

**L'USINE NOUVELLE**

SÉRIE | MÉCANIQUE ET MATÉRIAUX

Georges Henriot

# **E**NGRENAGES

Conception • Fabrication • Mise en œuvre

8<sup>e</sup> édition

DUNOD

## A

---

### Conception des engrenages

<b>1 • Rappel des notions fondamentales</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Théorie élémentaire sur les vecteurs</b>	<b>3</b>
1.1.1 Composition des forces, 3	
1.1.2 Rappel sur les moments, 5	
1.1.3 Systèmes de forces équivalents, 7	
<b>1.2 Vitesses et composition des vitesses</b>	<b>7</b>
1.2.1 Mouvements fondamentaux, 8	
1.2.2 Composition des mouvements : mouvement relatif, mouvement d'entraînement, mouvement absolu, 11	
<b>1.3 Mouvement d'un plan sur un plan fixe</b>	<b>15</b>
1.3.1 Centre instantané de rotation, 15	
1.3.2 Base et roulante du mouvement, 16	
1.3.3 Exemple d'application des propriétés du centre instantané de rotation, 18	
1.3.4 Formule et construction d'Euler-Savary, 19	
<b>2 • Surfaces primitives et surfaces de denture</b>	<b>24</b>
<b>2.1 Surfaces primitives</b>	<b>24</b>
2.1.1 Engrenages parallèles, 24	
2.1.2 Engrenages concourants, 27	
2.1.3 Engrenages gauches, 31	
<b>2.2 Surfaces de denture</b>	<b>31</b>
2.2.1 Engrenages parallèles, 32	
2.2.2 Engrenage concourants, 89	

<b>3 • Étude de l'engrènement des engrenages parallèles</b>	<b>116</b>
<b>3.1 Continuité d'engrènement</b>	<b>116</b>
3.1.1 Engrenages parallèles extérieurs, à denture droite,	116
3.1.2 Denture intérieure droite,	125
3.1.3 Denture hélicoïdale. Rapport de recouvrement. Rapport total de conduite,	127
<b>3.2 Interférences</b>	<b>134</b>
3.2.1 Engrenages parallèles extérieurs,	134
3.2.2 Engrenages parallèles intérieurs,	146
<b>3.3 Glissement</b>	<b>155</b>
3.3.1 Généralités,	155
3.3.2 Glissement relatif total de deux profils conjugués depuis le début jusqu'à la fin de l'action,	159
3.3.3 Glissement spécifique,	161
<b>4 • Corrections de denture</b>	<b>169</b>
<b>4.1 Mécanisme géométrique des corrections de denture</b>	<b>169</b>
4.1.1 Définitions,	169
4.1.2 Dentures déportées sans variation d'entraxe,	172
4.1.3 Dentures déportées avec variation d'entraxe,	177
<b>4.2 Utilisation des dentures déportées         pour éviter les interférences</b>	<b>194</b>
4.2.1 Engrenage parallèle, extérieur, à denture droite,	194
4.2.2 Engrenages à denture hélicoïdale,	197
<b>4.3 Équilibrage du glissement spécifique maximum         sur le pignon et la roue aux points extrêmes de contact</b>	<b>197</b>
4.3.1 Généralités,	197
4.3.2 Détermination des déports,	199
<b>4.4 Propositions ISO</b>	<b>201</b>
4.4.1 Diagramme,	201
4.4.2 Choix des déports $x_1$ et $x_2$ ,	201
<b>4.5 Influence des déports sur la géométrie des dentures</b>	<b>203</b>
<b>4.6 Engrenages multiplicateurs</b>	<b>204</b>
<b>4.7 Dentures hélicoïdales</b>	<b>205</b>
<b>4.8 Dentures intérieures</b>	<b>206</b>
<b>5 • Engrenages gauches : étude générale</b>	<b>214</b>
<b>5.1 Engrenages gauches hélicoïdaux</b>	<b>214</b>
5.1.1 Généralités,	214
5.1.2 Glissement relatif des dentures conjuguées,	220

- 5.1.3 Corrections de denture, 222
- 5.1.4 Calcul des éléments d'un engrenage gauche hélicoïdal, 222

<b>5.2 Engrenages à vis sans fin</b>	<b>226</b>
5.2.1 « Surfaces primitives », 226	
5.2.2 Formes de filets de vis, 228	
5.2.3 Relations géométriques entre les éléments des dentures, 232	
5.2.4 Vis à filet trapézoïdal ZA, 233	
5.2.5 Vis en hélicoïde développable ZI, 243	
5.2.6 Comparaison des différents types de filets de vis, 247	
5.2.7 Étude technologique de l'engrenage à vis sans fin (proportions normales), 249	
5.2.8 Zone de portée sur la roue et la vis, 254	
5.2.9 Influence des déports. Fonctionnement en « retraite », 256	
5.2.10 Engrenage à vis sans fin à pas différentiels (vis duplex), 263	
5.2.11 Engrenages à vis globique, 266	
<b>5.3 Engrenage « hypoïd » (appellation Gleason)</b>	<b>271</b>
<b>5.4 Engrenage de champ ou Face-Gear</b>	<b>273</b>
<b>5.5 Engrenage spiroïd et helicon</b>	<b>278</b>
<b>6 • Étude dynamique</b>	<b>281</b>
6.1 Unités adoptées	281
6.2 Efforts sur les dentures, les arbres et les paliers	281
6.2.1 Engrenages parallèles à denture droite, 281	
6.2.2 Engrenages parallèles à denture hélicoïdale, 285	
6.2.3 Engrenages concourants à denture droite, 287	
6.2.4 Engrenages concourants à denture hélicoïdale ou spirale, 290	
6.2.5 Engrenages à vis sans fin, 293	
<b>7 • Calcul des dentures des engrenages parallèles</b>	<b>299</b>
<b>INTRODUCTION : CONTRAINTES DE BASE</b>	<b>299</b>
<b>7.1 Pression superficielle</b>	<b>299</b>
7.1.1 Denture droite extérieure, 299	
7.1.2 Denture droite intérieure, 303	
7.1.3 Denture extérieure hélicoïdale, 305	
7.1.4 Formule de base (méthode B), 308	
<b>7.2 Résistance à la rupture</b>	<b>314</b>
7.2.1 Facteur de forme : méthode ISO, 316	
7.2.2 Facteur de conduite : $Y_{\sigma}$ , 325	
7.2.3 Facteur d'inclinaison : $Y_{\beta}$ , 327	

7.2.4 Facteur de concentration de contrainte :  $Y_{S\sigma}$ , 327

7.2.5 Formule de base ISO, 328

<b>FACTEURS GÉNÉRAUX D'INFLUENCE</b>	<b>330</b>
7.3 Méthode A	330
7.4 Méthodes B, C (D, E)	330
7.5 Force tangentielle, couple, puissance	331
7.6 Facteur d'application : $K_A$	331
7.6.1 Méthode B, 331	
7.6.2 Méthode C, 331	
7.7 Facteur dynamique : $K_V$	333
7.7.1 Détermination du facteur $K_{V \cdot B}$ , 333	
7.7.2 Détermination du facteur $K_{V \cdot C}$ , 341	
7.8 Facteurs de distribution de charge longitudinale : $K_{H\beta} - K_{F\beta}$	344
7.8 Facteurs de distribution de charge longitudinale	344
7.8.1 Détermination du facteur : $K_{H\beta \cdot B}$ , 344	
7.8.2 Détermination du facteur : $K_{H\beta \cdot C}$ , 344	
7.8.3 Détermination du facteur $K_{H\beta \cdot D}$ par méthode D, 349	
7.9 Facteurs de distribution de charge transversale : $K_{H\alpha} \cdot K_{F\alpha}$	352
7.9.1 Méthode B, 352	
7.9.2 Méthode simplifiée C, 354	
7.10 Rigidités des dents	354
7.10.1 Méthode B, 354	
7.10.2 Méthode C, 356	
<b>RÉSISTANCE À LA PRESSION SUPERFICIELLE</b>	<b>356</b>
7.11 Rappel des formules de base (méthode B)	356
7.12 Limite d'endurance pour la pression de Hertz du matériau : $\sigma_{H \cdot \text{lim}}$	357
7.13 Facteur de durée : $Z_{NT}$	359
7.14 Facteurs d'influence sur la formation du film d'huile	362
7.14.1 Méthode B, 363	
7.14.2 Méthode C, 366	
7.15 Facteur de rapport de duretés : $Z_W$	366
7.16 Facteur de dimension : $Z_X$	367
7.17 Courbe de Wohler à la pression superficielle	367

<b>RÉSISTANCE À LA RUPTURE</b>	<b>368</b>
7.18 Rappel des formules de base (méthode B)	368
7.19 Limite d'endurance du matériau : $\sigma_{FE}$	368
7.20 Facteur de durée : $Y_{NT}$	370
7.21 Facteur de sensibilité à l'entaille : $Y_{\delta \cdot rel \cdot T}$	372
7.22 Facteur de rugosité : $Y_{R \cdot rel \cdot T}$	373
7.23 Facteur de dimension : $Y_x$ (méthode B)	374
7.24 Courbe de Wohler à la rupture	375
<b>MÉTHODE D'APPLICATION POUR ENGRENAGES DE MÉCANIQUE GÉNÉRALE</b>	<b>375</b>
7.25 Méthode détaillée ( <i>detailed method</i> )	376
7.25.1 Limites d'application, 376	
7.25.2 Facteurs d'influence, 377	
7.25.3 Résistance superficielle, 378	
7.25.4 Résistance à la rupture, 378	
7.25.5 Conclusion, 379	
7.26 Méthode simplifiée ( <i>simplified method</i> )	379
7.26.1 Limites d'application, 379	
7.26.2 Charge nominale, 379	
7.26.3 Résistance à la pression superficielle, 379	
7.26.4 Résistance à la rupture, 385	
7.27 Applications : calcul de vérification de la capacité de charge d'un engrenage	389
7.27.1 Méthode « détaillée », 389	
7.27.2 Méthode « simplifiée », 391	
7.28 Utilisation de la méthode simplifiée au stade du projet	392
7.28.1 Facteur de service, 392	
7.28.2 Résistance superficielle, 392	
7.28.3 Résistance à la rupture, 394	
7.29 Cas d'un diagramme de charge variable	394
7.29.1 Courbe de Wohler à la pression superficielle, 394	
7.29.2 Courbe de Wohler à la résistance à la rupture, 395	
7.29.3 Diagramme de charge variable, 396	
7.29.4 Pression superficielle – Facteur d'application, 396	
7.29.5 Résistance à la rupture, 398	
7.29.6 Exemple d'application, 399	

<b>8 • Calcul des dentures des engrenages concourants</b>	<b>402</b>
<b>8.1 Formules générales</b>	<b>402</b>
<b>8.2 Facteurs d'influence</b>	<b>403</b>
8.2.1 Facteur d'application $K_{Ar}$	403
8.2.2 Facteur dynamique $K_{v}$	404
8.2.3 Facteurs de répartition longitudinale $K_{H\beta C}$ et $K_{F\beta C}$	405
8.2.4 Facteurs de répartition transversale $K_{H\alpha}$ et $K_{F\alpha}$	407
<b>8.3 Résistance superficielle</b>	<b>408</b>
8.3.1 Pression de contact nominale $\sigma_{HO}$	408
8.3.2 Pression de contact de fonctionnement	410
8.3.3 Pression de contact admissible $\sigma_{HP}$	410
<b>8.4 Résistance à la rupture</b>	<b>411</b>
8.4.1 Contrainte de rupture nominale $\sigma_{FO}$	411
8.4.2 Contrainte de rupture de fonctionnement	414
8.4.3 Contrainte de rupture admissible	415
<b>8.5 Méthode industrielle simplifiée</b>	<b>415</b>
8.5.1 Pression superficielle	415
8.5.2 Utilisation de la norme AGMA 2005 C96	418
<b>9 • Modifications de la forme des dentures des engrenages parallèles</b>	<b>421</b>
<b>9.1 Modifications dans le sens du profil</b>	<b>421</b>
9.1.1 Compensation de la flexion des dents	421
9.1.2 Utilisation d'une denture High Contact Ratio (grand rapport de conduite)	424
9.1.3 Compensation des écarts thermiques	431
<b>9.2 Modifications dans le sens longitudinal</b>	<b>432</b>
9.2.1 Compensation de la déformation du corps du pignon	432
9.2.2 Influence du faux parallélisme	434
9.2.3 Cas de l'utilisation de paliers lisses avec un engrenage à denture hélicoïdale	434
9.2.4 Exécution d'un bombé longitudinal sans distorsion ou faux parallélisme	435
9.2.5 Exécution d'un bombé longitudinal avec distorsion	442
9.2.6 Compensation de déformation thermique	443
<b>9.3 Modification éventuelle des dentures HCR</b>	<b>445</b>
<b>10 • calcul de résistance des engrenages à vis sans fin</b>	<b>447</b>
<b>10.1 Proposition DIN 3996</b>	<b>447</b>
10.1.1 Résistance superficielle au pitting	447
10.1.2 Résistance à la rupture des dents de la roue	449

<b>10.2 Norme BS 721</b>	<b>452</b>
10.2.1 Résistance au pitting (de la roue), 452	
10.2.2 Résistance à la rupture, 455	
<b>11 • Rendement dans les différents types d'engrenages. Capacité thermique</b>	<b>458</b>
<b>11.1 Généralités</b>	<b>458</b>
<b>11.2 Engrenages parallèles</b>	<b>459</b>
11.2.1 Perte dans les dentures dépendant de la charge : $P_{M_r}$ , 459	
11.2.2 Perte dans les paliers dépendant de la charge : $P_{B_r}$ , 462	
11.2.3 Perte dans les joints ne dépendant pas de la charge : $P_{S_r}$ , 463	
11.2.4 Perte par brassage et ventilation dans les engrenages : $P_{W_G}$ , 463	
11.2.5 Perte par brassage dans les paliers : $P_{W_G}$ , 463	
11.2.6 Dissipation thermique, 464	
11.2.7 Facteurs de correction de la capacité thermique, 464	
11.2.8 Lubrification par injection, 464	
<b>11.3 Engrenages à vis sans fin</b>	<b>466</b>
11.3.1 Perte dans les dentures dépendant de la charge, 467	
11.3.2 Perte de puissance dans les paliers dépendant de la charge, 469	
<b>12 • Détériorations des engrenages. Formation du film d'huile. Choix du lubrifiant</b>	<b>470</b>
<b>12.1 Détériorations des engrenages</b>	<b>470</b>
12.1.1 Détériorations par rupture, 470	
12.1.2 Détériorations superficielles, 473	
<b>12.2 Formation du film d'huile</b>	<b>480</b>
12.2.1 Unités de viscosité, 480	
12.2.2 Formation du film d'huile. Épaisseur minimale du film d'huile, 481	
12.2.3 Influence du lubrifiant sur les détériorations superficielles, 486	
12.2.4 Détermination de la viscosité du lubrifiant, 489	
12.2.5 Essai d'huile : appareil FZG, 493	
12.2.6 Cas extrêmes de problèmes de lubrification, 495	
<b>13 • Trains planétaires</b>	<b>500</b>
<b>13.1 Trains planétaires simples</b>	<b>500</b>
13.1.1 Trains plans à roues cylindriques, 500	
13.1.2 Trains planétaires à roues coniques, 534	
<b>13.2 Trains planétaires spéciaux pour grands rapports</b>	<b>537</b>
13.2.1 Train imbriqué, 537	
13.2.2 Variante du train III, 544	
13.2.3 Train avec satellite simple récepteur, 546	

<b>13.3 Trains composés</b>	<b>548</b>
<b>13.4 Calculs de résistance</b>	<b>557</b>
13.4.1 Résistance superficielle, 557	
13.4.2 Résistance à la rupture, 558	
13.4.3 Égalisation de la résistance superficielle et de la résistance à la rupture, 559	
13.4.4 Influence du nombre de cycles, 560	
<b>14 • Matériaux. Traitements thermiques</b>	<b>563</b>
<b>14.1 Introduction</b>	<b>563</b>
<b>14.2 Aciers</b>	<b>566</b>
14.2.1 Traitements thermiques complets, 566	
14.2.2 Traitements thermiques superficiels, 567	
14.2.3 Trempe superficielle par induction, 575	
14.2.4 Domaines d'application des procédés de traitements thermiques superficiels, 576	
<b>14.3 Fontes</b>	<b>576</b>
14.3.1 Fontes grises, 576	
14.3.2 Fontes ductiles, 579	
<b>14.4 Bronzes</b>	<b>581</b>
14.4.1 Bronzes à l'étain et phosphore, 581	
14.4.2 Bronzes au manganèse, 581	
14.4.3 Bronzes à l'aluminium, 581	
14.4.4 Bronzes au silicium, 582	

## **B**

---

### Fabrication et contrôle des engrenages

<b>15 • Taillage des roues cylindriques</b>	<b>585</b>
<b>15.1 Taillage par fraise de forme</b>	<b>585</b>
<b>15.2 Taillage par génération</b>	<b>586</b>
15.2.1 Taillage par outil-crémaillère, 587	
15.2.2 Taillage par fraise mère, 593	
15.2.3 Taillage par outil-pignon, 607	

<b>16 • Taillage des roues coniques</b>	<b>614</b>
<b>16.1 Introduction</b>	<b>614</b>
<b>16.2 Denture droite</b>	<b>615</b>
<b>16.3 Denture hélicoïdale</b>	<b>618</b>
<b>16.4 Dentures spirales</b>	<b>618</b>
16.4.1 Denture spirale Gleason, 619	
16.4.2 Denture spirale Oerlikon-Klingelberg, 625	
<b>17 • Taillage des engrenages à vis sans fin</b>	<b>629</b>
<b>17.1 Vis sans fin</b>	<b>629</b>
17.1.1 Taillage de la vis sans fin, 629	
17.1.2 Rectification du filet de vis, 630	
<b>17.2 Roues à vis sans fin</b>	<b>631</b>
17.2.1 Taillage par avance radiale, 631	
17.2.2 Taillage par avance tangentielle, 631	
17.2.3 Répercussion de l'usure de la fraise mère, 632	
17.2.4 Taillage par outils-mouches, 632	
17.2.5 Utilisation d'une fraise de diamètre augmenté, 634	
<b>18 • Rectification des roues cylindriques</b>	<b>635</b>
<b>18.1 Introduction</b>	<b>635</b>
<b>18.2 Rectification par génération</b>	<b>635</b>
18.2.1 Procédé Maag, 635	
18.2.2 Procédé Hofler, 639	
18.2.3 Procédé Reishauer, 641	
<b>18.3 Rectification par meule de forme</b>	<b>642</b>
18.3.1 Cas de la denture hélicoïdale, 646	
<b>19 • Rasage (shaving) et superfinition (honing) des roues cylindriques</b>	<b>647</b>
<b>19.1 Rasage (shaving)</b>	<b>647</b>
19.1.1 Méthode longitudinale, 648	
19.1.2 Méthode « oblique », 649	
19.1.3 Méthode « transversale », 649	
19.1.4 Méthode « en plongée », 650	
<b>19.2 Honing</b>	<b>652</b>

<b>20 • Tolérances des dentures. Contrôle</b>	<b>656</b>
<b>20.1 ISO 1328 Partie 1</b>	<b>657</b>
20.1.1 Division, 657	
20.1.2 Profil, 658	
20.1.3 Erreurs d'hélice, 661	
<b>20.2 ISO 1328 Partie 2</b>	<b>663</b>
20.2.1 Faux rond de denture : Fr, 663	
20.2.2 Erreur composée radiale d'une roue, 663	
20.2.3 Erreur composée tangentielle d'une roue, 664	
<b>20.3 Bases d'établissement du système de tolérances</b>	<b>664</b>
20.3.1 Tolérances des écarts d'erreurs de denture d'une roue, 665	
20.3.2 Épaisseur des dents, 666	
20.3.3 Contrôle du corps de roue, 668	
20.3.4 Contrôle de l'engrenage monté, 668	
20.3.5 Jeu entre dents, 669	
20.3.6 Groupes de fonction de tolérances, 669	
<b>20.4 Contrôles relatifs aux flancs homologues</b>	<b>671</b>
20.4.1 Division, 671	
20.4.2 Profil, 674	
20.4.3 Contrôle de l'hélice, 681	
20.4.4 Contrôle de l'épaisseur des dents, 681	
20.4.5 Contrôle de l'erreur composée, 690	
20.4.6 Appareils combinés 3D, 692	
20.4.7 Contrôle de l'état de surface, 693	
20.4.8 Valeurs indicatives de $R_a$ , 699	

## C

### Ensembles à engrenages

<b>21 • Ensembles simples de mécanique générale</b>	<b>703</b>
21.1 Classification. Dispositions générales	703
21.2 Gamme d'entraxes	709
21.3 Capacité de charge mécanique	709
21.4 Rapports normalisés	712
21.5 Proportions des roues	712
21.6 Réducteurs à deux trains	712

<b>21.7 Réducteurs à trois trains</b>	<b>714</b>
<b>21.8 Capacité thermique : <math>P_{th}</math></b>	<b>715</b>
<b>21.9 Calcul des arbres</b>	<b>717</b>
<b>21.10 Lubrification</b>	<b>718</b>
21.10.1 Modes de lubrification par barbotage, 718	
21.10.2 Lubrification par injection, 719	
21.10.3 Types de lubrifiants, 720	
<b>21.11 Frettage</b>	<b>721</b>
21.11.1 Formules de base, 721	
21.11.2 Pression de contact entre les deux éléments, 722	
21.11.3 Effort total de contact entre les deux éléments, 722	
21.11.4 Sécurité au glissement $K$ , 722	
21.11.5 Coefficient de frottement $f$ , 722	
21.11.6 Cas d'un centre de roue de forme plus compliquée, 723	
21.11.7 Contraintes de frettage, 723	
<b>22 • Exemples de transmissions dans l'industrie du ciment</b>	<b>730</b>
<b>22.1 Commande latérale de broyeur et de four à ciment horizontaux</b>	<b>730</b>
<b>22.2 Commande centrale des broyeurs horizontaux</b>	<b>733</b>
22.2.1 Réducteurs à trains d'engrenages parallèles, 734	
22.2.2 Réducteurs à trains planétaires, 736	
<b>22.3 Broyeurs verticaux</b>	<b>737</b>
<b>23 • Transmissions pour industrie sidérurgique</b>	<b>740</b>
<b>24 • Facteurs de service pour ensembles de mécanique générale</b>	<b>744</b>
<b>25 • Ensembles à grande vitesse</b>	<b>746</b>
<b>25.1 Introduction</b>	<b>746</b>
<b>25.2 Dispositions générales</b>	<b>746</b>
25.2.1 Denture en chevron, 746	
25.2.2 Denture hélicoïdale simple, 746	
25.2.3 Denture hélicoïdale simple avec collets de butée, 746	
25.2.4 Denture hélicoïdale simple avec arbre de liaison torsible du côté roue, 746	
25.2.5 Denture hélicoïdale simple avec arbres de liaison torsibles du côté roue et du côté pignon, 748	
<b>25.3 Proportions de denture</b>	<b>748</b>
<b>25.4 Calculs de résistance</b>	<b>749</b>
<b>25.5 Série de « très grande largeur » pour réducteurs à très grande vitesse et faibles rapports</b>	<b>753</b>

25.6 Facteurs de service	755
25.7 Lubrification	756
<b>26 • Transmissions de marine</b>	<b>757</b>
26.1 Transmissions par turbine	757
26.2 Transmissions par moteurs diesel	760
26.3 Transmissions couplées moteurs diesel-turbines à gaz	763
<b>27 • Ensembles à engrenages à vis sans fin</b>	<b>765</b>
27.1 Dispositions générales	765
27.2 Normalisation	768
27.3 Capacité de charge mécanique	769
27.4 Capacité thermique	769
<b>28 • Essais des ensembles à engrenages. Codes de réception</b>	<b>771</b>
28.1 Essais des ensembles à engrenages	771
28.1.1 Méthode d'essais avec freins, 771	
28.1.2 Méthode d'essais avec disposition à « cycle fermé » (back to back), 772	
28.1.3 Essai pour ensembles à grande vitesse et grande puissance, 774	
28.2 Réception des ensembles à engrenages aux vibrations	775
28.2.1 Généralités, 775	
28.2.2 Recommandations ISO et AGMA, 777	
28.2.3 Vibrations en régime de résonance, 777	
28.2.4 Différentes causes de vibrations, 784	
28.3 Réception des ensembles à engrenage au bruit	784
28.3.1 Différentes causes de bruit provenant d'un engrenage, 784	
28.3.2 Rappels d'acoustique, 786	
28.3.3 Processus de mesure. Correction pour bruits ambiants, 789	
28.3.4 Surfaces de mesure, 790	
28.3.5 Intérêt du spectre de fréquences, 792	
28.3.6 Recommandations pratiques sur les niveaux sonores, 792	
<b>29 • Accouplements. Alignement des axes</b>	<b>796</b>
29.1 Accouplements rigides (n'acceptant pas de désalignement)	796
29.2 Désalignement	799
29.2.1 Accouplements à denture, 799	
29.2.2 Accouplements à ressorts métalliques, 805	
29.2.3 Accouplements avec éléments métalliques flexibles, 806	
29.2.4 Accouplements avec éléments en élastomère, 810	

<b>29.3 Alignement des arbres accouplés en service</b>	<b>812</b>
29.3.1 Détails pratiques d'installation, 813	
29.3.2 Détails pratiques du montage, 815	
29.3.3 Méthode d'alignement du pignon sur la couronne d'entraînement latéral d'un broyeur à ciment, 816	
<b>30 • Contrôle de la portée des dentures</b>	<b>819</b>
<b>30.1 Engrenages parallèles</b>	<b>819</b>
<b>30.2 Engrenages concourants</b>	<b>820</b>
<b>30.3 Engrenages à vis sans fin</b>	<b>823</b>
<b>31 • Paliers : conception, détériorations, maintenance</b>	<b>825</b>
<b>31.1 Paliers à roulements</b>	<b>825</b>
31.1.1 Influence des conditions de fonctionnement sur la durée de vie, 829	
31.1.2 Systèmes de lubrification, 830	
31.1.3 Maintenance et entretien des roulements, 831	
<b>31.2 Paliers lisses</b>	<b>835</b>
31.2.1 Introduction, 835	
31.2.2 Calculs propres aux paliers lisses, 837	
<b>32 • Problèmes liés à la lubrification et à l'évacuation des calories</b>	<b>843</b>
<b>32.1 Maintenance liée à la surveillance         des détériorations des dentures</b>	<b>843</b>
32.1.1 Huiles, 843	
32.1.2 Surveillance des dentures, 848	
<b>32.2 Problèmes liés à l'évacuation des calories</b>	<b>851</b>
32.2.1 Introduction, 851	
32.2.2 Exemple, 852	
32.2.3 Puissance dissipée : $P_o$ , 858	
32.2.4 Capacité thermique, 858	
32.2.5 Rendement, 858	
32.2.6 Évacuation des calories par le carter, 859	
<b>33 • Maintenance pour bruit et vibrations</b>	<b>866</b>
<b>33.1 Document ISO/WD 8579-1 (bruit)</b>	<b>866</b>
33.1.1 Introduction, 866	
33.1.2 Méthodes de détermination, 866	
33.1.3 Maintenance, 870	
<b>33.2 Document ISO/WD 8579-2 (vibrations)</b>	<b>870</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>871</b>
<b>Index</b>	<b>873</b>