

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	<b>9</b>
<b>Introduction</b> . . . . .	<b>11</b>
<b>Chapitre 1. Fondamentaux de l'énergie</b> . . . . .	<b>17</b>
1.1. Concept . . . . .	17
1.2. Représentation émergétique des systèmes . . . . .	18
1.3. Application des règles de l'énergie . . . . .	19
1.3.1. Exemple 1. Système avec des coproduits . . . . .	20
1.3.2. Exemple 2. Système avec un distributeur dans une boucle. . . . .	22
1.3.3. Exemple 3. Système avec coproduits, distributeur et boucle. . . . .	24
1.3.4. Exemple complet . . . . .	26
1.3.5. Exercice . . . . .	31
1.4. Énergie des sources. . . . .	32
1.4.1. Paradigme de base de la géobiosphère. . . . .	33
1.4.2. Ressources fossiles . . . . .	36
1.4.2.1. Charbon . . . . .	36
1.4.2.2. Pétrole et gaz naturel. . . . .	40
1.4.3. Minerai . . . . .	41
1.4.4. EmMonnaie . . . . .	45
1.4.5. De la ressource fossile au produit combustible. . . . .	48
1.5. Méthodologie de l'analyse émergétique . . . . .	48
1.5.1. Exemple. Production d'aluminium aux Etats-Unis . . . . .	49
1.6. Ratio émergétique . . . . .	51

<b>Chapitre 2. Emergie et conversion d'énergie renouvelable</b> . . . . .	<b>55</b>
2.1. Substitution de gaz naturel par du bois-énergie. . . . .	56
2.1.1. Analyse d'une chaufferie bois . . . . .	56
2.1.1.1. Analyse émergétique. . . . .	57
2.1.1.2. Bilan CO <sub>2</sub> . . . . .	59
2.1.2. Analyse d'une chaufferie gaz naturel . . . . .	60
2.1.2.1. Analyse émergétique. . . . .	60
2.1.2.2. Bilan CO <sub>2</sub> . . . . .	61
2.1.3. Ecolimite de fonctionnement . . . . .	61
2.1.4. Exemple d'application . . . . .	65
2.2. Ressource éolienne . . . . .	71
2.2.1. Description émergétique. . . . .	71
2.2.2. Modèle simplifié d'éolienne. . . . .	74
2.2.3. Ressource en vent. . . . .	78
2.3. Panneau solaire. . . . .	83
2.3.1. Centrale solaire thermique. . . . .	83
2.3.2. Centrale photovoltaïque . . . . .	86
2.4. Production de biodiesel et glycérol à partir d'huile de palme . . . . .	89
2.5. Production de biocarburant à partir d'algues . . . . .	92
2.5.1. Macro-algue . . . . .	93
2.5.2. Micro-algue . . . . .	95
2.6. Synthèse. . . . .	96
<b>Chapitre 3. Emergie et recyclage</b> . . . . .	<b>101</b>
3.1. Introduction. . . . .	101
3.1.1. Production directe : de la matière première au produit . . . . .	102
3.2. Approche locale . . . . .	103
3.2.1. Recyclage continu sans perte de matière . . . . .	103
3.2.2. Recyclage continu avec perte de matière au niveau du recyclage. . . . .	108
3.2.3. Recyclage continu avec perte de matière au niveau de la transformation . . . . .	109
3.2.3.1. Exemple d'application : aluminium . . . . .	110
3.2.4. Recyclage discontinu. . . . .	112
3.2.4.1. Suite de l'exemple d'application : aluminium . . . . .	116
3.2.5. Comparaison avec une approche globale . . . . .	118
3.2.5.1. Recyclage continu sans perte de matière . . . . .	118
3.2.5.2. Conclusion. . . . .	120
3.3. Recyclage avec pertes de qualité et de matière . . . . .	120
3.3.1. Quantification des pertes d'exergie . . . . .	122
3.3.2. Pertes d'exergies liées au recyclage . . . . .	122
3.3.2.1. Collecte et séparation . . . . .	123

---

3.3.2.2. Déchiquetage et tri . . . . .	123
3.3.2.3. Fusion . . . . .	124
3.3.2.4. Formulation . . . . .	124
3.3.3. Recyclage avec adjuvant (sans perte au niveau du raffinage et de la transformation) . . . . .	125
3.4. Ratio . . . . .	134
3.4.1. Propriété d'un ratio . . . . .	137
3.5. Exercice . . . . .	138
3.5.1. Exemple d'applications : acier . . . . .	138
3.5.2. Exemple d'applications : verre . . . . .	139
3.5.3. Exemple d'applications : plastique (application bâtiment) . . . . .	140
<b>Chapitre 4. Notions avancées en énergie . . . . .</b>	<b>143</b>
4.1. Introduction. . . . .	143
4.2. Énergie de la matière. Révision de la théorie. . . . .	144
4.2.1. Transformité. Une échelle temporelle de l'exergie des sources . . . . .	144
4.2.2. VEU des minerais par les états thermodynamiques . . . . .	146
4.2.2.1. Approche des états thermodynamiques . . . . .	146
4.2.2.2. Énergie des minerais . . . . .	149
4.2.2.3. Principales conséquences . . . . .	154
4.2.3. Exemple de mise en œuvre. Production de cuivre en Australie . . . . .	155
4.2.4. Pic de Hubbert et énergie . . . . .	157
<b>Conclusion . . . . .</b>	<b>161</b>
<b>Annexes. Valeur énergétique unitaire de minerais . . . . .</b>	<b>163</b>
<b>Nomenclature . . . . .</b>	<b>171</b>
<b>Bibliographie . . . . .</b>	<b>175</b>
<b>Index . . . . .</b>	<b>181</b>