

Résumé

Quelques rappels sont faits sur le rôle du magnésium dans le fonctionnement de la plante ainsi que sur l'expression des symptômes de carence chez le palmier à huile. Les données d'expérimentations conduites en Afrique, en Amérique latine et en Asie du Sud-Est servent à établir les courbes de réponse de la production et de l'absorption du magnésium en fonction des doses d'engrais magnésiens. L'étude est complétée par le rôle de la nature des sols, les relations avec d'autres éléments tels que le potassium, le calcium et le chlore, ainsi que l'influence du matériel végétal. L'article conduit à la définition de niveaux critiques et à la gestion des fumures à l'échelle de l'exploitation agricole.

Abstract

A few reminders are given of the role of magnesium in oil palm functioning, and of how deficiency symptoms are expressed. Data from experiments conducted in Africa, Latin America and Southeast Asia were used to establish yield response and magnesium uptake curves depending on magnesium fertilizer rates. The study also covered the role of soil type, relations with other nutrients such as potassium, calcium and chlorine, and the influence of the planting material used. This article defines critical levels and gives recommendations for fertilizer management at farm level.

Rôle de la nutrition en magnésium chez le palmier à huile

Dubos B.¹, Caliman J.P.¹, Corrado F.¹, Quencez P.¹, Siswo Suyanto², Tailliez B.¹

¹ CIRAD-CP, TA 80/01, 34398 Montpellier Cedex 5, France

² Libo Research, Kantor P.T. Smart Corporation, Pekanbaru Riau, Indonésie

Les déficiences en magnésium sont généralement spectaculaires et facilement identifiables par le planteur qui suspecte alors des pertes importantes de production de sa palmeraie. La tentation existe de revenir, par des applications conséquentes d'engrais, à un feuillage plus vert et plus sain, sans se préoccuper de l'impact réel sur les rendements. L'objet de cet article est d'examiner les résultats de plusieurs expériences de part le monde, afin d'en tirer des conclusions applicables à une gestion raisonnée de la fumure magnésienne, à partir des résultats des analyses foliaires périodiques.

Le magnésium joue un rôle essentiel dans la photosynthèse en raison de sa présence dans la molécule de chlorophylle qui immobilise généralement de 6 à 25 % du magnésium total du feuillage (Marschner, 1997). Cette proportion augmente avec le niveau de déficience en magnésium et peut atteindre et dépasser 35 %. On admet généralement que les effets dépressifs sur la croissance et les symptômes visibles de déficience débutent lorsque ce rapport dépasse 20 à 25 % selon les espèces. Une part importante du magnésium est impliquée dans les équilibres entre cations et anions et contribue au maintien du pH au sein des cellules. Il intervient dans les mécanismes enzymatiques de la phosphorylation et joue un rôle essentiel dans la synthèse des protéines et des ARN.

Du fait de sa grande mobilité dans le phloème, il peut en cas de déficience être rapidement transloqué, des tissus les plus âgés vers les plus jeunes, ce qui renforce l'expression des symptômes dans les parties végétatives les plus âgées.

Symptômes de la carence en magnésium

Chez le palmier à huile, les symptômes se caractérisent par l'apparition de décolorations uniformes allant du jaune au jaune orange très vif, sur les folioles des palmes les plus âgées. Ils s'accompagnent généralement de nécroses qui progressent depuis l'extrémité des folioles dont la couleur tourne alors au rouge brun. Si les symptômes sont généralement plus fréquents en jeune culture, ils peuvent apparaître à l'âge adulte et se développer de façon très spectaculaire sur des surfaces importantes. Cette évolution fut à l'origine de l'appellation de « Pulau Raja disease » dans les années 70 en Indonésie (Ummar Akbar *et al.*, 1976).

Les symptômes débutent généralement sur quelques arbres isolés présentant des chloroses légères et gagnent en intensité alors que des foyers s'individualisent. Sur le terrain la carence est souvent associée à des unités de sol plus pauvres ou à des éclaircissements plus intenses. Ceci explique

certainement les apparitions plus fréquentes en bordure de parcelle. On s'accorde généralement à dire que les premiers symptômes isolés apparaissent lorsque les teneurs foliaires en magnésium d'un échantillon moyen atteignent 0,20-0,24 % de la matière sèche (m.s.) mais que les déficiences marquées correspondent à des teneurs en dessous de 0,18 % m.s. Tailliez (comm.pers.) a observé, en Indonésie, qu'il y avait généralement une bonne relation entre les teneurs en magnésium et l'importance des dessèchements foliaires, mais que la relation avec l'intensité des jaunissements pouvait être plus approximative et dépendante du matériel végétal.

Dans certaines situations particulières la relation entre les symptômes et la nutrition magnésienne déroge complètement à cette règle, comme dans le cas de l'essai en Indonésie. Dans cet essai, où les teneurs des différents objets restent comprises entre 0,14 et 0,16 % m.s., il n'y a pas apparition de symptômes de déficience et les arbres présentent une couleur verte très satisfaisante.

Importance de la nutrition magnésienne sur la production

Plusieurs expériences étudient, au champ, le rôle de la nutrition magnésienne en Amérique latine, en Afrique ou en Asie du

Sud-Est sur des types de sol variés. Lorsque les teneurs des objets ne recevant pas de fumure magnésienne restent supérieures à 0,20 % m.s., il n'y a généralement pas de réponse de la production aux apports d'engrais, quelle que soit la dose appliquée. Breure et Rosenquist (1977) avaient déjà fait cette observation pour des teneurs variant de 0,17 à 0,19 % m.s., sans amélioration du rendement. En revanche, une réponse apparaît même avec des doses faibles pour des teneurs en magnésium inférieures à 0,15 % m.s., comme dans le cas des essais présentés ici où des gains de production significatifs de 10 à 40 % sont obtenus en appliquant des engrais magnésiens (tableau 1).

Dans ces six essais, l'évolution des témoins (Mg0) a été très rapide au cours des premières années qui ont suivi la mise en place des traitements (figure 1). La diminution est d'autant plus rapide que les teneurs natives sont élevées et c'est généralement à l'issue de cette baisse que les différences de production sont devenues significatives par rapport au témoin. Dans un deuxième temps, les teneurs continuent de décroître pour atteindre des valeurs très faibles, parfois inférieures à 0,10 %, des minima ayant été enregistrés jusqu'à 0,05 % m.s. (essai AL 02 en Indonésie).

Dans cinq des six essais les réponses de la production à la nutrition magnésienne (figure 2) mettent en évidence un seuil au-delà duquel les rendements ne progressent

plus significativement, quand ils ne sont pas stationnaires. A l'exception de l'essai TT 02, ce seuil correspond à une teneur en magnésium sur feuille 17 de 0,18-0,20 % m.s. qui est atteint dès Mg1 (tableau 1).

Dans l'essai MT 03, l'augmentation de la production reste importante au-delà de 0,23 % m.s. même si au-delà de ce point la progression est moins rapide. Cet essai indique que, dans les conditions de sol et de climat qui lui sont propres, une nutrition en magnésium élevée paraît nécessaire pour que s'expriment totalement les rendements. Ce résultat sera examiné à nouveau à propos des niveaux critiques.

L'absorption du magnésium

Dans tous les essais, l'absorption du magnésium répond bien aux doses d'engrais appliquées (figure 3). Elle peut être très intense et quasiment linéaire (essais CA 07, AK 01 et MT 03) ou au contraire progressive avec une tendance asymptotique plus ou moins marquée (essais PS 03, TT 02 et PBE 02).

En revanche, sur certains sites, l'absorption du magnésium est très faible ou inexistante. Par exemple, en Equateur, l'essai SK 01 a été planté en 1993 pour étudier l'action de l'application de deux doses de magnésium sous forme de sulfate, puis de carbonate. Après cinq années d'application, les traitements ont un effet significatif sur

Tableau 1. Réponses de la production aux engrais magnésiens. / Yield responses to magnesium fertilizers.

Essai / Trial		PS 03	MT 03	TT 02	CA 07	PBE 02	AK 01
Pays / Country		Pérou <i>Peru</i>	Colombie <i>Colombia</i>	Equateur <i>Ecuador</i>	Cameroun <i>Cameroon</i>	Indonésie <i>Indonesia</i>	Indonésie <i>Indonesia</i>
Age (ans) / (years)		11-13	14-16	16-18	22-24	9-11	14-16
Engrais magnésien et teneur en MgO (%) <i>Magnesium fertilizer and MgO content (%)</i>		Kieserite 27	MgCO ₃ 40	MgCl ₂ 20	Kieserite 27	Kieserite 27	Kieserite 27
Equivalent MgO (g/arbre/an) <i>MgO equivalent (g/palm/year)</i>	Mg0	0	0	0	0	140	0
	Mg1	260	240	450	80	470	140
	Mg2	740	720	900	160	810	270
	Mg3				240	1150	
Teneurs foliaires en Mg (% m.s.) <i>Leaf Mg contents (% DM)</i>	Mg0	0,105	0,140	0,077	0,110	0,090	0,092
	Mg1	0,189	0,235	0,151	0,198	0,180	0,198
	Mg2	0,246	0,385	0,189	0,271	0,220	0,245
	Mg3				0,311	0,240	
Productions (kgR/arbre /an) <i>Yield (kg FFB/palm/year)</i>	Mg0	140	113	122	67	170	130
	Mg1	161	139	152	84	190	158
	Mg2	162	156	154	86	188	158
	Mg3				87	190	

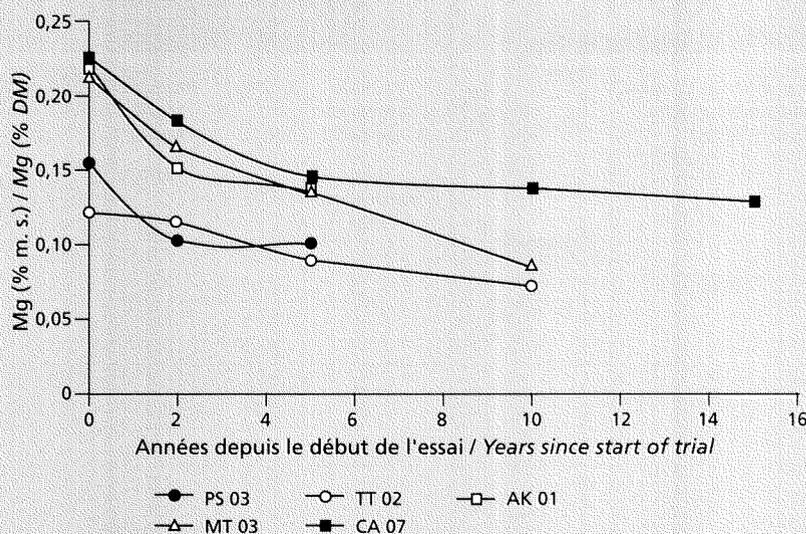


Figure 1. Evolution des teneurs en magnésium des témoins. / Magnesium content trends for controls.

Tableau 2. Fumures de 0 à 4 ans et teneurs en magnésium en Equateur (SK 01).
Fertilizers from 0 to 4 years and magnesium contents in Ecuador (SK 01).

Traitement / Treatment	Mg0	Mg1	Mg2
Dose cumulée de MgO (g/arbre) Cumulated MgO rate (g/palm)	0	800	2 400
Teneurs en Mg à 1,5 an (% m.s.) Mg contents at 1.5 year (% DM)	0,146	0,152	0,173 **
Teneurs en Mg à 4,5 ans (% m.s.) Mg contents at 4.5 years (% DM)	0,107	0,114	0,124**

** : significatif au seuil 1 % / significant at 1%

l'absorption mais n'améliorent que faiblement la nutrition (tableau 2). Dans le cas de l'essai BB 05, planté en 1986 en Indonésie, au cours duquel des doses de kiesérite et de dolomie atteignant respectivement jusqu'à 2 et 4 kg/arbre ont été appliquées pendant plusieurs années, il n'y a aucun effet des traitements par rapport au témoin (tableau 3). Dans le premier exemple, les arbres de cette expérience sont encore jeunes, montrent des symptômes marqués de carence et souffrent de dessèchement des folioles. La nature du sol (présence d'allophanes), l'effet acidifiant des sulfates et l'utilisation d'ammonium comme source d'azote, peuvent avoir accéléré la déficience en magnésium. Dans le second cas les arbres ne montrent pas de symptômes de déficience et les productions sont excellentes.

Des résultats d'analyses de sol sont présentés au tableau 4. Les sols des expé-

riences qui montrent de bonnes réponses de la nutrition en magnésium à la fertilisation magnésienne se caractérisent par des teneurs en magnésium échangeable et des rapports Mg/K faibles. Ceci explique certainement la baisse des teneurs en magnésium des témoins et le redressement effectif dès qu'un apport extérieur est effectué.

Tableau 3. Fumures de 6 à 10 ans et teneurs en magnésium en Indonésie (BB 05).
Fertilizers from 6 to 10 years and magnesium contents in Indonesia (BB 05).

Traitement / Treatment	Mg0	Kiesérite	Dolomie Dolomite
Dose annuelle moyenne (g/arbre) Mean annual rate (g/palm)	0	2 000	4 000
Teneurs en Mg à 10 ans (% m.s.) Mg contents at 10 years (% DM)	0,162	0,159	0,159

Dans l'essai SK 01, pour lequel l'absorption du magnésium est très faible, la disponibilité en cet élément paraît plus élevée – taux Mg/Cec et rapport Mg/K plus élevés – les résultats obtenus sembleraient donc contradictoires. Dans une autre expérience (TT 01) en Equateur, où le comportement des palmiers et la disponibilité en magnésium étaient similaires, Fallavier et Olivin (1988) ont suggéré la nécessité de s'intéresser au devenir du magnésium dans le sol. Une expérience de percolation sur colonnes de terre a été réalisée avec ce type de sol qui se caractérise par un pH plus élevé, des teneurs en magnésium mais aussi en calcium échangeables élevées, et un taux de saturation total du complexe très élevé dont une grande part par le calcium (tableau 4). Cette expérience a montré que la fraction de magnésium retenue était notablement inférieure à celles des autres unités pédologiques pour lesquelles, une carence magnésienne s'avérait facile à corriger (cas des expériences CA 07, MT 03, PS 03 et AK 01) ; de plus elle a mis en évidence que le magnésium apporté s'échange principalement avec le Ca et devient alors peu facilement disponible, et qu'il n'entraîne pas de déplacement de K (dont la disponibilité n'est pas sensiblement accrue). Le cas de plantations en Papouasie-Nouvelle-Guinée sur sols jeunes issus de cendres volcaniques et pierre ponce se rapproche des cas précédents.

D'autres paramètres qui n'ont pas été particulièrement étudiés dans le réseau expérimental décrit, sont susceptibles d'influencer l'absorption du magnésium (Mengel et Kirkby, 1987). On a observé que l'absorption est souvent plus faible en milieu acide, phénomène sans doute dû à une augmentation de la concentration en Al^{+++} plus qu'à celle en H^+ . Par ailleurs, l'absorption par les racines peut être fortement ralentie par une augmentation de la concentration en K^+ ou en NH_4^+ . En revanche les nitrates ont une influence positive.

Tableau 4. Caractéristiques du complexe absorbant des sols. / Table 4. Characteristics of the soil absorbing complex.

Essai ou pays Trial or country	Profondeur Depth (cm)	pH eau Water pH	Cations échangeables) Exchangeable cations (meq/100 g)			Cec (meq/100g)	Taux de saturation de Cec Cec saturation rate	Mg/Cec	Rapport Mg/K Mg/K ratio	Ca/Cec
			Ca++	Mg++	K+					
CA 071	0-20	4,2	0,15	0,12	0,04	2,70	0,12	0,04	3,0	0,06
	20-40	4,4	0,15	0,08	0,08	2,20	0,14	0,04	1,0	0,07
MT 031	0-20	4,8	1,23	0,08	0,06	2,44	0,56	0,03	1,3	0,50
	20-30	4,8	0,20	0,01	0,03	1,70	0,14	0,00	0,3	0,12
PS 031	0-20	4,5	1,01	0,21	0,24	6,60	0,22	0,03	0,9	0,15
	20-40	4,6	0,68	0,23	0,24	4,82	0,24	0,05	0,9	0,14
AK 011	0-20	4,9	1,00	0,25	0,23	8,46	0,17	0,03	1,1	0,12
SK 01	0-20	5,2	3,27	0,59	0,14	3,97	1,0	0,15	4,2	0,82
	30-50	5,2	2,16	0,47	0,10	2,90	0,94	0,16	4,7	0,74
TT 01	0-30	6,2	11,00	1,83	0,19	12,40	1,0	0,15	9,6	0,88
PNG	0-15	6,5	9,7	1,1	0,24	13,9	0,79	0,08	4,6	0,70
	15-30	6,3	5,3	0,51	0,10	8,4	0,71	0,06	5,1	0,63

1 : expérience qui montre une bonne réponse de la nutrition en magnésium à la fertilisation magnésienne / trial showing a good magnesium nutrition response to magnesium fertilization

Cec : capacité d'échange cationique / cation exchange capacity

PNG : Papouasie-Nouvelle-Guinée / Papua New Guinea

L'absorption du magnésium n'est donc pas sous la seule dépendance de la richesse du sol en cet élément ou des apports d'engrais ; elle est aussi en étroite relation avec l'absorption d'autres éléments. Ces interactions se traduisent par des antagonismes ou des synergies d'absorption.

Antagonisme d'absorption

Il s'agit principalement du potassium bien que les antagonismes avec le calcium existent, mais ils sont moins communs et préoccupants car indirectement obtenus par des fertilisants non destinés à augmenter les teneurs en calcium. Au contraire, le palmier à huile répondant souvent bien à la fertilisation potassique, les apports répétés de chlorure ou de sulfate de potassium dépriment les teneurs foliaires en magnésium comme le montre la figure 4.

L'effet dépressif des fumures potassiques est d'autant plus important que les teneurs initiales en magnésium sont élevées (essais MT 03, CA 07). Il n'y a donc aucun intérêt à rechercher une nutrition magnésienne pléthorique. L'effet de la première dose de KCl est net par rapport au témoin, il diminue au fur et à mesure que les doses s'accroissent. On retient pour la gestion des fumures en plantations industrielles que la baisse des teneurs en magnésium est généralement proche de 0,01 unité par kilo sup-

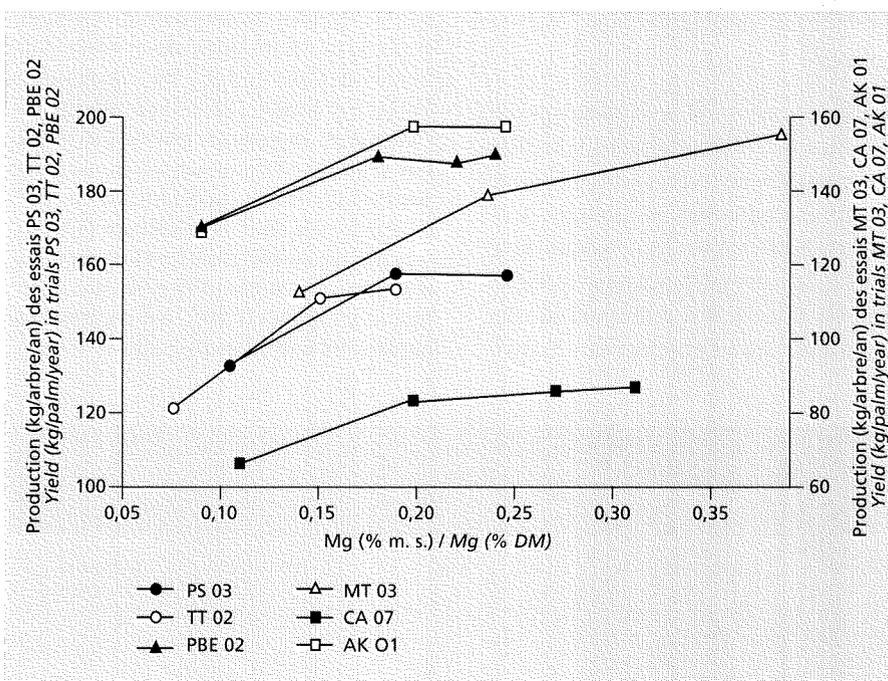


Figure 2. Nutrition magnésienne et production. / Magnesium nutrition and production.

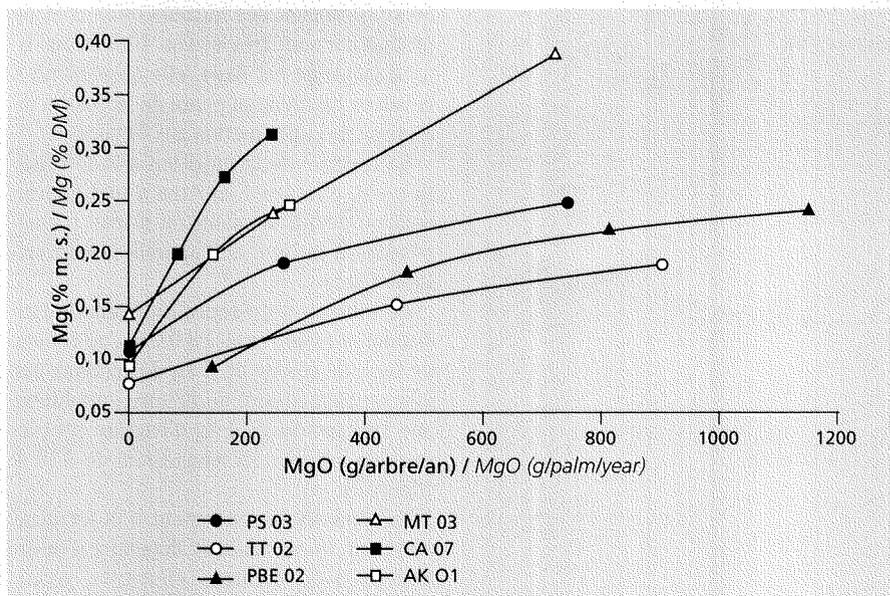


Figure 3. Absorption du magnésium. / Magnesium uptake.

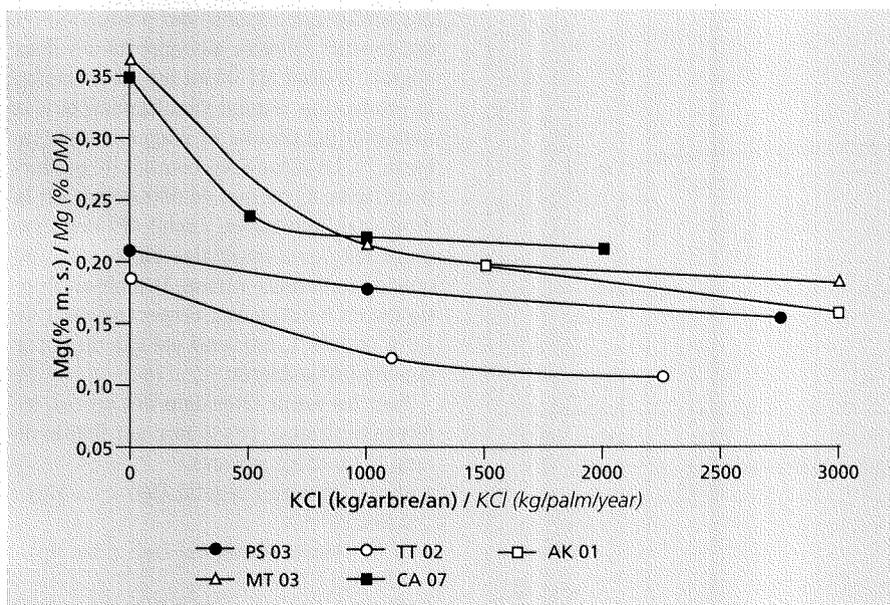


Figure 4. Fertilisation potassique et absorption du magnésium. / Potassium fertilization and magnesium uptake.

Tableau 5. Fumures, de 1993 à 1997, et teneurs en magnésium. / Fertilizers from 1993 to 1997, and magnesium contents.

Objet / Treatment	C10	C11	C12
Dose cumulée de NaCl (kg/arbre) Cumulated NaCl rate (kg/palm)	0	1,10	3,30
Teneurs en Mg en septembre 1997 (% m.s.) Mg contents in September 1997 (% DM)	0,092	0,125**	0,129**

** : significatif au seuil 1 % / significant at 1%

plémentaire de KCl au-delà du premier kilo d'engrais.

Synergie d'absorption

Certains auteurs (Ollagnier et Olivin, 1984) ont constaté dans des expériences que le magnésium est mieux absorbé en présence de chlorures plutôt que de sulfates. Ainsi dans l'essai PE 02, au Pérou, les teneurs en magnésium (moyenne de 3 à 6 ans) atteignaient respectivement 0,240 et 0,219 % (probabilité < 1 %), selon la nature de l'engrais potassique (KCl-K₂SO₄). Un autre exemple de synergie entre le chlore et le magnésium est observé dans l'essai SK 01 où l'effet du NaCl est au moins aussi important que celui du MgCO₃ (tableau 5).

Cette synergie est de même nature que celle du chlore avec le calcium, autre cation divalent intervenant dans la fertilisation du palmier à huile dans des engrais phosphatés par exemple, mais dont l'importance dans la nutrition n'est prise en compte qu'en terme de balance avec les autres cations.

Effets des engrais magnésiens sur la nutrition potassique et azotée

Etant donné l'antagonisme d'absorption entre Mg et K, les apports d'engrais magnésiens ont réciproquement un effet dépressif sur K, analogue à celui des fumures potassiques sur le magnésium. La figure 5 illustre ce phénomène.

Il apparaît que l'effet dépressif est surtout très important avec l'apport de la première dose par rapport au témoin mais peut rester non négligeable par la suite (MT 03, AK 01). Il y a donc lieu, là aussi, d'être raisonnable quant à la gestion des teneurs en magnésium puisque cette stratégie se fait au détriment de la nutrition potassique.

Les apports d'engrais magnésiens sont généralement neutres ou ont un effet bénéfique significatif sur la nutrition azotée, comme on peut le voir sur les essais PS 03, TT 02, PBE 02 et AK 01 de la figure 6.

Cependant les deux autres essais – MT 03 et CA 06 – montrent un effet dépressif, ce qui confirme que les mécanismes d'absorption sont complexes, dépendent des conditions édaphiques locales et n'ont pas été analysés en détail. Les variations dans un sens ou dans l'autre des teneurs en azote restent d'ailleurs modestes et ne reflètent sûrement pas le rôle déterminant du magnésium dans les synthèses protéiques.

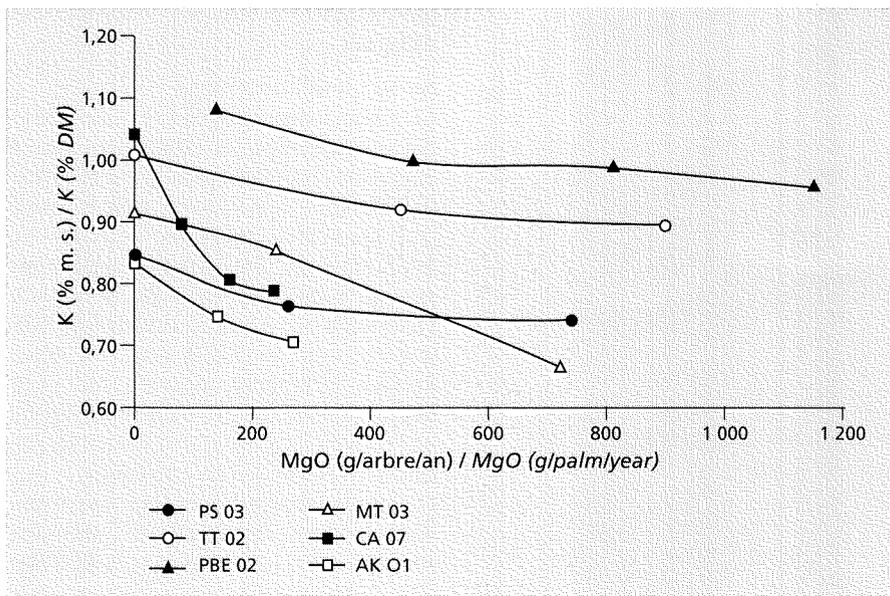


Figure 5. Fertilisation magnésienne et absorption du potassium. / Magnesium fertilization and potassium uptake

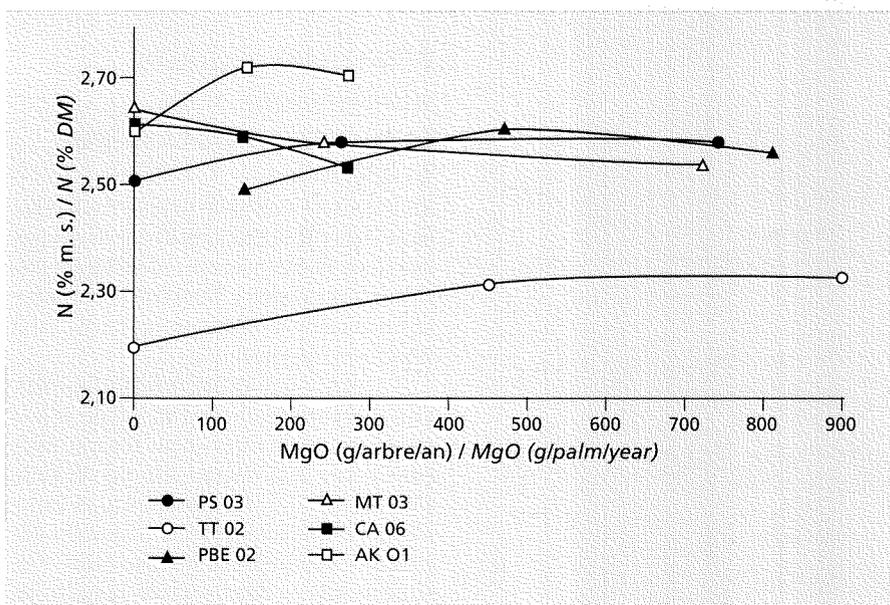


Figure 6. Engrais magnésiens et nutrition azotée. / Magnesium fertilization and nitrogen uptake.

Niveau critique et dose économiquement optimale

Les notions de niveau critique de nutrition et de dose de fertilisation économiquement optimale intègrent totalement les facteurs socio-économiques liés à la fertilisation et à la production : coût des engrais rendus au pied des palmiers (intrants, transport, main-d'œuvre), coût marginal d'une production supplémentaire obtenue grâce à

l'engrais (coûts de récolte, de transport, de traitement du produit), prix moyens des produits sur le marché.

La réponse du rendement à la fertilisation peut se traduire par une courbe d'ajustement qui permet de calculer la dose d'engrais économiquement optimale (Deo) : une approche globale simple est généralement retenue en étudiant le rapport kilo de régimes supplémentaire par kilo d'engrais ajouté, qui peut varier de 2, si les conditions de marché sont très favorables, à plus

de 10, si le coût des intrants ou le coût de production sont très élevés. Une valeur limite moyenne est fixée, elle correspond à la valeur limite de la pente de la courbe de réponse de la production aux fumures.

La réponse de la nutrition à la fertilisation est, elle aussi, ajustée à une courbe dont on déduit la valeur du niveau correspondant à la Deo, on l'appelle niveau critique (Nc).

Le tableau 6 présente un exemple tiré des données de l'essai PS 03. Si l'on retient un taux de retour de 5 kg de régimes par kilo supplémentaire de fumure, on obtient une Deo proche de 1 kg d'engrais qui correspond à un Nc en magnésium de 0,19 % (figure 7).

La réponse du rendement à la fertilisation peut, le cas échéant, dépendre d'interactions avec d'autres éléments. Ainsi, lorsque deux engrais ont une importance décisive sur l'amélioration des rendements, il peut être avantageux de raisonner non plus sur des courbes de réponse mais sur des surfaces de réponse des productions et des teneurs foliaires aux apports des deux engrais. L'essai MT 03 en est un exemple : la production répond simultanément à la nutrition potassique et magnésienne (tableau 7). Le lissage des courbes de production (figure 8) permet de déterminer sur la droite des minima du cumul des deux engrais, les doses optimales en fonction du taux de rentabilité retenu. Des niveaux critiques en K et en Mg, respectivement de 1,0 % et 0,21 %, ont ainsi été calculés pour la période considérée.

Pour les essais cités dans cet article, les niveaux critiques (en % m.s. sur feuille de rang 17) sont les suivants :

- AK 01 (matériel végétal Deli x La Mé) : 0,19-0,21
- TT 02 (matériel végétal Deli x La Mé) : 0,20-0,21
- MT 03 (matériel végétal Deli x La Mé) : 0,20-0,21 (à confirmer)
- PS 03 (matériel végétal Deli x La Mé) : 0,18-0,20 (à confirmer)
- PBE 02 (matériel végétal Marihat) : 0,18 (à confirmer, essai très récent)
- CA 07 (matériel végétal Deli x La Mé) : 0,20-0,24

Lors de l'analyse des résultats expérimentaux, quelle que soit la méthode utilisée, il y a lieu de se montrer prudent et de toujours raisonner sur la moyenne de plusieurs campagnes, tant pour les résultats de production que pour les paramètres économiques. Lors d'essais de longue durée, on constate parfois que les niveaux critiques varient selon les périodes d'observa-

Tableau 6. Moyennes des productions de l'essai PS 03, de 1995 à 1997. / Mean yields in trial PS 03 from 1995 to 1997.

Variables	Traitement / Treatments			Ajustements / Adjustments
	Mg0	Mg1	Mg2	
Dose d'engrais (kg/arbre /an) Fertilizer rate (kg/palm/year)	0	1	2,75	
Teneurs en magnésium (% m.s.) Magnesium contents (% DM)	0,105	0,189	0,246	Mg = 0,269 - 0,164. exp (- 0,72 dose d'engrais / fertilizer rate)
Production (kgR/arbre/an) Yields (kg FFB/palm/year)	140	161	162	PR / FFB = 162 - 22. exp (- 3,09 dose d'engrais / fertilizer rate)

PR : production de régimes / FFB production

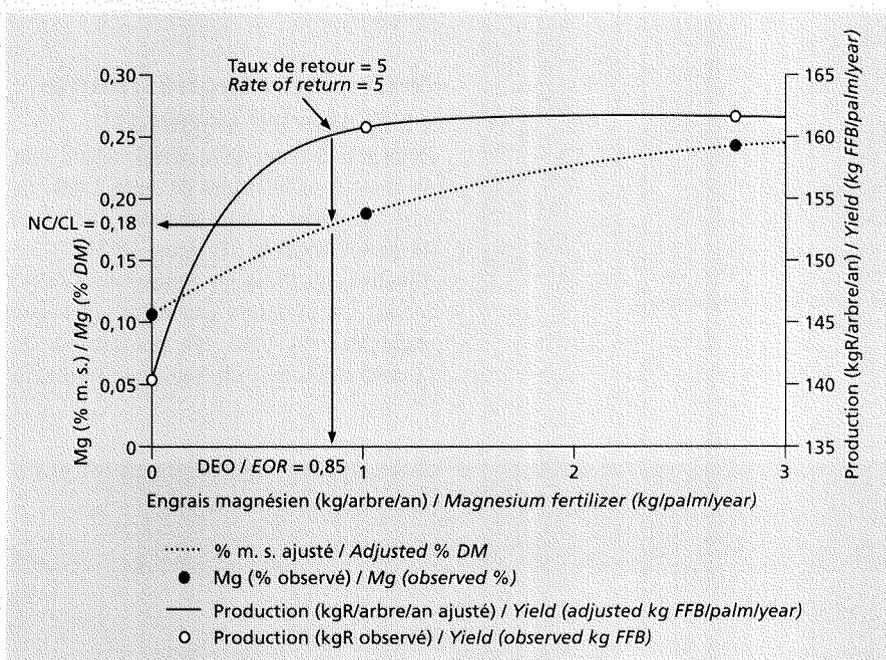


Figure 7. Réponses aux engrais magnésiens : niveau critique (Nc) et dose économiquement optimale (Deo). / Responses to magnesium fertilizers: critical level (C) and economically optimum rates (EOR).

tion et que ceci peut être lié à une évolution d'autres facteurs conditionnant la production tels que les régimes climatiques ou l'état sanitaire des plantations. En revanche, il faut noter que si les Deo sont très sensibles aux conditions économiques, les Nc en sont assez peu dépendants.

La gestion de la fumure magnésienne

Comme cela a déjà été démontré, la gestion de la fumure magnésienne dépend des réponses de la production et de la nutrition en magnésium. Si un niveau critique est déterminé, un barème de fumure sera établi, de telle sorte que les doses d'engrais définies permettent d'atteindre et de maintenir ce niveau.

Lorsqu'il n'y a pas d'expérimentation ou si les résultats ne permettent pas la détermination d'un niveau critique, il y a lieu de fixer avec prudence un minimum que l'on s'efforcera d'atteindre en plantation.

Tableau 7. Moyennes des productions de l'essai MT 03, de 1994 à 1995. / Mean yields in trial MT 03 from 1994 to 1995.

Traitement / Treatment		Mg0	Mg1	Mg2	Moyenne / Mean
K0	Productions (kgR/arbre/an) / Yield (kg FFB/palm/year)	107	115	118	113 (100)
	Teneurs en K (% m.s.) / K contents (% DM)	0,76	0,51	0,41	0,56
	Teneurs en Mg (% m.s.) / Mg contents (% DM)	0,175	0,301	0,437	0,317
K1	Productions (kgR/arbre/an) / Yield (kg FFB/palm/year)	121	141	140	134 (118)
	Teneurs en K (% m.s.) / K contents (% DM)	0,85	0,89	0,71	0,81
	Teneurs en Mg (% m.s.) / Mg contents (% DM)	0,144	0,207	0,276	0,209
K2	Productions (kgR/arbre/an) / Yield (kg FFB/palm/year)	134	145	158	146 (128)
	Teneurs en K (% m.s.) / K contents (% DM)	1,17	1,19	1,04	1,13
	Teneurs en Mg (% m.s.) / Mg contents (% DM)	0,112	0,172	0,256	0,180
Moyenne / Mean	Productions (kgR/arbre/an) / Yield (kg FFB/palm/year)	120 (100)	134 (111)	139 (115)	
	Teneurs en K (% m.s.) / K contents (% DM)	0,92	0,86	0,72	
	Teneurs en Mg (% m.s.) / Mg contents (% DM)	0,144	0,227	0,335	

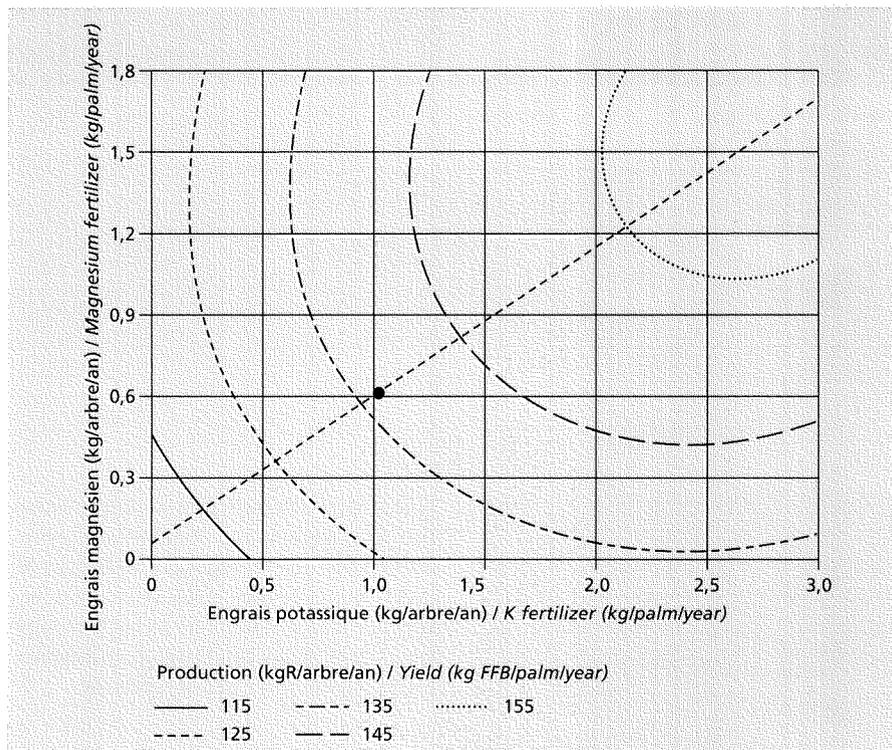


Figure 8. Surfaces de réponse du rendement aux engrais potassiques et magnésiens.
Areas of yield response to potassium and magnesium fertilizers.

Ce minimum « de raison » peut par exemple être tiré d'expériences de plantations voisines ou dont les paramètres climatiques, les sols, le matériel végétal sont comparables. Pour les sites isolés ou particuliers, le niveau à partir duquel on constate la quasi disparition des symptômes visuels peut servir de seuil de référence, le plus souvent par excès. De manière générale, il apparaît que des teneurs comprises entre 0,20 et 0,24 % permettent raisonnablement de s'affranchir de tout risque de perte de production, et qu'à l'exception de certains sols particuliers (SK 01, BB 05), cette gamme de valeurs peut facilement être atteinte.

Les barèmes de fumure utilisés pour gérer la nutrition magnésienne sont très souvent des barèmes à double entrée, K et Mg, qui tiennent compte de l'antagonisme d'absorption des deux éléments. Un exemple présenté au tableau 8 montre qu'à niveau de magnésium constant la fumure recommandée est d'autant plus importante qu'il y a lieu de renforcer la nutrition potassique.

Plusieurs engrais (tableau 9) peuvent être utilisés pour satisfaire les besoins en magnésium des palmeraies. Le choix de l'un d'eux dépend bien souvent de son coût et de sa disponibilité sur le marché local.

Les chlorures ne sont en général pas utilisés en raison de leur forte hygroscopicité qui rend leur manipulation difficile. La dolomie (carbonate double de magnésium et de calcium) est particulièrement intéressante en cas de sols très acides en raison du calcium qu'elle apporte, sans risque d'antagonisme important pour le magnésium, mais avec un effet dépressif possible sur le potassium, en particulier sur des sols à forte saturation en calcium. Les sulfates, kiesérite et surtout sel de Epsom, sont généralement plus solubles que les carbonates ; ils peuvent donc s'avérer intéressants dans le cas où une déficience marquée en magnésium doit être corrigée rapidement.

Nutrition magnésienne et matériel végétal

Deux grands types de matériel végétal sont présents dans les zones de cette étude. Ils correspondent à deux origines distinctes du parent pisifera : l'origine La Mé (Côte d'Ivoire) et l'origine Yangambi (Zaïre, Ineac). La première est utilisée presque exclusivement dans les plantations de l'Ouest africain et en Amérique latine, la

Tableau 8. Doses annuelles de kiesérite (27 % MgO) de l'essai CA 07 (en g/arbre).
Annual kieserite rates (27% MgO) in trial CA 07 (g/palm).

Teneurs en Mg (% m.s.) Mg contents (% DM)	Teneurs en K (% m.s.) K contents (% DM)				
	< 0,75	0,75-0,85	0,85-0,95	0,95-1,05	> 1,05
< 0,16	1 500	1 200	900	700	500
0,16-0,20	900	700	500	300	200
0,20-0,22	500	400	300	200	100
0,22-0,26	200	200	100	0	0
> 0,26	0	0	0	0	0

Tableau 9. Principaux types d'engrais magnésiens. / *Main types of magnesium fertilizers.*

Appellation / Name (composition)	Teneur en MgO / MgO content (%)
Kiesérite / Kieserite (MgSO ₄ · H ₂ O)	27
Sel de Epsom / Epsom salts (MgSO ₄ · 7H ₂ O)	16
Magnésite / Magnesite (MgCO ₃)	40-45
Dolomie (carbonate double de magnésium et de calcium) Dolomite (double magnesium and calcium carbonate)	5-20
Chlorure de magnésium Magnesium chloride (MgCl ₂ · nH ₂ O)	20

seconde dans celles du Sud-Est asiatique et en Amérique latine.

On observe généralement des différences d'apparition des symptômes sous des conditions écologiques données : le matériel Deli x Yangambi présente moins de symptômes visuels que le matériel Deli x La Mé. Le même classement du comportement selon les origines se retrouve généralement sous des conditions de milieu différentes.

Les expériences dont les résultats sont analysés ici utilisent presque toutes du matériel Deli x La Mé, installé dans des plantations commerciales contenant un

La Mé, issu de l'autofécondation de LM2T (D x P), met en évidence des différences significatives pour des teneurs en magnésium variant de 0,173 à 0,232 % m.s. (essai AKGP 02). En outre, en Côte d'Ivoire, une enquête menée sur des tests de géniteurs utilisant du matériel Deli x La Mé et des clones apparentés montre aussi des différences significatives pour l'absorption entre 4 et 6 ans (tableau 10). Enfin, l'essai AKGP 12, planté en 1978, permet de suivre de 6 à 9 ans l'évolution des teneurs en magnésium de matériels Deli x La Mé et Deli x Yangambi. Il n'y a pas d'analyse statistique possible mais on remarque que

les croisements sont restés approximativement classés dans le même ordre (tableau 11).

Ces résultats n'apportent aucune conclusion pratique sur la possibilité de gérer les fumures selon le matériel végétal, même s'il est vraisemblable que des matériels différents ont des besoins différents en engrais. Ils soulignent cependant qu'avec l'identification de plus en plus précise du matériel végétal en plantations industrielles ou villageoises, il faudra se soucier de préciser la variabilité des réponses de la nutrition et les niveaux critiques qui en découlent.

Tableau 10. Teneurs en magnésium (% m.s.) de quelques essais clonaux. / Magnesium contents (% DM) in some clone trials.

Matériel végétal Planting material	LMGP 70 (1985)	LMGP 71 (1985)		LMGP 85 (1987)	
	Mg (déc. / Dec. 1989)	Mg (déc. / Dec. 1989)	Mg (janv. / Jan. 1991)	Mg (déc. / Dec. 1989)	Mg (janv. / Jan. 1991)
LM 2T x DA 10D LMC 056	0,242 (100) bc	0,331(100) a 0,307 (93) ab	0,304 (100) a 0,301 (99) a	0,371 (100) bc	0,361(100) cde
LM 10T x DA 8D LMC 007 LMC 090		0,255 (77) c 0,284 (86) bc	0,250 (82) b	0,317 (85) d	
LM 2T x DA 8D LMC 051	0,226 (93) cd 0,209 (86) d	0,270 (82) c 0,222 (67) d	0,249 (82) b 0,212 (70) c	0,328 (88) d	0,346 (96) de
DA115D AF x LM2T AF LMC 022 LMC 061				0,392 (106) ab 0,379 (102) abc 0,403 (109) a	0,410 (114) a 0,395 (109) ab 0,410 (114) a
LM 10T x DA 118D LMC 024 LMC 103	0,267 (110) ab	0,340 (103) a		0,358 (96) c 0,390 (105) ab	0,340 (94) e 0,369 (102) cd
LM 2T x LM 269D LMC 057	0,265 (110) ab 0,292 (121) a				

mélange de croisements ou la reproduction d'un croisement. Il ne s'agit donc pas de dispositifs permettant d'établir des courbes de réponse pour les symptômes, la nutrition et la production de matériels différents et d'en comparer les niveaux critiques respectifs.

Quelques éléments permettent cependant d'appuyer l'hypothèse de comportements différents pour l'absorption du magnésium lorsque la fertilisation est identique pour chaque matériel végétal. L'analyse statistique des teneurs foliaires à six ans de 24 croisements génétiquement très proches entre Dura Deli, issu de l'autofécondation de DA 10D et Pisifera

Tableau 11. Teneur en magnésium de matériels d'origines différentes (essai AKGP 12). Magnesium contents of materials of different origins (trial AKGP 12).

Matériel végétal Planting material	Mg (déc. / Dec. 1983)		Mg (déc. / Dec. 1985)		Mg (sept. / Sept. 1987)	
	m.s. / DM %	T / C %	m.s. / DM %	T / C %	m.s. / DM %	T / C %
BJ 345	0,313	126	0,264	139	0,339	150
BJ 217	0,235	95	0,185	98	0,231	102
BJ 095	0,302	122	0,244	129	0,275	122
T 066	0,255	103	0,174	92	0,24	106
SL 200	0,246	99	0,223	118	0,195	86
SL 134	0,214	86	0,161	85	0,226	100
DA115D AF x LM2T AF ¹	0,248	100	0,190	100	0,226	100

T : lignée témoin (T) représentée par 19 croisements / control (C) represented by 19 crosses

Conclusion

Les résultats de ces essais montrent que lorsque les teneurs foliaires en magnésium atteignent des niveaux très bas, en dessous de 0,18-0,20 % m.s., accompagnés généralement de l'apparition de symptômes marqués de carence, on enregistre des améliorations importantes de la productivité pour peu que l'absorption du magnésium soit satisfaisante. La seule observation des symptômes de déficience n'est pas suffisante pour établir des préconisations de fumures, et il est nécessaire de s'appuyer sur des résultats d'analyses foliaires.

L'absorption du magnésium est sous la forte dépendance des caractéristiques pédo-logiques de chaque site : nature et état du complexe absorbant, sa saturation par les différents cations dont le calcium, les compétitions d'absorption des cations entre eux, dont celle entre le potassium et le magnésium. Ainsi, l'utilisation très fréquente de chlorure ou de sulfate de potasse a un effet dépressif sur les teneurs en magnésium : cette baisse ne dépasse pas 0,01 % m.s./ kg d'engrais. En revanche, l'effet dépressif des engrais magnésiens sur l'absorption du potassium doit être pris en compte car la recherche de teneurs en magnésium élevées se fait généralement au détriment de la nutrition potassique. L'utilisation d'engrais phosphatés contenant du calcium ou de chlorures pouvant entraîner une synergie d'absorption du calcium doit

dans certains cas, sols d'origine volcanique par exemple, être pris en considération.

Il y a donc lieu d'établir, pour chaque site, les courbes de réponse aux engrais de l'absorption et de la production et de vérifier les interactions avec les autres éléments. Cette démarche, basée sur un dispositif expérimental, aboutit à la définition de doses économiquement optimales et à l'élaboration de barèmes de fumures en fonction des critères économiques propres à chaque situation.

Les résultats de plusieurs expériences menées dans des conditions écologiques (sols et climats) fort différentes montrent qu'il n'y a généralement pas d'intérêt à obtenir des teneurs foliaires supérieures à 0,20 % m.s. sur feuille de rang 17, pour du matériel végétal de type génétique Deli x La Mé. Quelques données montrent aussi qu'au sein de ce matériel certains croisements pourraient exprimer des comportements différents pour l'absorption et l'expression des symptômes de déficience. Ces résultats, sans apporter de preuve formelle, suggèrent que des matériels génétiques présentant des caractéristiques végétatives distinctes devront être gérés avec des niveaux critiques et des barèmes spécifiques. Cet aspect devra obligatoirement être pris en compte à l'avenir, avec la mise sur le marché de matériels variés d'origine sexuée, et à terme de matériel clonal, qui seront identifiés au champ.

Bibliographie / References

- BREURE J.C., ROSENQUIST E.A., 1977. Une expérience de fumure sur palmiers à huile en sol volcanique de Papouasie-Nouvelle-Guinée. *Oléagineux* 32 (7) : 301-310.
- FALLAVIER P., OLIVIN J., 1988. Etude expérimentale de la dynamique du potassium et du magnésium dans quelques sols tropicaux représentatifs des zones de culture du palmier à huile. *Oléagineux* 43 (3) : 93-105.
- MARSCHNER H., 1997. Mineral nutrition of higher plants. 2^e édition. Londres, Royaume-Uni, Academic Press, 889 p.
- MENGEL K., KIRKBY E.A., 1987. Principles of plant nutrition. 4^e édition. Berne, Suisse, International Potash Institute, 685 p.
- OLLAGNIER M., OLIVIN J., 1984. Effets de la nutrition sur la production. Progrès génétiques et effets de la nutrition sur la qualité de l'huile de palme. *Oléagineux* 39 (8-9) : 401-407.
- UMMAR AKBAR, TAMPUBOLON F.H., AMIRUDDIN D., OLLAGNIER M., 1976. Fertilizer experimentation on oil palm in North Sumatra. *Oléagineux* 31 (7) : 305-316.

Importance of magnesium nutrition in oil palm

Dubos B.¹, Caliman J.P.¹, Corrado F.¹, Quencez P.¹, Siswo Suyanto², Tailliez B.¹

¹ CIRAD-CP, TA 80/01, 34398 Montpellier Cedex 5, France

² Libo Research, Kantor P.T. Smart Corporation, Pekanbaru Riau, Indonesia

Magnesium deficiencies are usually spectacular and easily identified by growers, who then fear major yield losses in their oil palm planting. There is a temptation to return to a greener and healthier foliage through substantial fertilizer applications, without any consideration of the true impact on yields. The purpose of this article is to examine the results in several trials worldwide, so as to draw conclusions that are applicable for rational magnesium fertilizer management based on the results of regular leaf analyses.

Magnesium plays an essential role in photosynthesis due to its presence in the chlorophyll molecule, which generally immobilizes from 6 to 25% of total magnesium in the foliage (Marschner, 1997). That proportion increases in line with the magnesium deficiency level and can reach or exceed 35%. It is generally accepted that depressive effects on growth and visible deficiency symptoms begin when the ratio exceeds 20 to 25% depending on the species. A major share of the magnesium is involved in the balance between cations and anions and helps in maintaining the pH within the cells. It is involved in the enzymatic mechanisms of phosphorylation and plays an essential role in protein and RNA synthesis.

Given its high mobility within the phloem, it can be rapidly translocated from older tissue to the most recent tissues in the event of a deficiency, which increases the expression of symptoms in the older vegetative parts.

Magnesium deficiency symptoms

Symptoms in the oil palm are characterized by uniform discolouration on the leaflets of the older fronds, ranging from yellow to bright orange-yellow. They are usually accompanied by necroses that spread from the tips of the leaflets, which turn reddish-brown. Although symptoms are usually more frequent in young plantings, they can occur on adult palms and develop spectacularly over large areas. Such development lies behind the name "Pulau Raja disease" coined in Indonesia in the 70s (Ummar Akbar *et al.*, 1976).

Symptoms generally begin on a few isolated palms revealing slight chlorosis, then increase in intensity, whilst individual foci form. In the field, magnesium deficiency is usually found on units of poorer soils and/or under stronger light conditions, which undoubtedly explains the more frequent occurrence along the edges of plots. It is generally agreed that the first isolated symptoms occur when the leaf magnesium contents of a mean sample reach 0.20 - 0.24% of dry matter (DM), but that marked deficiencies correspond to contents below 0.18%. Tailliez (*pers. comm.*) found in Indonesia that there was usually a good relation between magnesium contents and the degree of leaf drying, but that the relation with yellowing intensity could be more approximative and dependent upon the planting material.

In certain particular situations, the relation between the symptoms and the magnesium deficiency completely depart from that rule, as is the case with the trial in Indonesia. In that trial, where the leaf contents of the different treatments remain between 0.14 and 0.16%, no deficiency symptoms have appeared and the palms have a highly satisfactory green colour.

Effect of magnesium nutrition on yields

Several field trials are studying the role of magnesium nutrition in Latin America, Africa or Southeast Asia on various types of soil. When the contents of treatments not receiving magnesium fertilizer remain above 0.20% DM, yields do not usually respond to fertilizer applications, irrespective of the rate applied. Breure and Rosenquist (1977) made the same observation for contents of between 0.17 and 0.19% DM. However, a response does occur for magnesium contents of below 0.15%, for instance in the trial considered here, where significant gains of 10 to 40% have been obtained by applying magnesium fertilizers (table 1).

In these six trials, the change in the Mg0 control treatments was very rapid in the initial years after the treatments were introduced (figure 1). The higher the native contents the more rapid the drop, and it was generally at the end of this phase that the yield differences became significant compared to the control. Thereafter, the contents continued to decrease, reaching very low values, sometimes under

0.10%, with minima of as little as 0.05% DM recorded (trial AL 02 in Indonesia).

For five of the six trials, the curves for yield response to magnesium nutrition (figure 2) reveal a limit beyond which yields no longer increase significantly, when they are not stationary. Except in trial TT 02, that limit corresponds to a leaf 17 magnesium content of 0.18-0.20% DM, which is obtained right from Mg1 (table 1).

In trial MT 03, the yield increase remains high beyond 0.23% DM even though the gain is less rapid beyond that point. This trial shows that under its specific soil and climatic conditions, a high magnesium level seems necessary for total expression of yields. These results will be referred to later regarding critical levels.

Magnesium uptake

In all the trials, magnesium uptake responds well to the fertilizer rates applied (figure 3). It can be very intense and virtually linear (trials CA 07, AK 01 and MT 03), or on the contrary there may be an asymptotic trend (trials PS 03, TT 02 and PBE 02).

At some sites, however, magnesium uptake is very low or nonexistent. In Ecuador, for instance, trial SK 01 was set up in 1993 to study the application of two magnesium rates in sulphate then carbonate form. After five years' application of the treatments, the effect on uptake, whilst significant, only slightly improves nutrition (table 2). In trial BB 05, planted in Indonesia in 1986, where kieserite and dolomite rates of up to 2 and 4 kg/palm respectively have been applied for several years, there is no treatment effect compared to the control. In the first example, the palms, which are still young, show marked deficiency symptoms and have dried out leaflets. The soil type (presence of allophanes), the acidifying effect of sulphates and the use of ammonium as a nitrogen source may have accelerated the magnesium deficiency. In the second case, the palms do not show any deficiency symptoms, and yields are excellent.

Soil analysis results are given in table 4. The soils in the trials showing a good response to mineral nutrition are characterized by low exchangeable magnesium contents and Mg:K ratios. This undoubtedly explains the drop in control contents and the effective improvement

This article corresponds to a paper given at the 1999 PORIM International Palm Oil Congress held in Jakarta, Indonesia, from 1 to 6 February 1999.

that occurs as soon as magnesium is applied. In trial SK 01, in which magnesium uptake is very low, availability of that nutrient is higher—higher Mg/CEC proportion and Mg:K ratio—, and the results obtained therefore appear to be contradictory. In another trial (TT 01) in Ecuador, where oil palm performance and magnesium availability were similar, Fallavier and Olivin (1988) suggested that it would be worth finding out what became of the magnesium in the soil. A percolation experiment on soil columns was carried out on this type of soil, which is characterized by a higher pH, high magnesium and also calcium contents and a very high total complex saturation rate, primarily by calcium (table 4), showing that the fraction of magnesium taken up was markedly smaller than in the other soil units, for which a magnesium deficiency proved easy to correct (case of trials CA 07, MT 03, PS 03 and AK 01); moreover, it revealed that applied magnesium is primarily exchanged with Ca and thus becomes less easily available, and that there is no K displacement (K availability is not markedly increased). The case of plantings in Papua New Guinea on young soils derived from volcanic ash and pumice stone is similar to that of the above trials.

Other parameters that were not particularly studied in the experimental network are likely to affect magnesium uptake (Mengel and Kirkby, 1987). Uptake is frequently lower in an acid medium and this phenomenon is apparently due to an increase in Al^{+++} concentration rather than that of H^+ . Moreover, root uptake can be slowed down considerably by an increase in K^+ or NH_4^+ concentration. On the other hand, nitrates have a positive effect.

Magnesium uptake therefore does not only depend on the magnesium richness of the soil or on fertilizer applications; it is also closely related to the uptake of other nutrients. These interactions result in uptake antagonisms or synergies.

Uptake antagonism

This primarily involves potassium, though antagonism with calcium is sometimes reported, but they are less common and worrying as they are indirectly obtained with fertilizers not intended to increase calcium contents. On the contrary, as oil palm plantings often respond well to potassium fertilization, repeated potassium chloride or sulphate applications depress leaf magnesium contents, as can be seen in figure 4.

The higher the initial magnesium contents, the greater the depressive effect of potassium fertilizers (trials MT 03 and CA 07). There is therefore no point in striving for superabundant magnesium nutrition. The effect of the first KCl

rate is clear compared to the control, and it gradually decreases as the rates increase. The consequences for fertilizer management on commercial plantations are that the reductions in magnesium contents are usually around 0.01 unit per additional kilo of KCl applied over and above the first kilo.

Uptake synergy

Some authors (Ollagnier and Olivin, 1984) noted in some trials that magnesium is more effectively taken up when in the presence of chloride rather than sulphates. For instance, in PE 02 (Peru) the magnesium contents (mean from 3 to 6 years) reached 0.24 and 0.219%** (probability < 1%), depending on the type of potassium fertilizer ($KCl-K_2SO_4$). Another example of Cl-Mg synergy is provided by SK 01 where the NaCl effect is at least as great as the $MgCO_3$ effect.

This synergy is similar to that of chlorine with calcium, another divalent cation involved in oil palm fertilization, for instance in phosphate fertilizers, but whose importance for nutrition is only taken into account in terms of the balance with other cations.

Effects of magnesium fertilizers on potassium and nitrogen nutrition

Given the uptake antagonism between Mg and K, magnesium fertilizer applications have a depressive effect on K similar to that of potassium fertilizers on magnesium. Figure 5 illustrates this phenomenon.

It appears that the depressive effect is very strong in particular for the first rate, when compared to the control, but that the effect can remain not insubstantial thereafter (MT 03, AK 01). There is therefore once again every interest in being rational in the management of magnesium contents, since this strategy is to the detriment of potassium nutrition.

Magnesium fertilizer applications are usually neutral or have a significant beneficial effect on nitrogen nutrition, as shown by trials PS 03, TT 02, PBE 02 and AK 01 in figure 6.

However, the other two trials—MT 03 and CA 06—reveal a depressive effect, reflecting that uptake mechanisms are complex, depend on local soil conditions, and were not analysed in detail. The upward or downward variations in nitrogen contents remain modest, however, and definitely do not reflect the decisive role of magnesium in protein synthesis.

Critical levels and economically optimum rates

The concepts of critical levels and economically optimum fertilizer rates fully integrate the socio-economic factors linked to fertilization and production: the cost of the fertilizers applied (inputs, transport, labour), the

marginal cost of the yield gain obtained using the fertilizer (product harvesting, transport and processing costs), and average product prices on the market.

Yield response to fertilizers can be plotted in an adjustment curve that can then be used to calculate the economically optimum fertilizer rate (EOR): a simple overall approach is usually adopted by studying the ratio of kilos of extra FFB per kilo of fertilizer applied, which can vary from 2 under highly favourable market conditions to 10 in the event of very high input or production costs. An average threshold value is fixed which corresponds to the threshold value of the gradient of the curve obtained for yield response to fertilizers. The response of nutrition to fertilization can also be plotted in a curve that is then used to deduce the value corresponding to the EOR, which is known as the critical level (C_1).

Table 6 gives an example drawn from the PS 03 data. Taking a rate of return of 5 kg of FFB per extra kilo of fertilizer, an EOR of around 1 kg of fertilizer is obtained, which corresponds to a leaf magnesium C_1 of 0.19% (figure 7).

Yield response to fertilization can in some cases depend on interactions with other nutrients. For instance, when two fertilizers are of decisive importance for yield improvement, it can be advantageous to reason in terms not of response curves, but of response surfaces for the response of yields and leaf contents to applications of the two fertilizers. An example is given by trial MT 03, where yields respond simultaneously to potassium and magnesium nutrition (table 7). By smoothing the yield curves (figure 8), it is possible to determine the optimum application rates, depending on the rate of return adopted, on the cumulated minima line for both fertilizers. K and Mg critical levels of 1.0% and 0.21% respectively were calculated for the period considered.

For the trials mentioned in this article, the critical levels (in % DM of rank 17 leaves) found are as follows:

- AK 01 (Deli x La Mé material): 0.19 - 0.21
- TT 02 (Deli x La Mé material): 0.20 - 0.21
- MT 03 (Deli x La Mé material): 0.20 - 0.21 (to be confirmed)
- PS 03 (Deli x La Mé material): 0.18 - 0.20 (to be confirmed)
- PBE 02 (Marihat material): 0.18 (to be confirmed, very recent trial)
- CA 07 (Deli x La Mé material): 0.20 - 0.24

When analysing the experimental results, whatever the method used, caution is required and reasoning should always be based on the mean of several seasons, for both yield results and economic parameters. In long-term trials, the critical levels are sometimes seen to vary

depending on the observation period, and that may be linked to variations in other factors governing yields, such as climatic conditions or the phytosanitary condition of the plantations. However, it is important to note that whilst the EOR is very sensitive to economic conditions, the C_1 is much less so.

Magnesium fertilizer management

As seen above, magnesium fertilizer management depends on the response of yields and magnesium nutrition. If a critical level is determined, a fertilizer schedule will be drawn up such that the fertilizer rates defined will make it possible to reach and maintain that level.

If there is no experimentation, or the results do not reveal any critical level, a minimum level should be fixed as a precaution and an effort should be made to reach it in commercial plantations. This "rational" minimum may be drawn, for example, from trials at neighbouring plantations, where the climatic, soil and planting material factors are similar. For isolated or specific sites, the level at which visible symptoms virtually disappear can serve as a general reference, usually by excess. Generally speaking, it would seem that contents of between 0.20 and 0.24% provide a reasonable chance of overcoming any risk of yield losses and that with the exception of certain particular soils (SK 01, BB 05), this range of values can easily be reached.

Fertilizer schedules used to manage magnesium nutrition are very often double entry K and Mg schedules that take into account uptake antagonism between the two nutrients. An example given in table 8 shows that for a constant magnesium level, the fertilization recommended increases in line with the need to strengthen potassium nutrition.

Several fertilizers (table 9) can be used to satisfy magnesium requirements in oil palm plantings. The choice often depends on their cost and availability on the local market. Chlorides are not generally used due to their high hygroscopicity which makes them difficult to handle. Dolomite (double magnesium and calcium carbonate) is particularly worthwhile in the case of very acid soils due to the calcium it contains, without any risk of major antagonism for magnesium, but with a possible depressive effect on potassium. Sulphates, kieserite and particularly Epsom salts, are generally more soluble than carbonates, and can therefore prove worthwhile when a marked magnesium deficiency has to be corrected rapidly.

Magnesium nutrition and planting material

Two major types of planting material are used in the zones covered by this study. They correspond to two distinct pisifera parent origins: La Mé origin (Côte d'Ivoire) and Yangambi origin (Zaire, INEAC). The former is used almost exclusively in the plantations of West Africa and Latin America, the latter in those of Southeast Asia and Latin America.

There are usually differences in the appearance of symptoms for given ecological conditions: Deli x Yangambi material reveals fewer visible symptoms than Deli x La Mé material. The same classifications of performance according to origin are generally found under different environmental conditions.

The trials from which the results analysed above were obtained are almost all planted with Deli x La Mé material, in commercial plantings containing a mixture of crosses or reproductions of a cross. They are therefore not designs that can be used to establish responses in terms of symptoms, nutrition and production for different materials and to compare their respective critical levels.

However, there are a few elements that back up the hypothesis of different performances for magnesium uptake when fertilization is identical for each type of planting material. Statistical analysis of leaf contents at six years for 24 genetically very similar crosses between Deli duras obtained by selfing DA 10D and La Mé pisiferas obtained by selfing LM2T (D x P) reveals significant differences for Mg contents varying from 0.173 to 0.232% DM (trial AKGP 02). In Côte d'Ivoire, a survey of parent test trials using Deli x La Mé material and related clones also reveals significant differences for uptake between four and six years (table 10). Lastly, trial AKGP 12 planted in 1978 is used to monitor trends in magnesium contents between six and nine years on Deli x La Mé and Deli x Yangambi material. No statistical analysis is possible, but it can be seen that the crosses have remained in roughly the same order (table 11).

These results do not provide any practical conclusion as regards fertilizer management according to planting material, even though it is likely that different materials may have different fertilizer requirements. However, they do emphasize that with increasingly precise identification of planting materials in commercial plantations or smallholdings, it will be necessary in the future to determine the variability in responses to nutrition and the resulting critical levels.

Conclusion

The results of these trials show that when leaf magnesium contents reach very low levels, under 0.18 - 0.20% DM, which generally correspond to the appearance of marked deficiency symptoms, substantial improvements in yields are recorded provided magnesium uptake is good. Mere observation of deficiency symptoms is not sufficient for drawing up fertilizer recommendations, and leaf analysis results are called for.

Magnesium uptake is highly dependent on the soil characteristics at each site: absorbing complex type and condition, its saturation with different cations such as calcium, uptake competition between cations such as potassium and magnesium, etc. For instance, very frequent use of potassium chloride or sulphate has a depressive effect on magnesium contents: this drop rarely exceeds 0.01% DM per kilo of fertilizer. On the other hand, the depressive effect of magnesium fertilizers on potassium uptake also has to be taken into account, since high magnesium contents are generally achieved at the expense of potassium nutrition. Thought should be given in some cases, for instance on soils of volcanic origin, to using phosphate fertilizers containing calcium or chlorides that result in calcium uptake synergy.

For each site, it is thus necessary to establish curves for uptake and yield (in quantity and sometimes quality terms) response to fertilizers, and to study the interactions with other nutrients. This approach, based on an experimental design, leads to the definition of economically optimum rates and of fertilizer schedules based on the prevailing economic criteria in each scenario.

The results of several trials conducted under very different ecological (soil and climate) conditions show that it is generally pointless obtaining leaf contents of more than 0.20% DM in leaf 17 for planting material of Deli x La Mé origin. A few data also show that certain crosses within that material could express differences for uptake and expression of deficiency symptoms. Though they do not provide any formal proof, these results do suggest that germplasm with distinct vegetative characteristics needs to be managed with specific critical levels and fertilizer schedules. This aspect will have to be taken into account in the future, with the arrival on the market of varied materials obtained from seed and eventually of clonal materials. ■