

Sensibilité du haricot *Phaseolus vulgaris* à la concentration en aluminium des sols de la région des grands lacs (1)

J.F.R. Wouters*, M. Wakana** et L. Opdecamp**

Résumé

Le climat de la région des Grands Lacs induit d'intenses processus de lessivage des sols qui peuvent aboutir à une forte saturation aluminique du complexe absorbant, mesurée par l'indice "m" de Kamprath.

La sensibilité à la toxicité aluminique du haricot Diacol Calima, variété largement diffusée au Burundi, a été étudiée en vases de végétation sur des échantillons superficiels de kaolisol humifères d'altitude d'indices "m" variant de 4 à 92, ainsi qu'en culture sur substrat inerte additionné d'un milieu nutritif et de concentrations croissantes d'aluminium soluble de 0 à 12 meq. Al³⁺/l.

Sur sol, les biomasses produites après 25 jours de croissance diminuent dès "m" = 33. Le nombre de nodulations rhizobiales est très affecté par la toxicité aluminique et s'annule pour cette même valeur.

Sur substrat inerte, la croissance est également affectée par la concentration en aluminium mais, l'effet relativement plus important sur la réduction du système racinaire que sur la biomasse aérienne, observé sur sol, ne se marque plus.

Summary

The climate of the African region around the "Great Lakes" induces a strong process of soil weathering which eventually leads to a strong aluminium saturation of the absorption complex, as expressed by the "m" index of Kamprath.

The response to aluminium toxicity of the common bean cv. Diacol Calima, a widely grown variety in Burundi, has been studied in pot trials in two ways: (1) Using superficial soil samples of "humiferous high elevation kaolisol" whose "m" index varied between 4 and 92; (2) On culture condition consisting of an inert substrate complemented with a nutritional solution to which a serie of soluble aluminium concentrations were added.

Under soil condition, biomass produced after a period of 25 days of growth, decreased as from "m" = 33. The number of Rhizobium nodules decreased drastically with aluminium toxicity becoming negligible at "m" = 33.

On culture media, rising concentration of aluminium affected growth adversely as well, although root growth inhibition was less pronounced than under soil condition.

Introduction

La région des Grands Lacs constitue un ensemble géo-politico-économique d'Afrique Centrale, rassemblant le Rwanda, le Zaïre et le Burundi. Elle est représentée à la figure 1 et n'inclut pas d'autres pays tels que l'Ouganda, le Kenya, la Tanzanie, le Mozambique, la Zambie, le Malawi et le Zimbabwe, qui, sur une stricte base géographique, en feraient également partie.

Dans cette région, les sols subissent une altération de type "ferrallitique" au cours de laquelle se réalise un enrichissement relatif en aluminium et en fer. La dynamique de l'aluminium dans ces sols constitue un facteur prédominant de leur fertilité.

En effet, les phénomènes de toxicité induits par ce cation constituent une préoccupation constante de la recherche agronomique depuis plusieurs décennies. Le haricot (*Phaseolus vulgaris*), comme d'autres cultures, présente une sensibilité variétale variable vis-à-vis de l'aluminium.

Au Burundi, la large diffusion du "Diacol Calima" mérite une étude de son comportement vis-à-vis de ce phénomène de toxicité.

Processus de lessivage et d'acidification des sols dans la région des Grands Lacs

Le climat de la région des Grands Lacs varie d'équatorial aux faibles latitudes à tropical aux latitudes plus élevées. En se basant sur l'atlas climatique du bassin congolais (1), on observe dans cette région :

(1) Communication présentée au colloque "Production et amélioration du haricot dans les pays des grands lacs" du 20 au 23 mai 1985 à Bujumbura (Burundi) organisé par le C.I.A.T. (Centro Internacional de Agricultura Tropical) et l'I.S.A.B.U. (Institut des Sciences Agronomiques du Burundi). Travail réalisé sous les auspices de l'Université du Burundi. Faculté des Sciences Agronomiques et de l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi.

* Département de fertilisation et phytotechnie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université du Burundi, B.P. 2940 Bujumbura, Burundi.

** Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (I.S.A.B.U.), B.P. 795 Bujumbura, Burundi.

- des précipitations moyennes annuelles de 900 à plus de 2000 mm, la zone équatoriale et les terres d'altitude étant les plus arrosées;
- l'apparition d'une saison sèche au-delà des latitudes de 2°, dont la durée atteint 180 jours dans les parties extrêmes sud-orientales;
- des températures moyennes journalières inversement proportionnelles à la latitude et à l'altitude, variant entre 15 et 25°C, avec des écarts moyens journaliers oscillant entre 10 et 14°C;
- des écarts thermiques faibles à modérés entre le mois le plus chaud et le plus froid et qui restent inférieurs à 10°C aux latitudes les plus élevées.

sont les plus représentatifs de la région des Grands Lacs. Au Burundi, ils occupent près de 80% du territoire (4). Ils sont essentiellement caractérisés par la dominance de kaolinite dans leur fraction argileuse, associée à des quantités variables d'oxydes et d'hydroxydes de Fer et d'Aluminium. Leur pouvoir de rétention en bases est dès lors limité, inférieur à 10 meq/100 gr d'argile, mesuré à partir de la capacité d'échange effective sur sol :

$$\text{ECEC} = \frac{[(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+}) \text{ extrait à l'acétate d'ammonium} + (\text{Al}^{3+} + \text{H}^{+}) \text{ extraits au chlorure de potassium}]}{}$$

Sous l'action persistante du lessivage, combinée à la production d'acide carbonique par l'activité respiratoire des masses racinaires végétales et de la microflore tellurique, les sols s'acidifient de manière progressive. L'aluminium, provenant de l'hydrolyse des aluminosilicates, sature alors petit à petit le complexe d'échange du sol, aux dépens des faibles quantités de bases résiduelles. La solution du sol s'en trouve dominée par l'activité du cation aluminique. Il en résulte des phénomènes de toxicité pour la plupart des cultures, à l'exception de celles réputées tolérantes, comme le théier par exemple. On peut exprimer la concentration en aluminium du sol par son degré de saturation du complexe d'échange (3). L'indice obtenu, appelé "m", varie de 0 à 100 pour cent et se calcule comme suit :

$$m = \frac{100 \times (\text{Al}^{3+}) \text{ extrait au KCl}}{\text{ECEC}}$$

Au Burundi, des valeurs de 80 à 90 de cet indice sont fréquentes sous les pâturages naturels d'altitude. Dans les exploitations agricoles traditionnelles, le paysan neutralise partiellement et temporairement l'aluminium par des apports de fumier, de compost et de résidus de récolte, qui génèrent par biodégradation des composés humiques complexant ou "chélatant" ce cation. La chaux, utilisée habituellement dans les pays "riches" pour corriger l'acidité des sols, est effectivement hors de portée financière du paysan de ces régions. Il en résulte que la toxicité aluminique, induite par les processus de lessivage et d'acidification, constitue un des problèmes les plus importants de fertilité des sols, qui affecte sans doute plusieurs millions d'hectares dans la région des Grands Lacs.

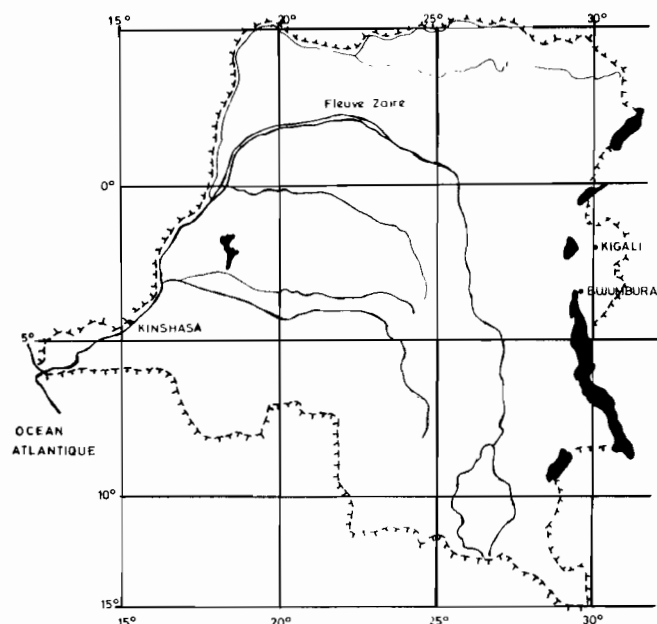


Figure 1 : La région des Grands Lacs en Afrique Centrale.

TTT : Limite de la Communauté Economique des Pays des Grands Lacs (C.E.P.G.L.).

Grands Lacs.

Eléments dominants du réseau hydrographique.

La majeure partie de cette région est donc caractérisée par des valeurs élevées de pluviosité et de température, et par une saison sèche ne dépassant pas 4 à 5 mois. Sous de telles conditions climatiques, les sols bien drainés, inscrits dans des paysages non réjuvenés, sur de vieilles surfaces d'érosion, ont subi un intense processus de lessivage, entraînant les bases (Ca^{++} , Mg^{+} , Na^{+} , K^{+}) ainsi que d'importantes quantités de silice. Ces sols, dénommés "Kaolisols" dans la classification régionale (6),

Influence de l'aluminium sur le comportement du haricot (Diacol Calima) - Expérimentation.

1. But et méthode

Les essais, réalisés en vases de végétation sous abri vitré ont pour but d'étudier l'effet de la toxicité aluminique sur le haricot Diacol Calima, variété introduite de Colombie (C.I.A.T.) et largement diffusée au Burundi.

Dans une première phase expérimentale, les observations ont porté sur des cultures effectuées sur des sols humifères d'altitude de valeur "m" (indice de Kamprath) croissants.

Dans une deuxième phase, on s'est efforcé de préciser le rôle joué par l'ion Al^{3+} dans les phénomènes observés en cultivant ces mêmes plantes sur un substrat inerte, additionné d'une solution nutritive contrôlée et de doses croissantes d'aluminium soluble.

Les expérimentations ont été effectuées au Département de Fertilisation et Phytotechnie de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université du Burundi.

2. Essais sur sol

2.1. Echantillons de sol utilisés

Les échantillons ont été prélevés dans les horizons superficiels (0-10 cm) de kaolisols humifères de la région de Kisozi (Station I.S.A.BU) sous prairies permanentes, sous boisements et sur une série de champs à passé cultural variable de manière à parcourir une gamme étendue de pH, mesuré sur place.

Après analyse par le laboratoire de Chimie Agricole de l'I.S.A.BU de ces sols humifères d'altitude, 11 échantillons ont été retenus pour leurs valeurs "m" croissantes de 4 à 92.

Les caractéristiques analytiques des sols utilisés en vases de végétation sont indiquées au tableau 1.

TABLEAU 1
Caractéristiques chimiques des échantillons de sols utilisés en vases de végétation

N° vase	C %	N %	C/N	P (1) ppm	pH H ₂ O	KCl	Cond. mmho/cm	Complexe adsorbant (mec/100 g)							m (4)
								Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	T (2)	Al ³⁺	T _{eff} (3)	
1	3.86	0.39	9.9	196	5.4	4.6	0.071	3.60	3.65	0.54	0.01	24	0.33	8.22	4
2	4.52	0.46	9.9	178	5.4	4.3	0.061	2.76	2.99	0.37	0.02	26	0.79	7.04	11
3	4.55	0.46	9.9	150	5.3	4.4	0.061	1.44	0.30	0.63	0.02	28	0.59	3.16	19
4	4.71	0.55	8.6	144	5.1	4.1	0.067	1.38	0.46	0.81	0.01	25	1.60	4.91	33
5	3.86	0.39	9.9	(4)	4.9	4.3	0.084	1.64	0.34	0.53	0.02	25	2.31	4.93	47
6	4.43	0.47	9.4	137	4.8	4.2	0.105	1.60	0.32	0.33	0.01	26	2.39	4.82	50
7	3.73	0.27	13.8	78	4.7	4.0	0.056	1.12	0.28	0.18	0.02	19	2.49	4.23	59
8	4.02	0.30	13.2	185	4.6	4.2	0.055	0.84	0.30	0.13	0.03	21	2.53	3.97	64
9	3.54	0.26	12.9	53	4.7	4.1	0.038	1.18	0.07	0.10	0.01	19	3.57	5.02	71
10	3.37	0.28	11.9	33	4.2	4.1	0.077	0.54	0.07	0.12	0.01	18	3.99	4.80	83
11	3.65	0.28	13.0	40	4.3	3.7	0.041	0.06	0.05	0.13	0.01	20	6.21	6.74	92

(1) Méthode Olsen-Dabin

(2) T = capacité d'échange cationique (CEC) mesurée à l'acétate d'ammonium N à pH₇.

(3) T_{eff} = CEC effective = Ca⁺⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺ + Al³⁺+H⁺ (somme des cations échangeables)

(4) m = indice de Kamprath = 100 × Al⁺⁺⁺/T_{eff}.

2.2. Dispositif expérimental

Les échantillons de sol, tamisés, ont été placés dans des vases de végétation de 5 dm³ selon un système à percolation récupérée. 5 graines ont été semées par vase, démarrées à 2 plantes 10 jours après le semis.

Les vases sont arrosés d'eau déminéralisée pour compenser l'évapotranspiration. La récolte s'est effectuée 25 jours après le semis.

2.3. Résultats expérimentaux

— Observations en cours de croissance :

On note une levée plus tardive dans les sols à saturation aluminique élevée ("m">70) et une diminution apparente de la croissance accompagnée de malformations foliaires et de nécroses.

— Observations à la récolte :

Elles portent sur la morphologie racinaire et sur le comptage des nodulations rhizobiales, ainsi que la détermination du poids sec des parties aériennes et des racines indiqués au tableau 2 et illustrés par les figures 2, 3, 4, 5, 6.

TABLEAU 2

Poids secs des racines et des parties aériennes des plants de haricot et nombre de nodules.

N° vase	m	P.S.R. en mg (1)	P.S.P.A. en mg (2)	Nbre de nodules (3)
1	4	1505	2253	197
2	11	1441	2446	96
3	19	1421	2786	139
4	33	(647)	(1267)	22
5	47	935	2017	6
6	50	876	2028	3
7	59	670	1756	2
8	64	590	1590	0
9	71	765	1446	0
10	83	377	1280	0
11	92	76	357	0

(1) PSR : poids sec des racines (deux plants/vase)

(2) PSPA : poids sec des parties aériennes (deux plants/vase)

(3) Nombre de nodules du système racinaire de 2 plants

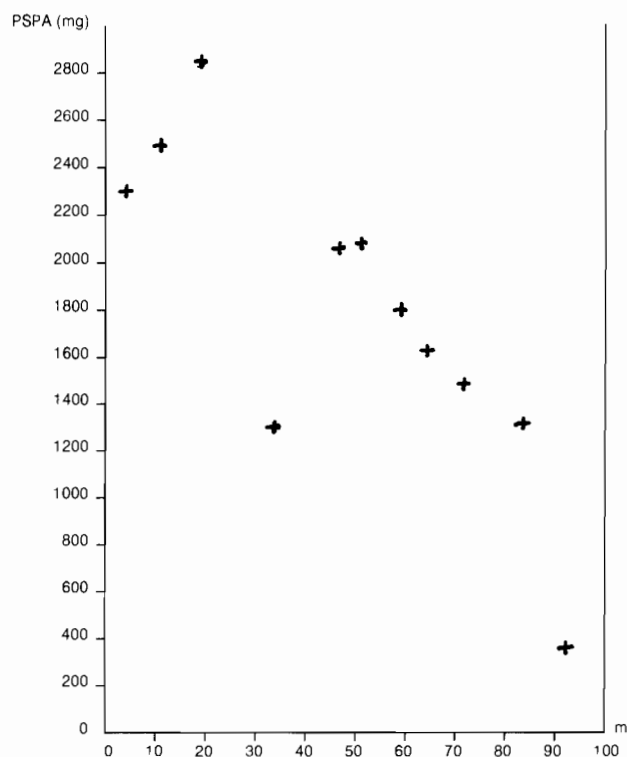


Figure 2: Poids sec des parties aériennes (PSPA) de haricot Calima en fonction des saturations aluminiques (m).

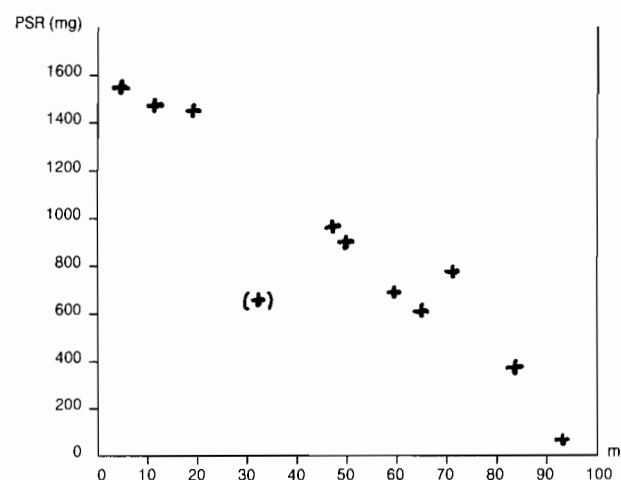


Figure 3: Poids sec des racines (PSR) de haricot Calima en fonction des saturations aluminiques (m).

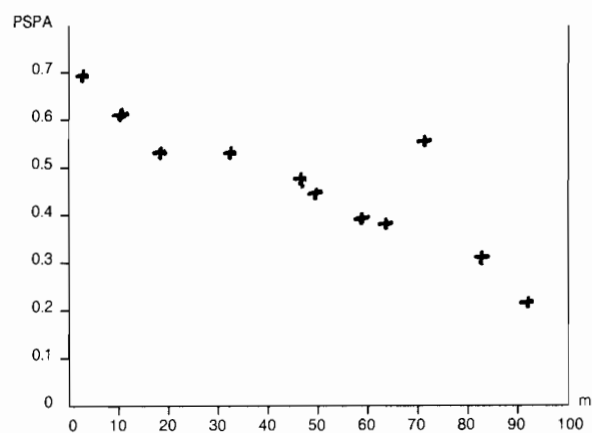


Figure 4: Le rapport poids sec des racines/poids sec des parties aériennes (PSR/PSPA) en fonction des saturations aluminiques (m).

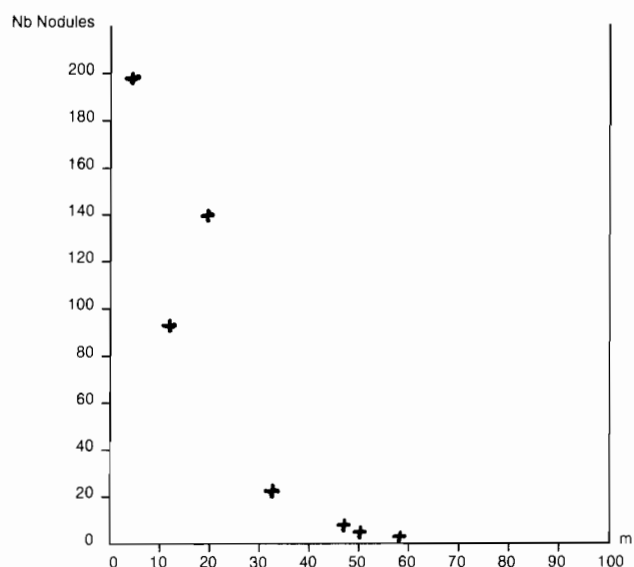


Figure 5: Relations entre le nombre de nodules (haricot Calima) et les saturations aluminiques (m).

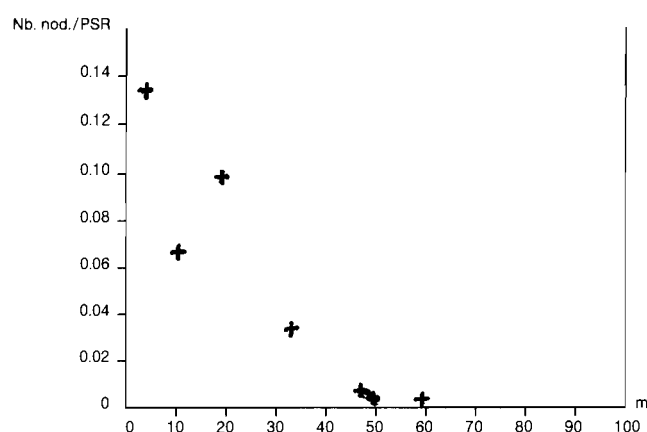


Figure 6: Relation entre le nombre de nodules par unité de poids de racines de haricot Calima en fonction et les saturations aluminiques (m).

2.4. Interprétation des résultats

La croissance des parties aériennes et des racines diminue progressivement à partir de "m"=33 jusqu'à pratiquement s'annuler à la saturation en aluminium.

Le rapport racines/parties aériennes diminue de façon régulière ce qui signifie que le système racinaire est relativement plus affecté que la biomasse aérienne. L'action la plus drastique apparaît au niveau de la nodulation qui est pratiquement supprimée pour des valeurs de "m">33. La densité de nodule par unité de poids de racines diminue régulièrement jusqu'à cette valeur.

3. Essai sur substrat inerte.

3.1. Dispositif expérimental

Le système de vases de végétation est le même que précédemment mais ceux-ci sont remplis d'un sable quartzitique rendu parfaitement inerte quant à sa richesse en éléments biogènes, par des lavages chimiques suivis de rinçages à l'eau déminéralisée.

Les substrats sont additionnés d'une solution nutritive équilibrée dont la formule alimentaire en meq./l. est la suivante :

NO_3^-	SO_4^{--}	H_2PO_4^-	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	Total
10,8	1,2	3,5	7,2	7,1	1,2	31

Ce milieu, complété d'une solution d'oligo-éléments est appliqué à tous les vases de végétation à raison de 20 meq. par vase ce qui peut être considéré comme une application nutritive idéale et saturante en tous les éléments pour la durée de l'expérimentation.

A ce milieu commun de base sont ajoutées des doses croissantes d'aluminium soluble sous forme de sulfate d'aluminium hydraté : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$

correspondant à des concentrations ioniques dans la "solution du sol" échelonnées de 0 à 12 meq. $\text{Al}^{3+}/\text{l.}$ et conférant aux milieux les pH suivants :

N° vase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
meq. $\text{Al}^{3+}/\text{l.}$	0	1,2	2,4	3,6	4,8	6,0	7,2	8,4	9,6	10,8	12
pH	5,6	5,0	4,6	5,4	5,2	5,0	4,2	3,8	3,3	3,1	3,3

Les opérations culturales ont été semblables à celles pratiquées à l'essai sur sol à fin de comparaison.

3.2. Résultats expérimentaux

Les observations ont porté sur les mêmes paramètres que pour l'essai sur sol, mais il n'a pas été observé de nodulation rhizobiale. Cela est dû à la stérilisation du substrat lors des lavages et à l'absence d'inoculation.

Les résultats sont indiqués au tableau 3 et illustrés par les figures 7, 8 et 9.

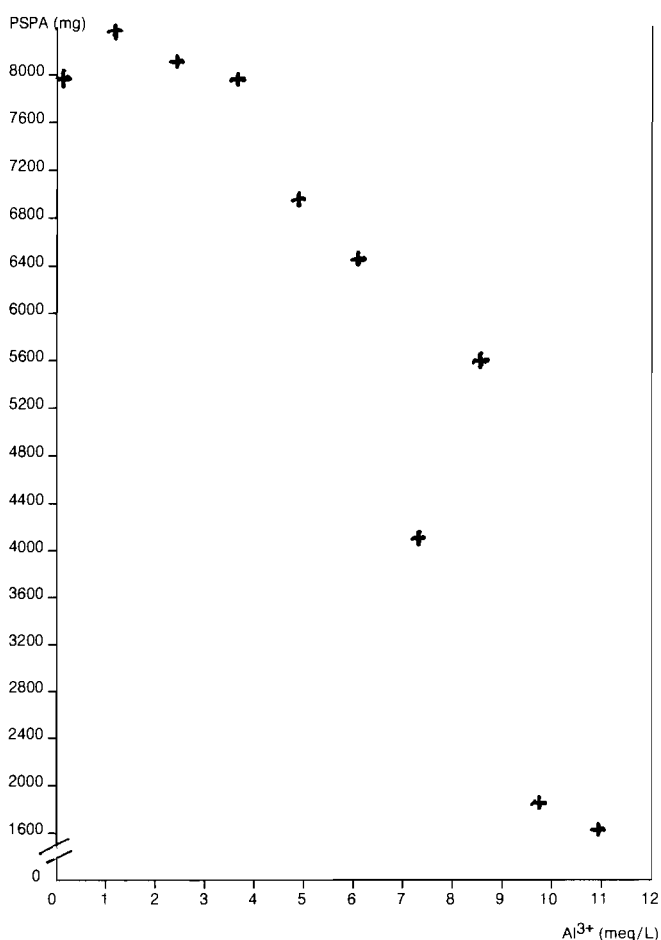


Figure 7: Poids sec des parties aériennes de haricot Calima sur "substrat inerte" en fonction des teneurs en Al^{3+}

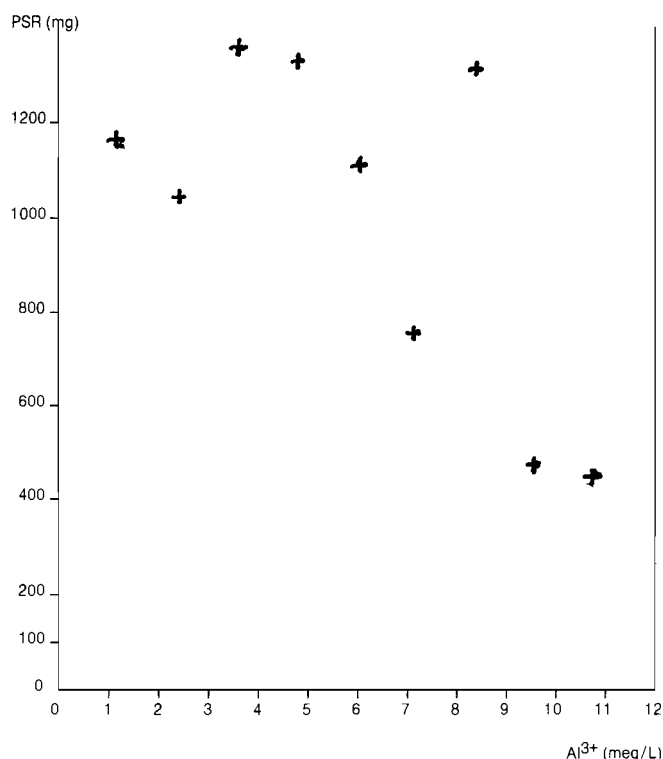


Figure 8 : Poids sec des racines de haricot Calima sur "substrat inerte" en fonction des teneurs en Al^{3+} .

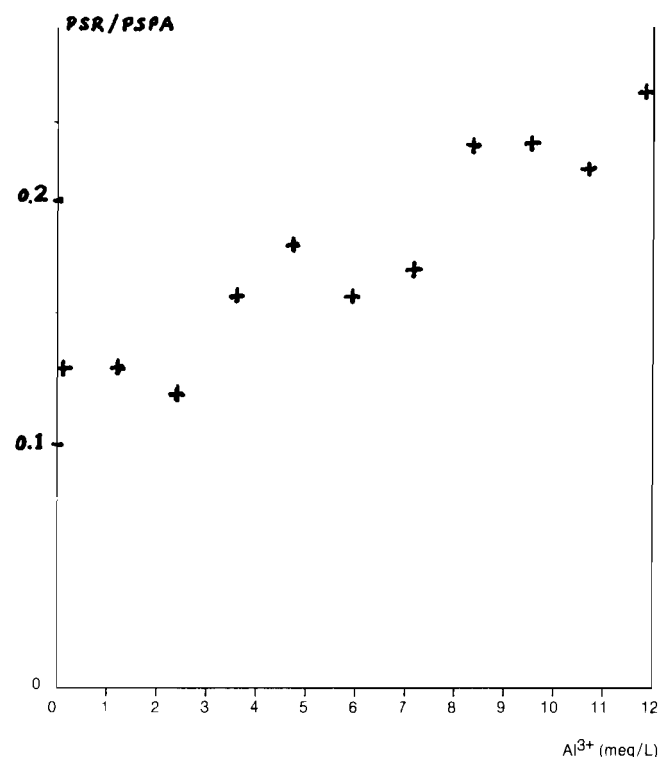


Figure 9 : Rapport PSR/PSPA en fonction des teneurs en Al^{3+}

TABEAU 3

Poids sec des racines et parties aériennes des plants de haricot sur "substrat inerte"

N° vase	Teneur en Al^{3+} (meq/l)	PSR (mg)	PSPA (mg)
1	0	1060	7970
2	1,2	1110	8330
3	2,4	990	8060
4	3,6	1290	7940
5	4,8	1260	6950
6	6	1060	6490
7	7,2	720	4190
8	8,4	1250	5680
9	9,6	450	2050
10	10,8	430	1990
11	12	820	3400

3.3. Interprétation des résultats

L'effet toxique de l'aluminium soluble se marque aussi, mais ici le système racinaire semble relativement moins affecté que la biomasse aérienne et le rapport racine/partie aérienne tend à augmenter.

Le niveau de production pour les doses faibles d'aluminium est très supérieur à celui obtenu sur sol, les conditions de culture ayant été optimisées par la solution nutritive dans le but d'isoler l'action toxique spécifique de l'ion aluminium.

Conclusions

L'influence de la toxicité aluminique des sols sur la croissance du haricot Diacol calima et sur sa nodulation rhizobiale est évidente et particulièrement bien concrétisée par l'utilisation du paramètre "m" de Kamprath.

En définissant un seuil critique de réduction de la croissance à 50% du rendement maximum en biomasse sèche totale (2) celui-ci se situe à "m"=73.

Cette valeur correspond à une résistance relativement élevée. En effet le seuil est de "m"=20 pour le haricot local brésilien et de "m"=50 pour la majorité des plantes cultivées (5).

Il faut toutefois remarquer que, dès la valeur de "m"=33, la production diminue rapidement et surtout que la nodulation est pratiquement supprimée à partir de cette valeur, de sorte que le bénéfice de la symbiose rhizobiale pour l'azote n'existe plus.

De la comparaison entre les caractéristiques de croissance sur sol et sur substrat inerte additionné d'aluminium en solution, il ressort une similitude d'effet de réduction à la moitié de la croissance maximale pour "m"=73 (sol) et 9 meq. Al^{3+} /l (substrat inerte).

Cette dernière valeur correspond à une fraction cationique équivalente $[100 (Al^{3+}) / (Ca^{2+}) + (Mg^{2+}) + (K^{+}) + (Al^{3+})]$ de 76 % qui est très proche de l'indice "m" = 73 sur sol.

Ceci indique l'importance probable des phénomènes de compétition cationique dans la toxicité aluminique. Mais, l'effet relativement plus important sur la réduction du système racinaire que sur la biomasse aérienne, observé sur sol, ne se marque plus lorsque l'aluminium est ajouté sous forme soluble à un milieu nutritif complet.

Il semble donc que l'effet de la toxicité aluminique sur le système racinaire, souvent incriminé (5) soit à rechercher au niveau d'une action indirecte de l'aluminium dans le sol.

Il apparaît donc que la toxicité aluminique des sols constitue une limitation cruciale de la production végétale qui mérite une attention privilégiée au

niveau de la sélection variétale du haricot et surtout de la conception de la fertilisation des sols.

En effet, s'il peut exister des différences variétales de résistance à la toxicité aluminique, seule une fertilisation bien conduite peut rectifier le processus de dégradation des sols et la carence en éléments biogènes qui lui est associée et qui les rend impropres à l'agriculture.

Remerciements

Les auteurs expriment leurs remerciements à MM. J. Gourdin, P. Hollebosc et à Mme C. Kibiriti du laboratoire de Chimie Agricole de L'ISABU, pour les analyses physico-chimiques réalisées, ainsi qu'à Mr. L. Bahaminyakamwe, assistant au Département de Fertilisation et Phytotechnie de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université du Burundi pour sa participation aux travaux expérimentaux.

Références bibliographiques

1. Bultot, F., 1971. Atlas climatique du bassin congolais Publ. INEAC.
2. Cate, R.B. et Nelson, L.A.; 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. **35**, p. 658-660.
3. Kamprath, E.J.; 1967. Soil acidity and response to liming. Rech. Bull. 4. International Soil Testing series. N.C. State Univ. Agr. Exp. Sta. Raleigh, North Carolina.
4. Opdecamp, L. et Sottiaux, G.; 1985. Les kaolisols du Burundi et leurs difficultés de transposition dans les systèmes internationaux de classification. Xe forum international sur "Soil Taxonomy" et le Transfert d'Agrotechnologie. Rwanda-Burundi, 1-12 avril 1985.
5. Sanchez, P.A.; 1976. Properties and Management of Soils in the Tropics, 7 Soils acidity liming. Editeurs: John Wiley et Sons. New York.
6. Tavernier, R. et Sys, C.; 1965. Classification of the Soils of the republic of Congo (Kinshasa) p. 91-136. In: Pédologie Int. Symp. 3. Soil classification (Ghent).

J.F.R. Wouters, belge, ingénieur agronome (Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux) docteur es sciences agronomiques (Université Libre de Bruxelles). Professeur à la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université du Burundi - Chargé d'enseignement, chef de travaux à l'U.L.B.

M. Wakana, burundais, ingénieur agronome (Faculté des Sciences agronomiques du Burundi). Chercheur au département de l'aménagement du milieu (ISABU).

L. Opdecamp, belge, ingénieur agronome (Université Catholique de Louvain). Coopérant A.G.C.D. Chercheur au département de l'aménagement du milieu (ISABU).