

Table des matières

Avant-propos	15
Introduction	17
Chapitre 1. Méthodologie de conception par les études de cas	21
1.1. Méthodologie de conception d'un produit de projet	21
1.2. Les principaux intervenants en conception	22
1.3. La conceptualisation et la créativité	24
1.4. Analyse fonctionnelle en conception : la méthode FAST.	24
1.4.1. Outils d'aide à la décision de conception.	25
1.5. Le cahier des charges fonctionnel (CdCF).	27
1.5.1. Les fonctions de services par la méthode APTE ou diagramme pieuvre	28
1.5.2. La rédaction langagière (ou syntaxe) du CdCF	30
1.6. Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et leur criticité	31
1.7. La méthode PERT.	33
1.7.1. Logique de la construction du graphe par niveau des opérations	34
1.7.2. Approche statistique du diagramme PERT par la distribution Gamma	36
1.8. La méthode Gantt (diagramme ou graphe de Henry Gantt, 1910).	37
1.9. Principales fonctions d'un produit	40
1.10. Analyse fonctionnelle en conception mécanique	41
1.10.1. Le coût du produit en conception mécanique.	42

1.10.2. Feuilles de création et de suivi de dossiers de conception mécanique	42
1.11. Rédaction scientifique de projet	47
1.11.1. Conduite de projet	48
1.11.2. Développement du modèle conceptuel	49
1.11.3. Développement (rappel) en modèle de spirale	50
1.12. Esthétique des matériaux en conception mécanique	50
1.13. Conclusion	52

Chapitre 2. Les matériaux et la géométrie

en conception mécanique appliquée, suivis d'études de cas 53

2.1. Introduction aux matériaux en conception.	53
2.2. Optimisation de la masse en conception mécanique	57
2.3. Étude de cas : modélisation basée sur le couple matériau-géométrie	58
2.4. La géométrie par les sections standards en RDM	61
2.4.1. Choix des matériaux en conception (avionique et vélo)	65
2.4.2. Facteurs de formes ψ de quelques sections usuelles.	67
2.4.3. Facteurs de formes en conception mécanique	68
2.5. Étude de cas : conception des objets multi-objectifs.	69
2.6. Étude de cas : matériaux bimétalliques superposés	73
2.7. Cambrure et éléments incurvés par balayage de métaux en feuilles.	76
2.7.1. Choix judicieux des matériaux des palmers	77
2.8. Conclusion	79

Chapitre 3. Spécification géométrique des produits GPS :

études de cas des assemblages en contacts hertziens 81

3.1. Introduction.	81
3.2. Tolérances dimensionnelles et géométriques en conception	82
3.3. Étude de cas : moyeu de vélo	85
3.4. Enveloppes et cylindres sollicités sous pressions pour $R/e < 20$	90
3.5. Étude de cas : contact hertzien.	93
3.6. Cylindres tournants de section ronde pleine : volant d'inertie	94
3.6.1. Matériaux pour volants d'inertie aux effets centrifuges	96
3.7. Ajustements serrés (<i>press fit</i>) et effets thermiques par frettage	98
3.8. Étude de cas : réservoirs cylindriques assemblés par boulonnage	101
3.9. Études de cas : contraintes de contact sur cylindre et sphère.	106

3.9.1. Premier cas : contact sphère sur sphère	108
3.9.2. Deuxième cas : contact cylindre sur cylindre parallèle	110
3.10. Conclusion	113

Chapitre 4. Conception des géométries incurvées par balayages

115

4.1. Introduction.	115
4.2. Étude de cas 1 : balayage (<i>sweep</i>) de cadres de section ronde pleine, problème 1	117
4.3. Étude de cas 2 : balayage (<i>sweep</i>) de cadres de section ronde pleine, problème 2	119
4.4. Étude de cas 3 : balayage (<i>sweep</i>) de cadres en U évasé	121
4.5. Étude de cas 4 : balayage (<i>sweep</i>) de barre de torsion	124
4.6. Étude de cas 5 : exemple d'une bielle en acier SAE 8650	126
4.7. Étude de cas 6 : double coudé balayé.	129
4.8. Étude de cas 7 : simple coudé balayé.	130
4.9. Conclusion	133

Chapitre 5. Principes de calculs en conception mécanique : théorie et problèmes RDM des constructions

135

5.1. Critères fondamentaux des constructions en conception	135
5.1.1. Concentrations de contrainte dans les arbres et les poutres	136
5.1.2. Sections réputées homogènes rondes pleines	136
5.1.3. Sections homogènes carrées, pleines avec section rétrécie.	137
5.1.4. Sections réputées homogènes carrées creuses, sans variation extérieure	138
5.1.5. Sections homogènes rondes, pleines avec épaulement (arbre épaulé)	138
5.1.6. Sections homogènes rectangulaires ou carrées, pleines avec gorge	139
5.1.7. Sections homogènes rondes et plates creuses (plat percé avec axe)	139
5.1.8. Sections réputées homogènes, rondes creuses (arbre avec gorge)	140
5.2. Principes de calculs des constructions en conception	140
5.2.1. Exemple : concentrations de contraintes	141
5.2.2. Étude de cas : angles de torsion	144
5.2.3. Étude de cas : critères de résistance de Tresca et de Von Mises.	147
5.3. Récipients et/ou conteneurs sous pression	150

5.4. Principes de calculs et méthode de résolution de sollicitations composées.	152
5.4.1. Étude de cas : serre mécanique.	155
5.4.2. Étude de cas : profilé contraint en élasticité	160
5.5. Flambage des éléments de machines, poutres, barres, arbres et tiges . . .	161
5.5.1. Étude de cas : flambage d'un profilé en I selon les spécifications AISI.	163
5.5.2. Étude de cas : profilés en I et U, réputés homogènes et isotropes	166
5.6. Dimensionnement des arbres stationnaires et de rotation	169
5.6.1. Conception (dimensionnement) des arbres sollicités en rigidité (torsion).	171
5.6.2. Étude de cas 1 résolue.	173
5.6.3. Étude de cas 2 résolue : cisaillement, moments, pente, flèche en élasticité.	173
5.7. Éléments de transmission de puissance : engrenages et poulies	176
5.7.1. Étude de cas 1 : transmission de puissance arbre-poulie	176
5.7.2. Étude de cas 2	178
5.7.3. Étude de cas 3	179
5.8. Dimensionnement et conception des accouplements	181
5.8.1. Dimensionnement d'un accouplement universel dit « de Hooke » .	183
5.9. Dimensionnement des poutres et colonnes	186
5.9.1. Étude de cas résolue : flexion et torsion d'un arbre	187
5.9.2. Étude de cas : moment fléchissant équivalent et moment idéal sur un arbre.	192
5.9.3. Étude de cas : maximum performance des bimatériaux précontraints	193
5.9.4. Étude de cas : flèche et flambage des éléments de machines	194
5.10. Étude de cas : méthode de Castigliano	195
5.11. Conclusion.	198

Chapitre 6. Bruits et vibrations de pièces de machines 199

6.1. Bruits et vibrations des systèmes mécaniques	199
6.1.1. Aérodynamisme des engins mécaniques	202
6.2. Études de cas : véhicules légers et camions.	203
6.2.1. Étude de cas : aviation civile	205
6.2.2. Étude de cas : hélice d'un hélicoptère de pompiers	207
6.3. Vibrations de machines en conception mécanique.	209
6.4. Études de cas avec solution numérique	214

6.4.1. Étude de cas : paramètres d'entrées : $M = 1$, $k = 1$, $\varphi_0 = 1$ et $c = 2.25$	215
6.4.2. Étude de cas : système de vibrations libres	215
6.4.3. Étude de cas : vibration angulaire, problème résolu et commenté	218
6.4.4. Étude de cas : problème 2 avec solution	219
6.4.5. Étude de cas : problème 3, moteur représenté sur deux ressorts	221
6.4.5.1. Dimensionnement des supports élastiques	224
6.4.6. Étude de cas basée sur un problème concret avec solution	225
6.5. Vitesses critiques des arbres dans les systèmes mécaniques	228
6.5.1. Étude de cas avec solution commentée	232
6.5.2. Méthode d'approximation par les équations de Dunkerley	235
6.5.3. Méthode d'approximation par les équations de Rayleigh-Ritz	236
6.5.4. Méthode d'approximation par les équations des fréquences de rotation	236
6.5.5. Méthode de résolution la fonction $F(\omega_c)$: racines $\rightarrow (r_0 \text{ et } r_1)$	237
6.6. Conclusion	238

Chapitre 7. Principes de calculs en fatigue et rupture 239

7.1. Éléments mécaniques de rupture par fatigue	239
7.2. Analyse des matériaux et dimensionnement en conception appliquée	241
7.3. Dimensionnement des liaisons pivots à roulements	244
7.3.1. Formules de base pour les calculs de la durée de vie	244
7.3.2. Détermination de la viscosité minimale nécessaire	250
7.4. Défauts de forme et de position des portées sur le jeu de fonctionnement	251
7.5. Frottement et vitesse des roulements	252
7.6. Dimensionnement de liaisons pivots à roulements et durée de vie	253
7.7. Étude de cas : position du problème	255
7.7.1. Jeu interne des roulements	256
7.8. Contraintes biaxiales combinées avec le cisaillement pour les matériaux ductiles par l'application concrète	258
7.9. Fondements du dimensionnement en conception mécanique : équations de Soderberg en fatigue des matériaux ductiles	259
7.9.1. Application des équations de Soderberg	260
7.9.2. Facteurs de concentration de contrainte	261
7.9.3. Étude de cas par l'exemple	262
7.10. Soudage et fatigue	265
7.10.1. Étude de cas : calcul de résistance des soudures en conception	266
7.10.2. Étude de cas : assemblage en croix soudé	267

7.10.3. Étude de cas : mécanique de la rupture et contraintes	271
7.10.4. Étude de cas : mécanique de la rupture par fatigue, cas de bielle	273
7.11. Limites de performance et de résistance dans le domaine élastique . . .	277
7.12. Proposition de projet de moteur d'un petit bateau hors-bord	279
7.13. Conclusion.	279

Chapitre 8. Frottements, freins et embrayages. 281

8.1. Frottements, matériaux et conception de systèmes assemblés	281
8.2. Arc-boutement des liaisons mécaniques	284
8.3. Étude de cas : principes de calculs de freins	288
8.3.1. Système de frein par sabot extérieur dit « système de bloc de freinage ».	288
8.3.2. Conception de bloc de freinage intérieur à sabot double	291
8.3.3. Conception de bloc de freinage à ruban (bande).	294
8.3.4. Exemples de principes de calculs des freins avec solutionnaires	296
8.3.5. Étude de cas : hypothèse du design du frein à double sabot	298
8.3.6. Étude de cas : hypothèse du frein à ruban de tambour de rayon R (mm et pouce).	300
8.3.7. Étude de cas : frein différentiel à rouleau pressé sur un tambour	301
8.3.8. Étude de cas : frein symétrique à sabots pressé sur un tambour de rayon R	302
8.4. Principes de calculs d'un embrayage ou disque à embrayage	306
8.4.1. Étude de cas : principes de calculs de systèmes d'embrayages	308
8.4.2. Analyse et choix des dimensions de l'embrayage à came	309
8.4.3. Dimensionnement d'un embrayage à came et étude de cas	310
8.4.4. Étude de cas : principes de calculs de systèmes d'embrayages en conception	313
8.4.5. Embrayage conique.	315
8.5. Volants d'inertie et jantes (disques et jante).	318
8.5.1. Volant pour disque solide	319
8.5.2. Système de volant avec jante et disques (intérieur et extérieur) en fonte.	321
8.5.3. Volant d'inertie : applications numériques	322
8.6. Conclusion	323

Chapitre 9. Dimensionnement des assemblages	325
9.1. Éléments élastiques de machines et assemblages boulonnés	325
9.2. Dimensionnement des assemblages boulonnés.	329
9.3. Fatigue, chocs et endurance des assemblages boulonnés	331
9.4. Les ressorts en conception mécanique.	333
9.4.1. Les matériaux et la géométrie des ressorts de compression	333
9.4.2. Étude de cas : ressorts hélicoïdaux en conception mécanique	346
9.4.3. Étude de cas : ressort dans un interrupteur de basculement	348
9.4.4. Vérification du flambage du ressort de compression	351
9.5. Ressorts à lame simple et à lame spirale	351
9.6. Principales expressions de calculs de conception des rondelles Belleville	352
9.7. Étude de cas : transmission de puissance, monte-charge	354
9.8. Étude de cas : transmission de puissance et frein simple à tambour	355
9.9. Étude de cas : transmission par accouplements	356
9.9.1. Étude de cas : analyse en conception des éléments de freinage	357
9.10. Étude de cas de transmission de puissance : embrayage à ressort externe	359
9.10.1. Études de cas : transmission de puissance (assemblage boulonné)	360
9.10.2. Études de cas : conception assistée par ordinateur d'un moyeu (assemblage boulonné)	362
9.11. Accouplements et éléments de machines sollicités à haute vitesse.	363
9.11.1. Détermination de l'erreur de position de l'arbre	364
9.11.2. Détermination de l'accélération de sortie de l'arbre.	366
9.12. Conception de bagues (anneaux) à ressort.	366
9.13. Étude de cas : principe de calculs d'une rondelle Belleville	369
9.14. Détermination du moment de serrage pour un assemblage boulonné	370
9.15. Transmission de puissance par engrenage épicycloïdal	371
9.16. Conclusion.	373
 Chapitre 10. Conception des produits plastiques	 375
10.1. Calculs de pièces plastiques	375
10.1.1. Paramètres mécaniques lors des essais de traction.	376
10.2. Emmanchement d'un coussinet dans un logement métallique	377
10.3. Étude de cas : clip cylindrique en polypropylène (PP).	379
10.3.1. Clip sphérique d'un PP : force exercée	381
10.4. Montage par types d'enclipsage : porte-à-faux contre cylindrique.	383

10.4.1. Porte-à-faux à conicité.	384
10.4.2. Porte-à-faux court	384
10.5. Configuration des languettes : interpolation <i>spline</i> à deux dimensions	386
10.6. Assemblage par pression.	389
10.7. Réduction de la relaxation des contraintes : boulons et vis taraudeuses	390
10.8. Étude de cas : raccord de tube.	391
10.9. Assemblage par emmanchement forcé.	393
10.10. Contrainte et dilatation thermiques dans les matériaux assemblés	396
10.10.1. Concentrations de contraintes	398
10.11. Capacité et fiabilité des roulements à rouleau (plastique et autres).	400
10.12. Contrainte sécuritaire du matériau adéquat d'engrenage en plastique	401
10.13. Étude de cas : roulements en plastique	403
10.13.1. Calcul de la durée de vie des roulements à rouleaux.	405
10.14. Limites des performances de la conception des polymères	406
10.15. Étude de cas : ventilateur avec pales en plastiques	407
10.16. Conclusion	408

Chapitre 11. Projets de conception mécanique 409

11.1. Projets proposés en conception mécanique	409
11.2. Études de cas : appareils de levage et de manutention.	410
11.3. Projets d'un treuil de levage.	410
11.3.1. Étude de cas : paramètres du dessin du crochet de levage	411
11.3.2. Principes de calculs de résistance d'un crochet de levage	412
11.3.3. Calcul et conception (choix) du ressort à boudin à fil rond.	414
11.4. Calcul et conception d'un assemblage boulonné	417
11.5. Rendement des transmissions de puissance d'un mécanisme à vis	420
11.5.1. Calculs de contraintes sur le filetage d'un mécanisme à vis	421
11.5.2. Calculs de contraintes à la racine du filetage d'un mécanisme à vis	422
11.5.3. Étude de cas : applications numériques	422
11.6. Projet 2, études de cas : trottinette	426
11.6.1. Présentation des pièces principales	428
11.7. Projet 3, études de cas : mannequin d'hygiène dentaire	430
11.7.1. Support de bridage sur la table de laboratoire en hygiène dentaire	436
11.7.2. Études de cas : liaison complète par blocage excentrique	439
11.7.3. Définition explicative photographique du produit final.	439

Conclusion	443
Annexes	445
Bibliographie	467
Index	471