

Table des matières

Avant-propos	1
Introduction	5
Chapitre 1. Internet des objets (IoT)	21
1.1. Définition	21
1.2. Fondements de l’IoT	23
1.2.1. Connectivité omniprésente	23
1.2.2. Intelligence embarquée et analyse des données	24
1.2.3. Interopérabilité et collaboration des systèmes	24
1.2.4. Automatisation et optimisation des processus	24
1.3. Architecture de l’IoT	24
1.3.1. Architecture IoT à trois couches (modèle classique ou traditionnel)	25
1.3.1.1. Couche de perception (<i>perception layer</i>)	25
1.3.1.2. Couche réseau (<i>network layer</i>)	26
1.3.1.3. Couche application (<i>application layer</i>)	26
1.3.1.4. Limites de l’architecture IoT à trois couches	26
1.3.2. Architecture IoT à plusieurs couches	28
1.4. Capteur, actionneurs, passerelle et systèmes embarqués	29
1.4.1. Capteur	29
1.4.2. Actionneurs	30
1.4.3. Passerelle (<i>gateway</i>)	30
1.4.4. Systèmes embarqués	30
1.5. Protocoles de communication IoT	31

1.5.1. Protocoles de communication à longue portée (LPWAN)	31
1.5.1.1. LoRaWAN (<i>Long Range Wide Area Network</i>)	31
1.5.1.2. NB-IoT (<i>Narrowband Internet of Things</i>)	32
1.5.1.3. Sigfox	32
1.5.2. Protocoles de communication sans fil courte portée.	33
1.5.2.1. Wi-Fi	33
1.5.2.2. BLE (<i>Bluetooth Low Energy</i>)	33
1.5.2.3. Zigbee	33
1.5.3. Protocoles réseau pour l'adressage IP	34
1.5.3.1. 6LoWPAN (<i>IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks</i>)	34
1.5.3.2. Thread	34
1.5.4. Protocoles d'échange de données et de messagerie	35
1.5.4.1. MQTT (<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>)	35
1.5.4.2. CoAP (<i>Constrained Application Protocol</i>)	35
1.5.4.3. HTTP/HTTPS (<i>HyperText Transfer Protocol/HyperText Transfer Protocol Secure</i>)	36
1.5.4.4. AMQP (<i>Advanced Message Queuing Protocol</i>)	37
1.5.4.5. DDS (<i>Data Distribution Service</i>)	37
1.5.4.6. WebSocket	38
1.6. Support de communication.	38
1.7. Domaines applicatifs de l'IoT : une révolution technologique	39
1.7.1. Maison intelligente	40
1.7.2. Villes intelligentes	41
1.7.3. Santé numérique.	41
1.7.4. Transports intelligents	42
1.7.5. IoT industriel (IIoT)	42
1.7.6. Agriculture intelligente.	43
1.7.7. Environnement et agriculture intelligents.	43
1.7.8. Chaîne d'approvisionnement et logistique	44
1.8. Différentes extensions de l'IoT	45
1.8.1. IoV (<i>Internet of Vehicles</i>)	45
1.8.2. IoMT (<i>Internet of Medical Things</i>)	45
1.8.3. IIoT (<i>Industrial Internet of Things</i>)	46
1.8.4. IoE (<i>Internet of Everything</i>)	46
1.8.5. IoRT (<i>Internet of Robotic Things</i>)	46
1.8.6. IoA (<i>Internet of Agriculture</i>)	47
1.8.7. IoB (<i>Internet of Behaviors</i>)	47
1.8.8. IoST (<i>Internet of Space Things</i>)	47
1.9. Conclusion : enjeux, défis et perspectives pour un avenir connecté. . .	48

Chapitre 2. Les transformateurs de l'avenir : du numérique (4.0) à l'humain (5.0)	51
2.1. Introduction.	51
2.2. Industrie 4.0 : le passage de la vision à la réalité	54
2.2.1. Origines et définition	54
2.2.2. Les piliers de l'industrie 4.0.	55
2.2.2.1. L'Internet des objets (IoT)	56
2.2.2.2. Les systèmes cyber-physiques (CPS)	56
2.2.2.3. La fabrication additive.	56
2.2.2.4. L'intelligence artificielle (IA)	57
2.2.2.5. Le Big Data et l'analyse des données	59
2.2.2.6. La connectivité avancée.	60
2.2.3. Impacts et défis de l'industrie 4.0	62
2.3. Industrie 5.0 : vers une approche plus humaine.	63
2.3.1. Définition et différences avec l'industrie 4.0.	63
2.3.1.1. La collaboration homme-machine	63
2.3.1.2. La durabilité environnementale	64
2.3.1.3. L'intelligence artificielle	64
2.3.1.4. Les usines intelligentes	64
2.3.2. Impacts et défis de l'industrie 5.0	65
2.4. De la société 1.0 à la société 5.0	66
2.4.1. L'évolution accélérée des sociétés humaines.	66
2.4.2. De la société traditionnelle à l'industrie 4.0 et à la société 4.0 : une société augmentée par la technologie	67
2.4.2.1. Une société hyperconnectée	68
2.4.2.2. L'humain au cœur d'un écosystème numérique.	68
2.4.2.3. Un monde du travail en mutation	68
2.4.2.4. La gouvernance par les données	69
2.4.2.5. Vers une société plus intelligente, mais aussi plus responsable.	69
2.4.3. De la société 4.0 à la société 5.0 : replacer l'humain au cœur de la technologie	69
2.5. Société 5.0 : une vision d'avenir humain	70
2.5.1. Origine et définition	70
2.5.2. Les principes de la société 5.0	72
2.5.3. Les applications de la société 5.0.	73
2.5.4. Les défis de la société 5.0	74
2.6. Interactions entre industrie 4.0, industrie 5.0 et société 5.0.	77
2.7. Conclusion : vers un équilibre entre innovation, humanité et durabilité	79

Chapitre 3. Automatisation intelligente et cobots dans l'industrie 5.0

3.1. Introduction à l'automatisation intelligente et à l'industrie 5.0	81
3.2. Fondements de l'industrie 5.0	82
3.3. Contexte et défis de l'industrie 5.0	84
3.4. Rôle des cobots dans l'industrie 5.0	86
3.5. Intégration des cobots avec l'IoT et le Cloud Computing.	87
3.6. Développement des solutions IoT et langages clés.	91
3.7. Étude de cas : application pratique	93
3.7.1. Supervision intelligente d'une station de traitement d'eau par système embarqué IoT	95
3.8. Dimensions sociétales 5.0	101
3.8.1. Éducation 5.0	101
3.8.2. Ingénierie 5.0	103
3.8.3. Éthique 5.0	105
3.8.4. Université 5.0	107
3.8.5. Gouvernance 5.0	109
3.9. Défis, acceptabilité sociale et impact environnemental	111
3.10. Réglementations et normes de sécurité.	114
3.11. Perspectives d'évolution et innovations futures.	115
3.12. Conclusion	117

Chapitre 4. Défis et solutions du paradigme 5.0

4.1. Introduction.	119
4.2. Caractéristiques et défis de l'industrie 5.0 et de la société 5.0	119
4.2.1. Défis communs et synergies.	121
4.2.2. Fabrication additive intelligente et durabilité sociétale.	122
4.2.3. Maintenance prédictive et résilience sociétale	123
4.2.4. L'hyperpersonnalisation : une innovation centrée sur l'humain.	124
4.2.5. Systèmes cyber-physiques cognitifs et collaboration homme-machine	125
4.3. Technologies clés de l'industrie 5.0 et de la société 5.0 : opportunités et défis	126
4.3.1. Informatique en périphérie (Edge Computing).	128
4.3.2. Jumeaux numériques	128
4.3.3. Robots collaboratifs (cobots)	130
4.3.4. Déploiement à grande échelle de l'IoT : enjeux et opportunités.	130
4.3.5. Blockchain	131
4.3.6. Réseaux 6G et au-delà : enjeux et perspectives	133

4.3.7. Sécurité et confidentialité des données	133
4.3.8. Interopérabilité et intégration des systèmes.	134
4.3.9. Consommation énergétique et durabilité	135
4.3.10. Formation et adaptation des compétences	136
4.3.11. Éthique et responsabilité	137
4.3.12. Accessibilité et inclusion.	137
4.3.13. Technologies avancées au service de l'industrie 5.0 et de la société 5.0	139
4.4. Sécurité et confidentialité des données IoT	141
4.4.1. Sécurité des données	141
4.4.2. Réglementation et conformité.	141
4.5. Gestion de l'interopérabilité	142
4.6. Résilience numérique	144
4.7. Applications de l'industrie 5.0 et de la société 5.0 : une vision unifiée . .	145
4.7.1. Santé durable	147
4.7.2. Éducation continue	148
4.7.3. Mobilité intelligente	148
4.7.4. Gestion énergétique.	149
4.7.5. Sécurité alimentaire.	150
4.7.6. Inclusion sociale.	151
4.7.7. Épanouissement	152
4.7.8. Engagement	153
4.8. Conclusion	153

Chapitre 5. L'avenir des industries intelligentes : tendances et innovations (2030-2050)

Chapitre 5. L'avenir des industries intelligentes : tendances et innovations (2030-2050)	155
5.1. Introduction.	155
5.1.1. Contexte et enjeux des industries intelligentes à l'horizon 2050 . .	155
5.1.2. Méthodologie : approche prospective et scénarios explorés . . .	157
5.1.3. Cadres théoriques mobilisés : techno-futurisme, éthique anticipative, <i>design fiction</i>	157
5.2. Innovations technologiques majeures	158
5.2.1. La fusion du biologique et du numérique : l'émergence du Bio-IoT.	159
5.2.2. L'IoT quantique : vers une connectivité ultrarapide et sécurisée.	159
5.2.3. Les jumeaux numériques : des usines aux villes intelligentes . . .	159
5.2.4. La révolution des réseaux 6G et de l'IoT spatial.	160
5.2.5. L'informatique neuromorphique : des puces inspirées du cerveau humain	160

5.2.6. L'IA générative et la conception autonome des systèmes industriels	161
5.2.7. L'énergie intelligente et distribuée : microgrids, batteries organiques, IoT énergétique	161
5.2.8. L'ingénierie adaptative : vers des systèmes industriels auto-évolutifs	162
5.2.9. Agents intelligents et métiers augmentés : la coévolution homme-machine	162
5.2.10. L'informatique quantique et le piégeage d'ions : vers une puissance de calcul post-classique	163
5.3. L'automatisation poussée et ses implications	165
5.3.1. L'usine autonome : vers une production sans intervention humaine.	165
5.3.2. L'évolution des usines vers l'autonomie intelligente	166
5.3.3. Robotique collaborative et cobots ultra-avancés.	167
5.3.4. La singularité industrielle : l'ère des usines autonomes	167
5.4. Économie, durabilité et symbiose techno-bio-écologique.	167
5.4.1. L'économie symbiotique : fusion intelligente entre technologie et nature	168
5.4.2. L'IoT au service de l'économie circulaire et de la réduction des déchets.	169
5.4.3. Les matériaux intelligents et autoréparants	169
5.4.4. L'équilibre technologique : entre innovation et durabilité	170
5.4.5. Usines à empreinte carbone négative et écologie industrielle automatisée	170
5.5. Enjeux géopolitiques et réglementaires	171
5.5.1. La bataille des standards : un enjeu géopolitique majeur.	171
5.5.2. L'IoT comme outil de <i>soft power</i> : Chine, États-Unis et Europe en compétition.	172
5.5.3. Cyberguerres et vulnérabilités des infrastructures intelligentes . .	172
5.5.4. Vers une gouvernance mondiale de l'IA industrielle ?	172
5.6. Impacts sociétaux et défis éthiques	174
5.6.1. Vers une société massivement instrumentée : opportunités et risques	174
5.6.2. Surveillance généralisée : sécurité <i>versus</i> libertés individuelles. .	175
5.6.3. L'obsolescence humaine et le futur du travail dans un monde hyper-automatisé	175
5.6.4. Fracture numérique 2.0 : marginalisation des pays non connectés	176
5.6.5. L'identité numérique industrielle : l'humain augmenté au travail	177

5.6.6. Réinventer le travail à l'ère des intelligences artificielles : compétences, métiers et humanité augmentée	177
5.7. Scénarios prospectifs et visions du futur.	178
5.7.1. L'Internet des pensées (IoMT) : contrôler les machines par la pensée.	180
5.7.2. Les usines vivantes : biologie synthétique et fabrication organique	181
5.7.3. L'avènement du Vibe Coding : révolutionner la création logicielle	182
5.8. Conclusion	183
5.8.1. Synthèse des tendances clés.	183
5.8.2. Incertitudes et pistes de réflexion pour l'avenir	184
5.8.3. La nécessité d'une éthique mondiale de l'innovation industrielle	185
5.8.4. Industries intelligentes : définir un horizon humaniste et durable.	187
Conclusion.	189
Bibliographie	193
Index	203