

Collection *Sciences fondamentales*

# BOTANIQUE

BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES

2<sup>e</sup> édition

**S. Meyer, C. Reeb, R. Bosdeveix**



MALOINE

043947

(3)

Collection *Sciences fondamentales*

BL-437



# BOTANIQUE

BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES

2<sup>e</sup> édition

Sylvie Meyer  
Catherine Reeb  
Robin Bosdeveix

*Collection dirigée par J.-F. d'Ivernois*

MALOINE

27, RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE – 75006 PARIS

2008

# TABLE DES MATIÈRES

## CHAPITRE 1

### QU'EST-CE QU'UN VÉGÉTAL ?

<b>I. DES VÉGÉTAUX AUX FORMES TRÈS DIVERSES</b> .....	<b>3</b>
<b>II. UNE DÉFINITION AUX MULTIPLES ASPECTS</b> .....	<b>8</b>
1. L'évolution du concept de végétal .....	8
2. Une biochimie unique : concept physiologique du végétal .....	11
2.1 La photosynthèse des végétaux .....	11
2.2 Un métabolisme secondaire original .....	13
3. Des Eucaryotes formés de cellules : concept cellulaire du végétal .....	16
3.1 La paroi, matrice extracellulaire des cellules végétales .....	16
3.2 Les plastes et les vacuoles .....	17
4. Une apparente immobilité : concept morpho-anatomique du végétal .....	18
4.1 La rigidité cellulaire favorise-t-elle la vie fixée ? .....	18
4.2 Tige ou axe dressé (cormus), les deux types d'architecture des végétaux .....	19
4.3 L'apparente immobilité du monde végétal, une question d'échelle d'observation .....	20
5. La base des chaînes alimentaires : concept écologique du végétal .....	21
<b>III. LA CELLULE VÉGÉTALE, UNITÉ DE CONSTRUCTION DE TOUS LES VÉGÉTAUX</b> .....	<b>23</b>
1. Des ultrastructures communes à tous les Eucaryotes .....	24
1.1 La membrane plasmique .....	24
1.2 Des compartiments limités par des endomembranes .....	28
1.3 Un cytoplasme structuré et en mouvement .....	30
2. Des ultrastructures propres aux cellules végétales .....	31
2.1 La paroi, une matrice extracellulaire .....	31
2.2 Les plastes, des organites aux aspects variés .....	37
2.3 La vacuole, un compartiment aux rôles multiples .....	40

## CHAPITRE 2

### LE DÉVELOPPEMENT ET LES PLANS D'ORGANISATION DES VÉGÉTAUX

<b>I. LE CYCLE BIOLOGIQUE D'UN VÉGÉTAL</b> .....	<b>49</b>
1. L'exemple du haricot .....	49
2. Les variations du cycle biologique .....	51
2.1 Les modalités des phases embryonnaire et post-embryonnaire varient selon les taxons .....	51
2.2 La durée de vie d'un végétal .....	52
<b>II. LE DÉVELOPPEMENT DE L'EMBRYON D'UN ANGIOSPERME DICOTYLÉDONE</b> .....	<b>52</b>
1. L'embryon se développe selon une polarité apico-basale .....	52
2. L'embryon mature est protégé dans la graine .....	54
3. L'embryogenèse s'achève avec la germination .....	56
<b>III. LE DÉVELOPPEMENT POST-EMBRYONNAIRE D'UN ANGIOSPERME DICOTYLÉDONE</b> .....	<b>58</b>
1. Les méristèmes assurent l'histogenèse .....	58
1.1 Localisation des différents méristèmes .....	58
1.2 Les méristèmes produisent des cellules .....	59
1.3 Les nouvelles cellules grandissent et se différencient .....	60
1.4 Les méristèmes sortent à l'origine de trois types de tissus .....	63
2. La construction continue de l'appareil racinaire .....	67
2.1 Organisation de l'apex racinaire .....	67
2.2 Structure primaire de la racine .....	69
2.3 Épaississement secondaire de la racine .....	70
2.4 Ramification de la racine .....	72
2.5 Variations morphologiques et fonctionnelles des racines .....	73
3. La construction rythmique de l'appareil caulinaire .....	74
3.1 Organisation de l'apex caulinaire .....	74
3.2 Organogenèse de la tige feuillée .....	76
3.3 Structure primaire d'une tige et d'une feuille .....	79
3.4 Épaississement secondaire de la tige feuillée .....	81
3.5 Ramification de la tige feuillée .....	82
3.6 Variations morphologiques et fonctionnelles de la tige feuillée .....	85

3.7. Quand les bourgeons forment des fleurs à la place des rameaux ..... 85

4. La sénescence du végétal ..... 86

**IV. LE CONTRÔLE DU DÉVELOPPEMENT ..... 86**

1. L'acquisition du plan d'organisation fondamental ..... 86

2. L'acquisition de l'identité cellulaire ..... 88

3. La transition de l'état végétatif à l'état reproducteur ..... 92

4. La plasticité du développement post-embryonnaire ..... 99

5. Les phases de vie ralentie ..... 100

5.1 Au cours du développement embryonnaire : la dominance des graines ..... 100

5.2 Au cours du développement post-embryonnaire ..... 101

6. Vers une vue d'ensemble du développement d'un végétal ..... 102

**V. LES PLANS D'ORGANISATION DES VÉGÉTAUX ..... 105**

1. L'organisation des thalles ..... 105

2. L'organisation des mousses, végétaux petits, dressés, sans racines ..... 106

3. L'organisation des Trachéophytes, végétaux dressés et enracinés ..... 107

3.1 Un exemple de Filicophytes : le polypode ..... 107

3.2 Un exemple de Coniférophyte : le pin ..... 108

3.3 Deux exemples d'Angiospermes ..... 109

4. Vers une vue d'ensemble de la construction des végétaux ..... 109

**CHAPITRE 3**

**L'AUTOTROPHIE DES VÉGÉTAUX, L'EXEMPLE DE LA NUTRITION D'UN ARBRE**

**I. L'EXPLOITATION DES RESSOURCES DU MILIEU AÉRIEN ..... 121**

1. Les ressources du milieu aérien : gaz et énergie lumineuse ..... 121

1.1 L'atmosphère est une faible source de CO<sub>2</sub> ..... 121

1.2 Le rayonnement solaire est une source de photons ..... 122

2. L'absorption du CO<sub>2</sub> et de la lumière par les feuilles ..... 123

3. La photosynthèse permet l'assimilation du CO<sub>2</sub> ..... 125

3.1 Les conversions d'énergie dans les membranes thylacoïdales ..... 126

3.2 Les réactions biochimiques ..... 130

3.3 Vue d'ensemble et efficacité de la photosynthèse ..... 132

4. La photosynthèse et la photorespiration sont en compétition ..... 132

5. Les variations de la photosynthèse ..... 134

6. Devenir des produits de la photosynthèse ..... 136

6.1 Stockage ou exportation des glucides ..... 136

6.2 Utilisation des glucides par la respiration pour assurer les fonctions vitales ..... 139

**II. L'EXPLOITATION DES RESSOURCES DU SOL ..... 143**

1. Qu'est-ce qu'un sol pour un végétal ? ..... 143

1.1 Le sol, un milieu hétérogène aux ressources minérales très diluées, renouvelées sans cesse, mais lentement ..... 144

1.2 Les propriétés du sol influencent la nutrition minérale du végétal ..... 147

1.3 Treize sels minéraux du sol sont vitaux pour le végétal ..... 152

2. L'absorption des ressources du sol par les racines ..... 153

2.1 La collecte des ressources par les racines ..... 153

2.2 La distribution radiale de l'eau et des nutriments dans la racine ..... 159

3. L'assimilation des nutriments ..... 160

3.1 L'assimilation des nitrates permet la synthèse d'acides aminés et des protéines ..... 160

3.2 L'assimilation des phosphates permet la synthèse d'ATP et des nucléotides ..... 162

3.3 L'assimilation des sulfates permet la synthèse de certains acides aminés sulfurés et d'acétyl-CoA ..... 162

3.4 L'assimilation des cations permet des biosynthèses et des régulations multiples ..... 162

4. Les variations de l'absorption en fonction des ressources du sol ..... 163

4.1 Variation de la vitesse d'absorption de nutriments ..... 163

4.2 Effets d'une variation des ressources minérales sur la croissance ..... 163

4.3 Des végétaux indicateurs des ressources du sol ..... 164

**III. LA DISTRIBUTION DES RESSOURCES ABSORBÉES ET ASSIMILÉES DANS LE VÉGÉTAL ..... 167**

1. L'eau et les nutriments puisés dans le sol forment la sève brute distribuée par le xylème ..... 167

1.1 Une distribution unidirectionnelle de la sève brute ..... 167

1.2 Deux mécanismes de circulation de la sève brute ..... 169

1.3 La circulation de la sève brute est principalement sous le contrôle de la transpiration stomatique ..... 171

2. Les sucres formés par la photosynthèse sont les principaux constituants de la sève élaborée distribuée grâce au phloème ..... 173

2.1 Une distribution multidirectionnelle de la sève élaborée ..... 173

2.2 Mécanisme supposé de circulation de la sève élaborée ..... 175

2.3 La distribution de la sève élaborée n'est pas équitable au sein du végétal ..... 178

#### IV. VERS UNE VUE D'ENSEMBLE DE L'AUTOTROPHIE ..... 179

1. L'autotrophie est indissociable d'un grand flux d'énergie à travers le végétal ... 179
2. L'autotrophie est indissociable du grand développement des surfaces d'échanges ..... 180

### CHAPITRE 4

#### LES STRATÉGIES DE NUTRITION ET LES CONSÉQUENCES ÉCOLOGIQUES DE L'AUTOTROPHIE

#### I. DIFFÉRENTES STRATÉGIES D'AUTOTROPHIE ..... 187

1. Autotrophie sans réelle division du travail dans l'organisme ..... 187
  - 1.1 L'autotrophie d'une algue ..... 188
  - 1.2 L'autotrophie d'une mousse ..... 191
2. Une division du travail au sein de l'organisme : le cas des Trachéophytes ..... 193
  - 2.1 Les Trachéophytes terrestres ..... 193
  - 2.2 Certains Trachéophytes sont aquatiques ..... 194
3. Une division du travail entre organismes : le cas des Légumineuses ..... 197

#### II. DE L'AUTOTROPHIE À L'HÉTÉROTROPHIE : LE CAS DES ANGIOSPERMES PARASITES ..... 204

1. L'exemple du gui ..... 204
2. Les différents degrés du parasitisme ..... 206
  - 2.1 Le degré de dépendance du parasite ..... 206
  - 2.2 Le degré d'hétérotrophie du parasite ..... 206
3. Les modalités de l'exploitation de l'hôte par le parasite ..... 207
  - 3.1 Les structures de prélèvement ..... 208
  - 3.2 Les mécanismes de transfert ..... 209
4. Les modalités de mise en place de la relation hôte-parasite ..... 212
  - 4.1 Les formes de dissémination ..... 212
  - 4.2 Le contact avec l'hôte ..... 213

#### III. CONSÉQUENCES ÉCOLOGIQUES DE L'AUTOTROPHIE DES VÉGÉTAUX ..... 215

1. Le rôle des végétaux dans les cycles de matière et les flux d'énergie ..... 215
  - 1.1 Les végétaux fixent et stockent du carbone ..... 215
  - 1.2 Les végétaux transforment l'azote et le phosphore ..... 225
2. Les végétaux sont des ressources exploitées par les animaux et l'être humain ..... 228
  - 2.1 Les végétaux sont à la base des réseaux trophiques ..... 228
  - 2.2 Les végétaux sont des ressources pour l'être humain ..... 234

### FEUILLET FLORE

#### I. LES PRINCIPAUX CRITÈRES POUR L'IDENTIFICATION DES FAMILLES D'ANGIOSPERMES ..... III

1. Morphologie du végétal ..... II
2. Les inflorescences ..... V
3. Organisation des fleurs ..... V
4. Organisation des fruits et des graines ..... V
5. L'habitat ..... VII
6. Vers une méthode de travail sur le terrain ..... VIII

#### II. PRÉSENTATION DE 26 FAMILLES D'ANGIOSPERMES ..... VIII

1. Description d'une planche du feuillet flore ..... VIII
2. Une clé très simplifiée des familles présentées ..... VIII

#### LISTE DES 26 FAMILLES PRÉSENTÉES

• Joncacées	XII
• Cyperacées	XIV
• Poacées	XVI
• Liliacées	XVIII
• Orchidacées	XX
• Renonculacées	XXII
• Polygonacées	XXIV
• Brassicacées	XXVI
• Caryophyllacées	XXVIII
• Amaranthacées (Chénopodiacées)	XXX
• Géraniacées	XXXII
• Rosacées	XXXIV
• Cistacées	XXXVI
• Apilacées	XXXVIII
• Fabacées	XL
• Éricacées	XLII
• Primulacées	XLIV
• Oléacées	XLVI
• Solanacées	XLVIII
• Boraginacées	L
• Scrophulariacées	LII
• Lamiacées	LIV
• Astéracées	LVI
• Euphorbiacées	LVIII
• Salicacées	LX
• Fagacées	LXII

### CHAPITRE 5

#### REPRODUCTION ET PÉRENNITÉ DE L'ESPÈCE

#### I. QU'EST-CE QU'UN CYCLE DE REPRODUCTION ? ..... 247

1. L'exemple du cycle de reproduction ..... 247
2. Méiose et fécondation : deux événements chromosomiques complémentaires ..... 256

## II. LA DIVERSITÉ DES CYCLES DE REPRODUCTION DES VÉGÉTAUX ..... 257

1. Les algues présentent des cycles de reproduction très divers ..... 259
  - 1.1 Le cycle monogénétique haplophasique de *Chlamydomonas* ..... 259
  - 1.2 Le cycle digénétique d'*Ulva* et la diversité du cycle des Chlorophytes ..... 260
  - 1.3 Le cycle digénétique du *Fucus* et la diversité du cycle des Stramétophytes ..... 260
  - 1.4 Le cycle trigénétique d'*Antithamnium* et la diversité du cycle des Rhodophytes ..... 264
  - 1.5 Vers une synthèse de la reproduction des algues ..... 265
2. Le cycle digénétique des Embryophytes ..... 267
  - 2.1 Le cycle des Bryophytes : l'exemple du polytrich élégant ..... 267
  - 2.2 Le cycle des Coniférophytes : l'exemple du pin sylvestre ..... 268
  - 2.3 Le cycle des Angiospermes : l'exemple du lis ..... 273
  - 2.4 Vers une synthèse de la reproduction des Embryophytes ..... 277

## III. LES STRATÉGIES DE REPRODUCTION ..... 281

1. Importance de la génération sporophytique dans la conquête du milieu terrestre par les Embryophytes ..... 281
  - 1.1 Hétérosporie et réduction du gamétophyte ..... 284
  - 1.2 La protection du macrogamétophyte femelle puis de la génération sporophytique fille ..... 287
  - 1.3 La fécondation et la dissémination ..... 288
2. La multiplication végétative ..... 303
  - 2.1 Les modalités de la multiplication végétative ..... 303
  - 2.2 La place de la multiplication végétative dans le cycle biologique ..... 304
3. Vers une synthèse des stratégies de reproduction ..... 304

## CHAPITRE 6

### LES RELATIONS DES VÉGÉTAUX AVEC LEUR ENVIRONNEMENT

#### I. LES RELATIONS DES VÉGÉTAUX AVEC LEUR ENVIRONNEMENT ABIOTIQUE ..... 309

1. Le végétal distingue l'ombre de la lumière, la durée du jour et l'orientation de l'éclairement ..... 309
  - 1.1 La perception des signaux lumineux ..... 309
  - 1.2 Les réactions morphogénétiques aux signaux lumineux ..... 317
2. Le végétal perçoit l'orientation de la gravité ..... 315
3. Le végétal perçoit la température ..... 316
4. Le végétal perçoit le contact ..... 318

#### II. LES RELATIONS DES VÉGÉTAUX AVEC LEUR ENVIRONNEMENT BIOTIQUE ..... 319

1. Le végétal se défend contre les herbivores ..... 319
  - 1.1 Les défenses directes ..... 327
  - 1.2 Les défenses indirectes ..... 325

2. Les relations entre le végétal et les microorganismes ..... 328
  - 2.1 Les relations plantes-agents pathogènes ..... 328
  - 2.2 Les relations plantes-symbiotes ..... 332
3. Les relations des végétaux avec pollinisateurs et disséminateurs ..... 334
  - 3.1 L'attraction des pollinisateurs par les végétaux ..... 334
  - 3.2 Les récompenses offertes aux pollinisateurs ..... 337
  - 3.3 Les mécanismes et les structures complexes optimisant la pollinisation ..... 338
  - 3.4 Les mécanismes de pollinisation détournés par les plantes ou les pollinisateurs ..... 347
4. La compétition entre les végétaux ..... 344

## III. VERS UNE SYNTHÈSE DES RELATIONS DES VÉGÉTAUX AVEC LEUR ENVIRONNEMENT ..... 347

1. Les végétaux sont en relation avec leur environnement essentiellement par voie chimique ..... 347
2. Les relations entre les végétaux et leur environnement contribuent à structurer les communautés végétales ..... 348

## CHAPITRE 7

### ADAPTATIONS DES VÉGÉTAUX À LEUR ENVIRONNEMENT

#### I. LA VIE EN ALTITUDE : UNE ASCENSION VERS UN MILIEU DE PLUS EN PLUS CONTRAIGNANT POUR LES VÉGÉTAUX ..... 355

1. L'étagement de la végétation avec l'altitude ..... 355
2. Les notions d'adaptation et d'accommodation mises en évidence par des expériences de transplantation ..... 360
3. L'exemple d'un végétal adapté au climat alpin : le gentiane de Koch ..... 362
4. Vers une synthèse des adaptations des végétaux en altitude ..... 363
  - 4.1 Conserver la chaleur et se protéger du gel ..... 367
  - 4.2 L'autotrophie à basse température ..... 366
  - 4.3 La pérennité de l'espèce en altitude ..... 366

#### II. L'ADAPTATION DES VÉGÉTAUX AUX ENVIRONNEMENTS PÉRIODIQUEMENT CONTRAIGNANTS ..... 368

1. Les algues et le rythme des marées ..... 368
2. Les végétaux terrestres et le rythme des saisons ..... 370
  - 2.1 La biologie d'un arbre décidu de région tempérée à saison froide ..... 370
  - 2.2 Biologie d'une Poacée de régions subtropicales à saison humide chaude ..... 373
3. Vers une synthèse des stratégies adaptatives en relation avec le rythme des saisons ..... 375

### III. L'ADAPTATION DES VÉGÉTAUX AUX ENVIRONNEMENTS EXTRÊMEMENT CONTRAIGNANTS .....377

1. La biologie d'un malacophyte :  
stratégie de résistance aux contraintes ..... 377
2. La biologie d'un sclérophyte :  
stratégie d'endurance face aux contraintes ..... 382
3. Vers une synthèse des stratégies adaptatives ..... 384

### IV. DES ENVIRONNEMENTS PROPICES À TOUTE VIE VÉGÉTALE, ROYAUMES DE LA COMPÉTITION ET DE LA COOPÉRATION .....386

1. La stratification de la forêt dense  
sempervirente ..... 386
2. La biologie d'un épiphyte de la forêt dense  
sempervirente ..... 389
3. Vers une synthèse des stratégies adaptatives ..... 391

### V. LES PAYSAGES DE LA TERRE : TÉMOINS DE L'ADAPTATION DES COMMUNAUTÉS VÉGÉTALES AU CLIMAT .....393

1. Les paysages de la Terre  
varient selon la latitude ..... 393
2. Les biomes évoluent avec le climat ..... 393

## CHAPITRE 8

### ÉVOLUTION ET CLASSIFICATION PHYLOGÉNÉTIQUE DES VÉGÉTAUX

#### I. LES PROCESSUS DE L'ÉVOLUTION ..... 399

1. Les facteurs de l'évolution ..... 399
  - 1.1 Individu, population, espèce : des notions délicates  
à cerner chez les végétaux ..... 400
  - 1.2 La répartition des allèles dans les populations  
végétales : l'équilibre de Hardy-Weinberg ..... 402
  - 1.3 Les mutations, sources de variations génotypiques ..... 403
  - 1.4 La sélection naturelle et l'adaptation  
sont des moteurs de l'évolution ..... 404
  - 1.5 La migration et la dérive génétique ..... 407
2. Qu'est-ce qu'une espèce végétale ? ..... 408
3. La spéciation chez les végétaux ..... 410
  - 3.1 Spéciation sympatrique, spéciation allopatrique ..... 410
  - 3.2 Hybridation et polyploïdisation ..... 411
4. Une évolution guidée par l'être humain ..... 416
  - 4.1 De la domestication à la transgénèse ..... 416
  - 4.2 La transgénèse, facteur d'évolution  
des végétaux cultivés : ses méthodes et ses enjeux ..... 418

#### II. LA CLASSIFICATION DES VÉGÉTAUX ..... 422

1. Les principes de la classification phylogénétique ..... 422
2. La lignée verte ou Plantae ..... 427
3. Les Embryophytes ..... 429
  - 3.1 Les Marchantiophytes, les Anthocérotophytes  
et les Bryophytes ..... 431
  - 3.2 Les Trachéophytes ou plantes vasculaires ..... 433
  - 3.3 Les Spermatophytes ou plantes à ovules ..... 436
4. Les Angiospermes ..... 440
  - 4.1 La phylogénie des Angiospermes ..... 440
  - 4.2 Quelques points de discussion sur la phylogénie  
des Angiospermes ..... 441
5. Les végétaux en dehors de la lignée verte ..... 443

#### RÉPONSES ..... 453

#### BIBLIOGRAPHIE ..... 463

#### INDEX ..... 467

Cet ouvrage aborde les notions essentielles concernant les formes, l'organisation, le mode de vie et l'évolution des végétaux. Il associe les descriptions de la **biologie** et de la **physiologie** pour tenter d'expliquer la **vie du végétal en relation avec son environnement**. Il propose également une approche pédagogique de la **classification évolutive des végétaux**, qui a été récemment révisée grâce aux apports de la méthode phylogénétique.

Abondamment illustré de photographies, schémas et dessins, ce livre comporte aussi un **feuillelet flore** présentant vingt-six familles de plantes à fleurs. La présentation didactique de cet ouvrage permet au lecteur d'élargir sa réflexion scientifique et d'acquérir la rigueur nécessaire à tout raisonnement scientifique.

Cet ouvrage est particulièrement adapté aux étudiants :

- de **premier cycle universitaire scientifique** (biologie, pharmacie) ;
- des **classes préparatoires aux grandes écoles (BCPST)** ou en **école d'ingénieurs** (agronomie) ;
- de **BTS et DUT** dans le secteur des professions agricoles ;
- des préparations aux **concours d'enseignement** (Capes, Agrégation).

Il intéressera également les lecteurs, amateurs ou chevronnés, curieux du monde végétal qui les entoure.

