

THESE de DOCTEUR-INGENIEUR

présentée

à l'Université Pierre et Marie CURIE
Paris 6

par Monsieur Michel HENIN

pour obtenir le titre de DOCTEUR-INGENIEUR

Sujet de la thèse :

CALCUL STATIQUE DES SYSTEMES DE CONTREVENTEMENT
TRIDIMENSIONNELS IRREGULIERS PAR LA METHODE
DES MATRICES TRANSFERT

soutenue le 8 Octobre 1978

devant le jury composé de :

- | | |
|---------------------|-------------|
| Monsieur SIESTRUNCK | Président |
| Monsieur ALAIS | Examinateur |
| Monsieur ABST | Examinateur |

CALCUL STATIQUE DES SYSTEMES DE CONTREVENTEMENT TRIDIMENSIONNELS
IRREGULIERS PAR LA METHODE DES MATRICES TRANSFERT

REMERCIEMENTS

Je remercie très vivement l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées qui, en m'allouant une bourse de recherche, a grandement facilité l'élaboration de cette thèse. Cette bourse de recherche a été financée par les crédits attribués à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées au titre de la Recherche Scientifique et Technique.

J'exprime toute ma gratitude à Monsieur le Professeur SIESTRUNCK qui a bien voulu diriger mon travail, ainsi qu'à Monsieur le Professeur ALAIS qui a accepté de l'examiner.

Je présente mes remerciements à Monsieur LE BOURRE, Directeur Général du Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics (C.E.B.T.P.) pour m'avoir accueilli dans son Laboratoire et accordé toute facilité dans mon travail.

J'exprime plus particulièrement ma reconnaissance à Monsieur ABSI, Délégué Général Scientifique du C.E.B.T.P., qui a su me conseiller et m'orienter tout au long de mes recherches.

Je tiens enfin à remercier les Ingénieurs du Service Informatique du C.E.B.T.P. pour leurs précieux conseils.

TABLE DES MATIERES

	<u>Pages</u>
<u>INTRODUCTION</u>	6
<u>I - MATRICE TRANSFERT D'UN ENSEMBLE DE REFENDS ET DE PROFILS OUVERTS TRAVAILLANT CONJOINTEMENT</u>	9
I.1. Hypothèses fondamentales	9
I.1.1. géométrie	9
I.1.2. comportement	9
I.2. Notations, conventions de signe	11
I.2.1. géométrie	11
I.2.2. sollicitations	12
I.2.3. efforts internes	13
I.2.4. déformations	14
I.3. Matrice transfert de flexion	15
I.3.1. flexion dans le plan Cxz	15
I.3.2. flexion dans le plan Cyz	17
I.4. Matrice transfert de torsion	19
I.4.1. rappels	19
I.4.2. construction de la matrice transfert de torsion gauchie	
I.5. Matrice transfert de compression-traction	26
I.6. Matrice transfert globale	28
I.6.1. construction	28
I.6.2. remarques	30
I.7. Termes de charge	32
I.7.1. termes de flexion	32
I.7.2. termes de torsion	37
I.7.3. termes de compression-traction	42
I.7.4. remarques sur les termes de charge	44

	<u>Page</u>
II - <u>TRAITEMENT MATRICIEL DES SINGULARITES ET DISCONTINUITES</u>	45
II.1. Prise en compte des linteaux	46
II.2. Discontinuités de section	54
II.2.1. composantes géométriques	55
II.2.2. efforts internes	65
II.2.3. matrice transfert de discontinuité de section	71
II.3. Fondations sur sol élastique	73
II.3.1. matrice transfert de fondations élastiques	73
II.3.2. généralisation	77
III - <u>APPLICATION AU CALCUL PRATIQUE DES CONTREVENTEMENTS</u>	80
III.1. Construction de la matrice transfert globale d'un contreventement d'immeuble soumis à un chargement donné	80
III.2. Conditions aux extrémités et résolution du problème	81
III.3. Programmation en vue du calcul automatique	84
III.4. Complément : Prise en compte des portiques réguliers	88
III.4.1. portiques symétriques à une travée	88
III.4.2. portiques multitravées non symétriques	93
IV - <u>APPLICATIONS NUMERIQUES</u>	
IV.1. Exemple 1 : Immeuble régulier non symétrique	95
IV.1.1. généralités	95
IV.1.2. description sommaire de l'immeuble	96
IV.1.3. comparaison des résultats	98
IV.2. Exemple 2 : Immeuble présentant des discontinuités. Fondations rigides et fondations élastiques	109
IV.2.1. généralités	109
IV.2.2. description sommaire de l'immeuble	109
IV.2.3. comparaison des résultats	111
IV.3. Exemple 3 : Noyaux symétriques à deux files d'ouvertures	125
IV.3.1. généralités	125
IV.3.2. description du premier noyau	127

	<u>Pages</u>
IV.3.3. Comparaison des résultats	129
IV.3.4. Deuxième noyau	134
IV.3.5. Conclusions	136
IV.4. Exemple 4 : Portique symétrique à une travée	137
IV.4.1. Description sommaire de l'immeuble	137
IV.4.2. Comparaison des résultats	138
IV.5. Exemple 5 : Prise en compte de portiques multitravées non symétriques	140
IV.5.1. Description sommaire de l'immeuble	140
IV.5.2. Comparaison des résultats	142

-0-0-0-0-0-0-0-

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

La plupart des immeubles élancés construits actuellement sont contreventés par des murs, des voiles, ou des noyaux. Le calcul statique de telles structures, soumises à des charges de vent, a été abordé il y a une vingtaine d'années et plusieurs méthodes sont aujourd'hui à la disposition des ingénieurs.

Un calcul rigoureusement exact n'étant pas envisageable ni, de toutes façons nécessaire, ces méthodes font toutes un certain nombre d'hypothèses fondamentales de comportement destinées à simplifier l'approche du problème. En particulier :

- Les calculs se font dans le domaine élastique linéaire
- Le fonctionnement des voiles en flexion, torsion et compression-traction est régi par la théorie usuelle des poutres, sans distorsion, généralisée par VLASSOV (Réf. 20)
- Les planchers sont indéformables dans leur plan et cette indéformabilité transversale des sections est étendue aux niveaux entre planchers.

Malheureusement, en plus de ces trois hypothèses de base, les méthodes actuellement disponibles introduisent d'une part des hypothèses simplificatrices qui ont pour conséquence de limiter le domaine d'application, et d'autre part des approximations de calcul qui peuvent conduire à des résultats erronés.

Les hypothèses simplificatrices le plus couramment rencontrées sont :

- Les caractéristiques géométriques et mécaniques du système de contreventement restent constantes (ou varient peu) avec la hauteur
- Les files de linteaux sont régulières
- Pas de discontinuités de section, ou quand elles sont possibles pas de changement de ligne moyenne des voiles
- Pas de fondations élastiques.

Les approximations de calcul les plus courantes sont :

- Le gauchissement propre des voiles est négligé
- Les déformations d'effort normal dans les voiles sont négligées
- Les files de linteaux sont remplacées par un milieu travaillant au cisaillement (méthodes "continues")
- Les refends à files d'ouvertures sont remplacés par des "refends équivalents"
- Les systèmes d'équations différentielles sont remplacés par des équations aux différences finies.

Le but de cette étude est de proposer une méthode générale et précise de calcul par ordinateur des systèmes de contreventement tridimensionnels constitués de voiles reliés par des linteaux.

Cette méthode est générale en ce sens qu'elle ne s'appuie que sur les trois hypothèses fondamentales de comportement indiquées plus haut : élasticité linéaire, théorie des poutres de VLASSOV, sections transversales du contreventement indéformables dans le plan horizontal.

Elle autorise par conséquent les discontinuités de section, une distribution des linteaux quelconque et des fondations élastiques.

Cette méthode est précise en ce sens que le calcul est mené sans approximations, dans le cadre des trois hypothèses fondamentales ci-dessus. Nous tenons compte, en particulier, des déformations d'effort normal des voiles ainsi que de leur gauchissement propre.

La méthode proposée dans cette étude présente un troisième avantage : elle est à peine plus coûteuse en temps-machine que les plus économiques des méthodes approchées actuellement disponibles.

Le calcul se fait en utilisant la technique des matrices-transfert. Le vecteur état considéré comporte un certain nombre de paramètres décrivant le comportement en flexion, torsion gauchie et compression-traction de la section entière du contreventement, à un niveau donné. Une matrice transfert est associée à chaque type de singularité (niveau à linteaux, discontinuité de section, fondations élastiques) et aux "tranches" du système de contreventement comprises entre deux singularités successives.

Le premier chapitre est consacré à la construction de la matrice transfert d'un tronçon régulier de contreventement, sans singularités.

Nous étudions dans le second chapitre les matrices transfert associées aux trois types de singularités déjà mentionnés ci-dessus :

- niveau à linteaux
- discontinuité de section
- fondations élastiques.

L'application au calcul pratique des systèmes de contreventement est exposée dans le troisième chapitre. Une méthode approchée de prise en compte des portiques multitravées non symétriques réguliers y est indiquée en complément.

Le quatrième chapitre présente cinq exemples destinés à tester la méthode et comparer ses performances avec celles des autres méthodes disponibles.