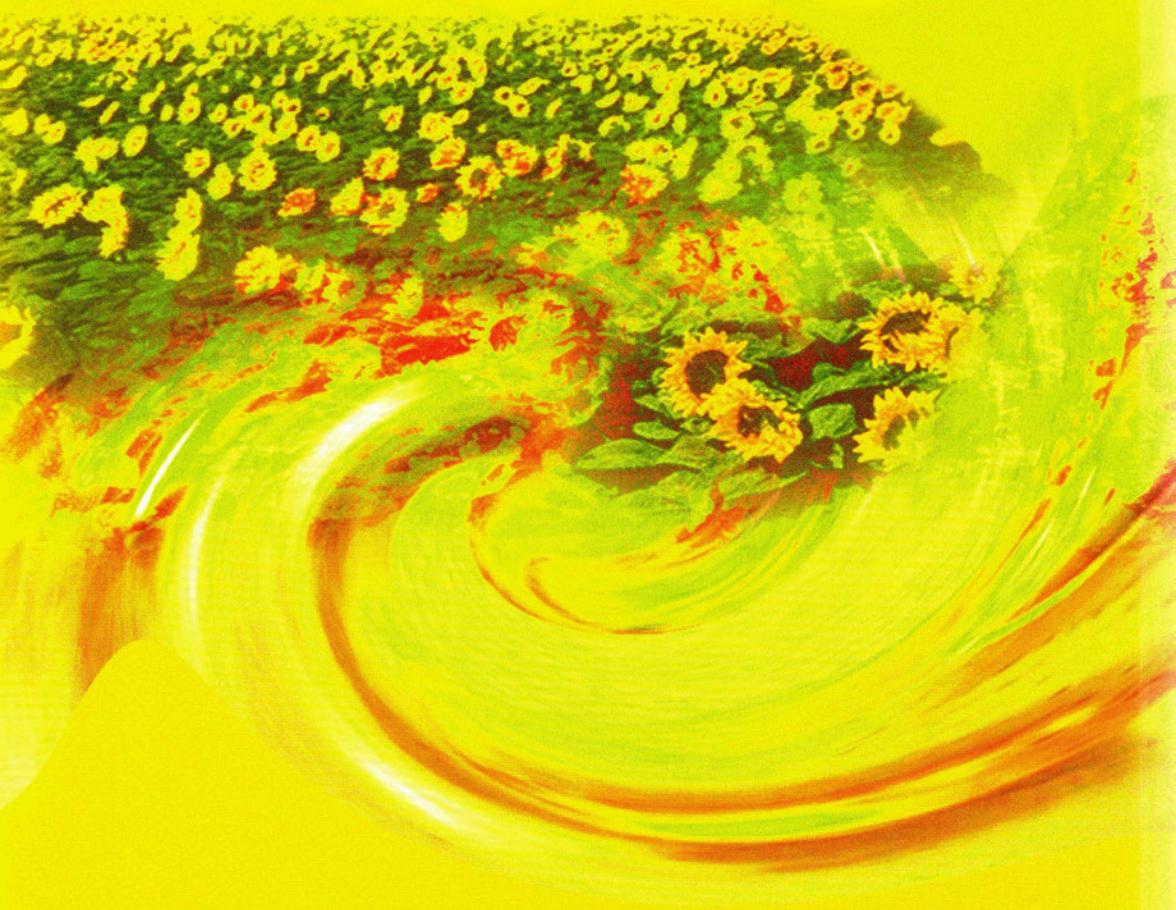


Paul Colonna
coordonnateur

La chimie verte



Editions
TEC
& **DOC**

Lavoisier

Table des matières

Introduction

<i>(Marion Guillou)</i>	1
Évolution de la chimie	1
Demandes sociétales	2
Place de la biomasse végétale	4
Quels domaines pour les utilisations non alimentaires des ressources végétales ?	5
Quelles nouvelles recherches ?	7
Quelles politiques de recherche ?	7
Conclusion	8

Chapitre 1

La disponibilité des terres agricoles françaises pour des usages énergétiques

<i>(Hervé Bichat)</i>	9
Introduction	9
1. Évolution des superficies agricoles affectées aux usages non alimentaires de 1860 à 2000	10
2. Usages de la SAU au cours des années 1990	13
2.1. Usages non alimentaires	15
2.2. Exportations des productions agricoles	16
3. Choix politique fondamental	18
Conclusions	20
Références bibliographiques	20

Chapitre 2

Fractionnement de la biomasse lignocellulosique en synthons

<i>(Michael J. O'Donohue et Philippe Debeire)</i>	21
Introduction	21
1. Structure et composition générique des lignocelluloses	22
1.1. Cellulose	22
1.2. Hémicelluloses	23
1.3. Lignine	24

2. Technologies de l'hydrolyse et du fractionnement	24
2.1. Hydrolyse acide	24
2.1.1. Hydrolyse acide dilué	25
2.1.2. Hydrolyse à l'acide concentré	30
2.2. Méthodes enzymatiques	31
2.2.1. Prétraitement	31
2.2.2. Enzymes hydrolysant les parois végétales : cellulases et hémicellulases	32
2.3. Nouvelles technologies et perspectives	37
Références bibliographiques	38

Chapitre 3

Manipulation des voies de synthèse des synthons dédiés à la chimie verte

(Gregory Mouille, Catherine Lapiere, Lise Jouanin, Dominique Job et Jean-François Morot-Gaudry)

Introduction – La transgénèse	41
1. Optimisation des plantes oléagineuses : synthèse d'acides gras d'intérêt	43
1.1. Acides gras	43
1.2. Voie de synthèse des acides gras	44
1.3. Plantes transformées pour la synthèse des acides gras	46
1.4. Plantes transformées pour la synthèse de triglycérides	49
1.5. Ingénierie de la synthèse des acides gras	50
1.6. Rôle de l'acétyl-CoA carboxylase cytosolique de plante	51
1.7. Conséquences de la transgénèse	51
2. Synthèse de l'amidon	52
2.1. Structure de l'amidon	53
2.2. Voie de biosynthèse de l'amidon	53
2.3. Modification de la voie de biosynthèse de l'amidon par transgénèse	55
2.3.1. Augmentation de la quantité d'amidon	55
2.3.2. Modification de la composition et de la structure de l'amidon	56
2.4. Amyloplaste : une bio-usine pour la synthèse de polymères à façon	57
2.5. Perspectives	58
3. Modification des lignines par génie génétique	58
3.1. Biosynthèse des lignines	61
3.1.1. Biosynthèse des monolignols précurseurs des lignines	61
3.1.2. Polymérisation des monolignols en lignines au sein d'une matrice polysaccharidique	62
3.2. Modification de la voie de biosynthèse des lignines	63
3.2.1. Mutants	63
3.2.2. Plantes transgéniques	64
3.2.3. Pilotage génétique de la lignification : vers des plantes aux lignines sur mesure ?	64
3.3. Perspectives	67
4. Modification du métabolisme des acides aminés par transgénèse	68
4.1. Facteurs limitant la synthèse de lysine chez les plantes	68
4.2. Facteurs régulant la biosynthèse de méthionine chez les plantes et conséquences sur l'accumulation de S-adenosylméthionine	71

Conclusion	72
Références bibliographiques	74

Chapitre 4

Valorisations non alimentaires de productions agricoles par voie biologique

(Philippe Blanc, Gérard Goma)	79
Introduction	79
1. Produits potentiels	79
2. Environnement nécessaire	87
2.1. Environnement agro-industriel	87
2.2. Sous-utilisation des agroressources sous-utilisé	87
2.3. Perspective de valorisation des agroressources	88
2.4. Besoins d'une culture « VANA/White biotechnology » en Europe	88
2.4.1. Retard de l'Europe par rapport aux États-Unis	88
2.4.2. Retard de la France par rapport à ses voisins européens	89
2.4.3. Besoin d'une culture scientifique spécifique	89
2.5. Exigence d'un environnement scientifique et technologique	91
2.5.1. Système agro-industriel	91
2.5.2. Couple système microbien/système de productions	91
3. Quelques exemples concrets	92
3.1. Biocarburants	92
3.1.1. Éthanol et ETBE	92
3.1.2. Esters d'huiles végétales (EMHV)	94
3.1.3. Vers de nouveaux biodiesels obtenus à partir d'huiles microbiennes (HOU)	96
3.2. Biomatériaux	97
3.2.1. Polyhydroxyalkanoates	97
3.2.2. Polythioesters (PTE)	97
3.2.3. 1,3-propanediol	97
3.2.4. Acide lactique et acide polylactique	98
3.3. Acide succinique	98
Références bibliographiques	98

Chapitre 5

Fibres végétales – Retour vers le futur ?

(Brigitte Chabbert, Catherine Joly et Bernard Kurek)	99
Introduction	99
1. Fibres dans la plante	100
1.1. Origine botanique	101
1.2. Fibres végétales : différents types tissulaires et cellulaires	101
1.2.1. Principaux tissus végétaux	101
1.2.2. Origine et organisation des tissus végétaux	102
1.2.3. Principaux types cellulaires des fibres industrielles	104
1.3. Parois végétales : constituants majeurs des fibres industrielles	108
1.3.1. Architecture des parois	108

1.3.2. Constituants pariétaux	109
1.3.3. Réseau pariétal : dynamique d'assemblage	112
1.4. Modulation des caractéristiques des fibres : facteurs génétiques et écophysiologiques	113
1.5. Conclusion	114
2. Fractionnement	115
2.1. Objectifs et problématique du fractionnement	115
2.2. Méthodes de fractionnement et de préparation des fibres	116
2.2.1. Procédés industriels mécaniques et chimiques	116
2.2.2. Procédés plus spécifiques aux plantes à fibres	121
2.2.3. Fibres recyclées – Un aspect particulier du fractionnement	124
3. Propriétés physicochimiques et mécaniques des fibres	125
3.1. Morphologie	126
3.1.1. Fibre isolée et faisceau de fibres	126
3.1.2. Défauts structuraux des fibres industrielles	126
3.2. Mécanique et organisation supramoléculaire	129
3.2.1. Fibres unitaires	129
3.2.2. Faisceaux de fibres	130
3.3. Influence de l'eau	130
3.3.1. Propriétés mécaniques quasi-statiques	131
3.3.2. Propriétés viscoélastiques	131
3.4. Propriétés de surface	133
3.5. Propriétés et biochimie structurale des fibres	134
4. Applications et spécifications techniques	134
4.1. Papier	134
4.2. Panneaux de fibres	136
4.3. Composites	137
4.3.1. Mise en œuvre	137
4.3.2. Interface fibres/matrice	138
4.3.3. Avantages/inconvénients	138
4.3.4. Caractéristiques techniques	139
4.3.5. Conclusion	139
Conclusions	140
Références bibliographiques	141

Chapitre 6

Matériaux à base d'amidons et de leurs dérivés

<i>(Denis Lourdin et Paul Colonna)</i>	145
Introduction	145
1. Amidon	146
1.1. Niveaux de structures	146
1.2. États de l'amidon	148
2. Méthodes d'investigations des propriétés physiques des matériaux	149
2.1. Propriétés mécaniques	149
2.2. Calorimétrie	150
2.3. Analyse thermomécanique dynamique	150

3. Matériaux à base exclusive d'amidon	151
3.1. Amidon à l'état amorphe	151
3.2. Mise en forme du matériau	151
3.3. Propriétés mécaniques des amidons thermoplastiques	155
3.4. Modifications chimiques de l'amidon	159
4. Matériaux associant d'autres polymères	160
4.1. Amidon en élément de charge	161
4.1.1. Mélanges polyéthylène/amidon natif	161
4.1.2. Mélanges polyesters microbiens/amidon natif	162
4.2. Mélanges de polymères	166
4.2.1. Principes	166
4.2.2. Mise en œuvre en solution	167
4.2.3. Mise en œuvre en phases condensées	168
4.3. Composites amidon/fibres	172
4.3.1. Principes	172
4.3.2. Développements	172
Conclusion	173
Références bibliographiques	173

Chapitre 7

Protéines matériaux

<i>(Stéphane Guilbert, Marie-Hélène Morel et Bernard Cuq)</i>	179
Introduction	179
1. Structure des protéines	181
2. Technologies de fabrication et de mise en œuvre des matériaux à base de protéines	184
3. Modifications physiques et chimiques	189
4. Principaux matériaux à base de protéines et leurs applications	191
5. Propriétés des matériaux à base de protéines	193
6. Aspects environnementaux : biodégradabilité et analyse du cycle de vie	198
Conclusion	200
Références bibliographiques	201

Chapitre 8

Polymères du type poly(acide lactique)

<i>(Michel Vert)</i>	205
Introduction	205
1. Acides lactiques	206
2. Poly(acide lactique)s	207
3. Principales propriétés des poly(acide lactique)s	209
4. Dégradation et bioassimilation des poly(acide lactique)s	210
5. Applications	211
Références bibliographiques	213

Chapitre 9

Caoutchouc naturel – Maîtrise de la variabilité

<i>(Jérôme Sainte Beuve, Laurent Vaysse et Frédéric Bonfils)</i>	215
Introduction – Les enjeux de la filière.	215
1. Caoutchouc naturel : un polymère industriel d'origine végétale	216
1.1. Biosynthèse	216
1.2. Composition	218
1.3. Production : saignée et récolte	219
1.4. Transformation	220
1.4.1. Première transformation et principaux produits de base	220
1.4.2. Deuxième transformation et principaux produits finis	222
1.5. Ses propriétés spécifiques.	223
1.6. Variabilité de la qualité du caoutchouc naturel.	223
1.6.1. La qualité vue par les industriels (consommateurs)	223
1.6.2. Indicateurs pertinents de la qualité	224
1.7. Facteurs d'influence	229
1.7.1. Facteurs édaphoclimatiques	229
1.7.2. Facteurs agronomiques.	229
1.7.3. Facteurs d'usinage	232
2. Substitution : une des conséquences de la variabilité.	234
Conclusions et perspectives	234
Références bibliographiques	235

Chapitre 10

Sucrochimie

<i>(Yves Queneau et Juliette Fitremann)</i>	239
Introduction – Le saccharose comme matière première	239
1. Saccharose : réactivité, sélectivité	240
1.1. Introduction	240
1.2. Éthérification.	242
1.3. Estérification	243
1.4. Acétalation	246
1.5. Oxydation	247
1.6. Conclusion.	247
2. Milieux réactionnels et méthodes d'activation	248
2.1. Procédés hétérogènes sans solvant	248
2.2. Utilisation de ressources brutes, non raffinées.	249
2.3. Solvants et réactifs « atypiques » : CO ₂ sc, liquides ioniques, fluorure d'hydrogène.	249
2.4. Méthodes d'activations physiques : micro-ondes et ultrasons	249
2.5. Hautes pressions et hautes températures.	250
3. Applications	250
3.1. Métabolites obtenus par bioconversion.	250
3.2. Oligosaccharides et polysaccharides obtenus par bioconversion	252
3.3. Isomérisations, réductions et oxydations des sucres.	253
3.4. Tensioactifs	255

3.5. Additifs alimentaires et pharmaceutiques	257
3.6. Additifs de matériaux	258
3.7. Polymères à résidus sucres	258
3.7.1. Polymères vinyliques à résidus sucres	258
3.7.2. Autres polymères	259
3.8. Intermédiaires de synthèse : furfural, hydroxyméthylfurfural et hétérocycles divers	260
Conclusion	261
Références bibliographiques	262

Chapitre 11

Propriétés tensioactives et détergentes de biopolymères amphiphiles

(*Monique Axelos, Serge Bérot, Isabelle Schmidt et Jacques Guéguen*) 271

Introduction 271

1. Paramètres clés de la formation et de la stabilisation des mousses et des émulsions et de l'aptitude à la détergence	273
1.1. Formation et stabilisation des mousses	273
1.2. Formation et stabilisation des émulsions	275
1.3. Détergence	276
2. Différents types de fonctionnalisation applicables aux biopolymères	278
2.1. Fonctionnalisation des protéines	278
2.1.1. Modification de la structure tridimensionnelle et démasquage de régions hydrophobes	282
2.1.2. Augmentation du caractère apolaire par greffage chimique ou enzymatique	282
2.1.3. Augmentation de la polarité par succinylation, désamidation, glycosylation et phosphorylation	284
2.2. Fonctionnalisation des polysaccharides	286
2.2.1. Greffage de chaînes pendantes fortement hydrophobes	286
2.2.2. Greffage covalent de protéines sur des polysaccharides	288
3. Propriétés des biopolymères fonctionnalisés	289
3.1. Propriétés tensioactives des protéines modifiées : formation et caractéristiques du film interfacial	289
3.2. Protéines modifiées dans les systèmes	291
3.2.1. Émulsions	291
3.2.2. Mousses	293
3.2.3. Détergence	294
3.3. Propriétés tensioactives des polysaccharides modifiés	295
4. Assemblages non covalents : une alternative intéressante	296
Conclusions	298
Références bibliographiques	298

Chapitre 12

Lipochimie

(Zéphirin Mouloungui, Sandrine Pelet, Valérie Eychenne et Sandrine Mateo) 305

Introduction	305
1. Bases oléochimiques en détergence	305
1.1. Introduction	305
1.2. Contribution de l'élément hydrophobe	306
1.3. Fonctionnalité des chaînes hydrophobes	309
1.3.1. Tensio-actifs à bases d'acides gras	309
1.3.2. Tensio-actifs à base d'esters gras et d'alcools gras	311
1.4. Tensio-actifs non ioniques à caractère hydrophile	313
1.4.1. Alcools et esters gras alcoylés	313
1.4.2. Tensio-actifs non ioniques totalement naturels	314
1.5. Conclusions et perspectives	316
2. Lubrifiants végétaux écocompatibles	318
2.1. Introduction	318
2.2. Structures chimiques des huiles minérales et propriétés des fluides fonctionnels	319
2.3. Structure des huiles végétales et propriétés fonctionnelles des huiles et dérivés	321
2.4. Performances lubrifiantes des esters oléochimiques	322
2.5. Étude structures-propriétés – Performance des esters totaux de néopentylpolyols	323
2.5.1. Indice de non-polarité	323
2.5.2. Viscosité – Esters totaux	325
2.5.3. Indice de viscosité	326
2.5.4. Point d'éclair	327
2.5.5. Point d'écoulement des esters totaux	328
2.5.6. Corrélations et exploitation	329
2.6. Esters lubrifiants encombrés et multipolaires	330
2.6.1. Propriétés physicochimiques et performances des esters encombrés et multipolaires	330
2.6.2. Principe de la mesure de la stabilité chimique par ATG/ATD/SM	332
2.6.3. Comparaison des valeurs de stabilité thermique par les températures de point d'éclair et d'analyse par ATG/ATD/SM	333
2.6.4. Résistance à l'oxydation de l'octanoate de carbonate de glycérol	334
2.6.5. Capacité de charge et performances anti-usure des esters de carbonate de glycérol	335
2.6.6. Propriétés tensio-actives des esters de CG	336
2.7. Remarques – Perspective	338
3. Solvants et technologie de remplacement	339
3.1. Introduction	339
3.2. Aspects réglementaires en matière de solvants organiques	340
3.3. Remplacement de solvant à problèmes	341
3.3.1. Solvants de remplacement dans les procédés d'extraction des huiles alimentaires résiduelles dans les tourteaux	341
3.3.2. Solvants de remplacement dans les procédés de nettoyage/dégraissage industriels	343

3.3.3. Alternatives « agrosolvants pour le remplacement de solvants pétrochimiques »	344
3.4. Technologies alternatives	350
3.4.1. Alternatives aux solvants hydrocarbonés dans les peintures alkyles.	350
3.4.2. CO ₂ supercritique : CO ₂ -SC solvant de remplacement de nombreux solvants organiques	351
Conclusion	352
Références bibliographiques	352

Chapitre 13

Fonctionnalisation des composés végétaux féruloylés en vanilline par les basidiomycètes

(Laurence Lesage-Meessen, Estelle Bonnin, Anne Lomascolo, Jean-François Thibault et Marcel Asther)	357
Introduction	357
1. Champignons filamenteux : un nouvel outil pour la production d'arômes naturels	358
1.1. Atouts des biotechnologies pour l'obtention d'arômes naturels	358
1.2. Potentialités des basidiomycètes	359
1.2.1. Arômes de type benzoate	366
1.2.2. Arômes de type phénylacétate	366
1.2.3. Arômes de type cinnamate.	367
1.2.4. Arômes de type butanone.	367
2. Vanilline : arôme du millénaire	367
2.1. Arôme naturel de vanille.	368
2.1.1. Origine et culture du vanillier	368
2.1.2. Traitement des gousses vertes	368
2.1.3. Extrait de vanille	370
2.2. Vanilline de synthèse : arôme vanille identique au naturel	371
2.2.1. Synthèse de vanilline à partir de coniférine et d'eugénol	371
2.2.2. Synthèse de vanilline à partir de liqueurs sulfiteuses	372
2.2.3. Synthèse de vanilline à partir de gaïacol	372
2.3. Production de vanilline par voie biotechnologique	373
2.3.1. Cultures végétales.	373
2.3.2. Biotransformations microbiennes	373
3. L'espèce <i>Pycnoporus</i> comme outil de transformation des coproduits agro-industriels féruloylés en vanilline	375
3.1. Mise en évidence et contrôle des voies métaboliques impliquées dans la transformation de l'acide férulique par <i>Pycnoporus cinnabarinus</i>	375
3.1.1. Identification d'un modèle de basidiomycètes d'intérêt technologique et mise en évidence des voies métaboliques de transformation.	375
3.1.2. Construction de lignées performantes par une approche non OGM	377
3.1.2. Association de champignons filamenteux aux propriétés de transformation complémentaires.	378
3.2. Production de vanilline naturelle à partir de coproduits agro-industriels	380
3.2.1. Des coproduits agro-industriels européens riches en acide férulique	380
3.2.2. Fractionnement enzymatique de coproduits agro-industriels européens pour la libération d'acide férulique	381

3.2.3. Production de vanilline naturelle ex-betterave	384
3.2.4. Production de vanilline naturelle ex-maïs	384
4. Réglementation et contrôle	386
4.1. Spectrométrie de masse isotopique	388
4.2. Résonance magnétique nucléaire	388
Conclusion	389
Références bibliographiques	389

Chapitre 14

Bioéthanol : comparaison des sources amidon, saccharose et lignocellulose

<i>(Jacques Pourquié)</i>	395
Introduction	395
1. Caractéristiques communes des procédés de production de bioéthanol	396
1.1. Préparation du moût	397
1.2. Fermentation	397
1.3. Distillation déshydratation	399
1.4. Traitement des coproduits	399
2. Production de bioéthanol à partir de ressources saccharifères	400
3. Production de bioéthanol à partir de ressources amylacées	401
3.1. Préparation des moûts	401
3.2. Traitement des coproduits	402
4. Production de bioéthanol à partir de ressources lignocellulosiques	404
4.1. Préparation des moûts	405
4.1.1. Prétraitement	405
4.1.2. Hydrolyse enzymatique	407
4.1.3. Cellulases	408
4.2. Fermentation distillation	408
4.3. Traitement des coproduits	409
4.3.1. Traitement des hémicelluloses	409
4.4. Traitement du coproduit lignine	411
Conclusion	412
Références bibliographiques	416

Chapitre 15

Biocarburants – Les carburants liquides

<i>(Xavier Montagne)</i>	419
Introduction	419
1. Éthanol et ETBE	420
1.1. Éthanol	420
1.1.1. Utilisation de l'éthanol dans le monde	420
1.1.2. Équilibre entre énergie et gaz à effet de serre	421
1.1.3. Caractéristiques de l'éthanol	424
1.1.4. Éthanol et utilisations sur moteur	429
1.2. ETBE	431
1.3. Forces et faiblesses environnementales de la filière éthanol	433

2. Filière Biodiesel	433
2.1. Biodiesel de première génération : les esters d'huiles végétales	433
2.1.1. Préambule : huiles végétales pures	433
2.1.2. Esters méthyliques d'huiles végétales	436
2.1.3. EMHV : propriétés, performances et impact sur l'environnement	436
2.1.4. EMHV et spécifications	439
2.1.5. EMHV et performances sur moteurs	441
2.1.6. EMHV et impact sur l'environnement	442
2.2. Biodiesel de seconde génération : les carburants de synthèse de type BtL	444
Conclusion	445
Références bibliographiques	445

Chapitre 16

Rôle de l'agriculture et des forêts dans l'effet de serre

<i>(Jean-Luc Dupouey, Dominique Arrouays, Jérôme Balesdent, Benoit Gabrielle, Ghislain Gosse, Gérôme Pignard, Bernard Seguin et Jean-François Soussana) . . .</i>	447
Introduction : le contexte de l'effet de serre	447
1. Effet de serre et changement climatique	448
1.1. Concentration atmosphérique des gaz à effet de serre	448
1.2. Changement climatique	451
1.2.1. Détection du changement climatique	451
1.2.2. Attribution des causes du changement climatique	452
1.2.3. Prévision de l'augmentation du CO ₂ atmosphérique et du réchauffement global	452
1.2.4. Pluviométrie et événements climatiques extrêmes	452
1.3. La convention cadre des Nations unies sur le changement climatique (CCNUCC) et le protocole de Kyoto	453
1.4. Bilan des émissions françaises de gaz à effet de serre	454
2. Cycle du carbone	455
2.1. Stocks et flux planétaires	455
2.2. Biotransformation du carbone	458
2.3. Stockage de carbone dans les sols agricoles	461
2.4. Stockage de carbone dans la biomasse forestière	464
3. La biomasse comme source d'énergie	470
3.1. Gisement de biomasse	471
3.2. Différentes filières de conversion	472
3.2.1. Thermochimie	472
3.2.2. Digestion anaérobie	473
3.2.3. Conversions biologiques et chimiques	474
3.3. Biomasse et effet de serre	474
3.4. Perspectives et enjeux futurs	475
4. Écobilans	477
4.1. Cycle de vie et bilan environnemental d'une production agricole	477
4.2. Définition du système, choix des échelles de temps et d'espace	479
4.3. Calcul des émissions du système	480
Références bibliographiques	483

Chapitre 17

Biodégradabilité : un atout pour la préservation des milieux biotiques*(Pierre Feuilloley, Véronique Bellon-Maurel, Françoise Silvestre**et Christine Cecutti)*..... 487

Introduction 487

1. Biodégradation et produits biodégradables..... 488

1.1. Processus de biodégradation..... 488

1.2. Polymères et produits biodégradables..... 489

2. Enjeux environnementaux et économiques 490

2.1. Avantages environnementaux des matériaux et produits biodégradables 490

2.2. Risques environnementaux potentiels des matériaux/produits
biodégradables 491

2.3. Enjeux économiques 492

3. Méthodes d'évaluation 494

3.1. Évaluation de la biodégradabilité en milieu liquide 494

3.2. Évaluation de la biodégradabilité en milieu solide 496

3.2.1. Évaluation de la biodégradabilité de matériaux sur sol en laboratoire ... 496

3.2.2. Évaluation de la dégradation des produits liquides sur sol 497

3.2.3. Évaluation de la dégradation des produits solides *in situ* 499

3.3. Évaluation de l'écotoxicité 502

3.3.1. Écotoxicité aquatique 502

3.3.2. Écotoxicité terrestre 502

4. Législation, normalisation et labellisation, européennes et françaises..... 503

4.1. Législation européenne 503

4.1.1. Déchets 503

4.1.2. Produits liquides 503

4.2. Législation et réglementation française 504

4.2.1. Législation et réglementation applicables aux matériaux
biodégradables 504

4.2.2. Législation et réglementation applicables aux produits liquides 506

4.3. Normalisation 506

4.3.1. Normalisation européenne 506

4.3.2. Normalisation ISO 508

4.3.3. Normalisation française 508

4.4. Labellisation 508

4.4.1. Matériaux biodégradables 509

4.4.2. Produits liquides biodégradables 509

Conclusion 509

Références bibliographiques 510

Chapitre 18

Analyse économique des filières biocarburants*(Jean-Claude Sourie et Stélios Rozakis)*..... 511

Introduction 511

1. Éléments de méthodologie, des modèles économiques d'exploitations agricoles
à un modèle d'équilibre partiel multifilières et multi-agents 512

1.1. Filières biocarburants, différents niveaux d'analyse.	512
1.1.1. Analyse du coût des matières premières	512
1.1.2. Approche systémique multifilières	512
1.1.3. Analyse de l'intérêt public (ou social) des filières	512
1.2. Approche méthodologique systémique : un assemblage de modèles microéconomiques constituant un modèle d'équilibre partiel	513
2. Résultats	513
2.1. Économie des ressources agricoles non alimentaires, coût d'opportunité et offre	513
2.1.1. Coût et offre de paille de céréales	514
2.1.2. Coûts et offres de cultures énergétiques.	516
2.2. De l'offre agricole, à l'analyse microéconomique des filières et aux coûts des biocarburants	518
2.3. Du coût privé des biocarburants au coût social	520
Conclusions	522
Références bibliographiques	524
Index	525

L'appauvrissement des réserves mondiales d'énergies fossiles et l'implication dans le réchauffement climatique des gaz à effet de serre que leur combustion induit ont infléchi la politique industrielle et énergétique des principaux pays développés. Il s'agit aujourd'hui de réserver le pétrole aux usages pour lesquels il est irremplaçable, de mettre en œuvre des matières premières renouvelables obtenues à partir de cultures de végétaux, et de rechercher la biodégradabilité des molécules et des objets créés industriellement en intégrant le concept de durée de vie dans leur cycle d'usage souhaité.

La chimie verte englobe donc la conception, le développement et l'élaboration des produits et procédés chimiques pour réduire ou éliminer l'usage et la génération des substances dangereuses pour la santé et l'environnement, en inscrivant les modes de fonctionnement actuels de l'industrie chimique dans le cadre plus large du développement durable.

Loin de se limiter aux biocarburants, cet ouvrage passe en revue les applications de la chimie verte dans les **multiples filières industrielles** concernées.

L'articulation de ses cinq parties contribue à dépassionner le débat :

- la 1^{re} partie est consacrée à la **diversité des molécules issues du carbone renouvelable**, en insistant notamment sur la lignocellulose et sur les procédés biotechnologiques ;
- la 2^e partie, consacrée aux matériaux, aborde **l'ensemble des solutions technologiques** disponibles ;
- la 3^e partie est axée sur les **molécules fonctionnelles** et les **intermédiaires chimiques** (synthons), notamment en sucrochimie et en lipochimie ;
- la 4^e partie aborde **les biocarburants**, sous l'angle de leur production et de leur utilisation dans les technologies actuelles ;
- la 5^e et dernière partie traite **des approches globales aux niveaux environnemental et agricole**, qui constituent les chapitres les plus intégratifs de l'ouvrage.

La chimie verte s'adresse aux ingénieurs, en activité ou en formation, de toutes les industries transformant les produits agricoles et forestiers à des fins non alimentaires (énergie, lubrifiants, tensioactifs, solvants, traitements de surface, matériaux de conditionnement et de stockage...).

Paul Colonna, docteur ès sciences, est directeur de recherches à l'Institut national de la recherche agronomique, dont il dirige le département Caractérisation et élaboration des produits issus de l'agriculture. Il coordonne ici une équipe de 54 spécialistes reconnus, issus de l'enseignement et de la recherche.

