

CALCUL DES OSSATURES DES CONSTRUCTIONS

*Détermination de la sollicitation des éléments
constituant les Ossatures*

I

Première partie. — Introduction

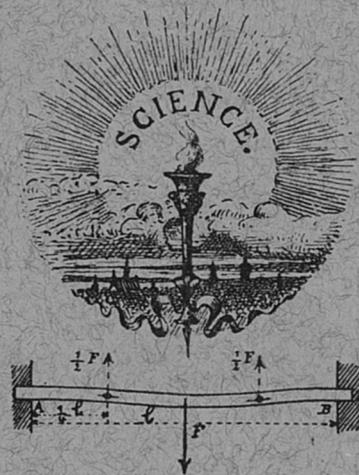
Deuxième partie. — Éléments fondamentaux relatifs à la poutre droite

PAR

Louis BAES

Ingénieur I. C. M.

Professeur à l'Université libre de Bruxelles
et à l'Académie royale des Beaux-Arts
de la Ville de Bruxelles (Section d'Architecture)



*Dessin de Jean Baes, architecte
(1848-1914)*

ÉDITÉ PAR LE

CENTRE BELGO-LUXEMBOURGEOIS D'INFORMATION DE L'ACIER

154, avenue Louise, Bruxelles

1952

TABLE DES MATIÈRES

Préface	
Table des matières	

PREMIÈRE PARTIE

INTRODUCTION

CHAPITRE PREMIER

Les problèmes à résoudre

CHAPITRE II

Rappels de notions fondamentales

II-1. <i>De l'équilibre des ensembles de vecteurs</i>	
A. Rappels de théorie	
II-1/1 à 10. Généralités relatives aux vecteurs	
II-1/11. Systèmes de vecteurs équivalents à zéro	
II-1/12 et 13 Réduction d'un système de vecteurs glissants	
B. Eléments d'applications en vue des problèmes du calcul des ossatures	
B-1. <i>Composition et décomposition de vecteurs situés dans un même plan</i>	
II-1/14 à 20.	
B-1, a et b. <i>Quelques propriétés du polygone funiculaire et quelques exemples</i>	
II-1/21 à 27.	
B-1, c. <i>Quelques problèmes de neutralisation ou d'équilibre</i>	
II-1/23.	
B-2. <i>Composition et décomposition de vecteurs glissants non coplanaires</i>	
II-1/29. Recherche des deux éléments de réduction du système de vecteurs	
II-1/30. Quelques problèmes de neutralisation ou d'équilibre	
II-1/31. <i>Eléments caractérisant la sollicitation subie à travers une section transversale déterminée d'une pièce à fibre moyenne</i>	
II-2. <i>Considérations générales relatives à quelques propriétés fondamentales des matériaux qui sont à la base des méthodes de calcul des ossatures</i>	
II-2/1, 2 et 3. Déformations, dilatations principales. Tensions ou contraintes, tensions ou contraintes principales	
II-2/4. Le problème des critères de la résistance mécanique des matériaux. Importance des phénomènes de glissement. Ruptures de fragilité. Courbes enveloppes des états limites. Lacunes	
II-2/5. Intérêt des procédés de frettage et des procédés de précontrainte ou de présollicitation	
II-2/6. Principes fondamentaux des méthodes de calcul des ossatures	
II-2/6-1. Méthodes effectuant tous les calculs dans les limites de l'élasticité	
II-2/6-2. Méthodes de calcul élastico-plastiques sans entrée effective en plasticité	
II-2/6-3. Méthodes de calcul élastico-plastiques, avec entrée effective en plasticité	
II-2/6-4. Méthodes de calcul dites à la rupture	
II-2/7. Coefficients de sécurité	
II-3. <i>Importance de conférer aux ossatures une raideur, mais aussi une souplesse, suffisantes, toutes deux adéquates au cas</i>	

II-4. Le travail de la déformation élastique. Théorèmes relatifs au travail. Principes de réciprocité	
II-4/1, 2, 3 et 4. Lois de Hooke généralisées. Travail de la déformation élastique et de la déformation thermique ou analogue	
II-4/5. Théorèmes relatifs au travail de la déformation élastique. Th. de Castigliano. Th. de Menabrea	
II-4/6. Principes de réciprocité. Théorème de Maxwell	
II-4/7. Application du principe du travail virtuel à l'étude des déformations élastiques	
II-5 Cas particulier des systèmes plans constitués de pièces longues à fibre moyenne et sollicités par des forces et couples extérieurs situés dans le plan moyen du système	
II-5/1. Expression des tensions et des déformations élastiques	
II-5/2. Expression du travail de la déformation élastique	
II-5/3 et 4. Déplacements en J, projeté dans telle direction jj , sous l'effet d'un groupe de charge K appliqué graduellement	
II-5/5. Déplacements, dans un système isostatique, dus à des effets thermiques ou analogues	
II-5/6 et 7. Cas particulier des systèmes constructifs plans en treillis articulé, les forces extérieures étant appliquées aux nœuds seulement	
Tableaux A, B, C pour l'application du II-5/3	
II-6. Généralités relatives à la méthode des lignes d'influence	
II-6/1. Introduction et définitions	
II-6/2. Lignes d'influence de translation. Problème type. Recherche des positions dangereuses d'un train de charges ou analogues	
II-6/3. Lignes d'influence polaires	
II-6/3-1 à 3. Cas du pivotement plan, du pivotement en cône de révolution, du pivotement dans tout l'espace autour d'un point	
II-6/3-4. Problème inverse	
II-6/3-5. Indication de quelques cas d'application des lignes d'influence polaires	
II-6/4. Formes générales des lignes d'influence intervenant dans le calcul des ossatures des ensembles constructifs plans	
II-6/4-1. Deux théorèmes sont à la base de la recherche des formes générales des lignes d'influence considérées	
II-6/4-2. Système constructif à appuis indéformables parcouru par une charge F se déplaçant par translation	
II-6/4-2-1. Ligne d'influence d'une liaison extérieure \mathcal{L}^j (appui) ou intérieure (N, T, M), dont le calcul ne met en jeu que des équations d'équilibre statique (élément isostatique). Méthode des déplacements d'une chaîne cinématique	
II-6/4-2-1 à 6. Remarques et applications diverses	
II-6/4-2-2. Ligne d'influence de translation d'une liaison extérieure (appuis) ou intérieure (N, T, M) hyperstatique \mathcal{H}^j	
Applications diverses	
II-6/4-2-3. Ligne d'influence d'une liaison, sous l'effet d'un couple mobile se déplaçant le long du système	
II-6/4-2-4. Lignes d'influence d'un déplacement de translation dans telle direction ou d'un déplacement angulaire	

CHAPITRE III

Classification générale des systèmes constructifs fondamentaux

III-1. Systèmes déformables et systèmes indéformables	
III-1/1. Les systèmes de type déformable	
III-1/2-1. Les systèmes de type dit indéformable	
III-1/2-2. Un système peut être indéformable au point de vue interne, indépendamment de ses conditions d'appui	
III-1/2-3. Un système peut être déformable au point de vue interne, mais être cependant de type indéformable au point de vue global ou externe, grâce à ses conditions d'appui	
III-1/2-4 et 5. Systèmes strictement indéformables et systèmes à éléments surabondants	
III-2. Ensembles linéaires rectilignes, ou fondamentalement à une dimension, — ensembles plans, ou fondamentalement à deux dimensions, — ensembles de l'espace, ou fondamentalement à trois dimensions	
III-2/1. Pièces ou ensembles linéaires rectilignes	
III-2/2-1. Ensembles constructifs plans	

III-2/2-2.	Ensembles constitués par l'association de parties planes	
III-2/2-3.	Dalles et voiles plans	
III-2/3.	Ensembles constructifs à trois dimensions réalisés par des formes cylindriques travaillant essentiellement dans des plans verticaux, normaux à l'axe du cylindre, et donc à simple courbure	
III-2/4.	Ensembles constructifs à trois dimensions réalisés par l'association de fermes courbes planes et de poutres planes	
III-2/5.	Ensembles constructifs à trois dimensions, non réalisés par l'association de fermes planes et de poutres planes	
III-3.	Types d'appuis des constructions	
III-3/1.	Généralités	
III-3/2.	<i>Appuis des ensembles constructifs plans</i>	
III-3/2-1.	Appui type plan empêchant, ou limitant, la translation dans une direction donnée du plan, laissant libre la translation dans la direction normale à celle entravée et la rotation autour d'un axe normal au plan du système	
III-3/2-2.	Appui type plan empêchant, ou limitant, la rotation autour d'un axe normal au plan de la construction, laissant libre toute translation dans le plan	
III-3/2-3.	Appui type plan empêchant, ou limitant, toute translation, ou, ce qui revient au même, la translation dans deux directions différentes du plan	
III-3/2-4.	Appui type plan empêchant, ou limitant, la translation dans une direction déterminée du plan et la rotation autour d'un axe normal au plan	
III-3/2-5.	Appui type plan entravant tout mouvement	
III-3/3.	<i>Appuis fonctionnant à trois dimensions</i>	
III-3/3-1.	Appui type espace empêchant, ou limitant, la translation dans une direction donnée et laissant donc cinq degrés de liberté	
III-3/3-2.	Appui type espace empêchant, ou limitant, toute translation dans un plan ou toute translation dans deux directions	
III-3/3-3.	Appui type espace empêchant toute translation, permettant toute rotation	
III-3/3-4.	Appui type espace empêchant ou limitant tout mouvement. (Encastrement.)	
III-3/3-5.	Nombre et nature des inconnues d'appui des cas considérés. Tableau	
III-4.	Les systèmes indéformables au point de vue interne, isostatiques ou hyperstatiques au point de vue de leurs liaisons extérieures	
III-4/1.	Généralités	
III-4/2.	Types de systèmes plans, indéformables au point de vue interne, isostatiques au point de vue de leurs liaisons extérieures	
III-4/3.	Types de systèmes à trois dimensions, indéformables au point de vue interne, isostatiques au point de vue des liaisons extérieures	
III-4/4.	Types de systèmes plans, indéformables au point de vue interne, hyperstatiques au point de vue de leurs liaisons extérieures	
III-4/5.	Types de systèmes à trois dimensions, indéformables au point de vue interne, hyperstatiques au point de vue de leurs liaisons extérieures	
III-5.	Les systèmes indéformables au point de vue interne, isostatiques ou hyperstatiques au point de vue interne également	
III-5/1.	Généralités	
III-5/2.	Types de systèmes plans indéformables au point de vue interne et <i>isostatiques</i> au point de vue interne	
III-5/3.	Types de systèmes à trois dimensions indéformables au point de vue interne et isostatiques au point de vue interne	
III-5/4.	Type de systèmes indéformables au point de vue interne et hyperstatiques au point de vue interne	
III-6.	Les systèmes déformables au point de vue interne, mais rendus indéformables par leurs appuis et isostatiques ou hyperstatiques au point de vue externe	
III-7.	Les systèmes déformables au point de vue interne, stables et isostatiques au point de vue externe, mais restant déformables	
III-8.	Les tensions de pose. Les présollicitations de cause externe ou interne. Position moderne de ces problèmes	
III-9.	Tableau d'ensemble	

DEUXIÈME PARTIE
ÉLÉMENTS FONDAMENTAUX RELATIFS À LA POUTRE DROITE

CHAPITRE IV

La poutre droite horizontale ordinaire appuyée isostatiquement, chargée de charges verticales fixes ou mobiles, situées dans son plan moyen (Diagrammes et lignes d'influence des T et des M)

- IV-1. *Définitions et conventions de signe*
- IV-1/1. Effort tranchant
- IV-1/2. Moment fléchissant
- IV-2. *Propriétés générales relatives aux efforts tranchants et aux moments fléchissants*
- IV-3. *Cas les plus importants au point de vue des applications techniques*
 - A. *La poutre simplement appuyée à ses deux extrémités*
 - IV-3/1. 1^{er} Cas. Une charge F concentrée et fixe est portée directement par la poutre
 - IV-3/2. 2^e Cas. Une charge F concentrée est portée directement sur la poutre, mais se déplace sur toute la longueur de la poutre
 - IV-3/3. 3^e Cas. Une charge fixe uniformément répartie transmise directement à la poutre couvre entièrement celle-ci
 - IV-3/4. 4^e Cas. Une charge uniformément répartie couvre une partie seulement de la longueur de la poutre, conformément à la figure IV-13
 - IV-3/5. 5^e Cas. Poutre droite simplement appuyée à ses deux extrémités et sur laquelle une charge uniformément répartie q peut se déplacer, pouvant d'ailleurs occuper n'importe quelle position et notamment s'avancer à partir d'un appui jusqu'à couvrir toute la poutre
 - IV-3/6. 6^e Cas. La poutre simplement appuyée à ses extrémités porte une charge permanente uniformément répartie p par unité de longueur et peut recevoir en outre une surcharge répartie q par unité de longueur, pouvant occuper n'importe quelle position et couvrir éventuellement toute la poutre
 - IV-3/7. 7^e Cas. La poutre simplement appuyée à ses extrémités porte une charge uniformément répartie complète et une charge concentrée fixe
 - IV-3/8. 8^e Cas. Un nombre quelconque de charges concentrées fixes est porté directement sur la poutre
 - IV-3/9. 9^e Cas. Un nombre quelconque de charges momentanément fixes est porté directement sur la poutre, par l'intermédiaire de poutres transversales appelées entretoises
 - IV-3/10. 10^e Cas. Problème du convoi de charges roulant directement sur la poutre : Un nombre quelconque de charges concentrées, à distance invariable l'une de l'autre et constituant donc convoi de charges, roule directement sur la poutre
 - IV-3/10-1. Ligne d'influence des réactions d'appui dues au convoi complet
 - IV-3/10-2. Ligne d'influence de l'effort tranchant en une section déterminée de la poutre due au convoi complet
 - IV-3/10-3. Diagramme des efforts tranchants maxima positifs et négatifs tout le long de la poutre
 - IV-3/10-4. Ligne d'influence du moment fléchissant en une section déterminée de la poutre due au convoi complet
 - IV-3/10-5-1. Diagramme des moments fléchissants maxima dans toute poutre
 - IV-3/10-5-2. Première proposition complémentaire
 - IV-3/10-5-3. Deuxième proposition complémentaire
 - IV-3/10-5-4. Troisième proposition complémentaire
 - IV-3/10-5-5. Diagramme des moments fléchissants produits au droit de telle charge du convoi
 - IV-3/10-5-6. Application particulière au cas d'un convoi de deux charges
 - IV-3/10-5-7. Recherche du diagramme des moments fléchissants maxima produits par le passage d'un convoi de charges sur une poutre
 - IV-3/10-5-8. Charge uniforme équivalente à un convoi au point de vue moments fléchissants
 - IV-3/10-5-9. Charge uniforme équivalente à un convoi au point de vue efforts tranchants
 - IV-3/11. Association des cas IV-3/3 et IV-3/10 : Une poutre simplement appuyée à ses extrémités supporte un poids mort uniformément réparti et subit les effets d'un convoi de charges concentrées
 - IV-3/12. Problème du convoi de charges roulant indirectement sur la poutre par un jeu de longrines simplement appuyées sur les entretoises
 - IV-3/12-1. Circulation d'une charge unique concentrée

IV-3/12-1-1.	Ligne d'influence des réactions des appuis
IV-3/12-1-2.	Ligne d'influence de l'effort tranchant en une section déterminée de la poutre
IV-3/12-1-3.	Ligne d'influence du moment fléchissant en une section déterminée de la poutre
IV-3/12-2.	Diagrammes des T et des M dus à une charge uniformément répartie couvrant toute la longueur de la poutre (poids mort)
IV-3/12-3.	Diagrammes des T et des M maxima dus à une surcharge uniformément répartie pouvant se distribuer n'importe comment sur la poutre
IV-3/12-4.	Effets simultanés des cas 12.2, poids mort uniforme et 12.3, surcharge uniforme
IV-3/12-5.	Diagrammes des T et des M maximum dus à un convoi de charges concentrées
IV-3/12-6.	Effets simultanés des cas 12.2 et 12.5
	B. La poutre encastrée à une de ses extrémités et en porte-à-faux
IV-3/13-1.	Circulation d'une charge unique concentrée
IV-3/13-2.	Diagrammes des T et des M dus à un groupe de charges fixes concentrées ou uniformément réparties
IV-3/13-3.	Diagrammes des T et des M maxima dus à une charge unique concentrée circulant tout le long de la poutre
IV-3/13-4.	Diagrammes des T et M maxima dus à un convoi de charge uniformément réparti pouvant recouvrir toute la poutre
IV-3/13-5.	Diagrammes des T et des M maxima dus à un convoi de charges concentrées
	C. La poutre est posée sur un appui à rotule et un appui à rouleau, mais ceux-ci ne sont pas aux extrémités de la poutre, et les porte-à-faux sont de même longueur
IV-3/14-1.	Circulation d'une charge unique concentrée. Ligne d'influence des réactions des appuis et des efforts tranchants
IV-3/14-2.	Diagrammes des T et des M dus à un groupe de charges fixes concentrées
IV-3/14-3.	Diagrammes des T et des M dus à une charge uniformément répartie couvrant la totalité de la poutre
IV-3/14-4.	Diagrammes des T et des M maxima dus à une surcharge uniformément répartie pouvant occuper à volonté telle ou telle partie de la poutre
IV-3/14-5.	Effets simultanés des cas 14-3 (poids mort) et 14-4
IV-3/14-6.	Diagrammes des T et des M maxima dus à un convoi de charges concentrées circulant sur la poutre

CHAPITRE V

La poutre longue droite prismatique à âme pleine à plan moyen, sollicitée, dans les limites de la proportionnalité (élasticité), par flexion plane sans torsion. (Tensions, ligne élastique, choix du profil. Tableaux de formules relatives à 59 cas. Introduction de la méthode des foyers)

V-1.	Tensions normales
V-1/1 et 2.	Définition et expression des tensions normales σ_x s'exerçant à travers les éléments des sections transversales de la pièce fléchie sans torsion
V-1/3.	Expression de σ_x , en rapportant la section transversale à ses axes principaux centraux d'inertie
V-1/4.	Cas particulier de la flexion plane simple non déviée
V-2.	Tensions tangentielles et tensions principales
V-2/1.	Tensions tangentielles agissant sur les éléments de la section transversale, en cas de flexion simple non déviée d'une pièce droite à plan moyen
V-2/2.	Quelques considérations relatives aux tensions tangentielles
V-2/3.	Etat de tension dans toute l'étendue de la pièce droite à plan moyen sollicitée en flexion plane simple non déviée. Réseau des trajectoires des tensions principales
V-3.	La ligne élastique d'une poutre droite à plan moyen sollicitée par flexion plane simple
V-3/1.	Cas de la flexion plane simple non déviée
V-3/2-1 et 2.	Tracé graphique de la ligne élastique, par application de l'intégration graphique et relations des modules
V-3/2-3.	Expression directe des inclinaisons sur les appuis d'une poutre simplement appuyée à ses extrémités
V-3/3.	Tracé graphique de la ligne élastique, par tracé d'un polygone funiculaire (méthode de Mohr)
V-3/4.	Ligne élastique du cas de la flexion plane simple déviée
V-3/5.	Déformation de l'axe d'une pièce droite prismatique sollicitée en flexion plane simple non déviée, due aux efforts tranchants

V-4.	Choix du profil d'une poutre droite à plan moyen sollicitée par flexion plane simple non déviée	
V-4/1.	Généralités. Conditions à satisfaire	
V-4/2.	Choix du profil sur la base des tensions admissibles dans les limites de l'élasticité	
V-4/3.	Relation entre la flèche relative $\frac{f}{l}$, la hauteur relative $\frac{h}{l}$ et la tension $(\sigma_x)_{max}$, cas où l'axe neutre est un axe de symétrie de la section	
V-4/4.	Formules de dimensionnement pour les cas habituels de la flexion plane, simple non déviée, lorsque le débordement de l'aile comprimée n'est assurément pas en question et qu'aucun effet de force localisée n'est à redouter	
V-4/5.	Tableaux de formules relatives à 59 cas de poutres droites à âme pleine de section constante. (Voir annexe C)	
V-5.	Etude, sous un état de charge fixe, d'une poutre droite à plan moyen, constituant une travée d'un ensemble constructif plan hyperstatique. Introduction à la méthode des points fixes ou foyers de la travée	
V-5/1.	Définitions. Souplesse transversale, souplesse angulaire, encastresments	
V-5/2.	Foyers de la travée : Cas où les extrémités de la pièce à encastresments élastiques sont indélevelables l'une par rapport à l'autre	
V-5/3.	Expressions de M_r^A et M_r^B en fonction de g_r et de d_r	
V-5/4.	Obtention directe des angles $\alpha_{r,AF}$, $\alpha_{r,BF}$, $\alpha_{r,AA}$, $\alpha_{r,AB}$, $\alpha_{r,BA}$, $\alpha_{r,BB}$	
V-5/5.	Détermination des foyers G_r et D_r de la poutre A_rB_r , au moyen des angles	
V-5/6.	Mise en place de la ligne de repère du diagramme des moments fléchissants de la travée. Les droites croisées de la travée	
V-5/7.	Expression des coefficients de souplesse angulaire γ_r^{Asurd} et γ_r^{Bsurg} (inverse des degrés d'encastresment ϵ_r^{Asurd} et ϵ_r^{Bsurg}) en fonction de la position des foyers G_r et D_r	
V-5/8-1.	Cas particulier important. (Moment d'inertie constant.)	
V-5/8-2.	Valeur des angles $\alpha_{r,AF}$ et $\alpha_{r,BF}$ et mise en place des droites croisées, pour quelques cas fréquents	
V-5/8-2-1.	Travée de section constante chargée d'une charge uniformément répartie la couvrant complètement	
V-5/8-2-2.	Travée de section constante portant une charge unique concentrée F	
V-5/8-2-3.	Travée de section constante portant une charge concentrée unique F située au milieu de la travée	
V-5/8-2-4.	Travée de section constante portant un groupe de charges concentrées, occupant une position déterminée	
V-5/8-2-5.	Travée de section constante portant deux charges concentrées égales chacune à F, placées symétriquement	
V-5/8-2-6.	Travée de section constante portant un groupe de n charges concentrées F, toutes égales entre elles, placées à chaque division $\frac{l}{n}$ de la travée	
V-5/8-2-7.	Travée de section constante portant une charge uniformément répartie, mais ne couvrant qu'une partie seulement de la travée	
V-5/8-2-8.	La poutre porte une charge répartie dont la valeur par unité de longueur varie linéairement. (Charge triangulairement répartie.)	
V-5/8-2-9, 10 et 11.	Cas particuliers divers	
V-5/9.	Mise en place de la ligne de repère du diagramme des efforts tranchants de la travée à appuis non dénivelés	
V-5/10.	Effets d'une dénivellation transversale des extrémités de la travée	
V-5/11.	Bases de la méthode générale des foyers pour le calcul des ensembles plans hyperstatiques faits de pièces longues droites à assemblages rigides	
V-6.	Lignes d'influence des moments fléchissants et des efforts tranchants d'une poutre droite à plan moyen constituant une travée d'un ensemble constructif plan hyperstatique, sur appuis non dénivelés et indéformables	
V-6/1.	Ligne d'influence des moments fléchissants de liaison, aux extrémités de la travée, M_r^A , M_r^B	
V-6/1-1.	Cas particulier de V-6/1 : la poutre est de moment d'inertie I_r constant	
V-6/2.	Ligne d'influence du moment fléchissant en un point quelconque d'une travée, lorsque la charge est dans la travée même, les appuis étant indélevelables	
V-6/2-1.	Cas particulier du V-6/2 : la poutre est de moment d'inertie constant	
V-6/3.	Ligne d'influence des efforts tranchants dans la travée, lorsque la charge est dans la travée même, les appuis étant indélevelables	
V-6/4.	Remarque	

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE VI

La poutre droite à âme pleine continue sur plusieurs travées, posée sur des appuis indéformables

VI-1. **Généralités : Introduction. Notations. Degré d'hyperstaticité**

VI-2. **Indications relatives aux principales méthodes de calcul**

A. Le problème des charges fixes et du non-alignement des appuis

VI-3. La méthode de Navier

VI-4. Méthode de l'équation des trois moments. Cas le plus général

VI-5. Cas particuliers de la formule des trois moments

VI-6. Etablissement direct de la formule dans le cas de poutre de section constante, dont les travées sont chargées uniformément

VI-7 et 8. Formule des deux moments

VI-9. Application de la formule des trois moments et éventuellement des deux moments

VI-10. Détermination de la position des foyers

VI-11. Cas particulier important : le moment d'inertie de chacune des travées est constant

VI-12. Méthode graphique pour l'obtention de tous les foyers

VI-13. Méthode des foyers. Cas de charge dans une seule travée

VI-14. Méthode des foyers. Cas de charge dans plusieurs travées. (Méthode de Mohr.)

B. Le problème des charges mobiles

VI-15. Le problème des charges mobiles. Méthode de Maurice Lévy. (Tout ou rien.)

VI-16. Le problème des charges mobiles traité par les lignes d'influence

VI-16/2. Ligne d'influence du moment fléchissant à l'aplomb de l'un des appuis

VI-16/3. Ligne d'influence du moment fléchissant en un point quelconque d'une travée

VI-16/4. Ligne d'influence de l'effort tranchant à l'aplomb d'un point quelconque d'une travée

VI-16/5. Ligne d'influence d'une réaction d'appui

VI-16/6. Question des échelles relatives aux lignes d'influence des M, des T, des Z

VI-16/7. Ligne d'influence de la flèche verticale en un point

VI-16/8. Remarque

VI-16/9. Tableau fondamental de lignes d'influence en cas de travées égales de section constante

NOTES-ANNEXES

ANNEXE A

Considérations générales sur les unités et les modules dans les problèmes de calcul graphique

A-1. Intérêt considérable qui s'attache aujourd'hui aux procédés du *calcul graphique*

A-2. Unités, grandeurs fondamentales, grandeurs dérivées : Equations de dimensions

A-3. Introduction d'un coefficient numérique

A-4. Formules empiriques

A-5. Nécessité de s'assurer que la formule à traiter par un calcul graphique est homogène au point de vue des représentations graphiques, éventuellement nécessité de la rendre homogène à ce point de vue

A-6. Rapport d'échelle et module d'une grandeur représentée par une longueur

A-7 et 8. Module-surface et module-volume

A-9. Des relations entre les modules des grandeurs intervenant dans un calcul graphique

ANNEXE B

Eléments d'intégration graphique et de dérivation graphique

Intégration graphique

B-1. Définition : *Courbe intégrale d'une courbe donnée*

B-2. Relation entre les modules ou unités graphiques

B-3. Propriété fondamentale des courbes intégrales : *tangentes*

B-4. Ordonnée moyenne d'un arc ou de la courbe que l'on intègre

B-5. Abscisse moyenne d'un arc de la courbe que l'on intègre

B-6. Intégration d'une droite parallèle à l'axe des abscisses

B-7. Intégration par ordonnées moyennes ou par polygone inscrit

B-8. Intégration par abscisses moyennes ou par polygone circonscrit

B-9 et 10. Recherche de l'ordonnée moyenne d'une bande parallèle à l'axe d'intégration

B-11. Propriété du centre d'ordonnée moyenne : La tête de l'ordonnée moyenne d'un arc reste invariable, quelle que soit la direction des abscisses, du moment que la direction des ordonnées ne change pas

B-12.	Lieu du centre d'ordonnée moyenne : Le centre d'ordonnée moyenne d'un arc déterminé se déplace sur une parallèle à la corde de l'arc lorsque la direction d'ordonnée se modifie
B-13.	Effet du déplacement du pôle de l'intégration
B-14.	Quelques remarques relatives au tracé de la courbe intégrale d'une courbe donnée
B-15.	Exécution du tracé d'une courbe intégrale
B-16.	Intégrations successives d'une courbe donnée
B-17.	Généralisation de l'intégration graphique
B-18.	Intégration graphique d'une surface fermée, la ligne de repère AK de la courbe intégrale étant une droite dont la direction est imposée
B-19.	Intégration graphique à pôle glissant sur l'axe des abscisses, ou à distance polaire variable
B-20.	Intégrations successives d'une droite parallèle à l'axe des abscisses
B-21.	Intégrations successives d'une droite par polygones d'intégration
B-22.	Intégrations successives d'une courbe quelconque, lignes de repère paraboliques
	Dérivation graphique
B-23.	Définition
B-24.	Relation entre les modules ou unités graphiques
B-25.	Remarques
B-26.	Remarques
B-27.	Généralisation de la dérivation graphique
	Intégration graphique des équations différentielles du premier ordre
B-28.	Définition du problème
B-29.	Tracé approché des intégrales
B-30.	Approximations successives de Runge pour améliorer le tracé des intégrales
B-31.	Singularités des intégrales liées aux lignes isoclines
B-32.	Cas où les isoclines sont des droites convergentes
B-33.	Nœud des courbes isoclines