

CORRECTION DU RAPPORT Mg/Ca D'UN VERTISOL HYPERMAGNÉSIEU ACIDE

J.A. PETARD, B. BONZON, J. KOMOR
(Centre ORSTOM de Nouméa)

Les vertisols de la vallée de la Tamoa sont légèrement acides. Leur pH est voisin de 6,0, leur capacité d'échange est élevée (50 cmol (p⁺) kg⁻¹). Ils ont cette particularité de posséder une teneur en magnésium échangeable très élevée (> 40 cmol (1/2 Mg⁺⁺) kg⁻¹) représentant plus de 90 % des bases échangeables. Le rapport Mg/Ca est supérieur à 10 (il peut aller jusqu'à 40). Malgré une teneur en calcium échangeable de 4 cmol (1/2 Ca⁺⁺) kg⁻¹, ces sols font apparaître sur le développement des végétaux une carence en calcium (essais au champ et en serre). Cette carence peut être supprimée par l'apport d'amendements calciques sous forme de croûte calcaire et de gypse. Toutefois ce dernier induit une réaction très marquée du sol par la mise en circulation d'une quantité importante de magnésium dans la solution du sol.

L'influence du gypse dans les vertisols avait déjà été remarquée lors :

- de l'étude des vertisols à gypse⁽¹⁾,
- de l'étude des effets des amendements calciques sur vertisol hypermagnésien⁽²⁾,
- de la mise au point d'une méthode d'extraction du complexe échangeable des vertisols hypermagnésien à gypse et à carbonates ou des vertisols hypermagnésien soumis à amendement calcique (CaCO₃) puis gypseux (CaSO₄, 2H₂O)⁽³⁾.

L'extraction des sels d'un vertisol calcimagnésien à gypse et à carbonate, effectuée à différents rapports sol/solution fait ressortir la solubilité du gypse et l'échange qui se produit durant l'extraction entre le calcium et le magnésium.

A partir de ces observations sur la réaction du sol aux amendements gypseux et sur l'échange entre le magnésium et le calcium lors de l'extraction des sels solubles dans les vertisols à gypse, nous avons tenté de corriger le rapport Mg/Ca à partir de doses calculées de gypse. Nous avons également voulu préciser l'influence du régime hydrique sur l'échange Mg - Ca et vérifier le devenir du sulfate de magnésium formé.

L'expérimentation a été conduite dans des vases de végétation mis au point au laboratoire d'agropédologie par B. Bonzon. Chaque vase contient une même quantité de sol tamisé à 6 mm. Des doses croissantes de gypse nécessaires pour obtenir un rapport Mg/Ca de 6,5 - 5,3 - 4,2 - 3,1 et 2,1 sont mélangées intimement aux échantillons de sol. Les échantillons amenés à la capacité au champ sont alors soumis à une lixiviation par apport quotidien d'un volume d'eau déminéralisée correspondant à 50 ou 100 mm de pluie (l'apport d'eau se fait par capillarité descendante), jusqu'à ce que la conductivité de la solution de percolation soit inférieure à 10 mS m⁻¹. Les "hauteurs de pluie" sont déterminées par pesée des percolats.

A la fin de l'expérimentation, les sols sont séchés à l'air puis analysés ainsi que chaque percolat.

ANALYSE DES PERCOLATS

L'analyse des percolats fait apparaître un effet dose sur la quantité d'eau nécessaire au déplacement des sels (obtention de la conductivité ≤ 10 mS m⁻¹).

L'exportation du sulfate est une fonction linéaire de la dose (fig. 1) :

$$\text{SO}_4^- = 0,90 \text{ dose} + 0,15 ; r^2 = 0,97$$

La somme des cations majeurs (Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺) exportés suit la même règle avec une pente semblable.

$$\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} = 0,89 \text{ dose} + 0,71 ; r^2 = 0,97$$

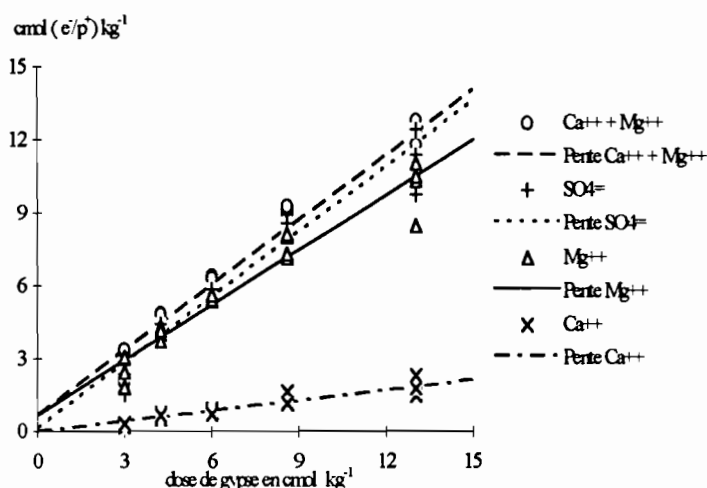
⁽¹⁾ BEAUDOU A.G., DENIS B., LE MARTRET H. 1984, Magnesian soils of New Caledonia, Experiment to restore the balance of the base exchange complex. ORSTOM, Nouméa. *multigr.* : 18 p.

⁽²⁾ BONZON B. *et al.* 1985, Effet des amendements calciques sur un sol sodique acide et sur un vertisol hypermagnésien. Résultats des études expérimentales conduites en 1984. ORSTOM, Nouméa. *multigr.* : 87 p.

⁽³⁾ PODWOJEWSKI P., PETARD J.A. 1988, Expressions des sels solubles et des bases échangeables sur un vertisol calcimagnésien à gypse et à carbonates (La Tamoa, Nouvelle-Calédonie). ORSTOM, Nouméa. *Notes Tech., Sc. de la Terre, Pédologie.* 2 : 75 p.

La constante, plus élevée de la somme des cations est due à l'hydrolyse du calcium et surtout du magnésium ($0.54 \text{ cmol (p}^+) \text{ kg}^{-1}$) pour l'échantillon témoin.

figure 1 : cumul des éléments extraits.



Les exportations de magnésium et de calcium croissent également de façon linéaire avec toutefois des pentes différentes.

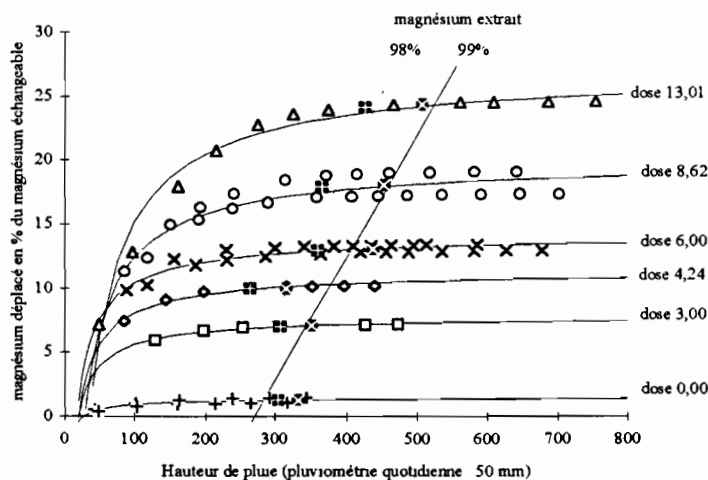
$$\text{Mg}^{++} = 0,75 \text{ dose} + 0,67 ; r^2 = 0,97$$

$$\text{Ca}^{++} = 0,14 \text{ dose} - 0,01 ; r^2 = 0,91$$

Les courbes de déplacement du magnésium en fonction de la dose de gypse apportée (fig.2) permettent d'apprécier les quantités de pluie nécessaires pour déplacer une fraction du magnésium échangeable. Elles sont de la forme :

$$\text{Mg extrait} = a + b * \left(\frac{1 + \text{Ln}(\text{pluie} + 1)}{(\text{pluie} + 1)} \right) \text{ (équation [1])}$$

figure 2 : Quantité de pluie nécessaire au déplacement du magnésium en fonction de la dose.

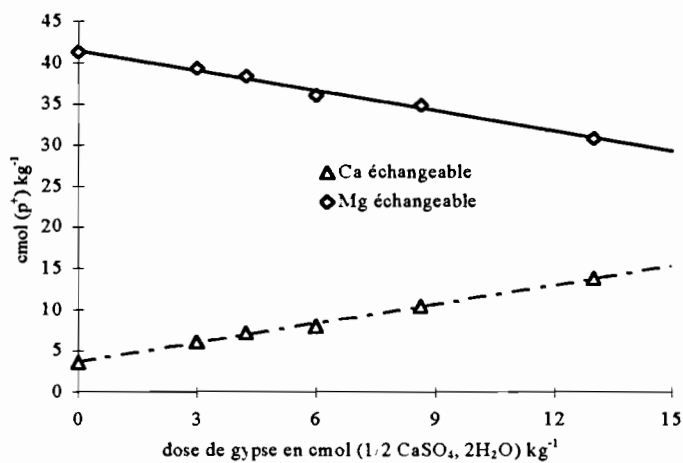


Nous avons ajouté sur ces figures deux droites représentant les hauteurs suffisantes pour déplacer respectivement 98 et 99 % du magnésium total lixivié.

ANALYSE DU SOL

Le pH du sol n'est pas affecté par l'addition du gypse. Il en est de même pour la matière organique et pour le phosphore (total ou assimilable). Le complexe échangeable est modifié dans le sens souhaité. Le magnésium et le calcium échangeable varient en sens inverse, suivant une relation linéaire de la dose de gypse apportée (fig. 3).

figure 3 : Evolution du Ca^{++} et du Mg^{++} échangeables après des apports de gypse.



$$\text{Mg}^{++} \text{ éch.} = 41,5 - 0,81 * \text{dose} ; r^2 = 0,99$$

$$\text{Ca}^{++} \text{ éch.} = 3,60 + 0,78 * \text{dose} ; r^2 = 0,997$$

Le rendement de substitution du magnésium par le calcium (rapport Mg/Ca théorique * 100 / rapport Mg/Ca expérimental) est supérieur à 92 %.

Les résultats des analyses du complexe échangeable viennent confirmer notre hypothèse sur le remplacement du magnésium échangeable par le calcium provenant du gypse.

DISCUSSION

Les courbes des variations du rapport Mg/Ca (fig. 4) à partir des valeurs moyennes du calcium et du magnésium échangeable montrent que, malgré les imperfections du système (maîtrise imparfaite des flux d'eau (quantité et vitesse de percolation), ignorance de l'occupation de l'espace par le sol (distribution de la porosité)), il est possible de remplacer une partie du magnésium échangeable par du calcium (à partir de gypse), conformément aux prédictions, avec un rendement supérieur à 92 %, dans des conditions de drainage permettant l'évacuation du sulfate de magnésium formé.

L'équation des courbes est de la forme :

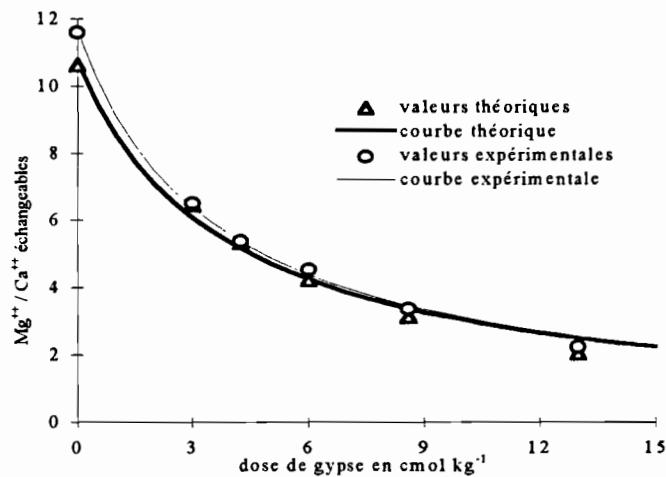
$$y = \frac{1}{a + b * dose} \quad (\text{équation [2]})$$

courbe théorique : $a = 0,093$ $b = 0,024$ $r^2 = 0,991$

courbe expérimentale : $a = 0,086$ $b = 0,024$ $r^2 = 0,997$

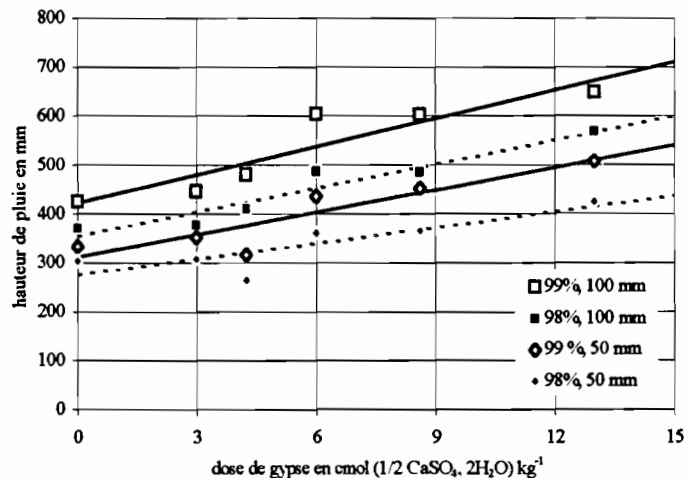
Il est aisé de calculer la quantité de gypse à appliquer pour obtenir le rapport Mg/Ca souhaité.

figure 4 : Variation du rapport Mg⁺⁺/Ca⁺⁺ échangeables



La figure 5 nous donne les hauteurs de pluie nécessaire pour lixivier, en fonction de la dose de gypse apportée, respectivement 98 et 99 % du magnésium déplaçable. On retrouve ici les droites de la figure 2. La distribution des points (moyenne des hauteurs pour chaque dose) autour des droites de cette figure fait très bien ressortir les difficultés rencontrées dans la maîtrise des flux d'eau (hauteur, vitesse de lixiviation).

figure 5 : Hauteurs de pluie nécessaires pour déplacer 98 ou 99 % du magnésium extrait selon les doses de gypse.



De la figure précédente (fig. 5), il apparaît clairement que l'efficacité du déplacement est meilleure avec un apport d'eau quotidien équivalent à la plus faible hauteur de pluie ; la quantité totale d'eau nécessaire est plus faible.

L'analyse des paramètres a et b de l'équation [1] : $Mg\text{ extrait} = a + b * \left(\frac{1 + \ln(\text{pluie} + 1)}{(\text{pluie} + 1)} \right)$ fait

ressortir une dépendance à la hauteur de la pluie quotidienne. a et b varient de façon linéaire avec la dose de gypse :

Hauteur de pluie 50 mm :

$$a = 2,76 + 1,92 * \text{dose} \quad r^2 = 0,994$$

$$b = 21,89 - 18,07 * \text{dose} \quad r^2 = 0,978$$

Hauteur de pluie 100 mm :

$$a = 1,43 + 2,04 * \text{dose} \quad r^2 = 0,980$$

$$b = 41,37 - 24,80 * \text{dose} \quad r^2 = 0,999$$

Il est difficile de tirer des conclusions sur ce facteur "pluie", nous ne disposons expérimentalement que de deux hauteurs de 50 et de 100 mm (difficilement maîtrisées puisque ces hauteurs ont varié de $\pm 20\%$). Le rapport entre les paramètres en fonction de la hauteur quotidienne (100 mm/ 50 mm) est voisin de 0,5 pour la constante de a et voisin de 2 pour la constante de b .

Une expérimentation complémentaire serait à envisager pour définir les conditions permettant d'assurer avec le minimum d'eau un échange aussi complet que possible entre le calcium issu du gypse et le magnésium échangeable. Il faudrait préciser les hauteurs et intensités des pluies (ces intensités dépendent de la vitesse de filtration, il faut éviter le ruissellement). Il serait également judicieux d'étudier l'effet d'une période de dessiccation ou de maintien à la capacité au champ entre deux pluies. L'étude de la cinétique de l'échange Ca^{++} (phase liquide)/ Mg^{++} (phase solide) et de l'affinité du complexe absorbant pour le calcium au moyen d'isothermes d'échange nous apporterait également des informations utiles pour mieux appréhender les phénomènes mis en jeu.

Quelques conditions devront être appliquées avec rigueur :

1. le remplissage des pots,
2. le maintien des échantillons à la capacité au champ pendant une durée égale (bien qu'aucune relation n'apparaisse entre la durée de saturation et la hauteur totale de pluie ou la conductivité du premier percolat),
3. le contrôle des apports d'eau d'irrigation et de la qualité chimique de cette eau. Dans l'expérience décrite ici l'eau déminéralisée utilisée avait une conductivité inférieure à $0,3 \text{ mS m}^{-1}$, or les eaux naturelles de cette région sont exclusivement magnésiennes (environ $12 \text{ mmol } (1/2 \text{ Mg}^{++}) \text{ L}^{-1}$). Dans les conditions expérimentales, l'apport de magnésium par une eau de rivière représenterait $3,2 \text{ mmol } (1/2 \text{ Mg}^{++})$ pour une pluie de 50 mm, soit pour le sol l'équivalent de $0,2 \text{ cmol } (1/2 \text{ Mg}^{++}) \text{ kg}^{-1}$. Il faut donc tenir compte de cet enrichissement qui s'oppose au but recherché.

CONCLUSION

Cette expérimentation a permis de montrer rapidement la possibilité de corriger par un amendement gypseux le rapport Mg/Ca d'un vertisol hypermagnésien.

L'expérimentation a montré les limites du système. Il est indispensable que le dispositif de drainage soit très performant afin d'éliminer la totalité du sulfate de magnésium formé. Les quantités d'eau nécessaires pour permettre l'échange total du magnésium par le calcium sont importantes puisqu'elles atteignent l'équivalent d'une pluie de 600 mm pour la dose la plus élevée ($13 \text{ cmol } (1/2 \text{ CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}) \text{ kg}^{-1}$ ou $2,2 \text{ g kg}^{-1}$). D'autre part, dans notre expérience nous n'avons pas pris en compte la qualité chimique de l'eau disponible pour l'irrigation ; La quantité de magnésium apporté par l'équivalent d'une "pluie" de 600 mm n'est pas négligeable puisqu'elle correspond à $2,4 \text{ cmol } (1/2 \text{ Mg}^{++}) \text{ kg}^{-1}$. Une étude complémentaire est nécessaire pour préciser les conditions d'irrigation (hauteur, intensité et fréquence) La connaissance de ces derniers paramètres permettrait d'exploiter rationnellement les apports dus aux précipitations naturelles. Une autre étude pourrait être entreprise en laboratoire pour définir les isothermes d'échange et déterminer la sélectivité du sol pour le calcium.

L'aspect économique est à prendre en considération, quelles sont les possibilités d'approvisionnement en gypse et à quel prix ? L'eau peut être un facteur limitant par sa disponibilité et aussi par son coût d'application.

SEPTIEME REUNION DU GROUPE DE REFLEXION
SUR L'ETUDE DE LA SOLUTION DU SOL
EN RELATION AVEC L'ALIMENTATION DES PLANTES
(GRESSAP)

ORSTOM Montpellier - 15 septembre 1994