

Reçu le 15 Decembre 1971

# Influence de la fertilisation azotée dans le complexe d'échange d'un sol brun acide dérivé de granite \*

par

**L. A. VALENTE ALMEIDA \*\***

(Professeur de Chimie Agricole)

et

**R. PINTO RICARDO**

(Professeur de Pédologie et de Conservation du Sol)

## 1. INTRODUCTION

Des travaux déjà publiés sur un essai permanent de comparaison de certains engrais azotés en sol brun acide de granite («*Solo Pardo Florestal Podzólico*») (1), en cours depuis 1960 dans les lisimètres de l'«*Instituto Superior de Agronomia*», ont divulgué quelques aspects de l'efficiéce de ces engrais, en considérant le lavage de l'azote par les eaux de pluie (2), le bilan de l'azote (3) et l'utilisation de l'engrais

---

(\*) Etude présentée lors de la réunion du Conseil d'Investigation du Groupe des Producteurs de Cyanamide de Chaux, réalisé à Munich, en Mars 1970.

(\*\*) Les auteurs adressent au Président de la «*Comissão Reguladora dos Produtos Químicos e Farmacêuticos*» tous leurs remerciements pour l'aide matérielle dispensée lors de la réalisation de cette étude. Ils remercient également de leur collaboration technique dans les travaux de laboratoire Mesdames Maria Fernanda Barral et Maria de Lourdes Martiniano.

phosphaté par les plantes sous différentes conditions de fertilisation azotée (4).

Bien que dans l'appréciation des résultats présentés dans quelques-uns de ces travaux la variation du pH due aux différents traitements ait été considérée, aucune autre information n'a été donnée sur les modifications survenues dans les propriétés physico-chimiques du sol en conséquence du type de fertilisation azotée appliquée.

C'est dans un tel objectif que le présent travail a été élaboré, et on cherche à y définir, dans une base quantitative, la variation subie par le complexe d'échange du sol sous l'influence de l'emploi d'engrais azotés différents et de la culture permanente.

En tenant compte du type des engrais appliqués et en considérant les données déjà réunies dans les autres travaux sur le même sol, on prévoit, avec une certaine sécurité, les aspects fondamentaux des modifications réalisées dans le complexe d'échange. En effet, on peut espérer que la fertilisation avec le sulfate d'ammoniaque augmentera l'insaturation du complexe d'échange et que le sulfate d'ammoniaque avec le calcaire et la cyanamide de chaux détermineront des changements en sens opposé, par suite de la proportion élevée de calcium incorporé. Toutefois, on a aucun renseignement en ce qui concerne les modifications quantitatives susceptibles de se vérifier dans ce domaine.

## 2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Conformément aux indications d'un travail précédent (2), l'essai auquel les résultats de la présente étude se rapportent a été conduit en lisimètres depuis 1960, en utilisant un sol brun acide («Solo Pardo Florestal Podzólico») (1), dérivé du granite, provenant du Nord du Portugal. Il s'agit d'un sol sable limoneux, à teneur basse en matière organique, de capacité d'échange faible, à réaction très fortement acide (par conséquent avec insaturation prononcée en cations métalliques), pauvre en phosphore assimilable et moyennement pourvu de potasse (2).

Pendant la durée de l'essai, les quatre rotations de culture suivantes se sont succédés:

Blé (1960)	Blé (1961/62)	Blé (1964/65)	Blé (1967/68)
Avoine (1960/61)	Seigle (1962/63)	Seigle (1965/66)	Seigle (1968/69)
Maïs (1961)	Lolium (1963/64)	Lolium (1966/67)	Lolium (1969/70)

Le schéma de fertilisation adopté comprend les modalités suivantes :

1. Témoin sans azote	
2. Sulfate d'ammoniaque	30 kg N/ha
3. Idem	60 kg N/ha
4. Idem	90 kg N/ha
5. Sulfate d'ammoniaque + calcaire	30 kg N/ha
6. Idem	60 kg N/ha
7. Idem	90 kg N/ha
8. Ammonitrate à 20,5 % de N	30 kg N/ha
9. Idem	60 kg N/ha
10. Idem	90 kg N/ha
11. Cyanamide de chaux	30 kg N/ha
12. Idem	60 kg N/ha
13. Idem	90 kg N/ha

Outre l'azote, toutes les caisses lisimétriques ont reçu une fertilisation phospho-potassique — 60 kg de  $P_2O_5$  et 60 kg de  $K_2O$  par hectare — l'acide phosphorique ayant été appliqué sous la forme de superphosphate de chaux granulé, à 18 %, et la potasse sous la forme de sulfate de potasse.

Le matériel étudié comprend les échantillons relatifs aux treize modalités de fertilisation essayées. Ces échantillons ont été pris dans la couche superficielle (0-25 cm) du sol de chacune des caisses lisimétriques, au moment de la préparation de la terre pour l'implantation de la première culture de la cinquième rotation, en Octobre 1970.

Pour définir la variation subie par le complexe d'échange pendant l'essai, on a déterminé la capacité d'échange (T), les cations métalliques échangeables ( $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ) et l'hydrogène échangeable, en suivant la méthode de MEHLICH (5). En plus, on a calculé les valeurs de S et de V, la proportion des cations métalliques échangeables par rapport à S et le rapport Ca/K.

Tous les résultats, qui correspondent à la moyenne de deux déterminations, se réfèrent à de la terre fine (fraction < 2 mm) séchée à l'étuve à 105° C.

### 3. RÉSULTATS ET LEUR APPRÉCIATION

Les résultats obtenus figurent aux tableaux 1 et 2, et on fait leur appréciation en se basant sur les données qui correspondent au témoin. On essaie ainsi de définir les modifications fondamentales déterminées dans le complexe d'échange du sol brun acide après dix ans d'essai, comme conséquence exclusive de l'application de la fumure azotée.

Si l'on compare les résultats des diverses modalités à ceux relatifs au témoin, on constate, dans le cas du *sulfate d'ammoniaque*, une diminution appréciable de la valeur de S. La somme des cations métalliques échangeables est réduite à environ 72 % dans la dose de 30 kg de N et à la moitié dans la dose de 90 kg de N et est accompagnée, logiquement, d'une augmentation de l'hydrogène échangeable de l'ordre de 32 à 91 %. La variation constatée dans le quantitatif des cations métalliques et de l'hydrogène échangeables influe, comme il est normal, dans le taux de saturation qui passe de 63 % (témoin) à des valeurs entre 38 et 45 %.

Dans les modalités de fertilisation avec du sulfate d'ammoniaque, on constate également une diminution dans les divers cations métalliques échangeables, tous les cations métalliques contribuant ainsi à l'abaissement du taux de saturation. Le  $\text{Ca}^{++}$  descend à des valeurs de l'ordre des 50 à 72 % de ce qui correspond au témoin; le  $\text{Mg}^{++}$  et le  $\text{Na}^{++}$  à des valeurs variant de 60 à 79 %; le  $\text{K}^+$  descend à des valeurs de 31 à 69 %. Ce sont donc le calcium et le potassium les cations qui subissent une plus grande diminution; toutefois, le  $\text{Ca}^{++}$  est, de loin, le cation métallique qui a la plus grande influence dans l'abaissement de la valeur S. En effet, tandis que la diminution du calcium est d'environ 77-81 % de la variation de S, la diminution de chacun des autres cations métalliques ne représente que 5 à 9 %.

Si l'on considère les modalités *sulfate d'ammoniaque avec du calcaire*, on constate une augmentation de la somme des cations métalliques échangeables de l'ordre de 21-26 %. Il y a, par conséquent, une diminution dans l'hydrogène échangeable, sa valeur devenant 59-68 % de celle du témoin, et, comme on devait s'y attendre, il y a également une augmentation du taux de saturation qui s'élève de 63 % (témoin) à 75-78 %.

L'augmentation de la saturation du complexe d'échange ne s'effectue, comme il est logique, qu'aux dépens du calcium. Ce cation métallique subit une augmentation de 28-41 % alors que tous les autres diminuent —  $Mg^{++}$  devient 45-60 %,  $K^+$  38-41 % et  $Na^+$  63-75 %. En comparaison avec les modalités du sulfate d'ammoniaque, les diminutions du magnésium et du sodium sont d'un ordre de grandeur semblable, mais celle du potassium tend à être moins accentués.

Parmi les engrais essayés, l'ammonitrate est celui que, quantitativement, modifie le moins le complexe d'échange du sol. Son effet est de la même nature que celui du sulfate d'ammoniaque, mais la réduction des cations métalliques échangeables et l'augmentation de l'hydrogène échangeable sont bien moins faibles. En réalité, la somme des cations métalliques se réduit à 90-99 % de la valeur du témoin, et l'augmentation de l'hydrogène échangeable se limite à 11-15 % (anormalement et exceptionnellement à 32 %). Par conséquent, le taux de saturation est de 54-60 %, valeur relativement proche de celle du témoin. Par ailleurs, en ce qui concerne les cations métalliques individuels, on constate des valeurs de 92-100 % dans le cas du  $Ca^{++}$ , de 70-115 % pour le  $Mg^{++}$  et de 63-81 % et 71-100 % respectivement pour le  $K^+$  et le  $Na^+$ .

En ce qui concerne les modalités de cyanamide de chaux, on remarque que la dose de 30 kg de N détermine une variation dans le complexe d'échange semblable à celle occasionnée par l'ammonitrate, tandis que les deux autres doses produisent un effet identique à celui du sulfate d'ammoniaque avec du calcaire. Si on les exprime en pourcentage du témoin, comme il a été fait jusqu'ici, les divers paramètres présentent les valeurs suivantes: S, 90-133 %;  $Ca^{++}$ , 95-149 %;  $Mg^{++}$ , 60-75 %;  $K^+$ , 56-69 %;  $Na^+$ , 46-83 %;  $H^+$ , 67-94 %. Le taux de saturation est, par conséquent, presque égal à celui du témoin dans la dose de 30 kg de N (62 %) et plus élevé dans les doses de 60 et de 90 kg de N (71 % et 77 %).

L'analyse des résultats que l'on vient de présenter a été faite, fondamentalement d'une façon globale, par rapport au témoin. En comparant les diverses doses dans chaque engrais, on constate qu'il n'y a pas toujours de variation régulière pour tous les paramètres et modalités. Cependant, dans la plupart des cas, la variation est proportionnelle à la dose d'azote appliquée, comme il semble logique.

TABLEAU 1

Modalités	Cations métalliques échangeables me/100 g				H <sup>+</sup> échangeable me/100 g	Somme des cations métalliques échangeables (S) me/100 g	Capacité d'échange cationique (T) me/100 g	Taux de saturation (V) %
	Ca <sup>++</sup> Mg <sup>++</sup> K <sup>+</sup> Na <sup>+</sup>							
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>				
Témoin	2,43	0,20	0,16	0,24	1,79	3,03	4,82	63
Sulfate d'ammoniaque								
30 kg N/ha	1,75	0,14	0,11	0,18	2,67	2,18	4,85	45
Idem	60 kg N/ha	1,68	0,12	0,07	0,19	3,42	5,48	38
Idem	90 kg N/ha	1,22	0,12	0,05	0,15	2,37	3,91	39
Sulfate d'ammoniaque et calcaire								
30 kg N/ha	3,43	0,11	0,13	0,15	1,09	3,82	4,91	78
Idem	60 kg N/ha	3,11	0,09	0,12	0,42	1,06	4,80	78
Idem	90 kg N/ha	3,31	0,12	0,06	0,18	1,21	4,88	75
Ammonitrate à 20,5 % de N								
30 kg N/ha	2,42	0,23	0,13	0,23	1,99	3,01	5,00	60
Idem	60 kg N/ha	2,39	0,17	0,10	0,17	2,05	4,88	58
Idem	90 kg N/ha	2,23	0,14	0,12	0,24	2,36	5,09	54
Cyanamide de chaux								
30 kg N/ha	2,31	0,15	0,11	0,17	1,69	2,74	4,43	62
Idem	60 kg N/ha	3,10	0,12	0,11	0,11	3,44	4,87	71
Idem	90 kg N/ha	3,61	0,14	0,09	0,20	4,04	5,24	77

TABLEAU 2

Modalités		Cations métalliques échangeables (% de S)				Rapport Ca/K
		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	
Témoin		80	7	5	8	15
Sulfate d'ammoniaque	30 kg N/ha	80	6	5	8	16
Idem	60 kg N/ha	82	6	3	9	24
Idem	90 kg N/ha	79	8	3	10	24
Sulfate d'ammoniaque et calcaire	30 kg N/ha	90	3	3	4	26
Idem	60 kg N/ha	83	2	3	11	26
Idem	90 kg N/ha	90	3	2	5	55
Ammonitrate à 20,5 % de N	30 kg N/ha	81	8	4	8	19
Idem	60 kg N/ha	85	6	4	6	24
Idem	90 kg N/ha	82	5	4	9	19
Cyanamide de chaux	30 kg N/ha	84	6	4	6	21
Idem	60 kg N/ha	90	4	3	3	28
Idem	90 kg N/ha	89	4	2	5	40

Dans les sols dont l'argile est dominée par des minéraux du groupe de la kaolinite, comme ce sera le cas du sol brun acide considéré ici\*, la proportion des divers cations métalliques échangeables par rapport à S est de l'ordre de 65 à 75 % pour le Ca<sup>++</sup>, de 10 à 20 % pour le Mg<sup>++</sup>, d'environ 5 % pour le K<sup>+</sup> et de moins de 5 % pour le Na<sup>+</sup>, valeurs correspondant à un rapport Ca/K d'à peu près 13-15. Si l'on constate de telles conditions, en ayant pour objet le problème

(\*) Résultats obtenus dans des études effectuées par le «Centro de Estudios de Pedología Tropical», non publiés.

de la nutrition des plantes, on pourra dire que le complexe d'échange possède une composition équilibrée.

Si l'on envisage, sous ce point de vue, les données obtenues, on a pour le témoin:

Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	%
80	7	5	8	

dont le rapport Ca/K est égal à 16; en considérant les diverses modalités dans son ensemble, la proportion des cations métalliques échangeables est

Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	%
79-90	2-8	2-5	3-11	

et le rapport Ca/K est de 16-55.

Dans le cas du témoin, les proportions de Ca<sup>++</sup> et de K<sup>+</sup>, et implicitement le rapport Ca/K, ne s'éloignent pas de façon significative des valeurs normales; on constate, toutefois, une différence par rapport au Mg<sup>++</sup> et au Na<sup>+</sup>, en moins et en plus, respectivement.

Relativement aux diverses modalités de fertilisation azotée, le déséquilibre s'étend davantage et est plus accentué, tout particulièrement, dans le cas du sulfate d'ammoniaque avec du calcaire et dans le cas de la cyanamide de chaux. En effet, dans ces types de fertilisation, non seulement la proportion de Ca<sup>++</sup> est significativement plus élevée comme il y a une réduction également significative dans la proportion de K<sup>+</sup> et dans celle de Mg<sup>++</sup>; ceci entraîne une augmentation du rapport Ca/K qui, dans ces modalités, atteint des valeurs exceptionnellement élevés.

Dans les cas du sulfate d'ammoniaque et de l'ammonitrate, en comparaison avec le témoin, seule la proportion de calcium est légèrement supérieure, ce qui détermine, par conséquent, une petite augmentation du rapport Ca/K.

En nous basant sur ces données, il y a lieu de remarquer le déséquilibre général qui existe en ce qui concerne le magnésium, même dans le cas du témoin. Un tel aspect fait ressortir que la fertilisation utilisée dans l'essai, sans apport de magnésium (comme il est d'ailleurs usuel dans l'agriculture portugaise), pourra conduire, en peu de temps, à des situations défectueuses de nutrition magnésique

qui auront une influence défavorable dans la quantité et la qualité de la production.

Par ailleurs, les variations constatées dans le calcium et le potassium, notamment dans les fertilisations avec du sulfate d'ammoniaque plus du calcaire et avec la cyanamide de chaux, par le déséquilibre du rapport Ca/K et comme résultat de l'antagonisme inhérent aux deux cations, font redouter que des problèmes de nutrition potassique surviennent avec les types de fertilisation essayée bien qu'ils soient plus rationnels que ceux pratiqués couramment. Cependant, si nous considérons ce problème, il faut tenir compte de certaines particularités, notamment de la quantité élevée de potassium de réserve existant dans les sols en question, et aussi du fait que les exigences des cultures en potassium sont relativement faibles sous les conditions climatiques du Portugal Continental.

Les résultats obtenus doivent être considérés avec les précautions nécessaires étant donné que l'expérimentation a été faite en lisimètres.

## RESUME

On étudie quantitativement, sur un *sol brun acide dérivé de granite*, les modifications subies par le complexe d'échange sous l'influence de différents types de fertilisation azotée (sulfate d'ammoniaque, sulfate d'ammoniaque avec du calcaire, ammonitrate à 20,5 % de N et cyanamide de chaux, appliqués en trois doses), au bout de dix ans de culture en caisses lisimétriques.

Pour toutes les modalités de fertilisation, il y a toujours une diminution de  $Mg^{++}$ , de  $K^+$  et de  $Na^+$ , et on obtient des valeurs qui atteignent même le tiers de celles du témoin. Les variations du  $Ca^{++}$  et de  $H^+$  dépendent de la nature de l'engrais, ces cations finissant toujours par être ceux qui commandent le plus la variation de la valeur de S, ainsi que le taux de saturation.

En ce qui concerne les doses essayées, on constate qu'il n'y a pas toujours des variations régulières dans l'ensemble des modalités expérimentales pour les paramètres étudiés. Toutefois, la plupart des cas présentent une variation proportionnelle à la quantité de l'engrais appliquée.

Les modifications subies par le complexe d'échange déterminent un déséquilibre dans la proportion relative des divers cations métalliques échangeables. De tels déséquilibres font présumer qu'il puisse y avoir des problèmes quant à la nutrition magnésique, dans toutes les modalités, et à la nutrition potassique dans le cas du sulfate d'ammoniaque avec du calcaire et dans celui de la cyanamide de chaux.

## ZUSAMMENFASSUNG

An einer sauren Wald-Braunerde granitischer Herkunft wurden nach zehnjähriger Kultur in Lysimeterkästen die quantitativen Veränderungen des Sorptionskomplexes unter dem Einfluss verschiedener Stickstoff-Formen (Ammonsulfat, Ammonsulfat + Kalk, Kalkammonsalpeter und Kalkstickstoff) in drei Gaben, bestimmt.

In sämtlichen Versuchsgliedern gab es eine Verringerung von  $Mg^{++}$ ,  $K^+$  und  $Na^+$ , wobei Werte erreicht wurden, die sogar ein Drittel der Kontrollwerte betragen. Bei  $Ca^{++}$  und  $H^+$  sind die Schwankungen von der Düngerform abhängig und diese Kationen

waren es schliesslich, die den S-Wert sowie den Sättigungsgrad am stärksten beeinflussten.

Bezüglich der geprüften Gaben ist festzustellen, dass die quantitativen Veränderungen der erwähnten Austauschaktionen bei allen Versuchsgliedern nicht immer gleichgerichtet waren. In den meisten Fällen verliefen diese jedoch proportional zur angewandten Stickstoffmenge.

Die im Sorptionskomplex aufgetretenen Veränderungen bedeuten eine Verschiebung im Verhältnis der verschiedenen Austauschionen zueinander. Diese legt die Vermutung nahe, dass es bei den angewandten Düngerformen Mangelerscheinungen geben könnte, und zwar bezüglich des Magnesiums, in allen Versuchsgliedern, und des Kaliums bei Ammonsulfat + Kalk, sowie bei Kalkstickstoff.

### RESUMO

Estuda-se quantitativamente, num *Solo Pardo Florestal Podzólico* derivado de granito, as modificações que sofre o complexo de troca por influência de diferentes tipos de adubação azotada (sulfato de amónio, sulfato de amónio com calcário, nitroamoniaco a 20,5 % de N e cianamida cálcica aplicados em três doses), ao fim de dez anos de cultura em caixas lisimétricas.

Há sempre diminuição de  $Mg^{++}$ ,  $K^+$  e  $Na^+$ , qualquer que seja a modalidade de adubação, atingindo-se valores que chegam a ser um terço dos da testemunha. As variações do  $Ca^{++}$  e do  $H^+$  dependem da natureza do adubo, acabando por ser estes catiões os que predominantemente comandam a variação do valor de S e bem assim a do grau de saturação.

No que respeita às doses ensaiadas, verifica-se não haver sempre para todos os parâmetros estudados uma variação regular no conjunto das modalidades experimentais. Na maioria dos casos, no entanto, a variação é proporcional à quantidade de adubo aplicada.

As modificações processadas no complexo de troca determinam desequilíbrios na proporção relativa das várias bases de troca. Tais desequilíbrios fazem pressupor que possam existir problemas quanto à nutrição magnésica, em todas as modalidades de adubação ensaiadas, e à nutrição potássica no caso do sulfato de amónio + calcário e no da cianamida cálcica.

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) GRILLO, J. T. TELES: *Contribuição para uma Carta-Esboço dos Solos de Portugal*. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 1953.
- (2) ALMEIDA, L. A. VALENTE: *A lavagem do azoto dos adubos azotados pelas águas das chuvas num solo granítico*. An. Inst. Sup. Agron. XXVII, 263-288 (1965).
- (3) ALMEIDA, L. A. VALENTE: *Un bilan de l'azote dans un essai de comparaison d'engrais azotés*. An. Inst. Sup. Agron. XXX, 9-18 (1968).
- (4) ALMEIDA, L. A. VALENTE und BARATA, Florinda: *Stickstoffdüngung und Verwertbarkeit der Phosphorsäure durch die Kulturen*. Landwirtsch. Forsch. XXII, 100-108 (1969).
- (5) MEHLICH, A.: *Rapid determination of cation and anion exchange properties and pHe of soils*. Journ. AOAC, 36, 445-457 (1953).