

Les cultures intermédiaires pour une production agricole durable



Les cultures intermédiaires pour une production agricole durable

Collection Matière à débattre et décider

Quand la ville mange la forêt
Les défis du bois-énergie en Afrique centrale
J. Marien, É. Dubiez, D. Louppe, A. Larzillière, coord.
2013, 256 p.

Qu'est-ce que l'agriculture écologiquement intensive ?
Michel Griffon
2013, 224 pages

Douleurs animales en élevage
Expertise scientifique collective Inra
2013, 136 p.

Que faire des déchets ménagers ?
André Le Bozec, Sabine Barles, Nicolas Buclet, Gérard Keck
2012, 232 p.

L'évaluation économique du stress au travail
M. Lassagne, J. Perriard, A. Rozan, C. Trontin
2012, 72 p.

Gestion des risques naturels
Leçons de la tempête Xynthia
Valentin Przyluski et Stéphane Hallegatte
2012, 264 p.

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

© Éditions Quæ, 2013
ISBN 978-2-7592-2023-6
ISSN 2115-1229

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.

Les cultures intermédiaires pour une production agricole durable

Éditions Quæ

The page features several thin, light orange curved lines that sweep across the bottom and left side, creating a sense of movement and flow.

Responsable scientifique

Éric Justes, Inra, département environnement et agronomie, unité agrosystèmes et agricultures, gestion de ressources, innovation et ruralité (Agir)

Chef de projet de l'étude

Olivier Réchauchère, Inra, Depe

Coordination éditoriale :

Olivier Réchauchère et Isabelle Savini, Inra, Depe

Directeur de la publication :

Philippe Chemineau, Inra, Directeur de la délégation à l'expertise scientifique, à la prospective et aux études (Depe)

Cet ouvrage est adapté des documents issus de l'étude « Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires, conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques », Justes É., Beaudoin N., Bertuzzi P., Charles R., Constantin J., Dürr C., Hermon C., Joannon A., Le Bas C., Mary B., Mignolet C., Montfort F., Ruiz L., Sarthou J.-P., Souchère V., Tournebize J., Savini I., Réchauchère O., 2012.

Cette étude a été réalisée par l'Inra en 2011 et 2012 à la demande du ministère de l'Écologie, du développement durable et de l'Énergie et du ministère de l'Agriculture et de l'Agroalimentaire.

Le rapport d'étude est disponible sur le site de l'Inra (www.inra.fr).

La composition du collectif d'experts et de l'équipe projet de l'étude est détaillée en fin d'ouvrage.

Le collectif d'experts dédie ce travail à la mémoire de Nadine Cohen-Brisson (Inra Avignon) et de Fruck Dorsainvil (faculté d'agronomie d'Haïti), qui nous ont quittés beaucoup trop tôt, respectivement en 2011 et 2010.

Nadine a été la conceptrice initiale du modèle de culture STICS et a su fédérer les collègues de l'Inra et d'autres organismes français pour construire, paramétrer et « valider » un modèle de culture français, ayant ses spécificités, et qui a obtenu la reconnaissance de la communauté internationale des agronomes-modélisateurs. Durant près de 20 ans, Nadine n'a eu de cesse de porter haut l'exigence de généricité et de robustesse du modèle STICS dans un esprit d'ouverture et d'amélioration continue de ses performances et de son domaine de validité. Sans sa perspicacité, sa remarquable intelligence et son insatiable joie de vivre très communicative, le travail de simulation réalisé dans cette étude n'aurait pas pu être accompli, au moins sous sa forme actuelle et avec une telle confiance dans la qualité des résultats simulés. Tu nous as laissé un héritage scientifique riche que la communauté des modélisateurs se fait un devoir de promouvoir. Immense respect à toi Nadine, la scientifique et la femme. Nous espérons pouvoir être à la hauteur de ton engagement dans l'agronomie française et internationale.

Fruck, ingénieur agronome haïtien à son arrivée en France, a réalisé son travail de thèse sur les cultures intermédiaires pièges à nitrate à l'unité d'agronomie de Reims sous la direction d'Éric Justes et de Jean-Marc Meynard (son directeur de thèse). Fruck a fait preuve d'un courage exceptionnel, de capacités d'adaptation hors du commun et d'une grande perspicacité pour conduire son travail de thèse sur cette problématique totalement inconnue pour lui. Il a goûté aux joies des prélèvements de cultures intermédiaires gelées en Champagne..., et à l'apprentissage de la modélisation. Son travail a permis de développer des formalismes spécifiques pour les cultures intermédiaires, avec l'appui complice et toujours aussi efficace de Nadine. Fruck, de retour en Haïti, a œuvré pour le développement agricole de son pays qu'il aimait tant et auquel il avait décidé de consacrer son enthousiasme et son intelligence. Tu ne méritais pas que les entrailles de la terre t'emportent lors de ce terrible séisme en 2010 car tu avais encore tant à apporter à l'agronomie de ton pays.

Nadine et Fruck, nous n'oublierons jamais votre joie de vivre et votre perspicacité !

Préface

UN CHANGEMENT DANS LES MODES DE PRODUCTION est nécessaire pour concilier les performances économiques, sociales et environnementales de l'agriculture. Ce changement concerne potentiellement tous les acteurs des filières agricoles et fait l'objet d'un projet national, le projet agro-écologique pour la France porté par le ministère en charge de l'Agriculture. Dans son document d'orientation 2010-2020, l'Inra s'est donné 10 ans pour déployer une recherche qui anticipe et accompagne les mutations de l'agriculture et contribue à une sécurité alimentaire et nutritionnelle durable au **xxi^e** siècle. Pour relever ce défi, l'Inra a identifié l'agro-écologie comme l'un de ses deux chantiers scientifiques prioritaires.

Apparue dans la première moitié du **xx^e** siècle en tant que nouvelle discipline ayant l'ambition de croiser agronomie et écologie, l'agro-écologie est également associée, selon les circonstances, à un ensemble de pratiques agricoles ou à un mouvement social. Mais l'émergence, la reconnaissance et le rayonnement d'une science au croisement de l'écologie, des sciences de la biodiversité et des sciences agronomiques constitueront sans doute le facteur clé pour faciliter l'adaptation des systèmes agricoles.

Dans un environnement changeant, caractérisé par la montée des aléas physiques (climat), biologiques (bioagresseurs) et économiques (volatilité des prix de l'énergie, des intrants et des produits agricoles), les recherches en agro-écologie visent l'adaptation des systèmes agricoles et leur résilience face à ces changements multiples. Elles conduisent ainsi à élargir le regard : de la plante cultivée au réseau écologique, de la parcelle au paysage et du cycle cultural à la gestion de l'interculture. Cette période clé entre deux cultures principales de rente constitue une opportunité pour développer les services rendus par les agrosystèmes : piégeage de nitrate, stockage de carbone dans le sol, fixation symbiotique d'azote, pollinisation. À condition de ne pas trop réduire la disponibilité en eau, le semis d'une culture intermédiaire favorise aussi la productivité des cultures principales, grâce à un contrôle possible des adventices, à l'amélioration de la structure du sol et à l'augmentation de la disponibilité d'azote durant le cycle de la culture par un recyclage des ions nitrate qui sont susceptibles de migrer vers les eaux souterraines.

Mais comment évaluer à l'échelle nationale le potentiel agronomique et écologique des cultures intermédiaires ? Comment le mobiliser pour réduire les pertes de nitrate, notamment dans les zones classées comme vulnérables pour la qualité de l'eau ? Dans quelles conditions peut-on mettre en place des cultures intermédiaires ? Et quels en sont les effets pour l'environnement (bilan hydrique, érosion, gaz à effet de serre) et pour la santé des plantes (adventices, maladies, ravageurs et auxiliaires des cultures) ?

Pour répondre à ces questions et apprendre à « réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires », il fallait disposer d'une étude générique fournissant des

conclusions pour l'ensemble du territoire national, prenant en compte la grande diversité des contextes agronomiques, pédologiques et climatiques français.

C'est à ce défi que se sont attaqués les auteurs de cette étude, coordonnée par l'Inra, en analysant tout d'abord les résultats de la littérature scientifique internationale. Ils apportent de premières conclusions, en confirmant la capacité des cultures intermédiaires à piéger le nitrate et à fournir du carbone organique au sol, mais ne permettent pas d'établir des références quantitatives pour chaque région agricole.

Il fallait donc concevoir une démarche de modélisation permettant de généraliser les conclusions tirées d'expériences locales. Deux méthodes, qui sont hautement complémentaires à condition de pouvoir les confronter, ont été utilisées : les données expérimentales ont permis d'évaluer les incertitudes des modèles ; en retour, les modèles ont permis d'obtenir des conclusions généralisables. C'est bien à cet exercice que nous invite cette étude, en analysant le domaine de validité des modèles utilisés, puis en les appliquant à la diversité des situations agronomiques et pédoclimatiques qui caractérisent les systèmes de culture français, en étudiant enfin les conséquences de la variabilité climatique sur l'implantation et la réussite des cultures intermédiaires.

L'autre apport de cette étude, c'est son caractère systémique qui dépasse la seule analyse de la fonction de piège à nitrate. La gestion de la fertilisation azotée, qui reste le levier principal de maîtrise des pertes d'azote, est abordée en lien avec celle de l'interculture, qui est le second levier complémentaire et tout aussi indispensable pour réduire les pertes de nitrate vers les eaux souterraines. Cette synthèse confirme que pour immobiliser l'azote minéral lixiviable issu de la minéralisation de la matière organique des sols à l'automne, il est nécessaire de disposer d'un « piège à nitrate » y compris dans les situations de bonne maîtrise de la fertilisation minérale durant le cycle de culture. Ce sont donc bien les interactions entre cycles de l'azote et du carbone qu'il faut contrôler grâce à la gestion de l'interculture et à la succession des espèces végétales.

Je salue chaleureusement ce travail qui offre une illustration concrète du potentiel des transitions agro-écologiques pour la durabilité des systèmes de culture et je souhaite qu'il trouve une large audience auprès des acteurs du monde agricole. Plusieurs perspectives ont été ouvertes, concernant notamment l'utilisation de légumineuses et de mélanges d'espèces en interculture et les options de diversification des cultures, options qui apparaissent complémentaires pour favoriser la durabilité environnementale des systèmes de production agricole, et qui sont explorées dans une autre étude coordonnée par l'Inra.

Jean-François Soussana

Inra, directeur scientifique environnement

Sommaire

Préface	1
Avant-propos	5
1. Contexte et méthodologie de l'étude	
L'interculture	7
Objectifs et démarche de l'étude	16
2. Principaux enseignements de l'étude bibliographique	
Les itinéraires techniques des cultures intermédiaires	19
Nitrate et eau en période d'interculture	24
Effets des cultures intermédiaires sur l'érosion, les propriétés physiques du sol et le bilan carbone	33
Effets biotiques des cultures intermédiaires sur les adventices, la microflore et la faune	36
Conclusion : une analyse bibliographique riche mais incomplète	44
3. Principaux enseignements de l'étude par simulation	
Objectifs de l'étude par simulation au moyen d'un modèle dynamique de culture	45
Méthodologie des trois volets de l'étude par simulation	47
Les enseignements génériques et spécifiques de l'étude par simulation	58
Discussion des résultats de l'étude	81
4. Conclusions et perspectives	
Bibliographie	98
Liste des auteurs	105

Avant-propos

LA PRÉSENCE DE NITRATE EN EXCÈS dans les eaux de surface et les nappes phréatiques pose des problèmes de santé publique et de dégradation de l'environnement. C'est d'abord un enjeu de santé publique notamment pour les nappes phréatiques, avec la nécessité de distribuer une eau de boisson présentant une teneur inférieure à la norme de potabilité de l'eau qui est de 50 mg de nitrate par litre. C'est aussi un enjeu de protection de l'environnement pour les eaux de surface, en particulier pour certains bassins versants proches de la mer, comme en Bretagne ; le transport rapide du nitrate des zones agricoles vers la mer induit une eutrophisation des zones côtières.

L'essentiel de ce nitrate provient des agrosystèmes, du fait des excès de fertilisation azotée mais aussi de la production naturelle de nitrate par minéralisation des matières organiques du sol. Le nitrate présent dans le sol est en effet susceptible d'être entraîné en profondeur hors de la zone explorée par les racines des cultures, suite au drainage des eaux de pluie à travers le sol, phénomène appelé lixiviation ou plus communément lessivage par abus de langage. Or la période où le drainage est le plus important (automne-hiver) correspond également, en climat tempéré, à une période où le sol peut se retrouver sans culture (sol nu), après la récolte d'une culture à l'été ou à l'automne et avant l'implantation d'une culture suivante à l'automne ou au printemps. Il importe donc de minimiser la quantité de nitrate présente dans le sol au début de la période de drainage afin de réduire la lixiviation. L'introduction d'une culture intermédiaire permet de piéger une partie de ce nitrate, qui est restitué ensuite au sol dans les semaines qui suivent la destruction de la culture intermédiaire, et sera ensuite partiellement disponible pour la culture principale suivante.

Ce principe général de piégeage de nitrate durant l'interculture est bien connu, mais la dynamique des processus du cycle de l'azote et leur quantification précise à l'échelle locale est beaucoup plus difficile. En effet, l'efficacité des « cultures intermédiaires piège à nitrate » (CIPAN) dépend de nombreux facteurs qui présentent une forte variabilité. La quantité de nitrate présente dans le sol durant l'interculture dépend non seulement des pratiques de fertilisation des agriculteurs, mais aussi des caractéristiques du sol et des conditions climatiques de l'année, qui déterminent la vitesse des processus de biotransformation de l'azote organique du sol en nitrate, par minéralisation puis nitrification. Par ailleurs, les conditions d'implantation et de destruction de la culture intermédiaire, qui vont en déterminer l'efficacité, sont très variables selon les conditions locales et les systèmes de culture pratiqués, et peuvent poser des problèmes techniques ou d'organisation du travail. L'espèce de culture intermédiaire utilisée a également une grande importance vis-à-vis de l'efficacité de piégeage en interaction avec les conditions pédoclimatiques.

Les références techniques dont les pouvoirs publics disposent pour éclairer l'action publique reposent sur un ensemble de connaissances élaborées par le Corpen, le Comifer et l'Anda il y a une dizaine d'années, complétées par quelques publications plus récentes

des instituts techniques et des organismes de recherche. Pour la préparation du 5^e programme (qui débutera en 2013), les pouvoirs publics (ministères en charge de l'Agriculture et de l'Écologie) souhaitent disposer d'un ensemble actualisé de connaissances et références agronomiques, afin de proposer des mesures les plus efficaces possibles pour lutter contre la pollution nitrique des eaux souterraines et de surface.

L'objectif principal de cette étude est d'établir un état objectif et le plus exhaustif possible des connaissances sur la gestion de l'azote en période d'interculture au moyen de cultures intermédiaires, pour les différents pédoclimats français en systèmes de grande culture, et les conséquences pour la culture suivante. Dans leur lettre de commande, les ministères chargés de l'Agriculture et de l'Écologie sollicitent l'Inra pour établir « un état des connaissances sur la gestion de l'azote en période d'interculture en précisant les acquis, les incertitudes et les questions à approfondir dans une perspective de généralisation de la couverture végétale automnale des sols ». Anticipant l'impossibilité d'atteindre cet objectif par l'examen seul de la bibliographie scientifique pour une gamme de situations pédoclimatiques décrivant une grande partie de la diversité du territoire métropolitain, les commanditaires ont retenu la proposition de l'Inra de compléter cet état des connaissances, basé sur l'analyse de la bibliographie internationale et technique française, par un travail de simulation ; l'étude par simulation a pour but d'élaborer des références pour toutes les situations françaises représentatives des grandes cultures, y compris celles qui ne sont pas prises en considération dans les travaux de recherche menés sur la base d'expérimentations et de mesures sur le terrain. Elle examine également des techniques de gestion de l'azote durant l'interculture autres que les cultures intermédiaires (repousses et gestion des résidus).

Par ailleurs, les cultures intermédiaires n'ont pas qu'un rôle de piège à nitrate. Elles ont d'autres effets, positifs ou négatifs à l'échelle de l'agrosystème, qui sont examinés ici grâce à une revue de la littérature scientifique.

Le présent document constitue une synthèse des principales conclusions de l'analyse bibliographique et des travaux de simulation à l'attention des décideurs et des parties prenantes que sont les praticiens de l'agriculture (agriculteurs et conseillers) et les gestionnaires de l'eau et de l'environnement. Cette synthèse a été conçue comme une clé facilitant l'accès aux différents chapitres du rapport d'étude, dont il suit assez fidèlement le plan et auquel il renvoie fréquemment sous forme de notes de bas de page. Ce document résume dans un premier temps (chapitre 2) l'état des connaissances sur les principales fonctions agronomiques et écologiques des cultures intermédiaires, établi sur la base d'une analyse de la bibliographie scientifique et technique (sans citer les références bibliographiques qui figurent toutes dans le rapport), puis, chapitre 3, les résultats majeurs des travaux de simulation qui visent à décliner différents modes de gestion de l'interculture pour une large gamme de situations pédoclimatiques représentatives de la France métropolitaine. Les résultats intermédiaires ou les analyses expliquant les résultats principaux présentés ici, ainsi que des résultats complémentaires, sont détaillés dans le rapport de l'étude.

1. Contexte et méthodologie de l'étude

L'interculture

I Définitions

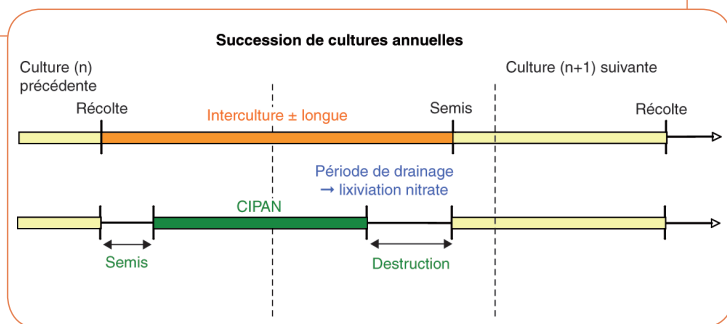
L'interculture est la période, dans la rotation culturale, qui se situe entre la récolte d'une culture principale (destinée à être récoltée) et le semis de la suivante (figure 1). Sa durée varie selon les dates de récolte et de semis des cultures principales, de quelques jours dans le cas d'une récolte tardive du précédent suivie d'une culture d'hiver, à plusieurs mois (jusqu'à 9 mois) dans le cas d'une culture de printemps. Durant cette période, un sol laissé « nu » (sans plantes), en particulier dans le cas d'interculture longue, peut fortement augmenter le risque de lixiviation de l'ion nitrate vers les aquifères. L'implantation d'une culture intermédiaire¹ (CI) dite « piège à nitrate » (CIPAN) permet de réduire ce phénomène de transfert d'azote nitrique, dans des proportions variées selon le contexte pédoclimatique et le système de culture, de 20 à 90 % par rapport à un sol nu. Cette large gamme d'efficacité doit être analysée en regard des facteurs déterminant le drainage et la lixiviation nitrique, et des autres fonctions des cultures intermédiaires, qui sont multiples.

Une culture intermédiaire est implantée entre deux cultures principales, de façon à rendre un certain nombre de services écosystémiques (agronomiques et écologiques) par des fonctions agro-écologiques qui peuvent être principalement de :

- réduire la lixiviation,
- fournir de l'azote à la culture suivante,
- réduire l'érosion,
- améliorer la structure et les propriétés hydriques du sol,
- réduire la pression parasitaire sur les cultures,
- empêcher le développement des adventices,
- accroître la biodiversité du milieu paysage agricole (faune sauvage, abeilles, etc.).

1. Pour des précisions de vocabulaire, voir le rapport, chapitre 1, section 1.3.1.

Figure 1. Représentation schématique de l'interculture dans une succession de cultures annuelles (en haut) et de l'implantation de cultures intermédiaires durant cette période (en bas).



Elle n'est pas destinée à être récoltée et est détruite (ou sa croissance est stoppée) avant l'implantation de la culture principale suivante. Sa biomasse est restituée au sol pour favoriser le recyclage d'éléments nutritifs pour la culture suivante et améliorer la fertilité physique, chimique et biologique du sol.

Lorsqu'une culture intermédiaire est implantée dans le but principal ou premier de réduire la lixiviation dans les situations où ce risque est élevé, on parle de culture intermédiaire piège à nitrate. Lorsque l'objectif principal est de fournir de l'azote à la culture suivante, plutôt dans un contexte de bas intrants, on parle d'engrais vert. Quand le but principal est de couvrir le sol afin de limiter l'érosion hydrique et/ou de jouer un rôle de structuration du sol *via* l'action des racines de la culture intermédiaire, on parle de culture de couverture. Les CIPAN peuvent ainsi remplir plusieurs fonctions agro-écologiques simultanément.

Les cultures intermédiaires, quels que soient leurs objectifs, se distinguent des cultures dérobées par le fait que ces dernières, bien qu'implantées entre deux cultures principales, ont pour finalité une production (graines ou fourrage) dans un temps réduit, alors que les cultures intermédiaires ne visent que l'atteinte de services agronomiques ou écologiques, sans exportation de la biomasse produite.

■ Les pratiques culturelles

L'interculture

Les cultures intermédiaires sont le plus communément semées après la récolte de la culture principale précédente, bien qu'elles puissent être semées sous couvert de cette culture principale. En post-récolte, ces cultures sont généralement semées de fin juillet à début septembre, pour une destruction allant de novembre à février de l'année calendaire suivante. Leur durée de végétation varie donc de 2 à 6 mois, selon les successions culturelles

Figure 2. Part des parcelles implantées avec cultures intermédiaires (CI) ou avec repousses du précédent cultural en fonction de la culture suivante (a) et de la culture précédente (b).

Pratiques culturales en grandes cultures, enquête 2006.

