

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	1
<b>Chapitre 1. Fondements du métaverse</b> . . . . .	3
1.1. Introduction au métaverse . . . . .	3
1.1.1. Une nouvelle étape de l'évolution numérique . . . . .	3
1.1.2. Une immersion sans précédent . . . . .	3
1.1.3. La convergence technologique . . . . .	4
1.1.4. Une redéfinition de la présence humaine . . . . .	4
1.1.5. Un nouvel espace social . . . . .	5
1.1.6. Au croisement de multiples industries . . . . .	5
1.1.7. Les enjeux éthiques et sociétaux . . . . .	6
1.1.8. Une révolution en cours . . . . .	6
1.2. Histoire et origines des mondes virtuels . . . . .	7
1.2.1. Aux origines : les premières visions du virtuel . . . . .	7
1.2.2. L'émergence des interfaces humaines . . . . .	7
1.2.3. Les mondes virtuels des années 1990 : les premiers pas du métaverse. . . . .	8
1.2.4. La révolution des mondes persistants . . . . .	8
1.2.5. L'influence des jeux en ligne modernes . . . . .	9
1.2.6. L'arrivée de la réalité virtuelle moderne . . . . .	9
1.2.7. La pandémie : un accélérateur déterminant . . . . .	10
1.2.8. De la science-fiction à l'infrastructure du futur . . . . .	10
1.3. Technologies VR, AR, IA et <i>blockchain</i> . . . . .	11
1.3.1. Introduction : les piliers technologiques du métaverse . . . . .	11
1.3.2. La réalité virtuelle : immersion totale . . . . .	11
1.3.3. La réalité augmentée : fusion du réel et du virtuel. . . . .	12

1.3.4. L'intelligence artificielle : moteur du métaverse. . . . .	13
1.3.5. La <i>blockchain</i> : identité, propriété et souveraineté . . . . .	14
1.3.6. Convergence des technologies . . . . .	14
1.3.7. Un socle pour l'avenir . . . . .	15
1.4. Architecture du métaverse . . . . .	15
1.4.1. Comprendre la structure d'un monde immersif . . . . .	15
1.4.2. Une architecture en couches. . . . .	16
1.4.3. Le rôle des moteurs de rendu . . . . .	17
1.4.4. La gestion des avatars : une architecture humaine. . . . .	18
1.4.5. La notion de persistance . . . . .	19
1.4.6. Interopérabilité : un enjeu central . . . . .	19
1.4.7. Gestion de la sécurité et de la confidentialité. . . . .	20
1.4.8. Le rôle des jumeaux numériques . . . . .	20
1.4.9. Une architecture orientée vers l'évolution . . . . .	21
1.4.10. Un système vivant. . . . .	21

## **Chapitre 2. Applications du métaverse . . . . . 23**

2.1. Applications du métaverse en santé . . . . .	23
2.1.1. Une révolution en cours dans le domaine médical. . . . .	23
2.1.2. Les hôpitaux virtuels et la consultation immersive . . . . .	23
2.1.3. La chirurgie immersive et la planification opératoire . . . . .	24
2.1.4. La formation médicale immersive . . . . .	25
2.1.5. Thérapie VR et santé mentale. . . . .	25
2.1.6. Les jumeaux numériques de patients . . . . .	26
2.1.7. Rééducation physique et cognitive en environnement virtuel . . . . .	26
2.1.8. Un outil d'égalité d'accès aux soins . . . . .	27
2.1.9. Métaverse, médicament et transformation du cycle pharmaceutique . . . . .	27
2.1.9.1. Recherche et développement virtuels . . . . .	27
2.1.9.2. Jumeaux numériques moléculaires . . . . .	28
2.1.9.3. Essais cliniques immersifs et sécurisés . . . . .	28
2.1.9.4. Suivi thérapeutique XR . . . . .	28
2.1.9.5. Pharmacies virtuelles sécurisées . . . . .	29
2.1.9.6. Formation immersive des pharmaciens . . . . .	29
2.1.9.7. Traçabilité des médicaments <i>via blockchain</i> . . . . .	29
2.1.9.8. Intelligence artificielle et pharmacovigilance immersive . . . . .	29
2.1.9.9. Apports économiques et organisationnels . . . . .	30
2.1.9.10. Un nouveau paradigme du médicament. . . . .	30

---

2.1.10. Défis, limites et questions éthiques . . . . .	30
2.1.11. Un futur prometteur . . . . .	31
2.2. Applications du métaverse en économie . . . . .	31
2.2.1. Une nouvelle frontière économique . . . . .	31
2.2.2. Les biens et services virtuels . . . . .	32
2.2.3. Les entreprises immersives . . . . .	32
2.2.4. Marchés virtuels et commerce immersif . . . . .	33
2.2.5. Travail immersif et collaboration augmentée. . . . .	33
2.2.6. Économie des créateurs et nouveaux métiers. . . . .	34
2.2.7. Les modèles économiques basés sur la <i>blockchain</i> . . . . .	34
2.2.8. Les jumeaux numériques économiques . . . . .	35
2.2.9. Risques, limites et régulation . . . . .	35
2.2.10. Une économie en expansion rapide. . . . .	36
2.3. Applications du métaverse en éducation . . . . .	36
2.3.1. Une transformation pédagogique majeure . . . . .	36
2.3.2. Les campus virtuels : une nouvelle forme de présence . . . . .	37
2.3.3. Apprentissage immersif : comprendre par l'expérience . . . . .	37
2.3.4. Laboratoires virtuels : science sans risque . . . . .	38
2.3.5. Éducation collaborative et classes augmentées. . . . .	38
2.3.6. Formation professionnelle et technique . . . . .	39
2.3.7. Accessibilité et réduction des inégalités. . . . .	39
2.3.8. Apprentissage personnalisé grâce à l'IA . . . . .	40
2.3.9. Éducation culturelle et patrimoniale . . . . .	40
2.3.10. Limites, risques et enjeux pédagogiques. . . . .	41
2.3.11. Un nouveau modèle éducatif . . . . .	41
2.4. Industrie, travail et collaboration XR. . . . .	42
2.4.1. Une transformation profonde du monde du travail . . . . .	42
2.4.2. Jumeaux numériques industriels . . . . .	42
2.4.3. Environnements de travail immersifs . . . . .	42
2.4.4. Simulation industrielle et formation technique. . . . .	43
2.4.5. Collaboration interdisciplinaire et innovation . . . . .	44
2.4.6. Logistique et chaîne d'approvisionnement augmentées . . . . .	44
2.4.7. Sécurité au travail et prévention des risques . . . . .	45
2.4.8. Recrutement immersif et intégration. . . . .	45
2.4.9. Travail hybride et avenir des organisations. . . . .	46
2.4.10. Un tournant pour l'industrie mondiale . . . . .	46
2.5. Identité, sécurité et gouvernance dans le métaverse . . . . .	47
2.5.1. Un nouvel espace nécessitant des règles solides . . . . .	47
2.5.2. Identité numérique : au-delà du simple avatar . . . . .	47
2.5.3. Identité autosouveraine (SSI) . . . . .	48
2.5.4. Sécurité : un environnement de haute sensibilité . . . . .	48

2.5.5. Protection des données biométriques et émotionnelles . . . . .	49
2.5.6. Rôle de la <i>blockchain</i> dans la sécurité . . . . .	50
2.5.7. Gouvernance des plateformes . . . . .	50
2.5.8. Modération et éthique . . . . .	50
2.5.9. Normes internationales et interopérabilité juridique . . . . .	51
2.5.10. Construire un espace de confiance . . . . .	52
<b>Chapitre 3. Perspective 2050 : l'avenir du métaverse . . . . .</b>	<b>53</b>
3.1. Le métaverse en 2050 : un horizon de convergence . . . . .	53
3.2. Interfaces immersives avancées . . . . .	54
3.3. Rôle central de l'intelligence artificielle . . . . .	54
3.4. Santé 2050 : médecine virtuelle et hôpitaux hybrides . . . . .	55
3.5. Économie 2050 : une fusion du réel et du virtuel. . . . .	55
3.6. Éducation 2050 : l'apprentissage ubiquitaire . . . . .	56
3.7. Industrie 2050 : l'automatisation immersive . . . . .	56
3.8. Sociétés immersives : culture, socialisation et identité . . . . .	57
3.9. Défis majeurs à relever . . . . .	57
3.10. Une vision d'ensemble . . . . .	58
<b>Conclusion . . . . .</b>	<b>59</b>
<b>Glossaire . . . . .</b>	<b>61</b>
<b>Bibliographie . . . . .</b>	<b>65</b>
<b>Index . . . . .</b>	<b>69</b>