

Table des matières

Introduction	1
Partie 1. Crise de l'Anthropocène et transition écologique	7
Introduction de la partie 1	9
Chapitre 1. Émergence de l'Anthropocène : historique des effets écologiques de l'activité humaine et de sa technologie.	11
1.1. Aux commencements, l'humanité intégrée à la biosphère	11
1.2. La première période d'activité humaine artificielle : du Néolithique à la révolution industrielle	12
1.2.1. La révolution néolithique	12
1.2.2. Cinq mille ans d'expansion lente de l'activité humaine	14
1.3. La révolution industrielle du XVIII ^e siècle, début de l'Anthropocène . .	16
1.4. L'apogée de l'Anthropocène.	17
1.4.1. La deuxième révolution industrielle amplificatrice de la crise écologique	17
1.4.1.1. Un développement généralisé de la combustion comme source d'énergie	18
1.4.1.2. Limite d'un système extractif : la crise de l'énergie	19
1.4.1.3. Développement massif de rejets, une société des déchets . .	19
1.4.1.4. Les effets destructeurs de l'agriculture intensive et la fracture métabolique	21
1.4.2. L'apogée du système technologique contemporain et la crise écologique.	22

1.4.2.1. Une crise énergétique et une nouvelle révolution technologique	22
1.4.2.2. Le changement d'échelle de l'activité et l'extension du monde technologique	23
1.4.2.3. La crise écologique de l'Anthropocène	24

Chapitre 2. De la crise écologique de l'Anthropocène à la transition écologique 27

2.1. Structure et formes de la crise écologique	27
2.1.1. Le réchauffement ou dérèglement climatique	29
2.1.2. Du dérèglement du système atmosphérique à la crise du système hydrologique	29
2.1.3. Dérèglements et dégradation du système écologique, provoquant notamment l'extinction d'espèces animales...	29
2.2. Les facteurs anthropiques : rejets, extractions et dégradations	32
2.2.1. L'émission de gaz à effet de serre	32
2.2.2. « La contamination du monde » : les pollutions chimiques et biologiques	35
2.2.3. La production de déchets	37
2.2.4. L'épuisement des ressources	38
2.2.5. La dégradation des espaces naturels et l'artificialisation des espaces.	42
2.3. Un processus marqué par une dimension d'urgence	43
2.4. De la crise à la transition écologique, l'impératif de la mutation technologique	44
2.4.1. Face à la crise écologique, la nécessaire prise en compte des nuisances écologiques des technologies mises en œuvre	44
2.4.2. Nécessité de l'élimination des technologies aux effets destructeurs, « l'euthanasie des technologies »	45
2.4.3. Générer des innovations technologiques incrémentales pour améliorer l'efficacité écologique de technologies traditionnelles non remplaçables	46
2.4.4. Générer un courant de technologies nouvelles de rupture ou de résurgence compatibles avec l'environnement	47
2.4.5. Niveau unitaire et impact global, nécessité d'une diversité de la réponse technologique.	47
2.4.6. Générer des technologies dédiées à réparer les dégâts engendrés par la crise écologique	48
2.5. Note technique sur la modélisation de la limite écologique d'une technologie	48

2.5.1. Limite écologique d'une activité	49
2.5.2. De la mesure de contribution à l'indicateur unitaire de nuisance écologique : la filière technologique cadre pertinent	50
Partie 2. Des mutations technologiques en cours face à la crise écologique	53
Introduction de la partie 2.	55
Chapitre 3. Les mutations technologiques pour la transition énergétique et les transports	57
3.1. Les scénarios de transition énergétique	57
3.1.1. L'abandon programmé des technologies énergétiques thermiques à combustible fossile	59
3.1.1.1. La tendance à l'élimination de la production électrique au charbon	59
3.1.1.2. Les centrales au fioul : une quasi-disparition déjà entamée .	61
3.1.2. Deux modes de production d'électricité thermique conventionnels en recours	62
3.1.2.1. Une exception énergétique et écologique : les centrales à gaz	62
3.1.2.2. Un mode de production électrique controversé mais durable : le nucléaire	62
3.1.3. Le recours aux énergies renouvelables	64
3.1.3.1. L'énergie solaire	65
3.1.4. L'énergie solaire de concentration	66
3.1.4.1. L'énergie éolienne	66
3.1.4.2. Le retour de l'hydraulique	68
3.1.4.3. L'énergie géothermique	71
3.1.4.4. Les nouveaux dispositifs pour pallier l'intermittence des énergies renouvelables	72
3.2. Mutations écotechnologiques dans les transports	72
3.2.1. Le transport routier	73
3.2.1.1. La limite écologique du système de transport routier et automobile : l'émission de gaz à effet de serre	73
3.2.1.2. Un facteur amplificateur : l'effet de masse, l'importance du parc automobile et sa croissance	74

3.2.1.3. La réponse initiale : la mutation de la technologie de motorisation des transports routiers	75
3.2.1.4. Une tendance de transformation technologique de deuxième ordre : la motorisation pile à combustible/hydrogène	76
3.2.1.5. Un second niveau de réponse technologique : la reconfiguration du système technique automobile	77
3.2.1.6. La fin du « tout-automobile » : la diversification des modes de transport	78
3.2.2. Le transport aérien	79
3.2.2.1. Les nuisances environnementales du transport aérien	79
3.2.2.2. Les réponses technologiques pour réduire les émissions.	80
3.2.3. Le transport maritime	83
3.2.3.1. L'impact environnemental du transport maritime.	83
3.2.3.2. Les réponses technologiques	84
3.2.4. Le transport ferroviaire.	86

Chapitre 4. Les réponses technologiques à la crise écologique dans les activités de transformation.	89
4.1. L'extraction minière.	89
4.1.1. Pollutions et dégradations écologiques de l'industrie minière.	89
4.1.2. Les technologies correctives	90
4.2. Les industries des matériaux et de la première transformation.	91
4.2.1. La sidérurgie.	92
4.2.2. Le ciment et les matériaux de construction	92
4.3. L'industrie chimique	93
4.3.1. L'industrie chimique et l'environnement	93
4.3.2. Tendances de la mutation technologique vers la transition écologique de l'industrie chimique	94
4.4. Crise écologique et réponses technologiques dans les industries de transformation	97
4.4.1. L'industrie textile	97
4.4.2. L'industrie du cuir	98
4.4.3. L'industrie agroalimentaire	99
4.4.4. L'emballage	100
4.4.4.1. Un impact écologique important et croissant	100
4.4.4.2. Des tendances de réponses dans la transition écologique	101
4.5. L'industrie électronique et numérique	102
4.5.1. Les technologies de l'information perçues comme immatérielles et réductrices de l'impact écologique des autres activités	102

4.5.2. L'aggravation de l'empreinte écologique par les technologies de l'information	103
4.5.2.1. Le secteur du numérique, un gigantesque dispositif matériel	103
4.5.2.2. Dégagement de gaz à effet de serre	104
4.5.2.3. La consommation massive de matières premières	104
4.5.2.4. La forte consommation d'énergie	105
4.5.2.5. Génération massive et croissante de déchets	106
4.5.3. Un système autocroissant	107
4.5.4. Les parades envisagées.	109
4.5.4.1. Les parades d'usage	109
4.5.4.2. Les parades technologiques.	110
4.6. L'habitat et la construction, l'effet écologique de l'habitat et sa réponse technologique	111
4.6.1. Les conséquences écologiques des activités de la construction. . .	112
4.6.2. L'effet écologique de la structure de l'habitat et de l'occupation de l'espace	112
4.6.3. L'adaptation architecturale et urbanistique optimisée aux conditions climatiques	112
4.6.4. De l'habitat « passoire thermique » à l'isolation des bâtiments . .	113
4.7. L'agriculture, l'élevage et la pêche	113
4.7.1. L'agriculture dans l'Anthropocène.	114
4.7.1.1. Les limites écologiques	114
4.7.1.2. Le développement de l'agriculture par conquête sur les espaces naturels : agriculture intensive et dégradation des terroirs.	115
4.7.2. Les réponses écotecnologiques	116
4.7.2.1. L'agriculture écosystémique et régénérative.	116
4.7.2.2. Les réponses technologiques artificialistes.	117
4.7.3. L'agriculture cellulaire.	118

Chapitre 5. Les technologies émergentes réparatrices des effets de la crise écologique 121

5.1. L'économie circulaire : le recyclage et le reconditionnement	122
5.1.1. Réutilisation et réemploi.	122
5.1.2. Le recyclage	123
5.1.2.1. Le recyclage matière.	123
5.1.2.2. Le recyclage de produits et systèmes en fin de vie	126
5.1.3. Le reconditionnement des produits et systèmes	127

- 5.1.3.1. Le reconditionnement à l'identique pour prolongation de durée de vie, le développement d'un marché de la seconde main 127
- 5.1.3.2. La refonte (réetrofit) des systèmes techniques pour leur mise aux normes écologiques 128
- 5.1.4. L'économie circulaire locale : écologie industrielle et territoriale 129
- 5.2. Une filière de décarbonation, le stockage et la valorisation du CO₂. 130
 - 5.2.1. Le stockage du CO₂. 130
 - 5.2.1.1. Les trois phases du *Carbon Capture and Storage*. 130
 - 5.2.2. La valorisation du CO₂. 132
 - 5.2.2.1. La séquestration, transformation biologique du CO₂ 133
- 5.3. La production artificielle de l'eau douce. 134
- 5.4. Des technologies réparatrices de la dégradation environnementale : ingénierie et génie écologique 136
 - 5.4.1. Les technologies d'ingénierie écologique réparatrice 137
 - 5.4.2. La géo-ingénierie 138

Partie 3. La mutation technologique pour la transition écologique, son processus et ses limites 141

Introduction de la partie 3. 143

Chapitre 6. Vers un nouveau système technologique 145

- 6.1. La destruction créatrice, première phase de la mutation technologique engendrée par la transition écologique 145
- 6.2. Structure et formes d'un nouveau système technologique 148
 - 6.2.1. De nouvelles technologies génériques portées par l'exigence écologique 148
 - 6.2.1.1. Nouvelles technologies énergétiques 148
 - 6.2.1.2. Retour et dominance de la chimie : la « chimisation » écologique 151
 - 6.2.1.3. La biologie élargie, technologie générique majeure du nouveau système technologique 152
 - 6.2.2. Des technologies génériques traditionnelles réorientées par la transition écologique 154
 - 6.2.2.1. Les technologies numériques : des technologies d'appui à la transition écologique 154
 - 6.2.2.2. La technologie des matériaux reconsidérée 155

6.2.3. Les technologies fonctionnelles spécifiques de la transition écologique	156
6.2.3.1. Technologies du recyclage et de la valorisation des déchets	156
6.2.3.2. Les technologies de production d'eau douce.	157
6.2.3.3. Les technologies de géo-ingénierie et de génie écologique	158
6.3. Les voies de la transition écotechnologique.	158
6.3.1. Nouvelle logique du système technologique	158
6.3.2. Les itinéraires de la mutation écotechnologique.	158
6.3.2.1. La première mutation incitative au mouvement technologique : l'élimination sélective des technologies traditionnelles	159
6.3.2.2. Émergence de nouvelles technologies de rupture	160
6.3.2.3. Réemploi, régénération de technologies connues	160
6.3.2.4. Le recours à une technologie de substitution disponible.	160
6.3.2.5. Amélioration de l'efficacité d'une technologie traditionnelle non remplaçable	160
6.3.2.6. « Divergence fonctionnelle » et diversification des technologies remplissant une même fonction pour réduire l'impact environnemental global.	161
6.3.2.7. Un processus progressif	162
6.3.2.8. L'intégration du système	162
Chapitre 7. Modalités et limites de la transition	165
7.1. Le processus de la transition technoécologique.	166
7.1.1. Les moteurs de la mutation	166
7.1.1.1. La puissance et la rapidité du courant d'innovation technologique.	166
7.1.1.2. Une contrainte au changement technologique portée par la puissance publique	167
7.1.2. Les freins à la mutation	169
7.1.2.1. L'inertie technologique	169
7.1.2.2. Limitation quantitative du processus de transition par les ressources.	170
7.1.2.3. Limitations de la transition environnementale par les effets rebonds et effets de transferts	171
7.1.2.4. Les facteurs économiques de l'inertie du mouvement de transition écotechnologique.	172
7.2. Limites d'efficacité de la mutation technologique pour la transition écologique	174
7.2.1. L'effet de masse dans la crise écologique.	174

7.2.2. La reconfiguration du système technicoéconomique induite par la mutation technologique initiale (vers une logique de sobriété et de réduction de la croissance)	176
7.2.2.1. Réorganisation du système industriel	177
7.2.2.2. Une recomposition technologique de deuxième rang, le changement des produits et systèmes, recomposition des structures de consommation	178
7.3. Évaluation prospective de la contribution de la mutation technologique et des changements sociétaux à la transition écologique	181
7.3.1. Les enseignements d'un plan de transition environnemental : « The Shift Project »	181
7.3.2. La modélisation prospective de quatre voies de la transition écologique, sur le cas de la France : Prospective transitions 2050	185
Conclusion	189
Bibliographie	193
Index	199