AGRI PRODUCTION

Productions végétales et Grandes cultures

CAMPUS PRO

Le maïs

Une plante pour l'intensification écologique

Jean-Paul Renoux

Préface de **Michel Griffon**

- La plante
- Les techniques de production et les usages
- Les enjeux d'une céréale mondiale

ÉDITIONS France Agricole

AGRI PRODUCTION

Productions végétales et Grandes cultures

جامعة أمحمد بوقرة - بومرداس
Université M'hamed Bougara - Boumerdes
المكتبة الجامعية
رقم الجرد: 0124163

جامعة أمحمد بوقرة - بومرداس
المكتبة الجامعية
Université M'hamed Bougara Boumerdes

Le maïs

Une plante pour l'intensification écologique

Jean-Paul Renoux

جامعة أمحمد بوقرة - بومرداس
Université M'hamed Bougara - Boumerdes
المكتبة الجامعية
58.21.54.21.11/REN
1 EXP

ÉDITIONS France Agricole

Liste des figures, tableaux et photos

Figures

Figure 1.1 Diffusion des PGM dans le monde 13
Figure 1.2 Évolution des surfaces mondiales de PGM par culture en 2012 14
Figure 1.3 Évolution de la surface de maïs grain irrigué entre 1979 et 2012 18
Figures 1.4 et 1.5 Part de la SAU irriguée par région et évolution entre 2000 et 2010 des surfaces irriguées 19
Figure 1.6 Répartition de l'irrigation selon le type de culture 20
Figure 1.7 Part des surfaces irriguées dotées d'équipements économes en eau dans les pays méditerranéens 21
Figure 1.8 Nombre d'exploitations en monoculture 28
Figure 1.9 Écart de rendement en q/ha entre maïs grain et blé tendre par région homogène de production 28
Figure 1.10 Diminution du nombre de spécialités phytosanitaires disponibles en Europe 30
Figure 1.11 Évolution du cortège floristique du maïs après la suppression de l'atrazine 32
Figure 1.12 Nombre de traitements herbicides maïs par ha 32
Figure 1.13 Évolution des stratégies de désherbage maïs 33
Figure 1.14 Matières actives les plus quantifiées dans les cours d'eau en France en % d'analyses au-dessus du seuil de quantification 34
Figure 2.1 Tlaloc, dieu aztèque, associe la pluie et le maïs, symboles de fertilité 37
Figure 2.2 Représentation des trois sœurs dans une légende Cherokee 39
Figure 2.3 Chronologie de la progression du maïs en Europe 42
Figure 2.4 Chronologie de l'expansion du maïs en France 44
Figure 2.5 Répartition des principales « céréales » en France à la fin du XVIIe siècle 46
Figure 2.6 Culture du maïs et de l'avoine en France en 1925, céréales « secondaires » 55
Figure 2.7 Les grands bassins de production de maïs aux États-Unis 64
Figure 2.8 Évolution de la production brésilienne et volumes comparés des deux récoltes 65
Figure 2.9 Évolution des surfaces et des rendements maïs en Chine 1999-2011 66
Figure 2.10 Principaux types de sols en Ukraine 69
Figure 2.11 Ukraine : évolution des surfaces récoltées par culture et totales en × 1 000 ha 70
Figure 2.12 Surfaces de maïs grain et fourrage dans l'UE (2013-2014) 71

Figure 2.13 Répartition des surfaces de maïs fourrage en Europe 72
Figure 2.14 Évolution des grands équilibres mondiaux de la production de maïs 74
Figure 2.15 Répartition de la production mondiale de maïs 74
Figure 2.16 Bilan récent de la production de maïs américain 75
Figure 2.17 Évolution des principaux paramètres de la production de maïs en Ukraine depuis dix ans 76
Figure 2.18 Principaux exportateurs sur le marché mondial du maïs et évolution en milliers de tonnes..... 77
Figure 2.19 Parts des principaux importateurs de maïs dans le monde (2011-2012), en milliers de tonnes métriques 78
Figure 2.20 Répartition des surfaces et de la production de maïs grain dans l'UE 79
Figure 2.21 Bilan global et par pays du maïs européen 80
Figure 2.22 Les utilisations alimentaires et industrielles du maïs grain en Europe: localisation..... 80
Figure 2.23 Consommation de maïs aliment en kg/habitant/an..... 82
Figure 3.1 Évolution des surfaces de la culture du maïs en France..... 85
Figure 3.2 Répartition des surfaces de la culture du maïs en France..... 85
Figure 3.3 Répartition des surfaces de maïs grain en France..... 86
Figure 3.4 Répartition des surfaces de maïs fourrage sur le territoire français..... 87
Figure 3.5 Typologie des grands domaines de production du maïs en France 87
Figure 3.6 Segmentation de la culture du maïs grain..... 89
Figure 3.7 Segmentation de la culture du maïs fourrage 90
Figure 3.8 Caractérisation des différents « terroirs » de production de maïs grain selon le niveau d'intensification 91
Figure 3.9 a et b Répartition des surfaces de maïs doux et des surfaces de maïs semence 92
Figure 3.10 Volume des céréales utilisées dans l'alimentation animale en France en milliers de t..... 93
Figure 3.11 Une infinité de produits sont issus de l'industrie amidonnière 94
Figure 3.12 Bilan du maïs français, en Mt..... 95
Figure 3.13 Aire d'activité et ports d'exportation de l'association Charte Qualité Maïs Classe A 97
Figure 3.14 Évolution des surfaces de production de maïs semence dans l'UE sur vingt ans et part de la France 98
Figure 3.15 Place de la France dans les surfaces de maïs doux dans l'UE à 28 et dans la production de conserves..... 100
Figure 4.1 Comparaison des progressions de rendements France-États-Unis et ratio États-Unis/France 105
Figure 4.2 Parallèle entre l'évolution des rendements et des densités de semis aux États-Unis entre 1985 et 2011 106
Figure 4.3 Valeur moyenne des coûts de production des différentes fermes types et taux de change retenus..... 109

Figure 4.4 Résultats des EBE et des marges nettes dans le panel des exploitations types ... 112
Figure 4.5 Évolution des charges complètes (base 100 = 2010) ... 113
Figure 5.1 Les stades de développement racinaires en résumé ... 121
Figure 5.2 Carte d'identité des hybrides: Poids de mille grains et grains/m² sont liés ... 126
Figure 5.3 Résumé synoptique du cycle du maïs ... 128
Figure 6.1 Ce qu'il faut éviter ... 138
Figure 6.2 Courbe de réponse à la densité selon le régime hydrique pour 3 variétés demi-précoces réalisée sur 23 essais en région Centre (2006-2009) ... 140
Figure 6.3 Courbe de réponse à la densité d'une variété tardive (exprimée selon la fonction de production e/E de satisfaction relative des besoins en eau) avec deux dates de semis et sous une disponibilité en eau croissant (Aquitaine, 2010) ... 140
Figure 6.4 Effet starter sur le rendement en sols limoneux du Sud-Ouest et en semis précoce (Poucharramet, 2007) ... 141
Figure 6.5 Position de l'engrais par rapport à la graine ... 142
Figure 6.6 Cinétique de croissance et de prélèvement de N, P et K ... 144
Figure 6.7 Relation entre la dose d'azote et la quantité d'azote nitrique dans le sol à la récolte ... 144
Figure 6.8 Besoins en eau et cycle du maïs ... 152
Figure 6.9 Demande climatique: évapotranspiration potentielle du 21 juin au 31 août (4e quintile, valeur dépassée deux années sur dix) pour la période 1971-2001 et transcription en besoin mm/jour ... 152
Figure 6.10 Contribution du sol dans des régimes d'irrigation croissants, variété DKC 5170, 2010 ... 154
Figure 6.11 Comparaison de différentes conduites d'irrigation avec un arrêt précoce ... 159
Figure 6.12 Comportement de différentes variétés de maïs « contemporaines » selon la disponibilité en eau ... 160
Figure 7.1 Estimation de nuisibilité d'adventices selon le stade de désherbage avec une flore à dominante de sétaires et de chénopodes sur maïs grain ... 164
Figure 7.2 Fréquence des principales adventices du maïs ... 165
Figure 7.3 Localisation des principales adventices du maïs ... 167
Figure 7.4 Efficacité du désherbage de prélevée selon les adventices et l'humidité du sol: notation 60 jours après l'application ... 172
Figure 7.5 Efficacité du désherbage de postlevée selon les adventices et l'hygrométrie de l'air: notation 30 jours après la deuxième application ... 173
Figure 7.6 Part des surfaces de maïs grain ayant au moins une intervention en prélevée ... 177
Figure 7.7 Efficacité globale des différentes stratégies sur graminées estivales ... 177
Figure 7.8 Estimation globale de la nuisibilité (en % du rendement) des ravageurs sur maïs ... 179

Figure 7.9 Nuisibilité des ravageurs maïs par segment de production de maïs grain .. 179
Figure 7.10 Protection contre les taupins, synthèse de 12 essais, France (2011-2013) ... 182
Figure 7.11 Solutions insecticides comparées à l'application d'un engrais starter localisé au semis (Bretagne) ... 184
Figure 7.12 Incidence des attaques de foreurs (nombre de larves par pied en abscisse) sur le rendement (en quintaux en ordonnée) ... 189
Figure 7.13 Présence de fumonisines selon la fréquence d'attaque de pyrale et de sésamie sur épi ... 191
Figure 7.14 Charbon commun sur épi ... 201
Figure 8.1 Résumé des observations à la récolte ... 205
Figure 8.2 Qualité des grains sortie machine : pourcentage des grains présentant des fissures ... 206
Figure 8.3 Évolution des teneurs en DON dans les maïs du Sud-Ouest ... 214
Figure 8.4 Évolution des teneurs en fumonisines dans les maïs du Sud-Ouest ... 214
Figure 9.1 Évolution du rendement des différentes parties de la plante ... 217
Figure 9.2 Représentation schématique de la composition du maïs plante entière ... 218
Figure 9.3 Observation du niveau de remplissage des grains pour définir le stade de récolte au champ ... 225
Figure 9.4 Recommandations de répartition des tailles de brins ... 227
Figure 9.5 Valeur énergétique : positionnement d'un échantillon sur un diagramme Amidon/DMOna ... 231
Figure 9.6 Surfaces par région du maïs récolté en 2010, grain humide en ha ... 232
Figure 9.7 Coût du séchage en euros/ha selon les années rapporté au prix de vente du maïs entre 1997 et 2011 et selon l'humidité à la récolte ... 233
Figure 9.8 Schéma d'une installation ... 237
Figure 9.9 Type de substrat utilisé dans les installations allemandes de méthanisation ... 238
Figure 9.10 Productivité en méthane (en m^3/ha) de différentes cultures ... 238
Figure 9.11 Les acteurs techniques de la filière ... 241
Figure 9.12 Normes de pureté variétale en maïs semence ... 242
Figure 9.13 Perte de rendement (en rouge) et fréquence des attaques de différents ravageurs (en bleu) en maïs semence ... 244
Figure 9.14 Le maïs doux est particulièrement exposé aux attaques de taupins comparativement au maïs conventionnel ... 249
Figure 9.15 Critères de choix des variétés retenus par les agriculteurs bio ... 251
Figure 9.16 Recommandations (en vert) et limites (en rouge) des modes d'intervention en désherbage mécanique selon le stade et les outils ... 253
Figure 10.1 L'Agriculture écologiquement intensive : une approche « intégrative » ... 256
Figure 10.2 Évolution comparée des rendements du blé tendre et du maïs en France ... 259
Figure 10.3 Illustration du modèle de perturbation intermédiaire ... 262
Figure 10.4 Évolution du taux de matière organique dans l'essai longue durée de Boigneville ... 263

Figure 10.5 Résidus apportés en treize ans (échelle de droite) et évolution des sols en carbone organique (échelle de gauche) de différents systèmes de culture 265
Figure 10.6 Balance carbone dans les exploitations avec une part croissante de maïs ensilé dans la SAU 265
Figures 10.7 a et b Gisement potentiel de MS restituable après récolte du maïs grain ... 266
Figure 10.8 Estimation de l'aléa « érosion » en France 267
Figure 10.9 Pratique du broyage des résidus de culture maïs et type de gestion des résidus dans trois régions : Aquitaine, Midi-Pyrénées et Alsace 269
Figure 10.10 Cinétique de développement de cultures intermédiaires semées le 2 octobre derrière maïs 270
Figure 10.11 Typologie des maïs français selon l'exposition à une contrainte climatique 277
Figure 10.12 Bilan hydrique (P-ETP du 16/06 au 31/08) 278
Figure 10.13 La progression de performances selon l'année d'inscription des variétés est comparable en culture sèche comme irriguée 279
Figures 10.14 et 10.15 Progrès génétique observé dans les réseaux postinscription : exemple des variétés fourrage demi-précoces 280
Figure 10.16 Évolution de la date de semis du maïs à Mirecourt (Vosges) entre 1968 et 2004 281
Figure 10.17 Date des premiers semis relevés par région homogène de culture (segment) de maïs grain 281
Figures 10.18 et 10.19 Intérêt de la stratégie d'esquive selon les années, comparaison des performances de variétés de précocité différentes semées tôt et sous deux régimes hydriques 283
Figure 10.20 Productivité du travail et du capital en agriculture comparée aux consommations intermédiaires en indice, base 100 : 1990 284
Figure 10.21 Gain de rendement maïs en fonction de la dose d'irrigation 285
Figure 10.22 L'irrigation permet une meilleure valorisation des intrants comme l'azote(a) et la diminution des reliquats(b), comme le prouve cet essai de l'ITCF 286
Figures 10.23 et 10.24 Évolution des apports d'azote, de phosphore et de potasse dans les départements du Haut-Rhin (en haut) et des Landes (en bas) entre 1995 et 2006, de deux départements à « forte intensité » de la culture du maïs 287
Figure 10.25 Efficience de différentes formes d'azote dans la production de maïs 288
Figure 10.26 Origine des pollutions par les produits phytosanitaires 291
Figure 10.27 Les différents modes de circulation de l'eau 293
Figure 10.28 Impact de réductions d'IFT sur l'efficacité et la sécurité du désherbage du maïs 294
Figure 10.29 Viabilité des spores selon le traitement cultural des résidus de culture 303
Figure 10.30 Nombre d'auxiliaires visibles sur la partie aérienne du maïs pour une superficie de 1 ha, Montesquieu (31) 306
Figure 10.31 Fragmentation du paysage : taille moyenne des îlots par commune 310

Figure 10.32 Maïs très précoces cultivés en Italie et en France continentale du XVIIe au XIXe siècle 313
Figure 10.33 Date de semis au plus tard du maïs fourrage derrière une orge pour le récolter le 15 octobre à 28 % de MS 314
Figure 10.34 Problèmes constatés dans les rotations courtes 315
Figure 10.35 Comparaisons de 13 essais maïs (dominante ensilage) 316
Figures 10.36 et 10.37 Répartition par poste des émissions GES du maïs grain et bilan énergie 324
Figure 10.38 Relation entre la teneur en amidon du maïs fourrage et la production laitière et valeur amidon par région 326
Figure 11.1 Progression de la chrysomèle du maïs aux États-Unis depuis son introduction 330
Figure 11.2 Zones de confinement et nombre de captures dans les zones dites d'« éradication » en 2013 332
Figure 11.3 Dispositif d'éradication en vigueur jusqu'en 2013 332
Figure 11.4 Situation de la chrysomèle du maïs en Europe en 2012 334
Figure 11.5 Prévision des stades de la chrysomèle à partir des sommes de températures aériennes 335
Figure 11.6 Relation entre la notation racinaire (Iowa Scale) de dégâts croissants et les pertes de rendement dans la province de Brescia 336
Figure 11.7 Scénario de base de la diffusion de la chrysomèle du maïs sur le territoire français avec mesures de confinement 341
Figures 11.8 et 11.9 Potentiel de développement de la chrysomèle de maïs en France .. 342
Figure 12.1 La part de marché des importations de maïs des pays asiatiques tend à s'éroder au profit de ceux de l'Afrique du Nord, du Proche-Orient et du Mexique 345
Figure 12.2 Évolution du potentiel d'exportation (Mt) des différentes céréales d'Ukraine 346
Figure 12.3 Installations pour la production de bioéthanol en Europe 347
Figure 12.4 Développement des surfaces de maïs (en ha) pour le biogaz en Europe ... 348
Figure 12.5 UE-28 Un marché d'importation de maïs en hausse où la France subit la concurrence des PECO et des pays tiers 350
Figure 12.6 Résultats au test Promatest 351
Figure 12.7 Résultats valeur énergétique 351
Figure 12.8 Fournisseurs des importations algériennes en X 1 000 t 352
Figure 12.9 Efficience de l'eau consommée par différentes cultures pour une année climatique donnée 354
Figure 12.10 Évolution des dates de maturité du maïs grain atteintes selon la date de semis et la précocité entre 1972 et 2012 358
Figure 12.11 Évolution des besoins moyens en eau sur la période 1991-2012 359
Figure 12.12 Progression récente de certains insectes en France 361
Figure 12.13 Accélération de la création variétale avec les progrès des techniques de sélection 363
Figure 12.14 Évolution des critères d'amélioration des variétés de maïs 366

Figure 12.15 Sensibilité au vent comparée d'un enrouleur et d'un pivot : exemples de répartition d'eau observée sur les deux types de matériel 371
Figure 12.16 Comparaison des marges brutes de différentes cultures sous contrainte hydrique 373
Figures 12.17 et 12.18 Rendements comparés du maïs et du sorgho selon la dose d'irrigation 374
Figure 12.19 Teneurs en mycotoxines (fumosinines et DON) comparées de maïs origine France et catalogne 395
Figures 12.20 et 12.21 Accroches de la campagne de communication de la filière maïs en 2014 (AGPM) et du site web « Maïs une grande culture durable » 402

Tableaux

Tableau 1.1 Quantité moyenne d'eau (en l) pour produire 1 kg MS 22
Tableau 4.1 Progrès des rendements maïs par région selon la période analysée en q/ha/an 102
Tableau 4.2 Estimations du progrès génétique par précocité à partir de la base de données historiques des essais post-inscription et de l'ajout de variétés des années 1990 dans essais variétés de 2008 à 2011 103
Tableau 4.3 Caractéristiques des exploitations types retenues dans le panel de l'étude ARVALIS 108
Tableau 4.4 Caractéristiques des exploitations françaises du panel 111
Tableau 4.5 Compétitivité comparée des offres françaises et ukrainiennes sur des clients traditionnels de la France : l'Espagne et la Hollande avec 1 € = 1,36 $ 114
Tableau 5.1 Les stades de développement racinaires en résumé 122
Tableau 5.2 Chronologie moyenne de la succession des événements autour de la sortie des soies 123
Tableau 6.1 Critères du choix variétal 134
Tableau 6.2 Référentiel « Gren » Aquitaine 146
Tableau 6.3 Conseils d'usage des différentes formes d'azote 147
Tableau 6.4 Prélèvements du maïs grain en éléments mineurs 148
Tableau 6.5 Exemple de consommation totale d'eau en condition de culture non limitante selon les années 153
Tableau 6.6 Exemple de besoins en eau pour différents contextes pédoclimatiques français 155
Tableau 6.7 Stratégies et conduite de l'irrigation selon les contraintes : généralités 156
Tableau 6.8 Dose et fréquence conseillées dans des régimes sous contraintes (ARVALIS) 158
Tableau 7.1 Choix des stratégies de désherbage selon le stade du maïs et la cible 168
Tableau 7.2 Classification des herbicides selon leur mode de pénétration et d'action biologique 170

Tableau 7.3 Les facteurs influençant les conditions d'emploi des herbicides racinaires et effet 171
Tableau 7.4 Les facteurs influençant les conditions d'emploi des herbicides foliaires 174
Tableau 7.5 Effet des conditions climatiques sur la sélectivité des dérivés auxiniques et des sulfonylurées 175
Tableau 7.6 Grille de décision d'une protection au semis contre les taupins 183
Tableau 7.7 Lutte contre les ravageurs au stade jeune : quelle protection choisir ? 187
Tableau 7.8 Facteurs influençant la présence d'helminthosporiose 194
Tableau 8.1 Conséquences d'un mauvais arbitrage sur la date de récolte 204
Tableau 8.2 Pourcentage de grains entiers et d'impuretés en fonction des écartements batteur contre-batteur (vitesse de rotation identique et humidité de 35 à 37 %) 207
Tableau 8.3 Méthode d'estimation des pertes au champ 207
Tableau 8.4 Températures de séchage (°C) recommandées en fonction de l'humidité de récolte et de la destination des grains 209
Tableau 8.5 Règlement (CE) N° 1887/2006 pour les céréales 210
Tableau 8.6 Grille d'évaluation du risque de fusariotoxines sur maïs : limiter le cumul des facteurs 213
Tableau 9.1 Évolution du rendement, de la teneur en MS, de la composition chimique et de la valeur énergétique durant le cycle 219
Tableau 9.2 Conséquences d'une récolte trop précoce sur le rendement, la composition chimique et la valeur énergétique d'une culture de maïs fourrage 221
Tableau 9.3 Conséquences d'un scénario climatique « atypique » – plus froid ou plus chaud avec ou sans limitation d'alimentation hydrique – par rapport à la situation de référence 223
Tableau 9.4 Efficacité des fongicides contre les maladies en maïs semence 246
Tableau 9.5 Résumé des atouts et des contraintes de la culture du maïs en agriculture biologique 254
Tableau 10.1 Estimation des origines des pertes de rendement depuis vingt ans en France 259
Tableau 10.2 Exemples de valeurs moyennes de restitutions organiques 262
Tableau 10.3 Intérêt comparé des couverts et du *mulching* vis-à-vis de la faune 275
Tableau 10.4 Avantages comparés des différentes techniques postrécolte 276
Tableau 10.5 Évolution des parts de marché par précocité 282
Tableau 10.6 Indice de fréquence de traitement de référence des principales grandes cultures par région 290
Tableau 10.7 Estimation des conséquences de baisses d'IFT sur les grandes cultures 294
Tableau 10.8 Facteurs de réussite des stratégies combinées 296
Tableau 10.9 Résumé : caractéristiques comparées des différentes stratégies de désherbage conventionnelles, mixtes ou mécaniques 298

Tableau 10.10 Efficacité comparée des différentes stratégies agronomiques contre les lépidoptères 301
Tableau 10.11 Comparaison des différents moyens autorisés pour la protection contre la pyrale 302
Tableau 10.12 Modalités étudiées des différentes conduites de maïs irrigué dans l'expérimentation de Saint-Exupéry (Rhône) 320
Tableau 10.13 Performances comparées de différents systèmes de culture avec maïs évalués avec Systerre 322
Tableau 10.14 Itinéraires techniques types (moyennes nationales) servant de base au calcul 323
Tableau 10.15 Résultats des ACV 324
Tableau 11.1 Symptômes de dégâts sur racines correspondants à l'échelle de notation Iowa 336
Tableau 12.1 Les besoins supplémentaires en céréales s'élèveraient à 260 Mt à l'horizon 2020, dont près de 60 % en maïs 344
Tableau 12.2 Enjeux liés aux différents leviers de conduite de culture sous deux scénarios d'irrigation 370
Tableau 12.3 Les avantages et les inconvénients du goutte-à-goutte 372
Tableau 12.4 Résumé des objectifs de trois études prospectives sur l'eau 376
Tableau 12.5 Rappel des principales dispositions réglementaires et des enjeux pour le maïs 390
Tableau 12.6 Enjeux de progression des rendements en maïs grain selon l'accès aux facteurs de production (en q/ha/an) 400
Tableau 12.7 Les points forts et les points faibles de la culture du maïs en France .. 401

Photos

Photo 1.1 Poupée Bambara (Mali) 7
Photo 1.2 Rigueur esthétique d'un paysage agricole moderne : champ de maïs semence 7
Photo 1.3 Irrigation (sud-ouest français) 17
Photo 1.4 Irrigation par submersion (Lombardie) 21
Photo 1.5 Le Béarn, région traditionnelle de monoculture de maïs en France 26
Photo 2.1 Première description botanique du *Türckisch korn* dans l'herbier *De historia stirpium* de Leonhart Fuchs 41
Photo 2.2 Frontispice du mémoire de Parmentier pour l'Académie de Bordeaux, 1785 47
Photo 2.3 Planche didactique des maladies et ravageurs du maïs 53
Photo 2.4 Séchage en crib des épis et séchage en grappe des épis destinés au semis de l'année suivante, (Béarn, années 1950) 56
Photo 2.5 Quatrième de couverture du numéro de la revue *Rustica* du 18 octobre 1959 : « Miracle français du maïs » 59
Photo 2.6 Aspect des chernozems (Roumanie) 68

Photo 5.1 8-10 feuilles, début de la phase reproductive (maïs biné, Bretagne) 118
Photo 5.2 Interception de la lumière et occupation de l'inter-rang..... 120
Photo 5.3 Floraison mâle et floraison femelle du maïs..... 123
Photo 5.4 Début du remplissage des grains de bas en haut de l'épi 125
Photo 5.5 Progression des différents amidons de la périphérie du grain vers le centre 125
Photo 5.6 La régularité de taille et d'insertion des épis témoigne d'un peuplement bien installé et du bon déroulement du cycle de la plante..... 127
Photo 5.7 Homogénéité d'une placette de 10 m d'épis successifs 127
Photo 6.1 État de surface souhaitable au semis en sol limoneux (Béarn) 131
Photo 6.2 Levée difficile en sol battant..... 132
Photo 6.3 Semis direct sur une interculture, (Maryland, États-Unis, 2011) 133
Photo 6.4 Les semoirs de type « planteur » à disques ont été les premiers adaptés à tout type de sol et de préparation..... 136
Photo 6.5 Le semoir Väderstad permet des semis de bonne qualité à vitesse élevée 137
Photo 6.6 La proportion de soleil et d'ombre au sol donne une bonne idée de l'interception du rayonnement par le couvert (Italie, 2008) 139
Photo 6.7 Semis sous plastique de la lignée mâle en production de semences 143
Photo 6.8 Symptômes carentiels divers, séquelles d'une attaque de taupins..... 148
Photos 6.9 et 6.10 Situations de carences induites multiples provoquées par des problèmes de travail du sol *(photo 6.9)*, et carence en manganèse *(photo 6.10)*..... 149
Photos 6.11 et 6.12 Effets d'un stress postfloraison (au champ) et épis avec effet de stress d'intensité croissante 159
Photo 6.13 Serres mobiles de la Station ARVALIS du Magneraud (Charente-Maritime), d'où sont issues la plupart des références citées dans ce chapitre..... 160
Photo 6.14 Les outils du pilotage : pluviomètre, sondes tensiométriques et transmission des données 161
Photo 7.1 Cas extrême de nuisibilité d'adventices (chénopodes) sur maïs 163
Photo 7.2 Datura et panic faux millet, deux adventices en forte progression..... 166
Photos 7.3 et 7.4 Levées de graminées et de dicotylédones dans la culture..... 172
Photo 7.5 Phytotoxicité d'herbicide de type auxinique sur les racines d'ancrage (Russie) 176
Photos 7.6 et 7.7 Larves de taupins et dégâts..... 180
Photos 7.8 et 7.9 Dégâts de scutigérelles 185
Photos 7.10 et 7.11 Corbeaux freux dans les maïs et effaroucheur « moderne »..... 188
Photos 7.12 et 7.13 Larve et papillon de pyrale sur maïs 190
Photo 7.14 Larve d'héliotis sur épi maïs doux 190
Photo 7.15 Dégâts d'helminthosporiose fusiforme..... 194

Photos 7.16 et 7.17 Dégâts de rouille et de kabatiellose 196
Photo 7.18 Symptômes de *Sphacelotheca reiliana* sur panicule 198
Photo 7.19 Dessèchement de fin de cycle 200
Photo 7.20 Symptômes de virose du nanisme rugueux transmise par *Laodelphax striatellus* 202
Photo 9.1 Le maïs, fourrage de stock pour l'alimentation hivernale 217
Photo 9.2 Récolte de maïs fourrage (Bretagne) 221
Photo 9.3 Le tassement du silo doit être suffisant malgré l'augmentation des débits des machines de récolte 228
Photo 9.4 Ensemble de l'installation (Allemagne, 2006) 237
Photo 9.5 Les unités de méthanisation en Allemagne, véritables « centrales bioénergétiques », utilisent le maïs ensilé, qui se conserve très bien en silo 239
Photo 9.6 Forte nuisibilité des attaques de cicadelles en maïs semence 244
Photo 9.7 Chantier de castration mécanique 248
Photo 10.1 Semis direct de maïs dans les résidus de culture de maïs de l'année précédente non broyés (États-Unis) 267
Photos 10.2 et 10.3 Trois niveaux de broyage des résidus de culture : double et simple broyage sous cueilleur (Charente-Maritime, 2013) et couverture non broyée (Portugal, 2013) 274
Photo 10.4 Aménagement parcellaire : bandes enherbées le long d'un cours d'eau (France) 292
Photo 10.5 Binage-buttage et levée de graminées sur le rang (plaine du Pô) 297
Photo 10.7 Variabilité « native » de l'espèce *Zea mays* 305
Photo 10.8 Jachère apicole en bordure d'une production de semences 308
Photo 10.9 Mosaïque paysagère (sud-ouest français) 309
Photo 10.10 Plaines d'Europe centrale (Roumanie) 310
Photo 11.1 Chrysomèle du maïs femelle sur soies 329
Photo 11.2 Chrysomèle du maïs mâle sur feuille 330
Photo 11.3 Piège chromatique PHEROCON® (piège « jaune ») utilisé pour le suivi des niveaux d'infestation 335
Photo 11.4 Verse due à *Diabrotica* dans une parcelle expérimentale en monoculture (Slovaquie) 337
Photo 11.5 Dégâts sur racines (Italie) 337
Photo 12.1 Intérêt du sorgho grain dans les situations à disponibilité en eau très limitante (Charente) 375
Photo 12.2 Essai de semis en rangs jumelés (ARVALIS, Montardon) 383
Photo 12.3 Écartement réduit, maïs conservés sur pied pendant l'hiver (province de Léon, Espagne) 384

Cet ouvrage de référence dans le domaine de la culture du maïs présente :

- un tableau d'ensemble, passé et actuel, de la culture à l'échelle française, européenne et mondiale ;
- une carte d'identité scientifique de la plante rassemblant toutes les informations fondamentales qui la concernent ;
- les différents systèmes de production, les moyens de protection de la culture, les techniques de récolte et de conservation selon l'utilisation ;
- les enjeux de la culture du maïs pour une agriculture productive et respectueuse de l'environnement.

Il sera très utile pour tous les acteurs de la filière.

Jean-Paul Renoux *est ingénieur agronome et conseiller technique à l'AGPM (Association générale des producteurs de maïs), après avoir été le responsable de la filière maïs à Arvalis-Institut du végétal.*

Michel Griffon*, préfacier de l'ouvrage, est agronome, conseiller pour le développement durable au CIRAD. Il a été l'un des premiers à promouvoir l'agroécologie en France.*

4344570
CAMPUS LE MAIS

9 782855 573670

ÉDITIONS France Agricole

© branex - © Sailorr - Fotolia.com