



Réussir l'implantation des cultures

Enjeux agroécologiques,
itinéraires techniques

Réussir l'implantation des cultures

Enjeux agroécologiques, itinéraires techniques

Réussir l'implantation des cultures

Enjeux agroécologiques, itinéraires techniques

Jean Boiffin, François Laurent et Guy Richard, coordinateurs

Éditions Quæ, Arvalis - Institut du végétal

Collection *Savoir-faire*

Aquaponie - Associer aquaculture et production végétale
P. Foucard, A. Tocqueville, coord., 2019, 210 p.

L'escargot *Helix aspersa* - Biologie-élevage
J.-C. Bonnet, P. Aupinel, J.-L. Vrillon, 2019, 126 p.

Principes des techniques de biologie moléculaire et génomique - 3^e édition revue et augmentée
D. Tagu, S. Jaubert-Possamai, A. Méreau, coord., 2018, 312 p.

Pour citer cet ouvrage :

Boiffin J., Laurent F., Richard G. (coord.), 2020. Réussir l'implantation des cultures. Enjeux agroécologiques, itinéraires techniques. Éditions Quæ et Arvalis, Versailles et Paris, 440 p.

Né d'une volonté de conjuguer production agricole et protection de l'environnement, le département Environnement et Agronomie de l'Inra fête ses vingt ans. Pour l'occasion, une série d'ouvrages dédiés à des thématiques emblématiques du département sont publiés. Le présent ouvrage est consacré à la phase d'implantation des cultures.



Cet ouvrage a reçu le soutien financier du département Environnement et Agronomie de l'Inra.

Éditions Quæ
RD 10 - 78026 Versailles Cedex
France
www.quae.com

Arvalis - Institut du végétal
3 rue Joseph et Marie Hackin, 75116 Paris
France
www.arvalisinstitutduvegetal.fr

© éditions Quæ, Arvalis - Institut du végétal, 2020

Quæ
ISBN papier : 978-2-7592-2955-0
ISBN PDF : 978-2-7592-2956-7
ISBN ePub : 978-2-7592-2957-4
ISSN : 1952-1251

Arvalis - Institut du végétal
ISBN papier : 978-2-8179-0393-4

Le code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction même partielle du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6^e.

Sommaire

Remerciements 11

Préambule - Pourquoi cet ouvrage ?

L'implantation des cultures, objet agronomique à identifier 13

Jean Boiffin, François Laurent et Guy Richard

Introduction - Enjeux, contexte et problématiques

de l'implantation des cultures 17

Jean Boiffin, François Laurent et Guy Richard

Les caractéristiques écophysologiques et techniques de l'implantation des cultures .. 17

Les enjeux de l'implantation 22

Les pratiques d'implantation et leur évolution en France 27

Un raisonnement agronomique plus général 32

Première partie - L'installation du peuplement végétal : étapes, risques, conséquences

Chapitre 1 - Germination, levée, début de croissance :

les bases biophysiques de l'implantation des cultures 37

Jean Boiffin, Laurent Bruckler, Antoine Gardarin et Guy Richard

La semence et son devenir 38

Étape I : du semis à la germination 40

Étape II : de la germination à la levée 49

Étape III : de la levée au début de la compétition entre plantes voisines 53

Conclusion 62

Chapitre 2 - Diversité et qualité des semences : caractérisation,

facteurs de variation et d'amélioration 65

Antoine Gardarin et Sylvie Ducournau

Impact de la diversité des semences sur le comportement des plantes
au cours de l'implantation 65

Évaluation, variabilité et amélioration de la qualité des semences 78

Conclusion : de la compréhension de la diversité des semences à la maîtrise
de leur comportement 85

Chapitre 3 - Conditions physiques au sein du lit de semences et implantation des cultures	87
Guy Richard, Jean Boiffin, Hubert Boizard, Laurent Bruckler, Isabelle Cousin et Jean Roger-Estrade	
Les domaines du sol à considérer	87
Formation et évolution de l'état structural au cours de la phase d'implantation	90
Les régimes hydrique et thermique et l'aération du lit de semences	97
Conclusion : des conditions physiques déterminantes sur l'implantation et en partie maîtrisables	103
 Chapitre 4 - Vers une protection agroécologique des cultures en phase d'implantation.	107
Jean-Noël Aubertot, Jean-Philippe Deguine, Jay Ram Lamichhane, Marie-Hélène Robin, Jean-Pierre Sarthou et Christian Steinberg	
Principales bioagressions des semences et des plantules	110
Déterminants des dynamiques populationnelles des bioagresseurs des semences et des plantules	120
Bases pour une protection agroécologique des cultures en phase d'implantation . .	126
Conclusion	132
 Chapitre 5 - SIMPLE, un outil de modélisation de l'implantation des cultures	135
Jean-Noël Aubertot, Jean Boiffin et Guy Richard	
Représentation globale du déroulement de l'implantation par le modèle SIMPLE .	136
Exemples de mise en œuvre du modèle SIMPLE	145
Conclusion	150
 Chapitre 6 - Effets de la mise en place du peuplement sur le fonctionnement du couvert et la production végétale	151
Marie Launay, Julie Constantin, Jean-Charles Deswarte et Laurent Maunas	
Élaboration du rendement et rôle de l'implantation : quelques principes de raisonnement	153
Conséquences de l'implantation pour différentes catégories de cultures annuelles .	164
Conclusion : les enjeux complexes de la phase d'implantation pour l'élaboration du rendement	176

Chapitre 7 - Effets des modalités de préparation des sols et de semis sur la flore adventice 179

Nathalie Colbach, Stéphane Cordeau et Antoine Gardarin

Les caractéristiques de la germination et de la levée propres aux adventices 180
Les effets des modalités d'implantation sur les adventices 188
L'apport des simulations au raisonnement de l'implantation des cultures 198
Conclusion 206

Chapitre 8 - Implantation des cultures et gestion de l'environnement . . . 209

Pierre Benoit, Laurent Bruckler, Raluca Ciuraru, Sophie Généromont,

Jean-François Ouvry, Céline Pelosi et Sylvie Recous

Processus affectés par les techniques d'implantation des cultures 210
Illustration des effets de l'implantation sur l'environnement par trois situations types emblématiques 217
Conclusion 233

Deuxième partie - L'implantation de la culture, maillon essentiel de l'itinéraire technique : décisions et principes de raisonnement

Chapitre 9 - Raisonner le choix d'un itinéraire d'implantation des cultures 237

Jean Roger-Estrade, François Laurent et Jacques Caneill

L'itinéraire d'implantation 238
Diversité des modes de travail du sol 242
Diversité des outils de semis et de plantation 243
Typologie des itinéraires d'implantation 245
Comment choisir un itinéraire d'implantation ? 248

Chapitre 10 - Implantation des céréales et des oléagineux à l'automne . . . 251

Jérôme Labreuche, Gilles Sauzet, Jean Charles Deswarte, Damien Brun et Jean Pierre Cohan

L'implantation du colza d'hiver 253
L'implantation du blé tendre d'hiver 262
L'implantation des autres cultures d'hiver 269
Les plantes compagnes des cultures d'hiver 271
Conclusion 273

Chapitre 11 - Implantation des cultures de printemps :

cas de la betterave sucrière et du maïs 275

Rémy Duval et Jérôme Labreuche

Enjeux et contraintes de l'implantation des cultures de printemps	275
Positionner le cycle cultural et configurer le couvert végétal	281
Choisir un mode de travail du sol	285
Choisir un équipement pour la préparation du sol	292
Choix d'un semoir	296
Choix tactiques : adapter l'intervention aux conditions rencontrées	299
Conclusion	301

Chapitre 12 - Implantation d'associations d'espèces 303

Guénaëlle Corre-Hellou

Facteurs déclenchant l'implantation d'une association d'espèces	303
Objectifs des associations et choix d'implantation	305
Les éléments clés de l'implantation des différents types d'association	307
La phase d'implantation est-elle déterminante et peut-elle être modifiée pour les cultures en association ?	313
Conclusion	314

Chapitre 13 - Implantation des cultures intermédiaires : assurer

la réussite de la levée pour produire les services écosystémiques visés 315

Julie Constantin, Hélène Tribouillois et Eric Justes

Aptitudes à la germination des différentes espèces utilisables en cultures intermédiaires	316
Conditions de réussite de la levée des cultures intermédiaires multiservices	319
Conséquences de l'implantation sur les niveaux de fourniture de services	325
Conclusion : quelques conseils pratiques, malgré des connaissances encore incomplètes	327

Chapitre 14 - Implantation des cultures légumières : s'adapter

aux contraintes de marché et à la diversité des situations 329

François Villeneuve et Vincent Faloya

Diversité des cultures légumières	331
Évaluation, variabilité et amélioration de la qualité des semences légumières	331
Impact de l'implantation sur la qualité des récoltes	341
Mise en œuvre de techniques spécifiques liées à des conditions extrêmes	345
Spécificités des plants	347
Nouvelles contraintes et opportunités des cultures légumières	349
Conclusion	351

Chapitre 15 - Pomme de terre : dès l'implantation, satisfaire les exigences du débouché	353
Michel Martin et Christine Leclercq	
Spécificités de la culture de la pomme de terre	353
Décisions d'implantation : enjeux, objectifs et contraintes, raisonnement	356
Les choix à faire à moyen terme, avant de planter	358
Les décisions à prendre à court terme, au moment de la plantation	364
Conclusion : des décisions d'implantation déterminantes, à adapter aux nouvelles contraintes environnementales	372
Chapitre 16 - Implantation des cultures et organisation du travail	375
Alexandre Joannon, Elisa Delecourt et Valérie Leveau	
Organisation du travail et implantation des cultures au sein de l'exploitation agricole	376
Modélisation des jours disponibles	383
Modélisation de l'organisation de travail	387
Conclusion : perspectives d'évolution des outils de modélisation de l'organisation du travail	394
Chapitre 17 - L'expérimentation numérique et l'évaluation multicritères : deux approches pour éclairer les choix en matière d'implantation des cultures	397
Frédérique Angevin, Julie Constantin et Jean Boiffin	
L'expérimentation numérique	399
L'évaluation multicritères	405
Quelques limites à dépasser pour accroître l'usage de l'expérimentation numérique et de l'évaluation multicritères	414
Conclusion	417
Conclusion - L'implantation des cultures, champ de recherche et développement à réinvestir	419
Jean Boiffin, François Laurent et Guy Richard	
L'implantation des cultures, objet agronomique identifié	419
Réussir l'implantation, est-ce si compliqué ?	421
Réinvestir l'implantation des cultures : pourquoi, comment ?	423
Références bibliographiques	427
Liste des auteurs	437

Remerciements

L'élaboration de cet ouvrage s'est appuyée à l'origine sur une vaste exploration bibliographique, efficacement menée par Virginie Lelièvre (Inra – Département Environnement et Agronomie).

Une fois le plan établi, il n'aurait pas été possible d'aborder le thème de l'implantation des cultures dans toute son étendue sans faire appel à un large panel d'auteurs, issus de divers horizons professionnels : recherche et enseignement supérieur agronomiques, instituts et centres techniques agricoles, organismes de développement et aménagement rural. Ces collègues ont généreusement apporté leur expertise personnelle à cette entreprise collective – certains d'entre eux en s'impliquant dans plusieurs chapitres – et ont aussi patiemment accepté d'amender leurs textes à plusieurs reprises pour améliorer l'homogénéité et la cohérence d'ensemble de l'ouvrage.

Une contribution précieuse à cette cohérence d'ensemble a été la relecture critique et constructive assurée par Bernard Bodson, professeur à l'université de Liège, Philippe Leterme, professeur émérite à Agrocampus Ouest et André Pouzet, ancien directeur de Terres Inovia, ainsi que par Françoise Corbineau, professeure à l'université Pierre et Marie Curie, et Pierre Ricci, directeur de recherche honoraire à l'Inra, pour certains chapitres qui débordaient hors du champ de l'agronomie.

Depuis ses prémices, l'entreprise a bénéficié de l'accompagnement efficace, encourageant et patient de Claire Jourdan-Ruf, pour le compte des éditions Quæ. Une fois le contenu stabilisé, un méticuleux travail de mise au point éditoriale a été accompli par Paule Lacroix, à la suite duquel la mise en forme a été assurée par Sandrine Brochelard d'Arvalis. Ces interventions ont contribué à la présentation homogène et soignée de l'ouvrage.

Enfin, ces mois, voire ces années, d'écriture, de relecture et de réécriture n'aboutissent sous le regard du lecteur que grâce à la compétence et au « goût du travail bien fait » de tous ceux qui ont pris part à la réalisation matérielle de l'ouvrage, depuis la gestion des manuscrits initiaux jusqu'à l'impression.

À tous ces contributeurs directs, et plus largement à tous ceux qui par leurs travaux de recherche ou leurs observations de terrain ont élaboré la substance de cet ouvrage, les coordinateurs expriment leur vive gratitude.

Préambule

Pourquoi cet ouvrage ? L'implantation des cultures, objet agronomique à identifier

Jean Boiffin, François Laurent et Guy Richard

L'implantation d'une culture peut se définir comme l'ensemble des processus et des actions qui aboutissent à l'installation du peuplement végétal cultivé. Cette notion recouvre, d'une part, les processus physiques, chimiques et biologiques qui influent sur la croissance et le développement des parties aériennes et souterraines de la plante cultivée, du semis jusqu'au début de la compétition entre les plantes voisines et, d'autre part, les décisions et les interventions techniques visant à mettre en place la culture et à assurer son démarrage, depuis la préparation des sols jusqu'à l'installation proprement dite, par semis ou plantation. En anglais, le terme *crop* (ou *stand*) *establishment* a lui aussi cette double signification, écophysiological et technologique.

Ainsi définie, l'implantation de la culture est à la fois une phase critique du cycle cultural et un maillon crucial de l'itinéraire technique. Les décisions qu'est amené à prendre l'agriculteur pour implanter ses cultures sont donc lourdes de conséquences. Or elles portent sur différents types d'opérations, plus ou moins espacées dans le temps, et pour chacune desquelles existe une large gamme d'options. Comment fonder ces décisions sur un raisonnement agronomique global, faisant le lien entre les différentes étapes à considérer et prenant en compte l'ensemble des enjeux concernés ?

Au cours des dernières décennies, les différents aspects de l'implantation des cultures ont fait l'objet d'innombrables expérimentations et publications, tant scientifiques que techniques. À l'échelle internationale, la principale motivation de ces travaux a été l'essor des systèmes de culture basés sur une simplification du travail du sol et du semis, et/ou sur le maintien d'une couverture végétale, notamment pour protéger le sol contre l'érosion. Cependant, les ouvrages ou les documents de synthèse qui découlent de ces travaux ne couvrent le sujet de l'implantation des cultures que de façon partielle, et avec un déséquilibre entre les thèmes concernés. Ainsi, la germination, la qualité et le conditionnement des semences, le semis direct et plus globalement les modalités de travail du sol, sont fréquemment abordés, alors que l'émergence des plantules, le comportement

physique du lit de semences, ou l'écologie des bioagresseurs intervenant en début de cycle des cultures, sont plutôt délaissés. Les ouvrages, chapitres d'ouvrages ou documents de synthèse abordant l'implantation des cultures comme un ensemble cohérent de processus écophysologiques et d'actions techniques sont très rares, et ne portent alors que sur une gamme très restreinte de cultures. En définitive, si on compare l'implantation des cultures à d'autres grandes catégories de techniques culturales – par exemple, la fertilisation ou la protection phytosanitaire –, on observe un net déficit dans la capacité de l'agronomie à proposer aux praticiens des démarches d'aide à la décision formalisées – c'est-à-dire l'équivalent de la fertilisation ou de la protection raisonnées –, et s'appliquant de façon globale à l'ensemble des interventions concernées – par analogie avec la protection intégrée. L'objectif de cet ouvrage est de réduire ce décalage, en réunissant un ensemble d'acquis demeurés jusqu'alors dans un état fragmentaire, et en mettant à profit l'apport décisif des approches de modélisation pour décrire, analyser et prévoir la combinaison de processus et d'opérations aussi divers que ceux concourant à l'implantation des cultures. L'ambition est d'appréhender celle-ci de façon transversale, sans se limiter à tel ou tel groupe d'espèces. Cependant, le champ de cet ouvrage a été restreint aux cultures dont l'installation se réalise à partir d'une semence (au sens large) et implique une phase de croissance souterraine¹.

En introduction, nous évoquons l'importance et la diversité des enjeux en regard desquels peut être appréciée la plus ou moins grande réussite de l'implantation des cultures. Nous soulignons également le caractère évolutif de ces enjeux et, plus globalement, du contexte dans lequel se prennent les décisions en matière d'implantation des cultures, ce qui implique de nombreuses adaptations : en France, l'implantation des cultures est probablement aujourd'hui, avec la protection phytosanitaire, l'un des sujets agronomiques sur lequel la demande de références, de conseil et d'accompagnement technique est la plus intense.

La première partie de l'ouvrage aborde l'implantation des cultures sous son aspect agroécologique, en décrivant l'ensemble des facteurs et des processus qui interviennent au début du cycle de la culture : les relations entre la plante et le milieu et les étapes à considérer (chapitre 1) ; les caractéristiques des semences (chapitre 2) ; le fonctionnement physique et biologique des lits de semences et des couches superficielles du sol (chapitres 3 et 4). Elle fait le point sur les capacités de modélisation intégrée du déroulement de l'implantation (chapitre 5). Enfin, elle analyse les répercussions de l'implantation de la culture sur l'élaboration du rendement (chapitre 6) et sur la dynamique de la flore adventice (chapitre 7), ainsi que les principaux impacts environnementaux à considérer (chapitre 8).

1. Sont donc exclus les repiquages et les plantations (vigne, arbres fruitiers, végétaux d'ornement...) ; en revanche, la plantation des pommes de terre et la production de jeunes plants (à partir de semences) sont inclus dans le périmètre traité.

La deuxième partie montre comment ces connaissances peuvent être mises en œuvre pour raisonner les décisions et les interventions techniques. Après avoir proposé un cadre général s'appliquant à toutes les cultures (chapitre 9), nous présentons les raisonnements en distinguant diverses catégories d'espèces cultivées (chapitres 10 à 15), qui correspondent à des conditions d'implantation très différentes, notamment du point de vue des périodes de semis, des types d'équipements et des critères de jugement de la réussite de l'implantation, et donc à des hiérarchies de contraintes et de risques à prendre en compte elles aussi très différentes. L'implantation des cultures doit aussi être appréhendée à l'échelle du système de production, pour évaluer l'impact économique et organisationnel des choix en la matière (chapitre 16). Enfin, dans un contexte climatique, technologique et socio-économique évolutif, l'implantation des cultures doit être l'objet d'un gros effort d'acquisition et de renouvellement des références techniques, que ne peut satisfaire l'expérimentation phytotechnique comparative classique, d'où un chapitre consacré aux démarches d'expérimentation virtuelle et d'évaluation multicritère qui, dans un futur proche, constitueront des outils efficaces pour la recherche et développement (chapitre 17).

Nous espérons bien sûr que cet ouvrage sera utile aux conseillers, aux enseignants, aux étudiants, aux chercheurs et aux ingénieurs de recherche et développement, en leur permettant de mettre en place et de perfectionner leurs démarches d'accompagnement de l'innovation, de conseil, de formation et de recherche, sur un sujet agronomique où les attentes sont fortes. Mais un premier objectif déjà important sera atteint si cet ouvrage amène un grand nombre de lecteurs à mieux identifier l'implantation des cultures pour ce qu'elle est dans la pratique, c'est-à-dire un sous-ensemble cohérent de l'itinéraire technique, qui doit être appréhendé en tant que tel et dans sa globalité, à l'instar d'autres grandes catégories de techniques culturales.

Introduction

Enjeux, contexte et problématiques de l'implantation des cultures

Jean Boiffin, François Laurent et Guy Richard

En préambule de cet ouvrage, nous avons défini l'implantation des cultures sous son double aspect, écophysiological et technique. Pourquoi l'avons-nous alors qualifiée de *phase critique du cycle cultural* et de *maillon crucial de l'itinéraire technique* ? Pourquoi faut-il l'appréhender dans son ensemble, plutôt que de considérer séparément le travail du sol, le semis¹ et les autres types d'interventions qui s'y rapportent ? Pourquoi est-ce un sujet agronomique toujours d'actualité ? Telles sont les questions auxquelles cherche à répondre ce chapitre introductif, qui abordera successivement les spécificités écologiques et agronomiques de l'implantation des cultures, les enjeux en fonction desquels doit être apprécié son résultat, et l'évolution du contexte dans lequel les agriculteurs prennent leurs décisions en la matière.

Les caractéristiques écophysiological et techniques de l'implantation des cultures

L'implantation, une des clés de la différenciation entre écosystèmes cultivés et écosystèmes naturels

Dans les écosystèmes non cultivés, l'installation de nouvelles plantes résulte soit du dépôt à la surface du sol de graines, issues de la fructification des végétaux adultes – le cas échéant, après un transport à plus ou moins grande distance –, soit de l'émission d'organes végétatifs initialement reliés à la plante dont ils sont issus. Les dates, les emplacements et les conditions de déroulement de cette installation sont donc inféodés à la position et au cycle de la plante-mère, tout en étant fortement tributaires des conditions de milieu et de leurs fluctuations.

1. Dans la suite du texte, le terme « semis » est utilisé de façon générique pour désigner l'opération de mise en terre de graines (il s'agit alors d'un semis *sensu stricto*) ou de tubercules (il s'agit alors d'une plantation, pour la pomme de terre, par exemple). De même, par extension, le terme « semoir » recouvre aussi les planteuses.

En implantant une culture, l'agriculteur modifie de façon profonde les relations entre les plantes et leur milieu, par rapport à celles qui ont lieu en conditions « naturelles ». Cette artificialisation comporte quatre éléments essentiels :

- l'importation dans une parcelle d'un effectif déterminé d'organes végétaux propres à assurer la multiplication d'une espèce végétale donnée, à savoir les semences, qui ont auparavant été sélectionnées et produites dans un lieu distinct, parfois très éloigné, puis triées et conditionnées de façon à ce que leur taux de conversion en plantes viables soit maximal ;
- le choix d'une date de semis, qui marque le début du cycle cultural, assurant ainsi une maîtrise partielle du calendrier de développement de la culture et du climat auquel elle sera exposée au cours de ce cycle ;
- une répartition spatiale des plantes plus ou moins régulière, permettant par la suite au peuplement cultivé d'exploiter au mieux les ressources du milieu, au premier rang desquelles figure l'énergie lumineuse ;
- l'enfouissement des semences à relativement faible profondeur, dans un volume de sol meuble de dimension variable, qui constitue le lit de semences (chapitre 3, figure 3.1). Cet enfouissement répond à différents objectifs : protéger les semences et les jeunes plantes contre certains ravageurs aériens (oiseaux, rongeurs, insectes, etc.) dont elles constituent une ressource alimentaire privilégiée, ainsi que contre un certain nombre d'accidents climatiques (principalement le gel et la dessiccation) qui peuvent les détruire ; réunir les conditions indispensables à la transformation des semences en plantes viables et, tout particulièrement, favoriser l'imbibition, qui est généralement la condition initiale pour enclencher cette transformation ; permettre un accès rapide à la lumière des parties aériennes photosynthétiques et faciliter la progression des racines en profondeur.

De ces éléments découlent trois grandes caractéristiques écologiques qui, au-delà de la variabilité quasi illimitée des conditions de semis, peuvent être considérées comme des spécificités de l'implantation des cultures par rapport à toute autre étape du cycle cultural.

La première de ces spécificités est la localisation des semences à proximité de l'interface entre le sol et l'atmosphère. Elle a pour conséquences une exposition des semences à des conditions physiques (température, humidité) très variables, sous dépendance directe des fluctuations climatiques, ainsi qu'une forte influence de l'état de la surface et des couches superficielles du sol sur le devenir des semences et des jeunes plantes ; or cet état, et les propriétés qui en résultent, sont très variables et évolutifs.

La seconde spécificité de l'implantation tient à la gravité et à l'irréversibilité des accidents encourus par les plantes cultivées pendant cette phase. Dans des situations courantes de semis, les événements climatiques et leurs effets sur le sol peuvent en effet aboutir, de façon non exceptionnelle, à des conditions physiques létales ou fortement perturbatrices pour les plantes. Par ailleurs, les semences et les jeunes plantules peuvent être détruites par divers bioagresseurs. Au total, c'est en début