

Fertilisation et environnement

Quelles pistes pour l'aide à la décision ?

S. Pellerin, F. Butler et C. Van Laethem, coord.



Fertilisation et environnement

Quelles pistes
pour l'aide à la décision ?



Les Éditions Quæ et l'Acta

Collection Matière à débattre et décider

L'océan sous haute surveillance
Qualité environnementale et sanitaire
M. Marchand
2013, 224 p.

Les cultures intermédiaires pour une production agricole durable
Ouvrage collectif
2013, 112 p.

Quand la ville mange la forêt
Les défis du bois-énergie en Afrique centrale
J.-N. Marien, É. Dubiez, D. Louppe, A. Larzillière, coord.
2013, 240 p.

Qu'est-ce que l'agriculture écologiquement intensive ?
M. Griffon
2013, 224 p.

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

Que faire des déchets ménagers ?
A. Le Bozec, S. Barles, N. Buclet, G. Keck
2012, 232 p.

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

Acta, le réseau des instituts des filières animales et végétales
149, rue de Bercy, 75595 Paris Cedex 12
www.acta.asso.fr

© Éditions Quæ, Acta, 2014
ISBN (Quæ) : 978-2-7592-2056-4
ISBN (Acta) : 978-2-85794-280-1
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.

Préface

LES ÉVOLUTIONS DE L'AGRICULTURE EUROPÉENNE SUR LES 50 DERNIÈRES ANNÉES sont indissociables des investissements réalisés en matière de recherche et développement, publics et privés. Selon une approche largement séquentielle et factorielle, les opérateurs de la recherche et du développement ont contribué à façonner des modèles agricoles qui ont montré leur efficacité productive et économique mais qui, au fil du temps, ont également révélé leurs limites, notamment sur le plan environnemental.

Dans le domaine spécifique de la fertilisation, de nombreux outils de diagnostic et d'aide à la décision ont ainsi été élaborés, et utilisés à grande échelle. Plusieurs éléments de contexte ont néanmoins conduit à faire évoluer le cadre de réflexion de ces opérateurs : des préoccupations environnementales croissantes, des questionnements en termes de santé publique, la volatilité des prix des intrants et des produits, le changement climatique... ils invitent à développer des approches systémiques à des échelles spatiales et temporelles élargies.

La communauté des agronomes spécialistes de la nutrition des plantes s'est très tôt intéressée aux enjeux émergents énumérés ci-dessus. La remise en question de leurs travaux, modalités et objectifs, s'est accompagnée d'une refonte en profondeur des relations partenariales entre les opérateurs de la recherche, de la formation et du développement, en intégrant tous les porteurs d'enjeu et pas seulement les professionnels et les pouvoirs publics.

C'est ainsi que dès 2004 a été créé le groupement d'intérêt scientifique (GIS) « Fertilisation raisonnée », auquel a succédé en 2007 le réseau mixte technologique (RMT) « Fertilisation et environnement » ; à cette occasion, le périmètre des partenaires a pu être élargi.

Les RMT sont officiellement reconnus par les pouvoirs publics depuis 2005. Ils constituent des viviers où sont imaginés, construits et mis en œuvre des projets collaboratifs à visée opérationnelle pour le court, moyen, voire long terme. Ils constituent aussi des lieux fructueux d'échanges, où la diversité des points de vue exprimés et portés par chaque membre peut être exposée et débattue. Ils permettent d'élaborer des consensus autour de questions scientifiques et techniques complexes qui s'enrichissent des compétences de chacun.

Plusieurs membres du RMT « Fertilisation et environnement » — RMT qui arrive au terme de sa première reconnaissance — ont souhaité rassembler, dans un ouvrage à plusieurs niveaux de lecture, les enseignements d'une réflexion prospective collective, enseignements qui doivent permettre à chacun, dans le contexte professionnel qui est le sien, de faire évoluer les concepts, méthodes et outils de raisonnement et d'acquisition de connaissances pour, *in fine*, transformer les pratiques de fertilisation et inclure ces transformations dans le cadre plus global du fonctionnement des agro-écosystèmes.

Ce faisant, ils ont inventé une nouvelle manière de concevoir le changement en agriculture, faite de confrontations de points de vue contrastés qu'il faut concilier dans l'action au service de l'intérêt général. Qu'ils en soient ici remerciés.

La lecture de leurs travaux a donc, au minimum, un double intérêt : d'une part, parce qu'il s'agit d'un point actualisé des connaissances en matière de fertilisation, et, d'autre part, parce que cette lecture vous apprendra beaucoup sur cette expérience réussie de coopération qu'est le réseau mixte technologique « Fertilisation et environnement ».

Nous vous souhaitons une très bonne lecture.

Hervé Guyomard, Directeur scientifique Agriculture de l'Inra,
et Jean-Pierre Darvogne, Directeur général de l'Acta,
le réseau des filières animales et végétales

Sommaire

Préface	3
Remerciements	9
Le réseau mixte technologique « Fertilisation et environnement »	10
Pourquoi une réflexion prospective ?	
Un accompagnement de l'agriculture depuis les années 1970	11
Un changement de contexte économique et environnemental	12
Un besoin de références, de méthodes et d'outils d'une autre nature ?	13
PARTIE I. LE CONTEXTE GLOBAL	
1. De la fertilisation raisonnée à la maîtrise des cycles biogéochimiques	
Introduction	17
Le cas du phosphore	19
Le cas de l'azote	28
L'impératif de maîtrise des cycles et ses conséquences	38
Conclusion	41
2. Quelles ressources en fertilisants pour l'avenir ?	
Introduction	42
La progression de la demande mondiale d'engrais minéraux	42
Le marché des engrais s'est mondialisé	45
Les priorités pour l'avenir	52
Conclusion	57
3. La grande culture face aux (r)évolutions des marchés et politiques agricoles	
Introduction	59
Le contexte des exploitations françaises de grande culture	59
Évolution de la performance économique des exploitations de grande culture	62
Quelles sont les marges de manœuvre ?	65

Conséquences sur l'utilisation des intrants	68
Conclusion	71

4. Le rôle de la fertilisation dans la performance environnementale des cultures agricoles

Introduction	73
Critères et méthodes d'évaluation de la performance environnementale	74
Rôle de la fertilisation dans la performance environnementale	78
Quelles voies d'amélioration ?	82
Conclusion	83

PARTIE 2. LA TERRITORIALISATION DE L'ACTIVITÉ AGRICOLE ET LA GESTION DES CYCLES BIOGÉOCHIMIQUES

5. L'impact sur l'eau : les approches complémentaires de Syst'N et Territ'eau

Mosaïque paysagère et qualité des eaux	87
La capacité tampon d'un bassin versant et les voies de mitigation	90
Deux outils intégrés pour l'évaluation et la gestion des émissions azotées	94
Conclusion	103

6. La gestion des effluents d'élevage : des outils pour analyser la complémentarité des systèmes agricoles

Introduction	104
Cas d'étude : transférer ou traiter sur place les effluents d'élevage ?	106
Méthodes	107
Principaux résultats	114
Discussion	120
Conclusion	123

PARTIE 3. LA PRISE DE DÉCISION RELATIVE À LA FERTILISATION ET SON ACCOMPAGNEMENT

7. Comprendre les décisions de fertilisation des agriculteurs

Introduction	127
Quelles sont les entités de gestion de la fertilisation dans les exploitations ?	129

Quels sont les déterminants agronomiques des décisions de fertilisation ?	130
Pratiques des agriculteurs et usage des outils d'aide à la décision	140
Conclusion	142

8. Le point de vue de quatre acteurs de l'aide à la décision

L'exemple de Farmstar (Arvalis)	144
L'exemple de Mes p@rcelles (chambres d'Agriculture)	146
L'exemple d'AzoFert® (Ldar)	148
L'exemple d'Épiclès (InVivo)	151
Quelles leçons tirer de ces exemples ?	153
Conclusion	160

PARTIE 4. LES PROGRÈS RÉCENTS OU ATTENDUS DE LA RECHERCHE

9. Les connaissances nouvelles sur le cycle de l'azote

Introduction	163
La minéralisation des matières organiques des sols	165
La nutrition azotée des cultures	173
Vers une intégration des processus dynamiques	177
Conclusion	180

10. Qu'attendre des recherches en microbiologie du sol ?

Introduction	182
Diagnostic de l'état microbiologique des sols	184
Ingénierie écologique	193
Conclusion	200

11. La modélisation des relations sol-plante : l'exemple du phosphore

Introduction	202
Les modèles de culture	203
La modélisation du transfert sol-plante des éléments minéraux : cas du phosphore	204
Intérêt et limites pour le diagnostic et le raisonnement de la fertilisation	211
Conclusion	215

12. L'étude et la modélisation des cycles biogéochimiques à des échelles englobantes : l'exemple de l'azote

Introduction	217
Le cycle de l'azote et ses impacts : des questions de plus en plus globales et multiformes	218
À quelles échelles analyser le cycle de l'azote ?	223
Quelles conséquences sur les orientations des recherches visant à améliorer la gestion de l'azote ?	230
Conclusion	233

PARTIE 5. SYNTHÈSE : COMMENT RAISONNER LA FERTILISATION DEMAIN ?

13. Perspectives pour le système de recherche-formation-innovation agronomique

Introduction	237
De la fertilisation raisonnée à la gestion durable des cycles biogéochimiques	238
Préparer l'avènement de nouveaux principes de raisonnement	242
Aide à la décision, formation ou régulation : quelles voies de transfert et d'application faut-il privilégier ?	246
Quelles priorités de travail collaboratif ?	251
Conclusion	254
Références bibliographiques	256
Liste des auteurs	286

Remerciements

LES COORDONNATEURS SOUHAITENT REMERCIER tous ceux qui ont contribué à l'élaboration de cet ouvrage, bien sûr en premier lieu ses nombreux auteurs, mais également ceux qui ont bien voulu assurer sa relecture attentive, tout particulièrement :

- Christine Aubry (Inra)
- Jean Boiffin (Inra)
- Hubert Boizard (Inra)
- Michel Cariolle (ITB)
- Emmanuel de Chezelles (Acta)
- Jean-Pierre Cohan (Arvalis – Institut du végétal)
- Jean-Pierre Debrosse (Bergerie nationale)
- Pascal Denoroy (Inra)
- Rémy Duval (ITB)
- Claude Gitton (agence de l'eau Loire-Bretagne)
- François Laurent (Arvalis – Institut du végétal)
- Virginie Parnaudeau (Inra)
- Étienne Pilorgé (Cetiom)

Ils remercient spécialement Mathilde Heurtaux (Acta) pour son rôle déterminant dans la phase finale d'élaboration de l'ouvrage.

Pour leur part, François Laurent et Valérie Leveau (chap. 3) tiennent à remercier Xavier Cassedanne pour sa présentation faite lors du séminaire prospectif du RMT, le 24 septembre 2009 (alors qu'il était responsable du Service des études économiques d'Arvalis – Institut du végétal) et qui a en partie inspiré leur texte. Benoît Gabrielle (chap. 4) remercie Michel Cariolle (ITB) et Virginie Parnaudeau (Inra) pour leur relecture attentive de son texte ainsi que pour leurs suggestions très pertinentes. Enfin, Jean-Marie Paillat, Santiago Lopez-Ridaura, Hayo Van der Werf et François Guerrin (chap. 6) souhaitent souligner que leurs recherches ont été menées dans le cadre du projet SPA/DD, financé par l'ANR (ANR-06-PADD-017 SPA/DD), et remercier le GIE Terre Eau, la chambre d'agriculture d'Ille-et-Vilaine, le bureau d'études Alcyon, la Cuma Innov35, pour les données fournies et la discussion de certains résultats ; ainsi que Lucie Deltour, Yann Desjeux et Gaëtane Chirié qui ont contribué à ces travaux de recherche ; et enfin Sylvain Pellerin et Fabienne Butler pour leur relecture attentive et leurs propositions d'amélioration.

Le réseau mixte technologique « Fertilisation et environnement »

CRÉÉ EN 2007, IL FÉDÈRE 26 PARTENAIRES de la recherche, du développement et de la formation agricole. Ses membres mènent des activités conjointes visant à améliorer la connaissance et la gestion des cycles biogéochimiques des éléments minéraux en agriculture et les outils de raisonnement de la fertilisation en agriculture.

Le RMT F&E a notamment effectué un diagnostic sur les grands enjeux agronomiques et les besoins d'outils de diagnostic et de conseil, et mené à bien une réflexion stratégique sur les pistes d'action en matière de gestion de la fertilité des sols, objet du présent ouvrage.

Il a par ailleurs permis la construction et l'amélioration collective d'outils opérationnels de diagnostic et d'aide à la décision dans le domaine de la fertilisation (Régifert®, AzoFert®, Syst'N®), visant à concilier des objectifs de production, de réduction des coûts, de qualité des produits et de préservation de l'environnement, en valorisant les acquis récents de la recherche.

Le RMT F&E est un lieu d'élaboration de consensus, de mutualisation des connaissances et d'appui scientifique et technique aux partenaires de la recherche, de la formation et du développement.



Ce livre a été réalisé dans le cadre du RMT F&E (réseau mixte technologique « Fertilisation et environnement »), porté par l'Acta, le réseau des instituts des filières animales et végétales. Le RMT F&E est animé par Sylvie Recous (Inra-Reims), Céline Guiard-Van Laethem (chambre d'agriculture de l'Aisne) et Mathilde Heurtaux (Acta).

Pourquoi une réflexion prospective ?

Sylvain Pellerin, Fabienne Butler,
Céline Guiard-Van Laethem, Sylvie Recous et Jean Boiffin

Un accompagnement de l'agriculture depuis les années 1970

LA FERTILISATION EST UN DES DOMAINES DE L'AGRONOMIE où le système de recherche-développement a produit et agrégé des connaissances qui ont permis l'élaboration d'outils de diagnostic et d'aide à la décision utilisés à grande échelle. C'est le cas de la méthode du bilan prévisionnel azoté, à la base de plusieurs outils de raisonnement de la fertilisation azotée largement utilisés depuis les années 1980 (Machet *et al.*, 1990 ; Machet *et al.*, 2007) ; ou des méthodes de raisonnement de la fertilisation phospho-potassique comme la grille Comifer (Comifer, 1995) ou le logiciel Regifert (Pellerin *et al.*, 2000 ; Denoroy *et al.*, 2004). C'est aussi le cas des méthodes de diagnostic sur l'état nutritionnel azoté des cultures (Laurent et Justes, 1994 ; Justes *et al.*, 1994 ; Colnenne *et al.*, 1998). Ces outils ont été élaborés à partir des connaissances produites par la recherche, et leur déploiement a été largement accompagné par les organismes de développement (instituts techniques, chambres d'agriculture) et les organismes économiques (laboratoires d'analyse, coopératives) qui ont contribué à en mettre au point des versions opérationnelles, à les adapter aux conditions locales, à les paramétrer et à former leurs utilisateurs. L'usage de ces outils a permis d'assurer la performance économique des productions végétales tout en limitant les fuites vers l'environnement de molécules polluantes (nitrates, phosphates), dans un contexte de nécessaire accroissement de la compétitivité économique de l'agriculture et de montée en puissance des préoccupations environnementales. Les apports d'engrais minéraux phosphatés sur les sols agricoles français ont ainsi été divisés par trois entre les années 1970 et 2010 (Unifa, 2012), ce qui est probablement lié en partie au contexte économique incitant aux économies d'intrants, mais aussi à ces outils de raisonnement, déployés pendant cette période. Cette évolution des pratiques de fertilisation phosphatée, et les progrès concomitants en matière d'épuration et de déphosphatation des eaux usées, ont permis une amélioration continue de l'état des eaux superficielles françaises vis-à-vis du phosphore (Commissariat général au développement durable, 2012). L'usage des engrais minéraux azotés est également en baisse depuis la fin des années 1980, mais de façon beaucoup moins marquée, et une réduction des

concentrations en nitrates dans les eaux n'est observable que dans quelques situations. Bien entendu ces tendances générales masquent des disparités régionales fortes et des difficultés demeurent en bien des endroits.

Un changement de contexte économique et environnemental

LES PROGRÈS RÉALISÉS LORS DE LA PÉRIODE PRÉCÉDENTE et la stabilisation voire la baisse constatée de l'usage des engrais minéraux de synthèse pourraient conduire à l'idée que l'effort doit être poursuivi sur les mêmes bases, avec comme objectif principal une amélioration incrémentale des outils proposés grâce aux progrès des connaissances et des technologies. Plusieurs évolutions sont cependant susceptibles de modifier les attendus des outils d'aide à la décision dans le domaine de la fertilisation :

- *une évolution du contexte agricole*, avec une poursuite de l'agrandissement et de la spécialisation des exploitations agricoles, une diversification des manières de produire, une instabilité accrue des prix des produits agricoles et des intrants, rendant plus difficile la recherche d'un optimum technico-économique ;
- *un accroissement des exigences de la société concernant la préservation de l'environnement* (N, P et qualité des écosystèmes aquatiques) *et la santé des consommateurs* (nitrates et potabilité de l'eau, ammoniac et qualité de l'air), donnant lieu à un renforcement du contexte réglementaire, voire à la remise en cause de certains modèles de production ;
- enfin, *une montée en puissance d'enjeux globaux* comme la sécurité alimentaire mondiale, le changement climatique et les émissions de gaz à effet de serre, la crise énergétique, la gestion durable des ressources non-renouvelables (comme P), avec lesquels l'usage des engrais interfère. Ces enjeux globaux sont de plus en plus indissociables des enjeux techniques, économiques et environnementaux locaux pris en charge jusqu'alors dans les outils d'aide à la décision pour le raisonnement de la fertilisation. Les progrès des connaissances (p.ex. : le concept de cascade de l'azote) ont montré que ces différents enjeux, bien qu'ils se posent à des niveaux d'organisation très différents allant du niveau local (pour la pollution nitrique des eaux de boisson) au niveau global (pour le changement climatique induit par les émissions de gaz à effet de serre), sont indissociablement liés. Les enjeux globaux avec lesquels l'usage des fertilisants interfère (régulation du climat, sécurité alimentaire mondiale...) font l'objet de négociations internationales et donnent lieu à des engagements des États (p.ex. : réduction des émissions de gaz à effet de serre) se traduisant ensuite par la mise en place de politiques publiques et de cadres réglementaires dont on peut s'attendre à ce qu'ils affectent fortement le domaine de la fertilisation.

Au total, les enjeux économiques et environnementaux locaux pris en considération jusqu'à présent pour l'élaboration d'outils d'aide à la décision dans le domaine de la fertilisation demeurent, voire vont être renforcés et compliqués du fait d'un contexte

économique de plus en plus contraignant et instable et d'un renforcement attendu des exigences de la société vis-à-vis des performances environnementales de l'agriculture. Mais à ces enjeux locaux s'ajoutent désormais des enjeux globaux avec lesquels l'usage des engrais interfère, renforçant la nécessité d'accompagner ce domaine technique en prenant en considération ce nouveau contexte.

Un besoin de références, de méthodes et d'outils d'une autre nature ?

LA PLUPART DES OUTILS RELATIFS AU RAISONNEMENT DE LA FERTILISATION construits jusqu'à présent avaient pour objectif de satisfaire les besoins de la culture tout en minimisant les fuites vers l'environnement à l'échelle parcellaire, avec comme principale variable de sortie une dose d'apport d'engrais minéral conseillée. Cet objectif demeure d'actualité car la parcelle agricole reste une unité de gestion pivot pour les apports de fertilisants et des marges de progrès importantes subsistent à cette échelle. L'évolution du contexte et des connaissances questionne cependant assez fortement les objectifs à rechercher et les variables à optimiser au niveau parcellaire. Comment tenir compte de la volatilité croissante des prix des intrants et des produits dans l'aide à la décision ? Comment intégrer la multiplicité des enjeux environnementaux ? Quelles fuites vers l'environnement minimiser prioritairement et avec quelle pondération (NO_3^- vers les eaux, NH_3 et N_2O vers l'atmosphère...) ? Faut-il minimiser les fuites par unité de surface ou par unité de biomasse utile produite ? L'échelle parcellaire, aussi importante soit-elle, n'est-elle pas insuffisante pour maîtriser les liens entre pratiques de fertilisation et problèmes environnementaux ? Y a-t-il d'autres échelles spatiales et temporelles à considérer, et du coup quels seraient les références à produire et les outils à construire à ces autres niveaux d'organisation ?

L'objectif du travail de prospective conduit dans le cadre du réseau mixte technologique (RMT) « Fertilisation et environnement » était de réfléchir aux besoins en termes de références, méthodes, outils pour la gestion des cycles biogéochimiques et le raisonnement de la fertilisation d'ici les 10 ans qui viennent, en valorisant la diversité des points de vue apportée par les organismes membres du RMT et leurs réseaux d'appartenance (recherche, développement, formation). L'ouvrage aborde successivement :

– *le contexte général de la fertilisation* (chap. 1 à 4). Le chapitre 1 présente l'évolution des enjeux associés à l'usage des fertilisants en agriculture et montre pourquoi leur prise en compte conduit à un changement de paradigme, du raisonnement de la fertilisation à la gestion intégrée des cycles biogéochimiques. Le chapitre 2 fait une analyse prospective de la disponibilité en ressources au niveau planétaire pour la fabrication des fertilisants et examine la situation particulière de l'Europe à cet égard. Le chapitre 3 traite du contexte économique de l'agriculture française, en développant l'exemple des exploitations de grande culture et de la production céréalière, et analyse les conséquences de ce contexte sur l'usage des intrants, en particulier des fertilisants. Enfin le chapitre 4

présente les objectifs et les méthodes d'évaluation des performances environnementales des cultures agricoles, en développant l'exemple de l'analyse en cycle de vie (ACV), et discute du poids des pratiques de fertilisation dans les performances estimées. Cet ensemble de chapitres permet de resituer les pratiques de fertilisation, leurs déterminants et leurs conséquences dans le cadre de plusieurs grands enjeux avec lesquels elles interfèrent (compétitivité de l'agriculture, protection de l'environnement, gestion durable des ressources) ;

– *la territorialisation de l'activité agricole et ses conséquences sur la gestion des cycles biogéochimiques* (chap. 5 et 6). Le chapitre 5 traite des relations entre pratiques agricoles et qualité des eaux à l'échelle du bassin versant hydrologique et présente deux outils innovants de diagnostic sur les fuites d'azote à l'échelle du système de culture et du territoire. Le chapitre 6 présente une démarche d'évaluation de scénarios collectifs de gestion des effluents d'élevage, dont un basé sur des échanges entre producteurs et utilisateurs. Ces deux chapitres illustrent de façon partielle mais complémentaire pourquoi le territoire s'impose de plus en plus comme une échelle spatiale pertinente pour comprendre mais aussi maîtriser les relations entre les pratiques agricoles, notamment celles influençant les cycles biogéochimiques, et leurs effets sur les milieux ;

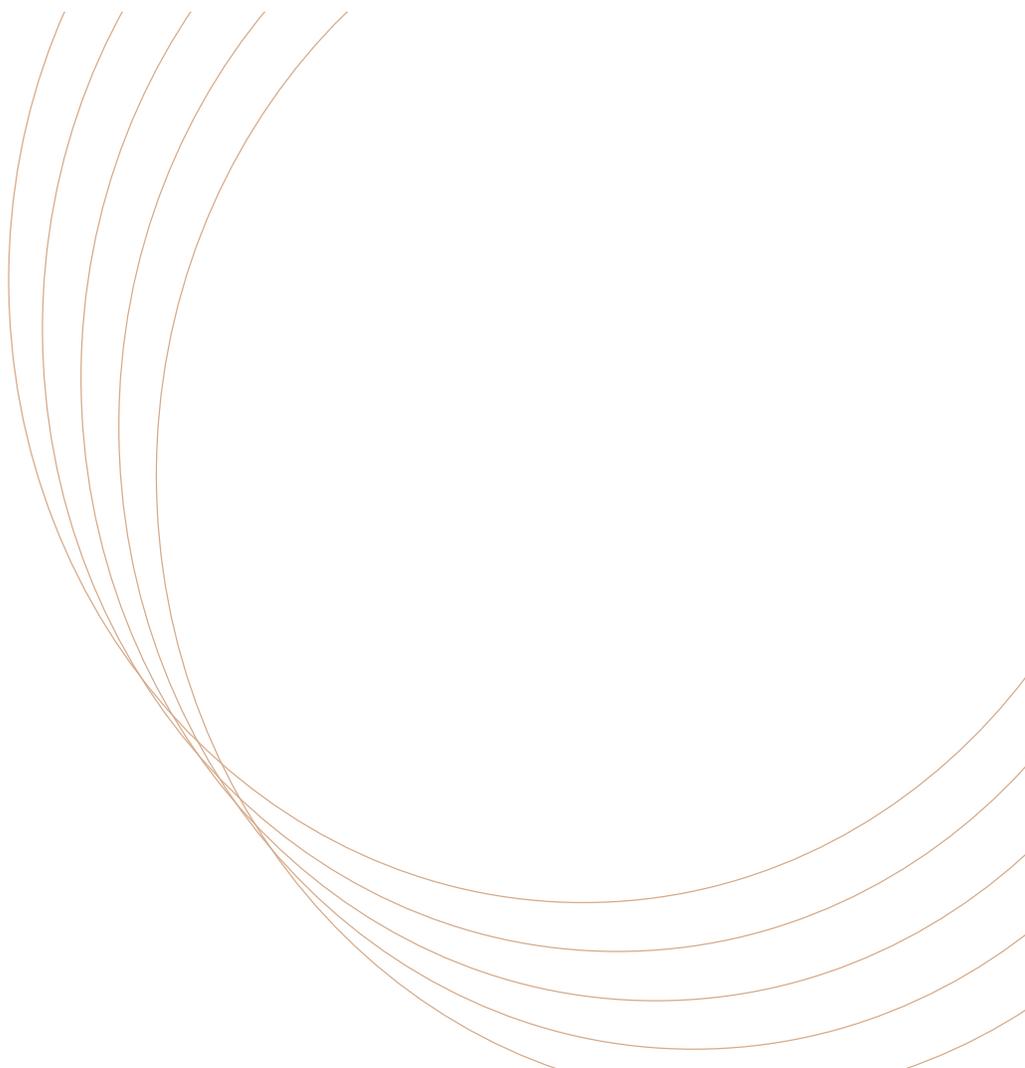
– *la prise de décision relative à la fertilisation dans les exploitations agricoles et son accompagnement* (chap. 7 et 8). Le chapitre 7 analyse les déterminants des pratiques de fertilisation mises en œuvre dans les exploitations agricoles et illustre la complexité et la diversité des critères mobilisés par les agriculteurs pour prendre leurs décisions, souvent très différents de ceux imaginés par les agronomes. De façon symétrique, le chapitre 8 illustre au travers de 4 exemples la diversité des stratégies d'opérateurs accompagnant l'aide à la décision en matière de fertilisation, et ses conséquences sur les modalités d'accompagnement et outils proposés. Ces deux chapitres, centrés sur la décision et son accompagnement, questionnent sur la cible à privilégier pour des innovations futures dans le domaine ;

– *les progrès récents ou attendus de la recherche*, susceptibles de contribuer à l'élaboration d'outils de diagnostic et d'aide à la décision dans le domaine de la fertilisation dans les années qui viennent (chap. 9 à 12). Le chapitre 9 analyse rétrospectivement dans quelle mesure et de quelle manière les progrès des connaissances relatives à la dynamique de l'azote ont fait progresser les outils de diagnostic et de raisonnement de la fertilisation. Les trois chapitres suivant portent sur trois fronts de recherche concernant la microbiologie du sol (chap. 10), la modélisation des relations sol-plante (chap. 11) et l'étude et la modélisation des cycles biogéochimiques à des échelles *supra-parcellaires* (chap. 12). Dans ces trois domaines les progrès des connaissances sont rapides et l'élaboration de futurs outils de diagnostic ou d'aide à la décision pourrait en bénéficier dans un futur proche.

Le renouvellement du cadre dans lequel situer les efforts à venir, et les perspectives de travail pour le système de recherche-formation-innovation, font l'objet du dernier chapitre et synthèse de l'ouvrage (chap. 13).

Partie I

Le contexte global



1. De la fertilisation raisonnée à la maîtrise des cycles biogéochimiques

Sylvain Pellerin, Sylvie Recous et Jean Boiffin

Introduction

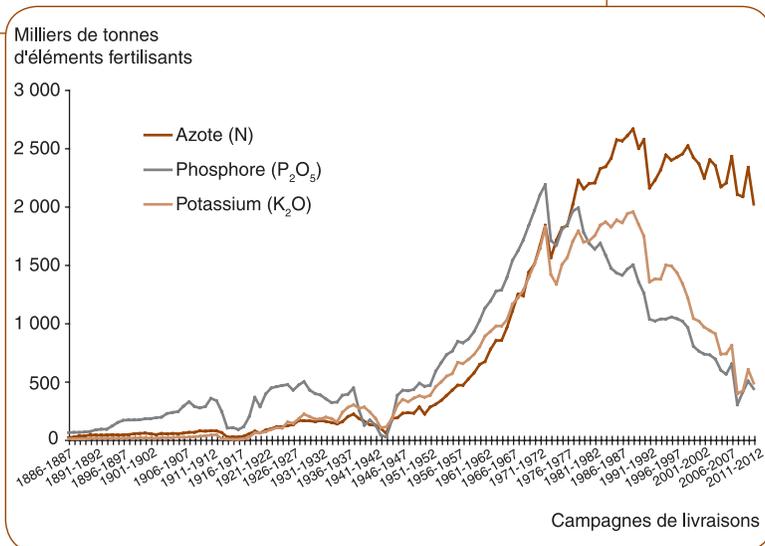
L'AUGMENTATION DE LA POPULATION MONDIALE, la montée en puissance des préoccupations environnementales et la raréfaction de certaines ressources placent l'agriculture face à un double défi :

- la nécessité de maintenir, voire d'accroître la productivité primaire des écosystèmes cultivés, pour satisfaire la demande croissante en biomasse alimentaire et non alimentaire ;
- tout en limitant les impacts sur l'environnement, et en gérant durablement les ressources indispensables dont dispose la planète pour la production agricole.

La gestion des éléments minéraux se situe au cœur de cette problématique. Ils sont indispensables à la croissance des végétaux, et la fertilisation est un levier puissant de contrôle des niveaux de production. Au cours des 45 dernières années (de 1961 à 2006), la multiplication par 2,5 de la production alimentaire mondiale s'est accompagnée d'une multiplication par 8 de la quantité d'engrais minéraux azotés apportés et d'une multiplication par 3,5 de la quantité d'engrais phosphatés apportés. Mais ils sont aussi des polluants potentiels de certains compartiments de l'environnement : eutrophisation des masses d'eau marines et continentales par l'azote (N) et le phosphore (P), altération de la qualité de l'air (NH_3 , NO_x et polluants dérivés), aggravation du changement climatique par émission de gaz à effet de serre (N_2O). Enfin, la fabrication d'engrais minéraux fait appel à des ressources non-renouvelables (roches sédimentaires phosphatées pour P) ou qui se raréfient (énergie pour N). Le principal défi des années qui viennent sera de combiner augmentation de la production, maîtrise des émissions vers l'environnement et gestion durable des ressources non-renouvelables.

La notion de fertilisation raisonnée qui a été développée depuis les années 1970 visait une optimisation de la fertilisation à l'échelle parcellaire annuelle (la bonne dose, au bon moment et au bon endroit), avec comme objectif de satisfaire les besoins de la culture tout en minimisant les fuites vers l'environnement. Dans le contexte économique de l'époque, la maximisation du rendement et la maîtrise des charges permettaient également une

Figure 1.1. Évolution des livraisons d'éléments fertilisants en France métropolitaine de 1886 à 2012.



Source : Unifa.

optimisation de la marge. Entre les années 1970 et 2010, les apports de P minéral sur les sols agricoles français ont été divisés par 3 et les apports de N sont stabilisés voire ont légèrement baissé depuis les années 1990 (fig. 1.1), sans qu'il y ait eu réduction de rendement. Les outils de diagnostic et de raisonnement mis à disposition des agriculteurs, dans un contexte économique incitant à la réduction des charges, ont probablement contribué à cette évolution. Le raisonnement de la fertilisation à l'échelle parcellaire annuelle reste un objectif d'actualité car des marges de progrès considérables subsistent à cette échelle. La montée en puissance d'enjeux à d'autres échelles spatio-temporelles (volatilisation de NH₃ et qualité de l'air, émissions de N₂O et changement climatique, gestion durable de la ressource en P et sécurité alimentaire mondiale...), avec lesquels les pratiques de fertilisation interfèrent fortement, pose cependant la question de leur prise en charge dans les questions de recherche traitées et dans l'élaboration des outils de diagnostic et de conseil.

L'objectif de ce chapitre est, au travers de l'analyse de deux éléments minéraux majeurs ayant des caractéristiques assez différentes et pour lesquels les enjeux ne se posent pas dans les mêmes termes (N et P), d'identifier les nécessaires renouvellements de point de vue et d'approche rendus nécessaires par l'évolution récente et à venir de ces enjeux, tant du point de vue des connaissances à acquérir que des moyens de maîtrise à imaginer et à construire.