

T r a i t é f o n d a m e n t a l

Botanique

✿ Ulrich Lüttge

✿ Manfred Kluge

✿ Gabriela Bauer

2^e édition

Lavoisier
TEC
&
DOC

Table des matières

A	Les origines	1
1	L'évolution jusqu'aux plantes les plus primitives :	
	Bactéries photoautotrophes, Cyanobactéries, Flagellés	3
1.1	Introduction.....	3
1.2	Les premiers pas de l'évolution des organismes	3
1.3	Évolution de la photosynthèse	11
1.4	Comparaison de la production d'énergie dépendante de la lumière entre les organismes primitifs et les organismes supérieurs.....	12
1.4.1	Halobactéries.....	12
1.4.2	Les bactéries photosynthétiques	13
1.4.3	Photosynthèse d'organismes plus évolués.....	17
1.4.4	Évolution des voies de transport des électrons de la photosynthèse	17
1.5	L'évolution de la ribulose biphosphate carboxylase	19
1.6	L'évolution de la respiration	19
1.7	Les procaryotes	20
1.7.1	Les bactéries (Archéobactéries, Eubactéries)	21
1.7.2	Les Cyanobactéries	22
1.8	Les cellules eucaryotes	24
1.8.1	Organisation : <i>Euglena</i>	24
1.8.2	Schéma de la cellule eucaryote	26
1.8.3	L'hypothèse endosymbiotique de l'origine des cellules eucaryotes.....	27
1.9	Les règnes des organismes.....	30
	Pour en savoir plus	30
2	La bioénergétique	31
2.1	Équilibres des flux et bioénergétique	31
2.2	Chaleur et travail sont diverses formes de l'énergie	33
2.3	L'entropie détermine le sens des réactions	34
2.4	L'« énergie libre » est une mesure de l'énergie disponible	35
2.5	Le couplage d'énergie.....	35
2.6	Les enzymes	37
2.6.1	Énergie d'activation et biocatalyse	37
2.6.2	Propriétés moléculaires des enzymes.....	38
2.6.3	Mode d'action des enzymes	38

2.6.4	Cinétique de la biocatalyse	39
2.6.5	La régulation des enzymes	41
2.6.6	Nomenclature des enzymes	43
	Pour en savoir plus	46
B	Structure et fonctions de la cellule végétale	47
3	La cellule végétale comme ensemble d'organites	49
4	Le plasmalemme et le tonoplaste	53
4.1	La structure des membranes	53
4.2	La diffusion	54
4.3	Transport actif primaire des protons	57
4.4	Les mécanismes de transport	58
4.5	Les canaux	60
4.6	Le transport actif secondaire	62
	Pour en savoir plus	62
5	La vacuole	63
5.1	Fonctions de réserve et enzymes hydrolytiques	63
5.2	Osmose et turgescence	63
5.3	Les gradients de potentiel hydrique et le flux volumique	66
5.4	La mesure des paramètres du bilan hydrique	68
5.5	Processus biologiques dépendant de la turgescence	69
	Pour en savoir plus	71
6	Le cytosol et la glycolyse	73
6.1	Définitions	73
6.2	Structure du cytosol	73
6.3	Les échanges métaboliques dans le cytosol	73
6.3.1	Les glucides comme réserves d'énergie	75
6.3.2	Mobilisation des glucides de réserve	78
6.3.3	La glycolyse	78
6.3.3.1	Transformation et coupure de l'hexose	78
6.3.3.2	Formation d'ATP au cours de la glycolyse	81
6.3.3.3	Bilan énergétique de la glycolyse	81
6.3.3.4	Réoxydation anaérobie du $\text{NADH} + \text{H}^+$: les fermentations	82
6.3.3.5	Régulation de la glycolyse	83
6.3.4	Le cycle oxydatif des pentoses phosphate	85
6.3.5	Métabolisme des lipides	86
	Pour en savoir plus	86
7	Mitochondries et respiration	89
7.1	Structure des mitochondries	89
7.2	La respiration	92
7.2.1	Décarboxylation oxydative du pyruvate	92
7.2.2	Le cycle de l'acide citrique	92
7.2.3	La chaîne respiratoire	93
7.2.4	Synthèse d'ATP au cours de la respiration	95

7.2.5	Couplage entre le transfert d'électrons et la synthèse d'ATP	99
7.2.6	Bilan énergétique de la dégradation du glucose au cours de la respiration.....	100
7.2.7	Transport de métabolites à travers la membrane mitochondriale	101
7.2.8	La dégradation des glucides : source pour le métabolisme.....	103
7.3	La dégradation des acides gras	105
7.3.1	Transport à travers la membrane des mitochondries	105
7.3.2	Dégradation d'une chaîne d'acide gras	105
7.3.3	Bilan en ATP de l'oxydation des acides gras	106
	Pour en savoir plus	106
8	Les plastes et la photosynthèse	107
8.1	Les chloroplastes	107
8.1.1	Taille et forme	107
8.1.2	Ultrastructure	107
8.1.3	Structure moléculaire de la membrane thylacoïdale	111
8.2	La photosynthèse	113
8.2.1	Réactions photochimiques de la photosynthèse	113
8.2.1.1	Rayonnement électromagnétique : quanta de lumière, longueur d'onde et énergie.....	113
8.2.1.2	Spectres d'absorption de la chlorophylle et rôle des pigments accessoires	113
8.2.1.3	Stimulation de la chlorophylle par absorption de lumière	118
8.2.1.4	Les photosystèmes	119
8.2.1.5	Transfert des électrons au cours des réactions claires	120
8.2.1.6	Mécanisme de la photophosphorylation	123
8.2.2	Assimilation du CO ₂	126
8.2.2.1	Carboxylation	126
8.2.2.2	Réduction du carbone fixé	127
8.2.2.3	Régénération de l'accepteur de CO ₂	128
8.2.2.4	Synthèse des produits terminaux de la photosynthèse	128
8.2.3	Bilan de la photosynthèse	130
8.2.4	Biosynthèse des acides gras.....	135
	Pour en savoir plus	135
9	Les cytosomes	137
9.1	Les lysosomes	137
9.2	Les glyoxysomes.....	137
9.2.1	Mobilisation des lipides et cycle du glyoxylate	138
9.2.2	Néoglucogenèse	142
9.3	Les peroxysomes	143
9.3.1	La photorespiration.....	143
9.3.2	Voie du glycolate.....	143
	Pour en savoir plus	145
10	La paroi cellulaire	147
10.1	Composition chimique des parois cellulaires.....	147
10.1.1	Protopectine	147
10.1.2	Hémicelluloses.....	148
10.1.3	Cellulose	148
10.1.4	Protéines	149
10.1.5	Chitine	149
10.2	Ultrastructure de la paroi cellulaire	149
10.3	Développement de la paroi cellulaire	151

10.3.1	Lamelle moyenne	151
10.3.2	Dictyosomes et formation de la paroi cellulaire	153
10.3.3	Paroi primaire	154
10.3.4	Paroi secondaire	155
10.3.5	Ponts cytoplasmiques à travers la paroi cellulaire	157
	Pour en savoir plus	157
11	La régulation métabolique	159
11.1	Caractéristiques générales de la régulation	159
11.2	Mécanismes de régulation au niveau cellulaire	161
11.3	Bases de la régulation métabolique	161
11.4	Éléments de la régulation métabolique	161
11.4.1	Cofacteurs	162
11.4.2	Réactions enzymatiques analogues	162
11.4.3	Transporteurs	162
11.5	Exemples de régulation métabolique	162
11.5.1	Glycolyse	162
11.5.2	Glycolyse — Respiration — Photosynthèse	163
12	Centre de contrôle de la cellule : le noyau cellulaire et les chromosomes	167
12.1	Le noyau cellulaire	167
12.2	La chromatine et les chromosomes	168
12.3	Division nucléaire et division cellulaire : la mitose	171
	Pour en savoir plus	173
13	La régulation génétique	175
13.1	Les lois de Mendel	175
13.2	Hérédité extrachromosomique	178
13.3	Modifications et mutations	179
13.4	Régulation par l'ADN	180
13.4.1	Code génétique	180
13.4.2	Fonction autocatalytique de l'ADN : la réplication	182
13.4.3	Contrôle de la synthèse enzymatique	182
13.4.4	Régulation	189
	Pour en savoir plus	190
14	Acides aminés et protéines	191
14.1	Les acides aminés et leurs propriétés	191
14.2	Condensation des acides aminés en peptides	194
14.3	Propriétés des protéines	195
14.4	Structures des protéines	199
14.4.1	Structure primaire	199
14.4.2	Structure secondaire	199
14.4.3	Structure tertiaire	199
14.4.4	Structure quaternaire	202
14.5	Les fonctions des protéines	204
14.6	Le métabolisme des acides aminés et des protéines	204
14.6.1	Synthèse des acides aminés	204

14.6.2	Dégradation des protéines	204
	Pour en savoir plus	205
15	Les substances naturelles : les plantes comme producteurs polyvalents	207
15.1	Généralités	207
15.2	Les terpénoïdes	207
15.3	Les phénols	213
15.4	Les alcaloïdes et les bases organiques	213
15.5	Les porphyrines	220
	Pour en savoir plus	220
C	Phylogénie des plantes et colonisation du milieu	221
16	Les algues	223
16.1	Évolution et modes de vie végétative des algues	223
16.1.1	Niveau d'organisation des Monadales	223
16.1.2	Évolution des flagellés unicellulaires vers des colonies pluricellulaires avec division du travail	224
16.1.3	Niveau d'organisation des Coccales : perte de la libre motilité	226
16.1.4	Niveau d'organisation des Trichales	230
16.1.5	Niveau d'organisation des Siphonales	231
16.1.6	Évolution des filaments simples vers les thalles complexes	233
16.1.6.1	Thalles hétéotriches	233
16.1.6.2	Plectenchyme des algues rouges	233
16.1.6.3	Cellules apicales comme centres organisateurs	233
16.1.6.4	Thalle des Charophycées	236
16.1.6.5	Thalles massifs des algues brunes	236
16.2	Tendances de l'évolution du point de vue de la reproduction	241
16.2.1	Mitoses, sexualité et méiose	241
16.2.2	Isogamie, anisogamie, oogamie	244
16.2.3	Gamétanges et sporanges	244
16.2.4	Alternance des générations	249
16.2.4.1	Vocabulaire de base et généralités	249
16.2.4.2	Chlorophytes	253
16.2.4.3	Phéophycées	253
16.2.4.4	Rhodophytes	255
16.3	Parcours phylogénétique	255
	Pour en savoir plus	256
17	Passage à la vie terrestre	257
17.1	Passage de la vie aquatique à la vie terrestre : problèmes généraux et solutions	257
17.1.1	Thallophytes et Cormophytes	257
17.1.2	Contraintes de la vie terrestre	257
17.2	Les premiers végétaux terrestres et leur évolution	259
17.2.1	Évolution des Cormophytes	260
17.2.2	<i>Rhynia</i> — une des premières plantes à tige	260
17.2.3	Théorie des télomes	260
17.3	Les Bryophytes	262
17.3.1	Classification des Bryophytes	262
17.3.1.1	Hépatiques	263

17.3.1.2	Mousses (classe des Muscinées)	266
17.3.2	Reproduction et propagation	266
17.3.3	Économie de l'eau et mode de vie des mousses	273
	Pour en savoir plus	276
18	Les Myxomycètes et les Champignons	279
18.1	Généralités	279
18.2	Systématique : généralités	279
18.2.1	Les Myxomycètes	279
18.2.2	Les Champignons (Mycètes)	281
18.3	Rôle des champignons	287
	Pour en savoir plus	287
19	Alternance de générations chez les Ptéridophytes, les Gymnospermes et les Angiospermes et évolution des fleurs, des graines et des fruits	289
19.1	Alternance de générations chez les Ptéridophytes isosporées	289
19.2	Évolution des fleurs	291
19.3	Alternance de générations chez les Ptéridophytes hétérosporées	294
19.4	Les Gymnospermes : évolution des graines	294
19.4.1	Fleurs mâles et grains de pollen	297
19.4.2	Fleurs femelles et ovules	297
19.4.3	Pollinisation, fécondation et formation de la graine	297
19.4.4	Phylogénie	300
19.5	Alternance de générations chez les Angiospermes	302
19.5.1	Étamines et grains de pollen	302
19.5.2	Ovaire et ovules	304
19.5.3	Pollinisation, fécondation, spermatogenèse et oogenèse	304
19.5.4	Tendances phylogénétiques	306
19.6	Transport du pollen	307
19.6.1	Mécanismes de pollinisation	307
19.6.2	Tendances phylogénétiques	311
19.7	Les fruits	313
19.8	Tendances évolutives chez les Angiospermes	315
19.9	Résumé	318
	Pour en savoir plus	325
20	Les végétaux et leurs biotopes	327
20.1	Répartition de la végétation visible à moyenne échelle : les communautés végétales	327
20.2	Répartition de la végétation visible à petite échelle : les biomes	330
20.3	Répartition géographique des biomes en fonction de la latitude	331
20.4	Répartition de la végétation en fonction de l'altitude	337
	Pour en savoir plus	340
D	Division du travail entre organes chez les Cormophytes	341
21	La racine : structure et fonctions	343
21.1	Structure externe des racines	343
21.2	Structure interne des racines	343

21.2.1	Structure primaire	343
21.2.1.1	Coiffe et point végétatif	344
21.2.1.2	Zone d'allongement et zone pilifère	346
21.2.1.3	Racines latérales	347
21.2.2	Croissance secondaire en épaisseur	349
21.3	L'absorption d'eau et des sels nutritifs par les racines	350
21.3.1	Le sol	350
21.3.2	Transport radial de l'eau et des substances nutritives par les racines	352
21.4	Métamorphoses de la racine	353
	Pour en savoir plus	359
22	L'axe caulinaire : structure et fonctions	361
22.1	Architecture de l'axe caulinaire	361
22.2	Ramification de la tige	361
22.3	Le cône végétatif	363
22.4	Structure de la tige primaire	366
22.4.1	Tissus de la tige primaire	366
22.4.2	Faisceaux conducteurs	368
22.4.2.1	Xylème	368
22.4.2.2	Phloème	373
22.4.2.3	Organisation des faisceaux conducteurs	374
22.5	Croissance secondaire en épaisseur	374
22.5.1	Cambium	376
22.5.2	Bois	378
22.5.3	Liber	381
22.5.4	Parenchyme cortical secondaire	381
22.5.5	Croissance secondaire en épaisseur chez les Monocotylédones	384
22.6	Les métamorphoses de la tige	384
22.7	Capacités physiologiques de la tige	386
22.7.1	Circulation de l'eau dans le xylème	386
22.7.1.1	Transpiration	386
22.7.1.2	Flux de transpiration	390
22.7.1.3	Besoins en énergie	390
22.7.1.4	Cohésion des molécules d'eau dans le xylème	392
22.7.1.5	Approvisionnement en eau et sels nutritifs par les éléments conducteurs du xylème	393
22.7.1.6	Transport sous pression dans le xylème : la guttation	393
22.7.2	Transport à distance des assimilats dans le phloème	393
22.7.2.1	Composés transportés	394
22.7.2.2	Mécanisme du transport des assimilats	394
22.7.2.3	Chargement du phloème	395
	Pour en savoir plus	395
23	La feuille : structure et fonctions	397
23.1	Développement des feuilles	397
23.2	Les types de feuilles : généralités	397
23.3	Les cotylédons et les feuilles primaires	397
23.4	Les feuilles	398
23.4.1	Morphologie	398
23.4.2	Structure interne du limbe	400
23.4.2.1	Épiderme	401

23.4.2.2	Mésophylle	405
23.5	Les bractées	405
23.6	Disposition et orientation des feuilles	405
23.7	Métamorphoses des feuilles	411
23.8	Fonctions des feuilles	412
23.8.1	« Loi du facteur limitant » de LIEBIG	412
23.8.1.1	Courbe de saturation de la photosynthèse par la lumière	412
23.8.1.2	Plantes d'ombre et plantes de lumière	417
23.8.1.3	Influence de la température sur la photosynthèse	419
23.8.1.4	Influence de la concentration en CO_2 sur la photosynthèse	422
23.8.2	Échanges gazeux	422
23.8.2.1	Résistance à la diffusion	422
23.8.2.2	Influence des facteurs externes et internes sur les mouvements stomatiques	425
23.8.3	Pertes d'eau et absorption du CO_2 — un dilemme pour les végétaux terrestres	427
23.8.3.1	Adaptations anatomiques et morphologiques : les xérophytes	427
23.8.3.2	Adaptation physiologique : tolérance à la déshydratation	428
23.8.3.3	Adaptations biochimiques : le métabolisme crassulacéen et la photosynthèse en C_4	429
23.8.4	Hygrophytes et hydrophytes	435
	Pour en savoir plus	440
24	La nutrition minérale des plantes	441
24.1	Les éléments essentiels	441
24.2	Rôle des végétaux dans le cycle de l'azote et dans celui du soufre dans les écosystèmes ...	441
24.3	Métabolisme de l'azote	443
24.3.1	Absorption et réduction des nitrates	443
24.3.2	Fixation de l'azote atmosphérique	446
24.4	Métabolisme du soufre	448
24.5	Métabolisme du phosphore	448
24.6	Ions inorganiques : facteurs spécifiques du milieu	448
24.6.1	La salinité	449
24.6.2	Calcium et fer	453
	Pour en savoir plus	455
25	Particularités physiologiques de l'alimentation : symbiose, parasitisme, digestion végétale chez les plantes carnivores	457
25.1	Définitions et généralités	457
25.2	Les symbioses	458
25.2.1	Les symbioses fixatrices de N_2	458
25.2.2	Symbioses entre plantes et champignons	459
25.2.2.1	Mycorhize	459
25.2.2.2	Les lichens	459
25.3	Parasitisme chez les Angiospermes	465
25.3.1	Hémiparasites	465
25.3.2	Holoparasites	467
25.4	Les plantes carnivores : digestion végétale	469
	Pour en savoir plus	474
26	Croissance, développement, sénescence et mort	475
26.1	Végétaux unicellulaires, plantes annuelles et perennes	475

26.2	Polarité.....	477
26.3	Différenciation et interaction	479
26.4	Cultures de cellules et de tissus et totipotence des cellules somatiques	482
26.5	La transmission de signaux entre cellules, tissus et organes	484
26.5.1	Signaux électriques.....	484
26.5.1.1	Potentiel d'action.....	484
26.5.1.2	Transmission de l'excitation	484
26.5.1.3	Réactions	487
26.5.1.4	Organes récepteurs de l'excitation	487
26.5.2	Phytohormones.....	490
26.5.2.1	Caractérisation chimique des phytohormones	490
26.5.2.2	Effet des phytohormones.....	493
26.5.2.3	Modes d'action des phytohormones	497
26.5.2.4	Mise en évidence des phytohormones : tests biologiques.....	499
26.6	Les effets de facteurs externes.....	500
26.6.1	Le concept biologique de stress.....	501
26.6.2	Effets de la température	502
26.6.2.1	Effets de la température sur les processus biologiques	502
26.6.2.2	Effet de signal de la température : stratification et vernalisation.....	503
26.6.3	Effet de la lumière	505
26.6.3.1	Photomorphoses et phytochrome.....	505
26.6.3.2	Photopériodisme	508
26.7	Germination, spermatogénèse, sénescence et mort.....	512
26.7.1	Germination.....	512
26.7.2	Développement du fruit et formation de la graine	513
26.7.3	L'abscission	513
26.7.4	Sénescence et mort de la plante	514
	Pour en savoir plus	515
27	Occupation de l'espace : les mouvements	517
27.1	Manifestations.....	517
27.1.1	Mouvements externes	517
27.1.2	Types de réactions.....	517
27.1.3	Types de stimulation.....	519
27.1.4	Mécanismes de mouvement.....	519
27.2	Orientation dans l'espace.....	520
27.2.1	Gravitropisme	520
27.2.1.1	Mise en évidence du gravitropisme	520
27.2.1.2	Réception du stimulus et mécanismes de mouvement	522
27.2.2	Phototropisme.....	525
	Pour en savoir plus	528
28	Les rythmes endogènes et l'horloge biologique	529
28.1	Généralités	529
28.2	Rythmes circadiens	529
28.3	Mécanisme de l'horloge biologique	530
	Pour en savoir plus	534

E	Les végétaux et les crises actuelles	535
29	Environnement — Alimentation — Énergie	537
29.1	Pourquoi étudier les végétaux	537
29.2	L'environnement : écosystèmes et cycles de la matière	538
29.3	Exploitation de la production primaire des végétaux	541
29.3.1	Alimentation	541
29.3.1.1	Agroécosystèmes et exploitation de l'énergie solaire	541
29.3.1.2	Amélioration des végétaux	542
29.3.1.3	Techniques de biologie moléculaire	547
29.3.1.4	Exploitation des déserts	551
29.3.2	Alimentation en énergie	552
29.4	Changements à l'échelle globale	554
29.4.1	Diagnostics	554
29.4.2	Perte de la diversité spécifique	555
29.4.3	Modifications du climat	555
	Pour en savoir plus	556
	Index	557