

Relations entre l'aluminium échangeable et certaines propriétés physico-chimiques des oxisols au Cameroun.

G. Aelterman

Résumé

Une étude de corrélation a été établie entre l'aluminium échangeable, le pH et le pourcentage d'argile, pour une série d'oxisols de la région océane du Cameroun.

L'équation de régression suivante a été obtenue :

$Al\text{ échangeable (meq/100 g sol)} = (0,23192 - 0,04530\text{ pH}_{KCl}) \cdot (\% \text{ argile})$.

Elle a été vérifiée sur des échantillons d'oxisols rouges de diverses régions du Cameroun.

Partant du pH et du pourcentage d'argile, la formule suivante a été proposée pour estimer les besoins en chaux des oxisols :

$CaO\text{ (kg/ha)} = (306,86 - 59,94\text{ pH}_{KCl}) \cdot (\% \text{ argile})$.

L'application des besoins en chaux calculés par la formule précédente neutralise 85 à 90 % de l'aluminium échangeable.

Summary

A correlation study between exchangeable aluminium, pH and clay percentage with a series of yellow oxisols originating from the Ocean Division of Cameroon was put out.

The following regression equation was obtained:

$meq\text{ exchan. Al/100 g soil} = (0,23192 - 0,04530\text{ pH}_{KCl}) \cdot (\% \text{ clay})$.

It was tested successfully on red oxisols sampled in different Cameroonian regions.

Based on pH and clay percentage, the following formula was proposed for estimation of lime requirements in oxisols:

$kg\text{ CaO/ha} = (306,86 - 59,94\text{ pH}_{KCl}) \cdot (\% \text{ clay})$.

Application of the calculated lime requirements by the above formula neutralises 85 to 90% of exchangeable aluminium.

Introduction

L'acidité du sol est une des données pédologiques les plus anciennement acquises. Beaucoup de théories et observations ont été avancées pour expliquer ce phénomène dans le sol. Mais ce n'est que depuis les publications de Chernov dans les années 1956-1959 (3, 4) que le rôle primordial de l'aluminium dans l'acidité du sol a été accepté.

Selon Coleman (5), on peut dire que l'aluminium échangeable est le principal cation associé à l'acidité du sol. Le taux d'aluminium échangeable d'un sol semble être le meilleur indicateur de la mesure de l'acidité du sol. D'autres méthodes de dosage de l'acidité comme l'extraction au $BaCl_2$ -TEA à pH = 8,5 ou la titration du sol ne tiennent pas compte des charges électriques du complexe absorbant dépendant du pH. Ainsi on fait une surestimation importante de l'acidité du sol, ce qui peut se traduire ultérieurement par un chaulage excessif.

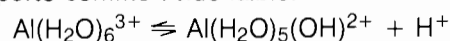
L'aluminium ne peut exister que sous forme ionique à pH bas, ce qui met en évidence le fait qu'on ne trouve l'ion Al^{3+} que dans les sols acides.

Les mécanismes de la désintégration des argiles avec libération de l'aluminium ionique qui se fixe sur le complexe absorbant, ne sont pas discutés ici étant donné qu'ils ne font pas l'objet de l'étude proprement dite.

Jenny (9) suggère que l'aluminium trivalent peut se placer au voisinage de la paroi du complexe absorbant

en neutralisant trois charges négatives. Comme chaque ion d'aluminium est entouré de six molécules d'eau placées au sommet d'un octaèdre, on peut admettre que l'aluminium est fixé par l'intermédiaire de ponts d'hydrogène qui lient les oxygènes des minéraux argileux et de l'eau.

L'aluminium trivalent entouré de six molécules d'eau se comporte comme acide faible.



La neutralisation de l'ion hydraté par une solution basique aboutit à la formation de l'hydroxyde, produit peu soluble. Entre l'ion trivalent et l'hydroxyde, il y a place pour des ions hydroxylés intermédiaires qui peuvent également intervenir dans l'adsorption au complexe adsorbant.

Plusieurs techniques peuvent être appliquées pour mesurer l'acidité échangeable ou l'aluminium échangeable dans le sol. La plupart des chercheurs percolent ou extraient le sol avec une solution normale d'un sel neutre ou tamponné. L'échange s'effectue de préférence à un pH proche de celui du sol. La solution la plus utilisée est le chlorure de potasse 1 N. Le dosage même peut se faire de plusieurs façons. Une titration de la solution percolée avec de la soude permet de déterminer l'acidité échangeable. Afin de pouvoir distinguer les proportions de l'hydrogène et de l'aluminium intervenant dans l'acidité échangeable, on peut faire deux parties de la solution, provenant du lessivage du sol et titrer la première par la soude (acidité échangeable totale). A la seconde, on ajoute du NaF complexant l'aluminium avant titration (acidité

due à l'hydrogène échangeable). Par différence, on calcule l'aluminium échangeable. L'aluminium peut être déterminé immédiatement sur la solution percolée par dosage direct, le plus souvent par spectrophotométrie ou absorption atomique.

Dans les sols acides, le développement de la plupart des plantes n'est pas freiné par le pH bas proprement dit, mais plutôt par les conséquences de son influence sur les propriétés physiques et chimiques du sol.

L'aluminium joue un double rôle dans ces sols: il est un ion régénérateur d'acidité, donc à l'origine du pH acide, et en même temps une source de non-fertilité due à sa toxicité. La toxicité de l'aluminium se manifeste par le ralentissement du développement racinaire des plantes (1, 12) ce qui entraîne une faible croissance et une baisse de rendement. L'aluminium accumulé dans les racines freinerait la translocation du phosphore vers les parties supérieures des plantes.

Foy, mentionné par Sanchez (12) explique ce phénomène par la précipitation de phosphates d'aluminium dans les racines. Advonin (2) pense plutôt à l'inhibition des réactions de phosphorisation par une action de l'aluminium sur certains enzymes. Donc, une toxicité d'aluminium provoque une déficience physiologique de phosphore.

L'influence de l'aluminium sur la croissance des végétaux devient nette à une saturation de 60% de la CEC effective par l'aluminium ou à environ 1 ppm d'aluminium dans la solution du sol. Toutefois, la sensibilité des plantes vis-à-vis d'une toxicité d'aluminium est très variable. Le maïs supporte peu l'aluminium dans le sol, alors que le théier se développe sans aucun problème dans des sols riches en cet élément. Ceci s'explique par la propriété variable des plantes de changer le pH de l'interface sol-racine. Souvent la présence abondante d'aluminium dans le sol est accompagnée d'une toxicité de manganèse. Certains auteurs croient même en un synergisme entre ces deux éléments.

Dans les oxisols, couvrant environ 22% de la surface de la zone tropicale, la présence de quantités importantes d'aluminium accompagnée d'une acidité fort marquée peut avoir des influences graves sur la fertilité et la production agricole. Cette influence ne se limite pas à sa toxicité, mais a également des répercussions sur la disponibilité des éléments nutritifs tels que le phosphore, le calcium, etc...

Dans cette étude, on a essayé de corrélérer pour les oxisols, la présence d'aluminium échangeable avec certaines propriétés du sol afin de pouvoir établir des rapports généraux permettant d'évaluer ou de corriger des situations nutritives défavorables.

Matériel et méthodes

Les sols étudiés proviennent du S-O-Cameroun, appartenant à la zone équatoriale humide de forêt *semper vivente*. Dans la classification américaine, ces sols appartiennent à l'ordre des oxisols (typic

haplorthox ou ultic haplorthox), dans le système français aux sols ferrallitiques fortement désaturés, appauvris, jaunes. Le matériel parental est une roche métamorphique acide, appartenant au complexe de base précambrien.

Les relations établies entre l'aluminium échangeable et certains paramètres physiques et chimiques de ces sols, ont été testées sur une série de sols provenant d'autres régions du Cameroun: sols ferrallitiques faiblement désaturés rajeunis, appauvris et hydromorphes jaunes sur gneiss (Batchenga, Centre Sud du Cameroun), sols ferrallitiques moyennement désaturés faiblement rajeunis, appauvris jaunes sur gneiss (Ombessa, Centre Sud du Cameroun) et sols ferrallitiques rouges sur basalte (Wassande, plateau de l'Adamaoua, Centre Cameroun, 1.300 m altitude). L'analyse granulométrique a été effectuée suivant la méthode de Robinson après prétraitement du sol à l'eau oxygénée et à l'acide chlorhydrique et séparation des sables par tamisage sous eau. Le pH a été déterminé dans le rapport solution/sol 2,5/1. L'aluminium échangeable a été extrait par KCl 1 N et dosé suivant la méthode à l'acide aurintricarboxylique (aluminium).

Résultats et discussion

TABLEAU 1
Analyse chimique des sols ferrallitiques jaunes

Sol	Horizon	Argile g/100 g	pH		Al méq/100g terre
			KCl	H ₂ O	
G 35	A ₁ + AB	18.7	4.1	4.6	0.75
G 9	A ₁	17.0	4.0	4.5	0.88
J 8	A ₁ + AB	19.7	4.1	4.4	1.04
I 26	A ₁	19.6	4.0	4.5	0.85
D 34	A ₁	15.1	3.7	4.4	0.91
I 23	A ₁	16.0	3.9	4.4	0.91
D 29	A ₁	19.5	3.6	4.4	1.01
B 19	A ₁	14.8	3.7	4.2	1.12
E 35	A ₁	12.4	4.6	5.0	0.22
J 11	A ₁ + AB	16.5	4.0	4.3	1.02
B 12	A ₁	19.0	3.8	4.4	1.18
K 27	A ₁	21.5	4.0	4.3	1.11
K 37	A ₁	20.8	4.2	4.3	0.87
F 36	A ₁	19.5	3.8	4.1	1.39
J 33	A ₁	15.6	3.7	4.2	1.04
C 31	A ₁	20.5	3.7	4.1	1.13
B 24	Box ₁	38.0	4.5	4.8	1.03
K 37	B ₂₂	40.1	4.8	5.2	0.57
K 25	B ₂₂	43.6	4.7	4.8	0.91
D 29	B ₂₁	36.7	4.7	4.9	0.64
D 35	B ₂₂	37.3	4.4	4.8	0.93
F 28	B ₂₁	42.0	4.8	5.5	0.69
B 21	A ₁	25.8	3.6	4.0	1.67
D 34	B ₂₁	34.2	4.5	4.7	1.00
B 12	Box	37.0	4.4	4.8	1.08
I 26	B ₂₁	34.2	4.7	5.1	0.79
B 19	Box ₂	37.3	4.7	5.4	0.83

Les résultats d'analyses de sol sont représentés dans le tableau 1. Des corrélations linéaires sont établies entre la teneur en aluminium échangeable par 100 g d'argile et le pH H₂O et pH KCl :

$$\text{még Al/100 g d'argile} = 24,2243 - 4,3330 \cdot \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} \quad (1)$$

$$r = 0,8982^{***}$$

$$\text{még Al/100 g d'argile} = 23,1924 - 4,5301 \cdot \text{pH}_{\text{KCl}} \quad (2)$$

$$r = 0,9539^{***}$$

La teneur en aluminium échangeable par 100 g d'argile se corrèle le mieux avec le pH_{KCl} qui est une mesure de l'acidité potentielle du sol. Ceci est logique étant donné que dans un mélange sol-solution KCl, les ions K⁺ rejettent les protons et ions aluminium du complexe adsorbant, c.à.d. les deux ions régénérateurs d'acidité.

La transformation de l'équation (2) permet de calculer la teneur en aluminium échangeable par 100 g de terre à partir du pH et du taux d'argile, soit :

$$\text{Al még/100 g de terre} = (0,23192 - 0,04530 \text{ pH}_{\text{KCl}}) \times (\% \text{ argile}) \quad (3)$$

La formule (2) a été vérifiée sur une série de sols provenant d'autres régions du Cameroun (tableau 2). Pour les sols ferrallitiques (oxisols), les résultats calculés s'approchent des teneurs en aluminium échangeable déterminées expérimentalement.

TABLEAU 2
Comparaison des teneurs d'aluminium échangeable/100 g argile dosées et calculées d'une série de sols ferrallitiques et volcaniques camerounais

	pH		% argile	Al échangeable méq/100 g	
	KCl	H ₂ O		dosé	calculé
<i>Sols ferrallitiques</i>					
Ombessa 77/2	4.5	5.0	9.3	2.36	2.81
Batchenga 77/11	4.3	4.7	8.5	3.71	3.88
Batchenga 77/12	4.5	4.8	11.0	2.91	2.81
Wassande 1/20	4.2	5.1	55.3	4.34	4.17
Wassande 1/23	4.2	5.0	57.9	4.32	4.17
<i>Sols volcaniques</i>					
Mussaka 3/1	4.1	4.5	67.2	0.85	4.62
Mussaka 3/3	4.8	5.4	69.2	0.62	1.44
Mussaka 3/5	5.0	5.8	67.2	0.16	0.54

La formule n'est pas applicable dans des sols volcaniques comme le montrent les résultats obtenus sur une série des sols de Mussaka (O-Cameroun).

Les équations (1) et (2) mettent en évidence l'absence de l'aluminium échangeable dans les sols à pH supérieur à pH_{KCl} = 5,1 ou pH_{H₂O} = 5,6. Ces valeurs calculées correspondent bien à celles mentionnées par Sanchez (12) et Evans et Kamprath (6). L'effet

néfaste de l'aluminium échangeable dans le sol peut donc être réduit par augmentation de pH jusqu'à 5,1 (pH_{KCl}). Ceci mène au problème du chaulage des sols ferrallitiques. Le chaulage de ces sols jusqu'à la neutralité est absolument à rejeter : les quantités de chaux nécessaires sont très élevées et l'action est économiquement peu rentable ; sur les sols fortement désaturés, le chaulage mène souvent à un déséquilibre cationique ; la structure du sol est détériorée et l'érosion devient importante (12) ; le surchaulage introduit des déficiences de P (7), de B (11), de Zn (12) etc... La littérature sur les oxisols cite en abondance des rapports mentionnant des réponses négatives des plantes après épandage de chaux. Le surchaulage doit y être considéré comme une application de doses d'amendements calcomagnésiens supérieures à ceux nécessaires pour la neutralité du manganèse.

Kamprath (10) suggère un chaulage basé sur les quantités d'aluminium échangeable présent dans les horizons de surface. En apportant 1,5 még de Ca par még. d'Al au sol, ou neutralise 85 à 90 % de l'aluminium échangeable dans les sols contenant 2 à 7 % de matière organique. L'application de cette méthode a donné des résultats hautement positifs. Dans les sols ayant de 1 à 3 még d'aluminium échangeable, les quantités de chaux nécessaires varient de 1,5 à 5 t/ha alors que pour arriver à la neutralité, il faut entre 10 et 30 t/ha. L'application de ce

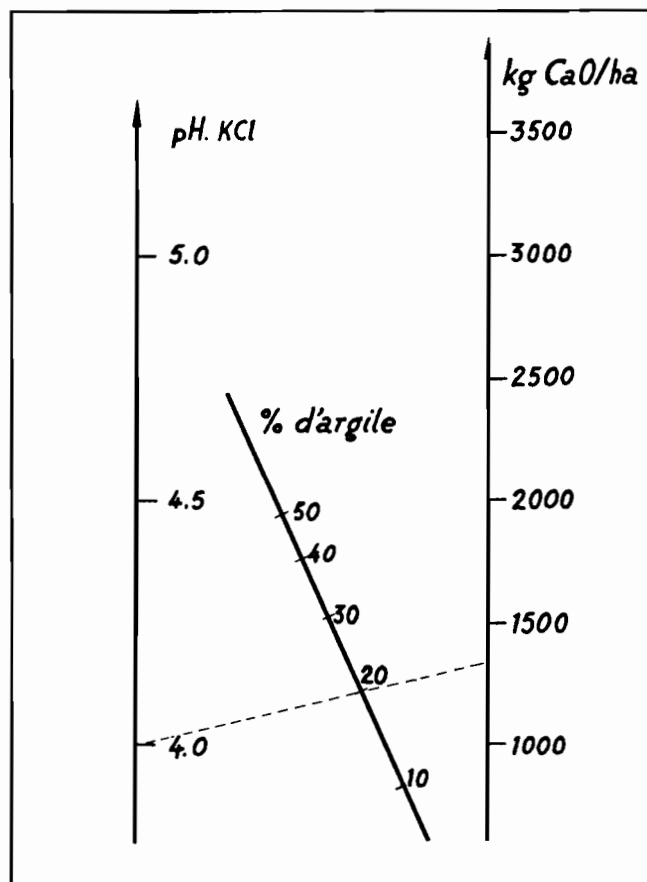


Figure 1

principe dans la formule (6) permet de calculer à partir du pH et de la teneur en argile dans le sol, les quantités de chaux nécessaires soit :

Ca nécessaire =

$$1,5 \cdot (0,23192 - 0,04530 \cdot \text{pH}_{\text{KCl}}) \cdot \text{Argile.}$$

(en méq/100 g de terre) (en g/100 g)

ou

$$42 (0,23192 - 0,04530 \text{ pH}_{\text{KCl}}) \times (\% \text{ argile}) \times (\text{D.A.}) \times (\text{prof.})$$

Si **D.A.** est la densité apparente en g/cm³,

prof., la profondeur de la couche arable en cm.

La densité apparente de l'horizon arable des oxisols varie généralement entre 0,9 et 1,4 kg/dm³ avec une valeur moyenne de 1,1 à 1,2 kg/dm³ (8), (12). Les sols rouges, surtout ceux sur basalte, sont moins denses que les sols jaunes. Pour une densité apparente moyenne de 1,15 kg/dm³ et une profondeur de 20 cm,

les quantités de CaO nécessaires par ha peuvent se calculer comme suit :

$$(306,86 - 59,94 \text{ pH}_{\text{KCl}}) \cdot (\% \text{ argile}) = \text{kg CaO.}$$

Conclusion

La corrélation entre la teneur en aluminium échangeable d'une part et le pH et pourcentage d'argile d'autre part, rattachée au principe de chaulage basé sur le taux d'aluminium échangeable du sol, rend possible d'une manière directe l'estimation des besoins en CaO des oxisols à partir du pH_{KCl} et du taux d'argile, deux caractéristiques du sol couramment déterminées dans les laboratoires de pédologie.

La figure 1 permet d'évaluer rapidement la quantité de CaO nécessaire par ha en fonction du pH_{KCl} et du taux en argile du sol. En reliant le pH au taux d'argile, la droite ainsi tracée indique sur la troisième échelle, par intersection, la quantité de CaO nécessaire, ex : pH = 4,0, teneur en argile = 20 %, quantité de CaO nécessaire = 1.340 kg/ha.

Bibliographie

1. Abruña, F.J., and al (1970) — Crop response to soil avidity factors in ultisols and oxisols. 1. Tobacco. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., **34** : 629-635.
2. Advonin, N.S., (1971) — Aluminium in sod-podzolic soils — in Sengalen, P., (1973) — l'Aluminium dans les sols. Documentations techniques n° 22, ORSTOM, Paris.
3. Chernov, V.A. (1956) — De la nature de l'acidité du sol. 6^e Cong. Intern. Sci. Sol. Paris, B, 547-555.
4. Chernov, V.A. (1959) — The origin of exchangeable aluminium in soils. Sov. Soil. Sci., **10** : 1150-1156.
5. Coleman, N.T. and Craig, D. (1961) — The spontaneous alteration of hydrogen clay. Soil Sci., **91** : 14-18.
6. Evans, C.E. and Kamprath, E.J., (1970) — Assessment of lime requirements of Eastern Nigeria soils. Soil Sci., **113** : 363-372.
7. Fox, R.L., and al. (1964) — Phosphorus and aluminium uptake by latosols in relation to liming. Trans. 8th Int. Congr. Soil Sci. (Bucharest), **4** : 595-603.
8. Humbel, F.X., (1970) — Etude de la densité apparente mesurée in situ dans quelques sols du Cameroun — Rapport pédologique, p. 181 — Publications ORSTOM — Centre Yaounde — Cameroun.
9. Jenny, H. (1961) Reflexions on the soil acidity merry ground. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., **25** : 428-433.
10. Kamprath, E.J., (1970) — Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., **34** : 252-254.
11. Kamprath, E.J., (1971) — Potential detrimental effects from liming highly weathered soils to neutrality. Proc. Soil Crop Sci. Soc. Fla., **31** : 200-203.
12. Sanchez, P.A., (1976) — Properties and Management of Soils in the Tropics. Ed. John Wiley & Sons — New York.