

TABLE DES MATIÈRES

I	Introduction	1
1	Introduction à la réalité virtuelle	3
1.1	Fondement de la réalité virtuelle	3
1.1.1	Introduction	3
1.1.2	Définitions de la réalité virtuelle	5
1.2	Modèle de référence pour l’immersion et l’interaction	10
1.2.1	L’approche «instrumentale» pour l’immersion et l’interaction	10
1.2.2	Le modèle de référence en RV	12
1.3	Structuration du traité de la réalité virtuelle	13
1.3.1	l’Homme et l’environnement virtuel	15
1.3.2	L’interfaçage, l’immersion et l’interaction en environnement virtuel	15
1.3.3	Les applications de la réalité virtuelle	16
1.4	Présentation du contenu du volume «Les outils et les modèles informa- tiques des environnements virtuels»	16
1.4.1	La modélisation des environnements virtuels	17
1.4.2	Modélisation et simulation	21
1.4.3	Réalité virtuelle et complexité	24
1.5	Références bibliographiques	29
2	Modèles géométriques des environnements virtuels	33
2.1	Introduction	33

2.1.1	Types d'objets	34
2.1.2	Propriétés des modèles	36
2.2	Modèles volumiques	36
2.2.1	Énumération spatiale	37
2.2.2	Constructive Solid Geometry	39
2.3	Modèles surfaciques	41
2.3.1	Utilisation de surfaces planes	41
2.3.2	Utilisation de surfaces non planes	42
2.4	Géométrie algorithmique	46
2.4.1	Transformation d'un volume en surface	46
2.4.2	Maillage polygonal d'un nuage de points	47
2.4.3	Décimation de maillages	51
2.5	Optimisation des modèles pour la réalité virtuelle	54
2.5.1	Texturation	55
2.5.2	Niveaux de détails	56
2.6	Références bibliographiques	58

II Modèles pour les rendus sensori-moteurs 61

3 Modèles pour le rendu visuel 63

3.1	Les rendus pour la réalité virtuelle	63
3.1.1	Introduction	63
3.1.2	Rendu temps réel	63
3.1.3	Qualité et perception	64
3.2	Modèles d'éclairage et d'ombrage	65

3.2.1	Modélisation de l'apparence	65
3.2.2	Modélisation de l'éclairage	74
3.3	Rendu et perception	80
3.3.1	Modèles de vision et calculs de rendu	80
3.3.2	Reproduction de tons	83
3.4	Références bibliographiques	86
4	Modèles pour le rendu sonore	93
4.1	Introduction	93
4.1.1	Problématique du rendu sonore	93
4.1.2	Le pipeline de rendu sonore	94
4.2	Acoustique et traitement du signal	95
4.2.1	Quelques notions d'acoustique	96
4.2.2	Outils de traitement du signal pour le rendu audio	101
4.3	Synthèse de sources sonores virtuelles	103
4.3.1	Synthèse par enregistrements et «textures sonores»	103
4.3.2	Synthèse par modèles physiques et analyse-synthèse	105
4.3.3	Propriétés des sources sonores. Sources ponctuelles et étendues	106
4.4	Modélisation de la propagation du son	107
4.4.1	Acquisition de réponses impulsionnelles et rendu	107
4.4.2	Modèles physiques pour la propagation du son	109
4.4.3	Modèle générique des effets environnementaux	116
4.4.4	Intégration des effets de propagation dans le pipeline de rendu sonore	120
4.5	Rendu audio structuré et optimisations perceptives	124
4.5.1	Importance des sources sonores et masquages auditifs	125

4.5.2	Niveau de détail et regroupement spatial des sources, «imposteurs sonores»	127
4.5.3	Représentations progressives des signaux et scalabilité des traitements	128
4.6	Rendu audio 3D par manipulation directe d'enregistrements <i>in-situ</i>	129
4.6.1	Rendu à partir d'enregistrements coïncidents et décompositions directionnelles	129
4.6.2	Rendu a partir d'enregistrements non-coïncidents	130
4.6.3	Extraction d'une scène structurée à partir d'enregistrements	130
4.7	Références bibliographiques	131
5	Modèles pour le rendu haptique	141
5.1	Le couplage simulation/dispositif haptique	141
5.2	Le calcul du rendu haptique	144
5.2.1	Rendus par schémas d'impédance : calcul des forces	144
5.2.2	Rendus par schémas d'admittance : calculs des contraintes	145
5.2.3	Des modèles primitifs aux modèles objets (proxy)	145
5.2.4	Modélisation de l'environnement pour le rendu haptique	148
5.3	L'adaptation fréquentielle	149
5.3.1	Les représentations intermédiaires	150
5.4	Bibliothèques haptiques	153
5.5	Conclusion	153
5.6	Références bibliographiques	154
6	Détection des collisions	157
6.1	Détection de collision entre primitives	157
6.1.1	Définition de la collision	158

6.1.2	Détection spatiale entre polyèdres convexes	158
6.1.3	Détection spatiale entre polyèdres quelconques	161
6.1.4	Les approches temporelles	164
6.1.5	Bilan sur la détection entre objets et problèmes ouverts	167
6.2	Le pipeline de détection	168
6.2.1	Problématique	168
6.2.2	La recherche de proximité (broad-phase)	169
6.2.3	La détection approximative (narrow-phase)	171
6.2.4	Accélération temporelle continue	176
6.2.5	Bilan de l'accélération	177
6.3	Traitement de la collision	177
6.4	Conclusion	178
6.5	Références	179
7	Modèles mécaniques	185
7.1	Modèles à base de particules	185
7.1.1	Rappels	185
7.1.2	Nuages de particules	186
7.1.3	Masses-ressorts	187
7.1.4	Éléments finis	189
7.1.5	Formulations lagrangiennes	191
7.1.6	Intégration du temps	191
7.2	Solides en contact	192
7.2.1	Dynamique du solide	192
7.2.2	Calcul analytique des forces de contact	195
7.2.3	Pénalités	196

7.2.4	Frottement	197
7.2.5	Impulsions	199
7.2.6	Impulsions intégrées	201
7.2.7	Méthodes à base d'optimisation	202
7.2.8	Regroupements optimaux	203
7.3	Solides articulés	204
7.3.1	Dynamique directe en coordonnées absolues	204
7.3.2	Dynamique directe en coordonnées relatives	206
7.3.3	Méthode à base de réseaux de neurones	207
7.4	Identifier un modèle à partir de la cinématique	207
7.4.1	Introduction	207
7.4.2	La technique évolutionnaire	208
7.4.3	Stratégie d'évolution : un paramétrage adapté aux grandeurs physiques	208
7.4.4	Fonctions de coût adaptée aux systèmes masses-ressorts	209
7.4.5	Applications et limites	210
7.4.6	Trajectoire réelle : identification	211
7.5	Références bibliographiques	213
 III Modèles pour le rendu comportemental		217
 8 Scénarios adaptatifs : le paradoxe du contrôle d'agents autonomes		219
8.1	Introduction	219
8.2	Etat de l'art	219
8.3	Le langage SLuHrG	220
8.3.1	Introduction	220

8.3.2	Langage de scénario	221
8.3.3	Grammaire du langage	222
8.3.4	Gestion des acteurs	228
8.3.5	Ordonnancement	230
8.3.6	Conclusion	232
8.4	Exemple de scénario	232
8.5	Conclusion	238
8.6	Références bibliographiques	238
9	Modèles pour l'autonomie	241
9.1	Introduction	241
9.1.1	Interdisciplinarité	241
9.1.2	Transdisciplinarité	242
9.2	Principe d'autonomie	243
9.2.1	Exploitation des modèles	243
9.2.2	Modélisation de l'utilisateur	245
9.2.3	Autonomisation des modèles	246
9.2.4	L'autonomie en réalité virtuelle	249
9.3	Entités autonomes	250
9.3.1	Approche multi-agents	252
9.3.2	Simulation multi-agents participative	253
9.3.3	Métaphore d'Ali Baba	254
9.3.4	Expérimentation <i>in virtuo</i>	256
9.4	L'autonomie par construction	257
9.4.1	Hypothèse énaactive	257
9.4.2	Modélisation énaactive	260

9.4.3	Premiers résultats	263
9.5	Conclusion	264
9.6	Références bibliographiques	265
10	Modèles pour les humanoïdes	273
10.1	Introduction	273
10.2	L'humain virtuel	274
10.2.1	H-ANIM	274
10.2.2	CAL3D	276
10.3	Animation d'humains virtuels	277
10.3.1	Animation d'humains par cinématique directe	277
10.3.2	Animation d'humains par cinématique inverse	278
10.3.3	Capture de mouvements en temps réel	279
10.3.4	Adaptation en temps réel de mouvements capturés	281
10.3.5	Utilisation de la dynamique	285
10.4	Modéliser le comportement humain	285
10.5	Modèles de comportement réactif	287
10.5.1	Les familles de modèle	287
10.5.2	HPTS : un outil de spécification de comportements réactifs	289
10.5.3	Les modèles de perception	290
10.5.4	Les modèles d'actions sur les objets	292
10.5.5	Les approches compétitives et coopératives de sélection d'action(s)	292
10.6	Modèles de comportement cognitif	294
10.6.1	Introduction	294
10.6.2	Approches cognitives en animation	296

10.6.3	Modélisation des émotions	298
10.7	Modèles de comportements collectifs et sociaux	298
10.7.1	Introduction	298
10.7.2	La locomotion	298
10.7.3	Modèles de navigation réactive d'un humain virtuel dans son environnement	300
10.7.4	Comportements de foules	302
10.7.5	Modèles de simulation de foule	303
10.8	Conclusion	305
10.9	Références bibliographiques	306
11	Modèles pour les environnements naturels	315
11.1	Introduction	315
11.2	Éléments de méthodologie	315
11.2.1	Verrous scientifiques	316
11.2.2	Méthode de construction des modèles	317
11.2.3	Outil générique pour la modélisation multi-échelles	319
11.3	Etude de cas	319
11.3.1	Prairies agitées par le vent	320
11.3.2	Mer quasi-linéaire	321
11.3.3	Ruisseaux	322
11.3.4	Nuages, fumées et avalanches	323
11.4	Modélisation énaactive des états de mer	324
11.4.1	La mer des marins : un défi pour la physique	325
11.4.2	Choix des entités énaactives pour la mer des marins	325
11.5	Conclusion : psychologie ou physique ?	329

11.5.1	Visualisation : une réhabilitation du «trompe-l'œil»	329
11.5.2	Vers une nouvelle méthodologie pour la simulation	329
11.6	Références bibliographiques	330

IV Outils et environnements de développement 333

12 OpenMASK : une plate-forme logicielle Open Source pour la réalité virtuelle 335

12.1	Introduction	335
12.2	Concepts d'OpenMASK	336
12.2.1	Noyau - une machine virtuelle	337
12.2.2	Objet de simulation fréquentiel et/ou réactif	339
12.2.3	Applicatif configurable	343
12.2.4	Session distribuable	343
12.2.5	Conclusion	344
12.3	Services d'OpenMASK pour la réalité virtuelle	345
12.3.1	Initialisations	345
12.3.2	Visualisations interactives	345
12.3.3	Sonorisations	348
12.3.4	Interactions	349
12.3.5	Coopérations	351
12.3.6	Conclusion	355
12.4	OpenMASK : Plate-forme d'intégration et de capitalisation de services	355
12.4.1	Handball - tirs au but	355
12.4.2	GVT - formation à la maintenance	357
12.4.3	Musée virtuel de la photographie contemporaine	359

12.4.4 Collaborations haptiques distribuées	361
12.5 Conclusion	365
12.6 Références bibliographiques	365
13 ARéVi	369
13.1 Motivations	369
13.2 Les services de base	370
13.2.1 L'architecture retenue	370
13.2.2 Les entités autonomes	372
13.2.3 La communication par messages	373
13.2.4 Liaison avec d'autres outils	374
13.3 Les services 3D	375
13.3.1 La structure retenue	376
13.3.2 Les objets graphiques	378
13.3.3 Les moyens de détection	379
13.3.4 Les systèmes de particules	380
13.3.5 Les interacteurs	380
13.3.6 La visualisation stéréoscopique	381
13.4 La distribution	382
13.4.1 Le modèle retenu	383
13.4.2 La sérialisation	384
13.4.3 Démarche de mise en œuvre	385
13.5 Les humanoïdes	385
13.5.1 Le principe	386
13.5.2 Les squelettes	386
13.5.3 L'animation	387

13.5.4	La représentation	388
13.5.5	Démarche de mise en œuvre	389
13.6	Bilan et perspectives	389
14	EVI3d : une plate-forme de développement d'applications de RV&A	393
14.1	Introduction	393
14.2	Gestion de la multimodalité	393
14.2.1	Multimodalité en entrée	394
14.2.2	Multimodalité en sortie	395
14.2.3	Cluster graphique et cluster de rendu multimodal	396
14.3	Conclusion	398
14.4	Références bibliographiques	398
15	Virtools et la réalité virtuelle	399
15.1	Les outils logiciels de Virtools pour la réalité virtuelle	399
15.1.1	La plate-forme de développement Virtools Dev	399
15.1.2	Les outils logiciels autour de la plate-forme	399
15.1.3	La Schématique Virtools	401
15.1.4	Le VR Pack	403
15.2	Virtools et ses marchés	405
15.2.1	Le jeu vidéo	407
15.2.2	Le marketing en ligne et multimédia	407
15.2.3	Les applications industrielles	408
15.2.4	La société Virtools	409
15.3	Références bibliographiques	409

16 La réalité virtuelle distribuée	411
16.1 Introduction	411
16.2 Bref historique	412
16.3 Architecture des systèmes de RVD	413
16.3.1 Architecture client-serveur centralisée	415
16.3.2 Architecture client-serveur distribuée	415
16.3.3 Architecture client-serveur distribuée avec plusieurs serveurs	415
16.3.4 Architecture égal à égal (peer to peer) distribuée point à point	416
16.3.5 Architecture égal à égal distribuée en mode diffusion	417
16.4 Techniques d'optimisation des systèmes de RVD	418
16.5 Références bibliographiques	423