

ÉCOLE D'INGÉNIEURS DE FRIBOURG (E.I.F.)
SECTION DE MÉCANIQUE
G.R. Nicolet, texte revu et augmenté en 2007

COLLECTION D'EXERCICES
EN
RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

Traction et compression simples
Cisaillement simple et état de contrainte plan
Caractéristiques des surfaces planes
Flexion simple élastique
Torsion simple
Déformation en flexion des poutres
Répartition des contraintes
Méthodes énergétiques

INTRODUCTION

La collection de 303 exercices d'application de l'exposé sur « la Résistance des matériaux » doit permettre d'approfondir et d'appliquer les nombreuses méthodes citées dans le cours. Le texte sur la « Statique graphique et statique analytique » montre les principes de la recherche des équilibres des structures et s'utilise constamment dans les exercices proposés.

Les exercices sont classés dans des chapitres identiques à ceux du cours, soit :

1. Chapitres 1 et 2 : Traction et compression simples
55 exercices, 45 figures.
2. Chapitre 3 : Cisaillement simple
16 exercices, 6 figures
3. Chapitre 4 : Caractéristiques des surfaces planes. Etat plan de contrainte
24 exercices, 21 figures
4. Chapitre 5 : Flexion élastique simple
76 exercices, 71 figures
5. Chapitre 6 : Torsion simple
12 exercices, 10 figures
6. Chapitre 7 : Déformation en flexion des poutres isostatiques et hyperstatiques
63 exercices, 62 figures
6. Chapitres 8 et 10 : Répartition des contraintes dans les sections. Solution par les méthodes énergétiques.
57 exercices, 55 figures

Tables

En complément du cours sur la « Résistance des matériaux », les dernières pages contiennent les caractéristiques mécaniques, en choix limité, des alliages d'aluminium corroyés et de fonderie. Les valeurs proposées sont tirées des propositions publiées par le groupe allemand FKM.

Solution des exercices

Ce document ne contient aucun résultat des exercices proposés. C'est son défaut majeur mais compréhensible pour un utilisateur courant. Dans la plupart des cas de la pratique industrielle, un problème de comportement mécanique d'une pièce ou d'une structure nécessite toujours l'introduction d'une ou de plusieurs hypothèses simplificatrices. Le résultat du contrôle va dépendre de ces hypothèses de base ou personnelles. Pour ma part, j'ai toujours aimé les étudiants qui introduisaient cette manière personnelle de résoudre un problème de résistance.

G. R. Nicolet, juin 2007.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
Table des matières	
Chapitres 1 et 2	
Traction et compression simples	3
Chapitre 3	
Cisaillement simple. Etat plan de contraintes	20
Chapitre 4	
Caractéristiques des surfaces planes	25
Chapitre 5	
Flexion élastique simple	33
Chapitre 6	
Torsion simple	57
Chapitre 7	
Déformation en flexion des poutres isostatiques et hyperstatiques	61
Chapitres 8 et 10	
Répartition des contraintes dans les sections	
Solution par les méthodes énergétiques	80
Tables : Caractéristiques des matières métalliques	
Table 1 : Alliages d'aluminium corroyé : bandes, tôles et planches	99
Table 2 : Alliages d'aluminium de fonderie (coulée dans le sable)	100
Table 3 : Alliages d'aluminium de fonderie (coulée en coquille)	101

COLLECTION D'EXERCICES

CHAPITRES 1 et 2

TRACTION ET COMPRESSION SIMPLES

Exercice 1.1

Diverses pièces rectilignes, à section constantes, fixées à gauche dans un encastrement, libres à droite, sont sollicitées par des forces axiales concentrées ou réparties uniformément dans le sens de la longueur. Les dimensions géométriques sont en mm.

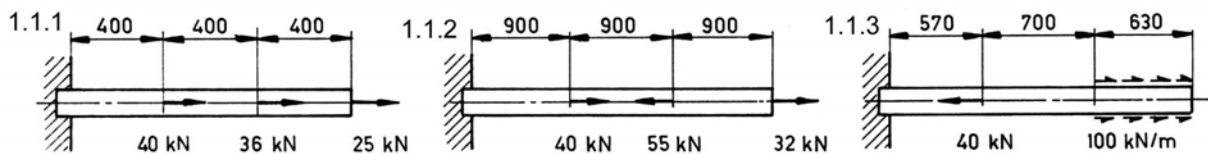
1.1.1 Charge : forces de 40 kN, 36 kN et 25 kN.

1.1.2 Charge : forces de 40 kN, - 55 kN, 32 kN.

1.1.3 Charge : force concentrée de 40 kN et charge répartie longitudinalement 100 kN/m..

Déterminez dans chaque cas :

1. L'équilibre de la pièce.
2. Le diagramme des efforts normaux.

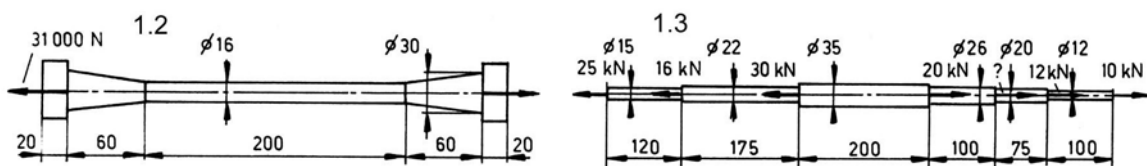


Exercice 1.2

Une éprouvette de traction, non conforme aux normes en vigueur, se compose de deux têtes d'amarrage, de tronçons intermédiaires tronconiques, et d'une partie centrale cylindrique, diamètre 16 mm. La force axiale F exercée la machine de traction vaut 31 000 N.

Déterminez :

1. La contrainte normale dans la partie cylindrique et la représentation de la contrainte entre les deux têtes d'amarrage.
2. La déformation totale de l'éprouvette entre les deux attaches distantes de 320 mm, si le module d'élasticité vaut : $E = 182\,000 \text{ N/mm}^2$.



Exercice 1.3

Une pièce en acier à sections variables, par tronçons cylindriques, est sollicitée par diverses forces concentrées représentées sur la figure.

Déterminez :

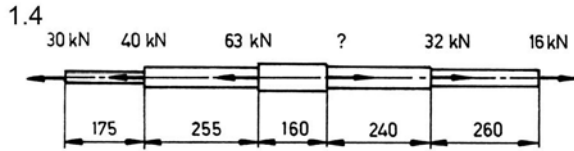
1. L'équilibre statique de cette pièce.
2. Les diagrammes des efforts normaux et des contraintes
3. La contrainte normale dans chacun des tronçons.
4. La déformation totale de la pièce.

Exercice 1.4

Une pièce en acier, à section variable par tronçons selon figure, est sollicitée par les diverses forces axiales concentrées.

Déterminez :

1. L'équilibre de la pièce.
2. Les diamètres dans chacun des tronçons si la contrainte normale ne doit pas dépasser 80 N/mm^2 , valeurs arrondies à un multiple de 2 mm ou 5 mm.
3. La déformation totale de la pièce.
4. L'énergie élastique accumulée dans la barre sous la charge avec $E = 21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$.



Exercice 1.5

Une barre circulaire à section constante, diamètre 25 mm, est sollicitée par deux forces axiales concentrées $F_1 = -40 \text{ kN}$ et $F_2 = -25 \text{ kN}$. Le dernier tronçon de cette barre, long de 500 mm, est sollicité par une charge axiale répartie uniformément.

Déterminez :

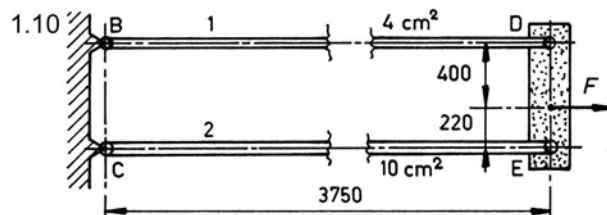
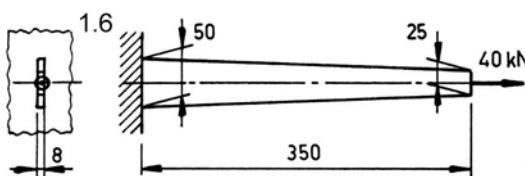
1. La grandeur de la charge axiale répartie pour assurer l'équilibre de la pièce.
2. Le diagramme des efforts normaux.
3. Le diagramme des contraintes normales.
4. La déformation axiale totale de cette pièce ainsi que la plus grande diminution de diamètre pour une pièce en acier avec $E = 205\,000 \text{ N/mm}^2$ et $\nu = 0,3$.

Exercice 1.6

Une pièce, à section transversale rectangulaire, est encastree à gauche, libre à droite. La hauteur de la section varie linéairement de 50 mm à l'encastrement à 25 mm à l'extrémité libre. La longueur de la barre est 350 mm, l'épaisseur 8 mm. Une force $F = 40\,000 \text{ N}$, supposée répartie uniformément, est appliquée à droite sur la section terminale.

Déterminez :

1. Les contraintes normales dans la pièce et leur représentation le long de la pièce.
2. L'allongement totale de la barre en acier.



Exercice 1.7

Un essai de traction simple sur éprouvette cylindrique s'est effectué dans les conditions suivantes : diamètre de la partie cylindrique = 20 mm, longueur de mesure 160 mm. Au moyen d'un extensomètre de précision, il a été possible de relever les déformations suivantes :

1. Sous une charge de 25 000 N : allongement 0,08 mm.
2. Sous une charge de 48 000 N : allongement 0,15 mm.
3. Sous une charge de 80 000 N : allongement 0,25 mm.
4. Sous une charge de 125 000 N : allongement 0,40 mm.

Déterminez :

1. Les contraintes normales de traction en chaque point de mesure.
2. Le diagramme de traction construit à partir des valeurs relatives : contraintes en fonction de la déformation spécifique.
3. Le module d'élasticité de cette barre.
4. L'énergie potentielle élastique accumulée dans le tronçon de mesure.

Exercice 1.8

Le laboratoire fédéral d'essai des matériaux (EMPA) à Dübendorf définit le coefficient de qualité d'un acier par le produit de l'allongement de rupture par la contrainte de rupture. Calculez la valeur de ce coefficient de qualité pour les aciers suivants, selon normes VSM, diamètre d'essai sur éprouvette 16 mm :

Ac 37 Ac 50 Ac 70 9SMnPb28K

Quels seraient les coefficients de qualité pour les aciers faiblement alliés selon normes DIN :

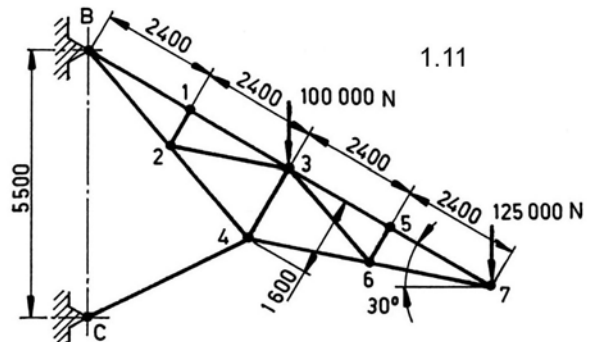
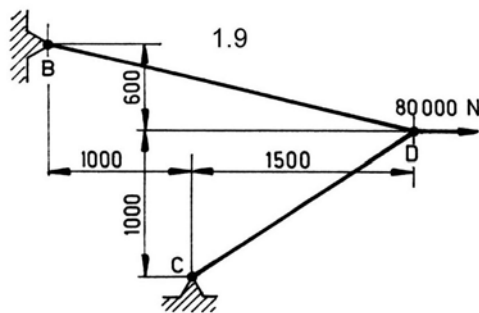
41Cr4V 34CrAlMo5NT 41CrMo4V ?

Exercice 1.9

Un système de deux barres articulées sans frottement est monté selon figure, les points B et C étant les points d'ancrage, le point D étant commun aux deux barres. On applique une force ponctuelle $F_D = 80\,000\text{ N}$ horizontalement. La contrainte normale positive admissible est limitée à 150 N/mm^2 .

Déterminez :

1. Les tensions axiales dans les deux barres à section constante.
2. Les profilés cornières à prévoir, ailes égales, épaisseur un dixième de la dimension transversale.
3. La déformation axiale des deux barres et le déplacement du point d'application de la force.
4. La justification du principe de la conservation des énergies extérieure et potentielle élastique.



Exercice 1.10

Un système mécanique se compose de deux barres parallèles en acier, la première ayant une section transversale de 4 cm^2 , la seconde une aire de 10 cm^2 . Ces deux barres sont articulées sans frottement aux points B et C, reliées aux points D et E sur une plaque supposée indéformable. Cette dernière pièce est sollicitée par une force horizontale $F = 125\,000\text{ N}$, donc parallèle à la direction des barres.

Déterminez :

1. L'effort normal dans les deux barres.
2. Les contraintes normales correspondantes.
3. L'allongement des deux barres pour un module d'élasticité de $20,5 \cdot 10^4\text{ N/mm}^2$.

4. Le déplacement du point d'application de la force F et la justification du résultat par la conservation des énergies extérieure et potentielle élastique.

Exercice 1.11

Un système triangulé formant une ferme se compose de diverses barres selon figure 1.11, ces barres étant supposées articulées sans frottement aux nœuds. Ce système est sollicité par deux forces ponctuelles et verticale valant $F_3 = 100\ 000\ \text{N}$ et $F_7 = 125\ 000\ \text{N}$.

Déterminez :

L'équilibre de toute la charpente.

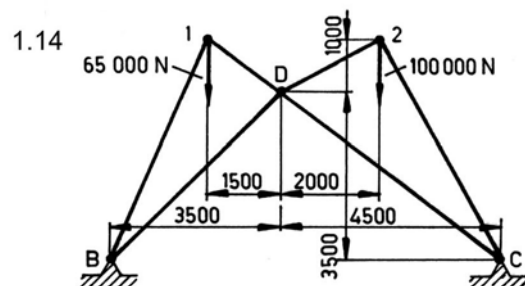
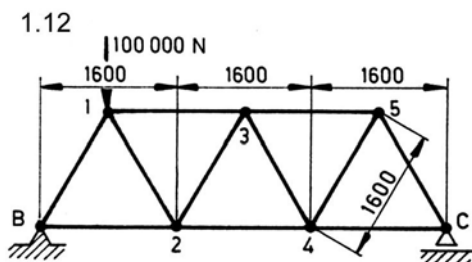
1. Les tensions dans les barres en construisant un tableau contenant toutes les barres, les valeurs des efforts normaux.
2. Les dimensions transversales à prévoir pour les barres si les contraintes admissibles sont :
 - en traction $\rightarrow 150\ \text{N/mm}^2$,
 - en compression $\rightarrow 60\ \text{N/mm}^2$,
 les profilés à adopter étant des cornières doubles, dimensions préférentielles des tables.
3. Le déplacement de tous les nœuds de la charpente sous l'effet des deux forces actives, mais sans le poids propre de la structure.

Exercice 1.12

Une charpente triangulée est constituée par 11 barres identiques de 1600 mm de longueur, assemblées entre elles par des articulations supposées sans frottement. La disposition des barres est donnée sur la figure.

Déterminez :

1. Les efforts normaux dans chacune des barres si cette structure repose sur deux appuis indéformables B et C. La charge appliquée vaut $F_1 = 100\ 000\ \text{N}$. Dans ce but, construire le plan de Cremona
2. Le tableau des efforts contenant toutes les barres, les valeurs relevées sur le graphique et les tensions correspondantes.
3. La dimension à adopter pour le profil unique I-NP si les contraintes admissibles sont :
 - en traction $160\ \text{N/mm}^2$,
 - en compression $70\ \text{N/mm}^2$.
4. Le déplacement du point d'application de la force concentrée en appliquant le principe de la conservation des énergies mécanique et potentielle élastique, mais en négligeant le poids propre.



Exercice 1.13

Construisez la matrice des coefficients de la charpente de l'exercice 1.12 en suivant les recommandations du cours : matrice de dimensions 14×14 .

Déterminez :

1. La matrice inverse de cette matrice au moyen d'une méthode numérique appropriée.

2. Les tensions dans toutes les barres en construisant le vecteur colonne des forces extérieures, ainsi que les réactions des appuis.
3. L'effet du poids propre de la charpente sur les résultats sans le poids propre. Dans ce but, calculer le poids des barres et introduire en chaque nœud la moitié de ce poids dans chaque barre.
4. Le déplacement horizontal et vertical du point d'application de la force en utilisant la relation de Mohr et la force unitaire.

Exercice 1.14

Un arc à trois articulations se compose des barres représentées sur la figure. Les dimensions de la structure sont exprimées en mètres. Les charges appliquées sont : à gauche $F_1 = 65\,000$ N, à droite $F_2 = 100\,000$ N. Les barres en traction possèdent une contrainte normale de $+160$ N/mm², celles en compression une contrainte normale de -60 N/mm².

Déterminez :

1. L'équilibre de la structure complète en vous servant des méthodes proposées dans le cours de mécanique : Statiques graphique et analytique.
2. Les aires des sections transversales des barres pour que les contraintes normales correspondent exactement aux valeurs proposées.
3. Le déplacement du point d'application de la force de gauche selon sa propre direction en introduisant la méthode de la force unitaire.
4. L'énergie élastique totale emmagasinée dans toute la structure sous l'effet des deux charges données.

Toutes les barres possèdent un module d'élasticité de $20,6 \cdot 10^4$ N/mm².

Exercice 1.15

Un réservoir mince cylindrique est soumis à une pression intérieure de 32 bars, son diamètre extérieur étant 1200 mm. La contrainte normale admissible, dans la direction tangentielle au cylindre, est 90 N/mm².

Calculez :

1. L'expression de l'épaisseur à donner à la paroi, arrondie au mm supérieur, à partir du diamètre extérieur, de la contrainte admissible, de la surépaisseur Δs tenant compte des variations usuelles d'épaisseur.
2. L'épaisseur de fabrication, si $\Delta s = 1$ mm, en appliquant la formule trouvée.
3. La déformation diamétrale du réservoir, compte tenu de la déformation longitudinale due aux poussées sur les deux fonds (module d'élasticité : $21 \cdot 10^4$ N/mm²).
4. La variation de volume du réservoir sous l'effet de la pression, la longueur de calcul étant 5 mètres.

Exercice 1.16

Un réservoir de 1000 mm de diamètre extérieur est fabriqué en tôle d'acier admettant une contrainte normale admissible de 105 N/mm² dans la direction tangentielle. L'épaisseur de la paroi vaut 15 mm, à laquelle il faut soustraire 1 mm pour les inégalités d'épaisseur et la présence de calamine.

Déterminez :

1. La pression intérieure admissible en bars, valeur arrondie à 1 bar près.
2. Les contraintes normales dans les directions tangentielle, axiale et radiale intérieure.
3. La variation de volume sous l'effet de la pression intérieure si le réservoir présente une longueur de 3,8 mètres.

Exercice 1.17

Une jante de poulie est fabriquée en fonte grise, nuance Ft 15, le diamètre extérieur étant 1200 mm, l'épaisseur 8 mm, la largeur 125 mm.

Déterminez :

1. La fréquence de rotation maximale admissible si la contrainte normale ne doit pas dépasser 25 N/mm^2 .
2. L'augmentation de diamètre extérieur de cette poulie à la fréquence de rotation maximale.

Exercice 1.18

La courroie Habasit Filon permet d'atteindre des vitesses circonférentielles de 35 m/s, l'épaisseur de la courroie étant 2,5 mm pour la nuance F2, la largeur 80 mm.

Déterminez :

1. La contrainte normale provoquée par la force centrifuge sachant que la masse volumique vaut $1,1 \text{ kg/dm}^3$ pour ce genre de courroie.
2. L'effort transmissible sachant qu'à cette vitesse, la courroie est capable de transmettre 4 kW par cm de largeur de courroie.

Exercice 1.19

Un câble en acier présente une résistance de rupture de 1200 N/mm^2 dans les fils. Ce câble pend dans la mer à partir d'un navire. Calculez la longueur verticale du câble jusqu'à ce qu'il y ait rupture par suite de la contrainte normale provoquée par le poids propre.

Exercice 1.20

Exprimez la variation de volume d'un tube, sollicité par deux forces axiales F directement opposées, diamètre intérieur d_i , diamètre extérieur d_e , longueur l , module d'élasticité E , coefficient de contraction ν .

Donnez le résultat sous forme relative : $\Delta V/V_0 = ?$

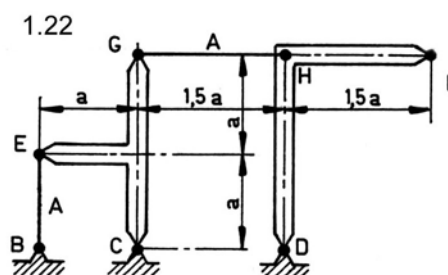
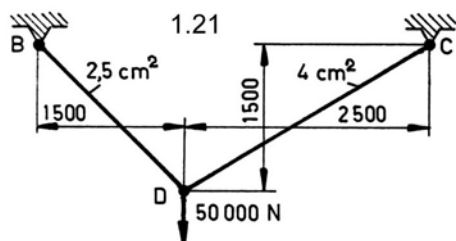
Application numérique : force $F = 60\,000 \text{ N}$, longueur $l = 450 \text{ mm}$, module d'élasticité $E = 140\,000 \text{ N/mm}^2$, diamètre extérieur $d_e = 50 \text{ mm}$, épaisseur de paroi $s = 3 \text{ mm}$, $\nu = 0,25$.

Exercice 1.21

Un système mécanique se compose de deux barres déformables, B-D avec une aire de 250 mm^2 , C-D avec une aire de 400 mm^2 , articulées sans frottement sur deux attaches B et C. Les deux barres sont reliées au point commun D. Ce point est sollicité par une force verticale valant $F = 50\,000 \text{ N}$.

Déterminez :

1. La tension axiale dans les deux barres.
2. Le déplacement total du point d'application de la force si ces deux barres sont en acier.
3. La valeur de l'énergie potentielle élastique dans les barres. Justifiez le déplacement vertical du point D.



Exercice 1.22

Un système mécanique se compose des éléments suivants : une barre articulée B-E de longueur a , d'aire A , une pièce en Té C-E.G, supposée indéformable, une seconde barre déformable G-H de longueur $1,5 a$, aire A , finalement d'un levier coudé D-H-F, supposé indéformable, articulé sur un appui fixe D, sollicité par une force verticale F .

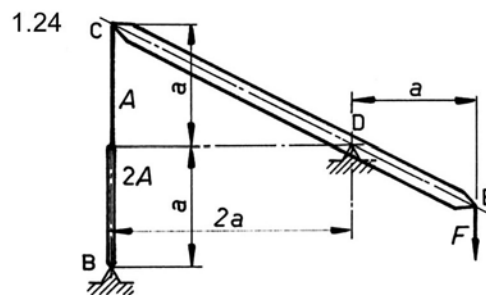
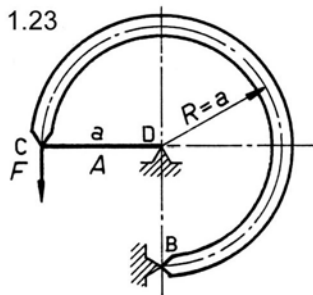
Déterminez :

1. L'équilibre statique de l'ensemble.
2. Le déplacement angulaire de la pièce en Té.
3. Le déplacement total, horizontal et vertical, du point d'application de la force F .

Exercice 1.23

Un système mécanique se compose d'une barre partiellement annulaire, supposée indéformable, articulée sans frottement sur l'appui B, d'une barre horizontale C-D de longueur a , d'aire transversale A , le tout étant représenté sur la figure. Le point C est soumis à l'action de la force verticale F .

Calculez le déplacement du point d'application de la force F .



Exercice 1.24

Calculez le déplacement du point d'application de la force F placée sur la structure représentée sur la figure. Cette structure se compose d'une poutre oblique C-D-E, supposée indéformable, d'une barre verticale B-C constituée de deux tronçons : le premier d'air $2 A$, de longueur a , le second d'aire A et de longueur a .

Contrôlez le résultat du calcul au moyen de la conservation des énergies.

Exercice 1.25

Calculez la pression d'emmanchement de deux tubes en acier :

Premier tube extérieur : diamètre intérieur 60 H7, diamètre extérieur 68 mm.

Deuxième tube intérieur : diamètre extérieur 60 t6, diamètre 50 mm.

Le calcul doit s'effectuer pour les serrages : maximal, moyen et minimal, au moyen de la théorie applicable aux tubes minces.

Calculez aussi les contraintes normales résultantes dans les deux tubes.

Exercice 1.26

Une barre rectiligne B-C, en acier avec un module d'élasticité $E = 21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$, est encastree à ses deux extrémités dans des appuis indéformables. Cette pièce se compose de deux tronçons cylindriques :

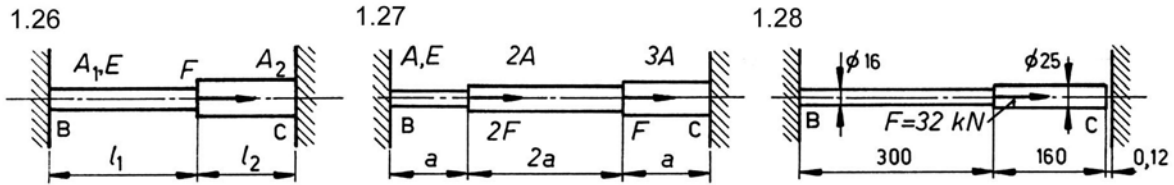
Premier tronçon : Aire A_1 , longueur l_1 .

Deuxième tronçon : Aire A_2 , longueur l_2 .

La force F est appliquée sur l'appui entre le premier et le deuxième tronçon.

Déterminez :

1. Les réactions d'appui en B et C, le diagramme des efforts normaux.
2. Les contraintes normales dans chaque tronçon et le déplacement du point d'application de la force F .
3. Application numérique : $F = 45 \text{ kN}$, $A_1 = 300 \text{ mm}^2$, $A_2 = 450 \text{ mm}^2$, $l_1 = 280 \text{ mm}$, $l_2 = 200 \text{ mm}$.



Exercice 1.27

Une barre rectiligne B-C, en bronze avec un module d'élasticité $E = 11 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$, est encastree à ses deux extrémités dans des appuis supposés indéformables. Cette pièce se compose de trois tronçons :

Premier tronçon : longueur a , aire de la section A .

Deuxième tronçon : longueur $2a$, aire de la section $2A$.

Troisième tronçon : longueur a , aire de la section $3A$.

Cette barre est sollicitée par deux forces axiales $2F$ et F selon figure 1.27.

Déterminez :

1. Les réactions des appuis B et C, le diagramme des efforts normaux.
2. Les contraintes normales dans chacun des tronçons et les déformations correspondantes.
3. Le déplacement des deux points d'application des forces.
4. Application numérique : $a = 125 \text{ mm}$, $A = 160 \text{ mm}^2$, $F = 18 \text{ kN}$.

Exercice 1.28

Une barre rectiligne B-C, en acier avec un module d'élasticité $E = 20,4 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$, est encastree dans un appui B supposé indéformable et libre à droite au point C. La pièce se compose de deux tronçons :

Premier tronçon : longueur 300 mm, diamètre 16 mm.

Deuxième tronçon : longueur 160 mm, diamètre 25 mm.

Cette pièce est sollicitée par une force axiale $F = 32 \text{ kN}$ placée entre les deux tronçons. Le jeu initial entre l'extrémité de la barre et l'appui, supposé indéformable, vaut 0,12 mm.

Déterminez :

1. Les réactions d'appui en B et C, le diagramme des efforts normaux.
2. La contrainte normale dans chacun des tronçons à section circulaire.
3. Le déplacement du point d'application de la force F .

Exercice 1.29

Pour calculer les efforts et surtout les déformations dans une poutre triangulée, le cours donne aux pages 24 à 27 une méthode analytique permettant de résoudre ce genre de problème. Les efforts normaux sont trouvés en exprimant l'équilibre de chaque nœud, la déformation en un point en utilisant la force unitaire et l'énergie potentielle élastique contenue dans la structure. La solution mathématique consiste à construire une matrice de la géométrie de la charpente, les trois dernières lignes contenant les trois composantes des réactions d'appui.

Déterminez :

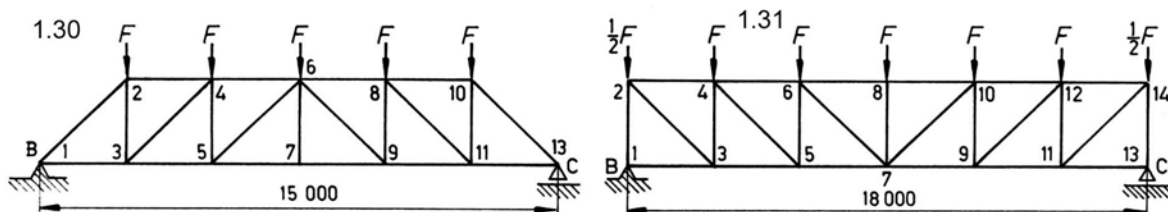
L'algorithme de l'écriture des divers éléments dans la matrice carrée.

Exercice 1.30

Une poutre triangulée selon figure 1.30, placée entre les appuis B et C, distants de 15 m, se compose des barres représentées sur la figure. Les barres obliques sont inclinées à 45° par rapport à l'horizontale. Les forces appliquées valent $F = 40$ kN, placées aux nœuds supérieurs 2, 4, 6, 8 et 10.

Déterminez :

1. Les tensions dans toutes les barres au moyen de l'une des méthodes de la statique graphique ou analytique.
2. La masse totale de la charpente si toutes les barres périphériques ont même profil IPN, les barres intérieures également un profil IPN commun. Les contraintes admissibles sont :
 - en traction : 150 N/mm^2 .
 - en compression : $|\text{60 N/mm}^2|$.
3. Le déplacement du point d'application de la force F au nœud 6.
4. L'augmentation de la tension axiale, dans la barre la plus sollicitée, due au poids propre.



Exercice 1.31

Une poutre triangulée, placée entre les appuis B et C distants de 18 m, se compose des barres représentées sur la figure 1.31. Les barres obliques sont inclinées de 45° par rapport à l'horizontale. Les forces appliquées sur les nœuds supérieurs valent 50 kN aux nœuds 4, 6, 8, 10, 12, 25 kN aux nœuds 2 et 14.

Déterminez :

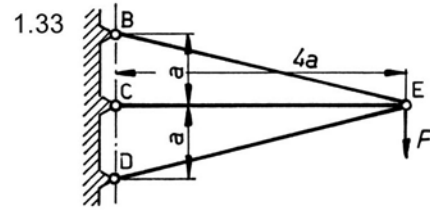
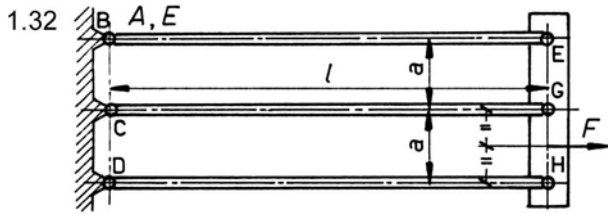
1. Les tensions dans les barres au moyen de l'une des méthodes de la statique graphique ou analytique.
2. La masse totale de la charpente si toutes les barres du rectangle 1-13-14-2 ont même profil, les barres intérieures ayant aussi un profil commun. Les contraintes admissibles sont :
 - en traction : 150 N/mm^2 .
 - en compression : $|\text{60 N/mm}^2|$.
3. Le déplacement du point d'application de la force au nœud 8.
4. L'augmentation de tension axiale, dans la barre la plus sollicitée, due au poids propre.

Exercice 1.32

Un système mécanique, selon figure 1.32, se compose de trois barres parallèles identiques, longueur l , aire des sections transversales A , module d'élasticité E , articulées à gauche aux points fixes B, C et D, articulées à droite aux points E, G et H sur une plaque supposée indéformable. La distance entre les trois barres vaut a . La plaque est sollicitée par une force F horizontale appliquée à mi distance des barres CG et DH.

Déterminez :

1. L'équilibre de la plaque indéformable.
2. Les réactions d'appui aux points B, C et D.
3. Les tensions et les contraintes axiales, les allongements dans les trois barres.
4. Le déplacement du point d'application de la force F . Contrôlez ce résultat au moyen du principe de la conservation des énergies mécaniques.



Exercice 1.33

Un système triangulé simple se compose de trois barres de même aire A et de même module d'élasticité E , figure 1.33. Ces barres sont articulées aux points fixes B, C et D, distants de a , reliées en un point commun E. La distance CE vaut $4a$. Ce point E est soumis à l'action d'une force concentrée verticale F .

Déterminez :

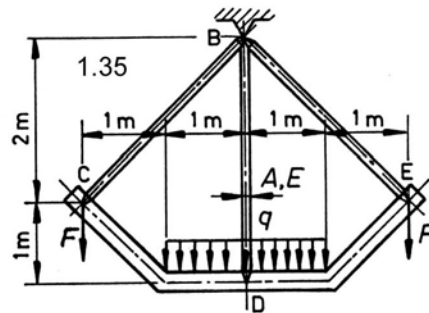
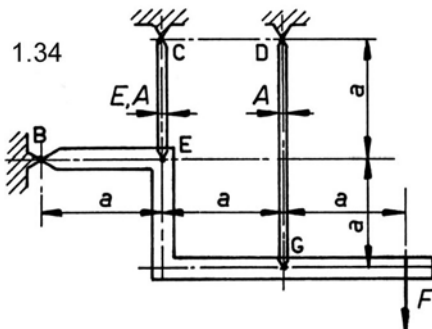
1. Les réactions des appuis aux points B, C et D.
2. Les déformations axiales de chaque barre.
3. Le déplacement du point d'application de la force F . Contrôlez le résultat en appliquant le principe de la conservation de l'énergie mécanique.

Exercice 1.34

Une pièce coudée, figure 1.34, supposée indéformable, est articulée au point fixe B, retenue par deux barres déformables de même aire A et même module d'élasticité E , articulées sur les points fixes C et D. La pièce coudée est sollicitée par une force verticale F .

Déterminez :

1. Les réactions aux appuis B, C et D.
2. Les déformations des deux barres verticales.
3. Le déplacement du point d'application de la force F .



Exercice 1.35

Un système mécanique symétrique, figure 1.35, se compose de trois barres déformables en acier $E = 20,5 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$, de même aire $A = 100 \text{ mm}^2$, fixées et articulées au point commun B, d'une pièce coudée supposée indéformable C-D-E. Les articulations C et E sont sollicitées par deux forces verticales $F = 5\,000 \text{ N}$. La pièce C-D-E es soumise, dans sa partie centrale, par une charge répartie uniformément $q = 10 \text{ N/mm}$ sur 2 mètres.

Déterminez :

1. Les tensions axiales dans les trois barres déformables, la réaction d'appui.
2. Les contraintes normales correspondantes
3. Le déplacement vertical de la pièce coudée sous l'effet de des charges appliquées et des déformations des diverses pièces.

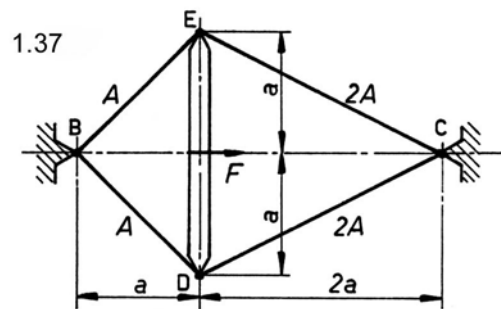
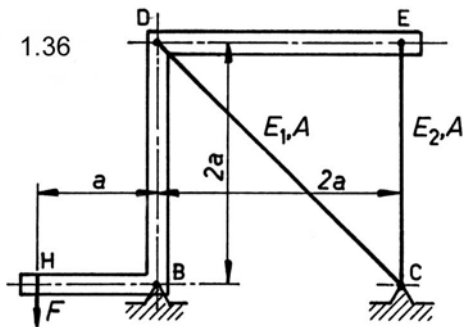
Exercice 1.36

Un système mécanique se compose de deux barres déformables, figure 1.36 : C-D module d'élasticité E_1 , C-E module d'élasticité E_2 , les deux barres ayant même aire A . Ces barres sont articulées sur une pièce H-B-D-E en S, supposée indéformable, appuyée en B et sollicitée par une force concentrée verticale F en H.

Déterminez :

1. Les tensions dans chacune des barres et les contraintes correspondantes.
2. Le déplacement du point E et du point d'application de la force F .
3. Les valeurs numériques correspondantes si :

$$A = 2,5 \text{ cm}^2, a = 650 \text{ mm}, E_1 = 16 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2, E_2 = 21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2 \text{ et } F = 12\,500 \text{ N}.$$



Exercice 1.37

Un système mécanique symétrique se compose de quatre barres déformables, en acier au module d'élasticité $E = 21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$, reliées par une pièce rectiligne D-E supposée indéformable. Les deux premières barres B-D et B-E présentant une aire A , les deux autres barres D-C et E-C une aire $2A$. L'ensemble est sollicité par une force concentrée horizontale F placée au milieu de la barre D-E.

Déterminez :

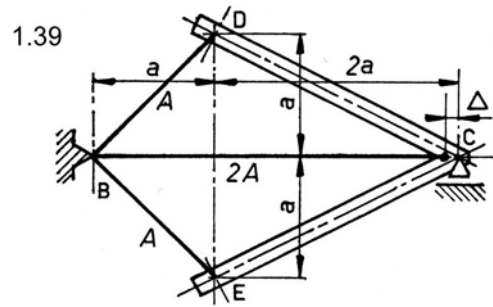
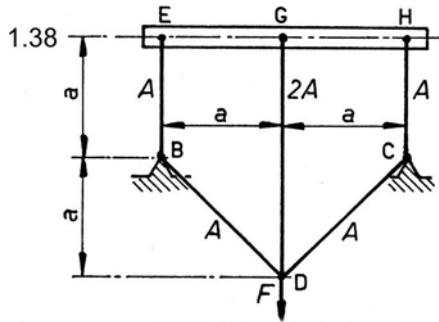
1. L'équilibre du système et les tensions dans les barres.
2. Les contraintes normales correspondantes.
3. Les réactions aux appuis B et C.
4. Le déplacement de la pièce D-E sous l'effet de la force F .
5. Application numérique : $A = 3 \text{ cm}^2, a = 625 \text{ mm}, E = 21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2, F = 63 \text{ kN}$.

Exercice 1.38

Un système mécanique se compose de cinq barres : B-E et C-H d'aire A , longueur a , B-D et C-D d'aire A , inclinées à 45° , G-D d'aire $2A$ et longueur $2a$. Les articulations B et C sont fixes et sans frottement. Les articulations E, G, H, sont reliées par une barre horizontale supposée indéformable. Le point intérieur D est sollicité par une force verticale F .

Déterminez :

1. Les tensions dans les 5 barres du système.
2. Les réactions d'appui aux points fixes B et C.
3. Les déplacements des points d'application E, G et H placés sur la barre supérieure.
4. Application numérique : $a = 1250 \text{ mm}, A = 225 \text{ mm}^2, F = 42,5 \text{ kN}$, pièces en acier avec un module d'élasticité $E = 20,4 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$.



Exercice 1.39

Un système mécanique se compose de trois barres en acier : B-D et B-E d'aire A , B-C d'aire $2A$ et longueur $3a$, d'une pièce coudée D-C-E, appuyée en C sans frottement, supposée indéformable. La barre B-C présente une erreur de fabrication de Δ avant montage.

Déterminez :

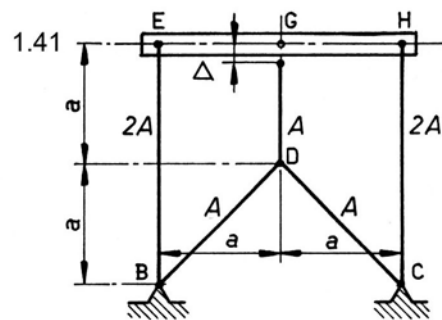
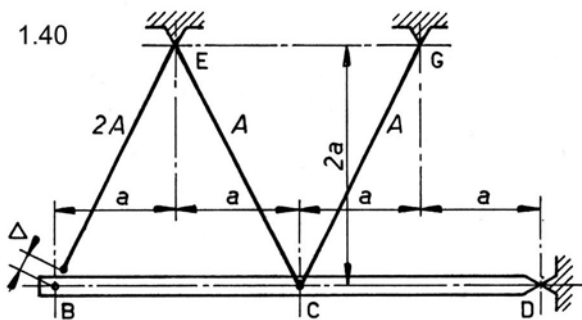
1. Les tensions axiales et les contraintes normales dans les trois barres déformables.
2. L'équilibre de la pièce coudée D-C-E.
3. Application numérique : $a = 800 \text{ mm}$, $A = 2,5 \text{ cm}^2$, $\Delta = 1 \text{ mm}$ et $E = 2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$.

Exercice 1.40

Un système mécanique se compose de trois barres articulées déformables : B-E d'aire $2A$, C-E et C-G d'aire A . Ces barres sont fixées à leurs extrémités supérieures aux points E et G, aux points B ou C à leurs extrémités inférieures. Ces dernières articulations sont implantées sur une barre horizontale B-C-D, supposée indéformable. La barre B-E présente une erreur de fabrication Δ . Cette barre est reliée au point B après montage.

Déterminez :

1. Les tensions axiales dans les trois barres.
2. L'équilibre de la pièce B-C-D.
3. Application numérique : $a = 600 \text{ mm}$, $A = 3,2 \text{ cm}^2$, $E = 21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$, $\Delta = 0,8 \text{ mm}$.



Exercice 1.41

Un système mécanique se compose d'une barre horizontale E-G-H, supposée indéformable, de deux appuis fixes B et C, de cinq barres articulées sans frottement au module d'élasticité E . Les barres extérieures B-E et C-H possèdent une section transversale d'aire $2A$, les barres intérieures B-D, C-D et D-G une aire A . Le montage de ces trois dernières barres a fait apparaître un défaut de longueur delta à éliminer.

Déterminez :

1. Les tensions dans les cinq barres et les contraintes correspondantes.
2. L'équilibre de la pièce E-G-H et son déplacement.

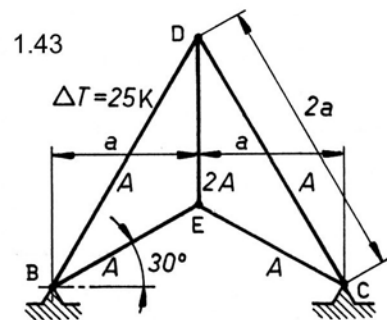
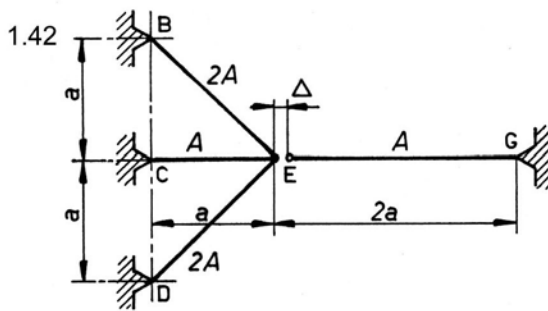
3. Valeurs numériques correspondantes : $E = 20,6 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$, $a = 400 \text{ mm}$, $A = 2 \text{ cm}^2$, $\delta = 0,75 \text{ mm}$.

Exercice 1.42

Un système mécanique se compose de quatre barres : barres B-E et D-E d'aire $2A$ articulées sur les points fixes B et D, barre C-E d'aire A articulée au point fixe C, barre E-G d'aire A articulée au point G. Après montage des quatre barres, il apparaît un défaut de montage δ au point E.

Déterminez après élimination de ce défaut :

1. Les tensions axiales dans les barres.
2. Les contraintes correspondantes.
3. Le déplacement du point E.
4. Valeurs numériques : $E = 17 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$, $a = 550 \text{ mm}$, $A = 3,2 \text{ mm}^2$ et $\delta = 0,63 \text{ mm}$.



Exercice 1.43

Un système mécanique se compose de cinq barres en acier articulées sur deux points fixes B et C. Les barres B-D, B-E, C-E et C-D présentent une aire transversale A , la barre E-D une aire transversale $2A$. Après montage à la température ambiante, toutes les barres sont libres de toute tension axiale. Le système est soumis à une augmentation de température de $\delta T = 25 \text{ K}$.

Déterminez :

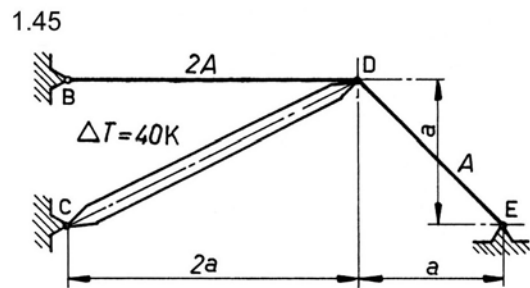
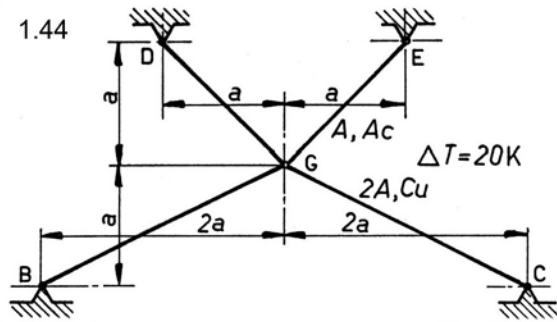
1. Les tensions axiales dans toutes les barres sous l'effet thermique.
2. Les contraintes correspondantes.
3. Les déplacements des points E et D.
4. Valeurs numériques : $a = 850 \text{ mm}$, $A = 250 \text{ mm}^2$. Choix correct du module d'élasticité et du coefficient de dilatation linéaire pour des pièces en acier.

Exercice 1.44

Un système mécanique se compose de quatre barres articulées sur les points fixes B, C, D et E. Toutes les barres sont reliées au point commun G. Les barres supérieures sont en acier, l'aire transversale étant A . Les barres inférieures sont en alliage de cuivre, l'aire transversale étant $2A$. Les barres sont montées sans contraintes initiales et le système est soumis en service à une augmentation de température de $\delta T = 20 \text{ K}$.

Déterminez :

1. Les tensions axiales dans les barres sous l'effet thermique.
2. Les contraintes normales correspondantes.
3. Le déplacement du point commun G.
4. Valeurs numériques : $a = 650 \text{ mm}$, $A = 320 \text{ mm}^2$, modules d'élasticité et coefficient de dilatation linéaire selon cours.



Exercice 1.45

Un système mécanique se compose de deux barres déformables, la première B-D articulée au point fixe B, d'aire $2A$, la seconde E-D, articulée au point fixe E, d'aire A . Une troisième barre C-D, supposée indéformable, est articulée au point C. Le système est monté sans tension initiale. En service, les deux barres B-D et D-E sont soumises à une augmentation de température de $\Delta T = 40 \text{ K}$.

Déterminez :

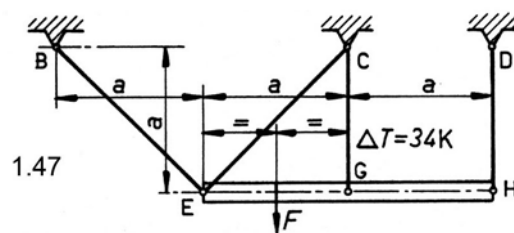
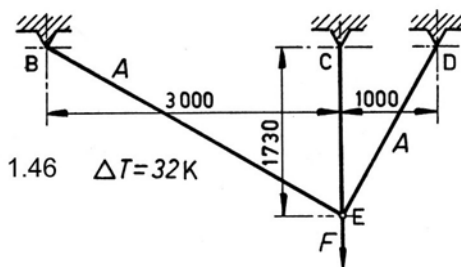
1. Les tensions axiales dans les deux barres déformables.
2. Les contraintes normales correspondantes.
3. Le déplacement du point D.
4. Valeurs numériques correspondantes : $a = 500 \text{ mm}$, $A = 5 \text{ cm}^2$, barres en acier.

Exercice 1.46

Un système mécanique se compose de trois barres articulées B-E, C-E et D-E, de même aire transversale A , reliées en un point commun E, les attaches supérieures étant supposées indéformables. Le point commun E est soumis à l'action d'une force concentrée F verticale vers le bas. L'ensemble est soumis, après montage, à une élévation de température $\Delta T = 32 \text{ K}$.

Déterminez :

1. Les tensions axiales dans les barres.
2. Les tensions normales correspondantes.
3. Le déplacement du point d'application de F ,
4. Valeurs numériques : $F = 12\,500 \text{ N}$, $A = 200 \text{ mm}^2$, barres en acier.



Exercice 1.47

Un système mécanique se compose d'une poutre horizontale E-G-H, supposée indéformable, de quatre barres articulées : B-E, C-E, C-G et D-H, amarrées à la partie supérieure en des points fixes, à la partie inférieure à la poutre horizontale. Cette pièce est sollicitée par une force verticale F placée à mi distance des points E et G. De plus, l'ensemble est soumis à une élévation de température $\Delta T = 34 \text{ K}$ après montage.

Déterminez :

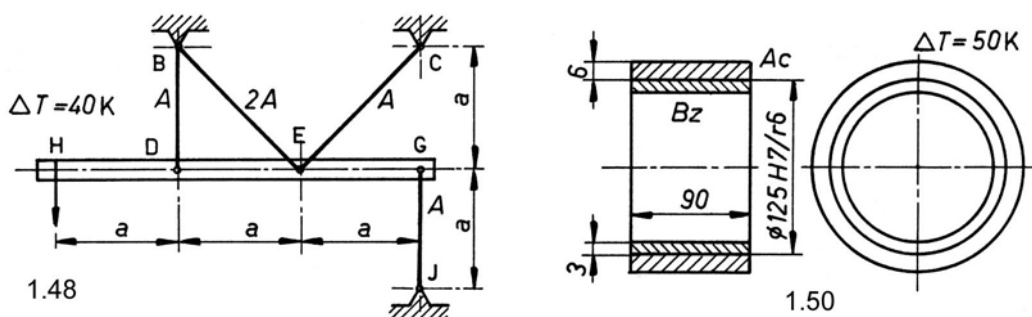
1. L'équilibre de la poutre E-G-H et les tensions dans les quatre barres.
2. Le déplacement de la poutre supposée rigide et indéformable.
3. Les contraintes axiales dans les barres si toutes les barres possèdent la même aire transversale.
4. Valeurs numériques : $a = 950 \text{ mm}$, $F = 80\,000 \text{ N}$, $A = 500 \text{ mm}^2$ et barres en acier.

Exercice 1.48

Un système mécanique se compose d'une poutre horizontale H-D-E-G, supposée indéformable, de quatre barres articulées B-D, B-E, C-D et J-G, de même aire transversale A , articulées d'une part aux points fixes B, C, J, d'autre part sur la poutre horizontale. La poutre est sollicitée au point H par une force verticale F vert les bas. L'ensemble est soumis, après montage, à une augmentation de température $\Delta T = 40 \text{ K}$.

Déterminez :

1. L'équilibre de la poutre H-D-E-G.
2. Le déplacement de cette poutre.
3. Les tensions axiales dans les barres articulées et les contraintes normales.
4. Valeurs numériques : $a = 1250 \text{ mm}$, $F = 100 \text{ kN}$, $A = 800 \text{ mm}^2$, barres en acier.



Exercice 1.49

Le système mécanique représenté à la figure de l'exercice 1.41 présente le défaut de montage proposé, l'action d'une force verticale $F = 40 \text{ kN}$ au point D et après montage une élévation de température $\Delta T = 28 \text{ K}$. Toutes les grandeurs géométriques et mécaniques proposées sont applicables dans cet exercice.

Déterminez :

1. L'équilibre de la poutre supérieure E-G-H.
2. Les tensions axiales dans les barres.
3. Les contraintes normales dans les barres.
4. Le déplacement résultant de la poutre supérieure.

Exercice 1.50

Dans un emmanchement de deux tubes minces, les dimensions et les tolérances adoptées pour les deux tubes sont :

Tube intérieur en bronze : diamètre de l'emmanchement : 125 r6.
épaisseur de la paroi : 3 mm.

Tube extérieur en acier : diamètre de l'emmanchement : 125 H7.
épaisseur de la paroi : 6 mm.

L'ensemble est soumis en service, après montage mécanique des deux pièces, à une élévation de température $\Delta T = 50 \text{ K}$.

Déterminez :

1. La pression entre les tubes après montage à la température de montage.

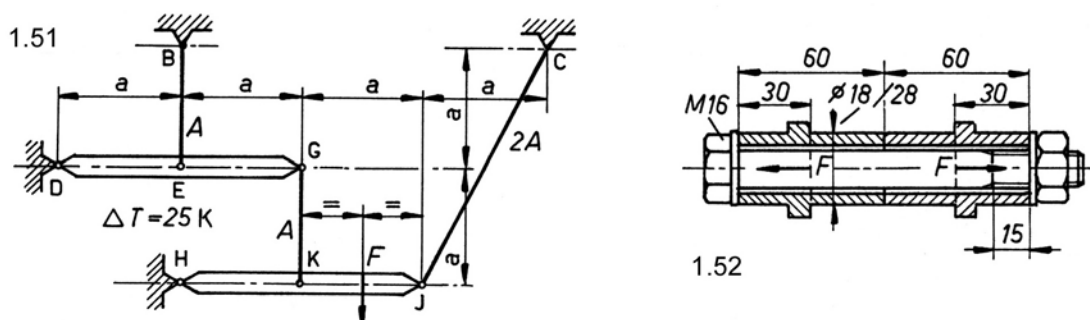
- La pression entre les tubes après l'élevation de température si les dimensions des surfaces emmanchées se situent au milieu des champs de tolérance.

Exercice 1.51

Un système mécanique se compose de deux poutres horizontales D-E-G et H-K-J, supposées indéformables, de trois barres articulées B-E, G-K et C-J, aires selon figure 1.51. La poutre inférieure est sollicitée par une force F verticale vers le bas et l'ensemble est sollicité, après montage, à une élévation de température $\Delta T = 25 \text{ K}$.

Déterminez :

- L'équilibre des poutres D-E-G et H-K-J.
- Les tensions dans les barres.
- Le déplacement du point d'application de la force F .
- Application numérique : $a = 750 \text{ mm}$, $F = 40 \text{ kN}$, $A = 320 \text{ mm}^2$ et barres en acier.



Exercice 1.52

L'exercice 1.52 représente, d'une façon simplifiée, le problème classique des assemblages vissés constitués ici par une vis M16, classe de qualité 8.8, avec écrou six pans et deux pièces serrées. Toutes les pièces sont en acier. On serre la vis au moyen d'une clef appliquée sur l'écrou de telle sorte que la tension axiale dans la vis soit 80 kN .

Déterminer :

- L'angle de rotation à donner à la clef pour que la tension axiale dans la vis atteigne la valeur proposée.
- Les tensions résiduelles dans les pièces serrées si l'on applique sur l'assemblage deux forces directement opposées $F = 28 \text{ kN}$.

Remarque :

On admettra, dans le calcul des déformations, que la vis est remplacée par deux tronçons cylindriques, le premier de diamètre nominal de la vis, le second avec une aire A_S selon la norme ISO. L'épaisseur des rondelles intercalaires intervient dans le calcul de la vis et des pièces serrées.

Exercice 1.53

Un système triangulé se compose de sept barres selon figure 1.53, l'appui articulé supérieur étant le point fixe B, l'appui mobile le point C.

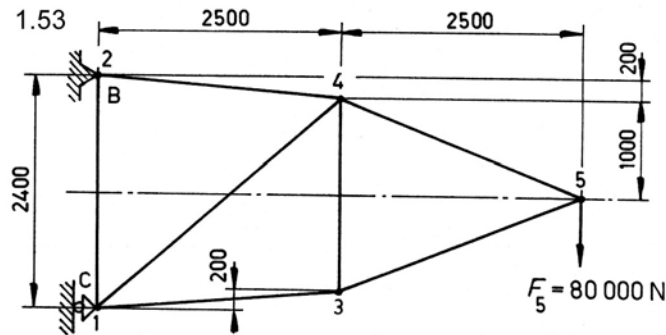
La force $F = 80\,000 \text{ N}$ est appliquée au nœud 5 de cette structure.

L'aire adoptée pour tous les profilés est $A = 1920 \text{ mm}^2$.

Déterminez :

- Les tensions dans toutes les barres.
- Les déformations axiales de toutes les barres.
- Le déplacement vertical du point d'application de la force F en utilisant le principe de la conservation des énergies mécaniques.

1 - 3. Traction, compression et cisaillement simples



Exercice 1.54

Un ensemble mécanique se compose de deux pièces :

1. Une pièce à trois tronçons cylindriques, en acier, diamètres 20, 10 et 20 mm, longueurs 60, 160 et 60 mm.
2. Un tube en cuivre, longueur 280 mm, diamètres 26/32 mm.

Ces deux pièces sont montées l'une dans l'autre à la température ambiante et ajustées de telle sorte que le jeu axial entre les deux pièces soit nul. Les appuis des extrémités sont supposés indéformables.

Déterminez :

1. Les tensions axiales dans les deux pièces pour une augmentation de température $\Delta T = 40 \text{ K}$.
2. Les déformations axiales des deux pièces dans cette nouvelle condition.

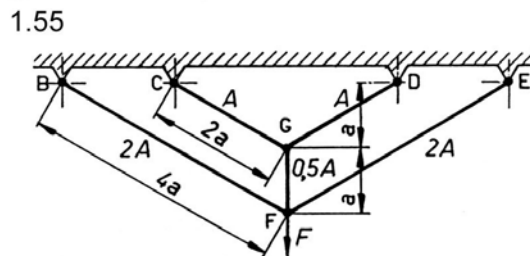
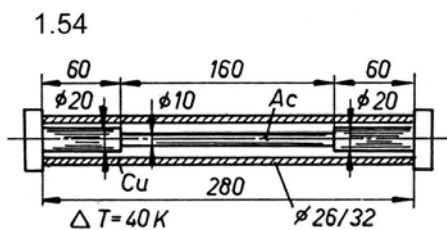
Caractéristiques :

Acier : $E = 20,5 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$,

coefficient $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Cuivre : $E = 13 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$,

coefficient $\alpha = 17,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.



Exercice 1.55

Un système mécanique de barres articulées se compose de cinq barres :

1. Deux barres B-F et E-F, de longueur $4 a$, aire transversale $2 A$.
2. Deux barres C-G et D-G, de longueur $2 a$, aire transversale A .
3. Une barre verticale G-F, de longueur a , aire transversale $A/2$.

Déterminez :

1. Les schémas des déformations aux points G et F lorsque le point F est sollicité par une force verticale F vers le bas.
2. Les équations d'équilibre aux nœuds G et F.
3. Les tensions axiales dans les cinq barres.
4. Le déplacement des points G et F sous l'action de la charge.

CHAPITRE 3

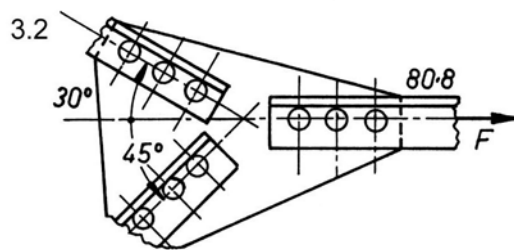
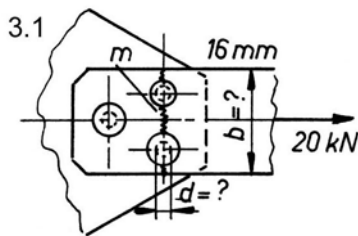
CISAILLEMENT SIMPLE, ÉTAT PLAN DE CONTRAINTES

Exercice 3.1

Dans un nœud simple de poutre triangulée plane, la charge axiale appliquée sur le profil rectangulaire de droite vaut $F = 20$ kN. La liaison s'effectue par un profilé plat, épaisseur 16 mm, rivé sur l'appui au moyen de trois rivets selon figure.

Déterminez :

1. Le diamètre d à prévoir pour les rivets si la contrainte de cisaillement admissible est 90 N/mm².
Diamètres de rivets à disposition : $d = 10, 12, 14, 16, 18, 20, 24, 27$ ou 30 mm.
2. La largeur b à prévoir pour le profilé plat, arrondie à 5 mm, si la contrainte dans la section la plus faible ne devrait pas dépasser 120 N/mm².



Exercice 3.2

Dans une charpente triangulée, le nœud représenté sur la figure 3.2 est sollicité par trois forces concourantes, la barre horizontale présentant une force de traction $F = 13\,500$ N. Les trois profilés sont identiques et sont des cornières à ailes égales L 80.8.

Déterminez :

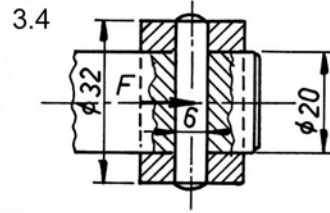
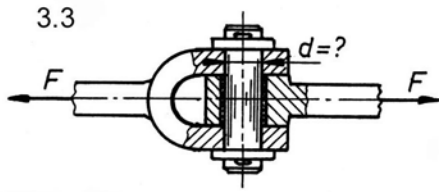
1. Les tensions normales dans les barres.
2. Le nombre de rivets à prévoir, diamètre 16 mm, si la contrainte de cisaillement simple est 90 N/mm².
3. La contrainte de traction dans les profilés dans la section la plus sollicitée.

Exercice 3.3

Une articulation à fourche est représentée schématiquement sur la figure 3.3. Elle est sollicitée par deux forces de traction $F = 7\,500$ N, directement opposées. La longueur portante du tourillon dans la fourche et dans la pièce centrale vaut 1,5 fois son diamètre.

Déterminez :

1. Le diamètre d du tourillon si la contrainte de cisaillement admissible vaut 60 N/mm².
2. La pression moyenne entre le tourillon et les pièces en appliquant la méthode de la projection des surfaces et des efforts.
3. Le diagramme des efforts tranchants dans le tourillon à partir des pressions moyennes pour une charge linéique supposée uniforme dans chaque tronçon porteur.
4. Le contrôle de la contrainte maximale de cisaillement simple pour les dimensions adoptées.



Exercice 3.4

Une bague de butée montée sur un axe de machine, diamètre 20 mm, figure 3.4, se compose d'un anneau en acier, diamètre extérieur 32 mm, d'une goupille cylindrique transversale, diamètre 6 mm, chassée dans les deux pièces. La contrainte de cisaillement admissible dans la goupille vaut 80 N/mm^2 .

Déterminez :

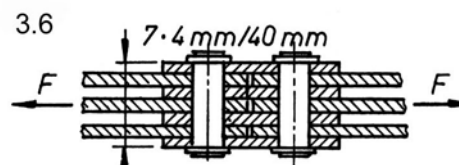
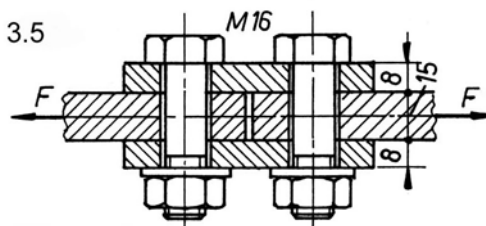
1. La charge axiale F admissible sur l'assemblage.
2. Les charges linéaires et les pressions supposées réparties uniformément entre la goupille, l'axe et la pièce annulaire. Appliquez dans ce but le principe de la projection des surfaces et des forces dans le calcul.
3. Le diagramme des efforts tranchants dans la goupille.

Exercice 3.5

La figure 3.5 montre la transmission de forces locales entre deux tôles au moyen d'un joint vissé dit à double recouvrement. Cet assemblage est soumis à l'action de deux forces directement opposées variables de 0 à 14 500 N. Dans un assemblage de ce type, la transmission des efforts s'effectue habituellement par frottement provoqué par le serrage des vis. Si l'on admet que ce serrage a partiellement, voir complètement disparu, provenant essentiellement de la charge dynamique extérieure, l'ensemble peut alors se contrôler au cisaillement des vis.

Déterminez dans ces conditions :

1. L'effort de cisaillement dans les vis de dimensions M 16 et classe 8.8.
2. La contrainte de cisaillement simple dans la partie cylindrique des vis.
3. Les contraintes normales dans les pièces serrées si la largeur des pièces de recouvrement vaut 40 mm.



Exercice 3.6

Une partie d'une chaîne articulée est représentée schématiquement sur la figure 3.6. Elle se compose de maillons en acier, dimensions transversales 4 mm x 40 mm, de tourillons au diamètre 20 mm. Cette chaîne se compose alternativement de 3 ou de 4 maillons. La charge extérieure appliquée sur l'ensemble des maillons vaut $F = 40 \text{ kN}$.

Déterminez :

1. Le diagramme des efforts tranchants dans les tourillons en admettant que chaque ensemble de maillons supporte la même charge, que la pression dans les maillons est répartie uniformément.
2. La contrainte maximale de cisaillement dans les tourillons.
3. La contrainte normale maximale dans les maillons après dessin de la vue de face de cette pièce.

Exercice 3.7

On doit découper un flanc cylindrique dans une tôle d'acier, le diamètre extérieur de cette pièce étant 25 mm, l'épaisseur de la tôle étant 14 mm.

Quelle force axiale faut-il exercer sur le poinçon si la tôle est de la nuance Ac 37 ?

Exercice 3.8

Un état plan de contraintes est caractérisé par les valeurs suivantes :

- Contraintes normales : $\sigma_x = -40 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_y = 85 \text{ N/mm}^2$.
- Contrainte tangentielle : $\tau_{xy} = -32 \text{ N/mm}^2$.

Déterminez :

1. Les contraintes principales en direction, sens et intensité. l'angle entre le système de référence Oxy primitif et les directions principales.
2. L'état des contraintes normales et tangentielle pour une nouvelle direction du système de référence Ouv , inclinée de $+25^\circ$ par rapport à celle de la définition.

Exercice 3.9

Un état plan de contraintes est caractérisé par les grandeurs suivantes :

- Contraintes normales : $\sigma_x = 165 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_y = 75 \text{ N/mm}^2$.
- Contrainte tangentielle : $\tau_{xy} = 65 \text{ N/mm}^2$.

Déterminez :

1. Les contraintes normales et tangentielle pour un système de référence Ouv tourné de 35° par rapport au système de référence primitif.
2. Les déformations spécifiques selon les contraintes principales pour une pièce en acier.

Exercice 3.10

Une douille en acier, utilisée dans un distributeur hydraulique, présente les dimensions diamétrales suivantes :

- Diamètre intérieur $d_i = 30 \text{ mm}$.
- Diamètre extérieur $d_e = 48 \text{ mm}$.

Cette pièce est soumise à l'action d'une pression intérieure valant $p_i = 320 \text{ bars}$. Les contraintes principales, pour cette pièce ne subissant aucune poussée axiale, se calculent par les relations valables pour une pression agissant sur le cylindre intérieur épais :

$$\text{Contrainte tangentielle : } \sigma_t = p_i (d_e^2 + d_i^2) / (d_e^2 - d_i^2).$$

$$\text{Contrainte radiale : } \sigma_r = -p_i.$$

Déterminez :

1. Les composantes σ_t et σ_r des contraintes normales dans la douille sous l'effet de la pression.
2. Le cercle de Mohr et la contrainte maximal de cisaillement.
3. La variation de diamètre intérieur de la douille en acier avec $E = 21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$.

Exercice 3.11

Un état plan de contraintes est caractérisé par les composantes suivantes :

1 - 3. Traction, compression et cisaillement simples

Contraintes normales : $\sigma_x = -125 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_y = 55 \text{ N/mm}^2$.

Contrainte tangentielle : $\tau_{xy} = -80 \text{ N/mm}^2$.

Déterminez :

1. Les contraintes principales et leur position par rapport au système de référence $Ox y$.
2. Le cercle de Mohr des contraintes
3. L'état de contraintes en position et valeur lorsque la contrainte de cisaillement est maximale.

Exercice 3.12

Un état plan de contraintes est défini par une mesure extensométrique effectuée au moyen de jauges de contrainte rectangulaire. Les longueurs de mesure sont 20 mm pour les deux jauges placées suivant les contraintes principales. Sous l'effet de la charge appliquée sur la structure en acier, les déformations sont :

1. Jauge 1 : allongement : 0,0128 mm.
2. Jauge 2 : raccourcissement : - 0,0097 mm.

Déterminez :

1. Les valeurs des contraintes principales et l'erreur commise sur l'estimation de ces contraintes si la précision de la mesure est $\pm 0,0004 \text{ mm}$.
2. Le cercle de Mohr des contraintes.
3. L'état de contrainte probable pour un système d'axes rectangulaires tourné de -30° par rapport à la position des jauges.

Exercice 3.13

Un état plan de contraintes plan est caractérisé par les valeurs suivantes :

Contraintes normales : $\sigma_x = 210 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_y = -135 \text{ N/mm}^2$.

Contrainte tangentielle : $\tau_{xy} = -92 \text{ N/mm}^2$.

Déterminez :

1. Le cercle de Mohr des contraintes
2. Les contraintes principales et leur position par rapport au système de référence $Ox y$.
3. La déformation probable des jauges de contraintes rectangulaires, longueur de mesure 25 mm, placées sur les axes des contraintes principales si le module d'élasticité est $E = 13,5 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$ et si le coefficient de Poisson vaut 25 %.

Exercice 3.14

Un état de contrainte est caractérisé par les valeurs suivantes :

Contraintes normales : $\sigma_x = -185 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_y = 88 \text{ N/mm}^2$.

Contrainte tangentielle : $\tau_{xy} = -73 \text{ N/mm}^2$.

Déterminez :

1. Les contraintes principales en recherchant la position des axes principaux.

Le dessin du tricercler de Mohr des contraintes : dans un état plan de contraintes, la troisième contrainte principale est nulle. Il est ainsi possible de construire trois cercles de Mohr à partir de chaque contrainte principale σ_1 , σ_2 , σ_3 . La contrainte maximale de cisaillement vaut :

$$\tau_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2,$$

avec : $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$. Cette contrainte de cisaillement sert de base au critère du cisaillement limite.

Exercice 3.15

Un état de contrainte plan affiché par un logiciel d'éléments finis indique la valeur des contraintes en un nœud d'une pièce entaillée :

$$\sigma_x = 29,018 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_y = 136,18 \text{ N/mm}^2, \quad \tau_{xy} = 28.827 \text{ N/mm}^2.$$

Déterminez :

1. Graphiquement, au moyen du cercle de Mohr, les contraintes principales σ_1 et σ_2 .
2. La direction des axes principaux des contraintes σ_1 et σ_2 .
3. Les mêmes valeurs au moyen des relations analytiques.

Exercice 3.16

Un état de contrainte spatial affiché par un logiciel d'éléments finis indique la valeur des contraintes en un nœud intérieur d'une pièce cylindrique entaillée :

1. Composantes axiales

$$\sigma_x = 33,5 \text{ N/mm}^2, \quad \sigma_y = 123,8 \text{ N/mm}^2, \quad \sigma_z = 29,1 \text{ N/mm}^2 \quad \text{et} \quad \tau_{xy} = 28,4 \text{ N/mm}^2.$$

2. Contraintes principales :

$$\sigma_1 = 131,9 \text{ N/mm}^2, \quad \sigma_2 = 29,1 \text{ N/mm}^2 \quad \text{et} \quad \sigma_3 = 25,1 \text{ N/mm}^2.$$

Déterminez :

1. La justification de l'affichage, au moyen du tricerple de Mohr, des contraintes principales $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$.
2. La contrainte maximale de cisaillement.

CHAPITRE 4

CARACTÉRISTIQUES DES SURFACES PLANES

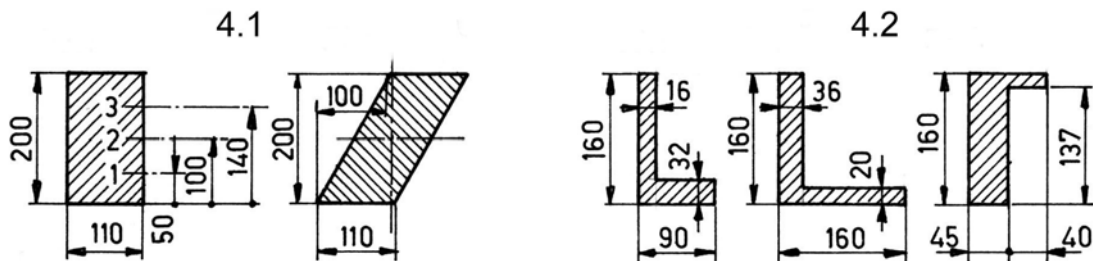
Exercice 4.1

Un profil rectangulaire présente les dimensions données sur la figure 4.1 : base 110 mm, hauteur 200 mm. Calculez :

1. Les moments quadratiques de cette surface pour des axes, parallèles à la base, passant par les niveaux désignés par 1, 2 et 3.

La surface est modifiée en un parallélogramme dont les côtés sont déplacés à droite de 100 mm selon figure 4.1. Calculez :

2. La position du centre de gravité du parallélogramme.
3. Les moments quadratiques par rapport à ce centre de gravité pour une paire d'axes rectangulaires.



Exercice 4.2

Trois profils en L selon figure 4.2 possèdent des dimensions différentes, exprimées en mm.

Calculez pour chacune des surfaces :

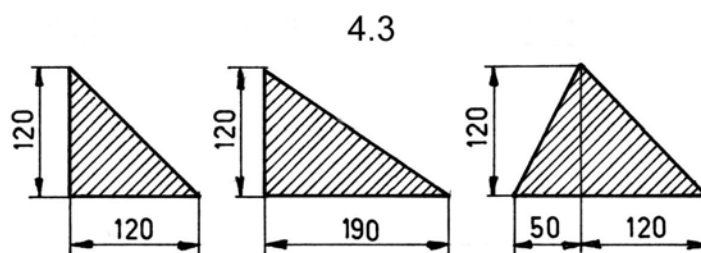
1. La position du centre de gravité.
2. Les moments quadratiques par rapport aux axes rectangulaires passant par le centre de gravité.
3. Les rayons de giration correspondant.

Exercice 4.3

Trois surfaces triangulaires sont représentées sur la figure 4.3. Chaque triangle possède une hauteur de 120 mm, les bases ayant une longueur de 120 mm, 190 mm et 170 mm.

Calculez :

1. Les coordonnées du centre de gravité de chacun des triangles.
2. Les moments quadratiques de ces triangles par rapport aux axes rectangulaires passant par le centre de gravité de la surface.
3. Les rayons de giration correspondant.

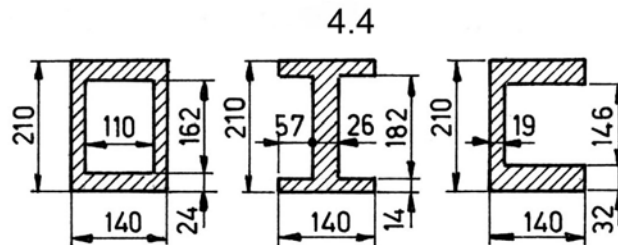


Exercice 4.4

Trois surfaces sont comprises dans un rectangle dont la base vaut 140 mm, la hauteur 210 mm, selon figure 4.4.

Calculez :

1. L'aire de la surface et les coordonnées des centres de gravité de chacune des surfaces.
2. Les moments quadratiques par rapport aux centres de gravité de ces surfaces.
3. Les rayons de giration correspondant.

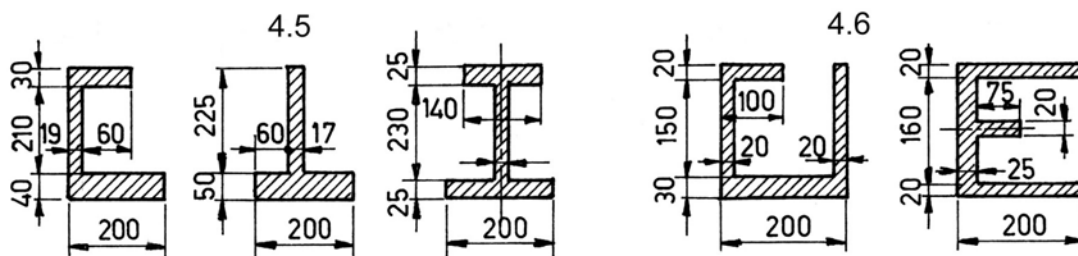


Exercice 4.5

Trois surfaces selon figure 4.5 sont composées de trois rectangles partiels.

Déterminez :

1. L'aire de la surface et les coordonnées du centre de gravité.
2. Les moments quadratiques par rapport à des axes rectangulaires passant par le centre de gravité.
3. Les rayons de giration.



Exercice 4.6

Deux surfaces se composent de plusieurs rectangles partiels selon figure 4.6.

Déterminez :

1. L'aire de la surface et les coordonnées du centre de gravité
2. Les moments quadratiques pour des axes rectangulaires passant par le centre de gravité.
3. La position des axes principaux et les valeurs des moments quadratiques correspondants.

Exercice 4.7

En négligeant les arrondis dans les profils normés pour la construction métallique, soit les profils :

1. HEA 300 et HEB 240,
2. LNP 120.80 et LNP 120.80.8.

Calculez :

1. L'aire de la surface de chaque profil proposé.
2. La position du centre de gravité.
3. Les moments quadratiques I_x et I_y par rapport aux axes de gravité.
4. Les rayons de giration correspondant.

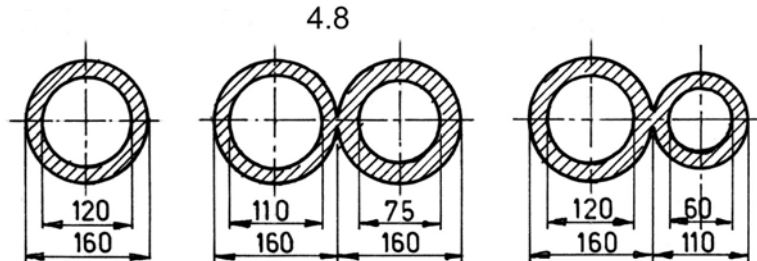
5. La comparaison de vos résultats avec les grandeurs données dans les tables pour les profils avec arrondis.

Exercice 4.8

Trois surfaces sont composées de surfaces annulaires selon figure 4.8.

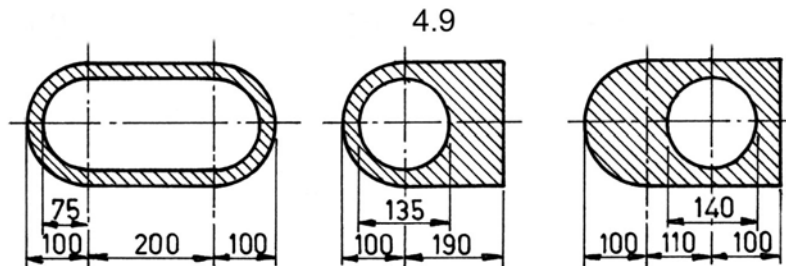
Déterminez :

1. L'aire de chacune des surfaces et les coordonnées du centre de gravité.
2. Les moments quadratiques I_x et I_y .
3. Les moments quadratiques par rapport à une paire d'axes rectangulaires tournée de $+ 30^\circ$.



Exercice 4.9

Trois surfaces se composent de parties annulaires ou circulaires combinées avec des parties rectangulaires.



Déterminez :

1. L'aire de chacune des surfaces et les coordonnées du centre de gravité.
2. Les moments quadratiques I_x et I_y .
3. Les moments quadratiques par rapport à une paire d'axes rectangulaires tournée de $- 20^\circ$.

Exercice 4.10

Construisez le cercle de Mohr-Land pour le profilé INP 320.

Déterminez :

1. Graphiquement : les moments quadratiques axiaux et polaires pour un système de référence constitué par une paire d'axes rectangulaires passant par le centre de gravité, tourné de $+ 35^\circ$.
2. Analytiquement : les moments quadratiques axiaux et polaire pour un système de référence constitué par une paire d'axes rectangulaires passant par le centre de gravité, tourné de $- 45^\circ$.

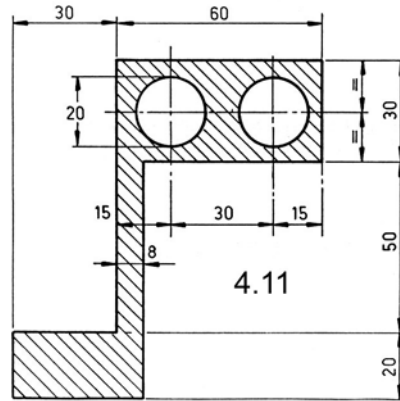
Exercice 4.11

La section d'un profilé est donnée dans la figure ci-dessous, les dimensions étant exprimées en millimètres.

Déterminez successivement :

1. L'aire de la section hachurée totale.

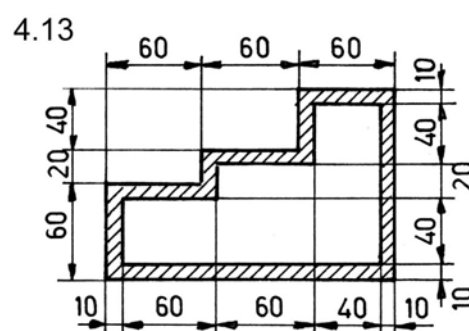
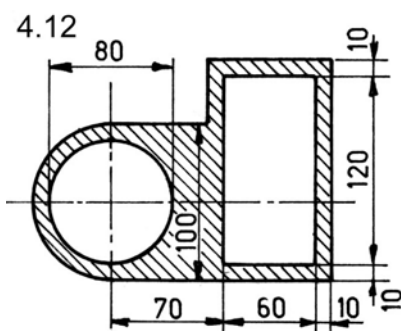
2. Les moments de surface par rapport à un système de référence tangent à gauche et en bas du profil.
3. Les coordonnées du centre de gravité par rapport à cette paire d'axes.
4. Les moments quadratiques de surface I_x , I_y , I_p , le moment produit I_{xy} , par rapport aux axes de gravité.
5. La construction du cercle de Mohr-Land.
6. La position des axes principaux et les moments quadratiques principaux.



Exercice 4.12

Une surface se compose de deux parties rectangulaires et d'un demi anneau selon figure 4.12. Déterminez :

1. L'aire de la surface totale.
2. Les moments statiques de surface par rapport à une paire d'axes dont l'origine se trouve au centre de la surface circulaire vide.
3. La position du centre de gravité.
4. Les moments quadratiques axiaux I_x , I_y , I_p , le moment produit I_{xy} .
5. La construction du cercle de Mohr-Land.
6. Les moments quadratiques principaux et la position du système de référence par rapport à ces grandeurs.



Exercice 4.13

Une surface se compose de trois surfaces rectangulaires partielles ajourées selon la figure 4.13.

Déterminez :

1. L'aire de la surface totale
2. Les moments statiques de surface par rapport à un système de référence tangent à gauche et en bas du rectangle gauche.
3. Les coordonnées du centre de gravité.

4. Les moments quadratiques axiaux I_x , I_y , I_p , et produit I_{xy} .
5. Les moments quadratiques principaux de gravité et la position des axes correspondants.

Exercice 4.14

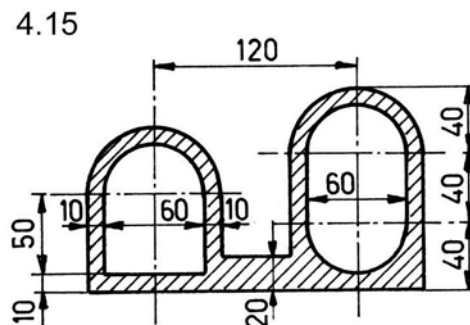
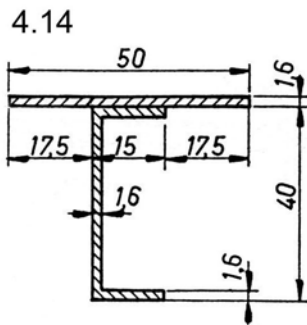
Un profilé utilisé dans les coiffes des fusées TITAN et ARIANE 4 se compose de deux parties distinctes :

1. Une tôle horizontale, épaisseur 1,6 mm, largeur 50 mm.
2. Un profil en U, épaisseur 1,6 mm, base 15 mm, hauteur 40 mm.

La position du profilé U par rapport à la tôle est représentée sur la figure 4.14, ce profilé étant placé exactement au centre de la largeur de la tôle.

Déterminez :

1. Pour le profilé U seul : l'aire de la surface, la position du centre de gravité. Les moments quadratiques axiaux I_x (axe C_x horizontal) et I_y (axe C_y vertical), le moment produit I_{xy} .
2. Pour la tôle 50 / 1,6 seule : l'aire de la surface, la position du centre de gravité. Les moments quadratiques axiaux I_x (axe C_x horizontal), I_y (axe C_y vertical), le moment produit I_{xy} .
3. Pour le profilé combiné : profilé U et la tôle : l'aire de la surface et la position du centre de gravité.
4. Le cercle de Mohr-Land pour le profilé combiné et les moments quadratiques pour une paire d'axes rectangulaires tournée de $+20^\circ$ par rapport à l'horizontale.



Exercice 4.15

Une surface est composée par trois surfaces rectangulaires partiellement ajourées et deux demi surfaces annulaires selon figure 4.15.

Déterminer :

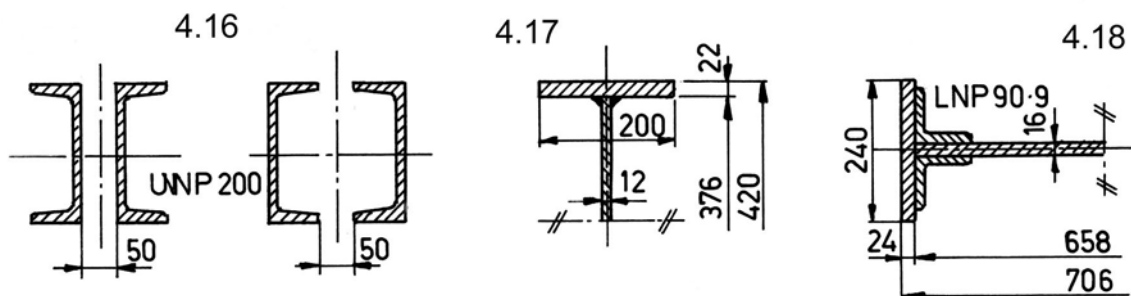
1. L'aire de la surface totale.
2. Les moments statiques de surface par rapport à un système de référence avec axe Ox tangent à la ligne inférieure, l'axe Oy placé sur le premier axe à gauche. La position du centre de gravité par rapport à ce système de référence provisoire.
3. Les moments quadratiques I_x , I_y et I_{xy} par rapport à une paire d'axes rectangulaires passant par le centre de gravité.
4. Les moments quadratiques principaux et la position angulaire de ce système d'axes.
5. La valeur de tous les moments quadratiques pour un système de référence orthogonal tourné de 45° .

Exercice 4.16

Deux profilés U, type UNP 200, sont assemblés et reliés de telle sorte que la distance libre intérieure soit 50 mm, soit dos à dos, soit dans le sens contraire, figure 4.16.

Déterminez :

1. Les moments quadratiques I_x , I_y et I_{xy} pour les deux variantes de position des profilés.
2. La distance à prévoir entre les deux profilés de telle sorte que $I_y = 1,1 I_x$.



Exercice 4.17

Pour obtenir un profilé en I, on prévoit d'assembler trois profilés rectangulaires :

Une âme de 12 mm x 376 mm.

Deux ailes de 200 mm x 22 mm.

Déterminez :

1. Les moments quadratiques I_x , I_y et I_p du profilé complet.
2. La part de chacun des profils composants dans la valeur totale de I_x .
3. La valeur des moments quadratiques I_u , I_v , I_{uv} si le système de référence est tourné de telle sorte que l'axe Cv soit dans la position de la diagonale du profil complet.

Exercice 4.18

Pour obtenir un profil I, on prévoit d'assembler divers profilés simples :

Une âme par une tôle de 16 mm x 658 mm.

Deux ailes par des tôles de 24 mm x 240 mm.

Quatre profils cornières LNP 90.9 mm.

Déterminez :

Les moments quadratiques I_x , I_y et I_p du profil complet par rapport au centre de gravité.

Exercice 4.19

Un profilé présente la forme donnée par la surface dessinée sur la figure 4.19, toutes les dimensions étant en millimètres.

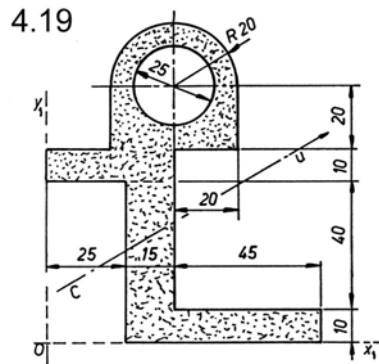
Déterminez :

1. L'aire de la surface totale par décomposition en surfaces composantes simples.
2. Les moments statiques de surface par rapport à Ox_1y_1 et la position du centre de gravité
3. Les moments quadratiques axiaux par rapport au centre de gravité de la surface et d'une paire d'axes $Cx y$ avec Cx horizontal.
4. Le moment quadratique polaire et les rayons de giration.
5. La valeur des moments quadratiques principaux et la position des axes principaux de la surface.
6. Les axes conjugués si l'axe Cu est inclinée à 30° sur l'horizontale avec utilisation du cercle de Mohr-Land.

Caractéristiques du demi cercle :

Position du centre de gravité par rapport au diamètre : $y_c = 4 R / (3 \pi)$.

Moment quadratique axial par rapport à l'axe de gravité : $I_{xC} = [\pi/128 - 1/(18 \pi)] d^4$.

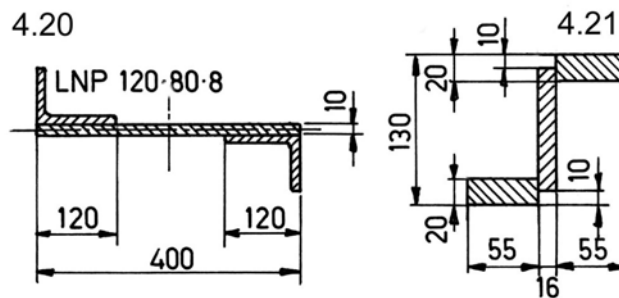


Exercice 4.20

Pour fabriquer un profilé en Z, on désire assembler une tôle, épaisseur 10 mm, hauteur 400 mm, avec deux profilés cornière à ailes inégales 120.80.8 mm, selon figure 4.20.

Déterminez :

1. Les moments quadratiques de gravité I_x , I_y , I_{xy} et I_p de l'ensemble.
2. La position des axes principaux et les moments quadratiques correspondants.



Exercice 4.21

Pour fabriquer un profilé en Z, on assemble trois profilés à section rectangulaire, une partie centrale de 16 x 110 mm, deux ailes de 55 x 20 mm.

Déterminez :

1. Les moments quadratiques de gravité I_x , I_y , I_{xy} et I_p .
2. La position des axes principaux de gravité et des moments quadratiques correspondants.

Exercice 4.22

Soit un profilé normé HEB 600 dont les dimensions en mm sont :

Hauteur $h = 600$, largeur $2c = 300$, épaisseur de l'âme 15,5, épaisseur des ailes 30, rayon 27.

Aire $27\,000 \text{ mm}^2$, $I_x = 1710 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$, $I_y = 135 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$.

Déterminez :

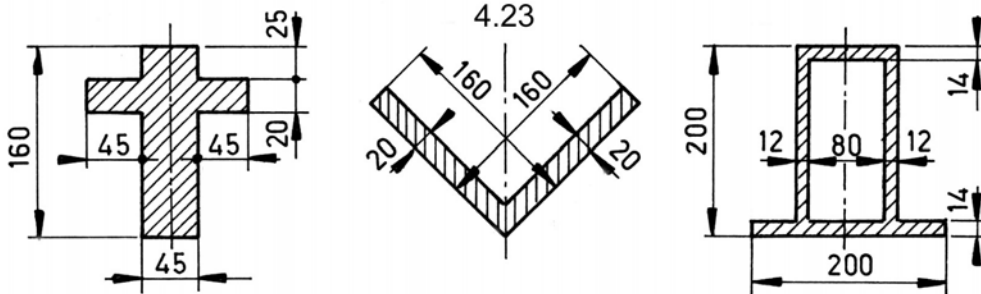
1. Les moments quadratiques de gravité I_u , I_v , I_{uv} , par rapport à une paire d'axes rectangulaires $C u v$ passant par les angles extérieurs : à gauche supérieur, à droite inférieur.
2. En maintenant la position de l'axe $C v$, quelle est la position de l'axe conjuguée ?

Exercice 4.23

Trois profils sont représentés sur la figure 4.23, à des échelles différentes, les dimensions proposées étant exprimées en mm.

Déterminez :

1. La position du centre de gravité de chaque figure.
2. Les moments quadratiques de gravité I_x , I_y , I_{xy} et I_p , le système de référence $C x y$ étant avec axe $C x$ horizontal.
3. Les moments quadratiques de gravité pour une rotation du système d'axes de $+ 30^\circ$.
4. Le cercle de Mohr-Land dans cette nouvelle position du système de référence.

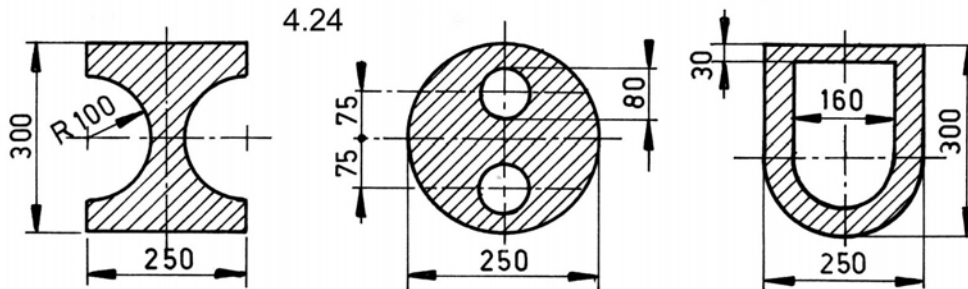


Exercice 4.24

Trois profils sont représentés sur la figure 4.24, à des échelles différentes, les dimensions proposées étant en mm.

Déterminez :

1. La position du centre de gravité de chaque figure.
2. Les moments quadratiques de gravité I_x , I_y , I_{xy} et I_p , le système de référence $C x y$ étant avec l'axe $C x$ horizontal.
3. Les moments quadratiques de gravité pour une rotation du système d'axes de $- 30^\circ$.
4. Le cercle de Mohr-Land dans cette nouvelle position du système de référence.



CHAPITRE 5

FLEXION ÉLASTIQUE SIMPLE

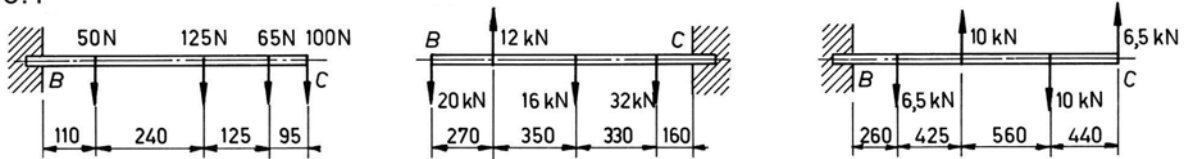
Exercice 5.1

Trois poutres rectilignes, encastrées d'un côté, libre à l'autre, sont sollicitées par quatre forces concentrées F_1 à F_4 .

Déterminez :

1. L'équilibre de chacune des pièces : réaction force et réaction moment.
2. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
3. Les valeurs maximales et minimales de ces efforts.

5.1



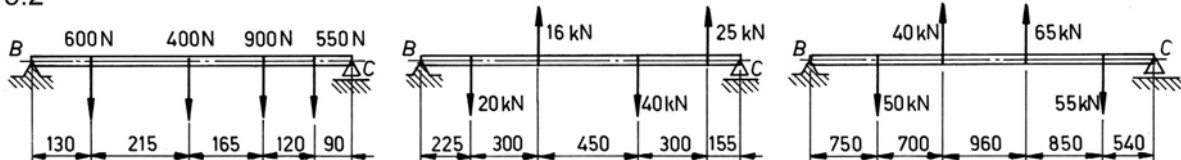
Exercice 5.2

Trois poutres rectilignes, placées sur deux appuis articulés sans frottement, à gauche appui fixe, à droite appui sur rouleau, sont sollicitées par des forces concentrées selon figure 5.2.

Déterminez :

1. L'équilibre de chacune des pièces : réaction force F_B et F_C .
2. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
3. Les valeurs maximales et minimales de ces efforts.

5.2



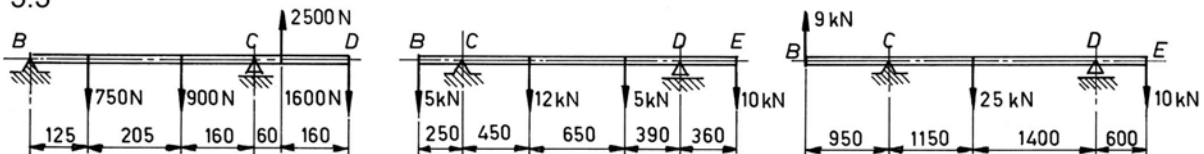
Exercice 5.3

Trois poutres rectilignes, placées sur deux appuis articulés sans frottement, à gauche appui fixe, à droite appui sur rouleau, avec un ou deux porte-à-faux, sont sollicitées par des forces concentrées selon figure 5.3.

Déterminez :

1. L'équilibre de chacune des pièces : réaction force F_B et F_C .
2. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
3. Les valeurs maximales et minimales de ces efforts.

5.3

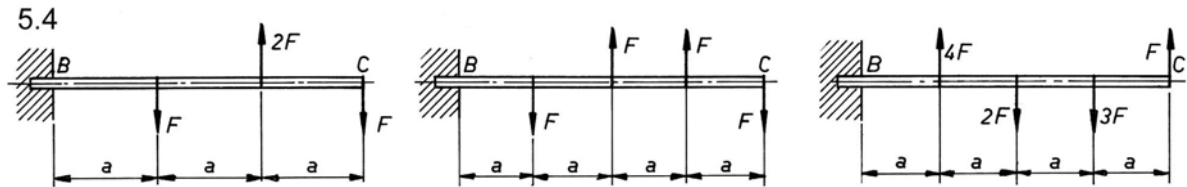


Exercice 5.4

Trois poutres rectilignes, encastrées à gauche dans un appui fixe, libres à droite, sont sollicitées par des forces concentrées données sous forme littérale selon figure 5.4.

Déterminez :

1. L'équilibre de chacune des pièces : réaction force F_B et moment dans l'encastrement.
2. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
3. Les valeurs maximales et minimales de ces efforts.

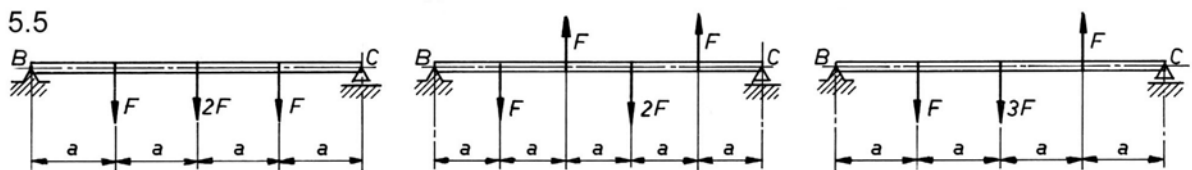


Exercice 5.5

Trois poutres rectilignes, placées sur deux appuis articulés sans frottement, à gauche appui fixe, à droite appui sur rouleau, sont sollicitées par des forces concentrées, données sous forme littérale, selon figure 5.5.

Déterminez :

1. L'équilibre de chacune des pièces : réaction force F_B et F_C .
2. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
3. Les valeurs maximales et minimales de ces efforts.

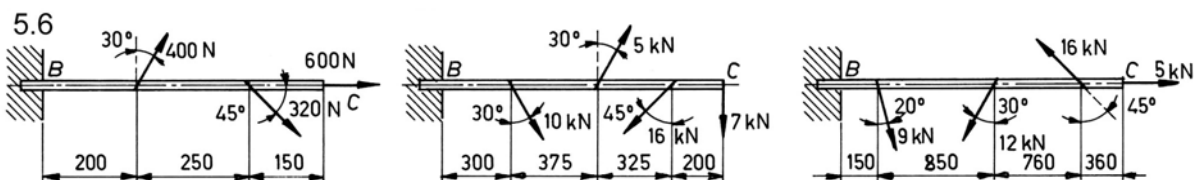


Exercice 5.6

Trois poutres rectilignes, encastrées à gauche dans un appui fixe, libres à droite, sont sollicitées par des forces concentrées obliques selon figure 5.6.

Déterminez :

1. Les composantes axiales et transversales des forces.
2. L'équilibre de chacune des pièces : réaction force F_B et moment dans l'encastrement.
3. Les diagrammes des efforts normaux et tranchants, des moments fléchissants.
4. Les valeurs maximales et minimales de chacun de ces efforts.



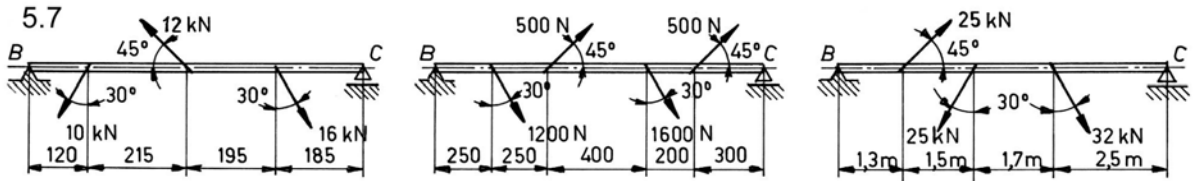
Exercice 5.7

Trois poutres rectilignes, placées sur deux appuis articulés sans frottement, à gauche appui fixe, à droite appui sur rouleau, sont sollicitées par des forces concentrées obliques, selon figure 5.7.

Déterminez :

1. Les composantes axiales et transversales des forces.

2. L'équilibre de chacune des pièces : réaction force F_B et F_C .
3. Les diagrammes des efforts normaux et tranchants, des moments fléchissants.
4. Les valeurs maximales et minimales de chacun de ces efforts.

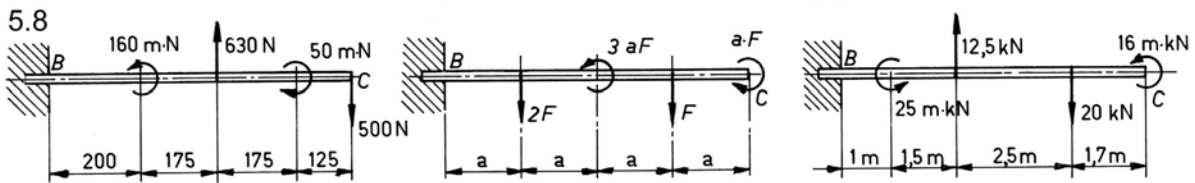


Exercice 5.8

Trois poutres rectilignes, encastree à gauche au point B , libres à l'autre extrémité, sont soumises simultanément à des forces concentrées et à des couples de forces selon la figure 5.8.

Déterminez :

1. L'équilibre de chacune de ces pièces : réaction force F_B et réaction moment de force $M_{(B)}$.
2. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
3. Les valeurs maximales et minimales de chacun de ces efforts.

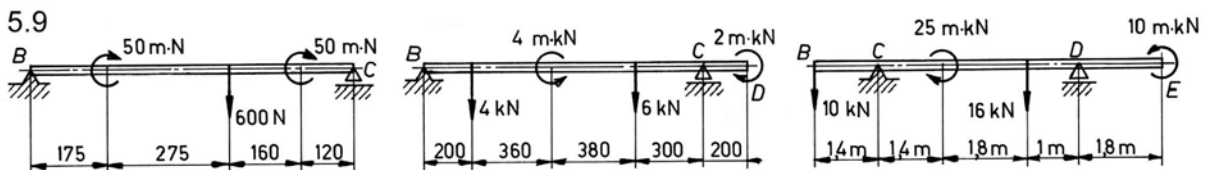


Exercice 5.9

Trois poutres rectilignes, placées sur deux appuis articulés sans frottement, l'appui gauche articulée fixe, l'appui de droite sur rouleau, sont sollicitées par des forces concentrées et des couples de forces selon figure 5.9.

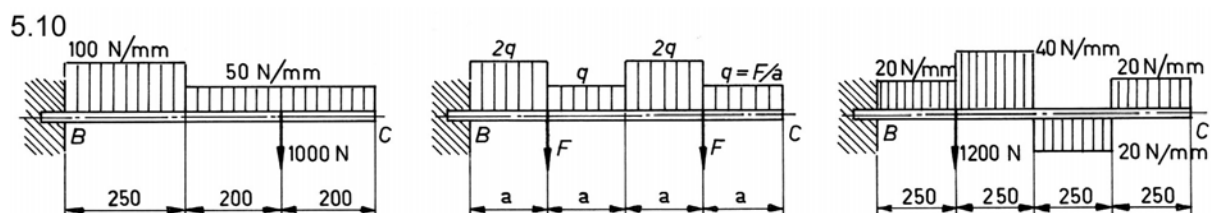
Déterminez :

1. L'équilibre de chacune de ces pièces : les deux réactions force F_B , F_C , ou F_D .
2. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
3. Les valeurs maximales et minimales de chacun de ces efforts.



Exercice 5.10

Trois poutres rectilignes, encastrees au point B , libres au point C , sont sollicitées par des charges réparties par tronçons et par une ou plusieurs forces concentrées selon figure 5.10.



Déterminez :

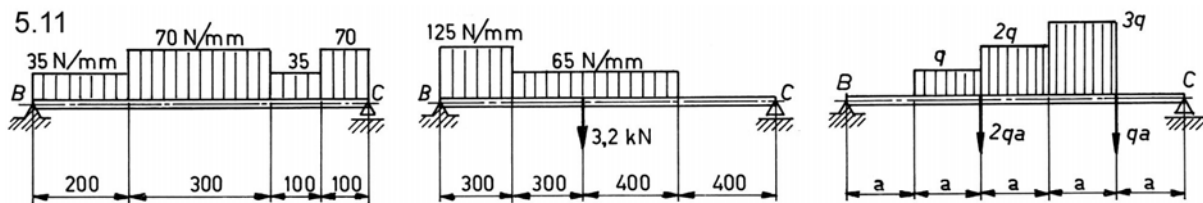
1. L'équilibre de chacune de ces pièces : réaction force F_B et réaction moment de force $M_{(B)}$.
2. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
3. Les valeurs maximales et minimales de chacun de ces efforts.

Exercice 5.11

Trois poutres rectilignes, placées sur deux appuis articulés sans frottement, l'appui gauche articulée fixe, l'appui de droite sur rouleau, sont sollicitées par des charges réparties par tronçons et certaine par une force concentrée selon figure 5.11.

Déterminez :

1. L'équilibre de chacune de ces pièces : les deux réactions force F_B et F_C .
2. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
3. Les valeurs maximales et minimales de chacun de ces efforts.



Exercice 5.12

Une poutre rectiligne, encastrée à l'extrémité gauche B , libre à l'autre extrémité à droite C , longueur portante $B-C = l$, est sollicitée par une charge répartie triangulairement sur toute sa longueur.

1. Variante A : charge linéique q maximale à l'encastrement, charge linéique nulle à l'extrémité libre C .
2. Variante B : charge linéique nulle à l'encastrement, charge linéique q maximale à l'extrémité libre C .

Déterminez pour chacune de ces variantes :

1. L'équilibre de la poutre et les efforts au point B .
2. L'expression de la charge linéique en fonction de l'abscisse x si la charge totale vaut F .
3. Les expressions de l'effort tranchant $F_{T(x)}$ et du moment fléchissant $M_{f(x)}$ en fonction de l'abscisse x .
4. Les valeurs extrémales correspondantes.

Exercice 5.13

Trois poutres rectilignes, placées sur deux appuis articulés sans frottement, l'appui B fixe, l'appui C sur rouleau, présentent un tronçon en porte-à-faux. Ces pièces sont sollicitées par des charges réparties ou une force concentrée.

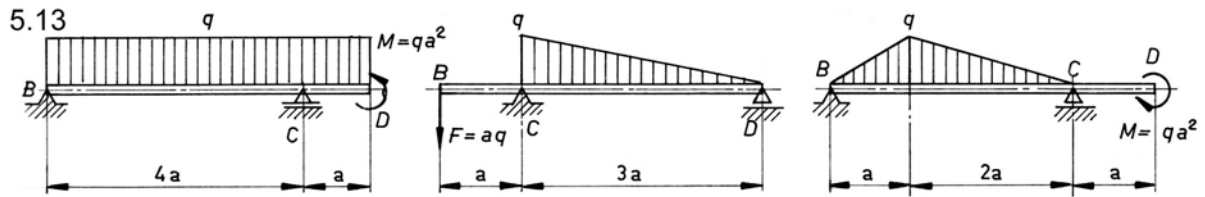
Première poutre : charge répartie q sur toute la longueur.

Deuxième poutre : force concentrée et charge répartie triangulairement entre les appuis.

Troisième poutre : charge triangulaire entre les deux appuis.

Déterminez :

1. L'équilibre statique de chacune de ces pièces.
2. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
3. Les valeurs extrémales de ces deux grandeurs en intensité et position.



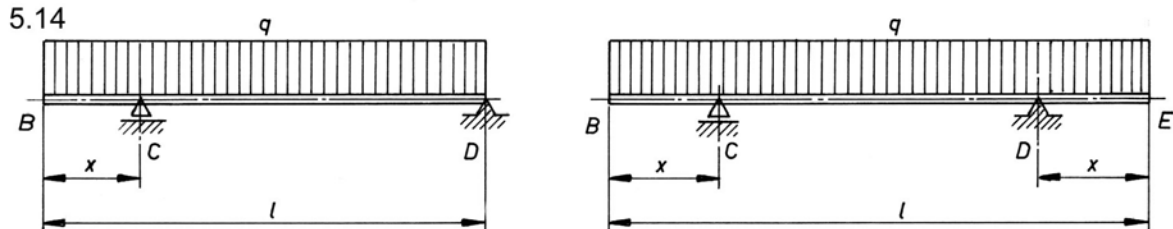
Exercice 5.14

Deux poutres rectilignes, placées sur deux appuis articulés sans frottement, sont sollicitées par une charge répartie uniformément q sur toute la longueur totale l de la pièce. La première poutre comprend un porte-à-faux à gauche, la deuxième poutre un porte-à-faux de même longueur de chaque côté.

1. Où faut-il placer les appuis C et D de telle sorte que les valeurs absolues des moments fléchissants extrêmes aient même grandeur ?

Trouvez ensuite :

2. Les réaction des appuis F_C et F_D .
3. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
4. Les valeurs extrémales de ces grandeurs.



Exercice 5.15

Trois poutres rectilignes, encastrées au point B , libres au point C , sont sollicitées par des charges réparties :

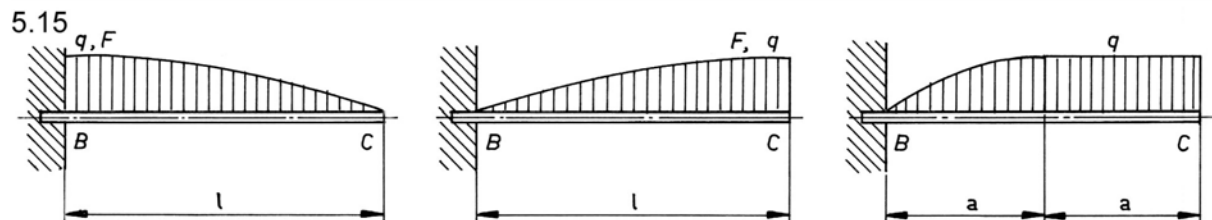
Première poutre : répartition parabolique second degré, q décroissant.

Deuxième poutre : répartition parabolique second degré q croissant.

Troisième poutre : répartition parabolique dans le premier tronçon, uniforme dans le deuxième tronçon.

Déterminez, en fonction de F , l , q et a :

1. La réaction d'appui F_B et le moment $M_{(B)}$.
2. Le diagramme des efforts tranchants et des moments fléchissants.
3. Les valeurs extrémales de ces efforts.



Exercice 5.16

Trois poutres rectilignes, encastrées au point B , libres au point C , sont sollicitées par des charges réparties :

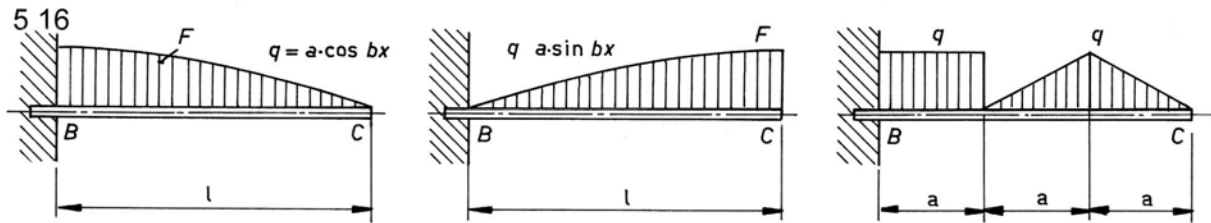
Première poutre : répartition sinusoïdale, q décroissant.

Deuxième poutre : répartition sinusoïdale q croissant.

Troisième poutre : répartition uniforme dans le premier tronçon, linéairement variable dans le deuxième tronçon.

Déterminez en fonction de F , l , q et a :

1. La réaction d'appui F_B et le moment $M_{(B)}$.
2. Le diagramme des efforts tranchants et des moments fléchissants.
3. Les valeurs extrémales de ces efforts.



Exercice 5.17

Trois poutres rectilignes placées sur deux appuis articulés sans frottement, à gauche appui B fixe, à droite appui C sur roulement, sont sollicitées par des charges réparties :

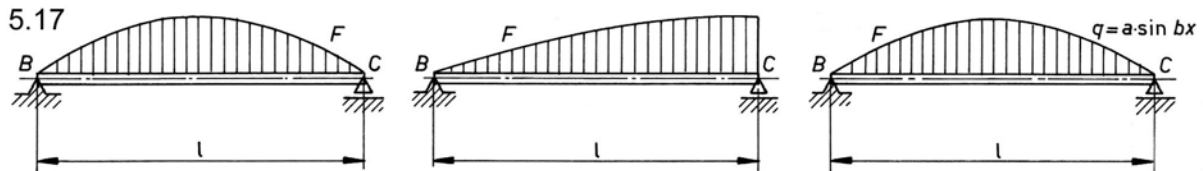
Première poutre : charge répartie paraboliquement avec maximum au milieu de la longueur.

Deuxième poutre : charge répartie paraboliquement, nulle à gauche, maximale à droite.

Troisième poutre : charge répartie demi sinusoïdale.

Trouvez, en fonction de la charge totale F et de la longueur l :

1. L'expression de la charge linéique $q = q(x)$.
2. Les réaction des appuis B et C .
3. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
4. Les valeurs extrémales de ces efforts.



Exercice 5.18

Trois poutres rectilignes, encastées à gauche au point B , libre à droite au point C , sont sollicitées par des charges réparties :

Première poutre : Deux charges triangulaires successives.

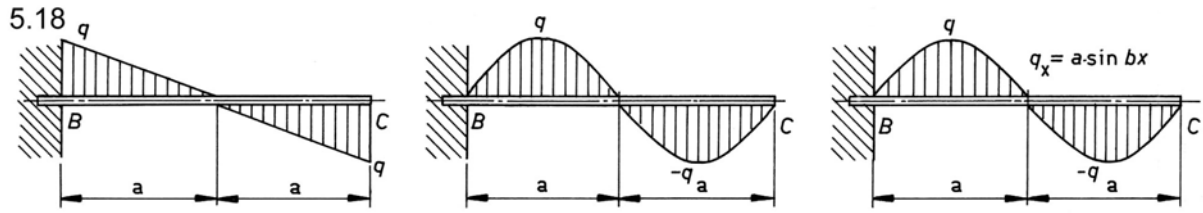
Deuxième poutre : Deux charges paraboliques successives du second degré.

Troisième poutre : Une charge sinusoïdale complète.

La charge maximale est désignée par q .

Déterminez :

1. L'expression $q = q(x)$ en fonction de la longueur et de la charge résultante F pour chaque surface composantes.
2. La réaction d'appui au point B : force F_B et moment $M_{(B)}$.
3. Les expression de $F_T = F_{T(x)}$ et $M_f = M_{f(x)}$.
4. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
5. Les valeurs extrémales de ces grandeurs.



Exercice 5.19

Trois poutres rectilignes, appuyées à gauche au point fixe B , appuyée à droite au point sur rouleur C , sont sollicitées par des charges réparties :

Première poutre : Deux charges triangulaires successives.

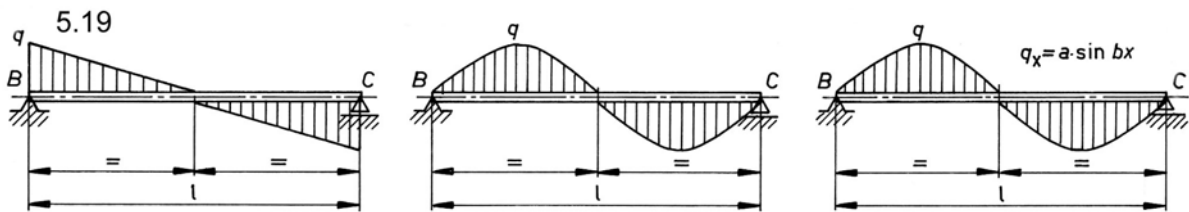
Deuxième poutre : Deux charges paraboliques successives du second degré.

Troisième poutre : Une charge sinusoïdale complète.

La charge maximale est désignée par q .

Déterminez :

1. L'expression $q = q(x)$ en fonction de la longueur et de la charge résultante F pour chaque surface composantes.
2. La réaction d'appui aux points B et C : forces F_B et F_C .
3. Les expressions de $F_T = F_{T(x)}$ et $M_f = M_{f(x)}$.
4. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
5. Les valeurs extrémales de ces grandeurs.

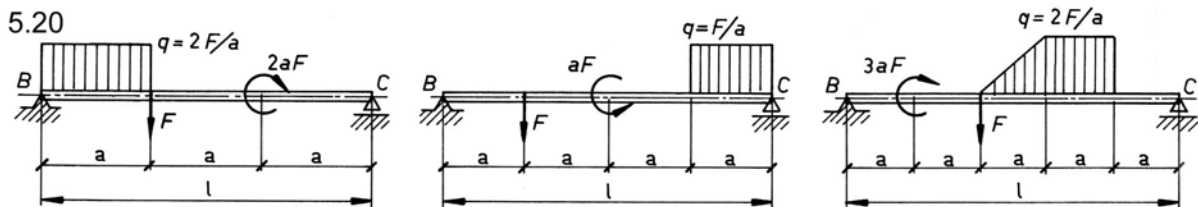


Exercice 5.20

Trois poutres rectilignes, placées sur deux appuis articulés sans frottement, appui B fixe, appui C sur rouleur, sont sollicitées par des forces concentrées, charges réparties et couples de forces.

Déterminez :

1. Les réactions des appuis F_B et F_C .
2. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
3. Les valeurs extrémales de ces grandeurs.

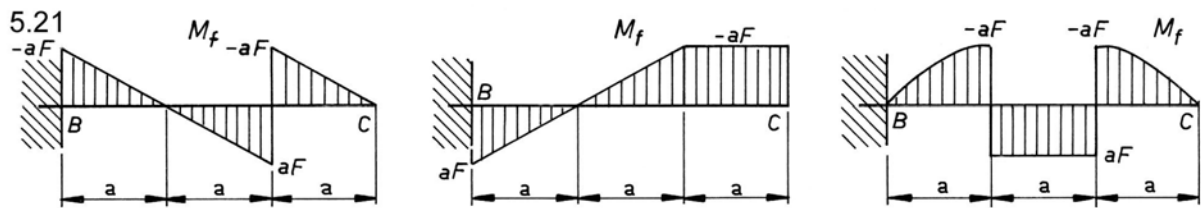


Exercice 5.21

Trois poutres rectilignes en porte-à-faux, encastées à gauche au point B , libres à droite au point C , sont sollicitées par des charges réparties, des forces et des couples de forces. La figure 5.21 représente chaque fois le diagramme des moments fléchissants.

Déterminez :

1. Le diagramme des efforts tranchants.
2. La charge appliquée sur la poutre.
3. L'équilibre statique de la pièce.

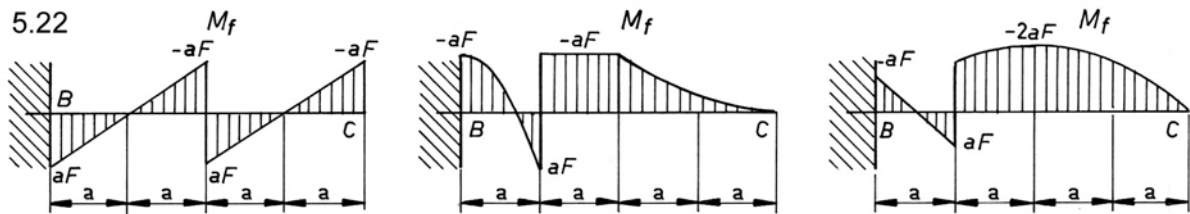


Exercice 5.22

Trois poutres rectilignes en porte-à-faux, encadrées à gauche au point B , libres à droite au point C , sont sollicitées par des charges réparties, des forces et des couples de forces. La figure 5.22 représente chaque fois le diagramme des moments fléchissants.

Déterminez :

1. Le diagramme des efforts tranchants.
2. La charge appliquée sur la poutre.
3. L'équilibre statique de la pièce.



Exercice 5.23

Le document sur la résistance des matériaux donne, pour les charges réparties uniformément et linéairement variables, la matrice de tronçon permettant de trouver les efforts appliqués dans les sections F_T et M_f en fonction de la longueur l_x du tronçon.

Cherchez l'expression de la matrice de tronçon pour une charge linéique variant paraboliquement selon la relation générale :

$$q_x = a x^2 + b x + c,$$

où : a et b sont des coefficients,
 c est une constante.

Pour faciliter la solution de cet exercice, exprimez les dérivées première et seconde de la charge linéique par rapport à l'abscisse x :

Dérivée première : $q' = \frac{dq}{dx} = ?$

Dérivée seconde : $q'' = \frac{d^2q}{dx^2} = ?$

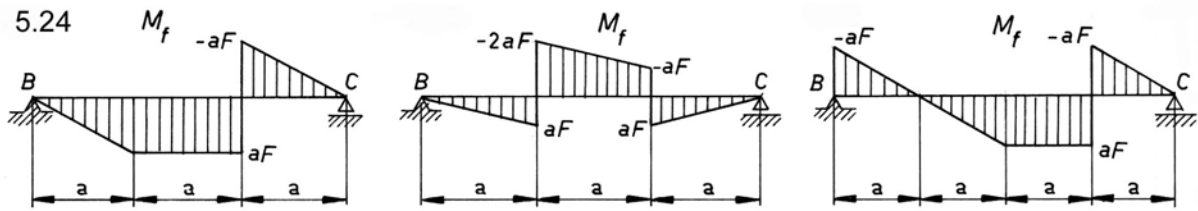
Exercice 5.24

Trois poutres rectilignes, placées sur deux appuis articulés sans frottement, à gauche l'appui B fixe, à droite l'appui C sur rouleau, sont sollicitées par des charges réparties, des forces concentrées et/ou des couples de forces. La figure 5.24 représente chaque fois le diagramme des moments fléchissants dans les sections transversales.

Déterminez :

1. Le diagramme des efforts tranchants.

2. La charge appliquée sur la poutre.
3. L'équilibre statique de la pièce.

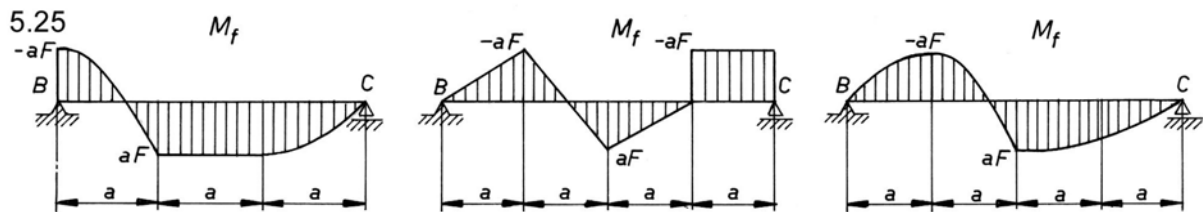


Exercice 5.25

Trois poutres rectilignes, placées sur deux appuis articulés sans frottement, à gauche l'appui *B* fixe, à droite l'appui *C* sur roulement, sont sollicitées par des charges réparties, des forces concentrées et/ou des couples de forces. La figure 5.25 représente chaque fois le diagramme des moments fléchissants dans les sections transversales.

Déterminez :

1. Le diagramme des efforts tranchants.
2. La charge appliquée sur la poutre.
3. L'équilibre statique de la pièce.



Exercice 5.26

Le document sur la résistance des matériaux donne, pour les charges réparties uniformément et linéairement variables, la matrice de tronçon permettant de trouver les efforts appliqués dans les sections F_T et M_f en fonction de la longueur l_x du tronçon.

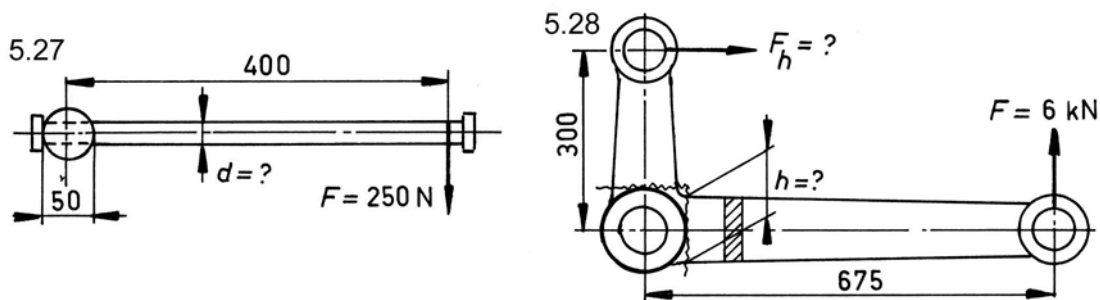
Cherchez l'expression de la matrice de tronçon pour une charge linéique variant suivant une loi harmonique selon la relation générale :

$$q_x = a \sin(b x),$$

où : a et b sont des coefficients.

Exercice 5.27

Un mécanisme à vis est commandé manuellement en rotation par un levier constitué par une barre rectiligne à section circulaire. La force appliquée à 400 mm de l'axe de la vis vaut $F = 250$ N.



Déterminez :

1. Le diamètre d à prévoir pour la tige de telle sorte que la contrainte de flexion soit inférieure à 180 N/mm^2 , dimension arrondie à un multiple de 2 mm ou de 5 mm.
2. Les contraintes simples normale et tangentielle dans la section la plus sollicitée.

Exercice 5.28

Dans un mécanisme articulé, la transmission du mouvement et des efforts s'effectue par l'intermédiaire d'un levier coudé selon figure 5.28. La force connue et donnée vaut $F = 6 \text{ kN}$. La contrainte de flexion admissible dans les diverses sections vaut 120 N/mm^2 .

Les sections des bras sont rectangulaires avec un rapport hauteur / largeur $h/b = 4$.

Calculez :

1. Les dimensions à donner aux sections des deux bras (arrondies en multiple de 2 mm).
2. Les contraintes simples normale et tangentielle dans les sections dangereuses.

Exercice 5.29

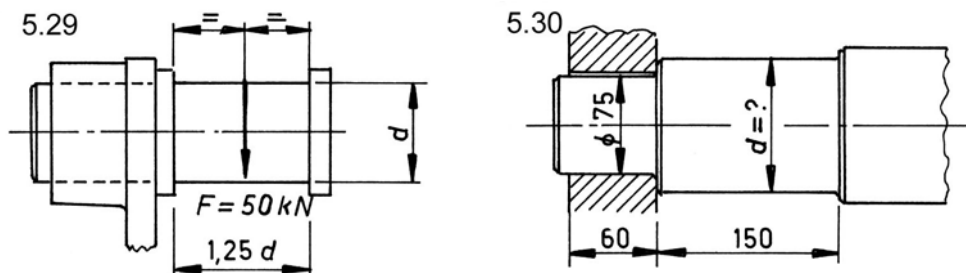
Un tourillon cylindrique supporte une charge radiale $F_r = 50 \text{ kN}$ par l'intermédiaire d'un palier cylindrique lisse, figure 5.29.

1. Quelles dimensions faut-il adopter pour cette pièce si la pression moyenne définie par la formule :

$$p = F_r / (b d),$$

ne doit pas dépasser 8 N/mm^2 . La longueur du palier vaut $b \approx 1,25 d$ avec d diamètre de l'arbre, ces deux dimensions étant un multiple de 5 mm.

2. La contrainte de flexion dans l'arbre ne doit pas dépasser 80 N/mm^2 . Vérifiez cette contrainte au droit de l'encastrement dans le levier à gauche.



Exercice 5.30

Le palier lisse gauche d'un arbre de machine, figure 5.30, doit supporter une charge radiale $F_r = 18,5 \text{ kN}$.

Déterminez :

1. La pression moyenne dans le palier, diamètre 75 mm, longueur portante 60 mm, relation identique à celle de l'exercice 5.29.
2. Le diamètre à imposer au deuxième tronçon de cet arbre si la contrainte de flexion admissible vaut 60 N/mm^2 , diamètre multiple de 5 mm.
3. Les contraintes simples de cisaillement et de flexion au droit de l'épaule suivant. Comme l'arbre est construit avec un épaulement, il y a effet d'entaille et augmentation des contraintes dont on ne tiendra pas compte dans cet exercice..

Exercice 5.31

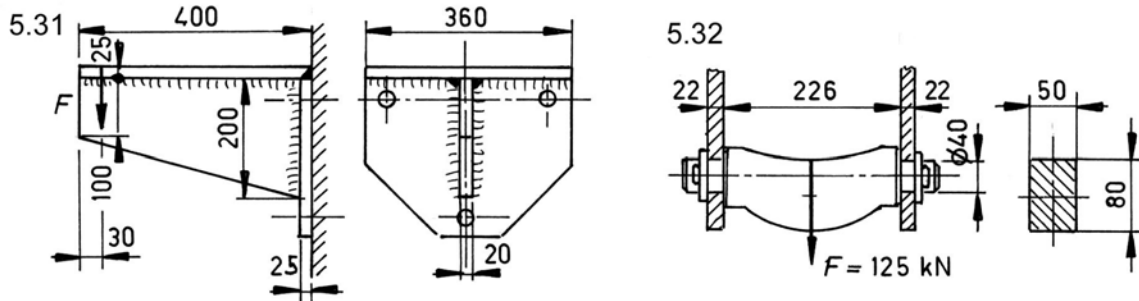
Un appui en équerre se compose de trois tôles en acier de la nuance Ac 37 soudées selon figure 5.31. La contrainte de flexion admissible vaut :

Contraintes positives : 50 N/mm^2 .

Contraintes négatives : -100 N/mm^2 .

Déterminez :

1. Le module de résistance à la flexion W_z dans la section de contrôle.
2. La charge verticale F applicable sur cette pièce.
3. La contrainte de cisaillement dans la même section.



Exercice 5.32

Un système de levage se compose d'une traverse horizontale supportant une charge verticale vers le bas de $F = 125 \text{ kN}$. Cette pièce chargée est retenue par des appuis constitués par des tôles de 22 mm d'épaisseur. La section centrale de cette pièce est rectangulaire, base 50 mm, hauteur 80 mm.

Déterminez :

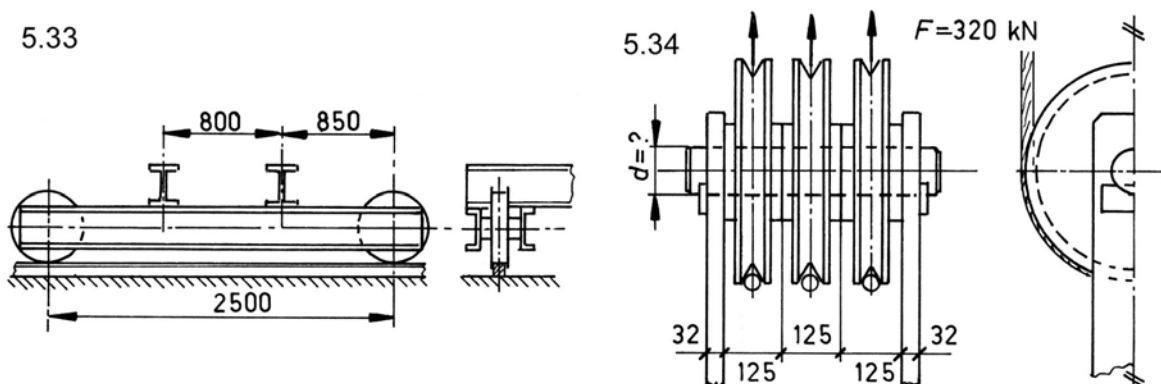
1. Le moment fléchissant et l'effort tranchant dans la section en supposant une charge concentrée.
2. Les contraintes de flexion et de cisaillement dans la section.
3. La pression moyenne entre la pièce et les attaches en utilisant la méthode de la force et de la pression projetées.

Exercice 5.33

Le chariot d'un pont roulant est construit au moyen de profilés HEA dans la partie supérieure, UNP dans la partie inférieure. Les réactions d'appui sur chacune des quatre roues vaut 63 kN.

Déterminez :

1. La dimension à imposer aux profilés UNP de telle sorte que la contrainte de flexion soit inférieure à 80 N/mm^2 .
2. Les contraintes maximales de flexion et de cisaillement, compte tenu du profil choisi.



Exercice 5.34

Un crochet de levage pour un pont roulant, prévu pour une charge maximal de $F = 320 \text{ kN}$, est supporté par un axe retenant trois poulies à câbles et six brins, montées en parallèle.

On admettra des charges égales dans tous les brins du câble.

Déterminez :

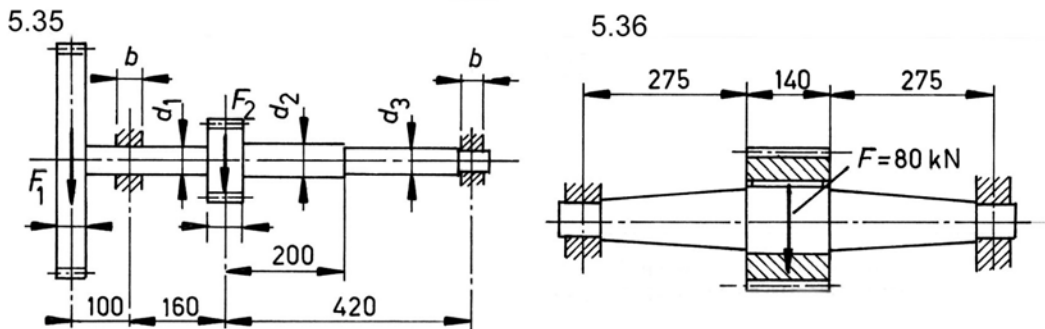
1. Les forces radiales sur les moyeux des poulies à câbles.
2. La valeur du moment fléchissant dans l'axe porteur et sa représentation pour deux variantes de contrôle :
 - a) Pression entre poulie et axe uniforme.
 - b) Forces concentrées au milieu des moyeux des poulies à câble
3. Le diamètre à prévoir pour l'axe si la contrainte de flexion ne doit pas dépasser 80 N/mm^2 , la dimension étant un multiple de 5 mm.
4. La pression entre l'axe et les attaches, épaisseur 32 mm, en introduisant la méthode des projections des forces et des surfaces.

Exercice 5.35

Un arbre de machine est centré dans deux paliers lisses et supporte deux roues dentées droites, sollicitées par des forces résultantes dont les projections dans cette vue valent : $F_1 = 16 \text{ kN}$ et $F_2 = 42,5 \text{ kN}$.

Déterminez :

1. L'équilibre de l'arbre : réaction des deux paliers sur l'arbre.
2. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
3. Les diamètres d_1 , d_2 , d_3 , multiples de 5 mm, de telle sorte que la contrainte de flexion ne dépasse par 60 N/mm^2 .
4. Les contraintes de flexion et de cisaillement dans la section la plus sollicitée.



Exercice 5.36

Un arbre intermédiaire d'un réducteur de vitesse à roues dentées est sollicitée par des forces circonférentielles opposées dont la projection dans la vue vaut $F = 80 \text{ kN}$. La contrainte de flexion admissible est 90 N/mm^2 .

Déterminez :

1. Les diagrammes de l'effort tranchant et du moment fléchissant en supposant des charges linéiques uniformes dans les paliers et entre la roue et l'arbre.
2. Le diamètre à donner à l'arbre dans la partie centrale compte tenu de la présence d'une rainure de clavette.
3. La forme à donner aux deux tronçons tronconiques de manière à créer des corps d'égale contrainte de flexion (le mieux possible !).

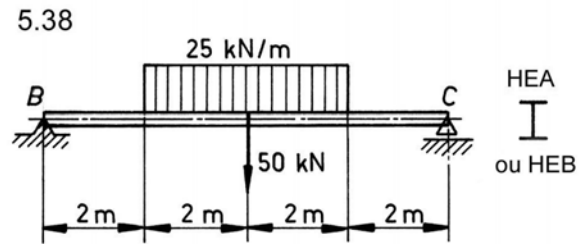
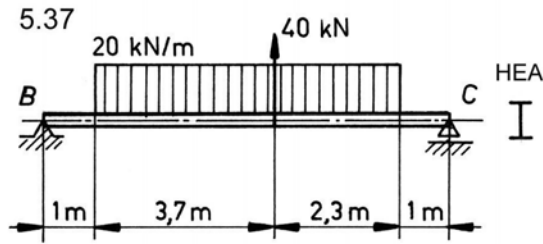
Exercice 5.37

Une poutre rectiligne, placée sur deux appuis articulés sans frottement, B et C , est sollicitée par une charge répartie et une force concentrée.

Déterminez :

1. L'équilibre de la poutre.

2. Les diagrammes des efforts tranchants et moments fléchissants.
3. Le profilé HEA à adopter pour obtenir une contrainte de flexion inférieure à 150 N/mm^2 .
4. La contrainte maximale de cisaillement.



Exercice 5.38

Une poutre rectiligne, placée sur deux appuis articulés sans frottement B et C , est sollicitée par une charge répartie et une force concentrée.

Déterminez :

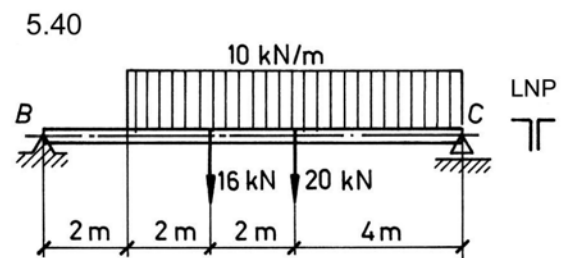
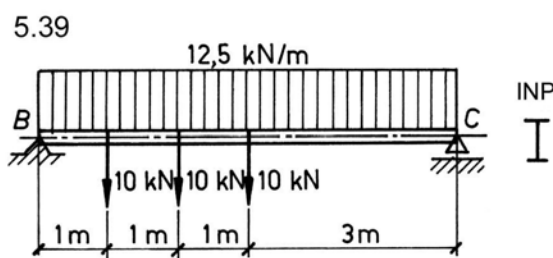
1. La charge totale et l'équilibre de la poutre.
2. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
3. Le profilé HEA ou HEB le plus économique à prévoir pour que la contrainte de flexion ne dépasse pas 160 N/mm^2 , compte tenu du poids propre.
4. La contrainte maximale de cisaillement.

Exercice 5.39

Une poutre rectiligne, placée sur deux appuis articulés sans frottement B et C , est sollicitée par une charge répartie et trois forces concentrées de 10 kN .

Déterminez :

1. La charge totale et l'équilibre de la poutre.
2. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
3. Le profilé INP pour que la contrainte de flexion ne dépasse pas 160 N/mm^2 , compte tenu du poids propre.
4. La contrainte maximale de cisaillement.



Exercice 5.40

Une poutre rectiligne, placée sur deux appuis articulés sans frottement B et C , est sollicitée par une charge répartie et deux forces concentrées $F_1 = 16 \text{ kN}$, $F_2 = 20 \text{ kN}$.

Déterminez :

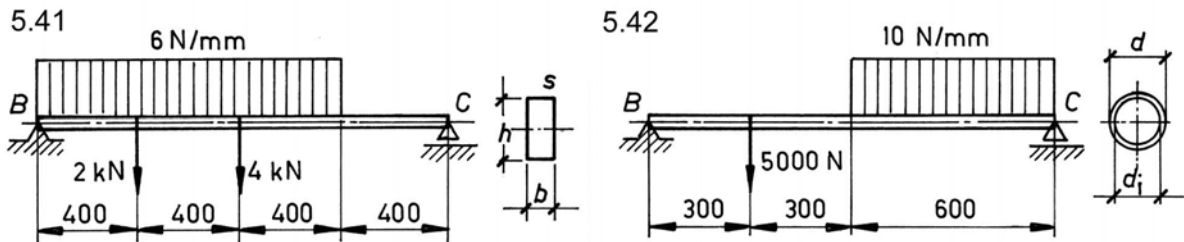
1. La charge totale et l'équilibre de la poutre.
2. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
3. Le double profilé LNP à ailes inégales pour que la contrainte de flexion ne dépasse pas 160 N/mm^2 , compte tenu du poids propre.
4. La contrainte maximale de cisaillement.

Exercice 5.41

Une poutre rectiligne, placée sur deux appuis articulés sans frottement B et C , est sollicitée par une charge répartie et deux forces concentrées $F_1 = 2\,000\text{ N}$, $F_2 = 4\,000\text{ N}$.

Déterminez :

1. La charge totale et l'équilibre de la poutre.
2. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
3. Le profilé tubulaire à section rectangulaire, dimensions $h/b = 2$, $s \approx 0,1 h$, pour que la contrainte de flexion ne dépasse pas 120 N/mm^2 , compte tenu du poids propre.
4. La contrainte maximale de cisaillement dans le tube.



Exercice 5.42

Une poutre rectiligne, placée sur deux appuis articulés sans frottement B et C , est sollicitée par une charge répartie $q = 10\text{ N/mm}$ et une force concentrée $F_1 = 5\,000\text{ N}$.

Déterminez :

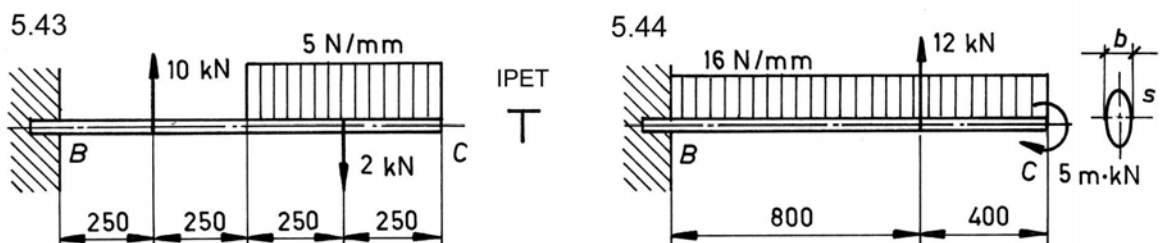
1. La charge totale et l'équilibre de la poutre.
2. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
3. Le profilé tubulaire, rapport des diamètres $d_i/d \approx 0,8$, pour que la contrainte de flexion ne dépasse pas 140 N/mm^2 , compte tenu du poids propre.
4. La contrainte maximale de cisaillement.

Exercice 5.43

Une poutre rectiligne en porte-à-faux, encastrée en B , libre en C , est soumise à l'action d'une charge répartie $q = 5\text{ N/mm}$ et deux forces concentrées $F_1 = 10\text{ kN}$, $F_2 = 2\text{ kN}$.

Déterminez :

1. L'équilibre de la pièce, force F_B et moment $M_{(B)}$.
2. Les diagrammes des efforts tranchants et moments fléchissants.
3. La dimension à adopter pour le profilé IPET si la contrainte de flexion ne doit pas dépasser 150 N/mm^2 .
4. La contrainte maximale de cisaillement.



Exercice 5.44

Une poutre rectiligne en porte-à-faux, encastrée en B , libre en C , est soumise à l'action d'une charge répartie $q = 16\text{ N/mm}$, d'une force concentrée $F_1 = 12\text{ kN}$ et d'un couple de force dont le moment vaut 5 m·kN .

Déterminez :

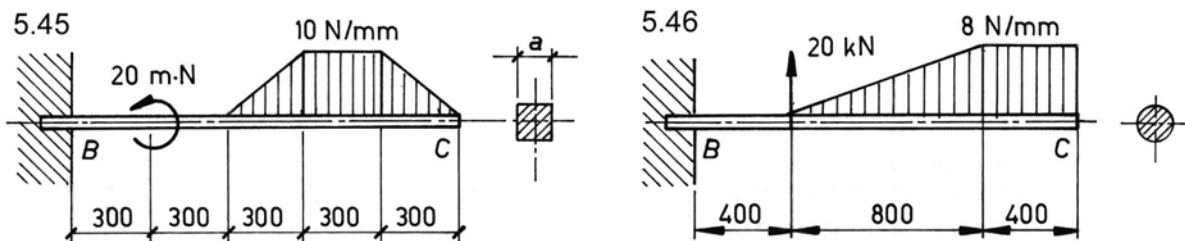
1. L'équilibre de la pièce, force F_B et moment $M_{(B)}$.
2. Les diagrammes des efforts tranchants et moments fléchissants.
3. La dimension à adopter pour le tube à profil elliptique, rapport $h/b = 2$, épaisseur $s \approx 0,1 h$, si la contrainte de flexion ne doit pas dépasser 150 N/mm^2 .
4. La contrainte maximale de cisaillement.

Exercice 5.45

Une poutre rectiligne en porte-à-faux, encastrée en B , libre en C , est soumise à l'action d'une charge répartie trapézoïdale $q_{\max} = 10 \text{ N/mm}$, d'un couple de forces de moment vaut $20 \text{ m}\cdot\text{N}$.

Déterminez :

1. L'équilibre de la pièce, force F_B et moment $M_{(B)}$.
2. Les diagrammes des efforts tranchants et moments fléchissants.
3. La dimension à adopter pour le profilé plein carré, si la contrainte de flexion ne doit pas dépasser 160 N/mm^2 .
4. La contrainte maximale de cisaillement.



Exercice 5.46

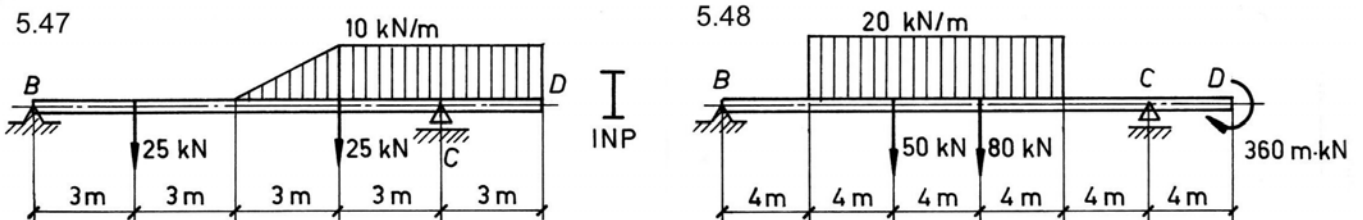
Une poutre rectiligne en porte-à-faux, encastrée en B , libre en C , est soumise à l'action d'une charge répartie triangulaire et uniforme $q_{\max} = 8 \text{ N/mm}$, d'une force concentrée $F_1 = 20 \text{ kN}$.

Déterminez :

1. L'équilibre de la pièce, force F_B et moment $M_{(B)}$.
2. Les diagrammes des efforts tranchants et moments fléchissants.
3. La dimension à adopter pour le profilé plein circulaire, si la contrainte de flexion ne doit pas dépasser 100 N/mm^2 .
4. La contrainte maximale de cisaillement.

Exercice 5.47

Une poutre rectiligne en porte-à-faux $B-C-D$ est placée sur deux appuis articulés sans frottement B et C . Cette pièce est sollicitée par une charge répartie et deux forces concentrées $F_1 = F_2 = 25 \text{ kN}$.



Déterminez :

1. L'équilibre de la poutre.
2. Les diagrammes des F_T et des M_f .
3. Le profilé INP de telle sorte que la contrainte de flexion ne dépasse pas 160 N/mm^2 .
4. La contrainte maximale de cisaillement.

Exercice 5.48

Une poutre rectiligne en porte-à-faux $B-C-D$ est placée sur deux appuis articulés sans frottement B et C . Cette pièce est sollicitée par une charge répartie, deux forces concentrées $F_1 = 50 \text{ kN}$, $F_2 = 80 \text{ kN}$, un couple de forces $M = 360 \text{ m}\cdot\text{kN}$.

Déterminez :

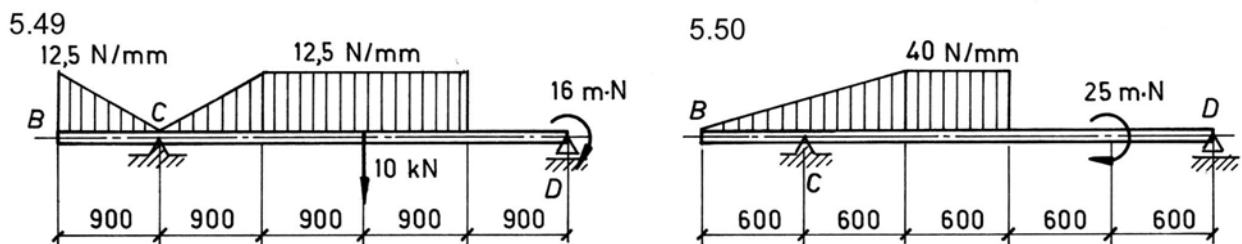
1. L'équilibre de la poutre.
2. Les diagrammes des F_T et des M_f .
3. Le profilé HEB de telle sorte que la contrainte de flexion ne dépasse pas 140 N/mm^2 .
4. La contrainte maximale de cisaillement.

Exercice 5.49

Une poutre sur deux appuis articulés sans frottement B et C présente un porte-à-faux à gauche, deux charges réparties linéairement variable et un tronçon constant, une force concentrée $F = 10 \text{ kN}$ et un couple au point D de moment $16 \text{ m}\cdot\text{N}$.

Déterminez :

1. L'équilibre de la poutre.
2. Les diagrammes des F_T et M_f .
3. Le profilé HEA à adopter pour que la contrainte de flexion de 120 N/mm^2 soit admissible.
4. La contrainte maximale de cisaillement.



Exercice 5.50

Une poutre sur deux appuis articulés C et D présente un porte-à-faux à gauche, une charge répartie linéairement jusqu'à 40 N/mm et ensuite constante sur $0,6 \text{ m}$, un couple de moment $M = 25 \text{ m}\cdot\text{N}$.

Déterminez :

1. L'équilibre de la pièce.
2. Les diagrammes des F_T et M_f .
3. Le profilé INP à prévoir pour que la contrainte de flexion ne dépasse pas 160 N/mm^2 .
4. La contrainte maximale de cisaillement.

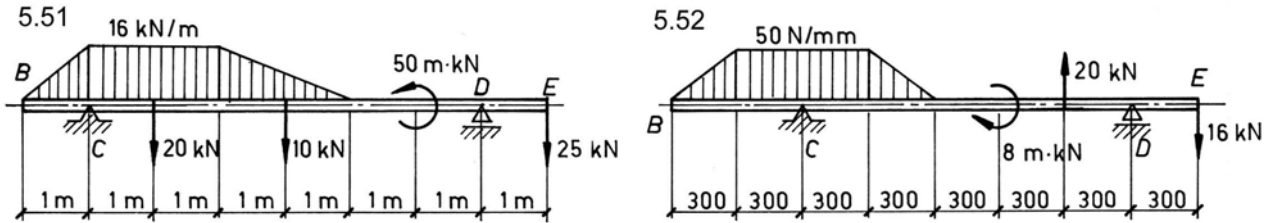
Exercice 5.51

Une poutre sur deux appuis articulés C et D présente deux porte-à-faux, une charge répartie linéairement et constante, deux forces concentrées $F_1 = 20 \text{ kN}$, $F_2 = 10 \text{ kN}$, et un couple de moment $50 \text{ m}\cdot\text{kN}$.

Déterminez :

1. L'équilibre de la pièce.
2. Les diagrammes des F_T et des M_f .

- Le profilé HEB de manière à ce que la contrainte de flexion ne dépasse pas 160 N/mm^2 .
- La contrainte maximale de cisaillement.



Exercice 5.52

Une poutre sur deux appuis articulés C et D présente deux porte-à-faux, une charge répartie linéairement et constante $q = 50 \text{ N/mm}$, deux forces concentrées $F_1 = -20 \text{ kN}$, $F_2 = 16 \text{ kN}$, et un couple de moment 8 m·kN .

Déterminez :

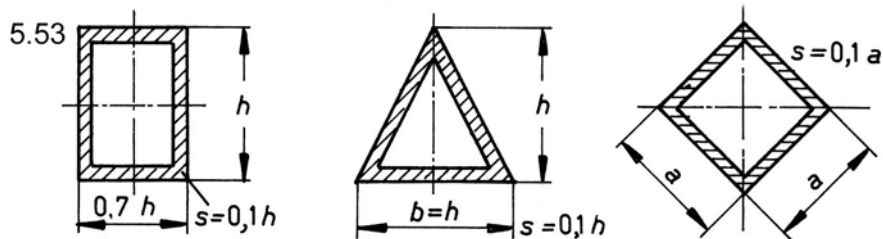
- L'équilibre de la pièce.
- Les diagrammes des F_T et des M_f .
- Le profilé IPET de manière à ce que la contrainte de flexion ne dépasse pas 120 N/mm^2 .
- La contrainte maximale de cisaillement.

Exercice 5.53

Trois surfaces creuses présentent les dimensions littérales proposées sur la figure 5.53.

Déterminez :

- L'aire de chaque surface et la position du centre de gravité.
- Le moment quadratique I_z par rapport à l'axe Cz horizontal.
- Le ou les modules de résistance à la flexion W_z .

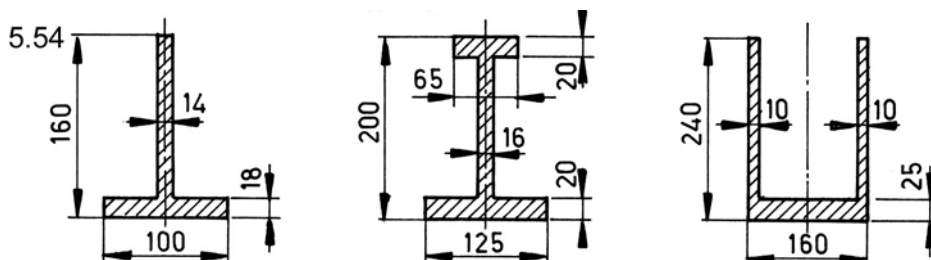


Exercice 5.54

Trois surfaces planes, profilés T, I et U sont représentées sur la figure 5.54 avec leurs dimensions en millimètres.

Déterminez :

- L'aire de chaque surface et la position du centre de gravité.
- Le moment quadratique I_z par rapport à l'axe Cz horizontal.
- Le ou les modules de résistance à la flexion W_z .

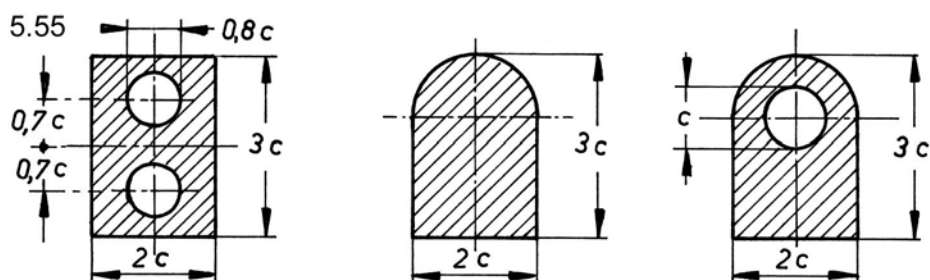


Exercice 5.55

Trois surfaces planes, à base de rectangles et cercles, sont représentées sur la figure 5.54 avec leurs dimensions en millimètres.

Déterminez :

1. L'aire de chaque surface et la position du centre de gravité.
2. Le moment quadratique I_z par rapport à l'axe Cz horizontal.
3. Le ou les modules de résistance à la flexion W_z .

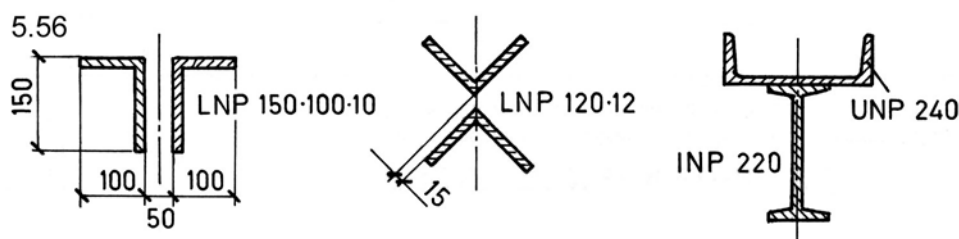


Exercice 5.56

Trois surfaces planes sont composées de profilés selon les normes en vigueur : cornières, UNP et INP.

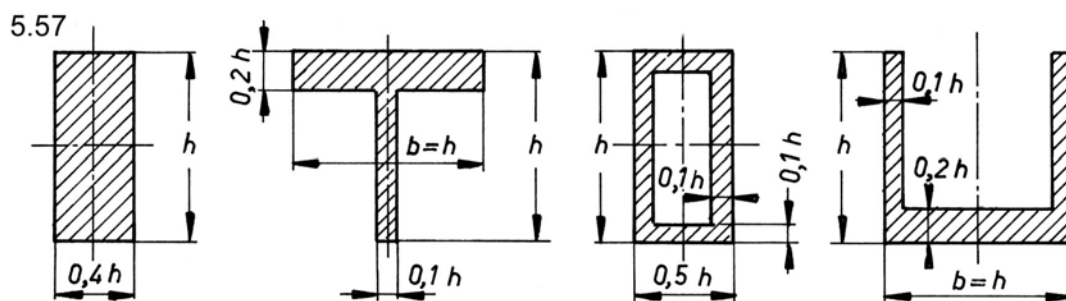
Déterminez :

1. L'aire de chaque surface et la position du centre de gravité.
2. Le moment quadratique I_z par rapport à l'axe Cz horizontal.
3. Le ou les modules de résistance à la flexion W_z .



Exercice 5.57

Quatre surfaces planes, constituées de surfaces rectangulaires, sont sollicitées simultanément par un moment fléchissant et un effort tranchant, Le moment fléchissant possède la direction de l'axe horizontal, l'effort tranchant celui de l'axe vertical du profilé.



Déterminez pour chaque surface :

1. L'aire de la surface, les moments statiques de la demi surface.
2. l'hypothèse pour la répartition de la contrainte tangentielle dans la section.

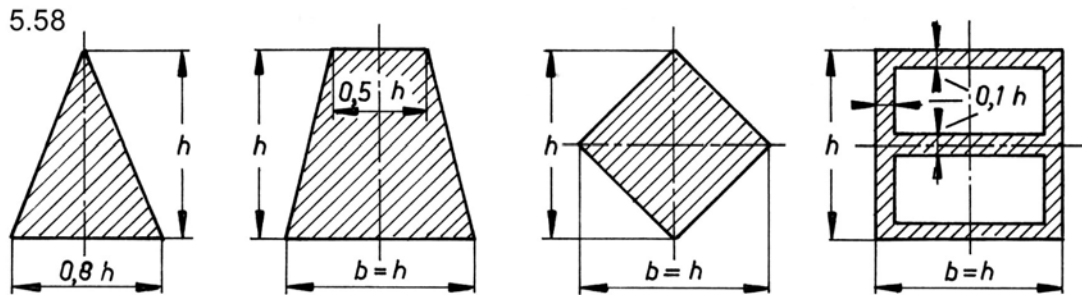
3. La recherche de la contrainte de cisaillement par formule et par votre hypothèse.
4. La représentation de la contrainte ce cisaillement le long de l'axe vertical.

Exercice 5.58

Quatre surfaces planes, constituées par des portions triangulaires et rectangulaires, sont sollicitées simultanément par un effort tranchant et un moment fléchissant. Le moment fléchissant se trouve sur l'axe horizontal de gravité, l'effort tranchant étant perpendiculaire.

Déterminez :

1. L'aire de la surface, les moments statiques de la demi surface.
2. l'hypothèse pour la répartition de la contrainte tangentielle dans la section.
3. La recherche de la contrainte de cisaillement par formule et par votre hypothèse.
4. La représentation de la contrainte de cisaillement le long de l'axe vertical.

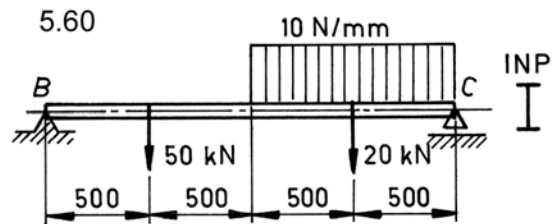
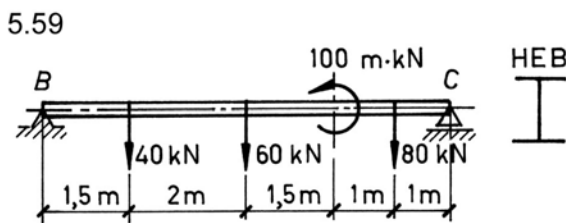


Exercice 5.59

Une poutre rectiligne, placée sur deux appuis articulés sans frottement B et C , est sollicitée par trois forces concentrées $F_1 = 40$ kN, $F_2 = 60$ kN, $F_3 = 80$ kN et un couple de moment $M = 100$ m.kN.

Déterminez :

1. Le profilé HEB à adopter si la contrainte de flexion admissible est 160 N/mm², compte tenu du poids propre.
2. La contrainte maximale de flexion après le choix du HEB.
3. La contrainte de cisaillement au niveau du raccordement entre l'âme et l'aile du profilé



Exercice 5.60

Une poutre rectiligne, placée sur deux appuis articulés sans frottement B et C , est sollicitée par deux forces concentrées $F_1 = 50$ kN, $F_2 = 20$ kN, $F_3 = 80$ kN et une charge répartie $q = 10$ N/mm.

Déterminez :

1. Le profilé INP à adopter si la contrainte de flexion admissible est 150 N/mm², compte tenu du poids propre.
2. La contrainte maximale de flexion après le choix du INP.
3. La contrainte de cisaillement au niveau du raccordement entre l'âme et l'aile du profilé

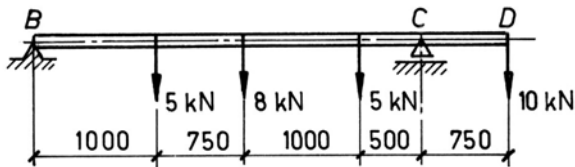
Exercice 5.61

Une poutre rectiligne $B-C-D$, placée sur deux appuis articulés sans frottement B et C , est sollicitée par quatre forces concentrées $F_1 = 5 \text{ kN}$, $F_2 = 8 \text{ kN}$, $F_3 = 5 \text{ kN}$ et $F_4 = 10 \text{ kN}$ placée sur le porte-à-faux $C-D$.

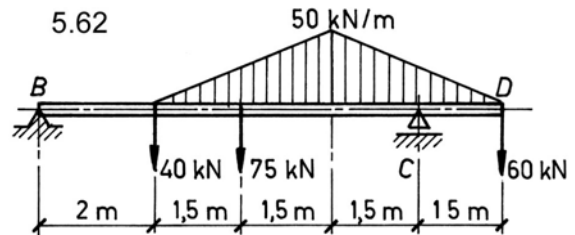
Déterminez :

1. L'équilibre de la poutre et les diagrammes des efforts.
2. Le profilé HEA ou HEB à adopter si la contrainte de flexion admissible est 140 N/mm^2 .
3. La contrainte maximale de flexion compte tenu du poids propre.
4. La contrainte maximale de cisaillement et la contrainte de cisaillement, dans la même section, au niveau du raccordement entre l'âme et l'aile du profilé

5.61



5.62



Exercice 5.62

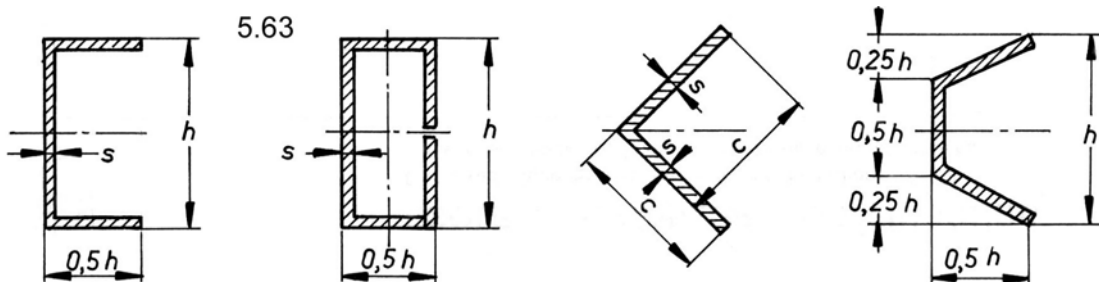
Une poutre rectiligne, placée sur deux appuis articulés sans frottement B et C , est sollicitée par trois forces concentrées $F_1 = 40 \text{ kN}$, $F_2 = 75 \text{ kN}$, $F_3 = 60 \text{ kN}$ et une charge répartie triangulairement $q_{\max} = 50 \text{ kN/m}$.

Déterminez :

1. L'équilibre de la poutre et les diagrammes des efforts.
2. Le profilé INP à adopter si la contrainte de flexion admissible est 150 N/mm^2 .
2. La contrainte maximale de flexion après le choix du INP, compte tenu du poids propre.
3. La contrainte de cisaillement au niveau h_1 du raccordement entre l'âme et l'aile du profilé

Exercice 5.63

Divers profilés à parois minces sont représentés sur la figure 5.63. Déterminez pour chacun de ces profilés les caractéristiques géométriques des surfaces : aire, centre de gravité, moments quadratiques et modules de résistance à la flexion. Cherchez la position du centre de cisaillement.



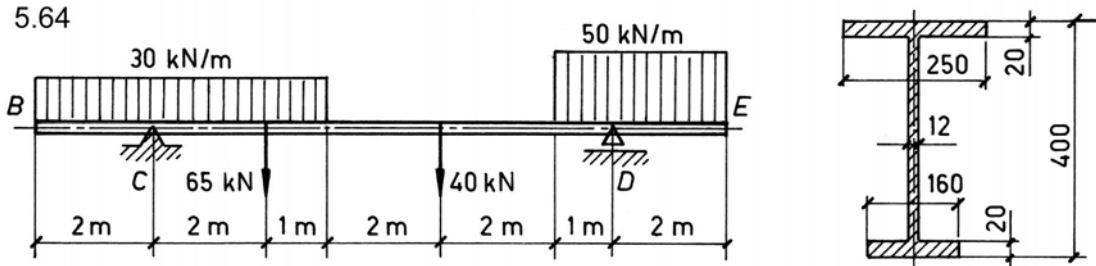
Exercice 5.64

Une poutre rectiligne $B-C-D-E$ à section constante, forme transversale constituée par trois tôles soudées en I, est sollicitée par deux charges réparties uniformément et deux forces concentrées. Cette pièce isostatique est placée sur deux appuis articulés C et D .

Déterminez :

1. L'équilibre de la poutre.
2. Les diagrammes des F_T et M_f .

3. Les caractéristiques géométriques de la section transversale nécessaires au calcul des contraintes.
4. La contrainte maximale de flexion, la contrainte maximale ou minimale de cisaillement.
5. L'état de contrainte dans la section située à gauche de la première force concentrée, niveau à 20 mm en dessous de la surface supérieure du profilé.

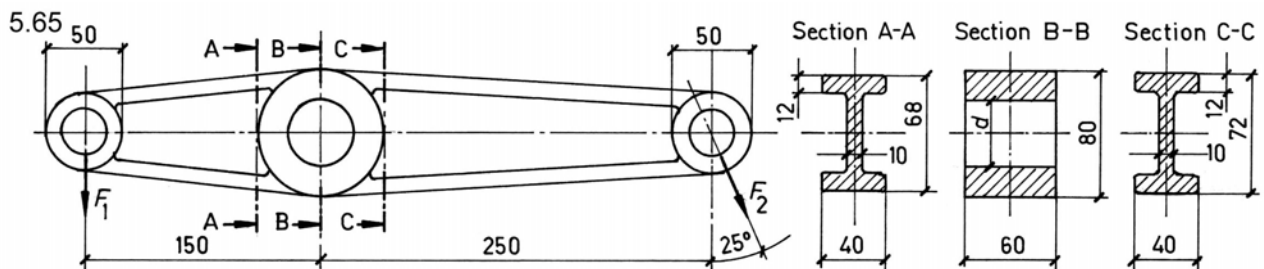


Exercice 5.65

Un levier en fonte grise est articulé sur l'alésage central et sollicité par deux forces extérieures équipollentes F_1 et F_2 . La contrainte de flexion admissible vaut 35 N/mm^2 .

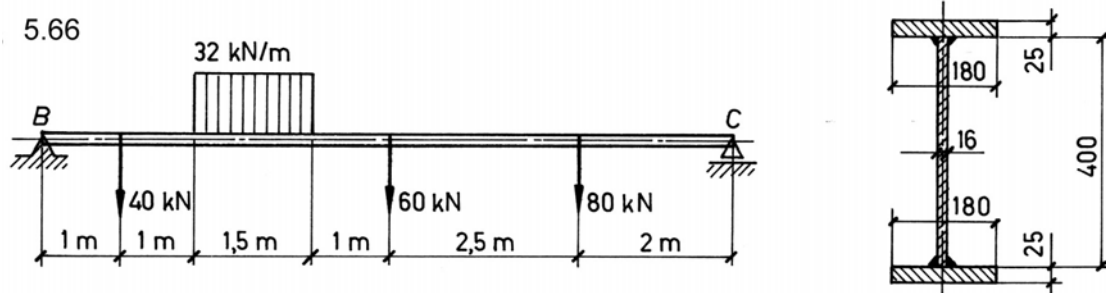
Calculez :

1. La valeur maximale de la force F_1 sur la base de la contrainte de flexion seule.
2. La valeur de la force F_2 pour obtenir l'équilibre du levier en admettant un frottement nul sur l'alésage central.
3. Le diamètre maximal d de l'alésage central.
4. Les diagrammes des efforts F_T et M_f dans cette pièce.
5. Les contraintes simples dans la section C-C.



Exercice 5.66

Une poutre à section constante en I est sollicitée par trois forces concentrées $F_1 = 40 \text{ kN}$, $F_2 = 60 \text{ kN}$, $F_3 = 80 \text{ kN}$, et une charge répartie uniformément sur 1,5 m avec $q = 32 \text{ kN/m}$. Le profil transversal de la pièce se compose d'une âme $16 \times 400 \text{ mm}$, de deux profilés rectangulaires $180 \times 25 \text{ mm}$.



Déterminez :

1. L'équilibre de la poutre.

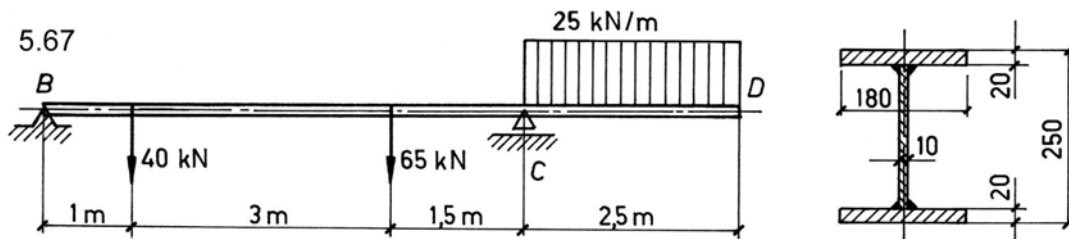
2. Les diagrammes des efforts F_T et M_f .
3. Le moment quadratique axial et le module de résistance à la flexion du profil.
4. Les contraintes maximales de cisaillement et de flexion.
5. L'intensité et la direction des contraintes principales dans la section située à droite de la force F_2 , au niveau du raccord entre l'âme du profil et l'aile supérieure.

Exercice 5.67

Une poutre rectiligne $B-C-D$ à section constante est centrée sur deux appuis articulés B et C , présente à droite une partie en porte-à-faux, deux forces concentrées et une charge répartie uniformément. La section transversale de la poutre, en I, se compose d'une âme à 10×210 mm, deux ailes 180×20 mm.

Déterminez :

1. L'équilibre de la pièce.
2. Les diagrammes des efforts F_T et M_f .
3. Le moment quadratique axial et le module de résistance à la flexion du profil adopté.
4. La contrainte maximale de flexion.
5. La contrainte maximale de cisaillement dans la section située à droite de la seconde force, les contraintes principales au niveau des cordons de soudure de liaison.



Exercice 5.68

Soit une poutre à section constante rectangulaire, base b , hauteur h , placée sur deux appuis articulés sans frottement, placés aux extrémités de la pièce. Cette pièce est sollicitée par une force concentrée placée à mi distance des appuis, perpendiculaire à la ligne moyenne. Construire la trajectoire des contraintes principales, voir figure 5.24 du cours, en travaillant par incrément de longueur de poutre.

Exercice 5.69

Soit une poutre à section constante rectangulaire, base b , hauteur h , placée sur deux appuis articulés sans frottement, placés aux extrémités de la pièce. Cette pièce est sollicitée par une charge répartie sur toute la longueur de la pièce. Construire la trajectoire des contraintes principales, voir figure 5.24 du cours, en travaillant par incrément de longueur de poutre. Prévoyez l'algorithme pour une représentation graphique programmée.

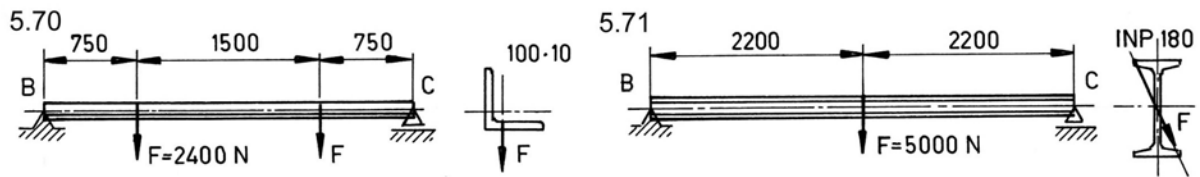
Exercice 5.70

Une poutre sur deux appuis articulés B et C est sollicitée par deux forces équipollentes $F_1 = F_2 = F = 2400$ N, dirigées verticalement vers le bas. La poutre est constituée par un profilé cornière à ailes égales 100×10 mm.

Déterminez :

1. L'équilibre et les diagrammes des efforts F_T et M_f .
2. Les moments fléchissants selon les axes principaux de la surface transversale.
3. L'axe neutre de flexion.

4. Les contraintes maximale et minimale de flexion.



Exercice 5.71

Une poutre rectiligne $B-C$, placée sur deux appuis articulés distants de 4 400 mm, est sollicitée par une force concentrée placée à mi distance des appuis. La direction de la force correspond exactement à la diagonale du profil IPN 180. Cette force vaut 5 kN. Les dimensions extérieures du profil sont : hauteur $h = 180$ mm, largeur $2c = 82$ mm.

Déterminez :

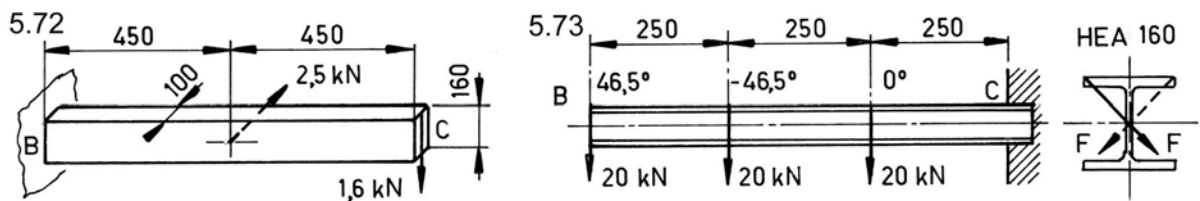
1. L'équilibre de la pièce et les diagrammes des efforts composants projetés dans la vue de face et la vue de dessus.
2. L'axe neutre de flexion
3. Les contraintes maximales et minimales de flexion.
4. Les contraintes de cisaillement suivant les axes Cy et Cz .

Exercice 5.72

Une poutre à section rectangulaire constante, largeur 100 mm, hauteur 160 mm, est encastree en B , libre en C . Cette pièce est sollicitée par deux forces concentrées, la première horizontale $F_1 = 2,5$ kN, la deuxième verticale $F_2 = 2,5$ kN, leurs lignes d'action passant par le centre de gravité de la section.

Déterminez :

1. L'effort dans l'encastrement F_B et $M_{(B)}$.
2. Les diagrammes des efforts dans les deux vues techniques, les valeurs résultantes.
3. La position de l'axe neutre de flexion dans les deux tronçons.
4. La contrainte maximale de flexion.



Exercice 5.73

Une poutre à section constante, constituée par un profilé HEA 160, est libre en B , encastree en C . Cette pièce est sollicitée par trois forces de même module $F = 20$ kN, la première est inclinée suivant la diagonale du profil, la deuxième selon la seconde diagonale, la troisième suivant l'axe vertical du profil.

Déterminez :

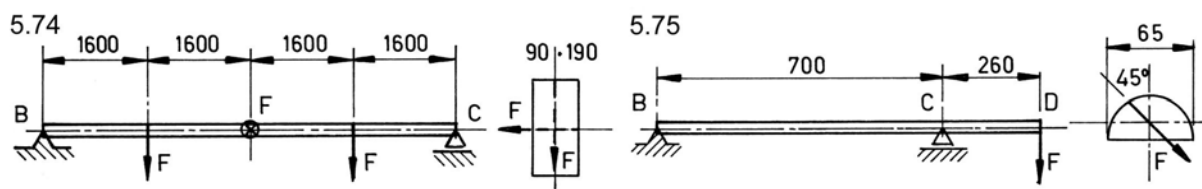
1. L'équilibre de la poutre et les efforts dans l'encastrement C .
2. L'intensité des forces sur la poutre si la contrainte de flexion ne doit pas dépasser 150 N/mm².
3. Les diagrammes des efforts F_T et M_f .
4. La position de l'axe neutre de flexion dans chacun des tronçons.

Exercice 5.74

Une poutre rectiligne sur deux appuis B et C , distants de 6 400 mm, section rectangulaire, base $b = 90$ mm, hauteur $h = 190$ mm, est sollicitée par trois forces, deux dans le plan vertical, une dans le plan horizontal.

Déterminez :

1. L'intensité maximale des forces de telle sorte que la contrainte de flexion ne dépasse pas 150 N/mm^2 .
2. Les diagrammes des efforts F_T et M_f dans les plans projetés et leurs résultantes.
3. La position de l'axe neutre de flexion dans chacun des tronçons.



Exercice 5.75

Une poutre rectiligne $B-C-D$ sur deux appuis B et C , présente à droite un porte-à-faux de 260 mm. La section transversale est constituée par une surface demi circulaire, diamètre 65 mm. La force F est appliquée à l'extrémité droite de la poutre, inclinée d'un angle de 45° par rapport à l'axe vertical.

Déterminez :

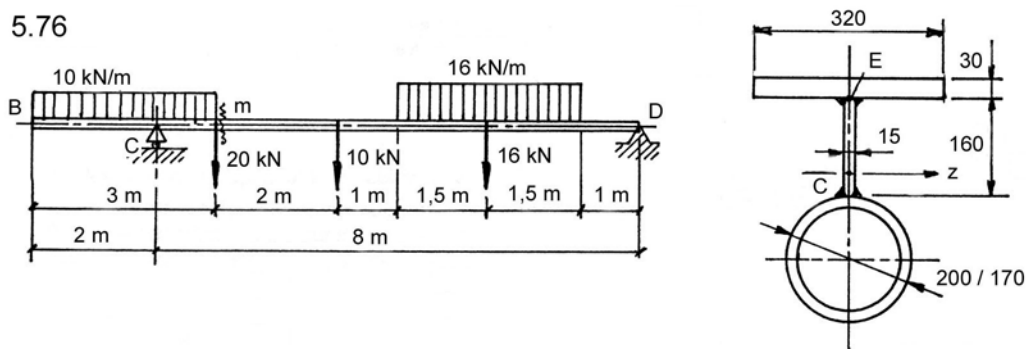
1. Les diagrammes des efforts relatifs à F sur la longueur de la pièce.
2. La position de l'axe neutre de flexion.
3. L'intensité de la force active si la contrainte de flexion ne doit pas dépasser 160 N/mm^2 .
4. La contrainte maximale de cisaillement en respectant le principe de la réciprocité des contraintes tangentielles.

Exercice 5.76

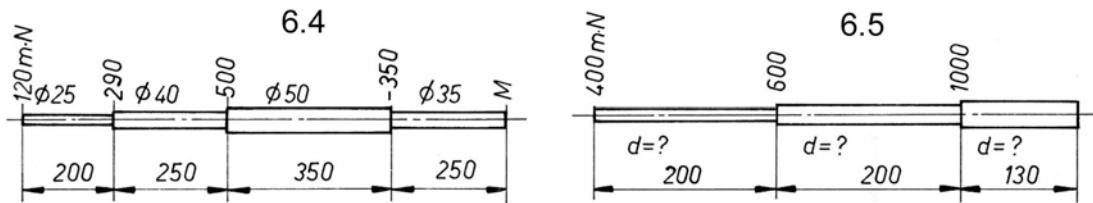
Une poutre $B-C-D$ sur deux appuis articulés, distance entre appuis 8 mètres, est sollicitée par des charges concentrées et réparties selon figure 5.76. Le profil de la poutre est donné à droite de la figure, les dimensions étant en mm.

Déterminez :

1. L'équilibre de la poutre, les diagrammes des F_T et M_f .
2. Les caractéristiques géométriques de la section résistante : aire, moments quadratiques, module de résistance par rapport à l'axe horizontal.
3. Les contraintes maximale et minimale de flexion.
4. L'état de contraintes dans la section repérée par m , au point E.



2. Le diagramme des moments fléchissants.
3. Les contraintes de torsion dans chacun des quatre tronçons.
4. La déformation en torsion entre les deux sections terminales.



Exercice 6.5

Une arbre de machine en acier se compose de trois tronçons cylindriques. La valeur des couples de torsion sont donnés sur la figure 6.5, couples exprimés en mètres – newtons.

Déterminez :

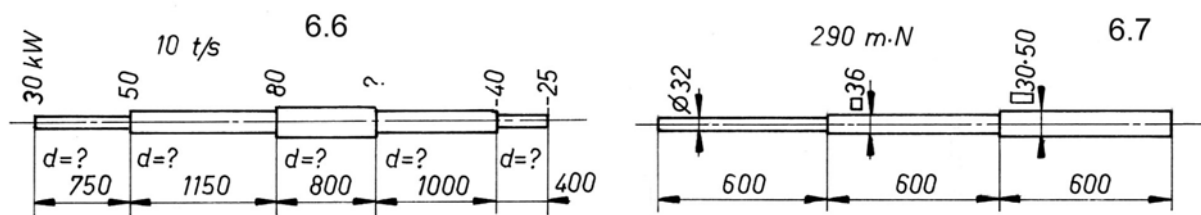
1. L'équilibre en rotation de cette pièce en appliquant le couple manquant tout à droite.
2. Les diamètres dans chacun des tronçons de telle sorte que la contrainte de torsion ne dépasse pas 40 N/mm^2 .
3. La déformation entre la section terminale gauche et la section terminale droite.

Exercice 6.6

Un arbre de machine en acier, $E = 21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$, transmet les puissances données sur la figure 6.6 à la fréquence de rotation de 10 tours par seconde.

Calculez :

1. L'équilibre des puissances dans l'arbre.
2. Les couples appliqués sur cette pièce.
3. Les diamètres à prévoir dans chacun des tronçons pour une contrainte de torsion admissible ne devant pas dépasser 35 N/mm^2 .
4. la déformation angulaire dans chaque tronçon et totale.



Exercice 6.7

Une pièce rectiligne en acier, $E = 20,5 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$, se compose de trois tronçons, le premier circulaire, le deuxième carré et le troisième rectangulaire. Le couple appliqué dans la pièce vaut 290 m·N sur toute la longueur.

Contrôlez :

1. Les contraintes maximales de torsion dans chaque tronçon.
2. La déformation angulaire totale.

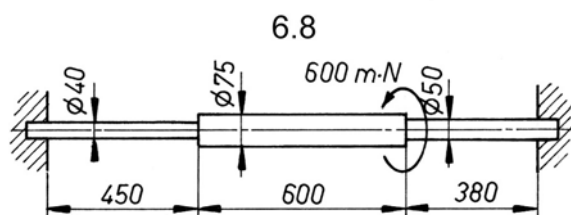
Exercice 6.8

Une pièce en acier, module d'élasticité $20,4 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$, constituée par trois tronçons à section circulaire, est encastree aux deux extrémités dans des appuis supposés indéformables. Cet arbre est sollicité par un couple de forces valant 600 m·N.

6. Torsion simple

Calculez :

1. Les réactions d'appui dans les encastremets.
2. Les contraintes de torsion dans chacune des sections.
3. L'angle de rotation, en degrés, dans la section supportant le couple de forces.



Exercice 6.9

Deux sections sollicitées en torsion sont à comparer :

1. Section rectangulaire avec $B = 100$ mm, $H = 250$ mm, $s = 2,5$ mm.
2. Section circulaire, épaisseur $s = 2,5$ mm, avec la même aire que la section rectangulaire.

Déterminez pour ces deux sections :

1. Les modules de résistance à la torsion.
2. Les moments quadratiques axiaux et de torsion.
3. Le rapport de ces caractéristiques rapportées aux deux sections.

Exercice 6.10

Dans cet exercice, il s'agit de comparer le comportement à la torsion de sections non circulaires. Les sections sont des profilés utilisés en construction métallique, soit INP 200, HEA 400, HEB 600 et UNP 140.

Déterminez :

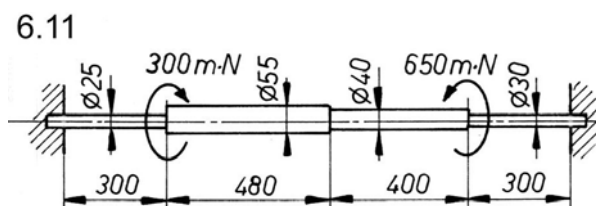
1. Les modules de résistance en torsion W_t .
2. Le moments quadratiques de résistance en torsion I_t .

Exercice 6.11

Un axe se compose de quatre tronçons à section circulaire dont les dimensions sont données sur la figure. Les deux extrémités de cette pièce sont encastrees dans des appuis supposés indéformables. Les deux couples de 300 et 650 mN sont appliqués au droit des épaulements.

Calculez :

1. L'équilibre de cet axe, donc les réactions d'appui.
2. Le diagramme des moments de torsion.
3. Les contraintes de torsion dans chacun des tronçons.
4. Les déformations angulaires à chaque épaulement, exprimées en degrés. Le module d'élasticité de la pièce vaut $E = 21,2 \cdot 10^4$ N/mm².



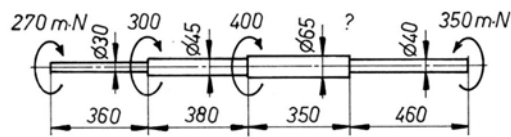
Exercice 6.12

Un arbre de machine se compose de quatre tronçons à section circulaire, les cinq couples appliqués aux extrémités et au droit des épaulements sont donnés sur la figure, l'unité étant le mètre – newton.

Déterminez :

1. L'équilibre statique de la pièce.
2. Le diagramme des moments de torsion.
3. Les contraintes de torsion dans chacun des tronçons.
4. La déformation en torsion entre les deux extrémités de la pièce, le module d'élasticité valant $E = 21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$.

6.12



CHAPITRE 7

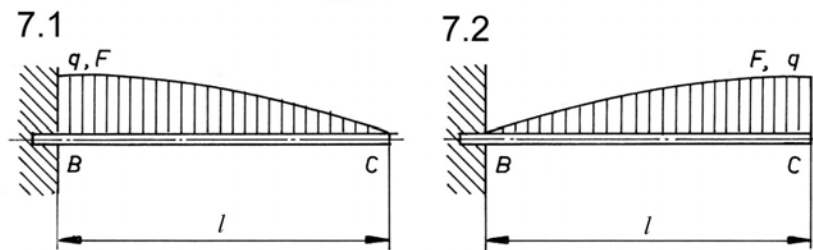
DÉFORMATION EN FLEXION DES POUTRES ISOSTATIQUES ET HYPERSTATIQUES

Exercice 7.1

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur totale l , est encastrée à gauche en B , libre à l'autre en C . Cette pièce est sollicitée par une charge répartie paraboliquement du second degré, la tangente initiale étant nulle.

Déterminez :

1. L'expression de la charge linéique en fonction de l'abscisse x , la charge totale étant F .
2. La valeur de la réaction d'appui en B .
3. L'équation différentielle correspondant au cas de charge.
4. Les expressions des déformations angulaire et linéaire en fonction de l'abscisse x .
5. Les déformations angulaire et linéaire à l'extrémité droite.



Exercice 7.2

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur totale l , est encastrée à gauche en B , libre à l'autre en C . Cette pièce est sollicitée par une charge répartie paraboliquement du second degré, la tangente finale étant nulle.

Déterminez :

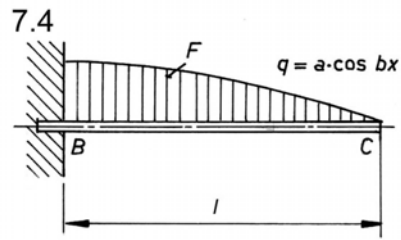
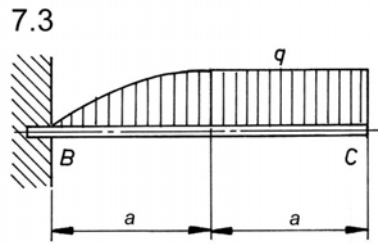
1. L'expression de la charge linéique en fonction de l'abscisse x , la charge totale étant F .
2. La valeur de la réaction d'appui en B .
3. L'équation différentielle correspondant au cas de charge.
4. Les expressions des déformations angulaire et linéaire en fonction de l'abscisse x .
5. Les déformations angulaire et linéaire à l'extrémité droite.

Exercice 7.3

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur totale l , est encastrée à gauche en B , libre à l'autre en C . Cette pièce est sollicitée par deux charges réparties, la première paraboliquement du second degré, la tangente finale étant nulle, la deuxième q uniforme selon figure.

Déterminez :

1. L'expression de la charge linéique en fonction de l'abscisse x , la charge totale étant F .
2. La valeur de la réaction d'appui en B .
3. Les équations différentielles correspondant au cas de charge.
4. Les expressions des déformations angulaire et linéaire en fonction de l'abscisse x .
5. Les déformations angulaire et linéaire à l'extrémité droite.



Exercice 7.4

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur totale l , est encastée à gauche en B , libre à l'autre en C . Cette pièce est sollicitée par une charge répartie harmoniquement selon la relation : $q = a \cos(b x)$, a et b étant des constantes.

Déterminez :

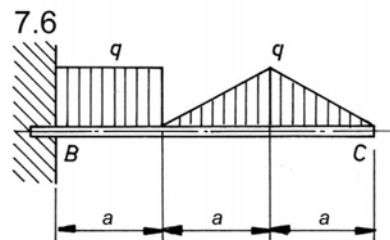
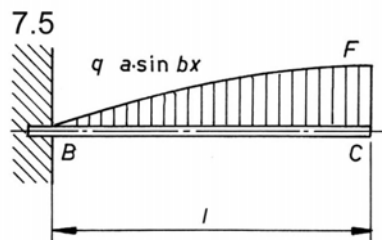
1. La valeur de la charge totale F .
2. La valeur de la réaction d'appui en B .
3. L'équation différentielle correspondant au cas de charge.
4. Les expressions des déformations angulaire et linéaire en fonction de l'abscisse x .
5. Les déformations angulaire et linéaire à l'extrémité droite.

Exercice 7.5

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur totale l , est encastée à gauche en B , libre à l'autre en C . Cette pièce est sollicitée par une charge répartie harmoniquement selon la relation : $q = a \sin(b x)$, a et b étant des constantes, tangente finale nulle.

Déterminez :

1. La valeur de la charge totale F .
2. La valeur de la réaction d'appui en B .
3. L'équation différentielle correspondant au cas de charge.
4. Les expressions des déformations angulaire et linéaire en fonction de l'abscisse x .
5. Les déformations angulaire et linéaire à l'extrémité droite.



Exercice 7.6

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur totale $3 a$, est encastée à gauche en B , libre à l'autre en C . Cette pièce est sollicitée par trois charges réparties : uniforme q sur la distance a , q linéairement croissant sur a , q linéairement décroissant sur a .

Déterminez :

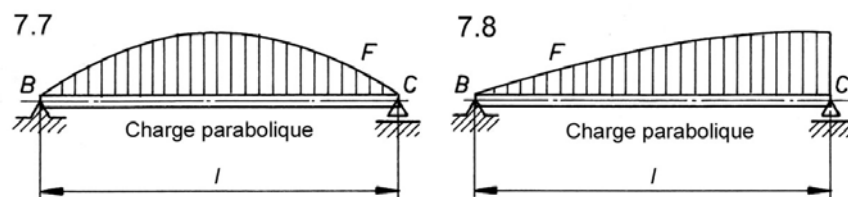
1. La valeur de la charge totale F .
2. La valeur de la réaction d'appui en B .
3. Les équations différentielles correspondant au cas de charge dans chaque tronçon.
4. Les expressions des déformations angulaire et linéaire en fonction de l'abscisse x .
5. Les déformations angulaire et linéaire à l'extrémité droite.

Exercice 7.7

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur l , est placée sur deux appuis articulés B et C . Cette poutre est sollicitée par une charge $q = f(x)$ répartie paraboliquement du second degré, la charge totale étant F .

Déterminez :

1. L'expression de la charge linéique $q = f(x)$.
2. La valeur des réactions d'appui et des efforts F_T et M_f en fonction de l'abscisse.
3. L'équation différentielle correspondant au cas de charge.
4. Les expressions des déformations angulaire et linéaire en fonction de l'abscisse x .
5. Les déformations angulaires et linéaires maximales ou minimales.

**Exercice 7.8**

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur l , est placée sur deux appuis articulés B et C . Cette poutre est sollicitée par une charge $q = f(x)$ répartie paraboliquement du second degré, la charge totale étant F et la tangente pour $x = l$ vaut $dq/dx = 0$.

Déterminez :

1. L'expression de la charge linéique $q = f(x)$.
2. La valeur des réactions d'appui et des efforts F_T et M_f en fonction de l'abscisse.
3. L'équation différentielle correspondant au cas de charge.
4. Les expressions des déformations angulaire et linéaire en fonction de l'abscisse x .
5. Les déformations angulaires et linéaires maximales ou minimales.

Exercice 7.9

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur l , est placée sur deux appuis articulés B et C . Cette poutre est sollicitée par une charge $q = f(x) = a \sin(b x)$, où a et b sont des constantes.

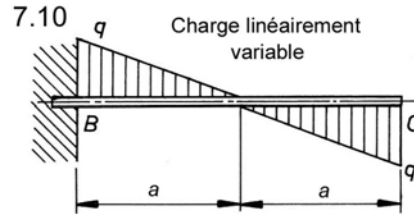
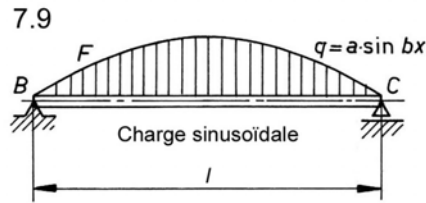
Déterminez :

1. La valeur de la charge totale F et des réactions d'appui.
2. La valeur des efforts F_T et M_f en fonction de l'abscisse.
3. L'équation différentielle correspondant au cas de charge.
4. Les expressions des déformations angulaire et linéaire en fonction de l'abscisse x .
5. Les déformations angulaires et linéaires maximales ou minimales.

Exercice 7.10

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 2 a$, est placée sur deux appuis articulés B et C . Cette poutre est sollicitée dans chacun des tronçons par une charge $q = f(x) =$ linéairement variable :

- premier tronçon : variation de q à zéro,
- deuxième tronçon : variation de zéro à $-q$.



Déterminez :

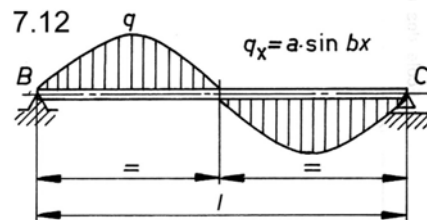
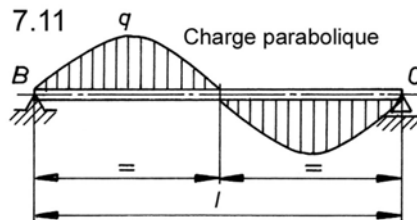
1. La valeur de la charge totale F et des réactions d'appui.
2. La valeur des efforts F_T et M_f en fonction de l'abscisse.
3. L'équation différentielle correspondant au cas de charge.
4. Les expressions des déformations angulaire et linéaire en fonction de l'abscisse x .
5. Les déformations angulaires et linéaires maximales ou minimales.

Exercice 7.11

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 2a$, est placée sur deux appuis articulés B et C . Cette poutre est sollicitée dans chacun des tronçons par une charge $q = f(x) =$ parabolique, la première positive, la seconde négative.

Déterminez :

1. La valeur de la charge totale F sur chaque tronçon et les réactions d'appui.
2. La valeur des efforts F_T et M_f en fonction de l'abscisse.
3. Les équations différentielles correspondant au cas de charge.
4. Les expressions des déformations angulaire et linéaire en fonction de l'abscisse x .
5. Les déformations angulaires et linéaires maximales ou minimales.



Exercice 7.12

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 2a$, est placée sur deux appuis articulés B et C . Cette poutre est sollicitée dans chacun des tronçons par une charge $q_x = f(x) = a \sin (bx)$, avec a et b des constantes.

Déterminez :

1. La valeur de la charge totale F sur la poutre et les réactions d'appui.
2. La valeur des efforts F_T et M_f en fonction de l'abscisse.
3. L'équation différentielle correspondant au cas de charge.
4. Les expressions des déformations angulaire et linéaire en fonction de l'abscisse x .
5. Les déformations angulaires et linéaires maximales ou minimales.

Exercice 7.13

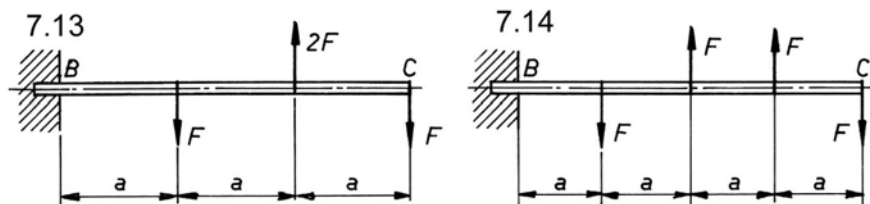
Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 3a$, est encastree à gauche en B , libre à l'autre en C . Cette pièce est sollicitée par trois forces concentrées selon figure 7.13.

Déterminez :

1. La réaction dans l'appui B .

7. Déformations en flexion des poutres

2. Le diagramme des moments fléchissants.
3. En introduisant les relations fondamentales de la déformation d'une poutre en porte-à-faux, sommation des déformations partielles, les déformations angulaire et linéaire aux abscisses $x = a$, $x = 2a$, $x = 3a$.



Exercice 7.14

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 4a$, est encastree à gauche en B , libre à l'autre en C . Cette pièce est sollicitée par quatre forces concentrées selon figure 7.14.

Déterminez :

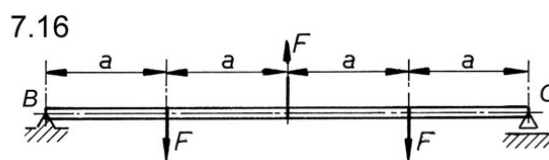
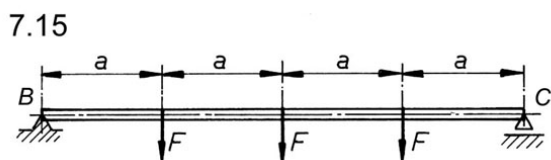
1. La réaction dans l'appui B .
2. Le diagramme des moments fléchissants.
3. En introduisant la méthode de la poutre conjuguée, les déformations angulaire et linéaire sur les lignes d'action des forces.

Exercice 7.15

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 4a$, est placée sur deux appuis B et C sans frottement. Cette pièce est sollicitée par trois forces F équipollentes selon figure.

Déterminez :

1. L'équilibre et le diagramme des moments fléchissants.
2. Les déformations linéaire et angulaire sur chaque ligne d'action des forces.



Exercice 7.16

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 4a$, est placée sur deux appuis B et C sans frottement. Cette pièce est sollicitée par trois forces F , dont deux sont équipollentes, selon figure.

Déterminez :

1. L'équilibre et le diagramme des moments fléchissants.
2. Les déformations linéaire et angulaire sur chaque ligne d'action des forces.

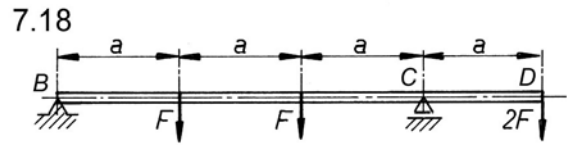
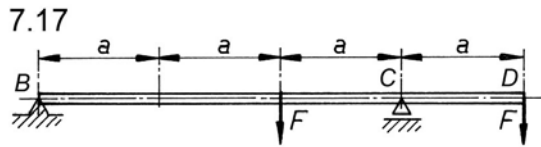
Exercice 7.17

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 4a$, est placée sur deux appuis B et C sans frottement. Cette pièce est sollicitée par deux forces équipollentes dont l'une agit au point D sur le porte-à-faux.

Déterminez :

1. L'équilibre et le diagramme des moments fléchissants.

2. Les déformations linéaire et angulaire sur chaque ligne d'action des forces.
3. Les déformations maximales et minimales le long de la poutre.



Exercice 7.18

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 4a$, est placée sur deux appuis B et C sans frottement. Cette pièce est sollicitée par trois forces parallèles dont l'une valant $2F$ agit au point D sur le porte-à-faux.

Déterminez :

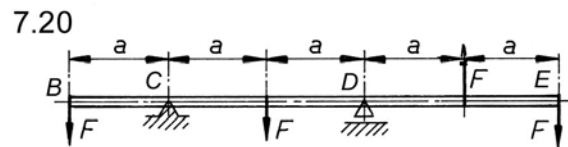
1. L'équilibre et le diagramme des moments fléchissants.
2. Les déformations linéaire et angulaire sur chaque ligne d'action des forces.
3. Les déformations maximales et minimales le long de la poutre.

Exercice 7.19

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 5a$, est placée sur deux appuis C et D sans frottement. Cette pièce est sollicitée par trois forces parallèles dont les deux extérieures agissent aux points B et E sur les porte-à-faux.

Déterminez :

1. L'équilibre et le diagramme des moments fléchissants.
2. Les déformations linéaire et angulaire sur chaque ligne d'action des forces.
3. Les déformations maximales et minimales le long de la poutre.



Exercice 7.20

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 5a$, est placée sur deux appuis C et D sans frottement. Cette pièce est sollicitée par quatre forces parallèles dont la première agit au point B , les deux dernières sur les porte-à-faux $D - E$.

Déterminez :

1. L'équilibre et le diagramme des moments fléchissants.
2. Les déformations linéaire et angulaire sur chaque ligne d'action des forces.
3. Les déformations maximales et minimales le long de la poutre.

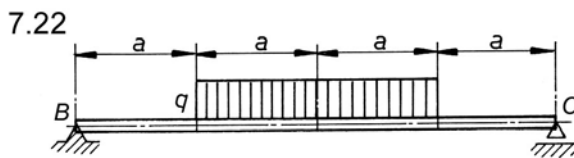
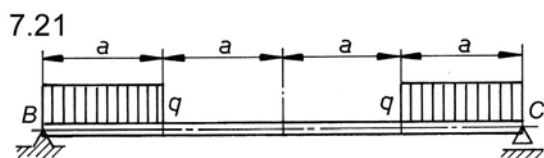
Exercice 7.21

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 4a$, est placée sur deux appuis B et C sans frottement. Cette pièce est sollicitée par deux charges réparties q sur la longueur a de chaque côté des appuis.

Déterminez :

1. L'équilibre et le diagramme des moments fléchissants.
2. Les déformations linéaire et angulaire dans la poutre.
3. Les déformations maximales et minimales le long de la poutre.

7. Déformations en flexion des poutres



Exercice 7.22

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 4a$, est placée sur deux appuis B et C sans frottement. Cette pièce est sollicitée par deux charges réparties q sur la longueur a dans la partie centrale de la poutre.

Déterminez :

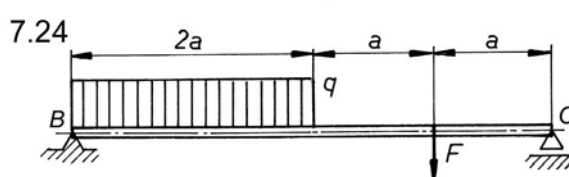
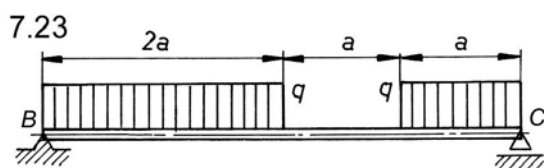
1. L'équilibre et le diagramme des moments fléchissants.
2. Les déformations linéaire et angulaire dans la poutre.
3. Les déformations maximales et minimales le long de la poutre.

Exercice 7.23

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 5a$, est placée sur deux appuis B et C sans frottement. Cette pièce est sollicitée par deux charges réparties q sur les longueurs $2a$ à gauche et a à droite.

Déterminez :

1. L'équilibre et le diagramme des moments fléchissants.
2. Les déformations linéaire et angulaire dans la poutre.
3. Les déformations maximales et minimales le long de la poutre.



Exercice 7.24

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 5a$, est placée sur deux appuis B et C sans frottement. Cette pièce est sollicitée par une charge répartie q sur la longueur $2a$ à gauche et à une force concentrée F à a de l'appui C .

Déterminez :

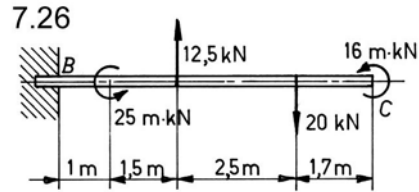
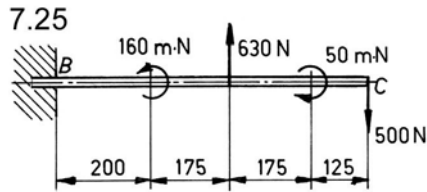
1. L'équilibre et le diagramme des moments fléchissants.
2. Les déformations linéaire et angulaire dans la poutre.
3. Les déformations maximales et minimales le long de la poutre.

Exercice 7.25

Une poutrelle en porte-à-faux, encastree en B , libre en C , est sollicitée par deux couples et deux forces concentrées selon figure. Le profil adopté pour cette pièce est un IPN de telle sorte que la contrainte de flexion ne dépasse pas 120 N/mm^2 .

Déterminez :

1. La réaction d'appui en B et les diagrammes des efforts.
2. Les déformations linéaire et angulaire au point C .
3. Les autres déformations linéaire et angulaire aux extrémités de chaque tronçon.



Exercice 7.26

Une poutrelle en porte-à-faux, encastrée en B , libre en C , est sollicitée par deux couples et deux forces concentrées selon figure. Le profil adopté pour cette pièce est un IPN de telle sorte que la contrainte de flexion ne dépasse pas 150 N/mm^2 .

Déterminez :

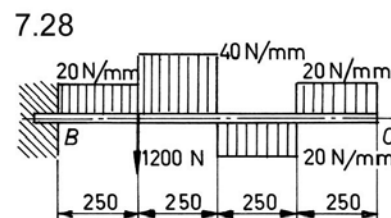
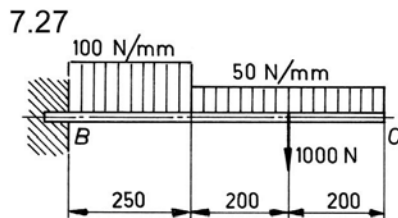
1. La réaction d'appui en B et les diagrammes des efforts.
2. Les déformations linéaire et angulaire au point C .
3. Les autres déformations linéaire et angulaire aux extrémités de chaque tronçon.

Exercice 7.27

Une poutrelle en porte-à-faux, encastrée en B , libre en C , est sollicitée par deux charges réparties $q_1 = 100 \text{ N/mm}$ et $q_2 = 50 \text{ N/mm}$, ainsi qu'une force concentrée $F = 1000 \text{ N}$.

Déterminez :

1. La réaction d'appui en B et les diagrammes des efforts.
2. Le moment quadratique minimal $I_{z \text{ min}}$ si la pièce est en acier au module d'élasticité $E = 21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$, si la déformation linéaire ne doit pas dépasser $1/400$ de la longueur totale, soit $y_{\text{max}} \leq 1,625 \text{ mm}$.



Exercice 7.28

Une poutrelle en porte-à-faux, encastrée en B , libre en C , est sollicitée par quatre charges réparties $q_1 = 20 \text{ N/mm}$, $q_2 = 40 \text{ N/mm}$, $q_3 = -20 \text{ N/mm}$ et $q_4 = 20 \text{ N/mm}$, ainsi qu'une force concentrée $F = 1200 \text{ N}$.

Déterminez :

1. La réaction d'appui en B et les diagrammes des efforts.
2. Le moment quadratique minimal $I_{z \text{ min}}$ si la pièce est en acier au module d'élasticité $E = 21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$, si la déformation linéaire ne doit pas dépasser $1/300$ de la longueur totale, soit $y_{\text{max}} \leq 3,33 \text{ mm}$.

Exercice 7.29

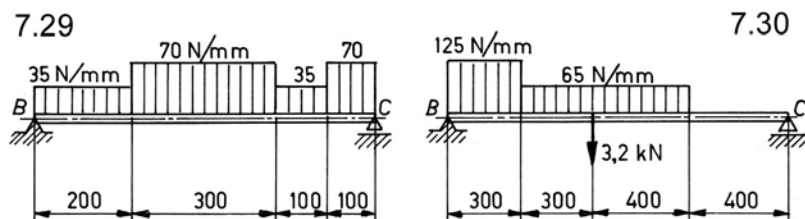
Une poutre sur deux appuis à rigidité flexionnelle constante $E I_z$, sur deux appuis sans frottement, supporte quatre charges réparties $q_1 = 35 \text{ N/mm}$, $q_2 = 70 \text{ N/mm}$, $q_3 = 35 \text{ N/mm}$ et $q_4 = 70 \text{ N/mm}$ sur les quatre tronçons donnés sur la figure.

Déterminez :

1. Les réactions d'appui et le diagramme des moments fléchissant.

7. Déformations en flexion des poutres

2. Les charges sur la poutre conjuguée.
3. Les déformations linéaire et angulaire maximales en fonction de la charge, de la géométrie et de la rigidité flexionnelle.



Exercice 7.30

Une poutre sur deux appuis à rigidité flexionnelle constante $E I_z$, sur deux appuis sans frottement, supporte deux charges réparties $q_1 = 125 \text{ N/mm}$ et $q_2 = 65 \text{ N/mm}$, une force concentrée $F = 3,2 \text{ kN}$ sur les quatre tronçons donnés sur la figure.

Déterminez :

1. Les réactions d'appui et le diagramme des moments fléchissant.
2. Les charges sur la poutre conjuguée.
3. Les déformations linéaire et angulaire maximales en fonction de la charge, de la géométrie et de la rigidité flexionnelle.

Exercice 7.31

Une poutre à rigidité flexionnelle constante, sur deux appuis articulés sans frottement B et C , longueur l , est sollicitée par une charge répartie triangulairement allant de $+q$ à $-q$ pour x compris entre 0 et l .

Déterminez :

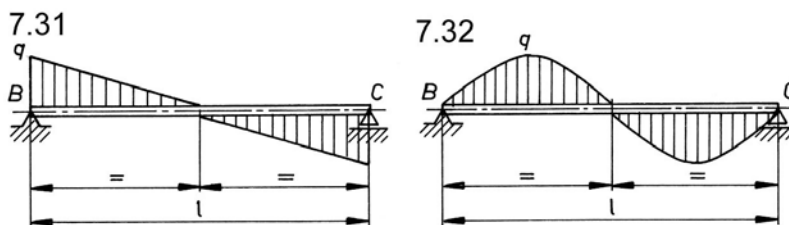
1. L'expression de la charge répartie en fonction de l'abscisse x .
2. L'équation différentielle correspondante.
3. L'expression de la ligne élastique $y = f(x)$.
4. Les valeurs maximales et minimales des déformations angulaires et linéaires.

Appliquer les résultats obtenus dans le cas suivant :

Charge linéique maximale : 50 kN/m .

Longueur totale entre appuis : 10 mètres.

Choix du profil IPN de telle manière que la contrainte de flexion reste inférieure à 150 N/mm^2 , la déformation linéaire maximale à $1/400$ de la portée.



Exercice 7.32

Une poutre à rigidité flexionnelle constante, sur deux appuis articulés sans frottement B et C , longueur l , est sollicitée par deux charges réparties paraboliquement du second degré, la première positive, la seconde négative.

Déterminez :

1. L'expression de la charge répartie dans les deux tronçons en fonction de l'abscisse x .

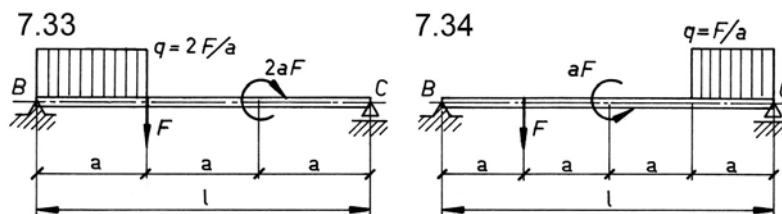
2. Les équations différentielles correspondantes.
3. L'expression de la ligne élastique $y = f(x)$ dans les deux tronçons.
4. Les valeurs maximales et minimales des déformations angulaires et linéaires.

Exercice 7.33

Une poutre à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 4a$, nuance Fe 360, est sollicitée par une charge répartie, une force concentrée F et un couple de forces avec $F = 40$ kN et $a = 3$ mètres.

Déterminez :

1. Les valeurs des charges sur la pièce et l'équilibre statique.
2. Les charges sur la poutre conjuguée correspondant à ce cas de charge.
3. Le profilé HEA à adopter pour que la contrainte de flexion ne dépasse pas 160 N/mm².
4. Les valeurs maximales et minimales des déformations angulaires et linéaires.



Exercice 7.34

Une poutre à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 4a$, nuance Fe 360, est sollicitée par une force concentrée F , un couple de forces et une charge répartie avec $F = 50$ kN et $a = 2,5$ mètres.

Déterminez :

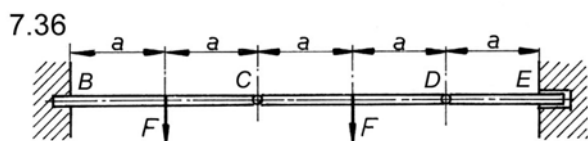
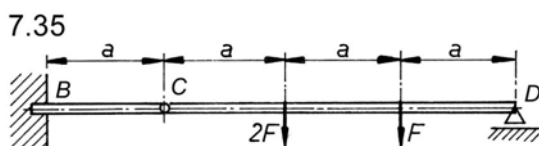
1. Les valeurs des charges sur la pièce et l'équilibre statique.
2. Les charges sur la poutre conjuguée correspondant à ce cas de charge.
3. Le profilé HEA à adopter pour que la contrainte de flexion ne dépasse pas 150 N/mm².
4. Les valeurs maximales et minimales des déformations angulaires et linéaires.

Exercice 7.35

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle égale dans les tronçons, longueur totale $l = 4a$, est encastrée à gauche dans l'appui B , repose à droite sur l'appui D , les deux tronçons formant cette pièce étant articulés sans frottement en C . Le deuxième tronçon est sollicité par deux forces concentrées et parallèles.

Déterminez :

1. L'équilibre statique de cette poutre et le diagramme des moments fléchissants.
2. Les charges sur la poutre conjuguée correspondant à ce type de charge.
3. Les déformations angulaires et linéaires au point C et sur les deux lignes d'action des forces.



Exercice 7.36

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle égale dans les trois tronçons, longueur totale $l = 5a$, est encastrée à gauche dans l'appui B , à droite dans l'appui E , les trois tronçons formant cette pièce étant articulés sans frottement en C et D . Le premier et le deuxième tronçon sont sollicités chacun par une force concentrée et parallèle.

Déterminez :

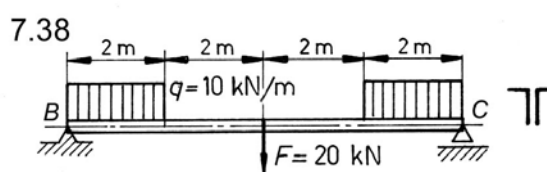
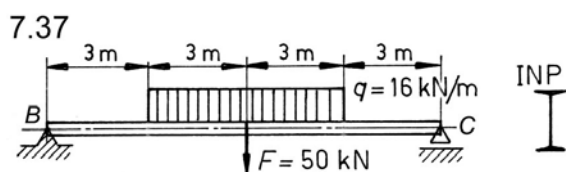
1. L'équilibre statique de cette poutre et le diagramme des moments fléchissants.
2. Les charges sur la poutre conjuguée correspondant à ce type de charge.
3. Les déformations angulaires et linéaires aux points C et D , sur chaque ligne d'action des forces F .

Exercice 7.37

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, constituée par un profilé INP, longueur totale $l = 12$ m, est appuyée à gauche sur l'appui B , à droite sur l'appui D . Cette pièce est sollicitée par une charge répartie $q = 16$ kN/m et une force concentrée $F = 50$ kN.

Déterminez :

1. L'équilibre statique de cette poutre et le diagramme des moments fléchissants.
2. Les charges sur la poutre conjuguée correspondant à ce type de charge.
3. Le numéro du profil à adopter pour que :
 - 3.1 la contrainte de flexion ne dépasse pas 160 N/mm².
 - 3.2 la déformation linéaire maximale f soit inférieure à $1/400$ de la portée.

**Exercice 7.38**

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, constituée par deux profilés cornières, longueur totale $l = 8$ m, est appuyée à gauche sur l'appui B , à droite sur l'appui D . Cette pièce est sollicitée par deux charges réparties $q = 10$ kN/m et une force concentrée $F = 20$ kN.

Déterminez :

1. L'équilibre statique de cette poutre et le diagramme des moments fléchissants.
2. Les charges sur la poutre conjuguée correspondant à ce type de charge.
3. Les dimensions du profil à adopter pour que :
 - 3.1 la contrainte de flexion ne dépasse pas 160 N/mm².
 - 3.2 la déformation linéaire maximale f soit inférieure à 20 mm.

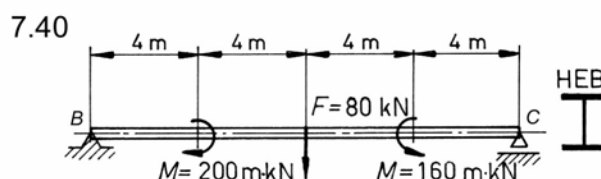
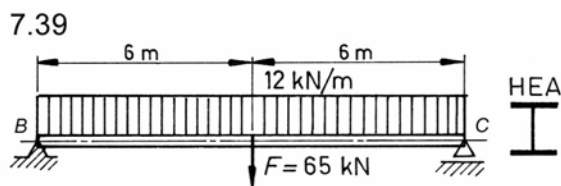
Exercice 7.39

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, constituée par un profilé de type HEA, longueur totale $l = 12$ m, est appuyée à gauche sur l'appui B , à droite sur l'appui D . Cette pièce est sollicitée par une charge répartie $q = 12$ kN/m sur toute sa longueur et une force concentrée $F = 65$ kN.

Déterminez :

1. L'équilibre statique de cette poutre et le diagramme des moments fléchissants.

2. Les dimensions du profil à adopter pour que :
 - 2.1 la contrainte de flexion ne dépasse pas 150 N/mm^2 .
 - 2.2 la déformation linéaire maximale f soit inférieure à $1/500$ de la portée.



Exercice 7.40

Une poutre rectiligne à rigidité flexionnelle constante, constituée par un profilé de type HEB, longueur totale $l = 16 \text{ m}$, est appuyée à gauche sur l'appui B , à droite sur l'appui D . Cette pièce est sollicitée par deux couples, le premier valant -200 m.kN , le deuxième 160 m.kN , et une force concentrée $F = 80 \text{ kN}$.

Déterminez :

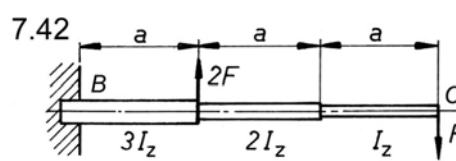
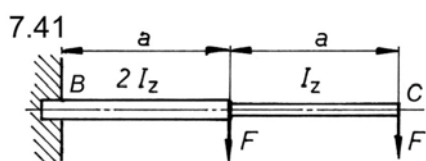
1. L'équilibre statique de cette poutre et le diagramme des moments fléchissants.
2. Les charges sur la poutre conjuguée correspondant à ce type de charge.
3. Les dimensions du profil à adopter pour que :
 - 3.1 la contrainte de flexion ne dépasse pas 160 N/mm^2 .
 - 3.2 la déformation linéaire maximale f soit inférieure à $1/500$ de la portée.

Exercice 7.41

Une poutre rectiligne $B-C$ se compose de deux tronçons, le premier encastré à gauche au point B , le deuxième libre à droite. Les moments quadratiques sont $I_{z1} = 2 I_z$ et $I_{z2} = I_z$. Cette pièce est sollicitée par deux forces F équipollentes.

Déterminez :

1. L'équilibre de la pièce et le diagramme des moments fléchissants.
2. La charge sur la poutre conjuguée.
3. L'expression des déformations angulaires et linéaires sur les lignes d'action des forces.



Exercice 7.42

Une poutre rectiligne $B-C$ se compose de trois tronçons, le premier encastré à gauche au point B , le troisième libre à droite. Les moments quadratiques sont $I_{z1} = 3 I_z$, $I_{z2} = 2 I_z$, et $I_{z3} = I_z$. Cette pièce est sollicitée par deux forces $-2F$ et F selon figure.

Déterminez :

1. L'équilibre de la pièce et le diagramme des moments fléchissants.
2. La charge sur la poutre conjuguée.
3. L'expression des déformations angulaires et linéaires sur les lignes d'action des forces.

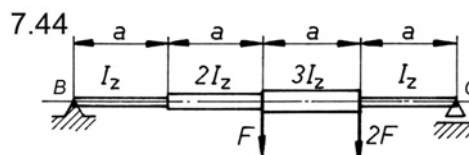
Exercice 7.43

7. Déformations en flexion des poutres

Une poutre rectiligne, composée de trois tronçons, placée sur deux appuis articulés sans frottement B et C , est sollicitée au centre par une force concentrée F . Le tronçon central possède une rigidité deux fois plus élevée que les deux autres.

Déterminez :

1. L'équilibre de la pièce, le diagramme des moments fléchissants, M_f/I_{zi} .
2. La charge sur la poutre conjuguée.
3. L'expression des déformations angulaires et linéaires sur la ligne d'action de la force et aux appuis.



Exercice 7.44

Une poutre rectiligne, composée de quatre tronçons, placée sur deux appuis articulés sans frottement B et C , est sollicitée par deux forces concentrées, la première valant F , la seconde valant $2F$. Les moments quadratiques de chaque tronçon sont donnés sur la figure.

Déterminez :

1. L'équilibre de la pièce, le diagramme des moments fléchissants, M_f/I_{zi} .
2. La charge sur la poutre conjuguée.
3. L'expression des déformations angulaires et linéaires sur les lignes d'action des deux forces et aux appuis.

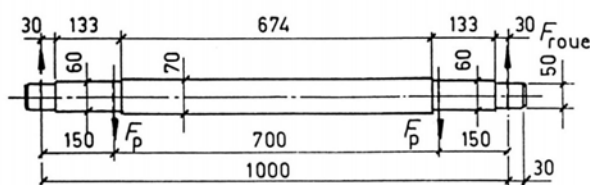
Exercice 7.45

L'axe d'un wagon auxiliaire est centré sur deux appuis deux roulements à rouleaux, diamètre de l'axe en ces points 60 mm, longueur de la portée 26 mm. Les roues, chassées sur l'axe au diamètre 50 mm, supportent chacune une charge radiale valant $F_p = 16$ kN. Le diamètre de l'arbre entre les deux paliers vaut 70 mm. Le module d'élasticité vaut $E = 21 \cdot 10^4$ N/mm².

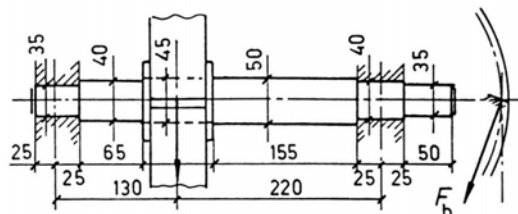
Déterminez :

1. La valeur de la charge répartie, supposée uniforme, entre les roulements et l'axe.
2. Les déformations angulaire et linéaire au centre des portées des roues.
3. La déformation linéaire au point situé à 337 mm de l'appui gauche, axe 70 mm.

7.45



7.46



Exercice 7.46

Un arbre de sortie d'un réducteur à roues dentées est centré dans deux paliers lisses distants de 350 mm. La force normale sur la denture droite vaut $F_b = 2850$ N, inclinée d'un angle de 20° par rapport à la tangente au cercle primitif. Le couple de sortie est transmis à droite par la portée au diamètre 35 mm, longueur 50 mm.

Déterminez :

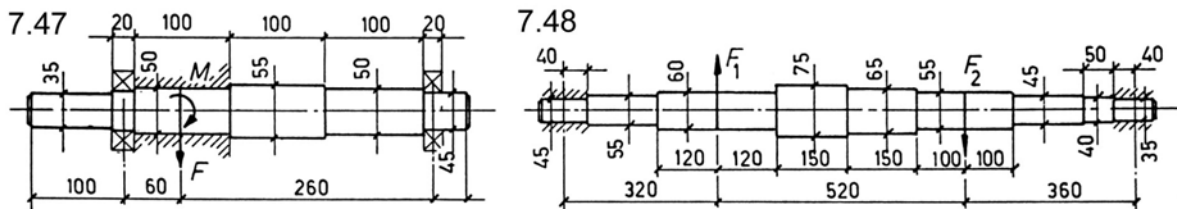
1. L'équilibre de cet arbre, les diagrammes des moments fléchissants et de torsion.
2. Les contraintes simples de flexion, de torsion et de cisaillement.
3. Les déformations angulaire et linéaire au droit de chaque tronçon.

Exercice 7.47

Un arbre de machine, placé sur deux paliers à roulements, longueur portante 20 mm, est sollicité par une force valant $F = 3250$ N et un couple de $M = 96,5$ mN.

Déterminez :

1. La valeur des réactions radiales sur les roulements.
2. Les charges réparties entre les roulements et l'arbre, entre la roue de portée 100 mm transmettant la force F et le couple M sur l'arbre. Le couple est simulé par deux charges réparties de sens contraire, placée chacune sur une longueur de 50 mm.
3. Les déformations angulaire et linéaire aux portées des tronçons situés entre les deux roulements.



Exercice 7.48

Un arbre de machine, centré sur deux paliers lisses selon figure 7.48, supporte deux forces réparties sur les cylindres de diamètre constant, la première force $F_1 = 1850$ N, diamètre 60 mm, portée 240 mm, la seconde $F_2 = 4280$ N, diamètre 55 mm, portée 200 mm.

Déterminez :

1. L'équilibre de cet arbre, les diagrammes des moments fléchissants et des efforts tranchants.
2. La valeur des charges réparties et la valeur de la contrainte nominale maximale de flexion.
3. Les déformations angulaires et linéaires aux portées de tous les tronçons situés entre les deux paliers.

Exercice 7.49

Calculez la déformation à l'extrémité libre d'une poutre à section circulaire constante, encastree d'un côté, libre à l'autre, longueur l , diamètre d , sous l'effet de son poids propre, la masse volumique valant ρ , le module d'élasticité étant E , l'accélération de la pesanteur terrestre étant g .

L'axe de la pièce est horizontal.

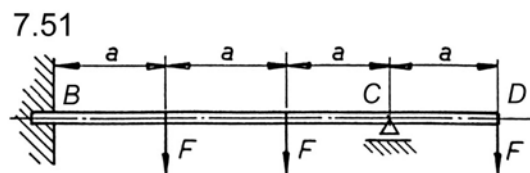
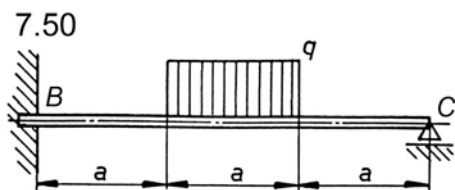
Exercice 7.50

Une poutre à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 3a$, est sollicitée par une charge répartie q entre $x = a$ et $x = 2a$. Cette pièce est encastree à son extrémité gauche B , appuyée à droite sur un appui articulé C sans frottement de telle sorte que le problème devient hyperstatique.

Trouvez :

1. L'équilibre de la pièce.
2. Les diagrammes des F_T et des M_f .
3. L'allure de la déformée et les valeurs maximales et minimales des déformations

7. Déformations en flexion des poutres



Exercice 7.51

Une poutre rectiligne $B-C-D$, à rigidité flexionnelle constante, est encadrée au point B , appuyée en C , le porte-à-faux étant CD . Cette poutre est sollicitée par trois F forces équipollentes selon figure.

Déterminez :

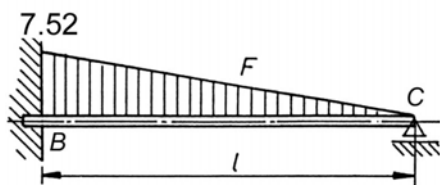
1. L'équilibre de la pièce et les diagrammes des efforts.
2. Les déformations angulaire et linéaire sur les lignes d'action de chaque force.
3. L'allure de la déformée.

Exercice 7.52

Une poutre rectiligne $B-C$, longueur l , à rigidité flexionnelle constante, est encadrée à gauche au point B , appuyée à droite au point C . Cette pièce est sollicitée par une charge répartie triangulaire, $q_{x=0} = q$, $q_{x=l} = 0$.

Déterminez :

1. L'équilibre de la pièce et les diagrammes des efforts.
2. Les déformations angulaire et linéaire maximales ou minimales.
3. L'allure de la déformée.



Exercice 7.53

Une poutre rectiligne $B-C$, longueur $l = 3a$, à rigidité flexionnelle constante, est encadrée à ses deux extrémités B et C . Cette pièce est sollicitée par deux forces concentrées et parallèles, la première valant F , la seconde $2F$.

Déterminez :

1. L'équilibre de la pièce et les diagrammes des efforts.
2. Les déformations angulaire et linéaire maximales ou minimales.
3. L'allure de la déformée.

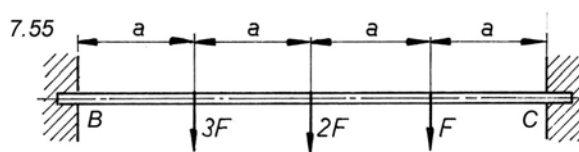
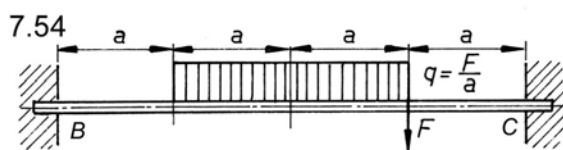
Exercice 7.54

Une poutre rectiligne, à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 4a$, encadrée aux deux extrémités B et C , est sollicitée par une charge répartie $q = F/a$ sur la longueur $2a$ et par une force concentrée F appliquée à $x = 3a$.

Déterminez :

1. La valeur des réactions aux appuis B et C .
2. Les diagrammes des efforts.
3. Les déformations angulaire et linéaire pour $x = a$ et $x = 3a$.

4. L'allure de la déformée.



Exercice 7.55

Une poutre rectiligne, à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 4a$, encastée aux deux extrémités B et C , est sollicitée par un ensemble de forces concentrées parallèles : $3F$, $2F$ et F selon figure.

Déterminez :

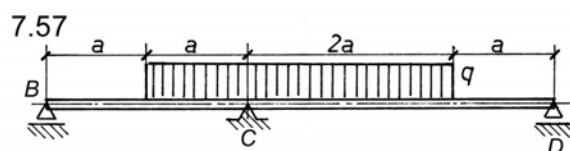
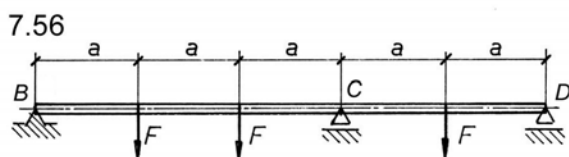
1. La valeur des réactions aux appuis B et C .
2. Les diagrammes des efforts.
3. Les déformations angulaire et linéaire sur chaque ligne d'action des forces.
4. L'allure de la déformée.

Exercice 7.56

Une poutre rectiligne, à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 5a$, articulée sur l'appui B , appuyée sans frottement en C et D , est sollicitée par trois forces concentrées équipollentes.

Déterminez :

1. La valeur des réactions aux appuis B , C et D .
2. Les diagrammes des efforts.
3. Les déformations angulaire et linéaire sur chaque ligne d'action des forces.
4. L'allure de la déformée.



Exercice 7.57

Une poutre rectiligne, à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 5a$, articulée sur l'appui C , appuyée sans frottement en B et D , est sollicitée par une charge répartie q allant de $x = a$ à $x = 4a$.

Déterminez :

1. La valeur des réactions aux appuis B , C et D .
2. Les diagrammes des efforts.
3. Les déformations angulaire et linéaire au début et à la fin de la charge répartie.
4. L'allure de la déformée.

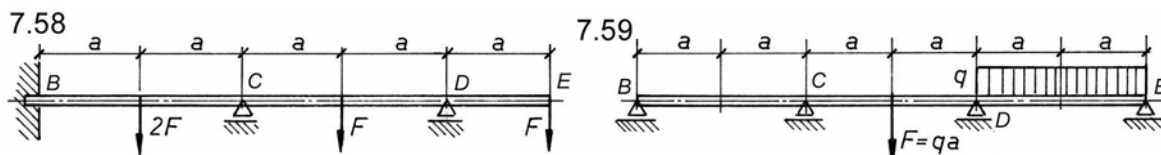
Exercice 7.58

Une poutre rectiligne, à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 5a$, est encastée en B , appuyée en C et D , porte-à-faux $D-E$. Cette pièce est sollicitée par trois forces parallèles valant $2F$, F et F .

7. Déformations en flexion des poutres

Déterminez :

1. La valeur des réactions aux appuis B , C et D .
2. Les diagrammes des efforts.
3. Les déformations angulaire et linéaire sur la ligne d'action des forces.
4. L'allure de la déformée.



Exercice 7.59

Une poutre rectiligne, à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 6a$, est appuyée en B , C , D et E . Cette pièce est sollicitée par une force concentrée $F = qa$ et une charge répartie q sur la dernière travée.

Déterminez :

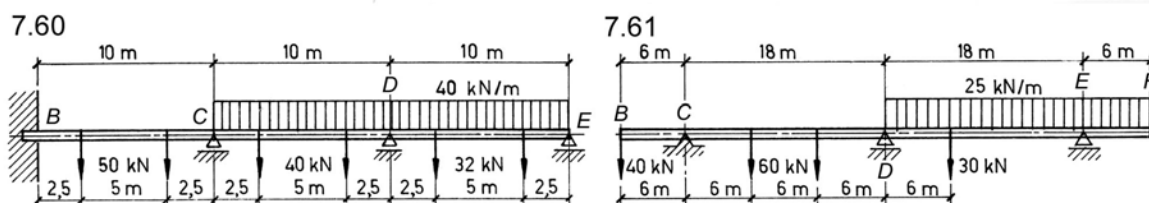
1. La valeur des réactions aux appuis B , C et D .
2. Les diagrammes des efforts.
3. Les déformations angulaire et linéaire sur la ligne d'action des forces.
4. L'allure de la déformée.

Exercice 7.60

Une poutre continue $B-C-D-E$, à rigidité flexionnelle constante, se compose de trois travées : la première est encastrée au point B , les suivantes sont placées sur des appuis sans frottement. Cette pièce est chargée par 6 forces concentrées et une charge répartie sur les deux dernières travées.

Déterminez :

1. Les valeurs des moments fléchissants dans chacune des travées considérées comme articulées.
2. L'ensemble des équations des trois moments.
3. La valeur des réactions d'appui
4. La valeur des moments fléchissants dans la poutre continue.



Exercice 7.61

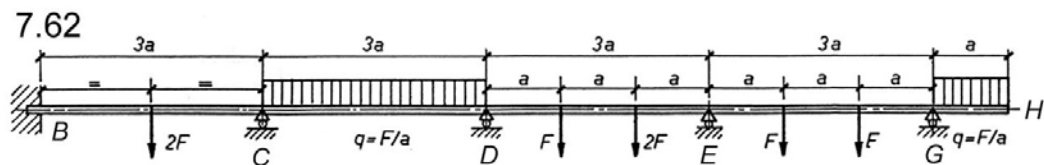
Une poutre continue $B-C-D-E-F$, à rigidité flexionnelle constante, se compose de quatre travées : la première en porte-à-faux entre les points B et C ; les deux suivantes sont placées sur des appuis sans frottement, la dernière $E-F$ est aussi en porte-à-faux. Cette pièce est chargée par 4 forces concentrées et une charge répartie $q = 25$ kN/m sur les deux dernières travées.

Déterminez :

1. Les valeurs des moments fléchissants dans chacune des travées considérées comme articulées.
2. L'ensemble des équations des trois moments.
3. La valeur des réactions d'appui
4. La valeur des moments fléchissants dans la poutre continue.

Exercice 7.62

Une poutre continue selon figure ci-dessous se compose des travées B-C-D-E-G, la pièce étant encastree à gauche au point B, avec un porte-à-faux à droite. Toutes les distances entre appuis sont $3a$. Les forces F sont concentrées et parallèles, les charges réparties valant $q = F/a$.



Déterminez successivement :

1. Les diagrammes des moments fléchissants par travée en fonction de F et a .
2. Les équations des trois moments pour chaque paire de travées en fonction de F et a .
3. Les moments aux appuis et les réactions totales correspondantes en fonction de F et a .
4. Le diagramme définitif des moments fléchissants et des efforts tranchants.
5. L'expression de la déformation linéaire à droite de la force $2F$ dans la travée B-C en fonction de F et a .
6. Le profil adopté est le profil HEB 320 dont les caractéristiques sont :
 $I_z = 308,6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$, $W_z = 1980 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$, $S_z^* = 1070 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$,
 $A = 16 \cdot 100 \text{ mm}^2$, largeur de l'âme du profil 11,5 mm.

Dimensions et charges :

$$F = 60 \text{ kN}, \quad a = 3 \text{ mètres.}$$

Calcule, sans tenir compte du poids propre de la poutre :

- La contrainte de flexion à droite de la force $2F$ dans la travée B-C ;
- La contrainte maximale de cisaillement dans la même section.
- Le déplacement du point d'application de la force concentrée $2F$.

(Problème donné le 4 octobre 1990 à l'EIAF, temps à disposition 75 minutes, sans cours et sans collection d'exercices !)

Exercice 7.63

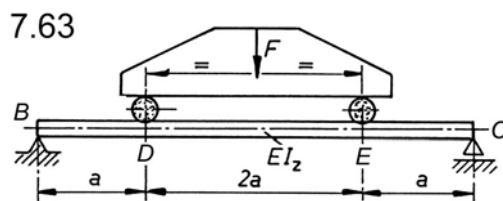
Pour déterminer le module d'élasticité d'une barre à section constante, on s sert d'un essai de flexion sur quatre points selon figure. Les dimensions adoptées sont :

Distance B-C : $4a$.

Distance entre rouleaux D-E : $2a$.

Distance B-D ou E-C : appui → rouleau : a .

Moment quadratique de la section : I_z .



7. Déformations en flexion des poutres

La force F est appliquée exactement à mi distance des appuis.

Déterminez sous forme littérale :

1. Les déformations angulaires aux points B et C .
2. Les déformations angulaires aux points D et E .
3. Les déformations linéaires aux points D et E .
3. La déformation linéaire au milieu de la poutre.

Application numérique

Pour cet essai, on se sert d'une barre à section rectangulaire, largeur $b = 30$ mm, hauteur $h = 7,5$ mm. La distance a vaut 100 mm et la force appliquée dans la machine d'essai vaut 500 N. Au moyen d'un comparateur, on mesure la différence de déformation entre la linge $D-E$ et le milieu de la pièce.

La valeur relevée vaut 2,257 mm.

Calculez le module d'élasticité correspondant pour le matériau de cette barre.

CHAPITRES 8 ET 10

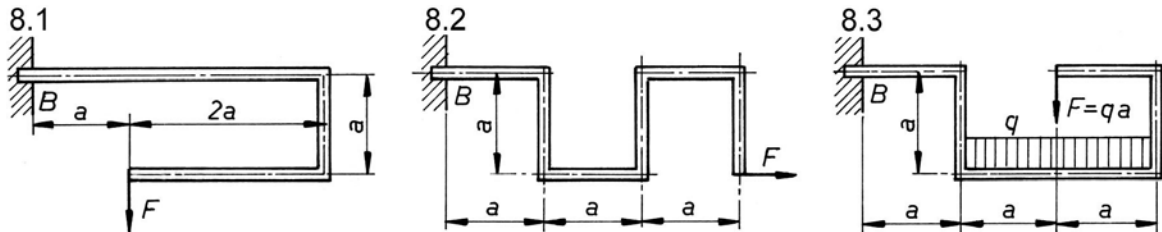
RÉPARTITION DES CONTRAINTES DANS LES SECTIONS SOLUTIONS PAR LES MÉTHODES ÉNERGÉTIQUES

Exercice 8.1

Une poutre coudée à rigidité flexionnelle constante, longueurs successives $3a$, a et $2a$, est encastree à gauche en B , libre à l'extrémité du troisième tronçon. Cette pièce est sollicitée par une force concentrée F .

Déterminez :

1. L'équilibre de cette pièce.
2. Les diagrammes des efforts, soit F_N , F_T et M_f .
3. L'énergie accumulée en flexion dans cette barre coudée.
4. Le déplacement du point d'application de la force F dans sa propre direction.



Exercice 8.2

Une poutre coudée à rigidité flexionnelle constante, longueurs successives six fois a , est encastree à gauche en B , libre à l'extrémité du sixième tronçon. Cette pièce est sollicitée par une force concentrée F horizontale placée à l'extrémité de cette structure.

Déterminez :

1. L'équilibre de cette pièce.
2. Les diagrammes des efforts, soit F_N , F_T et M_f .
3. L'énergie accumulée en flexion dans cette barre coudée.
4. Le déplacement du point d'application de la force F dans sa propre direction.

Exercice 8.3

Une poutre coudée à rigidité flexionnelle constante, longueurs successives a , a , $2a$, a , a , est encastree à gauche en B , libre à l'extrémité du cinquième tronçon. Cette pièce est sollicitée par une force concentrée $F = qa$ et une charge répartie q selon figure.

Déterminez :

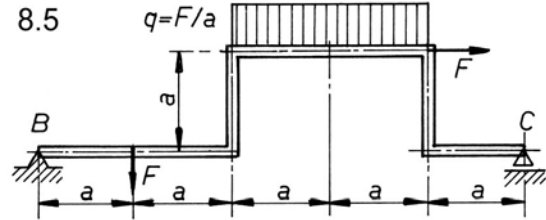
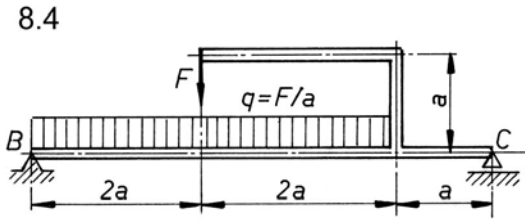
1. L'équilibre de cette pièce.
2. Les diagrammes des efforts, soit F_N , F_T et M_f .
3. L'énergie accumulée en flexion dans cette barre coudée.
4. Le déplacement du point d'application de la force F dans sa propre direction.

Exercice 8.4

Une poutre avec potence, longueur entre B et C : $l = 5a$, repose sur deux appuis articulés sans frottement B et C . Cette pièce est sollicitée par une charge répartie uniforme q sur la longueur $4a$ et par une force concentrée $F = qa$ à l'extrémité de la potence.

Déterminez :

1. L'équilibre de cette pièce soit les réactions d'appui en B et C .
2. Les diagrammes des efforts, soit F_N , F_T et M_f .
3. L'énergie accumulée en flexion dans cette barre coudée.
4. Le déplacement du point d'application de la force F dans sa propre direction.



Exercice 8.5

Une poutre avec partie centrale coudée, longueur entre B et C : $l = 5a$, repose sur deux appuis articulés sans frottement B et C . Cette pièce est sollicitée par une charge répartie uniforme q sur la longueur $2a$ et par une force concentrée $F = qa$ à l'abscisse $x = a$.

Déterminez :

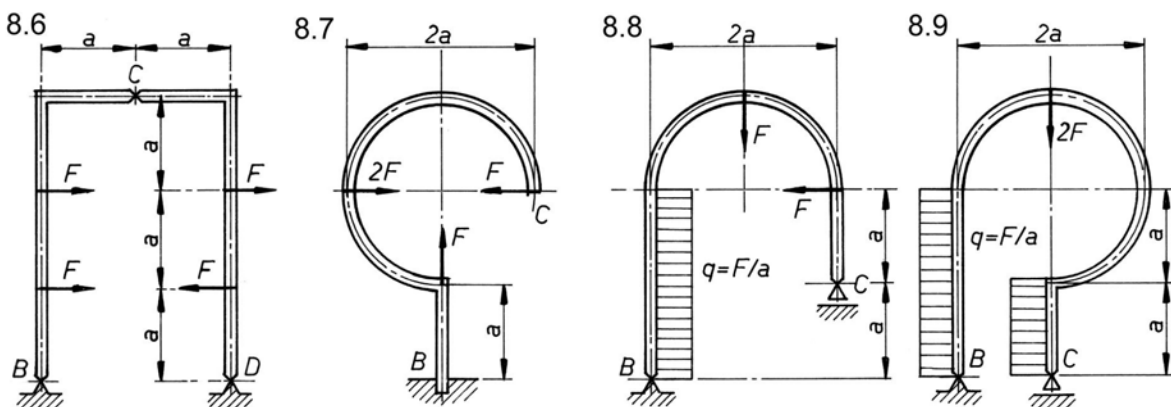
1. L'équilibre de cette pièce soit les réactions d'appui en B et C .
2. Les diagrammes des efforts, soit F_N , F_T et M_f .
3. L'énergie accumulée en flexion dans cette barre coudée.
4. Le déplacement du point d'application de la force F dans sa propre direction.

Exercice 8.6

Une structure métallique se compose de deux arcs $B-C$ et $D-C$ reliés au point commun C . Le rigidité flexionnelle des divers tronçons rectilignes est identique dans les deux arcs. Cette structure est articulée sans frottement sur les appuis C et D , soumise à l'action de quatre forces concentrées F selon figure 8.6.

Déterminez :

1. L'équilibre de cette pièce soit les réactions d'appui en B et D .
2. Les diagrammes des efforts, soit F_N , F_T et M_f .



Exercice 8.7

Une pièce métallique, à rigidité flexionnelle constante, est encastrée au point B et libre au point C . Elle se compose d'un tronçon rectiligne vertical suivi d'un tronçon en arc de cercle sur 270° . La structure est sollicitée par trois forces concentrées selon figure 8.7.

Déterminez :

1. L'équilibre de cette pièce soit la réaction d'appui en B .

2. Les diagrammes des efforts, soit F_N , F_T et M_f .

Exercice 8.8

Une pièce métallique, à rigidité flexionnelle constante, est retenue par deux articulations sans frottement B et C . Cette pièce se compose de deux tronçons rectilignes reliés par une partie en arc de cercle de 180° . La charge appliquée comprend une charge répartie q sur la longueur $2a$, deux forces concentrées F selon figure 8.8.

Déterminez :

1. L'équilibre de cette pièce soit les réactions d'appui en B et C .
2. Les diagrammes des efforts, soit F_N , F_T et M_f .

Exercice 8.9

Une pièce métallique, à rigidité flexionnelle constante, est retenue par deux articulations sans frottement B et C placées au même niveau. Cette pièce se compose de deux tronçons rectilignes reliés par une partie en arc de cercle de 270° . La charge appliquée comprend deux charges réparties q sur les longueurs $2a$ et a , une forces concentrées $2F$ selon figure 8.9.

Déterminez :

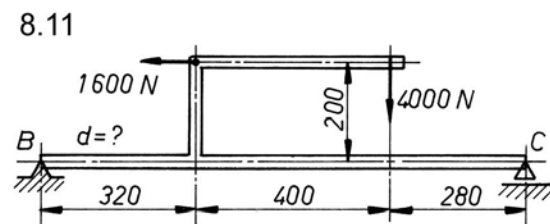
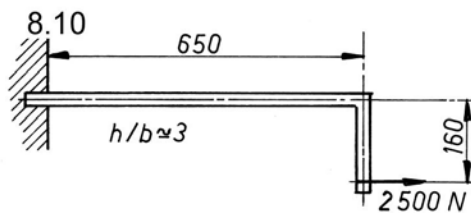
1. L'équilibre de cette pièce soit les réactions d'appui en B et C .
2. Les diagrammes des efforts, soit F_N , F_T et M_f .

Exercice 8.10

Une pièce coudée, à section rectangulaire constante, $h/b \approx 3$, est encastrée à gauche dans un appui supposé indéformable, libre à l'autre extrémité. Elle est sollicitée par une force concentrée à direction horizontale valant $F = 2500$ N.

Déterminez :

1. La réaction d'appui à gauche.
2. Les diagrammes des efforts, soit F_N , F_T et M_f .
3. Les dimensions de la section transversale de la section rectangulaire si la contrainte normale maximale ou minimale ne doit pas dépasser 120 N/mm².
4. La position de la fibre neutre dans la section à contraintes normales combinées.
5. L'énergie élastique emmagasinée dans la pièce en acier par la flexion.
6. Le déplacement horizontal de la force active.



Exercice 8.11

Une pièce à section cylindrique constante repose sur deux appuis sans frottement B et C selon figure 8.11. Deux forces concentrées agissent sur la partie supérieure, soit $F_1 = 1600$ N et $F_2 = 4000$ N.

Déterminez :

1. Les réactions d'appui B et C .
2. Les diagrammes des efforts, soit F_N , F_T et M_f .
3. Les dimensions de la section transversale de la section circulaire si la contrainte normale maximale ou minimale ne doit pas dépasser 150 N/mm².

4. La position de la fibre neutre dans la section du tronçon vertical à contraintes normales combinées.
5. L'énergie élastique emmagasinée dans la pièce en acier par la flexion.
6. Le déplacement horizontal de la force active F_1 .

Exercice 8.12

Déterminez la forme et les dimensions géométriques du noyau central des sections de profilés pour la construction métallique :

- | | | | |
|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| 1. UNP 100 | 2. UNP 280 | 3. UNP 65 | |
| 4. INP 100 | 5. INP 500 | 6. HEA 240 | 7. HEA 1000 |
| 8. HEB 160 | 9. HEB 400 | 10. HEB 800 | 11. ½ HEA 200 |
| 12. LNP 60.8 | 13. LNP 100.10 | 14. LNP 60.30.5 | 15. LNP 80.40.6 |
| 16. LNP 100.50.8 | 17. LNP 160.80.10 | | |

Exercice 8.13

Déterminez la forme et les dimensions géométriques du noyau central des sections de profilés pour la construction métallique et les autres sections :

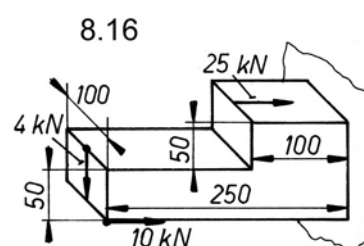
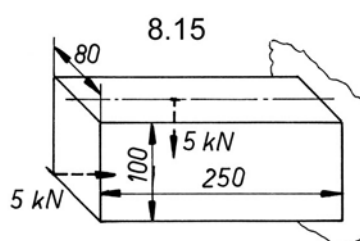
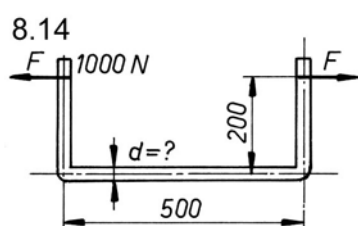
- | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1. TNP 60 | 2. TNP 100 | 3. T 80.40 | 4. T 120.60 |
| 5. ½ IPE 100 | 6. ½ IPE 220 | 7. ½ IPE 300 | 8. ½ IPE 600 |
9. section triangulaire isocèle avec $b = 80$ mm, $h = 120$ mm.
10. section en trapèze isocèle avec $b = 60$ mm, $B = 100$ mm et $h = 80$ mm.

Exercice 8.14

Un étrier en acier, à section circulaire constante, dimensions de chacun des tronçons selon figure, est sollicité par deux forces directement opposées $F = 1000$ N.

Déterminez :

1. L'équilibre et les diagrammes de tous les efforts.
2. Le diamètre à prévoir pour cette pièce de telle sorte que la contrainte normale maximale ou minimale ne dépasse pas 200 N/mm².
3. Le déplacement du point d'application de la force de droite par rapport à celle de gauche.



Exercice 8.15

Une pièce massive, à section rectangulaire, largeur $b = 80$ mm, hauteur $h = 100$ mm, longueur jusqu'à l'appui 250 mm, est encastrée à droite. Cette pièce est soumise à l'action de deux forces $F = 5$ kN placées selon figure.

Déterminez :

1. Les diagrammes projetés et résultants de tous les efforts.
2. Les contraintes composantes engendrées par chacune des forces composantes au niveau de l'encastrement.
3. Les contraintes normales maximale et minimale.

Exercice 8.16

Une pièce à sections rectangulaires se compose de deux tronçons, le premier de 150 mm de longueur, le second de 100 mm. La largeur de chaque tronçon vaut 100 mm, la hauteur par rapport à la base 50 mm et 100 mm. Cette pièce est sollicitée par deux forces concentrées, la première $F = 4$ kN verticale, la deuxième $F = 25$ kN horizontale, leur position étant donnée sur la figure.

Déterminez :

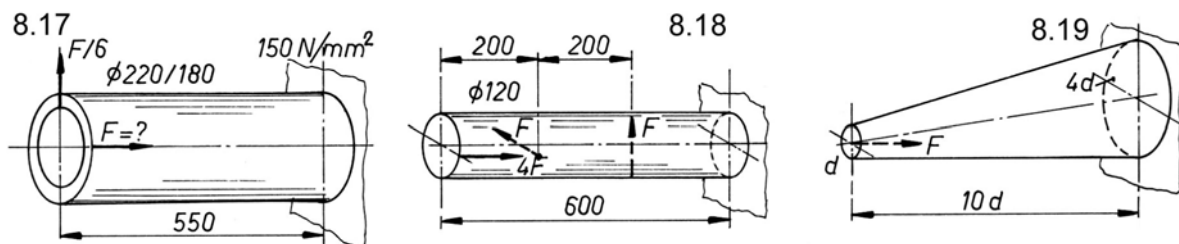
1. Les diagrammes projetés et résultants de tous les efforts.
2. Les contraintes composantes engendrées par chacune des forces composantes au niveau de l'encastrement.
3. Les contraintes normales maximale et minimale.

Exercice 8.17

Un tube en acier, diamètre extérieur 220 mm, diamètre intérieur 180 mm, longueur en porte-à-faux 550 mm, est sollicité par deux forces concentrées, la première verticale vers le haut $F_1 = F/6$, la seconde $F_2 = F$ dans le sens axial sur la surface extérieure du tube.

Déterminez :

1. Les caractéristiques A et I_y, I_z du tube, l'équilibre de la pièce.
2. Les diagrammes de tous les efforts.
3. Les contraintes simples dans la section d'encastrement sous forme littérale.
4. L'intensité de la force F si la contrainte normale maximale ne doit pas dépasser 150 N/mm².



Exercice 8.18

Une pièce cylindrique pleine, diamètre 120 mm, longueur jusqu'à l'appui 600 mm, est sollicitée par trois forces F selon figure, l'extrémité gauche étant libre.

Déterminez :

1. Les caractéristiques A et I_y, I_z de la pièce, l'équilibre de la pièce.
2. Les diagrammes de tous les efforts.
3. Les contraintes simples dans la section d'encastrement sous forme littérale.
4. L'intensité de la force F si la contrainte normale maximale ne doit pas dépasser 100 N/mm².

Exercice 8.19

Une pièce se définit géométriquement par les caractéristiques suivantes :

- a. Deux surfaces extérieures parallèles circulaires, la première à gauche de diamètre d , la seconde à droite sur l'appui de diamètre $4d$.
- b. La génératrice inférieure du corps est perpendiculaire aux deux surfaces circulaires.

Cette pièce est sollicitée par une force F , centrée sur la surface de gauche, parallèle à la génératrice inférieure.

Déterminez :

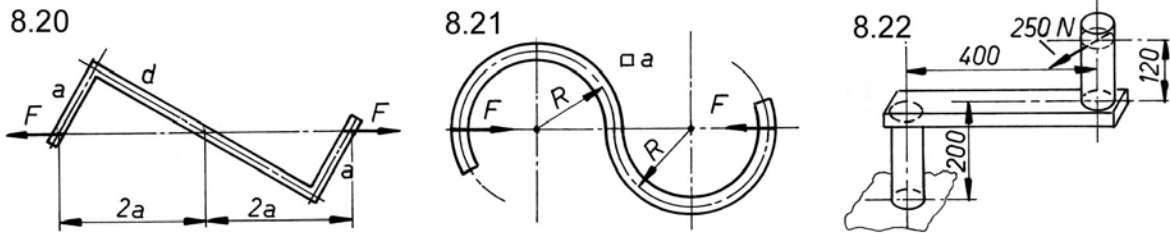
1. L'équilibre de cette pièce et les composantes de la résultante générale + couple principal.
2. Les expressions des contraintes normales maximale et minimale.

Exercice 8.20

Un pièce à section circulaire constante, diamètre d , présent trois tronçons en forme de Z selon figure. Cette structure est sollicitée par deux forces concentrées F directement opposées

Déterminez :

1. Les diagrammes des efforts.
2. Le contrôle des sections dangereuses.
3. L'expression des contraintes en fonction des grandeurs d , F et a .



Exercice 8.21

Une pièce à section carrée, dimension a , se compose de deux tronçons en arc de cercle selon figure. Cette pièce est sollicitée par deux forces concentrées compressives directement opposées.

Déterminez :

1. Les diagrammes des efforts.
2. Le contrôle des sections les plus sollicitées.
3. L'expression des contraintes simples et résultantes en fonction de la géométrie et de la charge.

Exercice 8.22

Une pièce coudée, représentant une manivelle, se compose de trois tronçons : deux tronçons circulaire et un tronçon rectangulaire. La force appliquée vaut $F = 250$ N. La contrainte normale en valeur absolue ne doit pas dépasser 120 N/mm², la contrainte tangentielle 75 N/mm².

Déterminez :

1. L'équilibre de cette manivelle et les diagrammes des efforts.
2. Les dimensions à donner au trois tronçons de telle manière que les contraintes soient admissibles.

Exercice 8.23

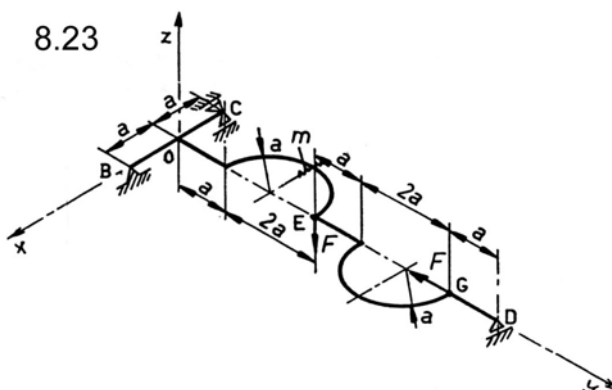
Une poutre à section constante présente la forme donnée sur la figure, toute la pièce ayant une ligne moyenne placée dans le plan horizontal Oxy . Elle se compose :

1. Tronçon rectiligne B-C avec appui articulé fixe en B, appui avec réaction seulement radiale en C.
2. Partie perpendiculaire à B-C jusqu'à l'appui D, réaction seulement selon l'axe Oz en ce point. Elle se compose de trois tronçons rectilignes, longueur a , deux tronçons en demi cercle de rayon a .

Les forces extérieures appliquées sur cette structure sont :

- a. Une force verticale $-F_z$ au point E.

- b. Une force horizontale $-F_y$ au point G, perpendiculaire à B-C.
 La section à contrôler est la section désignée par m dans la partie circulaire de gauche.



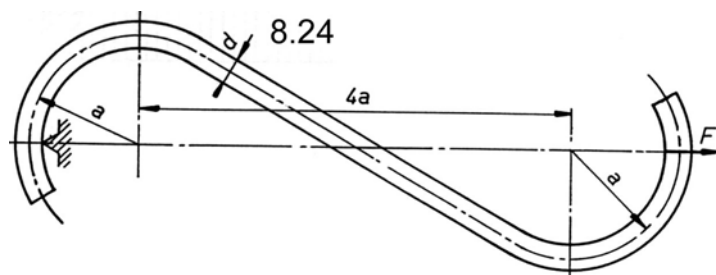
Déterminez :

1. Les réactions d'appui aux points B, C et D.
2. Les diagrammes des efforts normaux F_N .
3. Les diagrammes des efforts tranchants F_T .
4. Les diagrammes des moments fléchissants M_f .
5. Les diagrammes des moments de torsion M_t .
6. Les efforts dans la section m si la partie avant est supprimée : représentez cette section et les efforts correspondants à la partie supprimée.
6. Le diamètre d en mm à prévoir pour la barre dans les conditions suivantes :
 $a = 80 \text{ mm}$, $F = 800 \text{ N}$, $\sigma \leq 180 \text{ N/mm}^2$, $\tau \leq 100 \text{ N/mm}^2$.
 (Test du 6 octobre 1989, durée 70 minutes à disposition)

Exercice 8.24

Une pièce mécanique à section transversale circulaire de diamètre d , forme un crochet et se compose des tronçons suivants :

- a. Deux tronçons en arc de cercle, rayon moyen a .
- b. Un tronçon rectiligne de liaison, distance entre les axes $4a$.



Cette pièce est sollicitée par une force F à droite et retenue par un appui indéformable sans frottement à gauche.

Déterminez :

1. Le diagramme des efforts normaux F_N en fonction de a et de F .
2. Le diagramme des efforts tranchants F_T en fonction de a et de F .
3. Le diagramme des moments fléchissants M_f en fonction de a et de F .
4. Le déplacement du point d'application de la force active F dans sa propre direction en négligeant les déformations dues aux F_N et F_T , en fonction de a , F , E et I_z .
5. La force F applicable sur cette pièce si :

$a = 25 \text{ mm}$, $d = 12 \text{ mm}$, contrainte maximale de flexion 180 N/mm^2 .

6. Le déplacement du point d'application de la force si le module d'élasticité vaut $20,5 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$, les contraintes maximales normales et tangentielles ainsi que la position de ces sections dangereuses sur la pièce.

Remarque

Le dessin des diagrammes des efforts s'effectuera avec $a = 20 \text{ mm}$. Indiquez sur les trois diagrammes les valeurs maximale et minimale des efforts.

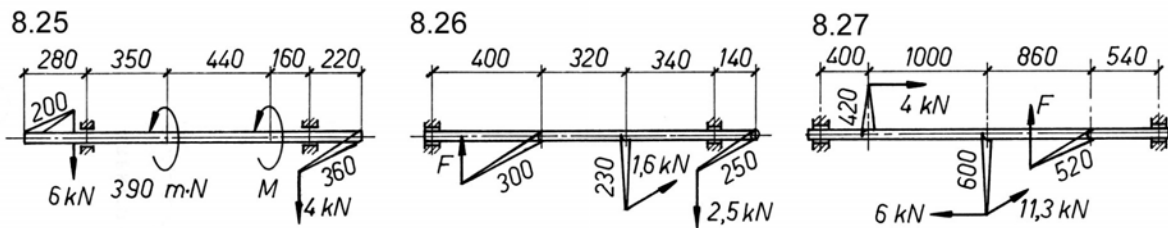
(Test du 10 novembre 1989)

Exercice 8.25

Un arbre de machine en acier, à section cylindrique constante, est sollicité par deux forces concentrées $F_1 = 5 \text{ kN}$ et $F_2 = 4 \text{ kN}$, ainsi qu'à deux couples $M_1 = 390 \text{ mN}$, M_2 tel que la pièce se trouve en équilibre de rotation.

Déterminez :

1. L'équilibre de la pièce sous les diverses charges.
2. Tous les diagrammes des efforts.
3. Le diamètre à prévoir si la contrainte normale ne doit pas dépasser 140 N/mm^2 , la contrainte tangentielle 60 N/mm^2 .



Exercice 8.26

Un arbre de machine en acier, à section cylindrique constante, est sollicité par trois forces concentrées, $F = ?$, $F_2 = 1,6 \text{ kN}$ et $F_3 = 2,5 \text{ kN}$, placées à l'extrémité de leviers selon figure.

Déterminez :

1. L'équilibre de la pièce sous ces diverses charges.
2. Tous les diagrammes des efforts.
3. Le diamètre à prévoir si la contrainte normale ne doit pas dépasser 150 N/mm^2 , la contrainte tangentielle 80 N/mm^2 .

Exercice 8.27

Un arbre de machine en acier, à section cylindrique constante, est sollicité par trois forces concentrées, $F_{1x} = 4 \text{ kN}$, $F_{2x} = -6 \text{ kN}$, $F_{2z} = 11,3 \text{ kN}$, et $F_{3y} = -F$, placées à l'extrémité de leviers selon figure.

Déterminez :

1. L'équilibre de la pièce sous ces diverses charges.
2. Tous les diagrammes des efforts.
3. Le diamètre à prévoir si la contrainte normale ne doit pas dépasser 120 N/mm^2 , la contrainte tangentielle 50 N/mm^2 .

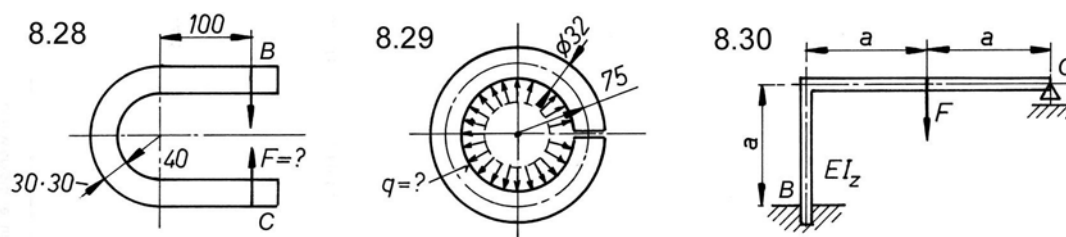
Exercice 8.28

Une pièce coudée en acier, à section carrée de $30 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$, se compose de trois tronçons : le premier de 125 mm , le second circulaire avec un rayon intérieur de 40 mm , le

troisième de 125 mm. Cette pièce est soumise à l'action de deux forces concentrées F opposées placées aux points B et C .

Déterminez :

1. Les diagrammes des efforts en fonction de F .
2. La valeur maximale de la force F si la contrainte normale ne doit pas dépasser 180 N/mm^2 , compte tenu de la théorie des pièces cintrées épaisses.
3. La valeur maximale de la force F si la contrainte normale ne doit pas dépasser 180 N/mm^2 , sans tenir compte de la théorie des pièces cintrées épaisses.
4. A partir de la charge retenue sous 2.), répartie sur 5 mm de chaque côté des points B et C , la valeur de la contrainte normale maximale en modélisant cette structure par les éléments finis.



Exercice 8.29

Un anneau ouvert, à section transversale cylindrique, diamètre 32 mm, rayon moyen de courbure 75 mm, est sollicité par une pression intérieure uniforme q .

Déterminez :

1. La valeur admissible pour cette charge répartie uniformément si la contrainte normale ne doit pas dépasser 150 N/mm^2 , compte tenu de la théorie des pièces cintrées épaisses.
2. Le contrôle du résultat au moyen d'une modélisation par les éléments finis.

Exercice 8.30

Une poutre coudée, à rigidité flexionnelle constante, est encadrée au point B , appuyée au point C . La charge appliquée sur la partie supérieure vaut F .

Déterminez :

1. L'équilibre de cette pièce.
2. Les diagrammes des efforts.
3. Le déplacement du point d'application de la force F à partir de l'énergie interne de flexion.

Exercice 8.31

Une pièce coudée en acier, à section circulaire constante, diamètre 35 mm, est fermée par un fil en acier, diamètre 2,5 mm. Les dimensions des trois tronçons composants sont donnés sur la figure 8.31. On applique sur cette structure deux forces concentrées directement opposées valant 8 kN.

Déterminez :

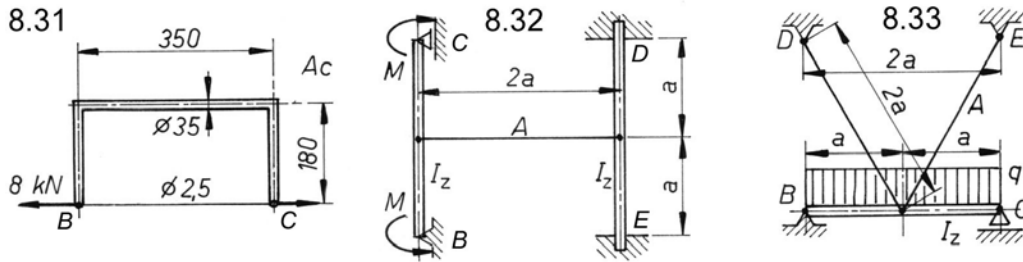
1. La tension dans le fil de 2,5 mm de diamètre.
2. L'équilibre de la structure et les diagrammes des efforts dans les deux pièces.
3. Les contraintes simples et résultantes dans les sections dangereuses.

Exercice 8.32

Un système mécanique se compose de trois pièces :

- a. Une poutre rectiligne verticale sur deux appuis B et C sans frottement.

- b. Une barre intermédiaire d'aire constante A .
 c. Une seconde poutre verticale encastrée dans les appuis D et E .



La poutre $B-C$ est sollicitée par deux couples opposés de même intensité. Les deux poutres verticales possèdent la même rigidité flexionnelle. Les autres dimensions ou positions sont données sur la figure 8.32.

Déterminez :

1. Les réactions des appuis.
2. Les diagrammes des efforts dans les trois pièces composantes.

Exercice 8.33

Une structure métallique se compose d'une poutre rectiligne horizontale à rigidité flexionnelle constante, soutenue par deux barres articulées inclinées, articulées aux extrémités. La charge sur la poutre q est répartie uniformément sur la distance $2a$.

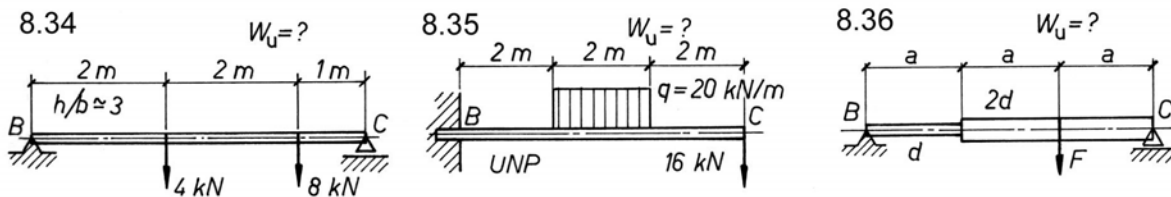
Déterminez :

1. Les réactions d'appui B et C , les tensions dans les deux barres obliques.
2. Les diagrammes des efforts dans la poutre.

Exercice 8.34

En appliquant le théorème de Castigliano, déterminez la déformation de la poutre sur les lignes d'action des deux forces concentrées si la contrainte normale ne doit pas dépasser 160 N/mm^2 .

Calculez l'expression de l'énergie totale dans la pièce en tenant compte de l'effet du cisaillement dans la section rectangulaire. Module d'élasticité $E = 21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$.



Exercice 8.35

Une poutre à rigidité flexionnelle constante, profilé à adopter UNP, est encastrée à gauche au point B , libre en C . Cette pièce est sollicitée par une charge répartie $q = 20 \text{ kN/m}$ sur 2 m et une force concentrée $F = 16 \text{ kN}$.

Déterminez :

1. L'équilibre de la poutre.
2. Les diagrammes des efforts.
3. Le profilé à adopter pour que la contrainte de flexion ne dépasse pas 150 N/mm^2 et la déformation maximale 1 cm .

4. L'énergie élastique interne contenue dans cette pièce.

Exercice 8.36

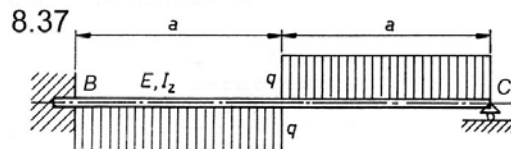
Une pièce métallique se compose de deux tronçons circulaire, le premier au diamètre d sur la longueur a , le second au diamètre $2d$ sur la longueur $2a$. Cette poutre est placée sur deux appuis articulés sans frottement et sollicitée par une force F .

Déterminez :

1. L'équilibre de la pièce et les diagrammes des efforts.
2. La déformation de la pièce sur la ligne d'action de la force.
3. L'énergie interne accumulée dans cette pièce.

Exercice 8.37

Une poutre rectiligne, à rigidité flexionnelle $E I_z$ constante, est encastrée à gauche au point B , appuyée à droite au point C supposé indéformable. La longueur de la pièce est $2a$ et la charge extérieure est constituée par deux charges réparties uniformes q , la première positive, la seconde négative.



Déterminez :

1. Pour la pièce rendue isostatique, c'est à dire articulée aux deux points B et C :
 - Les réactions des appuis en B et C .
 - Les diagrammes des efforts F_T et M_f .
 - La déformation angulaire en C , la déformation linéaire au centre de la poutre.
2. Pour la pièce réelle hyperstatique, c'est-à-dire encastrée à gauche, appuyée à droite :
 - Les réactions des appuis en B et C .
 - Les diagrammes des efforts F_T et M_f .
 - Les déformations angulaire et linéaire au milieu de la poutre.
 - Les rapports entre les moments deux moments fléchissants et les deux déformations linéaires dans les deux cas étudiés.

Adoptez : $a =$ au moins 5 cm pour les diagrammes des efforts.

(Test du 17 janvier 1990).

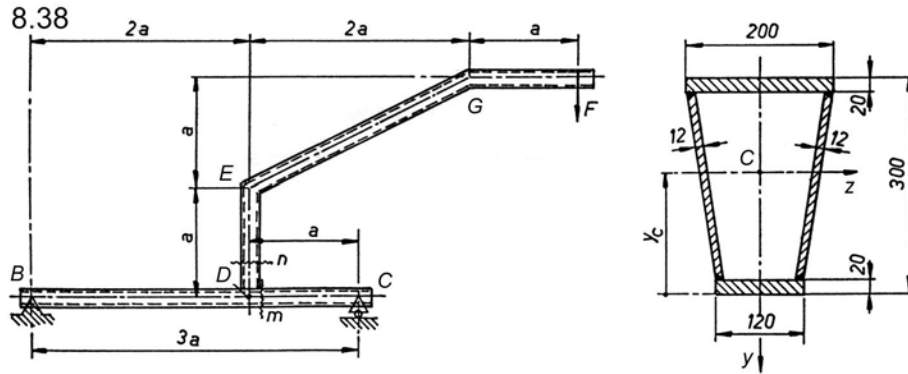
Exercice 8.38

Un engin de levage est monté sur une structure se composant des divers tronçons représentés sur la figure 8.38. Le profil adopté, à section constante dans tous les tronçons, est de forme symétrique trapézoïdale. L'acier utilisé pour la fabrication de cette pièce est de la nuance Ac 52, module d'élasticité $E = 20,5 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$. La charge maximale F applicable est une masse $m = 5000 \text{ kg}$, accélération de la pesanteur terrestre $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Déterminez successivement :

1. L'équilibre de la pièce et tous les diagrammes des efforts en fonction de la charge F et des diverses distances multiples de a (valeurs littérales).
2. Les caractéristiques de la section transversale du profilé :
 - Aire A , position du centre de gravité y_C , moment quadratique I_z ,
 - Module de résistance à la flexion W_z , moment statique de la demi surface S_z^* .

3. L'expression de la déformation angulaire et de la déformation linéaire au point D en fonction de la force F , de a , de I_z et de E (valeurs littérales).
4. Les contraintes simples et résultantes sachant que $F = mg$ et $a = 1,1$ mètre :
 Dans la section m (à droite du point D , compte tenu de la hauteur du profil).
 Dans la section n (en dessus du point D).
5. Les déformations angulaires et linéaires exprimées en rad ou en mm.
 (Test du 6 novembre 1990, durée à disposition 75 minutes)

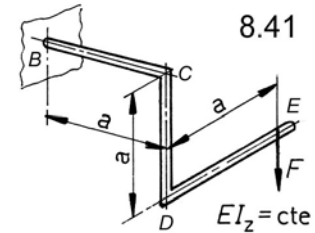
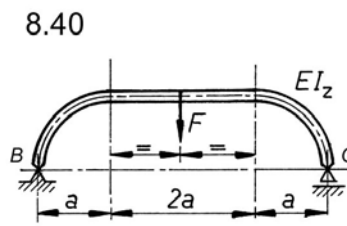
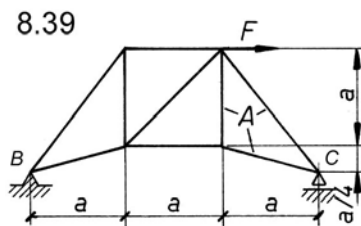


Exercice 8.39

Une poutrelle triangulée se compose de barres à sections égales. Cette structure repose sur les deux appuis B et C . Elle est soumise à l'action d'une force horizontale agissant sur le nœud supérieur droit.

Déterminez :

1. Les réactions d'appui et les tensions dans toutes les barres.
2. L'expression des contraintes en fonction de F et de A .
3. Les déplacements horizontal et vertical du point d'application de F au moyen de la méthode de Mohr.



Exercice 8.40

Une pièce métallique à rigidité flexionnelle constante présente deux parties en arc de cercle sur 90° , rayon moyen $R_m = a$, reliées par un tronçon rectiligne de longueur $2a$. Cette pièce est sollicitée par une force concentrée F placée à mi distance des appuis B et C .

Déterminez :

1. Les diagrammes des efforts F_N , F_T et M_f dans cette pièce.
2. Les déplacements horizontal et vertical du point d'application de la force F .
3. Le déplacement de l'appui C .

Exercice 8.41

Une pièce coude, encastrée dans un appui supposé indéformable en B , se compose de trois tronçons perpendiculaires de même aire $B-C-D-E$ et de même longueur a .

La section de ces tronçons est circulaire pleine.

Déterminez :

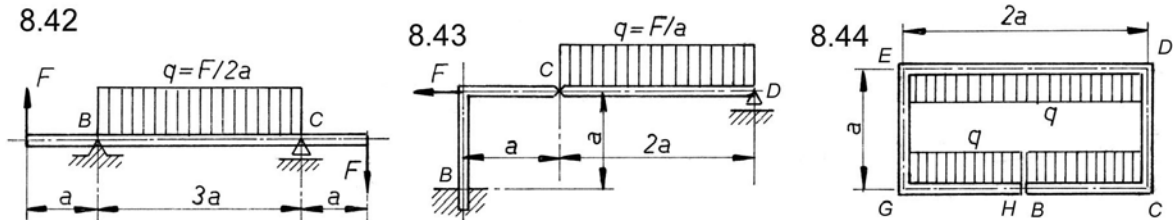
1. L'équilibre de cette pièce et tous les diagrammes des efforts.
2. Les sections dites dangereuses au point de vue contraintes et la valeur de ces contraintes.
3. Le déplacement spatial du point d'application de la force.

Exercice 8.42

Une poutre, à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 5a$, repose sur les deux appuis B et C . Cette pièce est sollicitée par deux forces concentrées F et une charge q répartie constante entre B et C .

Déterminez :

1. L'équilibre de la pièce et les diagrammes des efforts.
2. Le déplacement du point d'application de la force F située à l'extrémité droite
3. La déformation de la poutre au milieu de sa longueur.



Exercice 8.43

Une structure métallique se compose de deux poutres, la première $B-C$ coudée, encastree en B , la seconde $C-D$ articulée en C et appuyée en D . La rigidité flexionnelle est identique pour les deux poutres. La première poutre est soumise à l'action d'une force concentrée F , la seconde à une charge répartie uniformément $q = F/a$.

Déterminez :

1. L'équilibre de cette structure.
2. Les diagrammes de tous les efforts.
3. Le déplacement du point c en fonction de la géométrie et de la charge.
4. Les points de contrôle des contraintes et la valeur de celles-ci.

Exercice 8.44

Un cadre ouvert se compose de cinq tronçons de même rigidité flexionnelle $B-C-D-E-G-H$. Cette pièce est sollicitée intérieurement par des charges réparties uniformes q sur les tronçons horizontaux.

Déterminez :

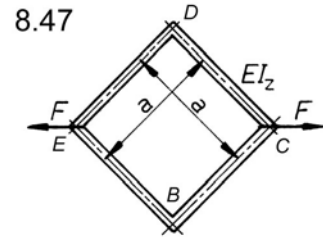
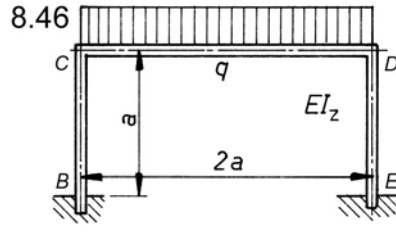
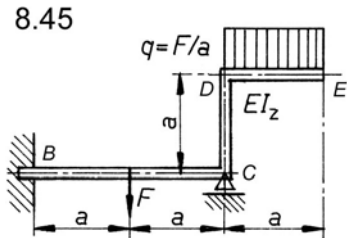
1. La position à donner au point de soutien de cette structure de manière à la maintenir au repos.
2. Les diagrammes de tous les efforts.
3. La déformation de la structure et la représentation graphique de cette déformation.

Exercice 8.45

Une poutre coudée, à rigidité flexionnelle constante, se compose de trois tronçons : le premier $B-C$ encastree en B , appuyé en C , le deuxième $C-D$ à direction verticale, le troisième $D-E$ horizontal. Les charges appliquées sont : une force concentrée F , une charge répartie $q = F/a$.

Déterminez :

1. L'équilibre de cette poutre.
2. Les diagrammes de tous les efforts.
3. Les déplacements de la force concentrée F , de l'appui C et du point E .



Exercice 8.46

Un cadre, à rigidité flexionnelle constante, se compose de trois tronçons $B-C$, $C-D$ et $D-E$. Les deux tronçons verticaux sont encastrés à leur partie inférieure dans des appuis supposés indéformables. Le tronçon supérieur horizontal est sollicité par une charge répartie q constante.

Déterminez :

1. Les réactions d'appui aux points B et E .
2. Les diagrammes des efforts dans le cadre.
3. La ligne élastique sous la charge, le déplacement du point milieu de $C-D$, les rotations aux points C et D .

Exercice 8.47

Un cadre fermé, à rigidité flexionnelle constante, comprend quatre tronçons de même longueur a . Cette structure est soumise à l'action de deux forces F directement opposées aux points C et E .

Déterminez :

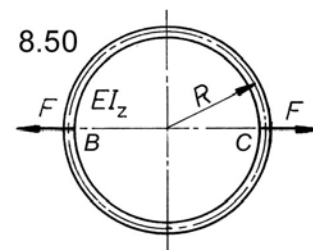
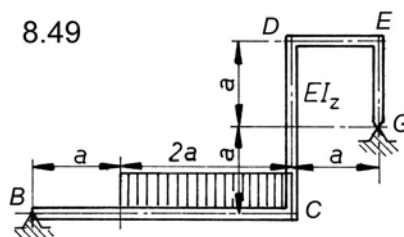
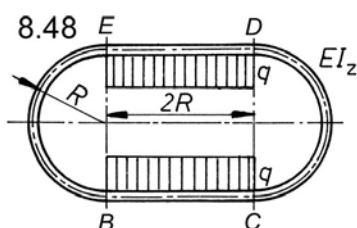
1. Les lignes élastiques dans chacun des tronçons en fonction de a , $E I_z$ et F .
2. Le déplacement de la force de droite par rapport à celle de gauche.

Exercice 8.48

Une structure métallique se compose de quatre tronçons : deux tronçons rectilignes de longueur $2R$, deux tronçons en arc des cercle sur 180° , rayon moyen R . La rigidité flexionnelle de tous les tronçons vaut $E I_z$. Les deux tronçons rectilignes sont sollicités par une charge répartie q .

Déterminez :

1. Les lignes élastiques dans chacun des tronçons.
2. Le déplacement des points B et C par rapport au point E en supposant que le côté $D-E$ reste horizontal.



Exercice 8.49

Une poutre coudée se compose de quatre tronçons rectilignes, le premier de longueur $3a$, le deuxième de longueur $2a$, le troisième et le quatrième de longueur a . La rigidité flexionnelle $E I_z$ est identique dans ces tronçons. La pièce est articulée sur des appuis fixes B et G . Elle est sollicitée par une charge répartie q dans le premier tronçon.

Déterminez :

1. Les réactions d'appui.
2. Les diagrammes des efforts.
3. Le déplacement des points C , D et E .

Exercice 8.50

Une pièce métallique est constituée par un anneau fermé de rayon moyen R et même rigidité flexionnelle $E I_z$. Elle est soumise à l'action de deux forces de traction F directement opposées.

Déterminez :

1. Les diagrammes de tous les efforts.
2. Les contraintes composantes et résultantes maximales ou minimales.
3. Le déplacement du point d'application de la force de droite par rapport à celui de la force de gauche.

Exercice 8.51

Une poutre rectiligne $B-C-D$, à rigidité flexionnelle constante $E I_z = \text{cte}$, est encastrée au point B , appuyée au point C avec un porte-à-faux dans le tronçon $C-D$. La distance entre appuis vaut $3a$, le tronçon $C-D$ ayant une longueur a . Les charges appliquées selon figure sont :

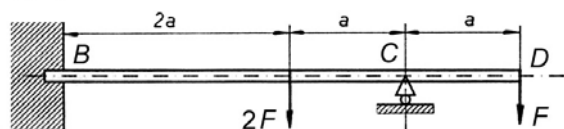
- Une force concentrée $2F$ à gauche de l'appui C .
- Une force concentrée F à droite de l'appui C .

Déterminez :

1. L'équilibre de la poutre, donc les réactions d'appui aux points B et C .
2. Les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants.
3. La contrainte maximale de flexion si le module de résistance à la flexion est W_z .
4. Les déformations linéaire et angulaire sur les lignes d'action des deux forces concentrées.
5. La construction et l'allure de la déformée au moyen du polygone funiculaire.

(Test du 10 octobre 1991)

8.51



Exercice 8.52

Un arbre de machine est centré sur deux paliers à roulements B et C , le premier palier B supportant les charges combinées, le second seulement les charges radiales. La fréquence de rotation de l'arbre est 16 tours par seconde. Cet élément d'entraînement supporte deux roues dentées à denture hélicoïdale.

Les caractéristiques des roues sont :

Distance entre les roues et les paliers

Milieu palier $B \rightarrow$ milieu roue 1 : 100 mm.

Milieu roue 1 \rightarrow milieu roue 2 : 100 mm.

Milieu roue 2 \rightarrow milieu palier C : 140 mm.

Roue 1 :

Diamètre primitif de fonctionnement : 97 mm.

Composante tangentielle : $F_{t1} = 10250$ N.

Composante radiale : $F_{r1} = 3800$ N.

Composante axiale : $F_{y1} = 2300$ N.

Roue 2 :

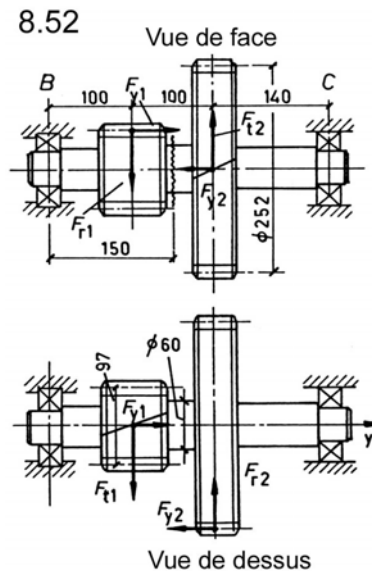
Diamètre primitif de fonctionnement : 252 mm ;

Composante tangentielle : $F_{t2} = 3945$ N.

Composante radiale : $F_{r2} = 1500$ N.

Composante axiale : $F_{y2} = 960$ N.

Les directions et les sens de ces composantes sont représentées sur la figure.



Déterminez :

1. Les composantes et les résultantes des réactions d'appui en B et C .
2. Les diagrammes des efforts dans la vue de face.
3. Les diagrammes des efforts dans le vue de dessus.
4. La représentation des efforts dans l section circulaire de contrôle placée à 150 mm du palier B , le diamètre de l'arbre étant 60 mm. Représentation de la coupe à l'échelle 1 à 2, la section étant vue dans le sens des distances croissantes de B vers C .
5. Le contrôle de toutes les contraintes simples dans cette section, la position de l'axe à contraintes normales nulles, la valeur de la contrainte tangentielle maximale en positionnant le point de contrôle sur la section, la contrainte normale maximale ou minimale avec indication du point correspondant.

(Test en novembre 1992)

Exercice 8.53

Première partie du problème

Une poutre rectiligne, à rigidité flexionnelle constante, longueur $l = 5 a$, est encastree aux deux extrémités B et C . Cette pièce est soumise à quatre forces concentrées disposées symétriquement :

- A la distance a des encastremets : forces F .
- A la distance $2a$ des encastremets : forces $2F$.

Déterminez en fonction des grandeurs a et F :

1. Les réactions forces aux points B et C .
2. Les réactions couples aux points B et C .
3. Les diagrammes des efforts tranchants.
4. Les diagrammes des moments fléchissants.

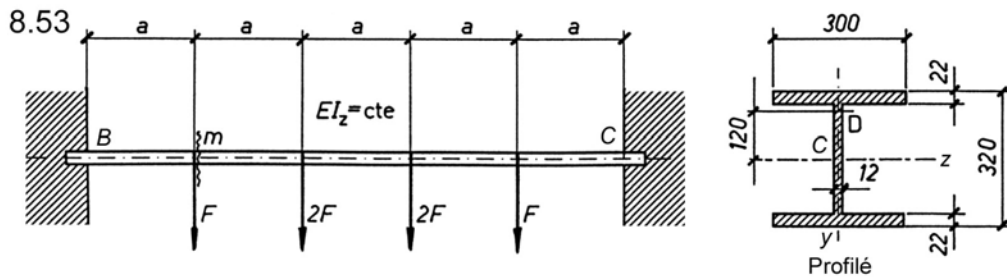
Deuxième partie du problème

La distance a vaut 1600 mm, la force $F = 50\,000$ N. Les dimensions transversales du profilé de la poutre sont données en mm sur la figure.

Déterminez, sous forme numérique, en négligeant le poids propre :

1. Les caractéristiques géométriques A , I_z , S_z^* et W_z de la section.
2. Les valeurs maximales et minimales de l'effort tranchant et du moment fléchissant.
3. Les contraintes normale et tangentielle maximale et minimale.
4. Les contraintes au point D de la section m située à droite de la première force concentrée, distance 120 mm de l'axe Cz de symétrie du profil en dessinant le cercle de Mohr des contraintes.

(Test du 6 novembre 1991, durée 75 minutes)



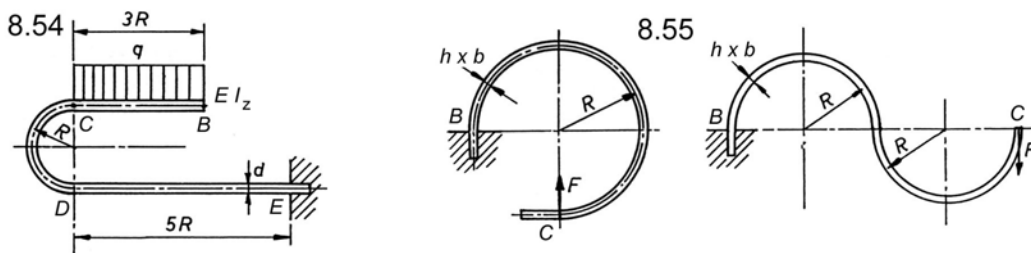
Exercice 8.54

Une pièce coudée selon figure, encastree au point E , à section circulaire de diamètre d , est sollicitée par une charge répartie q sur la longueur $3R$, avec R le rayon moyen de la partie cintrée.

Déterminez :

1. L'équilibre de cette pièce et tous les diagrammes des efforts.
2. Les expressions des contraintes maximales.
3. Le déplacement du point B dans la direction verticale en ne tenant compte que de l'effet de la flexion.

Donnez les résultats seulement sous forme littérale.



Exercice 8.55

Deux pièces à section constante sont constituées soit par un arc de cercle sur 270° , soit deux arcs de cercle sur 180° selon figure 8.55. Ces deux pièces sont sollicitées par une force concentrée F placée au point C .

Déterminez :

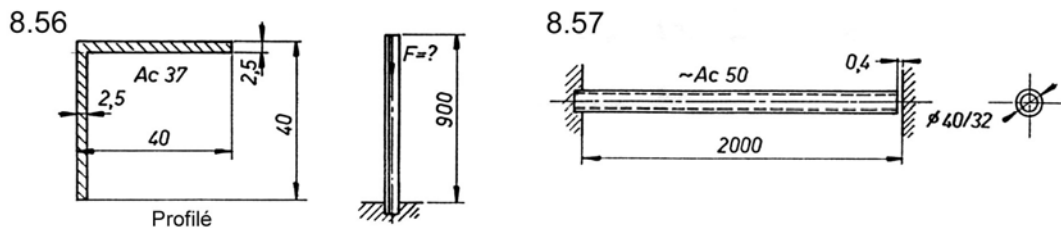
1. Les diagrammes des moments fléchissants dans ces deux pièces.
2. Le déplacement du point d'application de la force F , selon sa propre direction, en tenant compte seulement de l'effet de la flexion. Les dimensions transversales de la section rectangulaire sont b et h :
 - a. Pièce incurvée sur 270° .
 - b. Pièce constituée par deux arcs de cercle successifs.

Exercice 8.56

Une barre rectiligne, en acier nuance Ac 37, est encastrée à sa partie inférieure, libre à sa partie supérieure, sollicitée par une force axiale F passant par le centre de gravité de la section dont les dimensions sont données sur la figure.

Déterminez :

1. Les caractéristiques géométriques de la section transversale constituée par un profilé cornière, à ailes égales, à angles droits, $40 \cdot 2,5$ mm.
2. La charge axiale applicable si le coefficient de sécurité au flambement doit être 4.



Exercice 8.57

Un tube en acier, nuance correspondant approximativement à Ac 50, diamètres 40 / 32 mm, est encastré à gauche, libre à droite avec un jeu axial de montage de 0,4 mm à la température ambiante.

Déterminez :

1. La charge critique de ce tube en introduisant dans les calculs le cas II de flambement.
2. L'élévation de température nécessaire pour atteindre cette charge critique sachant que le coefficient de dilatation linéaire vaut $12,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Table 1 : Caractéristiques mécaniques des matières métalliques
Alliages d'aluminium corroyé : bandes, tôles et planches
 Choix selon DIN EN 485-2 (03.95). Valeurs tirées de FKM

Matériau	Etat	Dimensions en mm		Valeurs des résistances exprimées en N/mm ²							A	Dureté
		>	≤	R _m	R _é	R _a	R _{pul}	R _{fa}	R _{ca}	R _{ta}	en %	HB
EN AW-2014 Al Cu4SiMg	T4 T451	≥0,4	1,5	395	240	120	85	140	70	85	14	110
		1,5	6,0	395	240	120	85	140	70	85	14	110
		6,0	12,5	400	250	120	90	140	70	85	14	112
		12,5	40,0	400	250	120	90	140	70	85	10	112
		40,0	100,0	395	250	120	85	140	70	85	7	111
EN AW-2017A Al Cu4MgSi	T4 T451	≥0,4	1,5	390	245	115	85	135	70	85	14	110
		1,5	6,0	390	245	115	85	135	70	85	15	110
		6,0	12,5	390	260	115	85	135	70	85	13	111
		12,5	40,0	390	250	115	85	135	70	85	12	110
		40,0	100,0	385	240	115	85	135	65	85	10	108
		100,0	120,0	370	240	110	85	130	65	80	8	105
EN AW-2024 Al Cu4Mg1	T3 T351	≥0,4	1,5	435	290	130	95	150	75	95	12	123
		1,5	3,0	435	290	130	95	150	75	95	14	123
		3,0	6,0	440	290	130	95	150	75	95	14	124
		6,0	12,5	440	290	130	95	150	75	95	13	124
		12,5	40,0	430	290	130	95	150	75	90	11	122
		40,0	80,0	420	290	125	90	145	75	90	8	120
		80,0	100,0	400	285	120	90	140	70	85	7	115
		100,0	120,0	380	270	115	85	135	65	85	5	110
EN AW-5049 Al Mg2Mn0,8	H14	≥0,2	1,5	240	190	70	60	90	40	55	3	72
		1,5	6,0	240	190	70	60	90	40	55	4	72
		6,0	12,5	240	190	70	60	90	40	55	5	72
		12,5	25,0	240	190	70	60	90	40	55	6*	72
EN AW-5052 Al Mg2,5	H14	≥0,2	1,5	230	180	70	60	85	40	55	3	69
		1,5	6,0	230	180	70	60	85	40	55	4	69
		6,0	12,5	230	180	70	60	85	40	55	5	69
		12,5	25,0	230	180	70	60	85	40	55	4*	69
EN AW-5251 Al Mg2	H14	≥0,2	1,5	210	170	65	55	80	35	50	2	64
		1,5	3,0	210	170	65	55	80	35	50	3	64
		3,0	6,0	210	170	65	55	80	35	50	4	64
		6,0	12,5	210	170	65	55	80	35	50	5	64
EN AW-5154A Al Mg3,5(A)	H14	≥0,2	0,5	270	220	80	65	100	45	60	2	81
		0,5	3,0	270	220	80	65	100	45	60	3	81
		3,0	6,0	270	220	80	65	100	45	60	4	81
		6,0	12,5	270	220	80	65	100	45	60	5	81
		12,5	25,0	270	220	80	65	100	45	60	4*	81
EN AW-5754 Al Mg3	H 14	≥0,2	1,5	240	190	70	60	90	40	55	3	72
		1,5	6,0	240	190	70	60	90	40	55	4	72
		6,0	12,5	240	190	70	60	90	40	55	5	72
		12,5	25,0	240	190	70	60	90	40	55	5*	72
EN AW-5083 Al Mg4,5Mo0,7	H14	≥0,2	0,5	340	280	100	80	120	60	75	2	102
		0,5	6,0	340	280	100	80	120	60	75	3	102
		6,0	12,5	340	280	100	80	120	60	75	4	102
		12,5	25,0	340	280	100	80	120	60	75	3*	102
EN AW-5086 Al Mg 4	H14	≥0,2	0,5	300	240	90	70	110	50	65	2	90
		0,5	6,0	300	240	90	70	110	50	65	3	90
		6,0	12,5	300	240	90	70	110	50	65	4	90
		12,5	25,0	300	240	90	70	110	50	65	3*	90

Allongement de rupture A avec une longueur de mesure 50 mm, avec (*) 5 fois le diamètre de l'éprouvette.

Table 1 : Alliages d'aluminium corroyé : bandes, tôles et planches
 Choix selon DIN EN 485-2 (03.95). Valeurs tirées de FKM

Matériau	Etat	Dimensions en mm		Valeurs des résistances exprimées en N/mm ²							A	Dureté
		>	≤	R _m	R _é	R _a	R _{pul}	R _{fa}	R _{ca}	R _{ta}	%	HB
EN AW-5754 Al Mg3	H24 / H32	0,2	1,5	240	160	70	60	90	40	55	6	70
		1,5	3,0	240	160	70	60	90	40	55	7	70
		3,0	6,0	240	160	70	60	90	40	55	8	70
		6,0	12,5	240	160	70	60	90	40	55	10	70
		12,5	25,0	240	160	70	60	90	40	55	8*	70
EN AW-5086 Al Mg4	H14	0,2	0,5	300	240	90	70	110	50	65	2	90
		0,5	6,0	300	240	90	70	110	50	65	3	90
		6,0	12,5	300	240	90	70	110	50	65	4	90
		12,5	25,0	300	240	90	70	110	50	65	3*	90
EN AW-7020 Al Zn4,5Mg1	T6 / T62 T651	0,4	1,5	350	280	105	80	125	60	75	7	104
		1,5	3,0	350	280	105	80	125	60	75	8	104
		3,0	6,0	350	280	105	80	125	60	75	10	104
		6,0	12,5	350	280	105	80	125	60	75	10	104
EN AW-7075 Al Zn5,5MgCu	T62 T651	12,5	25,0	540	470	160	110	180	95	115	6*	161
		25,0	50,0	530	460	160	105	180	90	110	5*	158
		50,0	60,0	525	440	160	105	175	90	110	4*	155
		60,0	80,0	495	420	150	100	170	85	105	4*	147
		80,0	90,0	490	390	145	100	165	85	105	4*	144
		90,0	100,0	460	360	140	95	160	80	100	3*	135
		100,0	120,0	410	300	125	90	145	70	90	2*	119
		120,0	150,0	360	260	110	80	130	60	80	2*	104

Allongement de rupture A avec une longueur de mesure 50 mm, avec (*) 5 fois le diamètre de l'éprouvette.

Table 2 : Alliages d'aluminium de fonderie (coulée dans le sable)
 Choix selon DIN EN 1706 (06/98). Valeurs tirées de FKM

Désignation de l'alliage		Etat	Valeurs des résistances exprimées en N/mm ²							A ₅₀	Dureté
Numérique EN AC-...	Chimique EN AC-...		R _{m,N}	R _{é,N}	R _{a,N}	R _{pul,N}	R _{fa,N}	R _{ca,N}	R _{ta,N}	en %	HBS
AC-21000	Al Cu4MgTi	T4	300	200	90	60	130	65	100	3	90
Ac-21100	Al Cu4Ti	T6	300	200	90	60	130	65	100	3	95
		T64	280	180	85	55	125	65	95	5	85
AC-41000	Al Si2MgTi	F	140	70	40	30	65	30	50	3	50
		T6	240	180	70	50	105	55	80	3	85
AC-42100	Al Si 7Mg0,3	T6	230	190	70	50	105	50	80	2	75
AC-42200	Al Si 7Mg0,6	T6	250	210	75	50	110	55	85	1	85
AC-43100	Al Si 10Mg(a)	F	150	80	45	35	70	35	50	2	50
		T6	220	180	65	45	100	50	75	1	75
AC-43300	Al Si 9Mg	T6	230	190	70	50	105	50	80	2	75
AC-44000	Al Si 11	F	150	70	45	35	70	35	50	6	45
AC-44100	Al Si 12	F	150	70	45	35	70	35	50	4	50
AC-45000	Al Si6Cu4	F	150	70	45	35	70	35	50	5	50
AC-45200	Al Si 5Cu3Mn	F	140	70	40	30	65	30	50	1	60
		T6	230	200	70	50	105	50	80	<1	90
AC-46200	Al Si 8Cu3	F	150	90	45	35	70	35	50	1	60
AC-47000	Al Si 12(Cu)	F	150	80	45	35	70	35	50	1	50
AC-51000	Al Mg3(b)	F	140	70	40	30	65	30	50	3	50
AC-51300	Al Mg5	F	160	90	50	35	75	35	55	3	55
AC-71000	Al Zn5Mg	T1	190	120	55	40	85	45	65	4	60

Eprouvette coulée séparément de la pièce.

Table 3 : Alliages d'aluminium de fonderie (coulée en coquille)

Choix selon DIN EN 1706 (06/98). Valeurs tirées de FKM

Désignation de l'alliage		Etat	Valeurs des résistances exprimées en N/mm ²							A ₅₀	Dureté
Numérique EN AC-...	Chimique EN AC-...		R _{m,N}	R _{e,N}	R _{a,N}	R _{pul,N}	R _{fa,N}	R _{ca,N}	R _{ta,N}	en %	HBS
AC-21000	Al Cu4MgTi	T4	320	200	95	65	140	70	105	8	95
Ac-21100	Al Cu4Ti	T6	330	220	100	65	145	75	110	7	95
		T64	320	180	95	65	140	70	105	8	90
AC-41000	Al Si2MgTi	F	170	70	50	35	75	40	60	5	50
		T6	260	180	80	55	115	60	90	5	85
AC-42100	Al Si 7Mg0,3	T6	290	210	85	60	130	65	100	4	90
		T64	250	180	75	50	110	55	85	8	80
AC-43000	Al Si 10Mg(a)	F	180	90	55	40	80	40	60	2,5	55
		T6	260	220	80	55	115	60	90	1	90
		T64	240	200	70	50	105	55	80	2	80
AC-43200	Al Si 10Mg(Cu)	F	180	90	55	40	80	40	60	1	55
		T6	240	200	70	50	105	55	80	1	80
AC-43300	Al Si 9Mg	T6	290	210	85	60	130	65	100	4	90
		T64	250	180	75	50	110	55	85	6	80
AC-44000	Al Si 11	F	170	80	50	35	75	40	60	7	45
AC-44100	Al Si 12(b)	F	170	80	50	35	75	40	60	5	55
AC-44200	Al Si 12(a)	F	170	80	50	35	75	40	60	6	55
AC-45000	Al Si6Cu4	F	170	100	50	35	75	40	60	1	75
AC-45200	Al Si 5Cu1Mn	F	160	80	50	35	75	35	55	1	70
		T6	280	230	85	55	125	65	95	<1	90
AC-45400	Al Si5Cu3	T4	230	110	70	50	105	50	80	6	75
AC-46200	Al Si 8Cu3	F	170	100	50	35	75	40	60	1	75
AC-46400	Al Si9Cu1Mg	F	170	100	50	35	75	40	60	1	75
		T6	275	235	85	55	120	60	95	1,5	105
AC-46600	Al Si7Cu2	F	170	100	50	35	75	40	60	1	75
AC-47000	Al Si 12(Cu)	F	170	90	50	35	75	40	60	2	55
AC-48000	Al Si12CuNiMg	T5	170	185	60	75	90	45	70	<1	90
		T6	275	240	85	55	125	65	95	<1	100
AC-51000	Al Mg3(b)	F	150	70	45	35	70	35	50	5	50
AC-51100	Al Mg3(a)	F	150	70	45	35	70	35	50	5	50
AC-51300	Al Mg5	F	180	100	55	40	80	40	60	4	60
AC-51400	Al Mg5(Si)	F	180	110	55	40	80	40	60	3	65
AC-71000	Al Zn5Mg	T1	210	130	65	45	95	45	70	4	65

Eprouvette coulée séparément de la pièce.

