

Table des matières

Avant-propos	11
Introduction	13
Chapitre 1. Outils pour la fiabilité.	17
1.1. Introduction	17
1.2. Intérêts de la simulation numérique et optimisation	18
1.3. Simulation numérique par éléments finis	19
1.3.1. Utilisation	19
1.3.2. Principe	19
1.3.3. Démarche générale	20
1.4. Processus d'optimisation	21
1.4.1. Concepts de base	22
1.4.1.1. Paramètres d'optimisation	22
1.4.1.2. Solutions optimales locales ou globales	23
1.4.1.3. Algorithme simplifié	24
1.4.2. Classifications des problèmes	25
1.4.2.1. Classification des contraintes	25
1.4.2.2. Classification de la linéarité	28
1.4.2.3. Classification des objectifs.	30
1.4.3. Méthodes d'optimisation	36
1.4.4. Méthodes d'optimisation sans contraintes	37
1.4.4.1. Méthodes du zéro ordre	37
1.4.4.2. Méthodes du premier ordre	38
1.4.4.3. Méthodes du deuxième ordre	40
1.4.5. Méthodes d'optimisation sous contraintes	55

1.4.5.1. Méthodes directes	56
1.4.5.2. Méthodes de transformation	56
1.5. Analyse de sensibilité	67
1.5.1. Importance de sensibilité	67
1.5.2. Méthodes de sensibilité	68
1.6. Conclusion	72

Chapitre 2. Notion de fiabilité 73

2.1. Introduction à la fiabilité	73
2.1.1. Préambule.	73
2.1.2. Histoire de la fiabilité	73
2.1.3. Définition de la fiabilité.	75
2.1.4. Importance de la fiabilité	75
2.2. Fonctions et notions de base pour la fiabilité	76
2.2.1. Notion de défaillance	76
2.2.2. Notion d'incertitude	77
2.2.2.1. Aléas intrinsèques.	77
2.2.2.2. Aléas extrinsèques	77
2.2.3. Variable aléatoire	78
2.2.4. Fonction de densité de probabilité	78
2.2.5. Fonction de répartition	79
2.2.6. Fonction de fiabilité	79
2.3. Systèmes de fiabilité	80
2.3.1. Conjonction en série.	80
2.3.2. Conjonction en parallèle	81
2.3.3. Conjonction mixte	82
2.3.4. Conjonction en <i>star-delta</i>	83
2.4. Mesures statistiques	86
2.5. Lois de distribution.	90
2.5.1. Loi uniforme	91
2.5.1.1. Fonction de densité de probabilité	91
2.5.1.2. Fonction de répartition	92
2.5.1.3. Fonction de fiabilité.	92
2.5.2. Loi normale.	95
2.5.2.1. Fonction de densité de probabilité	95
2.5.2.2. Fonction de répartition	95
2.5.2.3. Fonction de fiabilité.	96
2.5.3. Loi log-normale	100
2.5.3.1. Fonction de densité de probabilité	100
2.5.3.2. Fonction de répartition	101

2.5.3.3. Fonction de fiabilité	102
2.6. Analyse de fiabilité	105
2.6.1. Définitions	105
2.6.1.1. Variables aléatoires <i>versus</i> déterministes	106
2.6.1.2. Probabilité de défaillance	106
2.6.1.3. Fonction d'état limite	107
2.6.1.4. Point de conception	109
2.6.1.5. Indice de fiabilité	110
2.6.2. Algorithme	112
2.6.3. Méthodes d'analyse de fiabilité	113
2.6.3.1. Méthode de simulation Monte Carlo	114
2.6.3.2. Méthode des approximations	114
2.6.3.3. Méthode de surface de réponse	116
2.6.4. Conditions d'optimalité	117
2.7. Conclusion	118

Chapitre 3. Intégration de la fiabilité en biomécanique 119

3.1. Introduction	119
3.2. Origine et catégories des incertitudes	120
3.3. Incertitudes en biomécanique	122
3.3.1. Incertitude en chargement	123
3.3.2. Incertitude en géométrie	123
3.3.3. Incertitude en matériaux	123
3.4. Incertitude en os	124
3.4.1. Loi de comportement de l'os	125
3.4.2. Contribution à la caractérisation des propriétés mécaniques de l'os	129
3.5. Développements et formulations en os	130
3.5.1. Formulation actuelle	130
3.5.2. Formulation généralisée	131
3.5.3. Formulation optimisée	133
3.5.4. Formulation en comportement orthotrope	135
3.6. Caractérisation par expérimentation des propriétés mécaniques de l'os	137
3.6.1. Caractérisation par essai de flexion	137
3.6.2. Caractérisation par essai de compression	138
3.7. Conclusion	140

Chapitre 4. Analyse de fiabilité des prothèses orthopédiques . . .	141
4.1. Introduction aux prothèses orthopédiques	141
4.1.1. Historique de la prothèse	142
4.1.2. Evolution de la prothèse	143
4.1.3. Exemples des prothèses orthopédiques	143
4.2. Analyse de fiabilité du disque intervertébral	143
4.2.1. Anatomie	144
4.2.2. L'unité fonctionnelle lombaire.	144
4.2.2.1. Description	144
4.2.2.2. Le disque intervertébral	145
4.2.2.3. Les ligaments	146
4.2.3. Prothèse de disque intervertébral	147
4.2.4. Application numérique de disque intervertébral.	149
4.2.4.1. Simulation numérique par éléments finis	151
4.2.4.2. Optimisation pour la solution optimale.	153
4.2.4.3. Calcul de fiabilité	154
4.3. Analyse de fiabilité de prothèse de hanche	157
4.3.1. Anatomie	157
4.3.1.1. Différentes vues	157
4.3.1.2. Surfaces articulaires de l'articulation coxo-fémorale.	157
4.3.1.3. Moyens d'union	159
4.3.1.4. Muscles permettant la mobilité de la hanche	160
4.3.2. Prothèse totale de la hanche	160
4.3.3. Application numérique de prothèse de hanche.	163
4.3.4. Conditions aux limites	165
4.3.5. Simulation directe	166
4.3.6. Analyse de sensibilité probabiliste	167
4.3.7. Intégration de l'analyse de fiabilité	168
4.3.7.1. Cas 1 : deux paramètres	170
4.3.7.2. Cas 2 : six paramètres	172
4.4. Conclusion	173
Chapitre 5. Analyse de fiabilité des prothèses orthodontiques . . .	175
5.1. Introduction aux prothèses orthodontiques	175
5.2. Anatomie de l'articulation temporo-mandibulaire	176
5.2.1. Zones osseuses articulaires et ménisque	177
5.2.1.1. Structure osseuse	177
5.2.1.2. Ménisque et capsules articulaires	177

5.2.2. Ligaments	178
5.2.3. Myologie, muscles élévateurs, muscles abaisseurs	179
5.2.3.1. Muscles élévateurs	179
5.2.3.2. Muscles abaisseurs	180
5.2.3.3. Ptérygoïdien latéral, inclassable	181
5.3. Simulation numérique de la mandibule non fracturée	182
5.3.1. Description de la mandibule étudiée	182
5.3.2. Résultats numériques	184
5.3.2.1. Cas d'exclusion des forces des muscles	184
5.3.2.2. Cas d'inclusion des forces des muscles	185
5.4. Analyse de fiabilité du système de fixation de la mandibule fracturée	187
5.4.1. Description de la mandibule fracturée	187
5.4.2. Stratégie de fixation par mini-plaques	188
5.4.3. Etude d'une structure homogène et isotrope	189
5.4.3.1. Construction du modèle	189
5.4.3.2. Algorithme développé	192
5.4.3.3. Résultats numériques	194
5.4.4. Etude d'une structure composée et orthotrope	196
5.4.4.1. Construction du modèle	196
5.4.4.2. Algorithme développé	200
5.4.4.3. Résultats numériques	203
5.4.5. Discussion des résultats	206
5.5. Conclusion	206
Annexe 1. Calcul matriciel	209
Annexe 2. Code ANSYS pour le disque	215
Annexe 3. Code ANSYS pour la tige	221
Annexe 4. Probabilité de défaillance/indice de fiabilité	243
Bibliographie	245
Index	251