

PLANTES, HERBICIDES ET DÉSHERBAGE

Michel TISSUT, Philippe DELVAL,
Jean MAMAROT et Patrick RAVANEL



ACTA

35668
②

AGR 166

LES GRANDS CRANES PLANTES, HERBICIDES ET DÉSHÉRBAGE

Michel TISSUT

Philippe DELVAL

Jean MAMAROT

Patrick RAVANEL



35668

Association de coordination technique agricole
149, rue de Bercy 75595 Paris Cedex 12
2006

SOMMAIRE DÉTAILLÉ

1 À la découverte d'un herbicide, page 19

19 ... Structure - Mode d'action

19 ... 1 • Structure

21 ... 2 • Comment agit l'atrazine au niveau cellulaire ?

– La phase photochimique ou lumineuse, page 21

– La seconde phase, dite obscure, page 23

25 ... Espace-cible, pénétration, transport de l'atrazine, les bases fondamentales pour une stratégie de prélevée

27 ... Champ d'activité botanique de l'atrazine, la raison d'un succès mondial

28 ... Une opération de sélection à l'échelle mondiale : l'apparition des plantes adventices résistant à l'atrazine

30 ... L'association d'autres substances actives avec l'atrazine en culture de maïs

30 ... Impact toxicologique et environnemental de l'atrazine

31 ... 1 • L'atrazine est-elle toxique pour l'homme ?

34 ... 2 • À quelles quantités d'atrazine, l'homme est-il exposé ? Où ? Quand ? Comment ?

– Analyser et doser l'atrazine à l'état de traces, page 35

– Le devenir de l'atrazine dans le corps humain, page 37

– Origine de l'atrazine absorbée par les hommes, page 39

44 ... 3 • L'atrazine et l'environnement

– L'atrazine dans les eaux libres, page 44

– L'atrazine dans les sols, page 47

– L'atrazine dans l'atmosphère, page 48

49 ... Le cycle biogéochimique de l'atrazine

50 ... 1 • Les transformations de l'atrazine par le maïs, plante tolérante

52 ... 2 • Les transformations de l'atrazine par les sols

57 ... 3 • L'action humaine : les techniques d'épuration physico-chimique et biologique

57 ... Les formulations de l'atrazine

60 ... Chronique de la disparition d'un herbicide

60 ... 1 • Réduire la charge polluante découlant de l'emploi de l'atrazine

61 ... 2 • Comment en arrive-t-on à l'interdiction d'une substance active ?

67 ... Bibliographie

2 Autres molécules et familles chimiques agissant sur la protéine D1 des thylacoïdes, page 73

73 ... De l'atrazine à la famille chimique des herbicides à noyau triazinique

76 ... La famille historique des phénylurées

81 ... Autres familles chimiques inhibant le fonctionnement de la protéine D1

82 ... 1 • Les uraciles

82 ... 2 • Les biscarbamates

83 ... 3 • Les hydroxybenzonnitriles

83 ... 4 • Substances de structure diverse inhibitrice de la protéine D1

85 ... Molécules agissant sur l'acte photosynthétique à un autre niveau que la protéine D1

89 ... Bibliographie

3 Ensemble des grands modes d'action herbicides (protéine D1 exclue), page 91

91 ... L'atteinte du fonctionnement (hors photosynthèse) et de la structuration des plastides, y compris les chloroplastes

91 ... 1 • Les atteintes de la synthèse des acides aminés dans les plastides

– Le glufosinate, inhibiteur de la glutamine synthétase, page 94

– Le glyphosate et l'inhibition de la synthèse des acides aminés aromatiques, page 95

– Les sulfonylurées, les imidazolinones et le blocage de la synthèse des 2-oxoacides menant aux acides aminés ramifiés, page 99

– Cibles potentielles d'herbicides concernant les acides aminés spécifiquement synthétisés par les végétaux, page 101

102 ... 2 • Les atteintes de la construction du chloroplaste

– Perturber la biosynthèse de la chlorophylle : diphényléthers et produits apparentés, page 102

– Inhiber la biosynthèse des caroténoïdes, page 106

– Inhiber la biosynthèse des plastoquinones, page 107

110 ... L'atteinte de la biosynthèse des lipides et de la biosynthèse et du fonctionnement des membranes biologiques

110 ... 1 • Présence des membranes biologiques dans la cellule végétale eucaryote

112 ... 2 • Structure et biosynthèse d'une membrane biologique

115 ... 3 • Atteintes de la biosynthèse des lipides

– Les chloroacétamides, page 115

– Les thiocarbamates, page 116

– Cyclohexènediones et aryloxyphénoxypropionates, page 117

118 ... 4 • Atteintes du fonctionnement des membranes biologiques : activité découplante

– Quelques caractéristiques fonctionnelles des membranes biologiques, page 119

– Activité découplante, page 121

122 .. Perturbation de la division cellulaire et de sa régulation

122 .. 1 • La division cellulaire végétale

126 .. 2 • Les antimitotiques des végétaux

– Les phénylcarbamates antimitotiques, page 126

– Les dinitroanilines, page 127

– La série du propyzamide, page 128

129 .. 3 • La dérégulation de la division cellulaire dans les cambiums des dicotylédones

134 .. Exemples d'autres modes d'action

136 .. Bonnes cibles, mauvaises cibles

136 .. 1 • Caractéristiques des cibles biochimiques

137 .. 2 • Influence de la nature biochimique des effets initiaux

138 .. 3 • Nature des cascades d'événements découlant d'une perturbation biochimique

140 .. 4 • Recherche moderne de nouveaux herbicides

141 .. Bibliographie

4 Absorption des herbicides par les végétaux, page 145

145 .. L'absorption des herbicides par les cellules végétales

145 .. 1 • Structure d'une cellule végétale

149 .. 2 • Le franchissement d'une membrane biologique par un herbicide

152 .. 3 • La distribution intracellulaire des herbicides

155 .. L'absorption des herbicides par les plantes supérieures

155 .. 1 • Structure des végétaux supérieurs adaptés à la vie terrestre

– Structure et fonction des feuilles, page 156

– Structure et biosynthèse de la cuticule, page 157

– Structure et fonctionnement des stomates, page 160

– Structure et fonctionnement des racines, page 162

165 .. 2 • La diversité structurale et fonctionnelle des végétaux supérieurs adaptés à la vie terrestre

– Diversité de l'équipement stomatique, page 165

– Diversité de la structure cuticulaire et de la forme des feuilles, page 166

– Diversité de l'équipement racinaire, page 167

– Diversité dans les programmes de développement des plantes, page 167

168 .. 3 • L'absorption des herbicides à partir du sol

– Le sol et ses relations avec les molécules organiques, page 169

– De l'eau du sol vers la plante, page 170

– La pénétration des herbicides du sol vers les plantules, page 171

171 .. 4 • L'absorption des herbicides en traitement foliaire

– La voie stomatique, page 172

– La pénétration cuticulaire, page 174

Méthode d'étude, page 174

Principes généraux de la pénétration cuticulaire, page 178

De la cuticule aux cellules foliaires, page 180

La pénétration des molécules lipophiles non chargées, page 182

La pénétration des molécules hydrophiles et des molécules chargées, page 183

187 .. Bibliographie

5 Le transport à grande distance des herbicides à l'intérieur des plantes, page 189

189 .. Les dimensions des végétaux. Nécessité des transports

191 .. Le transport xylémien de composés organiques. Scénarios herbicides correspondants

192 .. 1 • Les mécanismes de transfert de l'eau dans le xylème

196 .. 2 • Les modalités du transport des herbicides par voie xylémienne

197 .. 3 • Les stratégies herbicides correspondantes

199 .. Le transport d'herbicides par la voie phloémienne

200 .. 1 • Les principes du transport phloémien

203 .. 2 • Les conditions du transfert de composés xénobiotiques par le phloème

207 .. 3 • Stratégies d'actions herbicides dépendant du transfert phloémien

212 .. Bibliographie

6 La sélectivité des herbicides. Le potentiel de détoxification des plantes, page 215

215 .. Généralités

217 .. La sélectivité des cultures vis-à-vis des herbicides

217 .. 1 • Historique

219 .. 2 • Les différents modes de sélectivité agronomique

– La séparation spatio-temporelle herbicide/culture, page 219

– La résistance physiologique de certaines cultures vis-à-vis d'herbicides, page 221

Sélectivité par différence des flux d'absorption entre espèces, page 224

Sélectivité par différence interspécifique des flux de transfert interne des substances actives, page 226

Sélectivité par différence interspécifique de sensibilité des cibles biochimiques, page 229

Sélectivité par différence interspécifique des capacités d'inactivation des herbicides, page 231

Activation sélective de proherbicides chez certaines plantes, page 236

237 .. La résistance des plantes adventices des cultures vis-à-vis des herbicides

238 .. 1 • Exemples de résistances stables de plantes adventices par métabolisation d'un herbicide

239 .. 2 • Dynamique d'apparition des résistances chez les plantes adventices

– La sélection des résistances au niveau de la cible biochimique, page 239

– La sélection des résistances ou tolérances d'adventices par apparition ou amplification d'une aptitude métabolisante, page 244

– La résistance complexe vis-à-vis du paraquat, page 244

– La dynamique d'apparition et d'extension des résistances, page 245

246 .. Les mécanismes biochimiques de détoxification des herbicides par les plantes cultivées et les adventices

247 .. 1 • Les grands mécanismes de transformation des composés organiques de synthèse

250 .. 2 • Enzymes connues, impliquées dans les transformations initiales d'herbicides

– Les réactions d'oxydation, page 250

– Les réactions de réduction, page 252

– Les réactions d'hydrolyse, page 253

258 .. 3 • Mécanismes biochimiques et cellulaires concernant les enzymes à P-450

260 .. 4 • La conjugaison, transformation caractéristique de la phase II

– La conjugaison avec le glutathion, page 261

– La conjugaison avec des oses ou glycosylation, page 263

265 .. 5 • La fonction antitoxique chez les végétaux. Hasard et nécessité

270 .. Bibliographie

7 Les plantes cultivées résistant aux herbicides par génie génétique, page 279

280 .. Les deux grandes voies biochimiques pour qu'une plante résiste à un herbicide

281 .. 1 • Une seule enzyme pour faire perdre à la substance xénobiotique son pouvoir herbicide

282 .. 2 • Rendre l'enzyme-cible de la plante résistante à l'herbicide et en augmenter la concentration interne

285 .. Des OGM résistant à des herbicides ont été créés chez de nombreuses cultures

286 .. Des méthodes de biologie moléculaire et de biologie cellulaire au service de la création d'OGM

286 .. 1 • Un exemple d'OGM obtenu par les méthodes de la génétique classique

288 .. 2 • Les méthodes pour trouver un gène d'intérêt et préparer son expression dans une plante

289 .. 3 • L'expression du gène nouveau dans une plante

291 .. La révolution des OGM et la résistance aux herbicides

292 .. Bibliographie

8 Les adjuvants associés aux substances actives. Principes de formulation et d'association, page 297

297 .. Introduction

298 .. Les grandes stratégies de traitement : prélevée, postlevée

299 .. 1 • Exigences et avantages des stratégies de désherbage de postlevée

301 .. 2 • Exigences et avantages des stratégies de désherbage de prélevée

307 .. Principes de constitution des formulations adaptées aux stratégies de post- et de prélevée

307 .. 1 • Les formulations adaptées à la postlevée

311 .. 2 • Les principes de la formulation pour la prélevée

313 .. Les formulations dans leur complexité

313 .. 1 • Les produits additifs garantissant l'usage de la préparation commerciale

314 .. 2 • Remarques concernant certains additifs utilisés en postlevée

317 .. 3 • Nouvelles voies de formulation en prélevée. Formulations mixtes

– La prélevée avec des granulés, page 317

– Le traitement de prélevée permettant d'assurer un relargage contrôlé, page 320

– Formulations mixtes et particulières, page 324

325 .. Les associations d'herbicides

325 .. 1 • Exemples d'associations de prélevée

327 .. 2 • Exemples d'associations de postlevée

328 .. 3 • Exemples d'associations de substances actives donnant une interaction complexe

– Cas 1 : association d'une substance active à transfert phloémien et d'une substance active à action de contact différé, page 328

– Cas 2 : association d'une substance active utilisée en traitement foliaire et systémique phloémienne et d'un herbicide du PS II utilisé en traitement de sol, page 329

332 .. Bibliographie

9 Naissance, vie et mort d'un herbicide, page 338

339 .. Généralités

340 .. Objectifs de la recherche privée

344 .. Les différentes phases de développement d'un herbicide

344 .. 1 • Coût et amortissement d'un nouvel herbicide

346 .. 2 • La phase A : de la synthèse à la mise sur le marché

– La synthèse de nouvelles molécules, page 347

La recherche au hasard, page 347

La synthèse de structures moléculaires proches de structures actives déjà connues, page 348

La modélisation moléculaire, page 349

La chimie combinatoire, page 349

L'imitation de la nature, page 349

– La protection individuelle par la prise de brevet, page 350

– La recherche des propriétés herbicides de la substance : le screening, page 351

– L'autorisation de mise sur le marché (AMM), page 352

– Le principe de l'inscription positive européenne, page 354

– Les dossiers permettant l'obtention de l'autorisation de mise sur le marché, page 362

Le dossier toxicologique, page 362

Le dossier biologique, page 362

Les essais d'efficacité, page 363

Les essais de sensibilité de la culture, page 366

Les essais de valeur pratique, page 367

Les autres types d'essais, page 368

Cas des usages mineurs, page 369

370 .. 3 • La phase B : le développement du nouvel herbicide

371 .. 4 • La phase C : la période de rentabilité de l'herbicide

372 .. 5 • La phase D : la chute du brevet et le retrait de la vente

– La perte d'un monopole, page 372

– La mort d'un herbicide, page 374

376 .. Conclusion

378 .. Bibliographie

379 .. Annexe 1 : historique des firmes détentrices de brevets de substances actives de produits phytosanitaires commercialisés en France

383 .. Annexe 2 : cultures mineures. Situation en ce qui concerne le désherbage

10 Éléments de toxicologie concernant les herbicides, page 389

389 .. Généralités

392 .. Classification toxicologique des herbicides

393 .. 1 • Substances et spécialités classées T+ (très toxique) et T (toxique)

394 .. 2 • Substances et spécialités classées Xn (nocif)

394 .. 3 • Substances et spécialités classées Xi (irritantes)

395 .. 4 • Substances et spécialités exemptées de classement toxicologique

395 .. La toxicité aiguë des herbicides

395 .. 1 • La toxicité aiguë orale

398 .. 2 • La toxicité aiguë dermique

- 399 .. 3 • La toxicité aiguë respiratoire
- 400 .. **La toxicité chronique des herbicides**
- 402 .. **Les réseaux de suivi toxicologique**
- 402 .. 1 • Les données du réseau de la Mutualité sociale agricole
- 403 .. 2 • Les données de « Pestitox »
- 405 .. **Le risque des résidus d'herbicides pour le consommateur**
- 405 .. 1 • Définition du résidu
- 405 .. 2 • Les herbicides concernés
- 406 .. 3 • Suivi des résidus
- 407 .. **Conclusion**
- 407 .. **Bibliographie**
- 408 .. Annexe 1 : classement général des substances herbicides et débroussaillantes autorisées en France concernant les aspects toxicologiques
- 413 .. Annexe 2 : substances actives non inscrites pour lesquelles au moins un usage essentiel existe en France
- 414 .. Annexe 3 : substances actives non inscrites retirées du marché français en 2003 ou en 2004
- 415 .. Annexe 4 : substances actives retirées du marché français avant 2003
- 417 .. Annexe 5 : substances actives irritantes et sensibilisantes en 2005

11 Conséquences environnementales de l'emploi des herbicides,

page 419

- 419 .. **Introduction**
- 420 .. **Distribution des composés xénobiotiques herbicides dans les agrosystèmes et les écosystèmes**
- 420 .. 1 • Distribution au sein de l'agrosystème traité
- 426 .. 2 • La distribution à grande distance
- 428 .. 3 • L'aptitude au transfert de quelques herbicides connus
- 433 .. **Les procédures de dissipation des herbicides dans les agro- et écosystèmes**
- 434 .. 1 • Les grandes voies de décomposition d'une substance active
- 438 .. 2 • Existence de situations où les substances actives échappent à la dégradation
- 439 .. 3 • Conséquences environnementales dues à la présence d'herbicides ou de leurs métabolites dans les écosystèmes
- 449 .. **Impact des herbicides sur les organismes non cibles**
- 449 .. 1 • Les lombrics
- 451 .. 2 • Les arthropodes du sol
- 452 .. 3 • Les intoxications d'animaux domestiques
- 454 .. 4 • Les intoxications d'animaux sauvages
- 455 .. 5 • Les organismes aquatiques
- 457 .. 6 • Les abeilles
- 458 .. **Prospective**
- 460 .. **Bibliographie**
- 473 .. Annexe 1 : exemples d'études scientifiques portant sur la mobilité d'herbicides
- 476 .. Annexe 2 : substances herbicides et débroussaillantes présentant un danger pour les organismes aquatiques

12 Mauvaises herbes, agrosystèmes et techniques de désherbage,

page 481

- 481 .. **Qu'est-ce qu'une mauvaise herbe ? Définitions**
- 484 .. **Les principales mauvaises herbes des grandes cultures**
- 484 .. 1 • Classement du monde végétal
- 485 .. 2 • Classement des mauvaises herbes en France
- 491 .. **Répartition géographique des mauvaises herbes de France**
- 495 .. **Reconnaître pour mieux connaître, connaître pour mieux lutter**
- 499 .. **Quelques caractéristiques biologiques des adventices des cultures**
- 500 .. 1 • Cycles végétatifs, types biologiques et spectre biologique
- Les plantes annuelles, page 500
 - Les plantes bisannuelles, page 506
 - Les plantes pluriannuelles, page 507
 - Les espèces vivaces, page 508
- 513 .. 2 • La germination des semences
- Les facteurs écologiques de la germination, page 513
 - Les autres facteurs, page 521
 - Les facteurs liés à la semence, page 522
- 533 .. 3 • Longévité et taux annuel moyen de décroissance de la viabilité des graines
- 537 .. **Nuisibilité des mauvaises herbes**
- 537 .. 1 • Nuisibilité primaire
- Nuisibilité directe, page 537
 - Nuisibilité indirecte, page 539
- 541 .. 2 • Nuisibilité secondaire
- 542 .. **Agrosystème et autres milieux**
- 542 .. 1 • Définition
- 542 .. 2 • Intensification agricole et évolution du salissement des cultures
- 544 .. **Techniques de désherbage**
- 544 .. 1 • Le désherbage chimique
- Définitions, page 544
 - Les différents types d'herbicides, page 545
 - Les facteurs d'efficacité, page 545
 - Les précautions d'utilisation, page 549
 - L'évolution réglementaire, page 550
- 554 .. 2 • Les moyens prophylactiques
- 554 .. 3 • Le désherbage manuel
- 555 .. 4 • Le désherbage mécanique
- 555 .. 5 • Le paillage du sol et les mulch
- 556 .. 6 • Le désherbage thermique
- Les brûleurs à gaz et appareils à infrarouge, page 556
 - La solarisation, page 557
 - Le désherbage à la vapeur ou à l'eau chaude, page 558
- 558 .. 7 • La lutte biologique
- 559 .. **Évolutions envisageables en matière de maîtrise de l'enherbement des cultures**
- 560 .. **Deux exemples de désherbage**
- 560 .. 1 • Entretien des sols des cultures pérennes
- Évolution de l'entretien des sols des cultures pérennes, page 562
 - La flore, page 564
 - Les solutions actuelles proposées pour l'entretien des sols, page 565
 - Perspectives, page 574
- 574 .. 2 • Désherbage des espaces non agricoles
- Évolution de l'entretien des zones non agricoles, page 576
 - La flore, page 577
 - Les solutions actuelles proposées pour l'entretien des espaces non agricoles, page 578
- 588 .. **Bibliographie**



La deuxième édition de cet ouvrage vient compléter la collection des documents publiés par l'ACTA depuis plus de trente ans pour permettre de comprendre et d'optimiser la pratique du désherbage.

Les progrès de la science ont permis la création d'une méthodologie chimique complexe et diversifiée pour contrôler le développement des végétaux nuisibles pour l'agriculture, les villes, les voiries... La réussite du désherbage chimique d'une culture, d'une zone urbaine ou non cultivée nécessite d'une part, une bonne connaissance des adventices et des plantes et d'autre part, d'adapter le choix des produits en fonction de leur efficacité liée à leur mode d'action avec un minimum de risques pour l'homme et l'environnement.

Abondamment illustré au moyen de figures, schémas explicatifs et tableaux, cet ouvrage présente les modes d'actions des grandes familles herbicides, les fonctions de la plante qui permettent leur activité et les dernières avancées en matière de génie génétique. Les aspects opérationnels de la mise en œuvre des produits sont également détaillés.

Conçu pour les étudiants, les enseignants et les prescripteurs, cet ouvrage est l'outil de base indispensable pour une bonne appréhension de la pratique du désherbage.

Prix : 55 euros TTC

