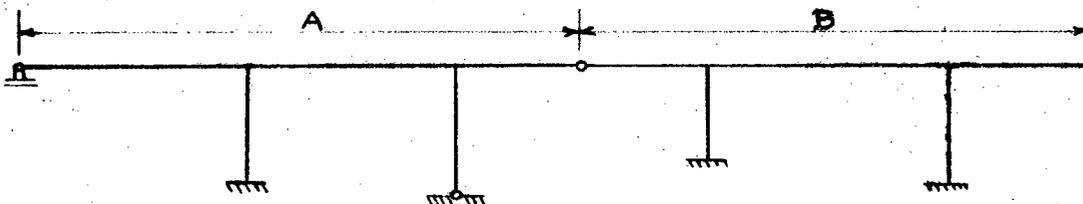


Figure # 1 a

La charpente de la figure # 1-a est discontinue à cause de la rotule, mais homogène. Tout mouvement dans l'une ou l'autre des barres de la partie A est nécessairement ressenti dans toutes les barres des parties A et B.

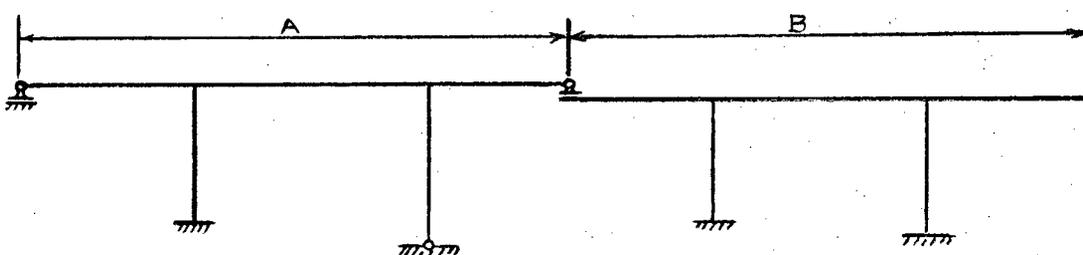


Figure # 1 b

La charpente de la figure # 1 b est hétérogène. Le déplacement d'une des barres de la partie A n'entraîne pas nécessairement de mouvement dans la partie B. L'inverse est également vrai. Toutefois, chacune des deux parties prise individuellement constitue une charpente homogène.

III - DESCRIPTION DU PROGRAMME

A - GENERALITES

1 - Type de charpente

Le programme s'applique à tout portique homogène à un étage comportant un maximum de neuf (9) travées théoriquement horizontales et coaxiales et de huit (8) béquilles verticales ou considérées comme telles. A l'intérieur de ces limites, toutes les combinaisons quant au nombre des travées et des béquilles sont acceptables. Le programme est donc valable pour une poutre continue ayant jusqu'à neuf (9) travées au maximum et même pour une poutre simplement posée sur deux appuis ou encore une seule poutre en porte-à-faux.

La discontinuité d'une charpente, qu'elle existe en un ou plusieurs endroits à la fois, n'est pas une restriction. Le seul critère d'application du programme est l'homogénéité de la charpente.

Il existe cependant une exception au critère d'homogénéité. Le programme ne peut pas traiter en une opération unique une charpente homogène qui comporterait une rotule non appuyée. Par exemple, le portique de la figure # 1 a, bien qu'homogène, comporte une rotule non posée sur un appui extérieur.

Le programme admet donc pour la charpente à laquelle il s'applique les cas de discontinuité qui sont illustrés à la figure # 2.

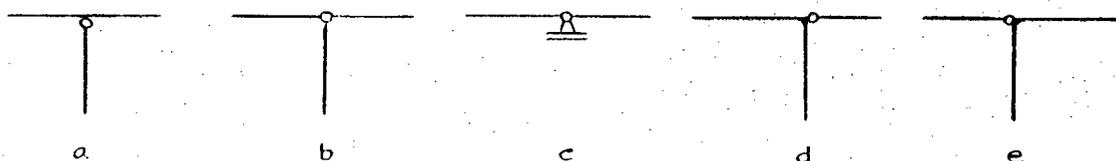


Figure # 2

2 - Objet du programme

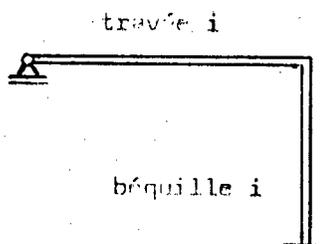
Le programme calcule les moments, les efforts tranchants et les réactions dans un portique soumis à son poids propre, à une surcharge uniforme, à des variations de température et, le cas échéant, à la poussée des remblais. Il calcule également les ordonnées des lignes d'influence pour les moments et les efforts tranchants aux appuis et à cinq points intermédiaires de chaque travée. Dans chacun de ces cas, les documents de sortie permettent de construire immédiatement tous les diagrammes selon les conventions de la résistance des matériaux.

3 - Méthode de calcul

L'analyse et les calculs sont fondés sur la méthode de "Hardy Cross" pour la répartition et la transmission des moments d'encastrement dans les charpentes hyperstatiques et utilisent les coefficients caractéristiques des barres à sections variables tels que publiés par "Portland Cement Association" dans les brochures "Handbook of Frame Constants" et "Continuous Concrete Bridges". Les moments d'encastrement sont répartis et distribués en un maximum de vingt (20) itérations.

4 - Élément fondamental du portique

Le module de la charpente est constitué par un élément qui comporte une travée et une béquille (Cf. Figure # 3). Lorsqu'une de ces deux composantes existe, l'élément existe et il est affecté de l'indice "i". A noter que la béquille d'indice "i" suit la travée correspondante.



où $N = \text{nombre d'éléments de la charpente}$
N49

Figure # 3

Restriction: Le neuvième élément, s'il existe, ne peut pas comporter de béquille; il ne sera constitué que par la travée # 9 (Figure # 4).

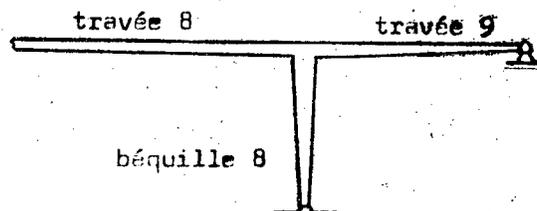


Figure # 4

Lorsqu'on doit soumettre un portique au calcul automatique par le programme, le premier élément de la charpente, en les comptant à partir de la gauche, est affecté de l'indice un (1). Ce premier élément, comme d'ailleurs tous les autres, peut ne comporter qu'une seule de ses deux composantes fondamentales (le couple travée-béquille).

Par exemple, un portique qui aurait la forme illustrée à la figure # 5 serait analysé comme suit: l'élément # 1 ne comporte qu'une béquille, sa travée n'existe pas. Les éléments # 2 et # 3 possèdent les deux composantes fondamentales. L'élément # 4 n'est constitué que par sa travée; il n'y a pas de béquille # 4.

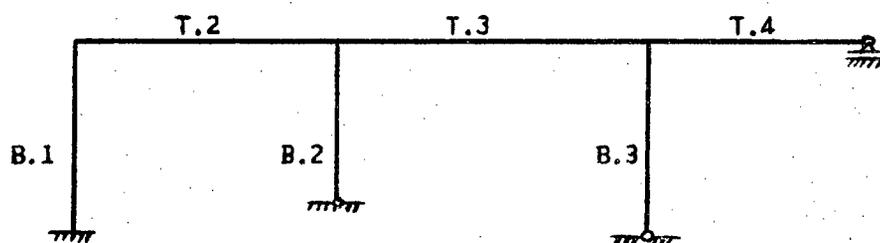


Figure # 5

5 - Géométrie de la travée et de la béquille

Toutes les barres peuvent être à section variable, mais seule la profondeur peut varier selon une loi linéaire ou bien parabolique. Dans ces limites, toutes les combinaisons présentées dans les tableaux du "Handbook of Frame Constants" sont acceptables, y compris celles dont on doit déterminer les coefficients caractéristiques par interpolation ou extrapolation.

Dans la partie du programme qui traite les composantes statiques des moments et des efforts tranchants lorsque le portique est soumis à sa propre charge, le poids propre des béquilles verticales et, par conséquent, leur géométrie n'interviennent pas.

Pour ce qui est des travées, le programme admet, comme dans le cas des coefficients caractéristiques, la possibilité de deux profils-types: le premier, parabolique et le deuxième, à goussets triangulaires. Donc, en plus de donner la valeur de la composante uniforme et des composantes variables de la charge répartie, on doit aussi inscrire, dans les données, le rapport (α ou β) entre la longueur du gousset et la portée de la travée (Cf. Figure # 6).

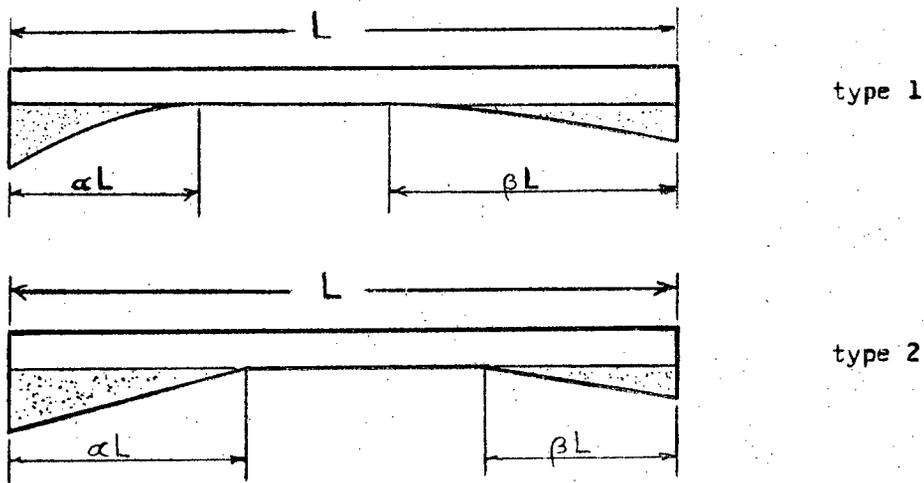


Figure # 6

B - DONNEES ET CARTES D'ENTREE

1 - Données générales

Sur une première carte on inscrit les données suivantes:

- 1- Le nombre d'itérations dans la transmission et la répartition des moments (20 au maximum).
- 2- Les variations de température (en °F) auxquelles sera soumis le portique; d'abord l'augmentation et ensuite l'abaissement de la température.
- 3- Le coefficient de poussée active des terres (K_a), si le portique est soumis à la pression des remblais.

- 4- La densité du sol en Kips/pi³.
- 5- Le coefficient thermo-élastique (θ) qui est fonction du module d'élasticité (E) du matériau homogène dont est constitué le portique et du coefficient de dilatation thermique (μ).

$$\theta = E \times \mu \times 144 \times 10^{-3}$$

ou E = module d'élasticité (en lbs/po²)

μ = coefficient de dilatation thermique.

- 6- Le nombre des éléments du portique ou, ce qui est équivalent, l'indice de la dernière travée (In).
- 7- La description du problème ou le titre du projet.
- 8- Le numéro du problème.

2 - Données pour les travées

Le deuxième type de carte définit les travées.

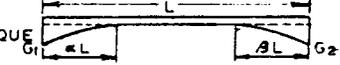
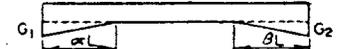
- 1- La portée (en pi.)
- 2- Le moment d'inertie de la plus petite section de la travée (en pi.⁴).
- 3- Les coefficients de rigidité (k) aux deux extrémités de la travée.
- 4- Les coefficients de transmission (C) aux deux extrémités de la travée.
- 5- Les coefficients pour le calcul des moments d'encastrement aux deux extrémités pour la charge uniformément répartie et pour les charges variables.
- 6- Les charges réparties (en K/pi.lin.) pour la composante uniforme et les composantes variables.
- 7- Le poids de la charge concentrée (en Kips) à l'extrémité de la travée s'il s'agit d'un porte-à-faux et le bras de levier de cette charge (en pieds).
- 8- Le code définissant le type de profil que présente la travée.
- 9- Les coefficients α et β qui déterminent la longueur des goussets.
- 10- Le numéro du problème.

DU MINISTÈRE DE LA VOIRIE — MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS PONT-BÉQUILLE AU CENTRE DE TRAITEMENT ÉLECTRONIQUE DES DONNÉES
 85-061-814 PROJETS RÉGULIERS 75-061-814
 85-061-815 PROJETS SPÉCIAUX 75-061-815
 GOUVERNEMENT DU QUÉBEC
 PRÉP. PAR: SERVICE DES PONTS & S. (VOIRIE)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
ITER											TEMPÉRATURE		K _A		DENSITÉ		θ		I _N		FIX DESCRIPTION																		NO		Carte																																						

PORTÉE PI.	INERTIE PI ⁴	FAC. DE RIGIDITÉ		FAC. DE TRANS		COEF. MW		M GAUCHE DÙ À		M DROITE DÙ À		CHARGES (K/PI)		PORTE-À-FAUX		T Y P E	α	β	C O I
		GAUCHE	DROITE	GAUCHE	DROITE	GAUCHE	DROITE	G1	G2	G1	G2	UNIFORME	G1	G2	KIPS					PIEDS
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	T 012
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	T 014
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	T 016
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	T 018
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	T 110
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	T 112
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	T 114
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	T 116
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	T 118

HAUTEUR PI.	INERTIE PI ⁴	FAC. DE RIGIDITÉ		FAC. DE TRANS.		HAUTEUR DE TERRE	I N D I C E *	M À GAUCHE DÙ À P = 1					M À DROITE DÙ À P = 1					C O I	
		HAUT	BAS	HAUT	BAS			À 0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	À 0.1	0.3	0.5	0.7	0.9		
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	B 013
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	B 015
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	B 017
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	B 019
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	B 111
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	B 113
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	B 115
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	B 117
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	B 119

ITÉRATION: MAX. 20 K _A : COEF. DE POUSSÉE ACTIVE DES TERRES θ = COEF. THERMO-ELASTIQUE = $E \times \mu \times 144 \times 10^{-3}$, si $E = 3 \times 10^6$ ET $\mu = 6 \times 10^{-6}$, $\theta = 2.592$	I _N = INDICE DE LA DERNIÈRE TRAVÉE FIX = 1, SI LA TRAVÉE 1 EST ENCASTRÉE À GAUCHE +1, SI LA TERRE POUSSE VERS LA DROITE -1, SI LA TERRE POUSSE VERS LA GAUCHE } *	TYPES DE GOUSSET ① PARABOLIQUE  ② DROIT 
---	---	--

3 - Données pour les béquilles et pour le calcul des lignes d'influence.

Un troisième format de carte donne:

- 1- La hauteur de la béquille (en pi.).
- 2- Le moment d'inertie de sa plus petite section (en pi^4).
- 3- Les coefficients de rigidité (k) à ses deux extrémités.
- 4- Le coefficient de transmission (C) aux deux extrémités.
- 5- La hauteur du remblai (en pi.), s'il en existe, et la direction de la poussée.
- 6- Les coefficients pour le calcul des moments d'encastrement aux extrémités de la travée pour une charge ponctuelle qui prend successivement cinq positions différentes, soit à 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 et 0.9 de la travée à partir de la gauche. Ces données servent au calcul des lignes d'influence.
- 7- Le numéro du problème.

4 - Nombre et séquence des cartes

Pour transmettre les données, il faut donc remplir trois (3) types de cartes. Ces 3 types sont identifiés dans la colonne 78, par une lettre de l'alphabet: C - pour la carte contrôle, T - pour la carte qui donne les caractéristiques de la travée et B - pour celle qui décrit les béquilles et qui donne les coefficients des moments dûs à la charge ponctuelle (en vue des lignes d'influence).

Le nombre de cartes "B" doit toujours être égal au nombre de cartes "T" et ce nombre correspond au nombre des éléments fondamentaux du portique ou encore à l'indice de la dernière travée (In), tel qu'annoncé dans la carte contrôle "C". Le nombre de cartes nécessaires pour traiter un problème doit donc être égal à un (1) plus deux (2) fois le nombre des éléments du portique. Ainsi dans l'exemple de la figure # 5, il y aurait

d'abord la carte "C" (carte contrôle), quatre (4) cartes "T" pour les travées et quatre (4) cartes "B". Donc, une carte "T" doit être présente pour tenir lieu de la travée # 1, même si elle n'existe pas. Toutes les données relatives à la travée # 1 y seront inscrites comme nulles. Une carte "B" sera également présente pour l'élément # 4. Les caractéristiques de la béquille # 4 inexistante y seront données comme nulles. Sur cette dernière carte apparaîtront seulement les coefficients des moments dus à la charge ponctuelle qui se déplace dans la quatrième travée.

Le numéro de chaque carte est inscrit dans les colonnes 79 et 80. Les cartes doivent être classées suivant l'ordre croissant de ces numéros et placées selon cet ordre dans le lecteur. La première carte du jeu est donc la carte contrôle (C). Les autres cartes se suivent toujours deux à deux selon l'ordre croissant des indices: une carte "B" d'indice "i" suivant toujours une carte "T" du même indice, comme, par convention, la béquille suit sa travée.

Plusieurs problèmes peuvent être traités en série par l'ordinateur. Les jeux de cartes correspondant aux différents problèmes sont alors simplement superposés dans le lecteur. La dernière carte du dernier problème doit cependant toujours être suivie d'une carte blanche (vide) pour marquer le terme de l'opération.

5 - Relation entre les données et les caractéristiques physiques du portique.

Les données doivent bien refléter le problème qui sera soumis au calcul de l'ordinateur. Il doit donc y exister une relation étroite et non équivoque entre une combinaison de coefficients caractéristiques et la nature de la travée et de la béquille, surtout pour ce qui est de son mode d'appui et de sa continuité. En

plus des données purement géométriques, les facteurs qui vont définir les barres sont les coefficients de rigidité (k), les coefficients de transmission (C) et les coefficients des moments d'encastrement (M). Ces derniers sont des facteurs qui, multipliés par le produit $W \times L^2$, donnent les moments d'encastrement aux extrémités des barres.

1- Poutre simplement appuyée

pour annoncer une poutre (une travée) simplement appuyée ou bien une barre fixée par des rotules à ses deux extrémités (Cf. Figure # 7), tous les coefficients caractéristiques sont annulés.

$$k_{ab} = k_{ba} = 0.0$$

$$C_{ab} = C_{ba} = 0.0$$

$$M_{ab} = M_{ba} = 0.0$$

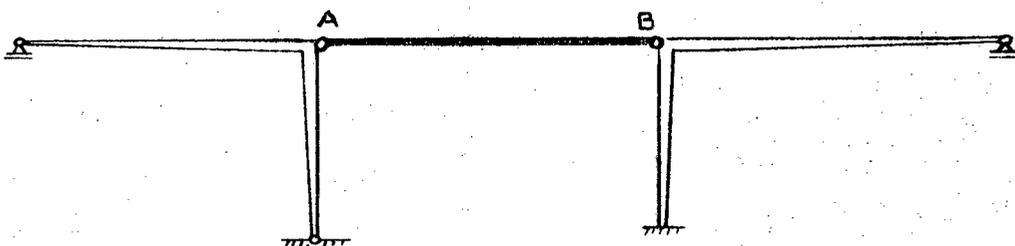


Figure # 7

2- Porte-à-faux

Un porte-à-faux (Cf. Figure # 8) est défini par la combinaison suivante:

$$k_{ab} = k_{ba} = 0.0$$

$$C_{ab} = C_{ba} = 0.0$$

$$M_{ab} = 0.0$$

$$M_{ba} \neq 0.0$$

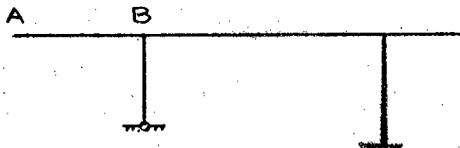


Figure # 8

Dans le cas du porte-à-faux AB, les coefficients M_{ba} , pour le calcul des moments d'encastrement en B dus à la charge uniforme et à celle des goussets, ne se trouvent pas dans les tableaux du "Handbook of Frame Constants".

Pour la charge uniforme w , $M_{ba} = 0,5$

Pour le gousset G1

1) type 1 : $M_{ba} = 1/12 \times \alpha \times (4 - \alpha)$

2) type 2 : $M_{ba} = 1/6 \times \alpha \times (3 - \alpha)$

Pour le gousset G2

1) type 1 : $M_{ba} = 1/12 \times \beta^2$

2) type 2 : $M_{ba} = 1/6 \times \beta^2$

(Cf. Figure # 8a)

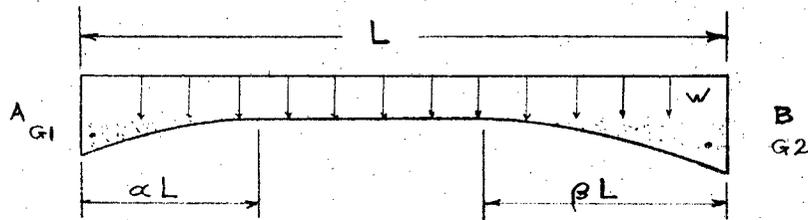


Figure # 8a

3- Barre affectée d'une seule rotule

La discontinuité due à la présence d'une rotule sur appui à l'extrémité d'une barre se définit seulement par la valeur nulle du coefficient de rigidité à cette extrémité (Cf. Figure # 9).

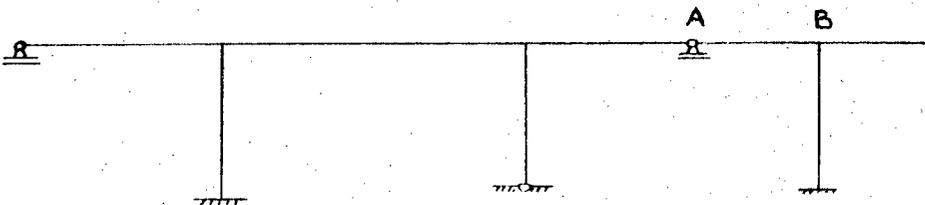


Figure # 9

$$k_{ab} = 0.0$$

$$k_{ba} \neq 0.$$

$$C_{ab} \neq 0.0$$

$$C_{ba} \neq 0.0$$

$$M_{ab} \neq 0$$

$$M_{ba} \neq 0$$

On remarque que même s'il y a une rotule en "A", le coefficient M_{ab} n'est pas nul. Il sert à calculer le moment d'encastrement qu'il y aurait en "A" s'il y avait continuité à ce point. Le programme transmet automatiquement ce moment à l'appui "B" avec le coefficient C_{ab} .

C - PARTICULARITES ET RESTRICTIONS

1- Dissymétrie

Le programme admet tous les cas de dissymétrie dus

- 1- à la géométrie du portique ou de ses éléments
- 2- à la discontinuité
- 3- à l'effet des charges verticales
- 4- à la poussée latérale des remblais.

Il tient compte, le cas échéant, de tout déplacement horizontal des noeuds et corrige automatiquement les moments obtenus après la répartition et la transmission selon le système de "Hardy Cross".

2- Charges ponctuelles

Dans le calcul des moments et des efforts tranchants dus aux charges statiques, le programme admet la présence possible d'une charge ponctuelle à l'extrémité de l'un ou de l'autre des porte-à-faux, s'il en existe, et quelle que soit la travée qui présente cette caractéristique (Cf. Figure # 10). En pratique, cette charge peut correspondre à celle d'un petit mur de soutènement accroché au tablier ou à celle d'une entretoise de bout. Toute autre charge ponctuelle appliquée en un point quelconque du tablier produit des moments et des efforts tranchants qu'on peut évaluer à l'aide des lignes d'influence.

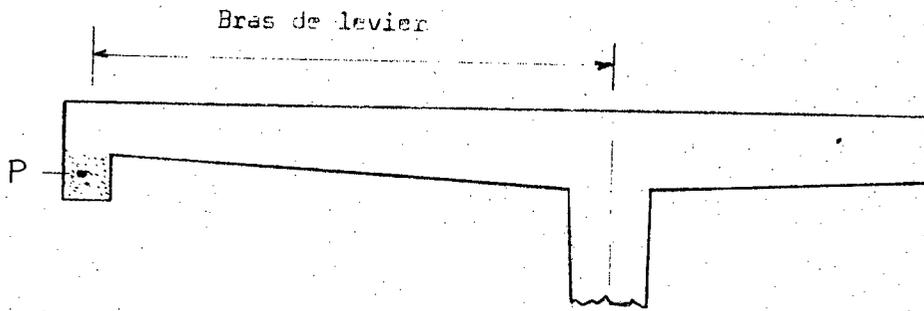


Figure # 10

3- Effets de la température

La partie du programme qui calcule les moments et les efforts tranchants pour les charges statiques tient également compte de deux variations possibles de température; en principe, la première est positive et la dernière négative selon les valeurs enregistrées dans la carte contrôle. Si on veut obtenir des résultats qui ne tiennent pas compte de l'effet de ces variations, les valeurs enregistrées seront nulles. En un seul calcul, le programme ne peut considérer que deux "états" pour l'influence de la température et si on veut en simuler un plus grand nombre, l'ordinateur doit traiter une ou plusieurs autres séries de cartes comme pour des problèmes différents.

On considère que les variations de la température n'affectent que les barres horizontales et que leur effet possible sur des béquilles d'inégale longueur est négligeable.

Dans la partie du programme qui calcule la contraction ou la dilatation des barres, le point qui est à priori considéré comme fixe coïncide avec l'extrémité gauche de la travée # 1 qu'elle existe ou non. Tous les moments d'encastrement dus aux variations de température sont déterminés à partir de cette hypothèse. Après répartition et distribution de ces moments, le programme est en mesure de les corriger en tenant compte du déplacement du portique, de sorte que la somme des efforts tranchants aux extrémités supérieures des béquilles est nulle

en définitive. Si une cause extérieure empêche ce mouvement de la charpente (l'action des remblais ou une réaction horizontale exercée par un appui sur une travée), on aura inscrit "1" dans la colonne 22 de la carte contrôle pour prévenir la correction automatique des moments. Si l'appui fixe est à l'extrémité gauche de la travée # 1, on peut enregistrer des variations de température dans la carte contrôle et les résultats obtenus seront valables, l'hypothèse du premier noeud fixe étant réalisée.

Par contre si, dans le cas d'une poussée exercée par des remblais, l'auteur du projet considère que cette action empêche tout déplacement latéral de la charpente dû à la dissymétrie des surcharges verticales, il aura encore inscrit "1" dans la colonne 22 de la carte contrôle, mais cette fois il devra négliger l'effet des variations de température et les inscrire comme nulles. De plus, il indiquera dans les données les seules charges pour lesquelles il considère qu'il n'y a pas de déplacement. Les autres seront annulés. On procède donc à un premier calcul avec ces données. Dans un tel cas, cependant, les résultats sont incomplets. Le déplacement latéral doit être considéré pour toute dissymétrie due au poids propre ou à la poussée des remblais et en réalité les variations de la température exercent tout de même une influence. On doit alors remplir une autre série de cartes comme pour un problème différent, inscrire les variations de température et poinçonner "0" dans la colonne 22 de la carte contrôle, donc admettre le déplacement et la correction automatique des moments qui en tient compte. A l'inverse de la première série de cartes, on annulera cette fois les charges pour lesquelles il n'y a pas de déplacement et on enregistrera celles qui avaient été d'abord annulées mais qui entraînent un déplacement.

Les résultats obtenus par ces deux calculs indépendants sont ensuite additionnés algébriquement (opération manuelle).

Si l'appui fixe est à l'extrémité droite de la dernière travée, on doit inverser l'image du portique pour lui appliquer les conventions fondamentales nécessaires au calcul.

Si l'appui fixe coïncide avec un nœud quelconque en position intermédiaire, le programme ne peut pas considérer les effets de la température.

Toutes ces particularités relatives aux variations de température n'entrent évidemment pas en ligne de compte lorsqu'on a affaire à une poutre continue sur appuis mobiles, que le premier appui soit fixe ou non.

4- Poussée des remblais

Pour un calcul donné, chaque béquille peut théoriquement retenir des remblais. Le programme n'est pas limité à cet égard et il admet que la poussée des terres s'exerce sur une ou plusieurs béquilles à la fois. Il suffit d'indiquer dans les données la direction dans laquelle la poussée s'applique (+ 1 pour une poussée vers la droite et - 1 pour une poussée vers la gauche).

Lorsqu'on inscrit dans les données la hauteur du remblai, cette hauteur est en fait celle du triangle de poussée (Cf. Figure # 11) et elle doit tenir compte de toutes les surcharges qui peuvent s'ajouter au remblai. Cette valeur doit au moins être égale à la hauteur moyenne de la béquille sur laquelle la poussée s'exerce.

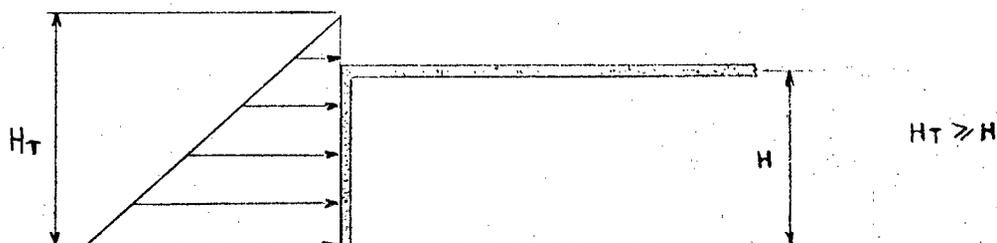


Figure # 11

Le coefficient de poussée active des terres (K_a) est enregistré dans la carte contrôle. Il est donc considéré comme une constante pour un portique donné.

5- Encastremets - Appuis

Chaque béquille peut être fixée à une rotule ou bien encastree à son extrémité inférieure. A son extrémité supérieure, elle peut être terminée par une rotule ou bien être rattachée monolithiquement avec l'une ou l'autre des deux travées qui aboutissent à ce noeud ou aux deux à la fois (Cf. Figure # 12).

D'autre part, le programme admet la possibilité d'un encastrement à l'extrémité gauche de la travée # 1 (Cf. Figure # 13). Pour ce qui est des travées, c'est le seul noeud qui peut être encastree. Si ce cas se présente, il est évident qu'il ne peut y avoir de déplacement longitudinal du portique. On doit alors inscrire "1" dans la colonne 22 de la carte contrôle. C'est le code qui indique à l'ordinateur de ne pas calculer les moments causés par le mouvement du portique.

En dehors de ce cas unique et des cas particuliers prévus au paragraphe suivant, tous les noeuds des travées doivent être mobiles.

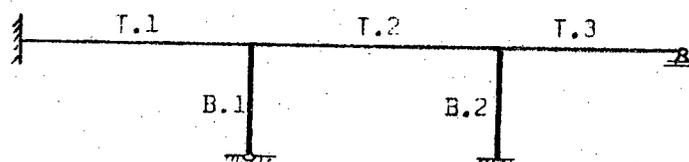
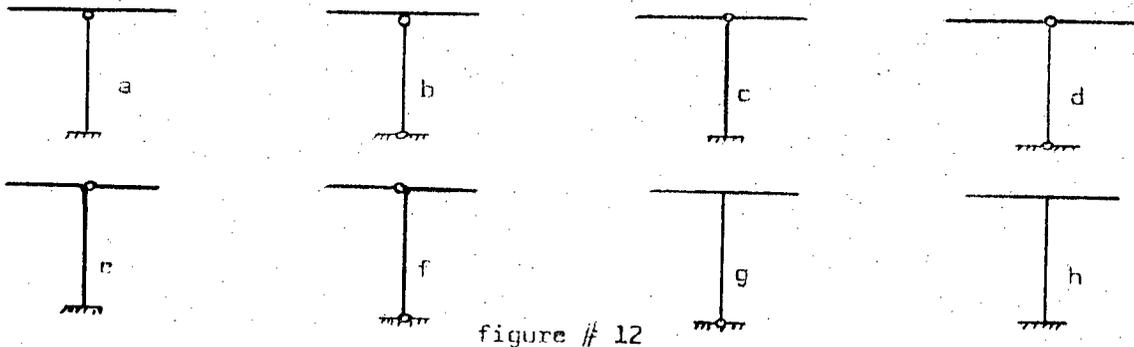


Figure # 13

6- Cas particuliers

Le programme peut traiter tous les cas de travées simples (Cf. Figure # 14) à l'exception d'un porte-à-faux avec encastrement à gauche (Figure # 15). Si ce dernier cas se présente, on doit inverser l'image et considérer que le porte-à-faux est encasturé à droite (Cf. Figure # 14c).

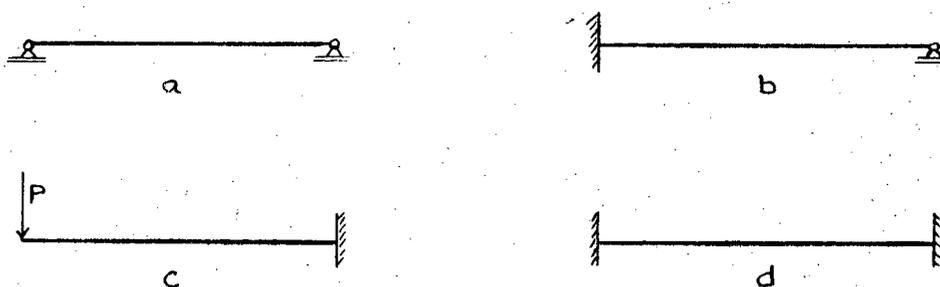


Figure # 14



Cas impossible.
L'assimiler au cas de
la Figure # 14c.

Figure # 15

D - RESULTATS

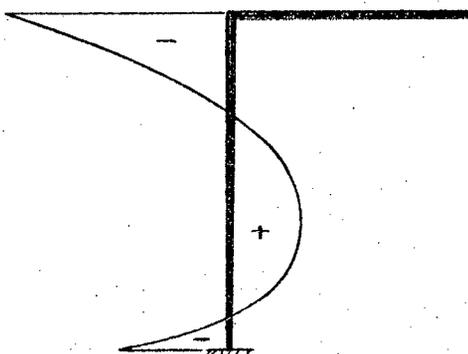
1- charges propres - température - remblais.

Tous les résultats du calcul sont donnés en Kips pour les réactions et les efforts tranchants et en Kips-pieds pour les moments. Ils sont déterminés pour chaque travée en sept (7) points différents: à l'appui gauche, à 0.1, à 0.3, à 0.5, à 0.7, à 0.9 de la portée et à

l'appui droit. Pour ce qui est des béquilles, elles sont fractionnées aux mêmes points mais à partir de leur extrémité inférieure. Le premier résultat qui apparaît pour une béquille correspond donc à son appui inférieur et le dernier de la ligne, à son appui supérieur.

Les signes qui affectent les moments et les efforts tranchants pour les travées sont les signes conventionnels de la résistance des matériaux. Les signes qui affectent les moments dans la béquille sont tels que si la traction s'exerce du côté gauche de la béquille le moment est négatif (Cf. Figure # 16). Il est positif dans le cas contraire.

Figure # 16



Le signe qui affecte l'effort tranchant dans la béquille est positif si, dans le diagramme des corps libres, la partie inférieure de la béquille pousse la partie supérieure vers la droite; il est négatif dans le cas contraire (Cf. Figure # 17).

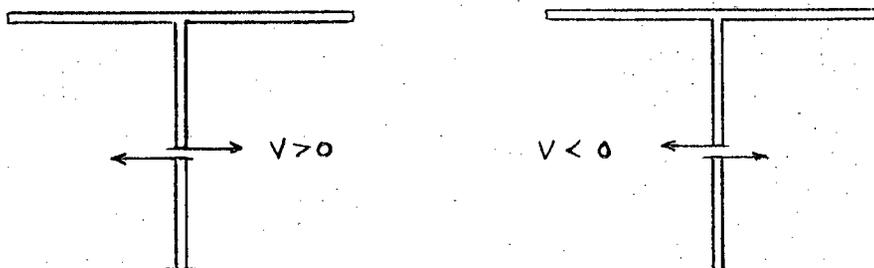


Figure # 17

Les réactions aux appuis du tablier sont données à la suite des efforts tranchants dans les travées et ce, pour chaque cas de variation de température. Si la valeur numérique n'est pas précédée d'un signe, c'est que les travées compriment l'appui. Si un signe moins (-) affecte la valeur, c'est que le tablier tend à soulever l'appui.

2- Lignes d'influence

La charge unitaire mobile prend successivement cinq positions différentes dans chaque travée (0.1, 0.3, 0.5, 0.7 et 0.9 de la portée) à partir d'un point situé à 0.1 de la première travée jusqu'au dernier point correspondant à 0.9 de la dernière travée.

Pour chacune de ces positions, le programme calcule les diagrammes de moments et d'efforts tranchants et donne les résultats avec les mêmes conventions que pour des charges statiques, sauf que dans les béquilles, on ne donne que les deux valeurs extrêmes pour les moments et une seule valeur pour l'effort tranchant. Les efforts tranchants des béquilles sont imprimés selon une séquence correspondant à celle dans laquelle on rencontre les béquilles ou les appuis en parcourant la charpente de gauche à droite. Dans les travées, les efforts tranchants ne sont également donnés qu'aux appuis, ces valeurs étant suffisantes pour dessiner toutes les lignes d'influence des efforts tranchants ainsi que celles des réactions.

IV - APPLICATION

- 1 - Pour illustrer la marche à suivre dans la préparation des données et leur transcription sur le formulaire, le programme est maintenant appliqué au calcul des moments, des efforts tranchants et des lignes d'influence dans la charpente homogène en béton armé dont une vue en

élévation est illustrée à la Figure # 18. Les quatre béquilles sont constituées chacune de cinq (5) poteaux de 2 pieds de largeur et toutes les sections transversales du tablier sont rectangulaires.

On considère que la première et la dernière béquilles sont appuyées sur rotule et que les deux béquilles intermédiaires sont encastrées à leur extrémité inférieure dans une fondation qui leur est commune.

La dalle médiane (20 pieds) est simplement appuyée à ses deux extrémités mais aussi retenue en place par des fiches de sorte qu'elle transmet tous les déplacements et les effets des variations de la température. On suppose que la charpente subira une augmentation de température de 40 degrés F. et un abaissement de 50 degrés F.

La première travée est en porte-à-faux et elle supporte un petit mur de soutènement. La dernière travée, par contre, est simplement appuyée à son extrémité droite.

La Figure # 19 montre un schéma du portique ainsi que les indices des différentes barres selon la convention particulière au programme.

Toutes les données, y compris celles qui se rapportent aux béquilles, sont telles que le calcul s'applique en définitive à un portique réduit à un (1) pied de largeur.

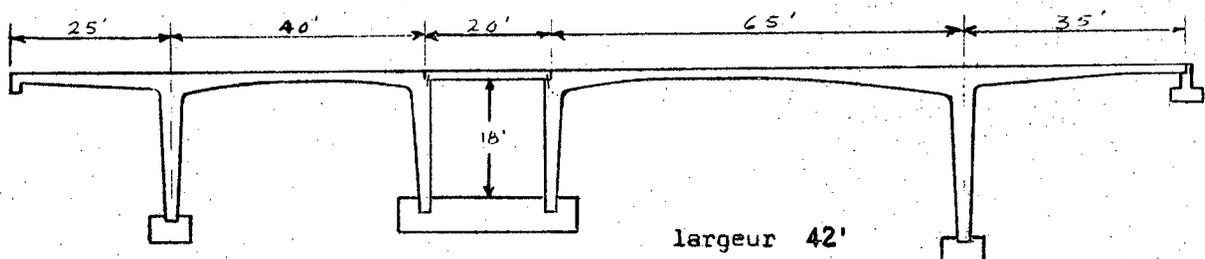


Figure # 18

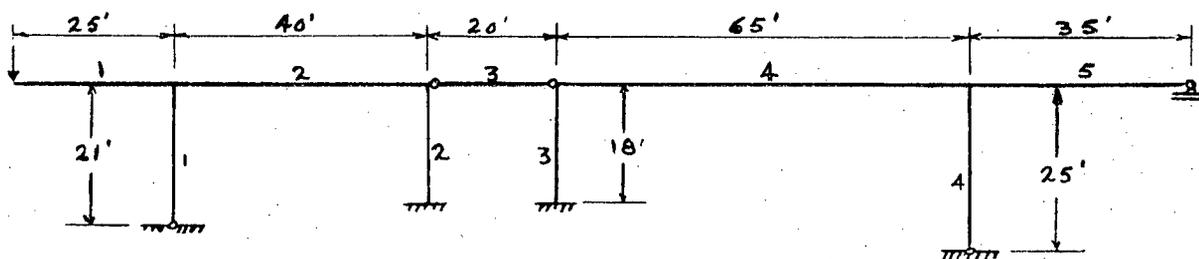


Figure # 19

2 - Données fondamentales

1) Travée # 1

Type # 2

$\alpha = 0$

$\beta = 1$

$r_a = 0$

$r_b = 1$

Portée: 25.0 pieds

$I = \frac{(1.5)^3}{12} = 0.281 \text{ pi.}^4$

$W \text{ unif.} = 1.5 \times 0.15 = 0.225 \text{ K./pi.}$

$WG1 = 0$

$WG2 = 1.5 \times 0.15 = 0.225 \text{ K./pi.}$

$P = 0.575 \text{ K.}$

Bras de levier = 24.5 pi.

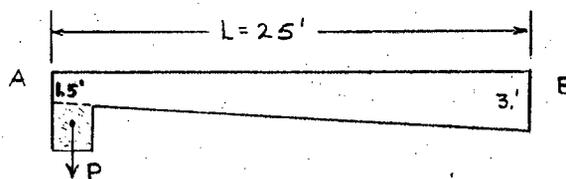


Figure # 20

2) Béquille # 1

(5 poteaux de 2' de largeur)

$r_a = 0$

$r_b = 1$

Hauteur: 21 pieds

$I = \frac{(2)^3}{12} \times \frac{5 \times 2}{42} = 0.159 \text{ pi.}^4$

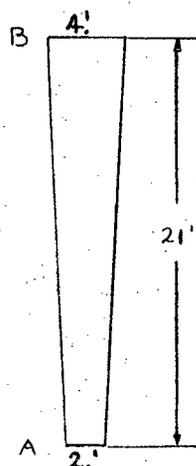
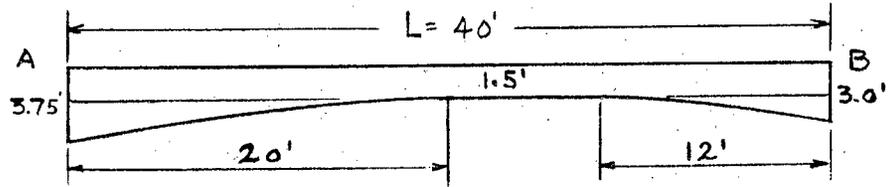


Figure # 21

3) Travée # 2



Type # 1

$\alpha = 0.5$

$\beta = 0.3$

$r_a = 1.5$

$r_b = 1.0$

Figure # 22

Portée: 40.0 pieds

$I = 0.281 \text{ pi.}^4$

W unif. = 0.225 K./pi.

WG1 = $2.25 \times 0.15 = 0.338 \text{ K./pi.}$

WG2 = 0.225 K./pi.

4) Béquille # 2

$r_a = 0$

$r_b = 0.6$

Hauteur: 18 pi.

$I = 0.159 \text{ pi.}^4$

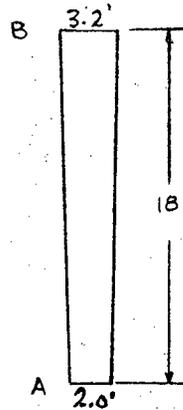


Figure # 23

5) Travée # 3

$\alpha = \beta = 0$

$r_a = r_b = 0$

Portée = 20.0 pieds

$I = 0.281 \text{ pi.}^4$

W unif. = $1.5 \times 0.15 = 0.225 \text{ K./pi.}$

WG1 = WG2 = 0

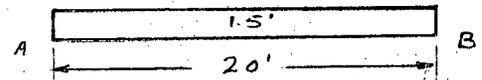


Figure # 24

6) Béquille # 3

Cf. Béquille # 2

7) Travée # 4

Type # 1

$\alpha = 0.3$

$\beta = 0.5$

$r_a = 1.0$

$r_b = 1.5$

Portée = 65.0 pieds

$I = (1.75)^3 / 12 = 0.446 \text{ pi.}^4$

W unif. = $1.75 \times 0.15 = 0.263 \text{ K./pi.}$

WG1 = 0.263 K./pi.

WG2 = $2.625 \times 0.15 = 0.394 \text{ K./pi.}$

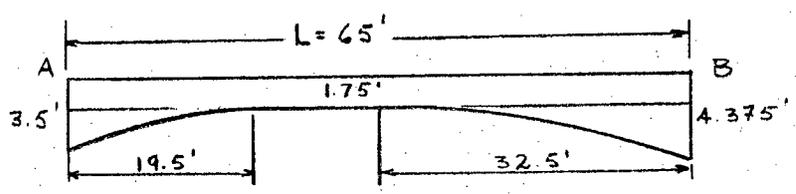


Figure # 25

8) Béquille # 4

$r_a = 0$

$r_b = 1$

Hauteur: 25 pieds

$I = 0.159 \text{ pi.}^4$

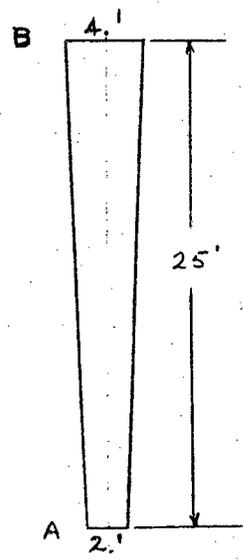


Figure # 26

9) Travée # 5

Type # 2

$\alpha = 0.7$

$\beta = 0$

$r_a = 1$

$r_b = 0$

Portée = 35.0 pieds

$I = 0.281 \text{ pi.}^4$

W unif. = 0.225 K./pi.

WG1 = 0.225 K./pi.

WG2 = 0

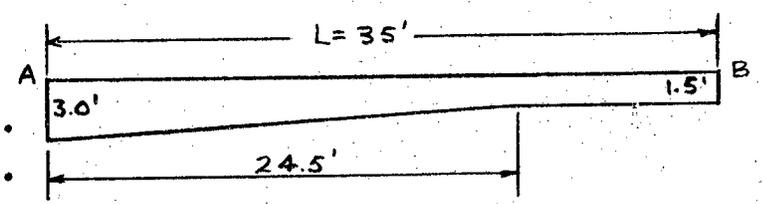


Figure # 27

DU MINISTÈRE DE LA VOIRIE — MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS
 85-061-814 ■ PROJETS RÉGULIERS □ 75-061-814
 85-061-815 □ PROJETS SPÉCIAUX □ 75-061-815

PONT-BÉQUILLE

AU CENTRE DE TRAITEMENT ÉLECTRONIQUE DES DONNÉES
 GOUVERNEMENT DU QUÉBEC
 PRÉP. PAR SERVICE DES PONTS & S (VOIRIE)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80

ITER TEMPERATURE KA DENSITÉ θ IN FIX DESCRIPTION NO Carte
 2.0 + 4.0 - 5.0 . 2.5 9.2 0.5 P. PORTIQUE A 5 TRAVÉES - FIG. # 1.8 1 C 0 1

PORTÉE PI.	INERTIE PI ⁴	FAC. DE RIGIDITÉ		FAC. DE TRANS		COEF. MW		M GAUCHE DÙ À				M DROITE DÙ À		CHARGES (K/PI)		PORTE-À-FAUX		TYPE α B	C													
		GAUCHE	DROITE	GAUCHE	DROITE	GAUCHE	DROITE	G1	G2	G1	G2	UNIFORME	G1	G2	KIPS	PIEDS																
2.5	2.81	.	.	.	.	5.0	0.0					1.6	6.7	2.2	5.	2.2	5.	5.8	2.4	5.2	1.0	T 0.2										
4.0	2.81	1.4	1.5	9.5		5.7	8.6	1.2	1.9	0.8	6.3	0.1	7.7	0.0	0.7	0.0	1.6	0.0	6.7	2.2	5.	3.3	8.2	2.2	5.	1.0	5.0	3.1	T 0.4			
2.0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	T 0.6	
6.5	4.4	6.		9.5	1.4	1.5	9.5	8.6	1.2	1.9	0.8	6.3	1.2	1.9	0.0	6.7	0.0	1.6	0.0	0.7	0.0	1.7	7.7	0.0	1.7	2.6	3.	9.4	1.0	3.0	5.5	T 0.8
3.5	2.81	1.6	6.	.	.	3.1	1.1	9.8	2.	1.3	0.2	0.5	6.2	0.5	4.0		1.1													2.0	7.1	T 1.0
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	T 1.2
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	T 1.4
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	T 1.6
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	T 1.8

HAUTEUR PI.	INERTIE PI ⁴	FAC. DE RIGIDITÉ		FAC. DE TRANS		HAUTEUR DE TERRE	PIRÉ*	M À GAUCHE DÙ À P=1					M À DROITE DÙ À P=1					C																			
		HAUT	BAS	HAUT	BAS			À 0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	À 0.1	0.3	0.5	0.7	0.9																				
2.1	1.59	1.9	4.6	.	.	2.9	4.	8.3	4.	.	.	.	.	.	.	9.	7.	5.	3.	1.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	B 0.3		
1.8	1.59	1.1	6.3	5.7	4.	3.5	0.	7.0	9.	0.9	4.7	2.2	4.5	2.0	8.4	0.8	4.3	0.0	6.6	0.0	3.0	0.3	9.2	1.2	5.1	1.8	2.1	0.9	2.0	B 0.5	
1.8	1.59	1.1	6.3	5.7	4.	3.5	0.	7.0	9.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	B 0.7
2.5	1.59	1.9	4.6	.	.	2.9	4.	8.3	4.	0.9	2.0	1.8	2.1	1.2	5.1	0.3	9.2	0.0	3.0	0.0	6.6	0.8	4.3	2.0	8.4	2.2	4.5	0.9	4.7	B 0.9	
.	0.9	4.7	2.0	2.2	1.3	7.1	3.4	3.	0.2	2.2	0.0	3.2	0.2	8.2	0.7	1.7	1.1	0.8	0.7	5.5	B 1.1
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	B 1.3
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	B 1.5
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	B 1.7
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	B 1.9

ITÉRATION MAX 20
 KA COEF DE POUSSÉE ACTIVE DES TERRES
 θ = COEF. THERMO-ELASTIQUE = $E_s \mu \times 144 \times 10^{-3}$, si $E = 3 \times 10^6$
 ET $\mu = 6 \times 10^{-6}$, $\theta = 2.592$

IN = INDICE DE LA DERNIÈRE TRAVÉE
 FIX = 1, SI LA TRAVÉE 1 EST ENCASTRÉE À GAUCHE
 +1, SI LA TERRE POUSSE VERS LA DROITE
 -1, SI LA TERRE POUSSE VERS LA GAUCHE *

TYPES DE GOUSSET
 ① PARABOLIQUE
 ② DROIT

Formulaire de transmission des données

DIAGRAMME DES MOMENTS-CHARGES STATIQUES-TEMPERATURE

1--MOMENTS-TRAVEES

AUGMENTATION DE TEMPERATURE

TRAVEE 1 .000	-21.147	-111.225	-27.614	-52.442	-86.831	-107.964
TRAVEE 2 -88.946	-59.283	-19.734	1.376	7.798	-1.712	-12.268
TRAVEE 3 .000	4.050	9.450	11.250	9.450	4.050	0.000
TRAVEE 4 -69.399	-20.940	30.912	36.672	-2.902	-9.354	-17.8064
TRAVEE 5 -105.052	-76.060	-33.039	-7.343	4.177	4.148	0.000

DIMINUTION DE TEMPERATURE

TRAVEE 1 .000	-21.147	-111.225	-27.614	-52.442	-86.831	-107.964
TRAVEE 2 -58.906	-34.032	-4.062	7.469	4.313	-13.776	-30.120
TRAVEE 3 .000	4.050	9.450	11.250	9.450	4.050	0.000

TRAVEE 4 -83.525	-31.346	27.947	41.148	9.015	-79.996	-154.985
---------------------	---------	--------	--------	-------	---------	----------

TRAVEE 5 -125.773	-94.709	-47.544	-17.704	-2.038	2.078	1060
----------------------	---------	---------	---------	--------	-------	------

2-MOMENTS-BEQUILLES

AUGMENTATION DE TEMPERATURE

BEQUILLE 1 .000	1.901	5.705	9.508	13.311	17.115	19.016
--------------------	-------	-------	-------	--------	--------	--------

BEQUILLE 2 -6.226	-4.376	-2.677	3.021	6.719	10.418	12.268
----------------------	--------	--------	-------	-------	--------	--------

BEQUILLE 3 17.965	9.229	-8.242	-25.715	-43.187	-60.660	-69.396
----------------------	-------	--------	---------	---------	---------	---------

BEQUILLE 4 .000	7.301	21.903	36.505	51.108	65.710	73.011
--------------------	-------	--------	--------	--------	--------	--------

DIMINUTION DE TEMPERATURE

BEQUILLE 1 .000	4.906	14.718	24.530	34.342	44.154	49.060
--------------------	-------	--------	--------	--------	--------	--------

BEQUILLE 2 -17.791	-13.000	-3.417	6.164	15.747	25.329	30.121
-----------------------	---------	--------	-------	--------	--------	--------

BEQUILLE 3 27.472	16.372	-5.826	-28.026	-50.225	-72.425	-83.525
----------------------	--------	--------	---------	---------	---------	---------

BEQUILLE 4 .000	2.921	8.763	14.605	20.547	26.288	29.210
--------------------	-------	-------	--------	--------	--------	--------

EFFORTS TRANCHANTS DANS LES TRAVEES

AUGMENTATION DE TEMPERATURE

TRAVEE 1 .000	-11170	-21520	-4.095	-15.895	-71920	-91017
TRAVEE 2 8.456	61456	31646	1.702	-4.097	-21163	-31697
TRAVEE 3 2.250	11800	.900	.000	-4.980	-11800	-21250
TRAVEE 4 8.998	61078	21152	-1.266	-4.958	-101288	-141082
TRAVEE 5 9.052	71533	41833	2.583	.783	-41791	-11579

REACTIONS AUX APPUIS-TABLIER

.00	17.47	5.94	11124	23113	1157
-----	-------	------	-------	-------	------

DIMINUTION DE TEMPERATURE

TRAVEE 1 .000	-11170	-21520	-4.095	-15.895	-71920	-91017
TRAVEE 2 7.258	51259	21449	.605	-1.294	-31361	-41894
TRAVEE 3 2.250	11800	.900	.000	-4.980	-11800	-21250
TRAVEE 4 9.562	61650	21724	-.694	-4.386	-91717	-131509
TRAVEE 5 9.644	81125	51425	3.175	1.375	-41190	-11987

EFFORTS TRANCHANTS DANS LES BEQUILLES

AUGMENTATION DE TEMPERATURE

BEQUILLE 1 -.905	-.905	-.905	-.905	-.905	-.905	-J905	-J905
BEQUILLE 2 -1.027	-1.027	-1.027	-1.027	-1.027	-1.027	-J027	-J027
BEQUILLE 3 4.853	4.853	4.853	4.853	4.853	4.853	J853	J853
BEQUILLE 4 -2.920	-2.920	-2.920	-2.920	-2.920	-2.920	-J920	-J920

DIMINUTION DE TEMPERATURE

BEQUILLE 1 -2.336	-2.336	-2.336	-2.336	-2.336	-2.336	-J336	-J336
BEQUILLE 2 -2.661	-2.661	-2.661	-2.661	-2.661	-2.661	-J661	-J661
BEQUILLE 3 6.166	6.166	6.166	6.166	6.166	6.166	J166	J166
BEQUILLE 4 -1.168	-1.168	-1.168	-1.168	-1.168	-1.168	-J168	-J168

LIGNES D-INFLUENCE-PROB J NO 1

(Résultats partiels)

CHARGE A .100 DE LA TRAVEE 1

MOMENTS EN TRAVEE

	APPUI GAUCHE	A 0.1	A 0.3	A 0.5	A 0.7	A 0.9	APPUI DROIT
TRAVEE 1	.000	.000	-5.000	-10.000	-15.000	-20.000	-22.500
TRAVEE 2	-10.536	-8.966	-5.826	-2.686	.453	3.593	5.163
TRAVEE 3	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
TRAVEE 4	-.948	-.765	-.399	-.033	.332	.698	.881
TRAVEE 5	-.122	-.110	-.085	-.081	-.036	-.012	.000

MOMENTS-BEQUILLES

	EN HAUT	EN BAS
BEQUILLE 1	11.963	.000
BEQUILLE 2	-5.164	2.446
BEQUILLE 3	-.948	.971
BEQUILLE 4	-1.004	.000

EFFORTS TRANCHANTS AUX NOEUDS-TRAVEES

TRAVEE 1	.000	-1.000
TRAVEE 2	.392	.392
TRAVEE 3	.000	.000
TRAVEE 4	.028	.028
TRAVEE 5	.003	.003

EFFORTS TRANCHANTS-BEQUILLES

-.569 .422 .106 .040

CHARGE A .500 DE LA TRAVEE 2

MOMENTS EN TRAVEE

	APPUI GAUCHE	A 0.1	A 0.3	A 0.5	A 0.7	A 0.9	APPUI DROIT
TRAVEE 1	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
TRAVEE 2	-6.146	-3.989	.326	4.642	.957	-2.727	-4.569
TRAVEE 3	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
TRAVEE 4	-.260	-.210	-.109	-.009	.091	.191	.241
TRAVEE 5	-.033	-.030	-.023	-.016	-.010	-.603	.000

MOMENTS-BEQUILLES

	EN HAUT	EN BAS
BEQUILLE 1	-6.146	.000
BEQUILLE 2	4.569	-1.424
BEQUILLE 3	-.260	.266
BEQUILLE 4	-.275	.000

EFFORTS TRANCHANTS AUX NOEUDS-TRAVEES

TRAVEE 1	.000	.000
TRAVEE 2	.539	-.460
TRAVEE 3	.000	.000
TRAVEE 4	.007	.007
TRAVEE 5	.000	.000

EFFORTS TRANCHANTS-BEQUILLES

.292 -.332 .029 .011

CHARGE A .700 DE LA TRAVEE 3

MOMENTS EN TRAVEE

	APPUI GAUCHE	A 0.1	A 0.3	A 0.5	A 0.7	A 0.9	APPUI DROIT
TRAVEE 1	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
TRAVEE 2	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
TRAVEE 3	.000	.600	1.800	3.000	4.200	1.400	.000
TRAVEE 4	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
TRAVEE 5	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

MOMENTS-BEQUILLES

	EN HAUT	EN BAS
BEQUILLE 1	.000	.000
BEQUILLE 2	.000	.000
BEQUILLE 3	.000	.000
BEQUILLE 4	.000	.000

EFFORTS TRANCHANTS AUX NŒUDS-TRAVEES

TRAVEE 1	.000	.000
TRAVEE 2	.000	.000
TRAVEE 3	.300	-.700
TRAVEE 4	.000	.000
TRAVEE 5	.000	.000

EFFORTS TRANCHANTS-BEQUILLES

.000 .000 .000 .000

CHARGE A .900 DE LA TRAVEE 4

MOMENTS EN TRAVEE

	APPUI GAUCHE	A 0.1	A 0.3	A 0.5	A 0.7	A 0.9	APPUI DROIT
TRAVEE 1	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
TRAVEE 2	-.065	-.052	-.027	-.001	.023	.049	.061
TRAVEE 3	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
TRAVEE 4	-.982	-.686	-.035	.595	1.227	1.858	-4.325
TRAVEE 5	-2.185	-1.967	-1.530	-1.092	-.855	-.3218	.000

MOMENTS-BEQUILLES

	EN HAUT	EN BAS
BEQUILLE 1	-.065	.000
BEQUILLE 2	-.061	.058
BEQUILLE 3	-.982	.382
BEQUILLE 4	2.140	.000

EFFORTS TRANCHANTS AUX NOEUDS-TRAVEES

TRAVEE 1	.000	.000
TRAVEE 2	.003	.003
TRAVEE 3	.000	.000
TRAVEE 4	.048	-.051
TRAVEE 5	.062	.062

EFFORTS TRANCHANTS-BEQUILLES

.003 .006 .075 -.085

CHARGE A .500 DE LA TRAVEE 5

MOMENTS EN TRAVEE

	APPUI GAUCHE	A 0.1	A 0.3	A 0.5	A 0.7	A 0.9	APPUI DROIT
TRAVEE 1	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
TRAVEE 2	.156	.125	.065	.004	-.056	-.216	-.147
TRAVEE 3	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
TRAVEE 4	1.422	.973	.075	-.022	-1.721	-2.619	+3.068
TRAVEE 5	-6.444	-4.049	.738	5.527	3.316	1.105	.000

MOMENTS-BEQUILLES

	EN HAUT	EN BAS
BEQUILLE 1	.156	.000
BEQUILLE 2	.147	-.139
BEQUILLE 3	1.422	-.1586
BEQUILLE 4	-3.375	.000

EFFORTS TRANCHANTS AUX NOEUDS-TRAVEES

TRAVEE 1	.000	.000
TRAVEE 2	-.007	-.007
TRAVEE 3	.000	.000
TRAVEE 4	-.069	-.069
TRAVEE 5	.684	-.315

EFFORTS TRANCHANTS-BEQUILLES

-.007 -.015 -.111 .135

MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 102 441