

RESULTATS OBTENUS AVEC LES ENGRAIS ET LES AMENDEMENTS CALCIQUES ACIDIFICATION DES SOLS ET CORRECTION

Par

J F. POULAIN
Ingénieur Agronome
Etude et Amélioration du Milieu
C R A D E BAMBÉY
République du Sénégal

AVANT PROPOS

Les études sur les engrais et les amendements calciques ont été réalisées par le C.R.A. de Bambey depuis 1948.

Un essai implanté en 1948 comparait, sur une succession continue d'arachide, des apports de chaux et de baylifos (phosphate naturel du Sénégal à 48 %) à raison de 150 kg/ha chaque année.

Les résultats montrent l'intérêt de l'apport de l'élément CaO et démontrent l'amortissement possible du chaulâge en terres cultivées intensément.

Une expérimentation mise en place en 1951 mettait en comparaison la chaux en fumure annuelle et en fumure de fond, au plâtre en fumure annuelle. Quatre doses croissantes de chacun des traitements ont été mises à l'étude. Le plâtrage s'est révélé sans intérêt ; par contre, le chaulâge a eu un effet sensible sur les rendements de l'arachide à partir de la troisième année. Toutefois, dans ces deux expérimentations, les bénéfices enregistrés par le chaulâge ne compensaient sa dépense qu'au delà d'une période de 7 à 10 ans.

Le diagnostic des carences minérales par la méthode soustractive en vases de végétation dans différents sols du Sénégal montre que le calcium occupe la quatrième place dans la hiérarchie des carences après le phosphore, la potasse et le soufre.

Nous nous proposons de faire le point sur les expérimentations qui se sont déroulées depuis 1960 et dont certaines sont encore en cours. Nous ferons état successivement, dans un premier paragraphe des résultats obtenus avec le chaulâge annuel et le chaulâge de fond ; dans un deuxième paragraphe, nous aborderons les effets du chaulâge sur les caractéristiques du sol et proposerons des remèdes à l'acidification des terres cultivées.

C.R.S.I.O.M.

Collection de Référence

n° 13549

EFFET DES ENGRAIS ET AMENDEMENTS CALCIQUES

A - Fumure annuelle

Les essais ont été conduits de 1960 à 1962. La plante test a été le plus souvent l'arachide de bouche, en raison de l'importance de l'élément calcium pour l'alimentation de cette variété. Aux Etats-Unis, en particulier, le calcium est considéré comme un élément de toute première importance dans la fertilisation de l'arachide de bouche.

a/ zone Centre-Nord : C R A Bambey

Sol brun eutrophe tropical sur matériau sablo-argileux quaternaire

Horizon 0-20 : A + L = 11,6 %	pH pâte	5,9	Ca meq/100 g	2,1
	eau	6,5	S/T saturé	
	KCl	5,5		

Année 1960 : 707 mm

Culture : Arachide Virginia Bunch

Expérimentation : Essai bloc-factoriel - 8 répétitions

Les éléments NPK sont ceux de la formule 6-20-10 à 150 kg/ha

Les oligoéléments sont apportés sous forme de nutramine à 3 kg/ha

Résultats :	Sans chaux	Avec 360 kg CaO
Témoin	804	-
NPK	1069	1132
PK + nutramine	1164	1037
NPK + nutramine	1246	1131

Absence d'effet du calcium sur les rendements et sur les caractéristiques technologiques de l'arachide (poids de 100 graines, rendement au décorticage).

Sol ferrugineux tropical peu lessivé sur sable quaternaire

Horizon 0-20 : A + L = 7,3 %	pH pâte	6,3	Ca meq/100 g	2,1
	eau	6,4	S/T	80 %
	KCl	5,5		

Année 1961 : 663 mm

Culture : Arachide Virginia Bunch, faible densité à la levée : 65000 pieds/ha.

Expérimentation : Essai factoriel 2 × 3 × 3 K.P.Ca (confounding) 4 répétitions

Les éléments PK sont apportés à raison de 0-15-30 kg CaO et 0-15 kg K2O.

Le calcium est apporté sous forme de chaux à 3 doses : 0-50-100 kg CaO.

Coefficient de variation 17,9 %

Résultats : (kg/ha de gousses)

K2O	0	0	0	15	15	100
CaO PKO	0	50	100	0	50	100
0	1329	1266	1208	1295	1383	1444
15	1524	1348	1414	1483	1506	1534
30	1501	1191x	1621	1830	1461 x	1694

L'effet du phosphore et de la potasse est significatif
Aucun effet du calcium.

On constate un effet dépressif de la dose 50 kg de CaO en présence de 30 kg de P205 quel que soit le niveau de la potasse. Cet effet n'est pas significatif.

b/ zone Sine-Saloum Sud : Nioro du Rip

Sol ferrugineux tropical lessivé sur matériau sablo-argileux du Continental Terminal

Horizon 0-20 cm	A + L %	8,8	pH	pâte	6,4	Ca meq/100 g	2,3
			eau		6,8	S/T	saturé
			KC 1		6,2		

Année 1962 : 598 mm

Culture : Arachide Virginia (bouche) et 28-206 (huilerie) faible densité à la levée :

Virginia : 57.550 p/ha 28-206 : 58.770 p/ha.

Essai factoriel $3 \times 3 \times 2$ K × Ca × variété (confounding) 4 répétitions

La potasse est apportée à la dose de 0-20-40 kg K2O

Le calcium est mis sous forme de chaux à 3 doses : 0-100-200 kg/ha CaO

Dose uniforme d'azote (10 kg/ha) et de phosphore (40 kg/ha).

Coefficient de variation : 9,2 %

Résultats (kg/ha de gousses)

Variétés	Virginia			28-206		
	CaO K2O	0	100	200	0	100
0	1980	1763	1757	2493	2480	2379
20	1850	1853	1721	2474	2267	2561
40	1799	1613	1983	2554	2377	2629
<u>Rapport gousses/pailles</u>				0,55		
				0,76		

Aucun effet de la potasse et du calcium.

On observe pour la Virginia un effet dépressif de la dose de 100 kg de CaO en présence de 40 kg de K2O et de P205. Cet effet est significatif La 28-206 donnant des rendements très supérieurs à la Virginia (136 %), l'interprétation a été faite par variété.

c/ zone Sénégal Oriental

zone Nord-Ouest Sinthiou-Malème

Sol ferrugineux tropical à taches et concrétions (beige) sur matériau du Continental Terminal

Horizon 0-20 cm	A + L %	10 %	pH	pâte	6,2	Ca meq/100 g	0,8
			eau		6,5	S/T	54 %
			KC 1		5,8		

Année 1962 : 698 mm

Culture : Arachide Virginia (bouche) et 28-206 (huilérie)

faible densité à la levée : Virginia 45.340 p/ha, 28-206 : 48.910 pieds/ha.

Essai factoriel $3 \times 3 \times 2$ P \times Ca \times variété (confounding) 4 répétitions.

Le phosphore est apporté à la dose de 0-20-40 kg P205

Le calcium est mis sous forme de chaux à 3 doses : 0-100-200 kg/ha CaO

Dose uniforme d'azote (10 kg) et de potasse (40 kg/ha).

Coefficient de variation : 11,9 %

Résultats. (kg/ha de gousses)

Variétés	Virginia			28-206		
	CaO P205	0	100	200	0	100
0	1343	1164	1204	1798	2056	1900
20	1393	1300	1294	2042	2008	2027
40	1085	1375	1416	2091	2046	1901

Aucun effet du phosphore et du calcium (très faible densité)

La 28-206 donne des rendements très supérieurs à la Virginia, l'interprétation a été faite pour chacune des variétés.

zone Sud-Est - KédougouSol ferrugineux tropical lessivé sur matériau alluvionnaire argileux

Horizon 0-20 cm A + L % 30,3 % pH eau 4,8 Ca meq / 100 g 1,6 S/T 57 %.

Année 1961 : 1250 mm

Culture : Arachide Virginia (Bouche) et 28-206 (huilerie)

Essai factoriel 25 variété \times N \times P \times K \times Ca (confounding) 2 répétitions

Niveau N 0 - 6 kg/ha

P 10 - 20 «

K 10 - 20 «

Ca 0 -100 «

Cv 18,3 %

Réponses différentielles (kg/ha)

	Réponse moyenne	Variété		Azote		Phosphore		Potasse	
		Virginia	28-206	0	6kg	10	20	10	30
Effet du Calcium	48	76	27	85	12	38	59	43	53

Moyenne es = \pm 51 PPDS 105
 Rép. différentielle es = \pm 72 PPDS 148

On enregistre seulement un effet des variétés et de l'azote (THS)

La différence pour ces deux effets est de 310 kg/ha. Les rendements sont les suivants pour chacune des variétés :

	28-206	Virginia
0	1256	927
100 kg CaO	1283	997

On n'observe aucun effet du calcium, ni sur les rendements, ni sur les propriétés technologiques de l'arachide (rendement au décorticage ; pourcentage de gousses commercialisables et poids de 100 graines).

L'ensemble des résultats obtenus avec la chaux montre qu'il y a peu à attendre des fumures calciques annuelles. La fumure faible vulgarisée utilise du phosphate bicalcique à 32 % CaO. La quantité de CaO apportée dans ce cas équilibre seulement les exportations des récoltes et il faut compter avec le lessivage que P. VIDAL chiffre en bacs lysimétriques à plus de 200 kg par rotation. Pour l'horizon 0-20 cm en sol dior, on estime les réserves de CaO à environ 2,4 t dont 850 kg sous forme échangeable. Pour l'horizon 0-200, ces quantités sont respectivement de 15 et 5 tonnes. Il est donc vain de vouloir mettre en évidence un effet direct du calcium au cours des premières rotations. Toutefois, le déficit risque de s'aggraver en culture intensive. Non seulement les exportations des récoltes augmentent, mais le lessivage en CaO est beaucoup plus intense (en particulier en présence de fortes fumures azotées). Il y a donc lieu dans ce cas de redoubler de prudence en raison des conséquences sur le potentiel de fertilité que pourrait avoir un déficit croissant en CaO. Nous disposons heureusement d'un contrôle aisément avec les mesures de pH et la correction peut être assez rapide dans nos sols sableux avec les amendements calciques qui font l'objet de l'étude réalisée au chapitre suivant.

B - Amendement

En 1962, un essai a été implanté au C.R.A. de Bambe en sol ferrugineux tropical peu lessivé sur sable quaternaire. La mise en culture venait après une longue friche pour le carré I et une jachère annuelle après culture sans engrains pour le carré II. L'essai se proposait de suivre l'évolution du sol et des rendements à la suite d'apport de chaux agricole à 65 % de CaO.

Sept doses ont été appliquées, chacune d'elles correspondant aux termes de la progression géométrique de raison 2, allant de 300 kg/ha à 19,2 t/ha. Le dispositif est en série ; chaque série est constituée par un carré latin de 8 × 8 portant alternativement les phases de la rotation biennale Arachide-Mil.

Suite des cultures et des fumures

Il n'est jamais recommandé de modifier les traitements d'un essai de longue durée. Certaines modifications ont été dictées par les circonstances et n'affectent en rien la validité de l'essai. Le dispositif en série permet de faire l'analyse statistique sur des périodes correspondant à des traitements invariables. On peut distinguer trois périodes dans le déroulement de l'essai dont les justifications sont les suivantes :

- Première période, 1962-64

Après l'épandage de chaux, on adopte la fumure vulgarisée : 150 kg/ha 6-20-10 sur arachide et 150 kg/ha 14-7-7 sur mil. Les cultures tests sont l'arachide de bouche, dont on espérait une bonne réponse au calcium, et le mil Sanio tardif.

La première année, nous avons utilisé un dispositif en carré latin avec parcelles secondaires en bandes. Les traitements secondaires étaient au nombre de deux : sans oligoéléments avec oligoéléments

Nous pensions que les fortes doses de chaux pouvaient induire des carences en oligoéléments. En fait, les carences induites ne dépendent pas de la présence ou de l'absence de l'oligoélément. Le dispositif sacrifiait une partie de la précision de l'effet principal chaux et réduisait la dimension des parcelles. Ce dispositif a été abandonné dès la deuxième année pour adopter la solution raisonnable du carré latin classique 8 × 8.

- Deuxième période : 1964-66

Les faibles effets du chaulâge et les rendements médiocres obtenus, en mil avec la fumure vulgarisée nous ont déterminé à appliquer la formule forte établie préconisée dans un système de culture à pouvoir d'investissement plus élevé et compatible avec un chaulâge.

Le phosphatage de fond préconisé à 500 kg/ha pour une rotation quadriennale est appliqué sur le mil tous les deux ans à raison de 250 kg/ha. Les compléments azotés et potassiques correspondent à ceux utilisés dans la rotation quadriennale classique : Fumure verte-Arachide-Mil-Arachide. Toutefois ce système implique un travail du sol profond. Ce travail profond est exécuté à l'occasion de l'enfouissement de matière verte dans une rotation comprenant une sole de régénération.

Dans le cadre de la rotation biennale utilisée, le travail du sol profond est réalisable en substituant au mil Sanio tardif le mil Souna précoce. Un labour « d'automne » avec enfouissement de pailles peut être fait dans de bonnes conditions après la récolte.

- Troisième période 1966

Le mil précoce moins productif que le mil tardif ne peut être semé trop tard. La date du 15 Juillet est limite et, en fait, le semis ou la levée a souvent lieu plus tard. En plus, la grenaison du mil précoce a lieu fin Septembre et les dégâts des oiseaux mange-mils sont très importants (mil non barbu). Au cours des deux années en mil Souna les dommages ont été d'autant plus accusés que la majorité des mils cultivés au C.R.A. sont tardifs (mils barbus). Les rendements dans ces conditions ont été très médiocres, malgré la forte fumure.

Nous avons donc adopté d'une manière définitive le mil Sanio. Nous effectuons avant le semis un travail de préparation du sol en sec qui malheureusement n'est pas toujours réalisable avec les moyens de la traction bovine. Sa réalisation correcte nécessite des pluies précoces pour ameublir le sol avant le semis.

Nous résumons dans le tableau suivant les cultures et fumures depuis 1962

ANNEE	Carré latin I Sud		Carré latin II Nord	
	Culture	F u m u r e	Culture	F u m u r e
1962	Arachide Virginia (bouche)	Eppardage chaux 150 kg 6-20-10 + 3 kg Nùtramine	Mil PC 19 (tardif)	Eppardage chaux 150 kg 14-7-7+3kg Nutra- mine
1963	Mil PC 19	150 kg 14-7-7	Arachide 59-46 (bouche)	150 kg 6-20-10
1964	Arachide 48-115	150 kg 6-20-10	Mil PC 28 précoce	250 kg phosph.tricalcique 60 kg N (sulfate) 20 kg K2O (chlorure)
1965	Mil PC 28 précoce	250kg phosph.tricalcique 60kg N (sulfate) 20kg K2O (chlorure)	Arachide 48-115	10 kg N (sulfate) 50 kg K2O (chlorure)
1966	Arachide	10kg N (sulfate) 50kg K2O (chlorure)	Mil PC 19	250kg Phosph.bicalcique 60kg N (urée)
1967	Mil PC 19	250kg phosph.tricalcique 60kg N (urée)	Arachide 48-115	10kg N (sulfate) 50kg K2O (chlorure)
1968	Culture et fumure prévue sans changement par rapport à 1966- alternativement-			

Conditions pluviométriques

Elles permettent d'expliquer l'évolution des rendements et nous avons repris les critères retenus par C. DANCETTE pour la détermination de la durée de l'hivernage utile.

Première pluie utile au moins ≥ 20 mm

Cette date n'est retenue que si la période de sécheresse qui suit ne compromet pas le semis. A raison évaluation des besoins à 2 mm/jour, il faut une pluviométrie $\geq 2 \text{ mm} \times n$ jours de sécheresse.

Deuxième pluie utile au moins ≥ 5 à 10 mm

Cette date conditionne la reprise et le début de la croissance active.

Dernière pluie utile au moins ≥ 5 mm

Le dernier jour de pluie conditionne un arrachage correct pour l'arachide.

	Moyenne 32-66	1962	1963	1964	1965	1966
Total en mm	665	571	580	484	610	532
1 ^e pluie utile	3/7	24/6	?/7	13/7	23/7	18/8
2 ^e pluie utile	13/7	17/7	7/7	21/7	30/7	22/8
Dernière pluie utile	12/10	10/10	14/10	30/9	11/10	14/10
Semis arachide	-	26/6	2/7	14/7	9/7	19/8
Récolte arachide	-	25/10	1/11	9/10	6/11	21/11
Semis mil	-	20/6(ensec)	20/6(ensec)	17/7	6/7	20/8

Résultats agronomiques

- Les rendements en mil sont très faibles et ininterprétables depuis le début de l'essai. Les deux premières années ont été conduites en fumure faible. Les faiblesses de rendement en mil Souna sont la conséquence de la date de semis tardive et des dommages causés par les oiseaux. En 1966, le mil a été resème le 18 Août après avoir été détruit par la sécheresse alors qu'il atteignait déjà 80 cm.

Les rendements en arachide sont bons, même pour l'année 1964 où le semis a eu lieu le 18 Août en variété hâtive. On ne décèle que de légers effets du chaulâge selon les années. La somme de production pour les 5 années donne les résultats suivants :

Sans chaux	8073 kg/ha	moyenne	1615 kg/ha
1,2 t	8515 «		1703 «
19,2 t	8575 «		1715 «

Il est remarquable de constater que la très forte dose de chaux donne le meilleur rendement. On aurait pu s'attendre au contraire à une baisse des rendements provoquée par le surchauffage (immobilisation en milieu alcalin de divers éléments : P, Fe, Mn ...)

Ce résultat montre la grande faculté d'adaptation de l'arachide à des conditions de milieu très diverses.

Rendement en kg/ha au cours des années

Arachide

Année	1962	1963	1964	1965	1966
Variétés	Virginia Bouche	59-46 bouche	48-115	48-115	55-437 (hâtive)
Densité à la ré-colte	71.960 Semis 2 gr.	51.450	85.550	83.000	100.600
0 kg CaO	2518	1636	1555	1491	873
300 "	2244	1644	1584	1443	1039
600 "	2376	1764	1541	1442	1170
1,2 t	2492	1954	1500	1455	1114
2,4 t	2395	1971	1490	1434	1172
4,8 t	2512	1900	1615	1231	1127
9,6 t	2488	1831	1626	1241	1050
19,2 t	2670	2044	1572	1237	1052
Rapport gousse/ mat. sèche totale	0,46	0,56	0,29	0,36	0,52
Coefficient de variation %	12,5	18,6	18,7	13,6	9,8

Mil :

Année	1962	1963	1964	1965	1966
Variétés	PC 19	PC 19	PC 28	PC 28	PC 19
0 kg	385	784	497	774	502
300 kg	359	866	386	807	381
600 kg	484	823	400	836	430
1,2 t	420	821	550	787	378
2,4 t	463	781	444	770	370
4,8 t	368	802	388	797	360
9,6 t	343	770	255	517	354
19,2 t	363	794	269	538	402
Rapport grains/ part.végétative	7,0%	8,1%	6,4%	-	13,3%
Poids grains/epi en g	9	19	8	19	8
Coefficient de variation %	37,5	30,7	Ininterprété	25,5	36,7

EVOLUTION DE L'ACIDITE DU SOL SOUS CULTURE : EFFET DU CHAULAGE ET DES ENGRAIS

Les mesures de pH

Le pH est un moyen d'exprimer l'acidité ou la basicité d'un sol. C'est une mesure conventionnelle, car elle est réalisée dans des conditions standards (suspension de sol dans l'eau 1/2, 5 ou dans une solution de KC 1 normale ; pâte à saturation).

C'est aussi une notion synthétique puisqu'on étend à un système hétérogène une loi définie à partir de solutions vraies. Puisque la solution du sol contient des électrolytes, le pH apparaît comme la résultante de l'activité des ions H⁺ distribués autour du complexe argilo-humique et des ions H⁺ de la solution du sol. Il existe, en effet, toutes les transitions possibles entre les ions hydrogènes liés aux micelles d'argiles et humiques et les ions hydrogènes dissociés libres ayant une activité maxima.

On comprend ainsi aisément que le pH soit sous la dépendance de la capacité d'échange du complexe, de son degré de saturation et de la concentration en électrolytes de la solution. Une augmentation de la concentration en électrolyte entraîne une baisse de pH. Pour éliminer le facteur concentration en électrolyte, on peut se placer à des concentrations assez fortes par rapport à celles de la solution du sol. C'est ainsi que l'on mesure le pH KC 1 (N) qui est toujours inférieur au pH H₂O. L'intérêt du pH HCl réside dans une plus grande stabilité dans le temps.

Les variations du pH sont sous la dépendance des modifications de l'acidité totale ou de l'acidité active.

Dans le premier cas, la proportion de cations diminue. La teneur en Ca du complexe étant en général élevée, on parle souvent de décalcification. La décalcification au sens strict a deux origines ; les exportations et le lessivage du calcium. Le lessivage est d'autant plus important qu'il y a plus de calcium et que le degré de saturation est plus élevé.

Dans le deuxième cas, il s'agit seulement de la variation du rapport entre les deux formes : H⁺ dissocié et H⁺ fixé.

La concentration en ions H⁺ est liée en premier lieu à la teneur en eau. On en déduit qu'un excès d'humidité est mieux supporté en milieu alcalin, et que l'acidité est mieux supportée en milieu humide. En dehors de cette liaison étroite avec la teneur en eau (d'où l'importance d'une mesure standard), les modifications de l'acidité active sont le fait des variations de la concentration saline de la solution du sol (apport d'engrais) et également de la tension en CO₂.

Evolution de l'acidité sous culture - Effet des engrains minéraux

Dans de nombreux essais réalisés au C.R.A. de Bambeay, on observe des baisses de pH importantes. Ces baisses peuvent être faibles en valeur absolue, mais on ne peut les considérer comme négligeables. La mesure de pH est une mesure précise dont l'erreur absolue ne dépasse pas 0,2 unité pH. En fait, la précision que nous obtenons est supérieure, toutes les mesures étant effectuées en double exemplaire.

Les prélèvements de sol sont réalisés au cours du temps dans les mêmes conditions et à la même époque. Les différences sont testées statistiquement, les déterminations se faisant parcelle par parcelle dans des dispositifs expérimentaux à plusieurs répétitions.

a/ Après une rotation Jachère-Arachide-Mil-Arachide, on observe les valeurs suivantes pour le pH eau 1/2, 5 :

	Sans engrais	Fumure vulg.
Prélèvement Septembre 1960 avant Jachère	6,0	6,0
Prélèvement Septembre 1965 après 2e arach.	5,7	5,5
(horizon 0-20 cm)		

Le bilan brut apport-exportations du CaO s'établit ainsi que le traitement sans engrais et la fumure vulgarisée :

	Apport	Exportations	Bilan
Témoin	0	- 40	- 40
Fumure NPK 150 kg	56	- 48	+ 8

Le bilan est négatif pour le témoin et équilibré pour le traitement en fumure faible. Le lessivage qui entraîne d'après P. VIDAL de 50 à 150 kg de CaO par an va déplacer le bilan dans le sens nettement défavorable pour les deux traitements. Au lessivage s'ajoute l'action des engrâis pour le traitement correspondant, dont l'effet sur le pH des différents éléments seuls ou associés a pu être mis en évidence d'une façon certaine.

Un essai factoriel 23 NPK (dose vulgarisée) a donné les résultats suivants après une rotation complète en fumure vulgarisée :

pH suspension 1/2, 5

Témoin	5,7	Effet de N seul	- 0,5	THS
N	5,3	N en prés. de P	- 0,4	THS
P	5,6	N « de K	- 0,4	THS
NP	5,3	x «	xxx	
K	5,7	N «	PK + 0,1	
NK	5,3	Effet de P «	NK + 0,2	Significatif
PK	5,4	Effet de K «	NP + 0,2	
NPK	5,5			

$$es = \pm 0,1 \quad DS \ 0,001 = 0,4 \quad DS \ 0,05 = 0,2$$

L'expérimentation met en évidence un effet de N négatif et très hautement significatif et des effets positifs et significatifs des interactions NP et NK. La fumure azotée (sulfate NH₄) fait baisser le pH de 0,5 unités. La baisse est plus faible quand on adjoint à l'azote la fumure phospho-potassique.

L'acidification ou la neutralisation exprimée en kg de CaO pour 100 kg de produit utilisé donne les résultats suivants pour les engrâis entrant en combinaison dans la formule vulgarisée.

	Acidification	Neutralisation
Sulfate NH ₄	110	-
Phosphate bicalcique	-	25 32 % CaO
Chlorure de K	0	0

Le sulfate NH₄ a une action nettement acidifiante en sels tampons faibles puisque la nitrification transforme l'ion ammonium en ion nitrique et libère les ions H⁺. L'acidification résulte aussi de la libération du radical acide lors de la dissociation du sel dans le sol.

L'expérience précédente a isolé le rôle prépondérant du sulfate d'NH₄ dans le processus d'acidification des sols.

Le phosphate bicalcique a un léger effet neutralisant, à cause de la présence de Ca dans sa formule. Le chlorure de potassium est un sel neutre. Toutefois, il peut agir dans le sens de la baisse. Cette variation sera temporaire car lors de l'absorption par la plante du potassium, l'équilibre se déplacera dans le sens inverse.

b/ Dans les carrés latins chaux, en culture intensive et conduits avec forte fumure depuis 1964, nous observons des variations plus importantes de 1963 à 1966. Les prélèvements ont eu lieu en fin de saison sèche.

	Carré I après longue jachère		Carré II Après cultures et courte jachère	
	1963	1966	1963	1966
pH eau	6,4	5,3	5,8	5,4
ph KCl	5,8	4,3	4,7	4,4
pH pâte	4,8	4,8	5,7	5,0

Le bilan brut apport-exportations en CaO est largement équilibré grâce à l'apport du phosphate tricalcique.

Il s'établit ainsi pour le carré II en adoptant la mobilisation minérale de 2,5 kg pour 100 kg de grains ou de gousses (chiffre moyen obtenu avec des productions de matière sèche totale équivalente à celles de l'essai). Dans le système de culture actuel, ces chiffres correspondent sensiblement aux exportations réelles.

		<u>Apport CaO</u>	<u>Exportations</u>
1963	Arachide	24	41
1964	Mil	130	12
1965	Arachide		27
Bilan + 67 kg/ha			-

Malgré l'apport de phosphate tricalcique à 52 % de CaO, on enregistre une baisse de pH eau de 0,4 unité. A l'action du lessivage, s'ajoute l'effet des 300 kg de sulfate d'NH₄, épandu sur le mil. Cette dose qui représente 60 unités est celle préconisée actuellement dans la fumure forte étalée avec phosphatage de fond. Suite aux observations de P. VIDAL en bacs lysimétriques, il est probable que cette fumure azotée faiblement utilisée par le mil Souna en 1964, a accru le lessivage en CaO dans de fortes proportions.

Dans le carré I, l'importante baisse de pH est la conséquence de la mise en culture d'une jachère longue. Ce fait a déjà été noté maintes fois par divers auteurs. Dans les deux carrés, le pH au bout de quatre ans de culture s'est stabilisé à la même valeur.

c/ Depuis deux ans, nous avons implanté sur les sols du C.R.A. de Bambe un dispositif permettant de comparer le sulfate d'ammoniaque à la perlurée sur différentes cultures et dans plusieurs rotations.

L'importance des doses d'azote préconisées sur la céréale en fumure forte (300 kg/ha / sulfate) risque d'avoir très rapidement des conséquences fâcheuses sur l'acidification et les phénomènes de nitrification.

La perlurée est un engrais concentré (45 % N), et non acidifiant qui provoque même un léger relèvement du pH au moment de l'hydrolyse. Cette alcalinisation temporaire permet ainsi une meilleure nitrification. A la suite d'une application d'engrais azoté sur mil, nous avons obtenu les valeurs moyennes suivantes des pH mesurés 4 mois après la récolte (20 prélèvements)

	Mil après jachère longue durée		Mil dans rotation Jach.Arach.Mil		Fumure N 60 kg N ₂ Fumure PK uniforme à la mise en culture: 500 kg tricalcique 200 kg bicalcique 50 kg chlorure	
	Sulfate (300kg)	Urée (133kg)	Sulfate (300)	Urée (133kg)		
	pH eau	6,1	6,3	5,4	5,8	5,0
pH KCl	5,0	5,2	4,4	4,7	5,7	5,9
pH pâte	5,7	5,8	5,2	5,5	5,9	5,8

Les prélèvements ayant été faits parcelle par parcelle, l'interprétation statistique a pu conclure à des différences de pH après apport d'urée ou de sulfate significatives ou très hautement significatives. Les baisses ont été faibles dans le sol mis en culture après jachère longue, à cause de son pouvoir tampon plus élevé.

Les résultats obtenus ont été les suivants (Année 1966 très déficitaire Semis 18 Août) pour différentes conditions de culture.

	Tém.abs.	Sulfate	Urée	App.N
		211	670	10kg
Araachide continue depuis 1956	593	1019	1025	10kg
Aarachide {rotation Jach.Ar.-Mil}	736	1291	1208	60kg
" " "	478	1177	1222	60kg
Mil (après longue jachère)				

Aucune différence n'est significative entre les deux engrains, et ce résultat confirme ceux obtenus par P. VIDAL sur céréales en 1961-62.

CORRECTION DU PH

Etablissement des courbes de saturation au laboratoire

On détermine les valeurs de pH correspondant à des additions croissantes d'eau de chaux titrée à 20 g de sel.

Pour tracer les courbes de saturation, nous avons porté directement en abscisse les quantités de CaO en kg/ha et en ordonnées les pH successifs. La mesure a été refaite au bout de 24 heures afin d'obtenir une stabilisation du pH (cf : courbe de désaturation après le surchauffage mis en évidence par R. CHAMINADE). Les courbes de saturation sont voisines de la droite. La pente par rapport à l'horizontale fournit une mesure du pouvoir tampon du sol, c'est-à-dire de sa résistance à des variations brusques de concentration en ions H⁺

La présence de colloïdes argileux et humides au même niveau dans les deux carrés fait que les droites ont la même pente. Toutefois les corrections à apporter ne sont pas les mêmes pour atteindre le pH 6,5.

Pour le Carré I la dose de chaux requise est de 275 kg/ha de CaO
Pour le Carré II il faut apporter 475 kg/ha de CaO

Evolution du pH après chaulage Epannage chaux Juin 1962

Les mesures ont été faites le 30 Mai 1963 et le 16 Juin 1966 sur les latins chaux. On obtient les résultats suivants :

Carré I

Mesures		pH susp. 1/2.5		pH KCl		pH pâte		CEMhos $10^{-6}/\text{cm}$
Traitements	Année	1963	1966	1963	1966	1963	1966	1965
Dose 1	0	6,4	5,3	5,8	4,3	6,3	4,8	60
" 2	300kg	6,7	5,3	6,1	4,3	6,5	4,8	58
" 3	600kg	6,8	5,6	6,4	4,7	6,6	5,1	76
" 4	1,2 t	7,0	5,8	6,6	5,0	6,7	5,4	63
" 5	2,4 t	7,5	6,3	7,2	5,4	7,1	5,7	72
" 6	4,8 t	7,8	6,9	7,4	6,2	7,2	6,5	74
" 7	9,6 t	8,0	7,5	7,7	6,8	7,2	7,1	90
" 8	19,2 t	8,0	8,2	7,9	7,6	7,3	7,6	95

Carré II

Mesures		pH susp. 1/2.5		pH KCl		pH pâte		CEMhos $10^{-6}/\text{cm}$
Traitements	Année	1963	1966	1963	1966	1963	1966	1966
Dose 1	0	5,80	5,45	4,70	4,40	5,70	5,00	63
" 2	500	6,50	5,85	5,70	5,00	6,40	5,40	66
" 3	600	7,00	5,90	6,10	5,00	6,80	5,45	64
" 4	1,2 t	7,45	5,75	6,70	4,70	7,10	5,30	56
" 5	2,4 t	7,70	6,20	6,95	5,50	7,20	5,75	115
" 6	4,8 t	8,15	7,25	7,50	5,30	7,60	6,85	106
" 7	9,6 t	8,15	7,85	7,55	7,45	7,60	7,40	99
" 8	19,2 t	8,35	8,10	7,70	7,85	7,75	7,65	104

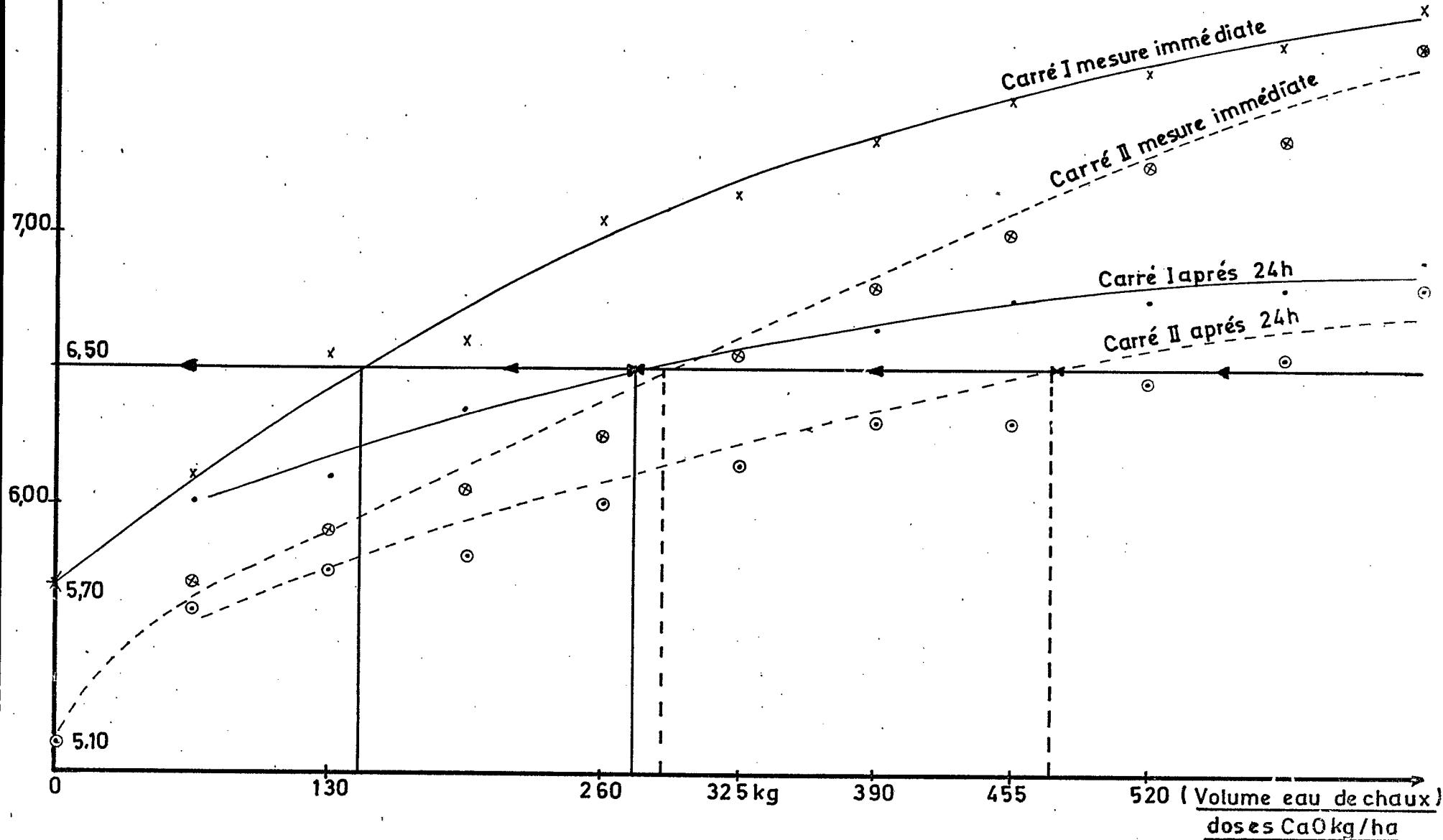
COURBES DE SATURATION

Témoins absolus - Essai chaux

Etabli avec la collaboration de M^r M.Foy Chimiste au C.R.A.

Etabli au laboratoire sur 20g de terre

8,00 Ph eau susp. 1/25



Interprétation sur carré II

En 1963, le pH d'origine est de 5,8 (eau et 4,70 (KC 1). Ces valeurs sont faibles, mais normales pour des sols diors cultivés. Après l'apport de chaux, on constate une remontée très nette du pH dès la dose 300 kg/ha. Le maximum est atteint pour une dose de 4,8 t. Le sol étant très faiblement tamponné (5 à 6 % d'argile), la variation brutale du pH est très logique. Toutefois aux doses élevées, la variation est plus faible. Il y a lieu de remarquer que le calcium est apporté au sol de façon hétérogène. Malgré un échantillonnage très soigné, cette hétérogénéité peut introduire des erreurs dans la valeur exacte du pH.

La courbe établie avec le pH KC 1 a la même allure que celle du pH eau (environ 0,7 unité pH plus faible). On constate que la différence entre les deux pH est plus importante aux faibles doses de CaO, ce qui est logique en raison du degré de saturation élevé du complexe aux fortes doses.

En 1966, on assiste après trois années de culture à une baisse nette des pH. Pour maintenir le pH à sa valeur initiale après trois années de culture, il a été nécessaire d'apporter en plus 250 kg de phosphate tricalcique, 300 kg de chaux agricole à 65 %. Les doses 600 kg et 1200 kg n'augmentent pas le pH et il faut apporter en une seule fois 2400 kg de chaux pour voir le pH s'accroître de 0,4 unité (5,80 à 6,20). Toutefois en raison du pouvoir tampon très faible, il n'est pas recommandable de préconiser des doses supérieures à 500 kg de CaO. L'apport seulement de 600 kg de chaux agricole en 1962 se traduit en 1963 par une augmentation de pH de plus d'une unité. Il y a donc lieu d'être très prudent car une augmentation importante du pH peut avoir de graves conséquences (problème phosphore et oligoélément).

Après apport de fortes doses de chaux (10 t et 20 t), le pH KC 1 n'est pas modifié et le pH eau baisse légèrement. Dans les deux parcelles à fort chaulâge on retrouve des petits blocs de chaux très solides et l'hétérogénéité de l'apport est très grande. Ce chaulâge à dose forte a porté une fraction du sol par saturation de son complexe en ions Ca, à un pH très élevé. Dans cette zone sursaturée, la chaux est restée quelquefois sous forme de nodules bien individualisés de C03.Ca que l'on retrouve encore trois ans après le chaulâge. Cette fraction de sol sursaturée cède à la partie restante les ions calcium. Ce phénomène expliquerait la constance du pH. Les faiblesses relatives des rendements de la céréale sur les parcelles à fortes doses peuvent trouver également une explication dans l'inefficacité de la fumure azotée ammoniacale en présence de C03 Ca (volatilisation). Il suffit de 10 kg C03 Ca/ha pour neutraliser 1 kg d'azote ammoniacal. On constate également que la valeur pH (K20) - pH (KC 1) est minimum aux fortes doses. Ce fait est logique, en raison du surchaulâge, la différence entre les deux pH représentant en quelque sorte la possibilité immédiate d'un sol à s'acidifier. La dose 4800 ne provoque pas de surchaulâge, les possibilités d'acidification sont maxima (écart entre pH eau et pH KC 1 important)

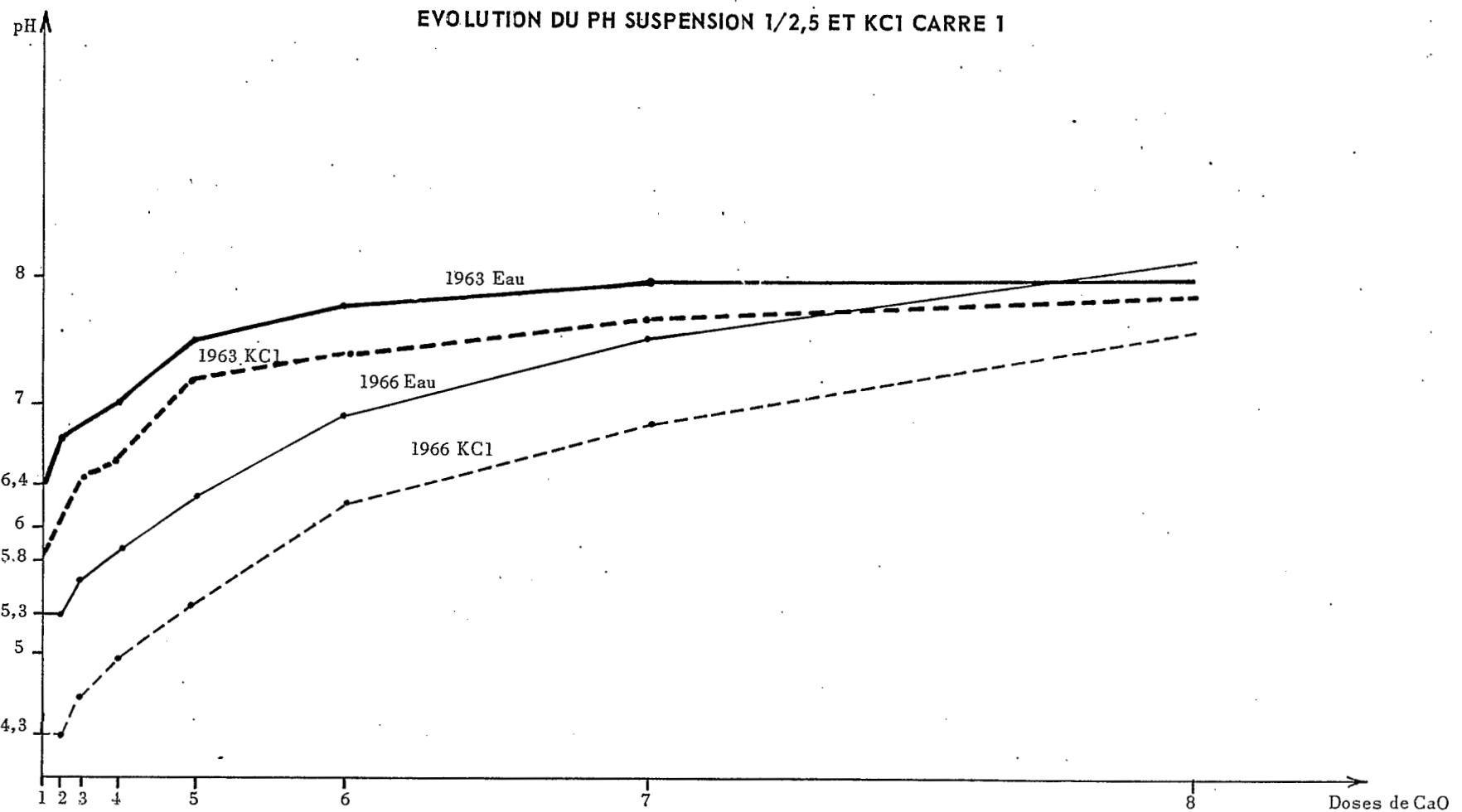
Les courbes d'évolution du pH établies sur le carré I ont la même allure. Elles se situent à un niveau légèrement inférieur en raison du pH de départ plus bas et sont très régulières.

On constate une assez bonne correspondance entre les pH des courbes de saturation obtenues au laboratoire et les pH effectivement mesurés au champ. Il faut 300 kg de CaO environ pour amener le pH à 6,5. Toutefois la correspondance est de moins en moins bonne dans le temps. En 1966, il fallait 2400 kg de CaO pour amener le pH à 6,5. Ce fait explique car l'addition de chaux en l'état de fragments provoque un surchaulâge du sol immédiatement au contact. Ces particules cèdent une partie de leur chaux aux éléments voisins, neutralisant petit à petit le sol. Quand les particules surchaulées reviennent à la neutralité, il y a une perte importante de chaux quant à son action sur le pH du sol.

La mesure en laboratoire ne donne pas lieu à ce surchaulâge suivi d'un retour à la neutralité établi ainsi à une détermination trop faible de la quantité de chaux. Ces résultats que nous retrouvons ici ont été mis en évidence par R. CHAMINADE en 1933.

Evolution du pH à la suite de phosphatage de fond

Dans un système de culture intensif, caractérisé par la fixation des cultures, le respect d'une rotation et quelques possibilités d'investissement, les travaux du C.R.A. de Bambeay ont mis en évidence l'intérêt du phosphatage de fond appliqué en tête de rotation pour corriger la carence grave en P205. Les gisements de phosphates sont abondants au Sénégal et leur teneur en CaO dépasse 50 %. L'apport de phosphate s'accompagne donc d'un chaulâge. La quantité de 500 kg/ha de phosphate tricalcique préconisée pour obtenir un effet régulier du P205 pendant toute la rotation apporte avec 190 kg de P205 une quantité de 250 kg de CaO.

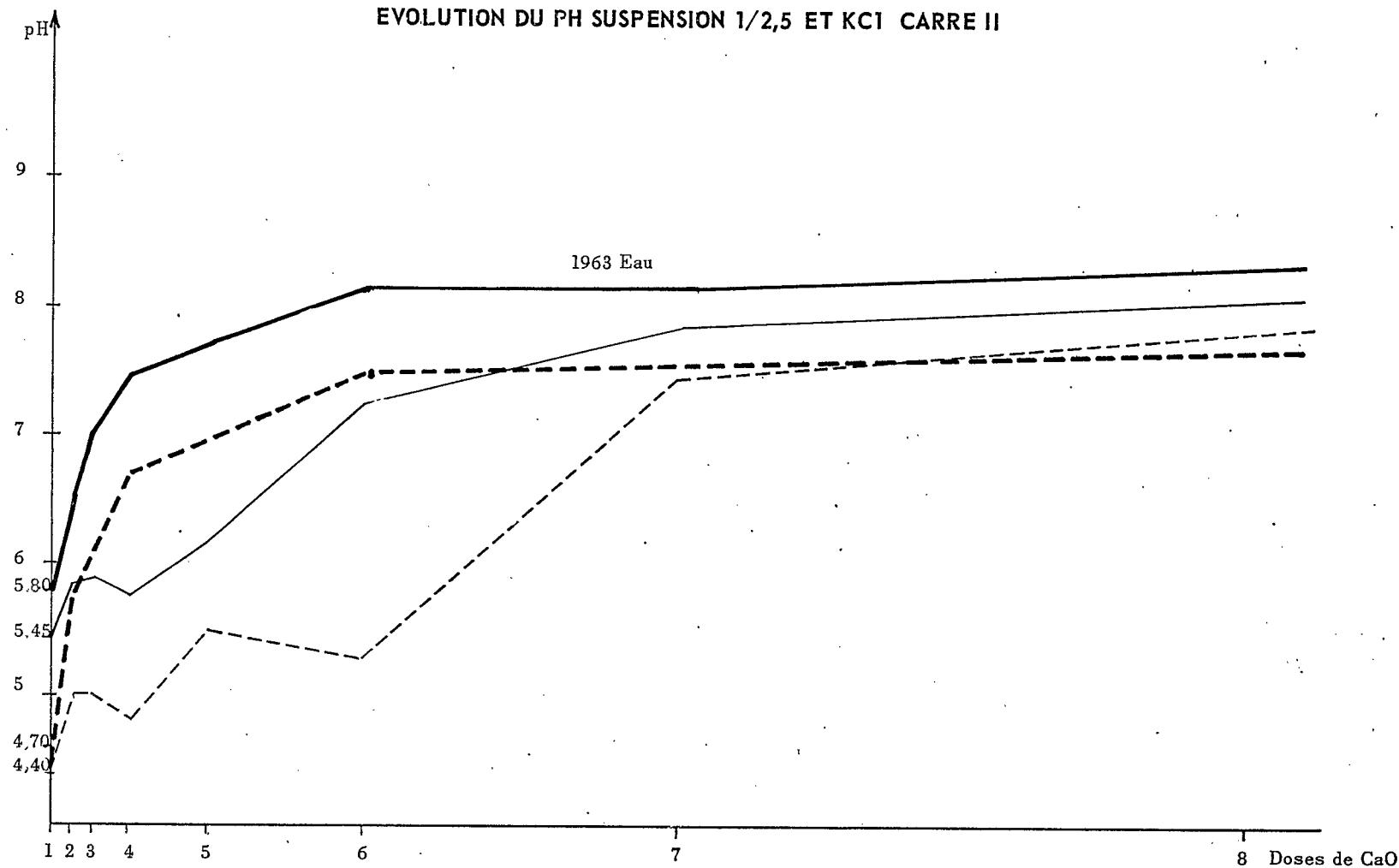


1963 Eau KC1
1966 ——— - - -

(Prélèvement début hivernage 1963 et 1966)

DOSES DE CHAUX AGRICOLE A 65% CaO 1 - 8 kg 5 - 2,4 T
APPRTEES EN 1962 2 - 300 kg 6 - 4,8 T
 3 - 600 kg 7 - 9,6 T
 4 - 12 T 8 - 19,2 T

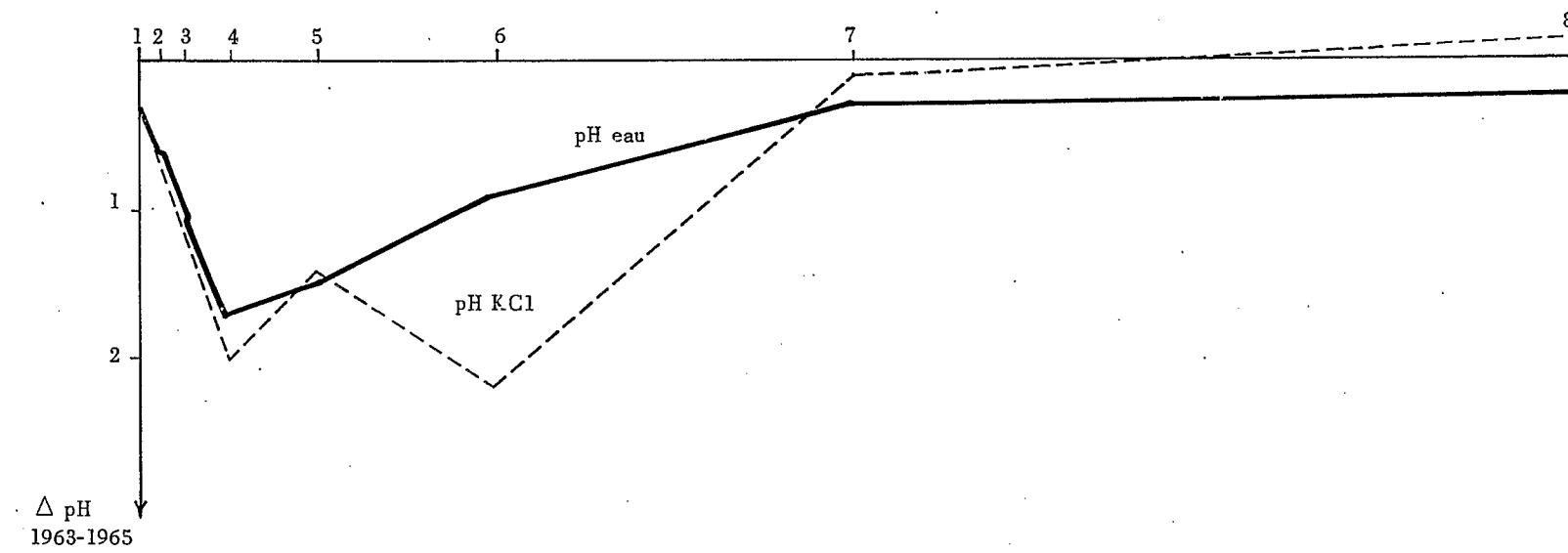
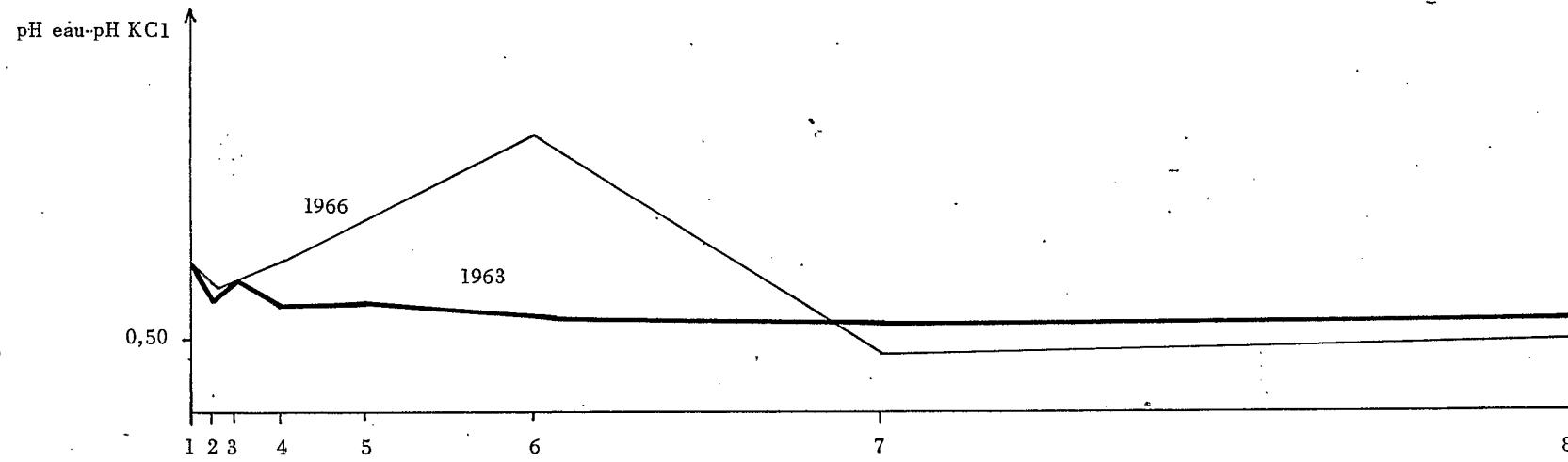
EVOLUTION DU PH SUSPENSION 1/2,5 ET KC1 CARRE II



1963 Eau KCl
1966 _____ -----

(Prélèvements début hivernage 1963 et 1966)

DOSES DE CHAUX AGRICOLE A 65% CaO APPORTEE EN 1962	1 - 9 kg	5 - 2,4 T
	2 - 300 kg	6 - 4,8 T
	3 - 600 kg	7 - 9,6 T
	4 - 1,2 T	8 - 19,2 T



Au cours d'une rotation intensive Engrais vert-Arachide-Mil-Arachide les pH eau ont évolué ainsi :

	Témoin	Taiba brut		Taiba broyé 500	Baylifos lam lam 500
		500	1000		
Avant phosphatage	1962	5,3	5,3	5,3	5,3
Fin rotation	1966	5,0	5,1	5,3	5,1

La baisse de pH qui est de 0,3 unité pour le témoin est plus faible en présence de phosphate L apport de 1000 kg en tête de rotation a maintenu le pH à la valeur d'origine

Les rendements obtenus ont été les suivants en présence d'une fumure azotée de 60 kg N2 sous forme de sulfate sur mil et 50 kg K2O sous forme de chlorure sur les deux arachides :

		Arachide 1	Mil	Arachide 2	Bénéfice en Fr CFA par rap. à NK
Brut	NK	1979	1006	1030	0
Brut	500 +NK	2268	1550	1232	10.070
Brut	1000 +NK	2344	1482	1413	11.880
Broyé	500 +NK	2331	1669	1538	16.200
Baylifos	500 +NK	2383	1652	1329	15.940

Les phosphates fins (broyé et Baylifos) donnent un bénéfice plus important au cours de la première rotation, mais ils ne réussissent pas à maintenir le pH au niveau d'origine (déjà très faible)

La correction du pH pourrait être assurée par un phosphatage à forte dose, le phosphate tricalcique se présentant actuellement comme l'amendement calcique le moins coûteux. Cette solution permettrait également d'obtenir un niveau correct de P2O5 plus rapidement, un excès de cet élément n'étant pas à craindre au niveau actuel des réserves du sol

CONCLUSION

Les apports de chaux en fumure annuelle en présence d'une fumure complète NPK à faible dose se sont révélés inefficaces sur les rendements dans différentes conditions pédoclimatiques du Sénégal. Toutefois le lessivage du CaO et l'apport d'engrais acidifiant comme le sulfate d'ammoniaque, déplacent lentement les pH vers l'acidité. On ne peut proposer aucune solution économique raisonnable pour ce système de culture.

En système intensif les baisses de pH sont plus importantes et des remèdes doivent être proposés dès à présent. La relation étroite obtenue entre le pH et le calcium échangeable dans toutes les expérimentations montre l'importance du lessivage en CaO, puisqu'on observe des baisses de pH avec des bilans apports-exportations équilibrés.

La stabilisation du pH pose donc un problème grave. Le chaulage est une méthode efficace, mais il n'est pas recommandable de préconiser des fortes doses en raison du pouvoir tampon faible des sols. Un apport de 600 kg de chaux s'est traduit par une augmentation de pH de plus d'une unité. Contrairement à toute attente, l'application de fortes doses n'a eu aucune conséquence défavorable sur les rendements. Dans les conditions de l'expérimentation, la limite est seulement d'ordre économique car les plus-values de rendements sont faibles.

Pour concilier l'impératif agronomique et économique, nous proposons les solutions suivantes applicables en système intensif :

1/ Substitution de la dose de 1000 kg de phosphate tricalcique brut à la dose de 500 kg de phosphate broyé actuellement préconisé

Le phosphate tricalcique est l'amendement calcique le plus économique au Sénégal. Les expérimentations ont montré que le phosphate brut à 1000 kg/ha et le phosphate broyé à 500 kg/ha donnent des gains de rendement identiques au cours de la première rotation. Les 1000 kg de tricalcique apportent 520 kg de CaO, dose qui semble correcte pour un apport unique.

2/ Substitution de la perlurée au sulfate d'ammoniaque sur la céréale

Le sulfate est seulement maintenu sur l'arachide à cause des besoins en Soufre. BACHE à Samaru après avoir démontré les effets nocifs du sulfate d'NH₄ recommande les ammonitrates à haut dosage (type 33,5 %) dont les granulés sont enrobés de calcaire.

Nous préconisons la perlurée qui n'a pas un rôle acidifiant et procure des rendements équivalents à ceux obtenus actuellement avec le sulfate. Son prix de revient à l'unité d'azote est de 75 à 90 francs selon la distance alors que le sulfate coûte 100 à 130 francs à l'unité. Il y a donc en plus un avantage économique important.

L'impossibilité ou la difficulté du mélange de la perlurée avec les autres engrains n'est pas un frein à son emploi, puisque l'engrais azoté est appliqué seul sur la céréale.

La fumure forte étalée sur l'ensemble de la rotation serait alors la suivante :

	Formule actuelle	Coût	Formule proposée	Coût
Fumure verte	500kg phosphate broyé	3.500F	1000kg phosphate brut	6.000F
Arachide 1	50kg sulf. 80kg chl.K	3.000F	50kg sulf. 100kg chl.K	3.250F
Mil sorgho	300kg sulfate	7.000F	150kg urée	5.500F
Arachide 2	50kg sulf. 63kg chl.K	3.000F	50kg sulf. 100kg chl.K	3.250F
		16.500F		16.000F

La formule proposée coûte seulement 1500 francs de plus que l'ancienne. Elle apporte le double de P₂O₅ et CaO et plus d'azote et de potasse. Les trois compléments annuels sont de 150 kg/ha, dose recommandée par la vulgarisation avec des engrains complets. Après le phosphatage de fond, le cultivateur aurait ainsi à épandre un engrais arachide et un engrais mil à la dose recommandée actuellement.

Les résultats de cette étude et les conclusions sont très voisins de ceux obtenus par R. FAUCK en moyenne Casamance sur des sols venant après défriche. Le pH reste une valeur sûre pour l'estimation de la fertilité des sols dans sa conception la plus dynamique de potentialité. Une baisse correspond en règle presque générale à une diminution de fertilité. L'optimum de pH est variable pour les cultures et les conditions pédoclimatiques. Dans les sols diors il se situe aux environs de 6, pour les cultures principales. C'est au voisinage de pH 6,6,2 que les conditions de milieu sont les plus favorables sous réserve d'apporter l'ensemble des éléments minéraux.

Les conséquences de l'acidification sont d'autant plus graves que l'agriculture est intensive (augmentation des exportations et du lessivage avec les apports élevés d'engrais, action des techniques culturelles, fumure verte...). En corrigeant l'acidité, le chaulage active la transformation des composés azotés. Il rend les composés potassiques plus assimilables. Les composés phosphatés minéraux ne risquent pas une immobilisation si le pH ne dépasse pas la valeur de 6,5.

La mobilisation plus importante des réserves du sol entraînée par le chaulage impose des apports appropriés d'engrais, il se justifie en présence d'une fumure forte seulement.

Le maintien du sol à un état calcique convenable en accord avec sa capacité d'échange peut être considéré comme une contrainte.

La restauration de la fertilité exigerait en cas de baisse irraisonnée du pH des frais excessifs incompatibles avec la rentabilité des cultures et les moyens d'investissement du cultivateur. Tous ces faits justifient la formule d'engrais proposée malgré l'augmentation très minime de son coût.

ANNEXES

DETERMINATION SUR L'ESSAI CHAUX - HORIZON 0-20 cm

1/ Caractéristiques physico-chimiques

A + L %	5,3	P2O5 total %	0,09
K cm/h	4,56	P2O5 assim, ppm	22
C %	3,0	Fe 2O3 total %	20
C minéralisable ppm	100	libre %	10
N %	0,3	Ca échangé meq/100 g	1,1
N nutritiable ppm	24	Mg « «	0,8
N minéral ppm	11	Na « «	0,1
C/N	10	K « «	0,2
Humus total %	1,0	S « «	2,2
Humus soluble	0,7	T	3,8
Humus précipitable	0,3	S/T	60 %

2/ Instabilité structurale

(Lab Bondy ORSTOM)

	HUMIDITE %	AGREGATS %				SABLES GROSSIERS %			AGR.- 0,9 S.G.			A + L %	IS
Parcelle témoin	3,4	19,4	20,5	18,8		17,9	19,2	17,8	3,3	3,2	2,8	5,20	1,68
Parcelle chaulée à 2,4T	4,7	19,8	20,4	20,8		18,4	19,7	19,3	3,3	3,6	3,4	4,45	1,31

3/ Régression Ca échangeable meq/100 g pH

$$\text{pH suspension} \quad r = 0,75 \text{ HSign} \quad \text{Ca échan meq/100 g} = 2,59 \text{ pH} - 14,81$$

$$\text{pH KC1} \quad r = 0,78 \text{ HSign} \quad \text{Ca échan meq/100 g} = 2,50 \text{ pH} - 12,30$$

$$\text{pH pate} \quad r = 0,76 \text{ HSign} \quad \text{Ca échan meq/100 g} = 3,67 \text{ pH} - 21,53$$

Aucune corrélation entre pH, Ca échangeable d'une part et rendements en arachide d'autre part

BIBLIOGRAPHIE

- BACHE Armful effects of Ammonium Sulfate on fine sandy soils at Samaru Conference FAO 1964 Dakar
- BRIOUX Besoins en chaux des terres acides. An. Sc Agronomique 1927
- CHAMINADE Mode d action de la chaux sur les sols et la correction de leur acidité Ann Agron 1933
- CHAMINADE La question de la réaction des sols Ann. Agron 1933
- DÉMOLON Dynamique du sol
- FAUCK R L évolution du sol sous culture mécanisée. Le problème du pH et de sa correction, - Congrès Science du sol - Paris 1956
- LECOMPT M Les amendements calcaires Cycle de fertilisation - INA 1960
- LIVENS et VANSTALLEN Le pH comme indice de degré de saturation
Ve Congrès Int. Sc du sol Léopoldville 1954 Vol. II
- MARTIN Essai de bilan de quatre années d études pédologiques dans la vallée du Niari 1959
- STENUIT et PIOT L influence de la réaction du sol sur le rendement des cultures agricoles.
- TCHERNOV De la nature de l acidité des sols
VIe Congrès Int. Sc. du sol . 1956 Vol B
- TOURTE FAUCHE BOUYER L amélioration foncière des sols en Afrique Occidentale sèche
Annales du C R A. 1957
- Documentation ONIA sur la perlurée
Documentation Phosphate Taïba Pechiney
Rapports de campagne SR/Sol 1962 - 1963 - 1964 - 1965 - 1966.