

# Table des matières

<b>Introduction</b> . . . . .	13
<b>Chapitre 1. Comment comprendre et analyser un système technologique</b> . . . . .	17
1.1. L'approche ontologique du système technologique, une vision de structure . . . . .	18
1.1.1. Le système technologique comme ensemble organisé de systèmes techniques . . . . .	18
1.1.1.1. L'unité structurante : le principe technique unitaire . . . . .	19
1.1.1.2. L'organisation d'ensembles techniques à complexité croissante . . . . .	19
1.1.2. Le macrosystème technologique, l'instance suprême de l'organisation technologique . . . . .	20
1.1.2.1. Une organisation hiérarchique informationnelle et cognitive . . . . .	20
1.1.2.2. Représentation de la hiérarchie technologique dans le système technologique contemporain . . . . .	21
1.1.3. Système technique – macrosystème technologique : un continuum conceptuel . . . . .	21
1.2. Interdépendance et cohérence technologique : le principe systémique de dynamique des systèmes technologiques . . . . .	22
1.2.1. Interdépendances quantitatives et qualitatives . . . . .	22
1.2.2. Interdépendance intratechnologie et intertechnologie. . . . .	22
1.2.3. Un système technologique tend à former un ensemble cohérent . . . . .	23
1.3. La représentation du mouvement : le cycle de vie technologique, la discontinuité du mouvement technique. . . . .	24

1.3.1. Le cycle de vie technologique . . . . .	24
1.3.2. Les formalismes du cycle de vie : la courbe en S . . . . .	25
1.3.2.1. Mouvement technologique et courbe en S . . . . .	25
1.3.2.2. La modélisation de la substitution technologique . . . . .	26
1.3.2.3. La stabilité conditionnelle de la courbe en S : interaction entre le cycle de vie individuel et le mouvement technologique global . . . . .	26
1.4. Modèle de restructuration interne des systèmes technologiques par les trois composantes technique-architecture-fonction . . . . .	27
1.4.1. Une formalisation des composantes du système technique : l'articulation technique-architecture-fonction . . . . .	27
1.4.1.1. Le système technique comme espace ordonné et interlié des fonctions . . . . .	28
1.4.1.2. Le système technologique comme espace cohérent des procédés techniques . . . . .	28
1.4.1.3. Le système technique comme architecture des architectures . . . . .	28
1.4.2. La dynamique d'interaction par la relation fonction-architecture-principe . . . . .	28
1.4.3. Systèmes technologiques, vagues d'innovation et révolutions technologiques . . . . .	29
1.4.4. Dynamique du système technologique et système social . . . . .	30

## **Chapitre 2. La dynamique historique des systèmes technologiques : mise en perspective historique du système technologique contemporain . . . . . 33**

2.1. Le grand système technologique préindustriel . . . . .	33
2.1.1. La révolution industrielle du XII <sup>e</sup> siècle. La vague médiévale d'un mouvement permanent d'innovation . . . . .	34
2.1.1.1. L'agriculture . . . . .	35
2.1.1.2. Un premier âge d'or du machinisme et de l'innovation mécanique . . . . .	35
2.1.1.3. L'architecture . . . . .	36
2.1.1.4. Les boucles de rétroaction de mise en place et de renforcement du système technologique médiéval . . . . .	37
2.1.2. Le rebond de la « Renaissance ». Y a-t-il une spécificité technologique et innovative de la Renaissance ? . . . . .	38
2.1.3. La stabilisation et la maturité classique . . . . .	41
2.2. La révolution industrielle anglaise et le premier système technologique industriel . . . . .	42

<b>Chapitre 3. Le système technologique contemporain émerge du précédent : la troisième révolution technologique . . . . .</b>	<b>45</b>
3.1. Les nouvelles technologies génériques à l'origine du nouveau système . . . . .	46
3.1.1. Les nouveaux matériaux . . . . .	46
3.1.2. Une nouvelle mécanique . . . . .	46
3.1.3. Une nouvelle activité industrielle : la chimie . . . . .	47
3.1.4. L'énergie, nouvelles sources et nouvelles machines . . . . .	48
3.2. La formation du deuxième système technologique . . . . .	49
3.2.1. La structuration technologique et la formation d'une nouvelle cohérence . . . . .	49
3.2.2. La mise en place d'une nouvelle organisation industrielle . . . . .	50
3.2.3. Le nouveau rapport avec l'environnement : l'invention de nouvelles matières premières . . . . .	51
3.2.4. Une technologie liée à la science . . . . .	52
3.2.5. Un système technologique pour cent ans . . . . .	52
3.3. La crise du deuxième système technologique industriel . . . . .	54
3.3.1. La saturation des technologies génériques et ses manifestations directes . . . . .	55
3.3.1.1. L'incapacité des technologies traditionnelles à répondre aux exigences économiques et sociales . . . . .	55
3.3.1.2. Quelques manifestations indirectes et globales de la crise du système technologique . . . . .	60
3.3.2. Crise du système technologique et crise de l'organisation . . . . .	66
3.3.2.1. La crise de l'organisation scientifique du travail . . . . .	66
3.3.2.2. La mutation des exigences et comportements de consommation . . . . .	69
 <b>Chapitre 4. Formation du troisième système technologique et première vague du nouveau système technologique . . . . .</b>	 <b>73</b>
4.1. Émergence de nouvelles technologies génériques . . . . .	74
4.1.1. De l'informatique aux technologies de l'information . . . . .	74
4.1.1.1. Le microprocesseur : miniaturisation, explosion des puissances et certains de ses effets . . . . .	74
4.1.1.2. L'explosion des applications, monde des XAO et prolifération des « tiques » . . . . .	78
4.1.1.3. Une technologie électronique d'accompagnement : les télécommunications . . . . .	80
4.1.1.4. Une technologie du futur : la technologie de la lumière . . . . .	81

4.1.2. L'hyperchoix des matériaux . . . . .	82
4.1.2.1. La nature de la mutation. . . . .	82
4.1.2.2. Le monde composite. . . . .	83
4.1.2.3. La vitalité des plastiques . . . . .	84
4.1.3. Les biotechnologies. . . . .	85
4.1.3.1. La biotechnologie : l'unité du concept . . . . .	85
4.1.3.2. Les biotechnologies : diversité des produits et procédés. . . . .	86
4.1.4. L'énergie : la nouveauté dans la diversité. . . . .	89
4.1.4.1. La question des hydrocarbures . . . . .	89
4.1.4.2. Les technologies énergétiques alternatives nées du choc pétrolier . . . . .	90
4.2. La structuration du nouveau système technologique. . . . .	92
4.2.1. La formation du maillage technologique . . . . .	93
4.2.1.1. L'interaction croissante au sein et entre les technologies génériques . . . . .	93
4.2.1.2. La recomposition des technologies traditionnelles . . . . .	93
4.2.1.3. La génération d'objets et dispositifs nouveaux . . . . .	95
4.2.1.4. L'accès à de nouveaux milieux . . . . .	95
4.2.2. Une mutation technico-économique . . . . .	96
4.2.2.1. Du produit à la fonction . . . . .	96
4.2.2.2. Une nouvelle manière de produire. . . . .	97
4.2.2.3. Une nouvelle logique du système, le remplacement de la matière et de l'énergie par de l'information . . . . .	98
4.2.3. Une transformation scientifique et épistémologique . . . . .	99
4.2.3.1. Nouveau contexte technologique et révolution scientifique . . . . .	99
4.2.3.2. Cadre et composante de la nouvelle science . . . . .	99

## **Chapitre 5. La deuxième vague du troisième système technologique . . . . . 103**

5.1. Maturation et bifurcation des technologies génériques engendrant une deuxième vague technologique . . . . .	104
5.1.1. La continuation du développement des bases des technologies de l'information. . . . .	104
5.1.1.1. La seconde phase de développement exponentiel des puissances informatiques. . . . .	104
5.1.1.2. La continuation de la recherche de puissance des technologies de l'information : l'ère de la nano-électronique . . . . .	104
5.1.2. Le deuxième âge des matériaux . . . . .	105

5.1.3. Le développement de la photonique . . . . .	106
5.1.3.1. La technologie laser . . . . .	106
5.1.3.2. Les capteurs . . . . .	107
5.1.4. La montée en puissance de la biologie . . . . .	107
5.1.5. L'approfondissement de la diversification énergétique . . . . .	109
5.1.5.1. Le nucléaire, technologie aux limites . . . . .	109
5.1.5.2. Les énergies renouvelables . . . . .	110
5.1.5.3. L'hydrogène . . . . .	111
5.1.6. Une dimension nouvelle de technologies génériques : les propriétés nanométriques . . . . .	111
5.2. La recomposition et le développement des applications. . . . .	112
5.2.1. Un mouvement porté par la convergence des technologies : les cinq forces de recomposition du système technologique. . . . .	112
5.2.2. Les nouvelles applications par convergence . . . . .	115
5.2.2.1. L'innovation par la convergence des technologies est particulièrement puissante dans le domaine des technologies de l'information et de la communication : la connexion généralisée, sur le web . . . . .	115
5.2.2.2. La convergence vers un composant universel, les capteurs . . . . .	117
5.2.2.3. La mécatronique . . . . .	118
5.2.2.4. De la montée en puissance du système technique à la convergence de l'application informatique de grande puissance : l'intelligence artificielle . . . . .	119
5.3. La vague des nouveaux systèmes techniques, nouveaux objets et nouvelles fonctions . . . . .	121
5.3.1. Le système des réseaux et connexions. . . . .	121
5.3.1.1. Développement du web. De la généralisation du courrier électronique aux réseaux sociaux, à l'e-commerce et à l'internet des objets . . . . .	121
5.3.1.2. La téléphonie mobile. Réseaux sans fil et infrastructures de transmission . . . . .	122
5.3.1.3. L'internet des objets . . . . .	123
5.3.2. La réalité virtuelle. . . . .	123
5.3.2.1. Multimédia et technologies immersives . . . . .	123
5.3.2.2. Ingénierie numérique et simulation . . . . .	124
5.3.3. Les objets intelligents . . . . .	125
5.3.3.1. Un nouveau monde des robots : robotique autonome . . . . .	126
5.3.3.2. La cobotique . . . . .	127

5.3.4. Un nouveau monde de la production. . . . .	128
5.3.4.1. Une phase nouvelle d'intégration de systèmes de production et de logistique intelligents . . . . .	128
5.3.4.2. La fabrication additive. . . . .	129
5.3.5. Les systèmes techniques de la bio et du nano . . . . .	129
5.3.5.1. Les systèmes de la bio . . . . .	129
5.3.5.2. Les objets et systèmes nano. . . . .	130
5.3.6. L'innovation incrémentale polyvalente . . . . .	130
5.4. La pression environnementale, une source de changement de la trajectoire d'innovation . . . . .	131

## **Chapitre 6. La deuxième vague du système technologique bouleverse et réorganise l'économie et les systèmes sociaux . . . . . 137**

6.1. Les nouveaux marchés, nouvelles industries, nouveaux modèles d'affaires . . . . .	138
6.1.1. Nouveaux produits, recomposition des produits et des fonctions, nouveaux marchés . . . . .	138
6.1.1.1. Destruction créatrice et disparition de produits et marchés traditionnels . . . . .	138
6.1.1.2. Création de nouveaux produits et services, déploiement fonctionnel, nouveaux usages . . . . .	138
6.1.1.3. Une nouvelle combinaison de produits et services . . . . .	139
6.1.2. Une recomposition sectorielle des économies . . . . .	140
6.1.3. Nouveaux modèles de consommation, nouveaux modes de marché. . . . .	140
6.1.4. Les nouveaux modèles d'affaires. . . . .	141
6.1.5. Nouvelle forme de concurrence, nouvelle concentration . . . . .	142
6.2. Bouleversement du système productif . . . . .	143
6.2.1. L'évolution de la productivité. . . . .	143
6.2.2. Productivité et emploi . . . . .	144
6.2.3. Une polarisation de la répartition du revenu . . . . .	145
6.2.4. Un système technologique mondialisé, une bifurcation possible . . . . .	145
6.3. Les nouveaux modes de l'économie . . . . .	147
6.3.1. Les paradoxes de la croissance . . . . .	147
6.3.1.1. La panne apparente de la croissance . . . . .	147
6.3.1.2. L'hypothèse d'un ajustement technologique transitoire . . . . .	147
6.3.1.3. L'interprétation par la fuite de la valeur . . . . .	147
6.3.2. La question de la valeur, la crise du PIB, renouvellement de la comptabilisation de l'économie . . . . .	148

---

6.4. Interaction avec la dynamique sociétale . . . . .	149
6.4.1. Bouleversement de l'organisation du travail . . . . .	149
6.4.1.1. La transformation de l'organisation et des rapports de travail et de connaissance . . . . .	149
6.4.1.2. Le changement des rapports de travail, la disparition de l'intermédiation, la remise en cause du salariat, l'uberisation. . . . .	149
6.4.2. Renouveau et réorganisation de la R&D . . . . .	149
6.4.3. La crise du modèle éducatif et nouvelles voies de formation . . . . .	151
6.4.4. Crise de la gouvernance et recherche de nouvelles règles . . . . .	152
6.4.4.1. Crise de la gouvernance et exigences d'une nouvelle régulation. . . . .	152
6.4.4.2. Questions d'éthique, nouvelles réalités et nouvelles règles. . . . .	153
<b>Conclusion. L'avenir du système technologique contemporain, continuité ou rupture ? . . . . .</b>	<b>155</b>
<b>Bibliographie . . . . .</b>	<b>161</b>
<b>Index . . . . .</b>	<b>171</b>