

# PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE

• HOPKINS •



Traduction de la 2<sup>e</sup> édition américaine par Serge Rambour  
Révision scientifique de Charles-Marie Evrard

 de boeck

BL 395/3


33M5  
③

# PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE



• HOPKINS •

Traduction de la 2<sup>e</sup> édition américaine par Serge Rambour  
Révision scientifique de Charles-Marie Evrard

 de boeck

# Table des matières

## Chapitre 1

<b>Introduction : l'organisation des plantes et des cellules végétales</b> .....	1
L'objectif de la physiologie végétale .....	1
La cellule végétale .....	1
Les membranes biologiques .....	3
La bicouche membranaire .....	3
Les protéines membranaires .....	4
Les organites cellulaires .....	6
LE RÉSEAU ENDOPLASMIQUE ET L'APPAREIL DE GOLGI .....	7
LES MITOCHONDRIES .....	9
LES PLASTES .....	9
LES MAGYCOPLASQUES (MYCÉTOZOÏTES) .....	9
LES RIBOSOMES .....	10

Le cytosquelette .....	10
La matrice extracellulaire .....	11
La paroi primaire .....	12
La paroi secondaire .....	14
Les plasmodesmes .....	14
Cellules et tissus .....	15
L'ÉPIDERME .....	16
LES PARCHIMES .....	16
LES TISSUS DE SOUTIEN .....	17
LES TISSUS CONTRACTILS .....	17
Les organes de la plante .....	17
LES RACINES .....	17
LES TIGES .....	18
LES FEUILLES .....	18

## PREMIÈRE PARTIE

<b>Les plantes, l'eau et les sels minéraux</b> .....	21
--	----

## Chapitre 2

<b>Les cellules végétales et l'eau</b> .....	23
Eau et liaisons hydrogène .....	24
Les propriétés physico-chimiques de l'eau .....	25
Les propriétés thermiques .....	25
TEMPÉRATURE ET ÉTAT PHYSIQUE .....	25
ABSORPTION ET DISSIPATION DE LA CHALEUR .....	25
FUSION ET ÉVAPORATION DE L'EAU .....	25
L'eau comme solvant .....	26
Cohésion et adsorption .....	27
Le transport de l'eau .....	27
Le flux en masse .....	27
La diffusion .....	28
L'osmose — la diffusion de l'eau .....	28
Osmose et potentiel chimique .....	29
Le concept de potentiel hydrique .....	31
Les composantes du potentiel hydrique .....	31
Le mouvement de l'eau dans les cellules et les tissus .....	32
Quel est le degré d'élasticité de la paroi cellulaire ? .....	34

La transpiration .....	38
Le mécanisme .....	38
La mesure de la transpiration .....	39
La force motrice de la transpiration .....	39
L'influence de l'humidité, de la température et de la vitesse du vent sur la transpiration .....	40
EFFET DE L'HUMIDITÉ .....	41
EFFET DE LA TEMPÉRATURE .....	41
L'EFFET DU VENT .....	42
L'efficacité de la transpiration .....	44
L'anatomie de la conduction d'eau .....	44
L'ascension de la sève .....	46
La poussée racinaire .....	47
L'ascension de l'eau par capillarité .....	49
La théorie de la cohésion .....	49
LE MOTILISME DU MOLIBDÈNE .....	49
LE MAINTIEN DE LA COLONNE D'EAU .....	51
Les racines, le sol et l'absorption d'eau .....	54
Le sol : un milieu complexe .....	54
L'absorption de l'eau par les racines .....	55
Les racines, la moitié cachée .....	55
Les zones d'absorption de la racine .....	56
Le mouvement transversal de l'eau dans la racine .....	56

## Chapitre 3

<b>Les relations hydriques dans la plante entière</b> .....	37
---	----



La mesure de la lumière	130
L'environnement radiant naturel	131
Les photorécepteurs	133
Les chlorophylles	133
Les phycobillines	134
Les caroténoïdes	135
Le cryptochrome	137
Les récepteurs de l'UV-B	138
Les flavonoïdes	138
Les bêta-cyanines	140

## Chapitre 8

<b>Les feuilles et la photosynthèse</b>	140
La photosynthèse chez les algues et les hépatiques	144
La photosynthèse dans les feuilles	147
L'absorption de la lumière par les feuilles	147
Les feuilles et les échanges gazeux	149
Diffusion à travers les pores	151
Le mécanisme de fermeture / ouverture du stomate	152
Le contrôle des mouvements du stomate	154
<i>LUMIÈRE ET DÉGRÈS DE CARBONE</i>	155
<i>STATUT HYDRIQUE ET TEMPÉRATURE</i>	156
<i>LES RYTHMES CIRADIEN</i>	157
Le chloroplaste	157
Ultrastructure et compartimentation biochimique des chloroplastes	158
Le métabolisme non photosynthétique du chloroplaste	159

## Chapitre 9

<b>Bioénergétique et réactions photochimiques de la photosynthèse</b>	160
Bioénergétique – les transformations de l'énergie dans les organismes vivants	164
Conservation de l'énergie, ordre et désordre	164
Énergie libre et équilibre chimique	165
Énergie libre et réactions d'oxydoréduction	168
Un modèle de synthèse d'ATP	170
La conservation de l'énergie dans la photosynthèse	172
La photosynthèse, une réaction d'oxydoréduction	172
Le transport photosynthétique d'électrons	173
Les photosystèmes et les centres réactionnels	173
Le photosystème II et l'oxydation de l'eau	177
Les cytochromes et le photosystème I	178
Les photophosphorylations	179
L'hétérogénéité latérale de la chaîne de transport d'électrons	180

Complexes collecteurs de lumière et dynamique de la régulation de la photosynthèse	181
Le rôle des caroténoïdes dans la photosynthèse	183
Le transport d'électrons et le contrôle des mauvaises herbes	185

## Chapitre 10

<b>La photosynthèse : le métabolisme du carbone</b>	189
Le cycle photosynthétique de la réduction du carbone (CPR)	190
La réaction de carboxylation	190
La consommation d'énergie dans le cycle de Calvin	193
<i>LA RÉDUCTION DU 3-PGA</i>	193
<i>RÉGÉNÉRATION DE L'ACCEPTEUR</i>	194
<i>L'ÉNERGÉTIQUE DU CYCLE DE CALVIN</i>	195
Activation et régulation du cycle de Calvin	195
L'autocatalyse	195
La régulation de l'activité de la Rubisco	196
La régulation des autres enzymes du cycle de Calvin	197
La photorespiration et le cycle photosynthétique d'oxydation du carbone	197
La RUBP oxygénase et la voie en C <sub>2</sub> du glycolate	198
Pourquoi la photorespiration ?	199
Le métabolisme des plantes en C <sub>4</sub>	200
Découverte et particularités du métabolisme des plantes en C <sub>4</sub>	201
L'anatomie de type Kranz	203
Signification écologique du métabolisme en C <sub>4</sub>	204
Le métabolisme crassulacéen (CAM = crassulacean acid metabolism)	206
La voie CAM est-elle une variante du métabolisme en C <sub>4</sub> ?	207
Signification écologique du métabolisme CAM	207
Régulation des photosynthèses en C <sub>4</sub> et CAM	208
Exportation et stockage des produits de la photosynthèse	208
La synthèse de l'amidon dans le chloroplaste	209
La synthèse du saccharose	210
Saccharose ou amidon, le devenir des trioses phosphate	211

## Chapitre 11

<b>Transport et distribution des photoassimilats</b>	215
Le transport des photoassimilats	215
Composition des exsudats phloémiques	217
La structure du tissu phloémien	218

La protéine P et la callose	220	La respiration dans des organes et dans des plantes entières	251
Sources et puits	221	Les facteurs qui influencent la respiration	252
Le mécanisme du transport dans le phloème	221	La lumière	252
Chargement et déchargement du phloème	224	La température	252
Le chargement du phloème	224	La disponibilité en oxygène	253
Le déchargement du phloème	226	<b>Chapitre 13</b>	
La distribution des assimilats	227	<b>Assimilation du carbone et productivité</b>	255
L'allocation du carbone	228	La productivité	255
MÉTABOLISME DE LA FEUILLE ET RICHESSE	228	Respiration et économie du carbone	256
MISE EN RÉSERVE	228	Les facteurs qui influencent la photosynthèse et la productivité	257
L'EXPORTATION DES FEUILLES	229	La lumière	257
La distribution des assimilats entre les puits	229	La disponibilité en dioxyde de carbone	258
Le transport des composés xénobiotiques	231	La température	259
<b>Chapitre 12</b>		Le potentiel hydrique du sol	260
<b>Respiration cellulaire : récupération de l'énergie des photoassimilats</b>	235	Apport de nutriments, pathologies et polluants	261
La respiration cellulaire, aperçu général	236	Les facteurs foliaires	261
Dégradation du saccharose et de l'amidon	236	Production primaire à l'échelle mondiale	263
L' $\alpha$ -amylase	237	<b>Chapitre 14</b>	
La $\beta$ -amylase	237	<b>Molécules et métabolisme</b>	267
La dextrinase limite	238	Métabolites primaires et secondaires	267
L' $\alpha$ -glucosidase	238	Les terpénoïdes	268
L'amidon phosphorylase	238	Biosynthèse des terpénoïdes	269
La glycolyse	238	Terpénoïdes et herbivores	269
L'entrée des hexoses dans la glycolyse	239	Stéroïdes et stérols	269
Conversion du fructose 1,6-bisphosphate en pyruvate	239	Les polyterpénoïdes	272
La voie oxydative des pentoses phosphates	240	Les hétérosides	273
Le sort du pyruvate	241	Les saponosides	273
La respiration oxydative	241	Les hétérosides cardioroniques	274
La mitochondrie	241	Les hétérosides cyanogènes	275
Le cycle de l'acide citrique	242	Les glucosinolates	275
Oxydation du NADH et du FADH <sub>2</sub>	243	Les composés phénoliques	276
Gradient de protons et synthèse d'ATP	245	La voie de l'acide shikimique	276
Les voies alternatives de transport d'électrons chez les plantes	246	Les composés phénoliques simples	278
La NADPH déshydrogénase externe	246	Les coumarines	279
La NADH déshydrogénase insensible à la rotenone	247	La lignine	280
La respiration résistante au cyanure	247	Les flavonoïdes	280
Les huiles végétales, le cycle glyoxylique et la néoglucogénèse	248	Les tanins	280
Respiration et production de matériaux de construction	249	Les alcaloïdes	281

## TROISIÈME PARTIE

### Régulation du développement des plantes ..... 285

#### Chapitre 15

<b>Modes de développement des plantes</b> .....	287
Croissance, différenciation et développement .....	287
<b>Contrôle de la croissance et du développement</b> .....	289
Contrôle générique du développement .....	289
Régulation du développement par les hormones .....	293
Régulation du développement par l'environnement .....	293
<b>Le développement des plantes, résumé</b> .....	294
Structure et développement des graines .....	294
La germination des graines .....	294
Le développement de la pousse feuillée .....	295
Développement de la racine .....	298
Evocation florale et développement .....	300
Développement des fleurs et des fruits .....	301
<b>Comment la croissance cellulaire s'effectue-t-elle ?</b> .....	302
<b>Analyse cinétique de la croissance</b> .....	304
La croissance de microorganismes en culture .....	304
Croissance d'organismes pluricellulaires .....	305

#### Chapitre 16

<b>Le rôle des hormones dans le développement d'une plante</b> .....	309
<b>Le concept d'hormone chez les plantes</b> .....	309
<b>Les hormones végétales</b> .....	313
<b>Les auxines</b> .....	313
Auxines naturelles et synthétiques .....	314
Rôle physiologique des auxines .....	315
<i>CROISSANCE CELLULAIRE ET DIFFÉRENCIATION</i> .....	315
Le développement des tiges et des racines .....	316
<i>CROISSANCE DES BOUTONS AXILLAIRES</i> .....	316
<i>L'ABSCISSION DES FEUILLES</i> .....	317
<i>ALLONGEMENT DES RACINES ET DÉVELOPPEMENT</i> .....	317
<i>DÉVELOPPEMENT DES FLEURS ET DES FRUITS</i> .....	318
<b>Les gibbérellines</b> .....	320
Les effets des gibbérellines sur la physiologie des plantes .....	321
<i>CONTRÔLE DE L'ALLONGEMENT DES TIGES</i> .....	321
<i>LES PLANTES NAINES</i> .....	321
<i>LES PLANTES EN ROSETTE</i> .....	322
<i>L'INHIBITION DE LA CROISSANCE DES TIGES</i> .....	323
<i>LA GERMINATION DES GRAINES</i> .....	323
<i>LA GERMINATION</i> .....	324
<b>Les cytokinines</b> .....	325
Rôles physiologiques des cytokinines .....	326
<i>DIVISION CELLULAIRE ET MORPHOGENÈSE</i> .....	326
<i>MOBILISATION DES NUTRIMENTS ET SÉNESCENCE</i> .....	327

<i>AUTRES EFFETS DES CYTOKININES</i> .....	328
<b>L'acide abscissique</b> .....	328
Les rôles physiologiques de l'acide abscissique .....	329
<b>L'éthylène</b> .....	329
Rôles physiologiques de l'éthylène .....	330
<i>DÉVELOPPEMENT VÉGÉTAL</i> .....	330
<i>LE DÉVELOPPEMENT DES FRUITS</i> .....	330
<i>LA FLOURATION</i> .....	330
<b>Les polyamines</b> .....	330
<b>Des hormones végétales puratives</b> .....	331
<b>Autres molécules ayant une activité biologique</b> .....	331

#### Chapitre 17

<b>Biochimie et mode d'action des hormones</b> .....	335
<b>Comment les hormones agissent-elles ?</b> .....	335
<b>Cas des hormones végétales</b> .....	337
Les protéines qui lient les hormones chez les plantes .....	337
<i>LES RÉCEPTEURS DE L'AUXINE</i> .....	337
<i>LES PROTÉINES QUI LIENT LES CYTOKININES</i> .....	338
<i>LES PROTÉINES QUI LIENT LES GIBBÉRELLINES ET L'ACIDE ABSCISSIQUE</i> .....	338
Les messagers secondaires des plantes .....	338
<i>LE CALCIUM</i> .....	338
<i>LES PHOSPHOLIPIDES</i> .....	339
Hormones et activité des gènes .....	340
<b>Biosynthèse, transport et métabolisme des hormones</b> .....	340
<b>Biosynthèse et métabolisme de l'auxine</b> .....	340
La biosynthèse de l'AIA .....	341
Les conjugués de l'AIA .....	342
Transport de l'AIA .....	343
L'oxydation de l'AIA .....	346
<b>Synthèse et métabolisme des gibbérellines</b> .....	347
La biosynthèse des gibbérellines .....	348
Métabolisme et transport des gibbérellines .....	350
<b>Biosynthèse et métabolisme des cytokinines</b> .....	350
Biosynthèse des cytokinines .....	351
Métabolisme et transport des cytokinines .....	352
<b>Biosynthèse et métabolisme de l'acide abscissique</b> .....	353
<b>Biosynthèse et métabolisme de l'éthylène</b> .....	354
<b>Les mécanismes de l'action hormonale</b> .....	356
Auxine et grandissement cellulaire .....	356
<i>LA THÉORIE DE LA CROISSANCE PAR ACIDIFICATION</i> .....	356
<i>L'AUXINE ET L'EXPRESSION GÉNÉRIQUE</i> .....	358
Le contrôle de l'allongement des tiges .....	

par les gibberellines ..... 359  
 Le contrôle de la germination des graines  
 par les gibberellines ..... 360  
 Le mécanisme d'action des cytokinines ..... 362  
 Le mécanisme d'action de l'acide abscissique ..... 362

**Chapitre 18**

**Photomorphogénèse**

**Les réponses à la lumière** ..... 367  
 La photomorphogénèse ..... 368  
 Le phytochrome ..... 368  
 Le phytochrome de plantules qui croissent  
 à l'obscurité ..... 370  
 La chimie du phytochrome ..... 372  
 Effets physiologiques du phytochrome ..... 373  
   Les réponses lfr ..... 374  
     GERMINATION DES GRAINES ..... 374  
     LE DÉVELOPPEMENT DES PLANTULES ..... 374  
     POTENTIELS ÉLECTRIQUES ET DISTRIBUTION DES IONS ..... 375  
   Les réponses vifl ..... 377  
   Les réponses hfr ..... 377  
 Le phytochrome chez les plantes vertes ..... 379  
 Le phytochrome dans les conditions naturelles ..... 380  
 Mécanisme d'action du phytochrome ..... 383  
   Phytochrome et membranes ..... 383  
   Phytochrome et activité génique ..... 384  
 Les réponses à la lumière bleue ..... 386  
 Les réponses à l'UV-B ..... 387

**Chapitre 19**

**Les Mouvements des Végétaux**

**L'orientation dans l'espace** ..... 391  
 Le phototropisme ..... 392  
   Perception du signal du phototropisme ..... 393  
     LE PHOTORECEPTEUR ..... 393  
     LES COURBES DE RÉPONSE À LA FLUXANCE ..... 394  
   La transduction du signal dans le phototropisme ..... 395  
 Le gravitropisme ..... 398  
   Perception de la pesanteur ..... 398  
     SENSIBILITÉ AU GRAVITROPISME ..... 399  
     LA SENSIBILITÉ DES TISSUS ..... 399  
     LE MÉCANISME DE PERCEPTION DE LA PESANTEUR ..... 401  
   La transduction du signal gravitropique ..... 402  
   La réponse de croissance au gravitropisme ..... 403  
     COLÉOPTILES ET RAMEAUX ..... 404  
     LES TIGES DES GYMNOSPERMES ..... 404  
     LES RACINES ..... 405  
   Le rôle du calcium dans le gravitropisme ..... 406

Les pionnes en operateur ..... 407  
**Les nasties** ..... 408  
   Les nyctinasties ..... 408  
   Les séismonasties ..... 411

**Chapitre 20**

**La Mesure du temps : Photopériodisme et Phénomènes Rythmiques**

**Le photopériodisme** ..... 415  
   Tabac géant et soja en septembre ..... 416  
   Les types de réponses photopériodiques ..... 416  
   La photopériode critique ..... 417  
   L'induction photopériodique ..... 419  
   Le rôle primordial de la période obscure ..... 419  
   La perception du signal photopériodique ..... 420  
   Le rôle du phytochrome ..... 421  
   Desains en lumière et hormones de floraison ..... 422  
   Température et photopériodisme ..... 423  
**L'horloge biologique** ..... 424  
   Le langage des horloges biologiques ..... 426  
   Rythmes circadiens, température et lumière ..... 427  
**La mesure du temps dans le photopériodisme** ..... 429  
**Approches génétiques du photopériodisme et des rythmes** ..... 431  
**Le photopériodisme dans la nature** ..... 432

**Chapitre 21**

**Température et Développement des Plantes**

**Température et Développement des Plantes** ..... 435  
 La température dans l'environnement de la plante ..... 435  
**Influence de la température sur la croissance et la répartition des plantes** ..... 436  
   Côtes et déserts ..... 436  
   Les versants montagneux ..... 438  
**Influence de la température sur le développement** ..... 439  
   Température et floraison ..... 439  
     LES CIRCONSTANCES DE LA VERNALISATION ..... 439  
     LA TEMPÉRATURE EFFICACE ..... 440  
     LA PERCEPTION DU STIMULUS ..... 441  
     LA NATURE DU STIMULUS DE VERNALISATION ..... 441  
   La dormance des bourgeons ..... 442  
   Dormance des graines et germination ..... 443  
     TEMPÉRATURE ET DORMANCE DES GRAINES ..... 445  
   Réponses aux changements de température ..... 445

Introduction : l'organisation des  
 plantes et  
**QUATRIÈME PARTIE**  
 Physiologie des stress et biotechnologie

<b>Chapitre 22</b>		
<b>La physiologie des plantes soumises aux stress</b>	451	
Qu'est ce qu'un stress ?	451	
Les réponses des plantes aux stress	452	
Le stress hydrique	453	
Les membranes et le stress hydrique	453	
Photosynthèse et stress hydrique	454	
Les réponses des stomates au déficit hydrique	454	
L'ajustement osmotique	457	
Les effets du déficit hydrique sur la croissance des rameaux et des racines	458	
L'ajustement de la surface foliaire	459	
<b>Les stress thermiques</b>	459	
Stress au froid	459	
Le stress provoqué par le gel	460	
L'ANALYSE THERMIQUE DE LA CONGÉLATION	461	
SURVIVANCE ANOMALE DANS LES TISSUS LISIERS	461	
L'ACCLIMATATION DES TISSUS LISIERS	462	
ACCLIMATATION AU FROID DES TISSUS DES PLANTES HERBACÉES	462	
Le stress induit par les températures élevées	463	
EFFETS DES TEMPÉRATURES ÉLEVÉES SUR LES MEMBRANES ET LE MÉTABOLISME	463	
LES PROTEINES DE CHOC THERMIQUE	464	
Le stress salin	464	
<b>Insectes et maladies</b>	467	
Les réactions d'hypersensibilité	467	
Les gènes d'avirulence	467	
Résistance systémique acquise	468	
Les jasmonates	469	
<b>Les polluants de l'environnement</b>	469	
Les métaux lourds	470	
La pollution de l'air	470	
<b>Chapitre 23</b>		
<b>Physiologie végétale et biotechnologie</b>	477	
Méthodes en biotechnologie végétale	478	
La culture de tissus et de cellules	478	
Protoplastes et fusions cellulaires	478	
L'ADN recombinant	479	
<b>Progrès et potentialités des biotechnologies végétales</b>	480	
La micropropagation	480	
La protection des végétaux	481	
RÉSISTANCE AUX HERBICIDES	481	
RÉSISTANCE AUX INSECTES ET AUX MALADIES	482	
Le métabolisme des plantes	483	
Les produits végétaux	484	
LES CARBOHYDRATES	484	
LES HUILES AROMATIQUES	484	
LES MATIÈRES PLASTIQUES BIODÉGRADABLES	485	
AUTRES PRODUITS	486	
<b>Appendice</b>		
<b>Mesure du potentiel hydrique et de ses composantes</b>	489	
Potentiel hydrique	489	
Mesure des variations pondérales	489	
Psychromètre à thermocouple	491	
Potentiel osmotique	491	
Méthodes cryoscopiques	491	
Plasmolyse limite	492	
Mesures de pression	493	
<b>Index</b>	495	

# PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE

• HOPKINS •

Cet ouvrage très didactique présente **tous les aspects de la vie d'une plante**, de son mode de nutrition cellulaire aux mécanismes qui régissent sa croissance et son développement.

Ses grandes subdivisions décrivent successivement l'organisation des cellules et des organes des plantes, les relations hydriques et la nutrition minérale, les principales réactions du métabolisme en insistant sur l'aspect énergétique, la régulation de la croissance et du développement, la physiologie du stress et la biotechnologie. Le manuel introduit par ailleurs les nouvelles **notions acquises** suite aux développements récents de la **biologie moléculaire**.

Une attention particulière est accordée aux **démarches expérimentales** et au **cheminement intellectuel** qui ont abouti à l'énoncé de concepts tels celui d'hormone végétale ou de transduction des signaux qui induisent les différentes étapes du développement d'une plante.

Au fil des pages, le lecteur est amené à réfléchir et à acquérir les modalités du **raisonnement scientifique**, aidé d'une **iconographie abondante** et souvent extraite d'articles originaux. Chaque chapitre se termine par un résumé et une série de questions qui lui permettent de s'assurer de la bonne compréhension de la matière abordée.

Cette référence incontournable s'adresse aux professeurs et aux étudiants des 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> cycles en botanique, agronomie, horticulture et pharmacie.

ISBN 2-7445-0089-5

ISBN13 : 978-2-7445-0089-3



9 782744 500893

HOPKINS