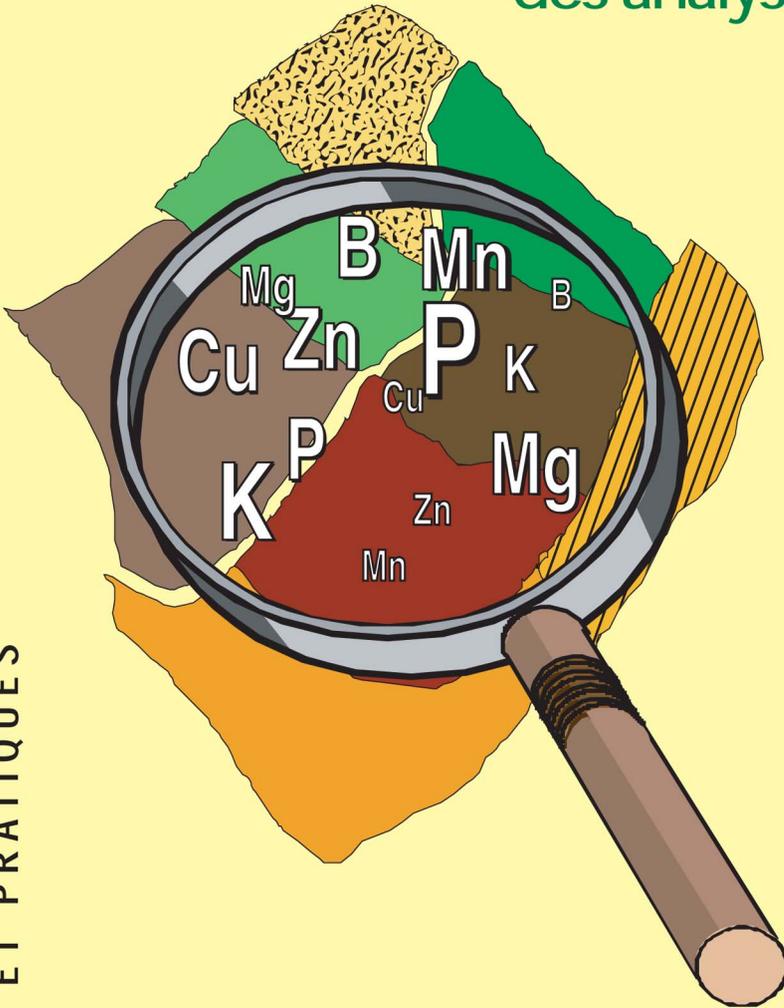


# REGIFERT

Interpréter les résultats  
des analyses de terre



TECHNIQUES ET PRATIQUES



---

# REGIFERT

---

INTERPRÉTER  
LES RÉSULTATS  
DES ANALYSES  
DE TERRE

---



---

# REGIFERT

---

## INTERPRÉTER LES RÉSULTATS DES ANALYSES DE TERRE

---

P. Denoroy, P. Dubrulle, C. Villette, B. Colomb,

G. Fayet, M. Schoeser, A. Marin-Laflèche †, F. Pellerin, S. Pellerin, J. Boiffin

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE  
147, rue de l'Université, 75338 Paris Cedex 07

# AVERTISSEMENT

Le logiciel d'interprétation d'analyses de terre, RegiFert, a commencé à être mis en œuvre dans des laboratoires d'analyse en 1999. Au-delà de la documentation agronomique et technique fournie aux laboratoires utilisateurs de RegiFert (*Manuel de l'agronome, Manuel de l'utilisateur, Guide de paramétrage*), il importe également d'informer les clients des laboratoires (conseillers, agriculteurs) afin qu'ils soient en mesure d'exploiter au mieux les bulletins d'analyse établis grâce à ce logiciel.

Le présent document, destiné aux conseillers agricoles, agriculteurs, enseignants, présente essentiellement les concepts agronomiques sur lesquels RegiFert est basé, et les grandes lignes de ses algorithmes. Nous espérons qu'il permettra à chacun de comprendre l'intérêt et les limites de l'interprétation automatisée des analyses telle qu'elle est effectuée par RegiFert (version 1.0).

Nous remercions par avance les lecteurs qui nous feront part de leurs remarques et critiques.

## PRÉFACE

L'officialisation de l'Agriculture raisonnée en tant que démarche de qualification de pratiques agricoles exprime un consensus sur la possibilité et la nécessité de fonder les décisions techniques des agriculteurs sur un raisonnement agronomique général. Par son caractère explicite, ce raisonnement donne tout son sens à la traçabilité, et même en accroît la portée : il permet à des tiers d'apprécier comment l'agriculteur, au-delà du respect de la réglementation, intègre dans ses décisions les finalités de qualité des aliments et de gestion durable des ressources naturelles. Il est donc important que la qualité et l'efficacité opérationnelle de ce raisonnement ne puissent être mises en doute, et fassent l'objet d'un constant effort de perfectionnement.

Mais si l'Agriculture raisonnée est devenue crédible, n'est-ce pas en grande partie parce que la Fertilisation raisonnée l'est depuis longtemps ? Dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, sont apparues les prémises d'une rationalisation à grande échelle de l'utilisation des engrais. Vers le milieu du XX<sup>e</sup> siècle, c'est aussi dans le domaine de la fertilisation que le raisonnement agronomique s'est imposé face à la recette vernaculaire ou à la norme standard, se fondant sur les vénérables concepts de fumure d'entretien et d'enrichissement. C'est encore dans ce domaine que sont apparues vers le milieu de la décennie 70, les premières démarches de prescription automatisées et informatisées. La création, au début des années 1980, du Comité français pour le développement de la fertilisation raisonnée (COMIFER), puis le montage de l'opération collective FERTIMIEUX, montrent aussi que le recours au raisonnement agronomique a fait l'objet d'un consensus interprofessionnel plus précoce et plus large dans le secteur de la fertilisation que dans d'autres domaines techniques. Enfin ce secteur est pratiquement le seul où la prescription agronomique est devenue une activité économiquement autonome et valorisable auprès d'une clientèle. Cette tendance à la rationalisation et à la systématisation des décisions techniques est également sensible dans tous les autres secteurs techniques (protection phytosanitaire, travail du sol, choix des variétés, choix des successions de culture...), mais ces autres domaines n'offrent pas encore à l'agriculture raisonnée la même assise. Quoi qu'il en soit, la crédibilité de la fertilisation raisonnée n'est pas acquise une fois pour toutes. Elle ne peut être maintenue que si elle va de pair avec une actualisation régulière, témoignant du souci conjoint des agronomes et des agriculteurs de s'inscrire dans une spirale d'amélioration. C'est la perception de cette responsabilité qui a amené l'INRA à investir opiniâtement dans l'entreprise RegiFert, de concert avec son partenaire de longue date dans ce domaine, la Station agronomique de l'Aisne<sup>1</sup>.

Les évolutions nécessaires consistaient d'abord à prendre en compte l'avancée des connaissances sur la nutrition minérale des cultures et la dynamique des éléments minéraux dans les sols. Comme l'explique le chapitre introductif de cet ouvrage, les principes de raisonnement sur lesquels se fonde la première génération de logiciels de prescription – encore en service dans de nombreux laboratoires d'analyse de terre – sont désormais caducs. Il en résulte un élargissement des marges de liberté dont dispose l'agriculteur – notamment

1. Aujourd'hui intégrée au sein du Laboratoire départemental d'analyses et de recherches de l'Aisne (LDAR)

quant aux économies d'intrants possibles – mais le raisonnement est plus complexe et fait intervenir un plus grand nombre de paramètres. La rénovation des outils de prescription n'était donc pas une simple mise à jour, et pouvait s'envisager selon une large gamme d'options. Elle était par ailleurs assez urgente, car la prolongation d'une phase de vide transitoire risquait de favoriser le retour à un empirisme mal maîtrisé.

Une deuxième grande motivation était d'améliorer la prise en compte de l'extrême diversité des contextes de prescription : diversité des systèmes de culture et conditions pédoclimatiques, de nature des fertilisants utilisés, de qualité et quantité des références disponibles et, par dessus tout, de capacité des prescripteurs à mobiliser ces références. Même dans un contexte aussi bien documenté que celui du département de l'Aisne, chaque prescription est un cas particulier quant à la nature et à la qualité des informations disponibles... et l'analyse de terre, donnée maîtrisée par le prescripteur, ne représente somme toute qu'une part assez faible de l'information utilisée dans l'établissement du conseil de fumure. Dès lors apparaît une sorte de quadrature du cercle : comment assurer un développement de la fertilisation raisonnée qui ne soit ni un nivellement par le bas, ni une sophistication dissuasive, ni surtout une standardisation interdisant aux prescripteurs d'exprimer leurs atouts et compétences spécifiques. L'acronyme RegiFert (qui est la contraction de « références régionales et fertilisation raisonnée ») exprime la double ambition, en apparence contradictoire, d'une fertilisation « régie » par des principes de raisonnement homogènes et du meilleur niveau agronomique, mais adaptée à la diversité des situations rencontrées.

Ce sont les progrès de l'informatique qui ont permis à l'agronomie de relever ce défi. RegiFert a bénéficié à cet égard d'un triple apport innovant. Le premier est celui du génie logiciel, s'appuyant sur les méthodes d'analyse et de conception dites « orientées objet ». Elles ont permis de calquer l'architecture du moteur d'exécution des algorithmes sous-jacent à RegiFert au plus près de la structure du raisonnement agronomique, en respectant sa complexité. Dix ans auparavant, comme en témoigne l'échec de l'informatisation du LIAT (Logiciel d'interprétation des analyses de terre, développé dans le cadre de la Relance agronomique), les outils de conception couramment utilisés au sein des sociétés de services informatiques étaient mis en défaut par cette complexité. Une deuxième source d'innovation mise en œuvre dans RegiFert s'apparente à l'intelligence artificielle. Elle permet au logiciel de fonctionner de façon adaptative vis-à-vis des données d'entrée, en utilisant des règles de recherche rédigées par l'agronome : si la donnée « idéale » n'est pas disponible, RegiFert cherche une autre voie pour s'alimenter, et peut utiliser toute la gamme des possibilités admises par les agronomes. Cette diversité d'options n'altère pas la structure de base du raisonnement scientifique, qui reste inchangée. Tous les clients, même ceux qui ne disposent pas d'informations détaillées, bénéficient de la meilleure interprétation possible compte tenu de cette disponibilité. Enfin, par sa conception modulaire, RegiFert est une « structure d'accueil » qui pourra intégrer de nombreuses évolutions : ajout de nouveaux modules, modification des algorithmes d'interprétation, nouvelles possibilités de paramétrage, etc. Ceci fonde

l'espoir que RegiFert puisse étendre l'éventail de ses fonctions et, en particulier, apporter une contribution accrue à la gestion de l'environnement. Cette contribution est d'ores et déjà significative sur l'ajustement des niveaux de richesse du sol en phosphore. A terme RegiFert pourra prendre en charge des fonctions telles que la gestion de l'ensemble des éléments traces métalliques, la séquestration du carbone, la gestion des produits résiduaux et des amendements organiques.

La première version de RegiFert fonctionne d'ores et déjà de façon satisfaisante et à l'échelle industrielle au sein d'importants laboratoires d'analyses de terre. On peut donc considérer que RegiFert a acquis son statut d'innovation, puisqu'il est sans conteste une « invention adoptée ». Il n'aurait certainement pas franchi ce stade sans l'esprit partenarial qui a animé dès l'origine et à tout moment, les acteurs du projet : agronomes et informaticiens de l'INRA ou du LDAR, auxquels s'est jointe, plus récemment, la société de diffusion de logiciels Arcade Conseil. A cet égard, et quel que soit le succès commercial des versions à venir, RegiFert mérite aussi d'être analysé et évalué en tant qu'expérience d'innovation moderne, où concepteurs et destinataires-utilisateurs sont en interaction dès l'origine, puis tout au long du projet. Il faut à présent que le partenariat évolue et trouve des formes à la fois plus larges et plus structurées qu'un simple groupe de projet, mais en conservant ce principe de travail en commun « dès l'amont et jusqu'en aval ». C'est ainsi que la fertilisation raisonnée continuera d'être un secteur pilote pour l'agriculture et l'agronomie, moteur de progrès technique parce que générateur de projets collectifs à l'interface recherche-développement.

J. Boiffin<sup>1</sup>, G. Fayet<sup>2</sup>  
et J.L. Julien<sup>3</sup>

---

1. INRA, Direction scientifique Agriculture, Activités, Territoires – Paris

2. INRA, Direction de l'Innovation et des Systèmes d'Information – Avignon

3. Laboratoire départemental d'Analyse et de Recherche, Département de l'Aisne – Laon

# TABLE DES MATIÈRES

<b>1. Qu'est-ce que RegiFert ?</b> .....	15
■ <b>RegiFert, un outil d'aide à la prescription</b> .....	15
■ <b>Un raisonnement agronomique actualisé</b> .....	18
<b>2. Module phosphore</b> .....	23
■ <b>Diagnostic</b> .....	23
Critères du raisonnement .....	23
Niveau d'exigence en phosphore des cultures .....	23
Teneur en phosphore extractible du sol ( $P_{ext}$ ).....	23
Diagnostic de la teneur en phosphore extractible du sol .....	24
Choix des valeurs seuils $L1_P$ et $L2_P$ .....	25
Pouvoir fixateur du sol vis-à-vis de P: indicateur de biodisponibilité.....	25
Choix d'un système de diagnostic à 7 classes d'offre du sol en $P_{ext}$ .....	27
■ <b>Préconisation</b> .....	27
Fumure de complément de l'offre phosphatée du sol (fc) .....	28
Fumure de compensation des pertes de phosphore par exportation (fe) .....	29
Pertes moyennes annuelles en P pour une succession de cultures (durée égale ou supérieure à 3 ans) .....	31
Stratégies de fertilisation phosphatée .....	31
Informations complémentaires pour la pratique de la fertilisation phosphatée .....	35
Apport d'amendement .....	36
Calcul d'une fumure moyenne d'entretien .....	38
<b>3. Module potassium</b> .....	43
■ <b>Diagnostic</b> .....	43
Critères .....	43
Niveau d'exigence en potassium des cultures .....	43
Teneur en potassium échangeable du sol ( $K_{éch}$ ).....	43
Diagnostic de la teneur en potassium échangeable du sol .....	44
Choix des valeurs seuils $L1_K$ et $L2_K$ dans RegiFert .....	44
Pouvoir fixateur du sol vis-à-vis du potassium .....	45
Système de diagnostic de l'offre du sol en $K_{éch}$ (7 classes) .....	46
■ <b>Préconisation</b> .....	46
Fumure de complément de l'offre potassique du sol (fc).....	46
Fumure de compensation des pertes de potassium (fe).....	47
Pertes moyennes annuelles en K pour une succession de cultures .....	52
Stratégies de fertilisation potassique.....	52
Informations complémentaires pour le raisonnement de la fertilisation potassique.....	53
Apport d'amendements .....	54
Calcul d'une fumure potassique moyenne d'entretien .....	55

<b>4. Module magnésium</b> .....	59
■ <b>Diagnostic</b> .....	59
Niveau d'exigence en magnésium des cultures .....	59
Teneur en magnésium échangeable du sol.....	59
Diagnostic de la teneur en $Mg_{\text{éch}}$ du sol .....	59
Choix des valeurs seuils $L1_{Mg}$ et $L2_{Mg}$ dans RegiFert.....	60
Indicateurs associés aux facteurs complémentaires du risque de carence magnésienne (classé de diagnostic de la teneur en $Mg_{\text{éch}}$ égale à 1 ou 2).....	60
Diagnostic du risque de carence magnésienne.....	61
■ <b>Préconisation</b> .....	62
Principes de base.....	62
Fumure magnésienne de complément à l'offre du sol (fc) .....	64
Fumure magnésienne de compensation des pertes (fe) .....	65
Apport d'amendements .....	68
Choix de la forme de l'engrais magnésien .....	68
<b>5. Module chaulage</b> .....	69
■ <b>Critères utilisés pour le diagnostic de besoin en chaulage</b> .....	69
Le $pH_{\text{eau}}$ .....	70
Teneur en carbonate de calcium ( $CaCO_3$ ) et en calcium échangeable ( $Ca_{\text{éch}}$ ) .....	70
Aluminium échangeable ( $Al_{\text{éch}}$ ) .....	71
Combinaison des critères de diagnostic pour l'établissement pratique du besoin de chaulage .....	71
■ <b>Chaulage de correction</b> .....	74
Évaluation quantitative du besoin en chaux dans les sols à pH inadapté.....	74
Évaluation quantitative du besoin en chaux dans le cas des sols aluminiques.....	74
Quantité maximale d'apport d'équivalents en CaO et fractionnement des apports.....	75
■ <b>Maintien du pH</b> .....	76
Objectif .....	76
Évaluation des pertes de calcium .....	77
Évaluation des pertes de calcium sur une succession de cultures .....	80
Évaluation de la périodicité des apports d'entretien en calcium.....	80
■ <b>Choix des amendements</b> .....	81
<b>6. Module bore</b> .....	83
■ <b>Diagnostic</b> .....	83
Principes généraux adoptés .....	83
Bases du diagnostic du risque de carence ou de toxicité en bore, réalisé dans RegiFert .....	83
Diagnostic de risque de carence pour toutes les cultures prévues .....	86

Diagnostic de risque de toxicité pour toutes les cultures prévues .....	86
Diagnostic de risque de malnutrition en bore pour toutes les cultures prévues .....	87
■ <b>Préconisation</b> .....	88
<b>7. Module cuivre</b> .....	89
■ <b>Diagnostic</b> .....	89
Principes généraux adoptés .....	89
Bases du diagnostic du risque de carence ou de toxicité en cuivre, réalisé dans RegiFert .....	90
Diagnostic de risque de malnutrition en cuivre pour toutes les cultures prévues .....	93
■ <b>Préconisation</b> .....	95
<b>8. Module manganèse</b> .....	97
■ <b>Diagnostic</b> .....	97
Principes généraux adoptés .....	97
Bases du diagnostic du risque de carence ou de toxicité en manganèse, réalisé dans RegiFert .....	98
Diagnostic de risque de carence pour toutes les cultures prévues.....	100
Diagnostic de risque de toxicité pour toutes les cultures prévues .....	100
Diagnostic de risque de malnutrition en manganèse pour toutes les cultures prévues .....	101
■ <b>Préconisation</b> .....	102
Prescriptions en cas de risque de toxicité .....	102
Prescriptions en cas de risque de carence .....	103
<b>9. Module zinc</b> .....	105
■ <b>Diagnostic</b> .....	105
Principes généraux adoptés .....	105
Bases du diagnostic du risque de carence ou de toxicité en zinc, réalisé dans RegiFert .....	106
Diagnostic de risque de carence pour toutes les cultures prévues .....	109
Diagnostic de risque de toxicité pour toutes les cultures prévues .....	110
Diagnostic de risque de malnutrition en zinc pour toutes les cultures prévues .....	111
■ <b>Préconisation</b> .....	111
<b>10. Module traitements généraux</b> .....	113
■ <b>Généralités</b> .....	113
■ <b>Variables caractéristiques du sol</b> .....	114
Densité apparente (DENSAP) .....	114
Masse de terre de la couche travaillée du sol (MASSOL) .....	115

Capacité d'échange cationique (CEC) .....	115
Potentiel racinaire (POTRAC) .....	116
■ Variables caractéristiques du système de culture .....	116
<b>11. Fonctionnalités informatiques</b> .....	119
■ Vue générale sur le logiciel RegiFert .....	119
■ Moteur d'interprétation .....	119
■ Base de connaissances .....	121
■ Interprète de règles .....	121
■ Fichiers d'entrée-sortie et archivage des données .....	122
Références bibliographiques .....	125
Liste des auteurs .....	129

# 1. Qu'est-ce que RegiFert<sup>1</sup>?

## RegiFert, un outil d'aide à la prescription

### ■ RegiFert : carte d'identité

RegiFert est un logiciel de prescription de la fertilisation des cultures au niveau de la parcelle, basé sur l'interprétation de l'analyse de terre. Il a été élaboré par l'INRA en partenariat avec le Laboratoire départemental d'analyse et de recherche de l'Aisne (LDAR ex-Station agronomique de l'Aisne) et il est diffusé par la société Arcade Conseil.

Il est destiné à tous les agronomes qui exercent une activité de diagnostic, de prescription et de formation dans le cadre des laboratoires d'analyses de terre, des organismes de développement, des coopératives ou firmes d'approvisionnement ou encore des établissements d'enseignement. Il vise à répondre à cette nouvelle attente sur la gestion à l'échelle des parcelles des éléments minéraux autres que l'azote et le soufre, fondée sur un contrôle périodique de la fertilité des sols.

Dans sa version 1.0, RegiFert traite des éléments suivants :

- les éléments majeurs P, K, Mg,
- les oligo-éléments B, Cu, Mn, Zn,
- la gestion du pH du sol (en lien avec l'état calcique).

Chaque élément (ou thème) est traité par un module, activé ou non suivant les besoins de l'utilisateur.

Pour chaque élément, RegiFert propose :

- un diagnostic de la situation : indications quantitatives ou qualitatives permettant de situer l'échantillon traité par rapport à des référentiels et donc de porter un jugement sur la situation ;
- des préconisations pour la fertilisation, dans l'optique de répondre aux besoins de la culture (finalité productrice de l'agriculteur) tout en ajustant de façon économe les apports d'engrais (finalité de compétitivité économique de la production et de minimisation des risques de pollution de l'environnement).

Les versions suivantes sont d'ores et déjà en cours de définition et traiteront de l'interprétation d'autres informations analytiques, telle la teneur en carbone organique. De façon générale, RegiFert est conçu pour pouvoir évoluer avec les connaissances et les référentiels disponibles.

---

1. RegiFert : références Régionales et Fertilisation raisonnée.

## ■ RegiFert, pourquoi ?

La réalisation d'un tel logiciel a été décidée dans le contexte de l'évolution récente de l'agriculture et de ses relations avec la société. D'une part, l'évolution relative des prix des produits agricoles et des intrants implique, sur le plan économique, une optimisation et un réajustement continu de l'usage de ces derniers. L'évolution concomitante des pratiques au cours de la décennie écoulée montre que les producteurs trouvent dans la fertilisation autre que azotée des possibilités importantes d'économies. D'autre part, la société dans son ensemble exige toujours plus de maîtrise de la qualité des produits et des risques environnementaux associés à la production. On sait par exemple que le phosphore d'origine agricole participe dans certaines zones à l'eutrophisation des eaux superficielles. La gestion au plus juste des fertilisants, en se basant sur les besoins de la culture, contribue au contrôle des risques de transfert de polluants vers l'environnement.

La conjonction de ces deux tendances a conduit à la formalisation de la notion « d'agriculture raisonnée », démarche dans laquelle RegiFert s'inscrit totalement.

## ■ RegiFert, comment ?

Le cahier des charges du logiciel RegiFert a été conçu dans le souci de répondre prioritairement aux besoins des laboratoires d'analyses de terre. En effet, si les méthodes analytiques sont très précisément définies (normes AFNOR ou ISO), l'interprétation des résultats souffre d'une hétérogénéité entre laboratoires. Cela rend en définitive moins crédible par l'utilisateur final (l'agriculteur, généralement) le conseil qui découle de l'interprétation, et n'encourage donc pas le développement de la pratique de l'analyse de terre au niveau qui serait souhaitable. L'activité de conseil auprès des producteurs change de nature, puisqu'il ne s'agit pas de fournir des recettes, mais des éléments à insérer dans un processus de décision.

Les laboratoires d'analyses de terre ont des objectifs de rentabilité qui les conduisent à augmenter leur nombre d'analyses. En conséquence s'exercent sur un logiciel tel que RegiFert diverses exigences dont certaines sont contradictoires.

En premier lieu, ce logiciel doit être capable de traiter un grand nombre de cas, issus de situations agronomiques variées, en tenant compte au mieux de la spécificité de chacun d'eux. Ceci impose le recours à des indicateurs de diagnostic suffisamment généraux et à l'utilisation de références aussi adaptées que possible à toutes les situations qui se présenteront, tout en assurant une grande facilité de mise en œuvre.

De plus, cet outil doit être fondé sur des concepts et des catégories admis par la communauté des experts afin de permettre la définition de standards de qualité concernant les données d'entrée et de sortie, susciter le développement d'une activité collective d'acquisition de références, valoriser les efforts de normalisation réalisés dans le domaine de la terminologie, des modes d'expression des résultats et des méthodes d'analyse utilisées.

En sus des algorithmes traitant de l'interprétation des analyses, au sens strict (diagnostic, préconisation), il est nécessaire de fournir aux utilisateurs de RegiFert la possibilité de faire évoluer l'outil logiciel en conséquence de l'acquisition de nouvelles connaissances, ou suivant de nouvelles contraintes fonctionnelles. Pour cela, RegiFert fournit plusieurs possibilités d'adaptation (*cf.* chap. 11) :

- les paramètres ou valeurs de références (pour les sols, cultures, amendements) utilisés par les algorithmes, peuvent être modifiés ou complétés (par exemple, si de nouvelles références sont disponibles) ;
- si plusieurs possibilités existent pour établir la valeur pour une information nécessaire aux algorithmes (par exemple : mesure directe, estimation indirecte, utilisation d'une information préexistante), on peut établir une procédure de choix entre ces possibilités, par l'intermédiaire de « règles de recherche » modifiables par l'utilisateur ;
- le contenu des fichiers de sortie générés par RegiFert peut être plus ou moins détaillé suivant les besoins de l'utilisateur, qui peut y ajouter des informations propres.

## ■ Raisonner la fertilisation avec les références régionales

Cette procédure d'interprétation utilise une base de connaissances régionalisable (et qui donne tout son sens à l'expression dont « RegiFert » est la contraction) dans laquelle l'expert du laboratoire peut introduire ses propres références en sus du paramétrage général fourni par défaut, grâce à une interface de saisie livrée avec le logiciel.

De plus, un jeu de règles de recherche, rédigé par l'agronome du laboratoire, permet de pallier (dans une certaine mesure) l'absence éventuelle de données dans le fichier d'entrée, en affectant une valeur à chaque variable d'entrée nécessaire au logiciel, à partir des informations stockées dans la base de connaissances. Un jeu de règles de recherche « par défaut » est également fourni avec le logiciel. Il privilégie l'utilisation des informations les plus spécifiques à l'échantillon considéré, par opposition aux informations les plus générales.

RegiFert permet donc une adaptation extrêmement souple du diagnostic de fertilité et du conseil de fumure aux situations très variées dans lesquelles se trouvent les prescripteurs, du point de vue :

- de la disponibilité des références régionales (par exemple, présence ou absence de carte des sols),
- de la précision des informations fournies sur l'échantillon de sol analysé (par exemple, connaissance ou non des rendements obtenus sur la parcelle),
- de leurs souhaits et capacité à adapter les normes d'interprétation.

Ainsi, un prescripteur ayant à traiter des échantillons de provenances très diverses et assorties d'informations de qualité très variable, peut en interpréter les analyses selon les mêmes principes en valorisant au maximum l'information disponible dans les cas les mieux renseignés sans pour autant rester bloqué par défaut d'information dans les cas les moins bien connus. Il faut bien noter que

cette liberté d'adaptation du logiciel, laissée à l'utilisateur pour tenir compte des différents contextes auxquels il est confronté, donne en contrepartie à cet utilisateur l'entière responsabilité des prescriptions qu'il fournira avec RegiFert.

## Un raisonnement agronomique actualisé

### ■ Un raisonnement basé sur l'analyse de terre

La plupart des éléments minéraux concourant à la nutrition des cultures sont présents en quantité importante dans le sol, mais leur forte interaction avec la phase solide du sol fait qu'une partie seulement est « biodisponible », c'est-à-dire susceptible d'être absorbée par la culture sur la durée limitée de sa croissance. L'analyse de terre vise à estimer cette quantité biodisponible. Cette estimation est indispensable pour évaluer, selon les cultures prévues, si un apport d'engrais est nécessaire et, si oui, en quelle quantité. L'analyse de terre est la première étape, indispensable, de la fertilisation raisonnée.

### ■ Un tournant des concepts vers la fin du xx<sup>e</sup> siècle

Le cadre conceptuel de l'interprétation de l'analyse de terre – plus particulièrement pour ce qui concerne les éléments phosphore et potassium – a considérablement évolué depuis le début des années 1990 (Fardeau et Colomb, 2001). Cette évolution a été le fruit à la fois d'une meilleure compréhension de la dynamique des éléments minéraux dans le sol (Blanchet *et al.*, 1974 ; Fardeau *et al.*, 1984 ; Fardeau et Morel, 1988 ; Morel C. *et al.*, 1992, 1995 ; Frossard *et al.*, 1992, 2000) et de la synthèse des enseignements issus des essais de fertilisation de longue durée (Morel R. *et al.*, 1984 ; Gachon, 1988 ; ITCF, 1988), en particulier en lien avec la « Relance agronomique » des années 1980 (ministère de l'Agriculture, 1985). Plusieurs articles et ouvrages de synthèse, et qui restent encore de référence, sont parus au tournant de cette époque (Callot *et al.*, 1982 ; Coppenet *et al.*, 1986 ; Morard, 1986 ; Sebillotte, 1989 ; Coic et Coppenet, 1989 ; Combe et Picard, 1989 ; Duc, 1989 ; Juste, 1990 ; Académie d'Agriculture et COMIFER, 1990 ; Huguet et Coppenet, 1992 ; Muller, 1996).

Auparavant, l'objectif de la fertilisation phospho-potassique était de porter le sol à une teneur seuil jugée non limitante pour toutes les cultures et par conséquent, basée sur les plus sensibles. Compte tenu de la faible précision des relations entre teneur analytique du sol et rendement agricole utilisées pour sa détermination, la teneur seuil se trouvait, par souci de sécurité, fixée à un niveau élevé (« marge de sécurité »). Dans cette optique de gestion patrimoniale du sol, et dans un contexte économique où les engrais étaient peu coûteux au regard de la marge brute qu'ils permettaient de dégager en éliminant un facteur potentiellement limitant, des fertilisations massives « de redressement » pouvaient être envisagées. Leur but était d'amener les sols à la teneur « optimale », qui est en fait une « teneur d'impasse », c'est-à-dire permettant éventuellement de se passer d'un apport d'engrais sans que le rendement en soit affecté. Quand les sols