

## CHAPITRE UN

### **INTRODUCTION À LA BIOMÉCANIQUE**

1.1	Place de la biomécanique .....	19
1.2	Biomécanique, sport et médecine.....	20
1.2.1	Sport et matériel .....	20
1.2.2	Analyse du mouvement humain normal et pathologique.....	21
1.3	Biomécanique biologique .....	23
1.4	Perspectives d'avenir en biomécanique .....	24
1.5	La démarche de la biomécanique .....	26

## CHAPITRE DEUX

### **PLANS, AXES ET MOUVEMENT**

2.1	Introduction .....	29
2.2	Plans anatomiques.....	29
2.3	Axes de rotation.....	31
2.4	Mouvement articulaire .....	32

## CHAPITRE TROIS

### **LES LEVIERS DU CORPS HUMAIN**

3.1	Poids et masse .....	35
3.2	Comment les leviers travaillent pour nous.....	37
3.3	Comment les leviers augmentent l'amplitude du mouvement.....	40
3.4	Calcul des forces et des résistances.....	42
3.5	Influence de la longueur des bras de levier.....	46
3.6	Système à plus de deux forces .....	48
3.7	Règle de la main droite.....	49

## CHAPITRE QUATRE

### **CENTRES DE MASSE CORPOREL ET SEGMENTAIRE**

4.1	Introduction .....	51
4.2	Centre de masse corporel .....	52
4.3	Mobilité du centre de masse corporel.....	54
4.4	Base de support et équilibre postural.....	56
4.5	Masse et longueur segmentaires.....	59
4.5.1	Distribution de la masse segmentaire.....	61
4.5.2	Centre de masse combiné .....	62
4.5.3	Calcul avec positions inclinées.....	66
4.6	Mesures anthropométriques .....	74

## CHAPITRE CINQ

### **ÉVÉNEMENTS, PHASES ET PÉRIODES**

5.1	Introduction .....	79
5.2	Événements, phases et périodes.....	80
5.3	Applications .....	83
5.3.1	Marche.....	83
5.3.2	Course.....	86

5.4	Systèmes de mesure temporelle.....	88
5.4.1	La cellule photo-électrique.....	88
5.4.2	Les semelles munies d'interrupteurs.....	89

## CHAPITRE SIX

### **TRAJECTOGRAPHIE**

6.1	Facteurs biomécaniques associés à la longueur du saut.....	91
6.1.1	Longueur d'appel.....	92
6.1.2	Longueur de vol.....	92
6.1.3	Longueur de réception.....	95
6.2	Mouvement parabolique.....	96
6.3	Équations du mouvement parabolique.....	99
6.3.1	Mouvement horizontal.....	99
6.3.2	Mouvement vertical.....	99
6.4	Description analytique d'un saut en longueur.....	100
6.4.1	Vitesse horizontale initiale.....	101
6.4.2	Vitesse verticale initiale.....	101
6.4.3	L'apogée ou le plus haut point de la trajectoire.....	101
6.4.4	Temps pour atteindre l'apogée.....	101
6.4.5	Longueur $l_{00}$ .....	102
6.4.6	Longueur de vol.....	103
6.5	Applications de la trajectographie à la pratique sportive.....	104
6.5.1	La plus grande distance horizontale.....	104
6.5.2	La plus grande distance verticale.....	105
6.5.3	La plus grande précision.....	106
6.5.4	La plus grande vitesse et précision.....	107

## CHAPITRE SEPT

### **MOUVEMENTS SEGMENTAIRE ET ARTICULAIRE**

7.1	Introduction.....	109
7.2	Les classes de mouvements.....	110
7.3	Mouvements linéaire et angulaire.....	111
7.3.1	Mouvement linéaire.....	111
7.3.2	Mouvement angulaire.....	113
7.4	Vitesse et accélération moyennes et instantanées.....	114
7.5	Relations entre le déplacement, la vitesse et l'accélération.....	118
7.6	Relations entre mouvement linéaire et mouvement angulaire.....	119
7.7	Mouvement segmentaire.....	123
7.8	Mouvement articulaire.....	125
7.9	Mouvements articulaires du membre inférieur durant la marche et la course.....	126
7.9.1	Marche.....	126
7.9.2	Course.....	128
7.10	Calcul des vitesses et des accélérations articulaires.....	129
7.11	Référentiel fixe et référentiel mobile.....	131
7.12	Principes associés aux mouvements segmentaires.....	131
7.12.1	Principe n° 3: ordre d'intervention segmentaire.....	132
7.12.2	Principe n° 4: sommation des vitesses linéaires des articulations... ..	133

## CHAPITRE HUIT

### **INSTRUMENTATION ET TRAITEMENT DES SIGNAUX**

8.1	Introduction.....	137
8.2	Systèmes de mesure cinématique.....	137
8.2.1	Appareil photographique.....	138
8.2.2	Caméras à grande vitesse.....	138
8.2.3	Caméra vidéo.....	139
8.2.4	Accéléromètres.....	140
8.3	Techniques de lissage et de filtrage des données.....	141
8.3.1	Lissage.....	143
	Lissage manuel.....	143
	Les polynômes.....	143
	Les splines.....	146
	Description d'un signal.....	147
8.3.2	Filtrage.....	150
8.4	Sources d'erreur.....	156

## CHAPITRE NEUF

### **APPLICATIONS DES NOTIONS DE DÉPLACEMENT, DE VITESSE ET D'ACCÉLÉRATION**

9.1	Les profils de vitesse.....	157
9.2	Profils de vitesse et contrôle moteur.....	158
9.3	Diagramme à colonnes.....	158
9.4	Relation entre le déplacement, la vitesse et l'accélération.....	160
9.5	Analyse cinématique de la course à pied : coordinations intersegmentaires....	162
9.5.1	Biomécanique et coordinations motrices.....	162
9.6	Profils cinématiques.....	165

## CHAPITRE DIX

### **ÉVALUATION DE LA COORDINATION MOTRICE**

10.1	Introduction.....	169
10.2	Rappels sur le geste technique du rameur d'aviron.....	170
10.3	Notion de plan de phase.....	173
10.4	Notion de normalisation.....	174
10.5	Notion d'angle polaire.....	177
10.6	Notion de phases relatives.....	179
10.7	Application : la coordination motrice chez deux rameurs.....	181
10.8	Application : la coordination motrice chez le rameur pour deux cadences.....	184
10.9	Conclusion sur la démarche conduisant à l'obtention des phases relatives...	187

## CHAPITRE ONZE

### **RÉSISTANCE AU MOUVEMENT ANGULAIRE**

11.1	Moment d'inertie ou résistance au mouvement angulaire.....	189
11.2	Où se situe le moment d'inertie?.....	190
11.3	Estimation du moment d'inertie.....	192
11.3.1	Estimation du rayon de giration et du moment d'inertie segmentaire.....	195
11.3.2	Théorème des axes parallèles.....	197
11.4	L'effet du moment d'inertie sur le mouvement humain.....	200
11.5	Le centre de percussion.....	202

## CHAPITRE DOUZE

### QUANTITÉ DE MOMENT ANGULAIRE

12.1	Introduction.....	207
12.2	Impulsion et moment angulaire.....	207
12.3	Principe n° 5 : conservation de la quantité de moment angulaire.....	210
12.4	Principe n° 6 : transfert de la quantité de moment angulaire.....	214
12.5	Principe n° 7 : la vrille aérienne.....	218

## CHAPITRE TREIZE

### FORCES EXTERNES

13.1	Les forces .....	223
13.2	Lois de Newton .....	224
13.2.1	Action-réaction .....	224
13.2.2	Force et accélération.....	227
13.2.3	Conditions d'équilibre .....	231
13.3	Principes faisant intervenir la force.....	232
13.3.1	Principe n° 8 : force dirigée dans la direction du mouvement .....	232
13.3.2	Principe n° 9 : utilisation de la force excentrée .....	234
13.3.3	Principe n° 10 : sommation des moments articulaires .....	235
13.4	Forces externes développées durant certaines activités .....	236
13.4.1	Forces de réaction à la marche.....	237
13.4.2	Forces de réaction à la course.....	238
13.5	Le frottement, une force externe bien particulière.....	240
13.5.1	Facteurs qui influent sur le frottement.....	240
13.5.2	Calcul du frottement.....	241
13.6	Force ou pression?.....	245
13.7	Modèle d'intervention en biomécanique.....	247
13.8	Systèmes de mesure dynamométrique .....	250

## CHAPITRE QUATORZE

### CHAUSSURES DE SPORT

14.1	Introduction.....	253
14.2	Description de la chaussure .....	253
14.3	Chaussures de sport .....	256
14.4	Chaussures de course .....	258
14.4.1	Mouvement de l'arrière-pied .....	258
14.4.2	Le talon .....	262
14.5	Course à pied.....	263
14.6	Comment choisir sa chaussure de sport .....	265

## CHAPITRE QUINZE

### IMPULSION ET MOMENT LINÉAIRE

15.1	Impulsion et moment linéaire .....	267
15.2	Principe n° 11 : l'impulsion.....	268
15.2.1	Saut vertical .....	273
15.2.2	Départ au sprint.....	274
15.2.3	Triple saut.....	275
15.2.4	Karaté.....	276
15.3	Principe n° 12 : conservation du moment linéaire.....	276

## CHAPITRE SEIZE

### **TRAVAIL, ÉNERGIE ET PUISSANCE MÉCANIQUE**

16.1	Travail.....	281
16.2	Énergie.....	283
16.2.1	Énergie potentielle.....	283
16.2.2	Énergie cinétique.....	285
16.2.3	La loi de la conservation de l'énergie.....	286
16.3	Théorème de l'énergie cinétique.....	292
16.3.1	Calcul de l'énergie cinétique du corps humain.....	292
16.3.2	Travail des forces internes.....	293
16.4	Puissance.....	295
16.4.1	Puissance développée durant la marche.....	299
16.5	Forces d'impact.....	302

## CHAPITRE DIX-SEPT

### **COURSE À PIED**

17.1	Introduction.....	303
17.2	Forces en présence.....	303
17.2.1	Conservé ou modifier la vitesse.....	303
17.2.2	Effet du vent.....	306
17.2.3	Mesures des forces.....	308
17.3	Production des forces.....	309
17.4	Mouvement des bras pendant la course.....	312
17.5	Chocs.....	312
17.6	Modèle masse-ressort.....	316
17.6.1	Effet de la vitesse.....	318
17.6.2	Effet de la fréquence.....	319
17.6.3	Effet de la surface.....	319
17.6.4	Effet de résonance.....	319
17.7	Énergies.....	320
17.7.1	Allures de course en fonction de la distance.....	320
17.7.2	Énergie mécanique du centre de masse.....	321
17.7.3	Énergie mécanique totale.....	323
17.8	Courir dans une pente.....	324
17.9	Courir dans une courbe.....	326
17.10	Conclusion.....	328

## CHAPITRE DIX-HUIT

### **ÉQUILIBRE POSTURAL**

18.1	Introduction.....	329
18.2	Posture et notion d'équilibre.....	330
18.3	La bipédie.....	331
18.3.1	Caractéristiques biomécaniques de la bipédie.....	331
18.3.2	Principales causes des oscillations posturales.....	334
18.3.3	Différences entre experts et non-experts.....	337
18.3.4	Application: calcul de la position du centre de pression.....	338
18.4	La quadrupédie.....	341
18.5	Posture et mouvement.....	346
18.6	Conclusion.....	348

## CHAPITRE DIX-NEUF

### DÉSÉQUILIBRE ET CHUTES DANS LES SPORTS DE COMBAT

19.1	Introduction.....	349
19.2	Stabilité.....	349
19.3	Projections – action rotatoire des forces dans l'espace.....	351
19.3.1	Approche générale.....	351
19.3.2	Vecteur moment.....	352
19.3.3	Effet de rotation par rapport à un point.....	353
19.3.4	Effet de rotation par rapport à un axe.....	357
19.4	Chutes.....	359
19.5	Conclusion.....	361

## CHAPITRE VINGT

### DYNAMIQUE ET TECHNIQUE DES SALTOS VRILLÉS

20.1	Présentons Joséphine.....	363
20.2	Phase d'impulsion.....	363
20.2.1	Impulsion angulaire.....	364
20.2.2	Contributions segmentaires au moment cinétique.....	366
20.3	Techniques de vrilles dans les sports acrobatiques.....	370
20.4	Quelques définitions pour tourner en 3D.....	371
20.5	Deux modes de salto.....	373
20.6	Trois techniques de vrille.....	374
20.6.1	Vrille de contact.....	375
20.6.2	Vrille de chat.....	376
20.6.3	Vrille aérienne.....	377
20.6.4	Première analyse des techniques de vrille.....	379
20.7	Pour aller plus loin.....	381
20.7.1	Inclinaison du corps et moment cinétique.....	382
20.7.2	Matrice d'inertie et moment cinétique 3D.....	382
20.7.3	Combinaison de techniques de vrille.....	385

## CHAPITRE VINGT ET UN

### IMPACT, REBONDS ET AMORTISSEMENTS

21.1	Introduction.....	387
21.2	Force d'impact.....	388
21.2.1	Nature des impacts ressentis par le corps.....	390
21.3	Coefficient de restitution.....	392
21.4	Vitesse de projection dans les activités de frappe.....	396
21.5	Dommage collatéral ou déformation des matériaux durant un impact.....	402
21.6	Modèles pour illustrer le comportement de l'équipement de protection.....	405

## CHAPITRE VINGT-DEUX

### SÉCURITÉ ET PROTECTION DANS LES PRATIQUES SPORTIVES

22.1	Introduction.....	411
22.2	Équipements sportifs, réglementations et enjeux.....	412
22.3	Réglementation du sport au Québec.....	414
22.3.1	Athlétisme.....	415

22.3.2	Soccer.....	418
22.3.3	Football américain.....	419
22.3.4	Gymnastique.....	420
22.3.5	Patinage de vitesse.....	421
22.4	Protection et sécurité dans le sport.....	422
22.5	Sols sportifs.....	424
22.5.1	Qualités sportives des sols.....	424
22.5.2	Impacts.....	425
22.6	Mise au point, évaluation, évolution et compréhension des équipements sportifs.....	430

## CHAPITRE VINGT-TROIS

### **IMPACT ET SPORTS DE COMBAT**

23.1	Introduction.....	433
23.2	Exécution des mouvements rapides.....	433
23.3	Frappes.....	437
23.3.1	Modèle de poutre.....	437
	Efforts dans une poutre en flexion simple.....	438
	Diagramme des efforts dans une poutre en flexion simple.....	439
23.3.2	Contrainte normale.....	440
23.3.3	Vitesse nécessaire.....	443
23.4	Masse effective.....	444
23.5	Catégories de poids.....	445
23.6	Conclusion.....	449

## CHAPITRE VINGT-QUATRE

### **SYSTÈMES DE FORCES**

24.1	Les forces.....	451
24.2	Diagramme des corps libres.....	451
24.3	Systèmes de forces.....	452
24.3.1	Système de forces linéaires.....	453
24.3.2	Système de forces parallèles.....	453
24.3.3	Système de forces concourantes.....	457
24.3.4	Système de forces général.....	449

## CHAPITRE VINGT-CINQ

### **ANALYSE DES CORPS LIBRES ET MOUVEMENT HUMAIN**

25.1	Solution directe et solution inverse.....	462
25.2	Outils de la solution inverse.....	463
25.3	Modélisation.....	464
25.4	Définition d'un référentiel.....	465
25.5	Étapes de la solution inverse.....	467
25.5.1	Identification des forces et des moments musculaires.....	467
25.5.2	Applications des équations du mouvement de Newton-Euler.....	469
	Mouvement du pied sans mise en charge.....	469
	Position debout et stationnaire.....	471
	Pied et jambe en mouvement.....	473
	Mouvement de la jambe.....	474

25.6	Limites de la dynamique inverse .....	476
25.7	Forces musculaires et contact sur l'os .....	478
25.8	Traitement de six exemples particuliers .....	481

## CHAPITRE VINGT-SIX

### **DE LA CAMÉRA AUX SYSTÈMES D'ANALYSE DU MOUVEMENT**

26.1	Introduction .....	487
26.2	Utilisation d'une caméra vidéo en biomécanique .....	488
26.3	Caractéristiques matérielles .....	489
26.3.1	Résolutions spatiale et temporelle .....	489
26.3.2	Trames .....	491
26.3.3	Longueur focale .....	492
26.3.4	Capteurs .....	493
26.3.5	Vitesse d'obturation manuelle .....	493
26.3.6	Ajustement manuel de la mise au point et du diaphragme .....	494
26.4	Consignes d'utilisation .....	496
26.4.1	Pour la caméra .....	496
26.4.2	Calibration ou calibrage .....	498
26.4.3	Préparation du sujet .....	500
26.5	Utilisation d'une paire de caméras vidéo ou plus .....	502
26.6	Systèmes optoélectroniques d'analyse du mouvement .....	508
26.6.1	Positionnement des caméras .....	510
26.6.2	Réglage des caméras .....	511
26.6.3	Calibration .....	512
26.6.4	Évaluation de la précision .....	512
26.6.5	Positionnement des marqueurs sur le participant .....	514

## CHAPITRE VINGT-SEPT

### **ERGOMÈTRE ET BIOMÉCANIQUE**

27.1	Introduction .....	515
27.2	Ergomètres et simulateurs de mouvement .....	516
27.2.1	Tapis roulant et course .....	516
27.2.2	Ergocycle et cyclisme .....	518
27.2.3	Rameur et aviron ou kayak .....	521
27.2.4	Pour une mesure exhaustive .....	525
27.3	Les dynamomètres isocinétiques .....	526
27.3.1	Ergomètre isocinétique ou dynamomètre isovélécity .....	526
27.3.2	Fonctionnement .....	527
Composantes .....	527	
Tests proposés .....	528	
Commande du moteur .....	528	
Sécurité .....	529	
27.3.3	Les forces et les couples en jeu .....	530
Dynamique du moteur et de l'articulation .....	530	
Correction de la gravité et du couple passif .....	533	
27.3.4	Les précautions d'usage .....	534
Positionnement et alignement des axes .....	535	
Angles anatomiques .....	536	
Phase à vitesse constante .....	537	



27.3.5 Paramètres analysés.....	538
27.4 Conclusion sur les ergomètres.....	540

## CHAPITRE VINGT-HUIT

### **MÉCANIQUE DES FLUIDES : APPLICATION À LA NATATION**

28.1 Introduction.....	541
28.2 Notions de mécanique des fluides.....	542
28.2.1 Hydrostatique.....	542
28.2.2 Hydrodynamique.....	543
28.3 Trajectoires segmentaires et du corps du nageur.....	547
28.4 Les forces.....	551
28.4.1 Forces qui s'opposent au déplacement du nageur.....	551
Calcul de la résistance.....	552
k: coefficient de forme.....	552
s: surface du maître-couple.....	553
v: vitesse relative de déplacement.....	553
28.4.2 Forces propulsives.....	553

ANNEXE.....	559
-------------	-----

SOLUTIONNAIRE.....	561
--------------------	-----

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	605
----------------------------------	-----

INDEX.....	619
------------	-----