

ACADÉMIE DES SCIENCES

rst n°10 - octobre 2000

Le monde végétal

Du génome à la plante entière

10



rapports sur la science et la technologie

Editions
TEC
& **DOC**

Table des matières

Préambule – Diversité et particularités du monde végétal . <i>M. Caboche, R. Douce, M. Thellier</i>	XVII
Synthèse <i>Jacques Joyard</i>	XXI
1. Du génome à la biologie de la plante. Éléments pour une biologie végétale intégrative	XXII
1.1. Les plantes et leurs génomes	XXII
1.1.1. Génomes du chloroplaste et de la mitochondrie	XXII
1.1.2. Génome nucléaire	XXIII
1.1.3. Génomique fonctionnelle	XXIV
1.2. La dynamique du métabolisme	XXV
1.2.1. Le métabolisme de la plante entière au métabolisme cellulaire	XXV
1.2.2. Importance de la compartimentation	XXVI
1.2.3. L'usine cellulaire végétale	XXVII
1.3. L'équilibre hydrominéral des plantes	XXVIII
1.4. Reproduction et développement	XXIX
1.4.1. La reproduction	XXIX
1.4.2. Développement	XXX
2. Les plantes dans leur environnement.	XXXII
2.1. Réponses adaptatives des plantes aux conditions de l'environnement	XXXII
2.1.1. De la contrainte modérée au stress environnemental	XXXII
2.1.2. Du stimulus à la réponse adaptative	XXXIII
2.2. Interactions des plantes avec les facteurs biotiques du milieu : symbiose et pathologie	XXXV
2.2.1. Les symbioses racinaires	XXXV
2.2.2. Pathologie végétale	XXXVII
2.3. Diversité des modèles biologiques végétaux	XL

3. Le monde végétal : de la recherche aux applications.	XLII
3.1. Sciences végétales et agriculture	XLII
3.1.1. Aspects socio-économiques	XLII
3.1.2. Génomique et agriculture.	XLIV
3.1.3. Nouvelles applications des biotechnologies : la plante usine	XLV
3.2. Plantes, environnement et biodiversité	XLVII
Conclusion	XLIX
Remerciements.	LI
Références	LI
 Recommandations	 LIII
<i>Jacques Joyard</i>	
 Overview	 LXIII
1. From genome to plant biology. Basis for an integrative plant biology	LXIV
1.1. Plants and their genomes	LXIV
1.1.1. The chloroplast and mitochondrial genomes	LXIV
1.1.2. The nuclear genome	LXIV
1.1.3. Functional genomics	LXV
1.2. The dynamics of metabolism	LXVI
1.2.1. From whole plant metabolism to cell metabolism.	LXVI
1.2.2. The importance of compartmentation	LXVII
1.2.3. The plant cell factory	LXVIII
1.3. Water and salt equilibrium of plants.	LXIX
1.4. Reproduction and development	LXX
1.4.1. Reproduction	LXX
1.4.2. Development	LXXI
2. Plants and their environment	LXXIII
2.1. Plant adaptive responses to environmental conditions 2.1.1. From moderate constraints to environmental stress	LXXIII
2.1.2. From stimulus to adaptive response	LXXIV
2.2. Plant interactions with environmental biotic factors: symbiosis and pathology	LXXV
2.2.1. Root symbioses	LXXVI
2.2.2. Plant pathology	LXXVII
2.3. The diversity of plant biological models	LXXX
3. The plant world: from research to applications	LXXXII
3.1. Plant science and agriculture	LXXXII
3.1.1. Social and economic aspects	LXXXII

3.1.2. Genomics and agriculture	LXXXIII
3.1.3. New applications of biotechnology: the plant factory	LXXXIV
3.2. Plants, environment and biodiversity	LXXXVI
Conclusion	LXXXVII
Acknowledgements.	LXXXIX
Bibliography	XC
Recommendations	XCI
Chapitre 1 – Les plantes et leur génome	1
<i>Michel Caboche, Michel Delseny, Georges Pelletier</i>	
Introduction	3
1. Les génomes des organites cytoplasmiques	4
2. Caractéristiques générales du génome nucléaire des plantes	5
3. La variabilité génétique	8
4. L'organisation du génome d'Arabidopsis	9
5. L'analyse fonctionnelle du génome d'Arabidopsis	10
6. Les autres génomes et leur analyse fonctionnelle	13
7. Le développement de la bio-informatique	16
8. Une révolution dans la façon de faire de la recherche	16
Références	18
Chapitre 2 – Reproduction et développement	19
<i>Christian Dumas, Émile Miginiac, Georges Pelletier</i>	
Introduction	21
I – La reproduction.	21
1. Floraison et fleur	23
1.1. La mise à fleur	23
1.2. La fleur	24
1.3. Le déterminisme du sexe	26
1.4. La différenciation des organes reproducteurs et des gamètes	28
2. Pollinisation et fécondation	30
2.1. La pollinisation	30
2.2. Les contrôles génétiques régulant la stabilité des espèces et assurant la variabilité intraspécifique.	32
2.3. La fécondation	33
2.4. La stérilité mâle	34

3. L'apomixie et les applications des études sur les modes de reproduction des plantes	35
4. La multiplication végétative	36
II – Le développement végétatif	37
1. Mutants et développement	37
2. Résultats majeurs	38
2.1. L'embryogenèse	38
2.2. Les méristèmes et le développement végétatif	38
2.3. La sénescence et la fin du développement	40
3. Signaux et développement	40
3.1. Contrôle du développement par la lumière	41
3.1.1. Lumière, floraison, rythmes	42
3.1.2. Les photorécepteurs	43
3.1.3. Photoperception de la lumière rouge	43
3.1.4. Photoperception de la lumière bleue	44
3.2. Développement et signaux internes	46
3.2.1. Les phytohormones : structure, rôles physiologiques	46
3.2.2. Les phytohormones : mécanismes d'action	47
Conclusion	48
Références	50
Chapitre 3 – La dynamique du métabolisme	53
<i>Pierre Benveniste, Alain-Michel Boudet, Roland Douce, Jacques Joyard</i>	
Introduction	55
1. Métabolisme et facteurs du milieu	56
2. Intégration du métabolisme au niveau de la plante entière	57
2.1. Transports à longue distance	57
2.2. Le saccharose et l'amidon : molécules clés du métabolisme	58
2.3. Synthèse des acides aminés	63
2.4. Événements biochimiques au niveau de la graine : maturation et germination	64
3. Intégration du métabolisme au niveau cellulaire	66
3.1. Métabolisme et transports membranaires	66
3.2. Métabolisme et compartimentation cellulaire	68
3.3. Biogenèse des membranes	69
3.4. Polymères glucidiques : importance biologique et applications	73
4. L'usine chimique végétale : diversité des substances naturelles	74

4.1. Les composés phénoliques	75
4.2. Les isoprénoïdes	78
4.3. Les alcaloïdes	80
4.4. Mécanismes de l'évolution biochimique	83
Conclusion : le métabolisme entre recherche et applications . . .	85
Références	87
Chapitre 4 – Statut hydrominéral des plantes	89
<i>Christophe Maurel et Michel Thellier</i>	
1. Bases anatomiques	91
2. Bases physicochimiques macroscopiques : flux et forces . . .	93
2.1. Les relations flux/forces : thermodynamique des processus irréversibles	93
2.2. Formulation macroscopique des transports d'eau	94
2.3. Formulation macroscopique des transports d'ions	95
3. Bases moléculaires des transports transmembranaires	95
3.1. ATPases, pompes à protons	95
3.2. Aquaporines et transport transmembranaire d'eau	96
3.3. Transport des cations	97
3.4. Transport d'anions	98
3.5. Conclusion	98
4. Exemples de fonctionnement de systèmes intégrés	99
4.1. La cellule de garde des stomates	99
4.2. Fonctionnement de la racine : interaction entre transports d'eau et de solutés	100
4.3. Ressources hydrominérales et croissance et développement des plantes	100
5. Conclusion : états de la recherche et applications	101
Références	104
Chapitre 5 – Réponses adaptatives des végétaux aux contraintes physicochimiques de l'environnement	105
<i>Christophe Maurel et Michel Thellier</i>	
1. Réponses adaptatives des plantes aux agressions physicochimiques	108
1.1. Stress hydriques et basses températures	108
1.2. Mécanismes de détoxification chimique	110
1.3. Stimulations mécaniques et températures extrêmes	112
2. De la perception du stimulus à la réponse adaptative	113
2.1. Implication des ions Ca ²⁺ dans la perception des signaux	113

2.2.	Activation de protéines kinases et phosphatases	114
2.3.	Modifications précoces d'activités de transcription et de traduction	115
2.4.	Conduction de signaux dans les plantes	116
2.5.	Stockage de signaux dans la plante	116
3.	Conclusions : états et perspectives de la recherche et de ses applications	117
	Références	118
 Chapitre 6 – Pathologie végétale		121
<i>Pierre Abad, Pierre Boistard, Christian Boucher, Gérard Febvay, Monique Garnier, Thierry Langin, Yves Marco, Mme Dominique Roby et Pierre Yot</i>		
1.	Les différents types d'agresseurs et leurs mécanismes d'action	123
1.1.	Les virus	123
1.2.	Les bactéries phytopathogènes	124
1.3.	Les mollicutes (mycoplasmes) phytopathogènes	129
1.4.	Les champignons phytopathogènes	130
1.5.	Les insectes	134
1.6.	Les nématodes	135
2.	Réponses des plantes aux agents pathogènes	137
2.1.	Les gènes de résistance	138
2.2.	La réponse hypersensible, forme de mort cellulaire programmée associée à la résistance	140
2.3.	Un mécanisme original de défense contre les virus : la suppression post-transcriptionnelle	142
2.4.	Défense des plantes contre les insectes	142
	Conclusions	144
 Chapitre 7 – Les symbioses racinaires		145
<i>Jean Dénarié</i>		
	Introduction	147
1.	Symbioses fixatrices d'azote	147
1.1.	Les symbioses Rhizobium-légumineuses	148
1.1.1.	Les partenaires bactériens	148
1.1.2.	Les partenaires végétaux	150
1.2.	Les symbioses à actinorhizes	151
2.	Symbioses mycorhiziennes	152
2.1.	Endomycorhizes à arbuscules	152
2.1.1.	Les partenaires fongiques	153
2.1.2.	Les partenaires végétaux	154

2.2. Ectomycorhizes	154
3. Pour une meilleure exploitation des symbioses racinaires	155
3.1. Symbioses fixatrices d'azote	156
3.2. Mycorhizes	157
3.3. Inoculation des microsymbiotes	157
Chapitre 8 – Plantes, environnement et biodiversité	159
<i>Marianne Lefort, Bernard Saugier</i>	
1. Plantes, écosystèmes et environnement.	161
1.1. Rôle des plantes dans les cycles biogéochimiques	161
1.2. Effets des changements globaux	164
1.3. Axes de recherche à développer	166
2. Biodiversité végétale : dynamique et fonctions	167
2.1. Connaissance approfondie des éléments constitutifs de la biodiversité	167
2.1.1. Inventaire, systématique et taxonomie moléculaire	167
2.1.2. La diversité génétique intraspécifique : une connaissance très partielle, malgré des outils d'exploration de plus en plus puissants	169
2.1.3. La gestion des données et l'organisation des connaissances	170
2.2. Dynamique d'évolution dans l'espace et dans le temps	170
2.2.1. L'héritage du passé pour la compréhension du présent	170
2.2.2. L'inventaire des diversités actuelles, l'analyse de leur structure et de leur dynamique	171
2.3. Fonctions et services de la biodiversité	173
3. Développement durable et gestion long terme de la biodiversité	174
Conclusions	177
Remerciements	178
Références	178
Chapitre 9 – Transgénèse végétale	181
<i>Dominique Job</i>	
Introduction	183
1. Qu'est-ce qu'une plante transgénique ?	183
2. Champs d'application de la transgénèse végétale	186
2.1. Objets de l'amélioration des performances des espèces cultivées	186
2.2. L'apport de la transgénèse végétale à l'amélioration des espèces cultivées	187
2.2.1. Contribution de la transgénèse végétale à la domestication des plantes cultivées	187

2.2.2. Augmentation des rendements via la protection des cultures	188
2.3. Nouvelles applications. Aspects nutritionnels et industriels. La plante « usine »	192
Conclusion.	194
Chapitre 10 – Sciences végétales et agricultures	195
<i>Hervé Guyomard et Pierre-Benoît Joly</i>	
1. La prospective alimentaire mondiale à l’horizon 2020	197
1.1. Augmenter la production et la productivité est toujours nécessaire	198
1.2. La nécessité du succès d’une « révolution doublement verte »	199
2. Les politiques agricoles des pays développés : de nouveaux instruments pour de nouveaux objectifs	201
2.1. Libéralisation des échanges et nouvelles attentes de la société	201
2.2. Les sciences végétales et la promotion d’une agriculture multifonctionnelle	203
3. Les enjeux socio-économiques des biotechnologies végétales	205
3.1. Des plantes génétiquement modifiées adaptées à la demande et acceptées par la société	206
3.2. Plantes génétiquement modifiées et agriculture européenne	207
3.3. Plantes génétiquement modifiées et pays en développement.	209
Références	209
Glossaire	211
Groupe de lecture critique	213
– Composition du groupe de lecture critique	215
Présentation à l’Académie des sciences ...	217
– Intervention de Henri Durantou	219