

La méthode de raisonnement de la fertilisation PK, un outil pour l'agriculture

Jean-Marc LLORENS* et groupe PK du COMIFER

* ESITPA, Rue grande BP 607, 27106 Val de Reuil Cedex. e-mail : jmllorens@esitpa.org

1. Introduction

L'objectif de la fertilisation est de satisfaire les besoins nutritionnels des plantes en complétant l'offre du sol en éléments minéraux dans des conditions économiquement rentables (Comifer, 1995) et respectueuses de l'environnement. Le raisonnement de la fertilisation phosphatée et potassique des grandes cultures s'inscrit dans un contexte économique. L'agriculteur est contraint de chercher des moyens pour limiter ses coûts de production, il doit de plus, s'inscrire dans le cadre d'une agriculture durable (Vilain, 1999).

Au champ, les racines des plantes prélèvent respectivement le phosphore et le potassium à l'état d'ions (Mengel et Kirkby, 1987), c'est à dire à partir de formes uniquement disponibles dans la solution du sol. Les quantités ainsi disponibles en début de cultures sont insuffisantes pour assurer l'alimentation totale de la plante jusqu'à la récolte. Les besoins des plantes sont donc satisfaits par des ions libérés au cours du temps par la phase solide du sol ou par les engrais. Sachant que le coefficient réel d'utilisation des engrais est compris entre 0 et 20% pour P et 15 à 30% pour K, 70 à 80% des besoins des cultures sont couverts par les réserves d'éléments biodisponibles du sol (Comifer, 1995).

La méthode, développée ici, repose sur une organisation et une hiérarchisation de critères de raisonnement nécessaire pour aboutir à un diagnostic permettant des recommandations concernant les fertilisations P et K. La prise en compte de l'exigence des cultures vis à vis du phosphore et du potassium associée à la biodisponibilité de ces éléments, définie par la teneur du sol, le devenir des résidus de culture et le passé récent de fertilisation en constituent les fondements (ITCF, 1995 ; Masse, 1995).

Cette méthode permet une maîtrise des coûts de production et la gestion de la fertilité phosphatée et potassique à moyen terme. Elle constitue une évolution du schéma de raisonnement antérieur. Elle a été définie en accord avec tous les partenaires de la fertilisation réunis au sein du COMIFER.

2. Les critères du raisonnement

Un raisonnement fondé sur l'analyse des essais de longue durée

La productivité et l'évolution des teneurs de parcelles ayant reçu trois niveaux de fertilisation phosphatée et potassique ont été suivis lors d'essais de longue durée (Boniface et Trocmé., 1988; Bosc, 1988). Les trois doses appliquées les plus fréquentes correspondent respectivement au double des quantités exportées par les plantes (P2 ou K2), à une valeur proche des exportations (P1 ou K1), la troisième ne reçoit pas d'engrais (P0 et K0), (Laurent, 1988).

L'effet sur la productivité est différent suivant les cultures : certaines, comme la betterave sucrière, sont plus sensibles à l'absence d'apport annuel d'engrais que d'autres, telles que le blé, dont les rendements restent comparables aux parcelles fertilisées, aussi bien pour le phosphore (Boniface et Trocmé, 1988) que pour le potassium (Bosc, 1988).

Par rapport à leur teneur initiale, les traitements sans engrais provoquent une baisse de la teneur du sol, la fertilisation au niveau des exportations maintient le plus souvent les teneurs et les fortes doses accroissent les teneurs du sol. Trois zones se sont ainsi individualisées : une riche, une moyenne et une pauvre (Comifer, 1995).

Quand on applique des doses croissantes d'engrais sur ces sols, deux résultats importants se dégagent dans une grande majorité d'essais. Ils concernent :

- la dose d'engrais à appliquer en fonction du niveau de teneur du sol (figure 1) : en sol « pauvre », on peut obtenir un bon rendement en ajustant la dose, par contre on pourra limiter les quantités apportées en sol « riche ».
- la teneur d'un sol qui ne s'exprime pas de la même manière en fonction de l'exigence de la culture (Figure 2). La même teneur d'un sol peut s'avérer insuffisante pour une culture et satisfaisante ou excédentaire pour une autre.

La première clef d'entrée du raisonnement de la fertilisation phosphatée et potassique doit donc être l'exigence de la culture. L'objectif principal est de satisfaire les besoins de la plante. La prise en compte des caractéristiques du sol sera bien entendu indispensable pour établir la stratégie de fertilisation. Le devenir des résidus de culture et le passé récent de fertilisation complètent l'approche en terme de fonctionnement du sol par rapport à la dynamique du phosphore et du potassium.

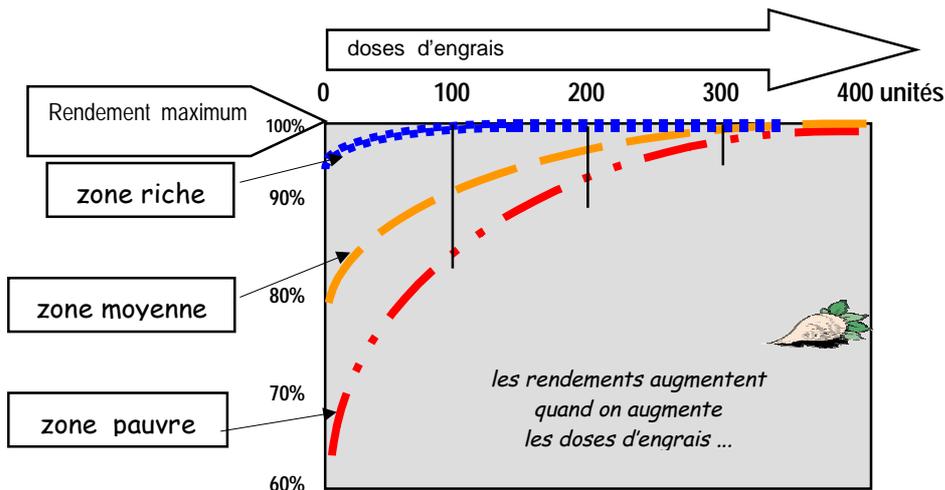


Figure 1 : Effets schématiques de doses croissantes d'engrais sur des parcelles d'essais de longue durée ayant subi trois niveaux de fertilisation différents (P0K0, P1K1, P2K2). (ITCF 1995).

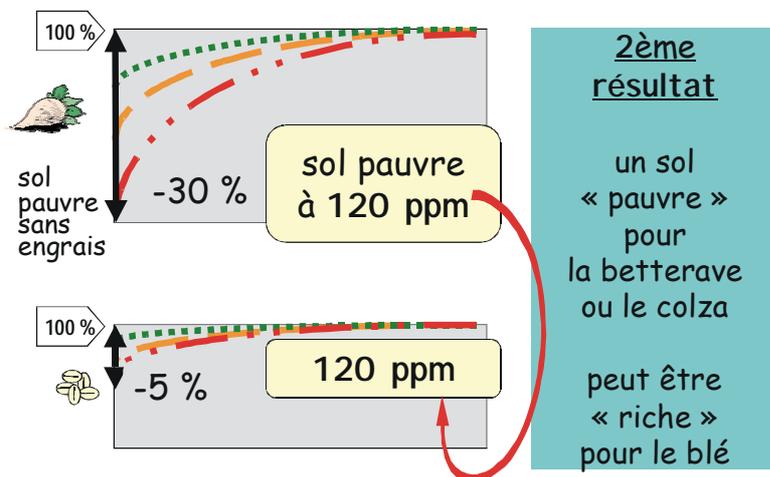


Figure 2 : L'interprétation de l'analyse de sol est liée à la classe d'exigence des cultures. (ITCF 1995).

Une méthode développée autour de quatre critères

Les quatre critères de base sont donc l'exigence des cultures, la teneur du sol, le devenir des résidus du précédent et le passé récent de fertilisation.

L'exigence des cultures.

Il s'agit, en priorité, de privilégier la réaction de la plante aux apports de fertilisants. L'exigence est liée à un ensemble de caractéristiques physiologiques. L'importance ou l'agressivité du système racinaire est un des paramètres limitants de l'absorption: des expériences de nutrition ont montré qu'en condition de sol l'alimentation de la plante est en relation étroite avec la vitesse de croissance des racines (Habib et al., 1991). La longueur du cycle ou les besoins journaliers et totaux conditionnent aussi l'exigence des cultures.

En l'absence prolongée de fertilisation, dans des sols donnés, certaines espèces peuvent accuser de fortes chutes de rendement, contrairement à d'autres (Massé, 1995). Les plantes exigeantes (betteraves ou pomme de terre) répondent fréquemment à l'apport d'engrais (P et K). Les céréales à l'inverse répondent peu. Certaines cultures ont des comportements intermédiaires (Colza, pois, tournesol, ...). On peut donc faire un classement des cultures en fonction d'un indice d'exigence. Trois grandes classes ont donc été retenues (Tableau 1) .

Tableau 1 : Classement des cultures en fonction de leurs exigences (Massé, 1995). Celles qui comportent une astérisque correspondent à une adaptation proposée par le COMIFER.

Exigence	Phosphore	Potasse
FORTE	betterave colza luzerne pomme de terre pois conserve* oignon* - carotte*	betterave pomme de terre pois conserve* oignon* carotte*
MOYENNE	orge - escourgeon blé dur - blé de blé sorgho maïs fourrage pois protéagineux prairie temporaire féverole*	colza - luzerne tournesol maïs grain maïs fourrage pois protéagineux prairie temporaire soja - féverole*
FAIBLE	maïs grain blé tendre tournesol avoine soja	blé dur blé tendre blé de blé* orge, escourgeon avoine - sorgho

Les teneurs dans le sol.

L'analyse de terre est un indicateur de la quantité extractible dite assimilable dans le cas du phosphore ou échangeable dans le cas du potassium. L'interprétation des analyses amène à la définition de teneurs seuil (Laurent et al. 1988, Laurent et al. 1995), qui vont conditionner la stratégie de fertilisation à mettre en place.

Deux teneurs seuils ont été ainsi définies : une *teneur impasse* au dessus de laquelle les quantités présentes dans le sol sont telles qu'il est possible de suspendre la fertilisation et une *teneur renforcement* où, au contraire, il est nécessaire d'apporter des éléments fertilisants à des doses supérieures aux exportations prévues.

Les teneurs seuils d'interprétation sont modulées en tenant compte de la nature du sol, la dynamique des éléments variant selon les milieux (sol limoneux, sol de craie, argilo-calcaire, ...). Elles conditionnent trois stratégies de fertilisation : le renforcement, la compensation des exportations ou bien l'absence d'apport d'engrais (Figure 3).

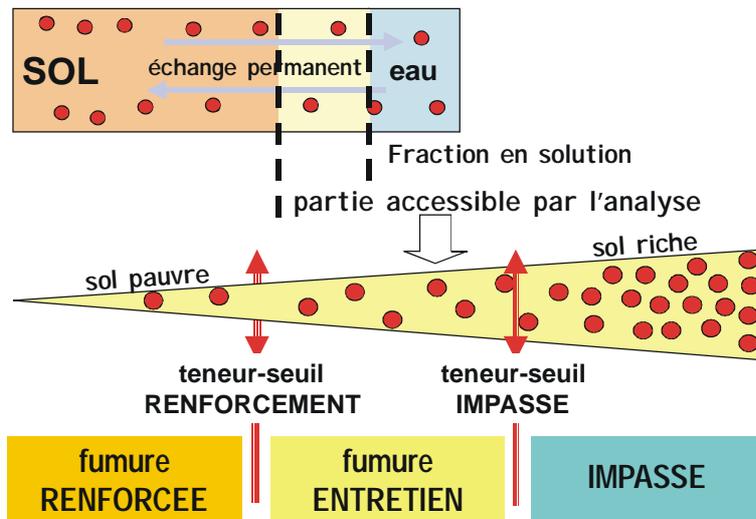


Figure 3 : Trois types de stratégies de fertilisation définies par l'exigence de la culture et l'interprétation de l'analyse de sol. (ITCF 1995).

Ces valeurs seuils sont interprétées en tenant compte de l'exigence des cultures : un sol considéré comme « pauvre » pour une culture exigeante peut contenir des quantités d'éléments biodisponibles suffisantes pour une culture peu exigeante (figure 2).

Les trois stratégies combinent donc les deux principaux critères de biodisponibilité des éléments : l'exigence de la culture et la richesse du sol (figure 3).

- ❑ **Le renforcement :** Cas des sols faiblement pourvus où la biodisponibilité est faible sur lequel on veut implanter une culture d'exigence moyenne à forte. Les quantités d'engrais à épandre seront supérieures aux exportations.
- ❑ **L'entretien :** Cas des sols où la biodisponibilité est intermédiaire, la préconisation est de compenser par l'apport d'engrais les besoins de la culture.
- ❑ **L'impasse :** Cas des sols où la biodisponibilité est élevée et pour des cultures peu à moyennement exigeantes si la teneur du sol est supérieure au seuil « impasse », il n'est pas utile d'apporter de l'engrais.

devenir des résidus du précédent.

Les résidus de récolte sont des restitutions non obligatoires, généralement les parties aériennes des cultures récoltées en grains ou racines. La restitution des éléments contenus dans ces résidus, lorsqu'ils sont enfouis, représente qualitativement un apport d'engrais soluble eau (Comifer, 1995).

Ce critère est pris en compte lorsque les quantités mises en jeu dépassent 40 kg pour P_2O_5 et 80 kg pour K_2O (Massé, 1995; Comifer, 1995). Ainsi, ce

critère apparaît important pour la fertilisation potassique, le potassium est un élément présent en forte quantité dans les feuilles et les tiges (Mengel et Kirkby, 1987). Au contraire, il est négligé dans le cas du phosphore pour lequel les quantités mises en jeu sont inférieures (ITCF, 1995). Pour le calcul de la dose, la grille de détermination du coefficient multiplicateur des exportations sera simplifiée, la colonne « devenir des résidus » n'existant plus (Tableau 2).

Si les résidus sont enfouis on diminuera la dose d'engrais potassique appliquée.

Passé récent de fertilisation.

Il s'agit de prendre en compte l'évolution des états chimiques des éléments minéraux apportés au sol lors des campagnes précédentes vers des formes moins assimilables par les cultures.

Cette évolution vers des états chimiques moins disponibles pour l'absorption par les racines peut être appréhendé par deux critères : le bilan cultural F – E (fumures – exportations pour un élément et une période donnée) et le pouvoir fixateur du sol. Leur combinaison permet d'apprécier si le passé récent de fertilisation est favorable, moyen ou défavorable (Comifer, 1995). Cependant leur utilisation pratique est peu aisée.

En l'absence de ces deux paramètres on utilise le nombre d'années sans apport (Tableau 2) comme indicateur du passé récent de fertilisation. Si la parcelle est fertilisée régulièrement il est considéré comme favorable. Sans apport pendant plusieurs années, le passé récent de fertilisation est considéré comme défavorable, la dose conseillée peut être majorée (Comifer, 1995).

3. Calcul de la dose

Le principe consiste à déterminer la stratégie de fertilisation (figure 3) en combinant les quatre critères du raisonnement, l'exigence de la culture, la teneur du sol (en fonction du type de sol), devenir des résidus du précédent (pour le potassium) et le passé récent de fertilisation sur la base des quantités exportées.

On détermine ainsi un coefficient multiplicateur des exportations qui est pondéré selon la valeur de chaque critère. Le principe schématique du mode d'établissement de ces coefficients est décrit dans le tableau 2.

$$\begin{array}{l} \text{Dose d'engrais à épandre} = \text{Rendement} * \text{Exportations} * \text{Coefficient} \\ \text{(kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ou K}_2\text{O /ha)} \qquad \qquad \text{(Unités de} \qquad \qquad \text{(kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ou K}_2\text{O} \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \text{rendement /ha)} \qquad \qquad \text{/unité de rendement)} \end{array}$$

Les conseils de fumure présentés sont applicables avec des formes d'engrais P₂O₅ soluble eau ou citrate d'ammonium neutre. Aucune restriction n'est faite pour le potassium (Massé, 1995).

Lorsque des quantités importantes sont apportées par les effluents d'élevage (Ziegler et Héduit, 1991), il est nécessaire de tenir compte des quantités

épanchées sous forme organique, le complément par rapport à la dose calculée étant fait sous forme minérale.

Tableau 2 : grille schématique de détermination du coefficient multiplicateur des exportations. (ITCF 1995).

		Résidus du précédent	Nb d'années sans apport	Teneur du sol			
<i>exigence</i> FORTE 	exporté	2 et +	1		$2 \uparrow$ x $E \downarrow$	r	$1 \uparrow$ $x E$ \downarrow
	enfoui	1	0				
MOYENNE	exporté	2 et +	1	$2 \uparrow$ $x E$ \downarrow	r	$1 \uparrow$ $x E$ \downarrow	i
	enfoui	1	0				
FAIBLE 	exporté			$1 \uparrow$ $x E$ \downarrow	i	0	
	enfoui						

4. Utilisation pratique et évolution de la méthode

La présence d'essais de longue durée bâti selon le protocole COMIFER et réalisés par de nombreux partenaires (90 essais pour P_2O_5 et 110 essais pour K_2O) ont permis de classer les cultures et de déterminer des teneurs guides (Comifer, document interne, 1993) ayant servi de support à la **régionalisation des seuils**. Il est nécessaire que les techniciens chargés du conseil en fertilisation soient en mesure de participer au développement des référentiels régionaux en matière de teneurs seuil, indispensables à une utilisation pertinente de cette méthode

Des questions ont été posées par des préconisateurs (principalement les laboratoires d'analyse de terre) sur la mise en œuvre pratique de la grille. Il apparaît que dans certains cas, les teneurs de l'analyse de sol sont très proches des teneurs seuil, le conseil pour la stratégie de fertilisation peut passer de doses élevées à 0 pour quelques mg/kg à l'analyse de terre. En réponse un encadrement du seuil a été proposé par le COMIFER pour déterminer des paliers et améliorer la cohérence du conseil agronomique de la fertilisation à appliquer. Pour **prendre en compte les effets de seuils**, les règles suivantes ont été appliquées (Tableau 3, Comifer, 1997):

- Encadrement à $\pm 10\%$ de part et d'autre de la teneur seuil impasse.
- Modulation des coefficients pour obtenir plus de cohérence notamment selon le passé de fertilisation, tout en restant calé sur la grille initiale.

- Application d'une réduction de fumure, quelque soit la culture lorsqu'on atteint des teneurs seuils deux fois supérieures aux teneurs T imp.

Tableau 3 : Evolution des coefficients multiplicateurs des exportations lorsqu'on prend en compte les effets de seuils. Grille COMIFER de novembre 1997 (Comifer, 1997)

A - P₂O₅

Exigence des cultures	Nombre d'années sans apport	Trenf		Timp - 10%	Timp	Timp + 10%	2 Timp	
Forte	2	2.5	2.2	2.0	1.8	1.5	0.8	0.8
	1	2.2	2.0	1.5	1.5	1.3	0.6	0.6
	0	1.5	1.5	1.2	1	1	0.4	0.4
Moyenne	2	1.6	1.6	1.3	1.3	1	0.8	0.8
	1	1.4	1.2	0.8	0.8	0.6	0	0
	0	1.2	1	0.8	0.8	0	0	0
Faible	2	1.2	1.2	1	1	1	0.6	0.6
	1	1.2	1	0.8	0.8	0	0	0
	0	1.2	1	0.8	0.8	0	0	0

B - K₂O

Exigence des cultures	Devenir des résidus du précédent	Nombre d'années sans apport	Trenf		Timp - 10%	Timp	Timp + 10%	2 Timp	
Forte	Exportés	2	2.0	2.0	1.8	1.8	1.5	0.8	0.8
		1	2.0	1.5	1.5	1.2	1	0.6	0.6
		0	2.0	1.5	1.5	1.2	1	0.4	0.4
	enfouis ou brûlés	2	2.0	1.5	1.5	1.2	1.2	0.8	0.8
		1	2.0	1.2	1.2	1.2	1	0.6	0.6
		0	1.2	1.2	1	1	1	0.4	0.4
Moyenne	Exportés	2	2.0	2.0	1.8	1.8	1.5	0.8	0.8
		1	2.0	1.5	1.5	1.5	1.2	0.6	0.6
		0	2.0	1.5	1.5	1.2	0.8	0	0
	enfouis ou brûlés	2	2.0	1.6	1.4	1.4	1.4	0.8	0.8
		1	2.0	1.5	1.2	1	0.5	0	0
		0	1.5	1.3	1	0.8	0	0	0
Faible	Exportés	2	1.2	1	1	1	1	0.6	0.6
		1	1	1	0.8	0.8	0	0	0
		0	1	1	0.8	0.6	0	0	0
	enfouis ou brûlés	2	1	1	1	1	1	0.6	0.6
		1	1	1	0.8	0.8	0	0	0
		0	1	1	0.8	0.6	0	0	0

Dans un objectif de créer un outil de gestion automatisée des résultats d'analyses de terre, l'INRA a élaboré un logiciel d'interprétation (**RegiFert**) qui s'appuie sur les mêmes constats et le même cadre conceptuel que la méthode décrite ci-dessus (Denroy et al., sous presse).

RegiFert s'adresse prioritairement aux laboratoires d'analyses de terre, aux services de conseils, aux bureaux d'étude qui souhaitent répondre à cette nouvelle attente sur la gestion à l'échelle des parcelles des éléments, autres que l'azote et le soufre, fondée sur un contrôle périodique de la fertilité des sols. C'est un outil paramétrable, qui permet, sous la responsabilité de la personne qui le paramètre, une adaptation souple du diagnostic de fertilité et du conseil de fumure aux situations très variées dans lesquelles se trouvent les prescripteurs.

5. Conclusion

La méthode de raisonnement de la fertilisation PK est un outil pour l'agriculture fondé en grande partie sur l'analyse d'essais de longue durée qui amènent à raisonner sur des critères privilégiant les besoins des cultures. Elle nécessite le développement des référentiels régionaux afin d'affiner la démarche dans le cadre de types de sols plus marginaux.

Cette aide au diagnostic ne peut pas être une démarche figée, les propositions de règles nécessaires à la prise en compte des effets de seuils en sont un exemple. Elle doit pouvoir évoluer en intégrant des connaissances ou des contraintes nouvelles.

L'enseignement des principes du raisonnement de la fertilisation dans le contexte socio-économique de l'agriculture actuelle entraîne une actualisation régulière de l'état des connaissances et des pratiques. Cela nécessite une diffusion plus large de publications officielles des résultats de la recherche et/ou des techniques de réalisation du conseil auprès des agriculteurs. En complément, des brochures expliquant les notions de base ou les avancées des connaissances avec un souci pédagogique de simplification du message facilitent la démarche de communication de cette méthode, à l'image de certaines figures utilisées dans cette communication.

Bibliographie

Boniface R. and Trocmé S. (1988). Enseignements fournis par des essais de longue durée sur la fumure phosphatée et potassique. 2. Essais sur la fumure phosphatée. Phosphore et potassium dans les relations sol-plante. Conséquences sur la fertilisation. Gachon. Paris, INRA: 279-402.

Bosc M. (1988). Enseignements fournis par des essais de longue durée sur la fumure phosphatée et potassique. 3. Essais sur la fumure potassique. Phosphore et potassium dans les relations sol-plante. Conséquences sur la fertilisation. Gachon. Paris, INRA: 403-466.

Comifer (1993). Glossaire de la fertilisation N, P, K. 18 pages.

Comifer, document interne (1993). Compte-rendu de la réunion du groupe PK du 22/11/1993.

Comifer (1995). Aide au diagnostic et à la prescription de la fertilisation phosphatée et potassique des grandes cultures. Brochure Comifer, 1993, réact. 1995, 28 pages + annexes..

Comifer (1997). Eléments complémentaires à la méthode de raisonnement de la fertilisation PK permettant d'aider à sa mise en œuvre. Brochure Comifer, novembre 1997, 50 pages.

Denoroy P., Dubrulle P., et Villette C. (sous presse). Les bases de Regifert.

Habib R., Pagès L., Jordan M.O., Simmoneau T. et Sébillotte M. (1991). Approche à l'échelle du système racinaire de l'absorption hydro-minérale. Conséquence en matière de modélisation. *Agronomie* **11**: 623-643.

ITCF (1995). Fertilisation PK- Guide pédagogique . Brochure ITCF, 75 pages.

Laurent F. (1988). Protocole COMIFER pour les essais longue durée. *Perspectives Agricoles*(127): 127.

Laurent F, Colomb B., Plet P. (1995). Questions nouvelles, nouvelles normes. Fertilisation PK : raisonner pour agir. Brochure ITCF, 1993, réact. 1995, p XXVIII-XXXII.

Laurent F., Taureau J.C., et Plet P. (1988). Méthodologie pour l'obtention de normes d'interprétation. *Perspectives Agricoles*(127): 122-124.

Massé J. (1995). Mode de raisonnement de la fertilisation phosphatée et potassique des grandes cultures. Blois, Congrès GEMAS-COMIFER: 113-123.

Mengel K. and Kirkby E.A. (1987). Principles of plants nutrition. Bern, International Potash Institute. 687 pages.

Vilain L. (1999). De l'exploitation agricole à l'agriculture durable. Aide méthodologique à la mise en place de systèmes agricoles durables. Paris. 155 pages.

Ziegler D. and Héduit M. (1991). Engrais de ferme. Valeur fertilisante, gestion, environnement, brochure ITCF. 35 pages.