

Table des matières

Avant-propos	1
Philippe FUCHS	
Introduction	5
Bruno ARNALDI, Pascal GUITTON et Guillaume MOREAU	
Chapitre 1. Nouvelles applications	27
Bruno ARNALDI, Stéphane COTIN, Nadine COUTURE, Jean-Louis DAUTIN, Valérie GOURANTON, François GRUSON et Domitile LOURDEAUX	
1.1. De nouvelles applications industrielles	27
1.1.1. Réalité virtuelle dans l'industrie	27
1.1.1.1. L'ère des pionniers : les chercheurs	28
1.1.1.2. L'ère des expérimentateurs : les ingénieurs en innovation	28
1.1.1.3. L'ère du déploiement des plateformes mutualisées	28
1.1.1.4. L'ère des casques de RV et des applications déployées à très grande échelle : l'offensive des majeurs	28
1.1.2. Réalité augmentée et applications industrielles	29
1.1.3. RV/RA au service d'un renouveau industriel	30
1.1.3.1. Les fondamentaux : bureau d'étude, communication – marketing	31
1.1.3.2. Ergonomie et formation : illustrations parfaites de la valeur ajoutée de la RV	34
1.1.4. Et la réalité augmentée dans tout cela ?	37
1.2. Chirurgie assistée par ordinateur	39
1.2.1. Introduction	39
1.2.2. Réalité virtuelle et simulation pour l'apprentissage	41
1.2.3. Réalité augmentée et planification d'interventions	46
1.2.4. Réalité augmentée en chirurgie	50

1.2.5. Bilan et futur	54
1.3. La ville durable	56
1.3.1. Aide à la mobilité en environnement urbain	56
1.3.2. Bâtiments et architecture	60
1.3.3. Villes et urbanisme	63
1.3.4. Vers des systèmes urbains durables	67
1.4. Sociétés innovantes, intégrant et adaptatives	68
1.4.1. La formation	69
1.4.1.1. Contexte, historique	69
1.4.1.2. Modèle de scénarios : deux exemples	72
1.4.2. Arts et patrimoine culturel	74
1.4.2.1. Art scénique : la danse	75
1.4.2.2. Patrimoine culturel : l'archéologie	77
1.4.3. Conclusion	81
1.5. Bibliographie	82

Chapitre 2. Vers une démocratisation de la RV-RA ? 95

Sébastien KUNTZ, Richard KULPA et Jérôme ROYAN

2.1. Nouveaux matériels	95
2.1.1. Introduction	95
2.1.2. Les dispositifs de localisation et d'orientation	96
2.1.2.1. Solutions professionnelles	96
2.1.2.2. Solutions grand public	98
2.1.2.3. Systèmes intégrés aux casques de RV	99
2.1.2.4. Solutions de localisation en RA	101
2.1.3. Les dispositifs de restitution	103
2.1.3.1. Visiocasques de RV	104
2.1.3.2. Les grands écrans	107
2.1.3.3. Les équipements de réalité augmentée	109
2.1.3.4. Restitution audio	119
2.1.4. Enjeux et perspectives technologiques	120
2.1.4.1. Le champ de vision	120
2.1.4.2. La résolution d'affichage	121
2.1.4.3. La fréquence d'affichage	122
2.1.4.4. Capacité de calcul graphique	123
2.1.4.5. La mobilité	125
2.1.5. Conclusion sur les nouveaux matériels : l'adoption par le grand public	127
2.2. Nouveaux logiciels	129
2.2.1. Introduction	129
2.2.2. Développement d'application 3D	131
2.2.2.1. Programmation graphique « bas-niveau »	131
2.2.2.2. Bibliothèques graphiques	132

2.2.2.3. Moteurs de jeu vidéo	133
2.2.3. Gestion des périphériques	134
2.2.3.1. Contrôle direct des périphériques	134
2.2.3.2. Bibliothèques de gestion des périphériques	135
2.2.4. Solutions logicielles dédiées à la RV-RA	136
2.2.4.1. Outils de création spécifique à la RV-RA	137
2.2.4.2. <i>Plugins</i> de RV-RA pour moteurs de jeu vidéo	137
2.2.5. Conclusion	138
2.3. Bibliographie	138

Chapitre 3. La RV-RA : complexité et défis scientifiques 141

Ferran ARGELAGUET SANZ, Bruno ARNALDI, Jean-Marie BURKHARDT,
Géry CASIEZ, Stéphane DONIKIAN, Florian GOSSELIN, Xavier GRANIER,
Patrick LE CALLET, Vincent LEPETIT, Maud MARCHAL, Guillaume
MOREAU, Jérôme PERRET et Toïnon VIGIER

3.1. Introduction : la complexité	141
3.1.1. Modèle physique et détection de collision	142
3.1.2. Le peuplement des environnements 3D, de l'humain virtuel à la foule	147
3.1.2.1. Introduction	147
3.1.2.2. Comment peupler des environnements 3D	150
3.1.2.3. Conclusion	153
3.1.3. La difficulté de la naturalité de l'interaction 3D	154
3.1.3.1. Introduction	154
3.1.3.2. Boucle perception-action pour l'interaction	155
3.1.3.3. Couplage action-commande pour l'interaction	156
3.1.3.4. Conclusion	157
3.1.4. La difficulté de la synthèse d'un <i>feedback</i> haptique	158
3.1.4.1. Problématique	158
3.1.4.2. Aspects logiciels	159
3.1.4.3. Aspects matériels	161
3.1.4.4. Bilan et perspectives	165
3.2. Lien réel-virtuel pour la réalité augmentée	165
3.2.1. Matériel d'acquisition et de restitution	167
3.2.2. Le calcul de pose	167
3.2.2.1. Localisation basée capteurs (hors caméra)	168
3.2.2.2. Localisation basée marqueurs	169
3.2.2.3. Localisation basée image	170
3.2.3. Rendu réaliste	172
3.3. Complexité et défis scientifiques de l'interaction 3D	173
3.3.1. Introduction	173
3.3.2. Complexité et défis autour de la boucle d'interaction 3D	173
3.3.3. Défi 1 : actions sensori-motrices pour l'interaction	174

3.3.3.1. Vers une explosion des captures de données utilisateur . . .	174
3.3.3.2. Quelles techniques d'interaction choisir ?	175
3.3.3.3. Les interfaces 3D de demain	176
3.3.4. Défi 2 : retours multi-sensoriels	177
3.3.4.1. Retour visuel	178
3.3.4.2. Retour d'effort	178
3.3.4.3. Retour multimodal	180
3.3.5. Défi 3 : utilisateurs et perception	180
3.3.5.1. Le défi d'une meilleure compréhension des capacités de l'être humain	180
3.3.5.2. Comment interagir à plusieurs utilisateurs ?	181
3.3.6. Conclusion	181
3.4. Perception visuelle	182
3.4.1. Retour sur le glossaire de l'inconfort, de la fatigue et du malaise .	182
3.4.1.1. Le « mal de l'espace virtuel »	182
3.4.1.2. Qualité d'expérience, confort et systèmes vidéo stéréoscopiques	184
3.4.1.3. Mesures objectives et physiologiques	185
3.4.2. Facteurs d'affichage	186
3.4.2.1. Monoscopie, stéréoscopie et bi-oculaire	187
3.4.2.2. Latence	189
3.4.2.3. Champ de vision	190
3.4.2.4. Qualités d'écran	191
3.4.3. Conclusion	192
3.5. L'évaluation	192
3.5.1. Objectifs et périmètre de la section	192
3.5.2. Évaluation : un problème complexe	193
3.5.2.1. Définition	193
3.5.2.2. Évaluations sommative et formative, méthodes quantitatives et qualitatives	193
3.5.2.3. Articuler approches formatives et sommatives, méthodes quantitatives et qualitatives	194
3.5.2.4. Prendre en compte les spécificités de la réalité mixte dans l'évaluation	196
3.5.3. L'évaluation au moyen d'études impliquant des sujets humains . .	197
3.5.3.1. La validité : une notion centrale	197
3.5.3.2. Selon la destination et la maturité du système, évaluer la validité, l'activité, l'ergonomie ?	198
3.5.3.3. Les plans d'expérience : minimiser ou neutraliser l'effet de facteurs susceptibles d'affecter la validité interne	201
3.5.3.4. Taille et constitution de l'échantillon	203
3.5.4. Des faiblesses à dépasser	204

3.5.4.1. Une information souvent lacunaire sur la procédure et les caractéristiques précises des systèmes	204
3.5.4.2. Des biais fréquents sur le plan méthodologique	204
3.5.4.3. Des situations d'étude souvent simplifiées et peu écologiques	206
3.5.4.4. Un adossement aux théories et aux modèles de l'activité humaine à renforcer	206
3.5.5. Évolutions dans les mesures de performance et de comportement, caractérisation des participants	206
3.5.5.1. Mesure de la charge de travail	206
3.5.5.2. Mesure de la présence	207
3.5.5.3. Mesure de l'acceptabilité : le questionnaire SUS (<i>System Usability Scale</i>)	208
3.5.5.4. Vers une mesure multidimensionnelle de la qualité de la collaboration entre utilisateurs	209
3.5.6. Conclusion et perspectives	210
3.6. Bibliographie	211

Chapitre 4. Vers des EV plus liés au monde réel 231

Géry CASIEZ, Xavier GRANIER, Martin HACHET, Vincent LEPETIT, Guillaume MOREAU et Olivier NANNIPIERI

4.1. Des défis scientifiques « durs » pour la RA	232
4.1.1. Quel dispositif d'affichage ?	232
4.1.2. Localisation spatiale	234
4.2. Des points peu/pas abordés en RA	237
4.2.1. Introduction	237
4.2.2. Hybridation au travers d'un écran ou d'un visiocasque	238
4.2.2.1. Interaction à partir d'un dispositif mobile	238
4.2.2.2. Interaction dans l'air	238
4.2.2.3. Interaction avec des objets tangibles	239
4.3. Réalité augmentée spatiale	240
4.3.1. Hybridation du monde réel et du monde virtuel	240
4.3.2. Évolutions courantes	241
4.4. La présence dans la réalité augmentée	241
4.4.1. La présence dans la réalité : le modèle de la présence dans les environnements virtuels ?	242
4.4.2. La réalité mixte : pour en finir avec l'opposition réel <i>versus</i> virtuel ?	244
4.4.3. De la réalité mixte à la présence mixte	244
4.4.4. La réalité augmentée : un environnement total	245
4.5. Impact des surfaces tactiles sur l'interaction 3D	246
4.5.1. Interaction 3D	246
4.5.2. Interaction 3D sur surfaces tactiles	248

4.5.2.1. Introduction	248
4.5.2.2. Manipulations 3D	249
4.5.2.3. Contrôle de point de vue	250
4.5.2.4. Multisurfaces et affichage stéréoscopique	250
4.6. Bibliographie	252

Chapitre 5. Perspectives scientifiques et techniques 259

Caroline BAILLARD, Philippe GUILLOTEL, Anatole LÉCUYER, Fabien LOTTE,
Nicolas MOLLET, Jean-Marie NORMAND et Gaël SEYDOUX

5.1. Les révolutions promises pour le divertissement	259
5.1.1. Introduction	259
5.1.2. Définition du nouveau média immersif polymorphe	260
5.1.3. Les expériences promises	263
5.1.4. Perspectives	266
5.2. Les interfaces cerveau-ordinateur	269
5.2.1. Introduction et définitions	269
5.2.2. Ce que ne sont pas les BCI	270
5.2.3. Principe de fonctionnement des BCI	271
5.2.3.1. Mesurer l'activité cérébrale	271
5.2.3.2. Traiter et classifier les signaux cérébraux	272
5.2.3.3. <i>Feedback</i> et apprentissage humain	273
5.2.4. Les applications actuelles des BCI	273
5.2.4.1. Technologies d'assistance et applications médicales	273
5.2.4.2. Applications d'interaction homme-machine pour tous	275
5.2.5. Le futur des BCI	278
5.3. Perceptions alternatives en réalité virtuelle	279
5.3.1. Introduction	279
5.3.2. Pseudo-sensorialité	280
5.3.2.1. Retour pseudo-haptique	280
5.3.2.2. Retour pseudo-gustatif et autres sens	283
5.3.3. Perception alternative du mouvement	284
5.3.3.1. Introduction	284
5.3.3.2. Mouvement haptique : <i>Haptic Motion</i>	285
5.3.3.3. Mouvements de caméras virtuelles	286
5.3.4. Perception alternative de son corps	287
5.3.4.1. Illusions corporelles	287
5.3.4.2. Altération de la perception corporelle en RV	288
5.3.5. Conclusion	292
5.4. Bibliographie	293

Chapitre 6. Les enjeux et les risques de la démocratisation de la RV-RA	299
Philippe FUCHS	
6.1. Introduction	299
6.2. Problèmes de confort et de santé	302
6.2.1. Les différents problèmes	302
6.2.2. Incohérences sensorimotrices	303
6.2.2.1. Observation	304
6.2.2.2. Navigation	305
6.2.2.3. Manipulation	305
6.3. Les solutions pour éviter inconfort et malaise	306
6.3.1. Présentation de la démarche	306
6.3.2. Atténuation de l'impact de l'incohérence visuo-vestibulaire	306
6.3.3. Suppression de l'incohérence visuo-vestibulaire en modifiant le fonctionnement du paradigme d'interaction	307
6.3.4. Suppression de l'incohérence visuo-vestibulaire en modifiant les interfaces	308
6.3.5. Niveaux de difficultés d'adaptation	308
6.4. Conclusion	309
6.5. Bibliographie	309
Conclusion. Quelles RV-RA dans 10 ans ?	311
Bruno ARNALDI, Pascal GUITTON et Guillaume MOREAU	
Postface	315
Bruno ARNALDI, Pascal GUITTON et Guillaume MOREAU	
Glossaire	319
Liste des auteurs	321
Index	323