

CONVENTIONS
SCIENCES DE LA VIE
AGROPÉDOLOGIE

N° 29

1995

Étude des risques de dégradation de la fertilité des
sols et de pollution des lentilles d'eau douce

Note de synthèse de l'avenant 1

Thierry BECQUER
Cécile DUWIG
Emmanuel BOURDON
Bernard BONZON
Gaëlle GUENEC
Joël DANLOUX

Convention ORSTOM/Province des Iles
Avenant N°1 notifié le 9 mars 1994

CONVENTIONS
SCIENCES DE LA VIE
AGROPÉDOLOGIE

N° 29

1995

Étude des risques de dégradation de la fertilité des sols
et de pollution des lentilles d'eau douce

Note de synthèse de l'avenant 1

Thierry BECQUER
Cécile DUWIG
Emmanuel BOURDON
Bernard BONZON
* Gaëlle GUENEC
Joël DANLOUX

* Stagiaire ISTOM, France

Convention ORSTOM/Province des Iles
Avenant N°1 notifié le 9 mars 1994



L'INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

CENTRE DE NOUMÉA

© ORSTOM, Nouméa, 1995

/Becquer, T.
/Duwig, C.
/Bourdon, E.
/Bonzon, B.
Guenec, G.
/Danloux, J.

Étude des risques de dégradation de la fertilité des sols et de pollution des lentilles d'eau douce. Note de synthèse de l'avenant 1

Nouméa : ORSTOM. Octobre 1995. 19 p.
Conv. : Sci. Vie ; Agropédol. ; 29

Ø72BCLIGE

DEGRADATION ; FERTILITE DU SOL ; POLLUTION ; LENTILLE D'EAU DOUCE / LOYAUTE

Imprimé par le Centre ORSTOM
Octobre 1995



SOMMAIRE

1- CADRE ET OBJECTIFS DES RECHERCHES.....	3
2- TRAVAUX RÉALISÉS.....	4
3- RÉSULTATS.....	4
31- Caractérisation de la parcelle expérimentale.....	4
32 - Études expérimentales en serre.....	6
<i>321 - Définition de la dose optimale d'amendement phosphaté.....</i>	6
<i>322 - Concentration optimale de la solution du sol.....</i>	9
33- Choix et mise en place des équipements de suivi météorologique et hydrochimique.....	13
<i>331- Introduction.....</i>	13
<i>332- Installations sur le terrain.....</i>	13
<i>333- Premiers résultats.....</i>	15
4- CONCLUSION.....	17
BIBLIOGRAPHIE.....	18

1- CADRE ET OBJECTIFS DES RECHERCHES

Les pressions économiques et démographiques que subissent les Iles Loyauté ainsi qu'une certaine volonté de fixer les populations locales conduisent les agriculteurs à abandonner progressivement les techniques d'exploitation traditionnelles pour une agriculture plus intensive utilisant des engrais et des produits phytosanitaires. Ce type d'agriculture peut présenter un danger pour cet écosystème particulièrement fragile. En effet, l'utilisation en continu des sols risque de provoquer une diminution de leur teneur en matière organique et par suite une baisse de la fertilité, l'essentiel de leur capacité d'échange cationique étant lié à la matière organique (BECQUER *et al.*, 1993). De plus, la mauvaise rétention par le sol du nitrate et des pesticides est susceptible de contaminer la lentille d'eau douce, qui constitue souvent la seule ressource en eau de ces atolls coralliens surélevés.

L'étude des risques de dégradation de la fertilité des sols et de pollution des lentilles d'eau douce a donc été entreprise en 1994, dans le cadre d'une convention de recherche entre la Province des Iles Loyauté et l'ORSTOM, avec le soutien financier du Fond de la Recherche et de la Technologie (F.R.T.), afin d'évaluer les risques liés à l'intensification de l'agriculture et de préciser les conditions pour obtenir une agriculture durable et respectueuse de l'environnement.

L'objectif de ce programme, qui doit durer 5 ans, est ainsi :

1°/ de mieux connaître l'évolution, au cours du temps et sous l'action de diverses pratiques agricoles, de la fertilité des sols. En particulier, le fonctionnement du complexe d'échange et son évolution seront analysés afin d'améliorer les nutriments potassique et phosphatée des plantes ;

2°/ de quantifier les risques de contamination des ressources en eaux par les engrais azotés. Ceci nécessite de pouvoir établir à la fois des bilans d'eau et d'azote dans le système sol-plante. Les études précédentes et la comparaison des flux hydrochimiques sous différents systèmes de culture devraient permettre

d'évaluer les risques liés à diverses pratiques et de proposer des solutions techniques les réduisant ;

3°/ d'estimer les risques de contamination par quelques pesticides. Ces études seront entreprises dans un second temps sur la base des connaissances acquises sur les transferts d'ions minéraux et sur les propriétés d'échange de ces sols.

2- TRAVAUX RÉALISÉS

Deux opérations de recherche ont donc débuté sur le Centre d'Appui au Développement Agricole de Tawaïnèdre, en collaboration étroite avec le CIRAD et avec l'appui du Service du Développement Économique de Maré. Une troisième, concernant le comportement du sol et d'une plante-test sous amendement et en fonction des fumures minérales, a démarré à Nouméa.

Plus précisément, les actions initiées en 1994 ont consisté en :

1°/ une étude de détail des composantes de la fertilité chimique de la parcelle expérimentale où est implanté "l'essai système" conduit par le CIRAD, sur le Centre d'Appui au Développement Agricole de Tawaïnèdre ;

2°/ deux études expérimentales en serre ayant comme objectifs la définition, pour le premier horizon du sol du Centre de Tawaïnèdre,

- 1 - de la dose optimale d'amendement phosphaté à appliquer,
- 2 - de la concentration optimale de la solution du sol ;

3°/ l'installation, sur la parcelle du Centre d'Appui au Développement Agricole de Tawaïnèdre, des équipements de suivi météorologique, ainsi que des dispositifs de récolte des solutions du sol et de suivi hydrique.

3- RÉSULTATS

31- Caractérisation de la parcelle expérimentale

Des prélèvements de sol avaient été réalisés sur toute la parcelle d'étude, à deux niveaux (0-10 et 15-25 cm), en suivant une maille carrée de 50 m de côté, avant la mise en

culture (BECQUER *et al.*, 1993). A partir des résultats des analyses chimiques antérieures et de celles réalisées dans le cadre de ce programme sur ces différents échantillons, nous avons estimé le stock moyen, en kg/ha, de la matière organique (carbone et azote totaux) et des principaux éléments minéraux (calcium, magnésium, potassium et sodium échangeables, phosphore total et assimilable) pour le niveau 0-40 cm (tableau 1).

Horizon	CT	NT	CaBE	MgBE	KBE	NaBE	P tot	P ass
Horizon 0-40	134 732	12 180	4 971	2 148	239	122	67 993	3 994

Tableau 1 : Calcul du stock minéral et organique moyen de la parcelle d'essai, pour le niveau 0-40 cm (en kg/ha).

Ces résultats confirment ceux obtenus précédemment pour l'ensemble des deux parcelles, notamment leur très grande pauvreté en potassium (BECQUER *et al.*, 1993 ; BONZON et BECQUER, 1994).

Les données ont été spatialisées (chaque valeur calculée du stock pour chaque élément a été représentée au niveau du point géographique où le prélèvement a été réalisé dans la parcelle) grâce au logiciel SPYGLASS (BECQUER *et al.*, 1995). Cette étude montre :

- une hétérogénéité importante du stock organique et minéral au niveau de la parcelle d'étude, avec des différences de stock de l'ordre de 40 à 50 %, entre les zones extrêmes, pour la matière organique (carbone et azote total) et pour les éléments échangeables (Ca, Mg, K, Na). Cette différence peut atteindre 200 % pour le phosphore assimilable ;

- une liaison étroite entre les teneurs en C, N, Ca, Mg et K. Ceci confirme le rôle majeur, rappelé précédemment (BECQUER *et al.*, 1993), de la matière organique dans la rétention des cations minéraux. Par contre, il n'y a pas de liaison visible entre la matière organique et le phosphore total ou assimilable ;

- dans le cas du phosphore, la variabilité des stocks qui n'est que de 25-30 % pour le phosphore total, atteint 200 % pour le phosphore assimilable. Toutefois, l'importance de ce stock (4t / ha de P ass.), mesuré par la méthode Olsen-Dabin, reste sujet à caution eu égard aux carences en phosphore observées lors d'expérimentations en serre (BONZON et BECQUER, 1994).

32 - Études expérimentales en serre

321 - Définition de la dose optimale d'amendement phosphaté à appliquer au premier horizon du sol oxydique allitique du Centre de Tawaïnèdre

Bien que présentant des teneurs en phosphore total très élevées - de l'ordre de 18,5‰ de P_2O_5 dans les horizons 0-20 et 20-40 cm des deux échantillons de sols rapportés du Centre de Tawaïnèdre - et des teneurs en phosphore assimilable OLSEN-DABIN importantes (1,40‰ de P_2O_5 dans l'horizon 0-20 cm et 0,68 ‰ dans l'horizon 20-40 cm), la biodisponibilité de cet élément, observée antérieurement, est assez faible. Par suite, elle limite - ou peut limiter - fortement les rendements des cultures intensives.

La raison de cette faible biodisponibilité réside dans le caractère oxydique de ce type de sol, caractère qui entraîne une très forte fixation des ions PO_4^{2-} par les oxydes de fer et d'aluminium du sol. Les recherches conduites sur les doses optimales d'amendement phosphaté à appliquer aux horizons de surface (0-20 cm) des sols ferrallitiques ferritiques de glaciis et de piedmont du Sud de la Grande Terre - proches par leur comportement chimique des sols ferrallitiques allitiques des Loyauté, mais beaucoup plus pauvres en phosphore - ont montré que leur très forte carence en P nécessitait, pour être levée, des applications de l'ordre de 7t/ha de P_2O_5 sous forme de superphosphate (PUJOL, 1989 ; EDIGHOFFER, 1991 ; GOURDON *et al.*, 1991, 1992 ; CAPART et BONZON, 1993 ; CAPART *et al.*, 1993). La question se posait donc d'établir la courbe de réponse à des doses croissantes de P_2O_5 du sol ferrallitique allitique de Tawaïnèdre afin de préciser la dose optimale d'amendement phosphaté à lui appliquer pour lever sa carence en phosphore.

3211 - Description sommaire de l'expérimentation

L'étude expérimentale, lancée pour aborder le sujet, fut conduite sur vases de végétation de 4,675 l. Elle consistait en un essai en blocs complets équilibrés à 6 répétitions et un seul facteur contrôlé, la dose de P_2O_5 , à 6 niveaux : 0 ; 0,5 ; 1 ; 2 ; 4 et 8t/ha de P_2O_5 sous forme de superphosphate. Deux vases de végétation constituaient une parcelle élémentaire. Après incorporation au sol de l'amendement et remplissage des vases, ces derniers furent mis à la capacité au champ pendant 15 jours afin de permettre au sol de réagir aux applications d'amendement. La plante-test utilisée fut un hybride double de maïs, Hycorn 80. La fumure minérale utilisée est précisée dans le tableau 2 ci-contre. L'essai fut arrêté le 37eme jour, avant que n'entre en jeu une distorsion majeure par comparaison avec un essai comparable en plein champ.

3212 - Résultats (cf. tableau 2)

Le résultat le plus marquant de l'expérience est l'accroissement très hautement significatif de développement (taille et masse de matière sèche des plants, notamment) jusqu'à la quatrième dose d'amendement phosphaté (4t ha de P_2O_5). De meilleures nutritions phosphatée et azotée résultent également de l'augmentation de la dose de P_2O_5 . Cependant, si les immobilisations en N atteignent, elles aussi, un palier au niveau de la 4ème dose, celles en phosphore continuent de croître jusqu'à la sixième. Par contre, l'absorption du potassium semble indépendante de la nutrition phosphatée.

Au niveau du sol, hormis une augmentation normale de la teneur en phosphore, l'amendement phosphaté n'a, apparemment, aucun effet sur ses caractéristiques chimiques. Cette donnée ainsi que les autres paramètres "sol" sont en cours de vérification.

3213 - Discussions et conclusions

Dans leur ensemble, niveaux des paliers et action particulière du nickel du sol exceptés, ces résultats sont comparables à ceux observés sur les sols ferrallitiques ferritiques du Sud de la Grande Terre (GOURDON *et al.*, 1991, 1992 ; CAPART *et al.*, 1993). De même, il convient de remarquer qu'il s'agit de données expérimentales obtenues sur une très courte période d'action sur le sol de l'amendement phosphaté et que l'on doit, par suite, s'interroger sur ce que pourrait être l'évolution des arrières-effets de cet amendement sur une beaucoup plus longue période, en plein champ en particulier. D'autre part, il n'est pas exclu que d'autres végétaux cultivés - les végétaux traditionnels tout particulièrement - soient moins sensibles à l'action de l'amendement phosphaté. Enfin, on retiendra que l'amélioration de la nutrition phosphatée entraîne celle de la nutrition azotée, ce qui doit avoir pour conséquence logique une diminution des pertes par lixiviation de cet élément et une moindre pollution de la lentille d'eau douce.

Sigles	Paramètres		Moyennes générales	CV %	Probabilités des tests F		Moyennes des traitements						Classements
	Unités	Significations			Blocs	AP	AP1	AP2	AP3	AP4	AP5	AP6	
PTF	g/plt	Poids sec tiges+feuilles	21,158	19,18	0,7271	0,9995	15,182	19,837	17,524	25,090	23,047	26,270	6=4=5>2=3=1
TNTF	%	Teneur N tige +feuilles	2,067	15,12	0,4810	0,8665	2,376	2,026	2,095	1,958	2,089	1,861	
TPTF	%	Teneur P tige +feuilles	0,221	16,09	0,1186	1,0000	0,185	0,183	0,194	0,196	0,277	0,292	6=5>4=3=1=2
TCaTF	%	Teneur Ca tige +feuilles	0,435	11,34	0,4984	0,9768	0,490	0,465	0,433	0,406	0,418	0,397	1=2=3>5=4=6
TMgTF	%	Teneur Mg tige +feuilles	0,499	10,48	0,6219	0,9348	0,495	0,455	0,487	0,480	0,545	0,528	
TKTF	%	Teneur K tige +feuilles	2,331	23,75	0,6798	0,9918	2,901	2,780	2,479	1,916	2,060	1,847	1=2=3>5=4=6
TNaTF	%	Teneur Na tige +feuilles	0,004	22,84	0,9802	0,1790	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	
TFeTF	%c	Teneur Fe tige +feuilles	0,131	22,76	0,0734	0,4729	0,132	0,117	0,128	0,123	0,136	0,151	
TAITF	%c	Teneur Al tige +feuilles	0,048	26,04	0,9892	0,3337	0,054	0,049	0,046	0,050	0,042	0,050	
TMnTF	%c	Teneur Mn tige +feuilles	0,097	17,46	0,3936	0,3164	0,095	0,090	0,097	0,095	0,103	0,105	
TSiO2TF	%	Teneur SiO2 tige +feuilles	0,398	16,48	0,9991	0,4604	0,395	0,403	0,349	0,427	0,408	0,409	
PNTF	g/plt	Immobilisation N tige +feuilles	0,417	9,36	0,9998	1,0000	0,350	0,394	0,363	0,478	0,447	0,473	4=6=5>2=3=1
PPTF	g/plt	Immobilisation P tige +feuilles	0,046	15,52	0,8030	1,0000	0,028	0,036	0,034	0,048	0,059	0,074	6>5>4>2=3=1
PCaTF	g/plt	Immobilisation Ca tige +feuilles	0,090	16,86	0,9839	0,9911	0,074	0,092	0,076	0,101	0,092	0,103	6=4=2=5>3=1
PMgTF	g/plt	Immobilisation Mg tige +feuilles	0,105	18,78	0,8978	0,9999	0,075	0,091	0,086	0,119	0,122	0,136	6=4=5>2=3=1
PKTF	g/plt	Immobilisation K tige +feuilles	0,450	15,96	0,8986	0,9268	0,425	0,536	0,416	0,453	0,422	0,450	
PNaTF	mg/plt	Immobilisation Na tige +feuilles	0,783	25,72	0,9746	0,9823	0,596	0,768	0,642	0,986	0,789	0,917	4=6=2=5>3=1
PFeTF	µg/plt	Immobilisation Fe tige +feuilles	2,692	24,22	0,7212	0,9988	1,962	2,263	2,232	3,083	2,927	3,684	6=4=5>2=3=1
PAITF	µg/plt	Immobilisation Al tige +feuilles	1,028	37,37	0,9917	0,8739	0,832	0,953	0,812	1,327	0,983	1,260	
PSiO2TF	g/plt	Immobilisation SiO2 tige +feuilles	0,083	27,79	0,7568	0,9979	0,060	0,077	0,062	0,109	0,084	0,109	6=4=5>2=3=1
PMnTF	µg/plt	Immobilisation Mn tige +feuilles	2,064	27,41	0,8391	0,9970	1,417	1,765	1,684	2,512	2,290	2,713	6=4=5>2=3=1
P/SiO2		Rapport phosphore sur silice	0,628	22,69	0,9471	0,9961	0,501	0,551	0,689	0,510	0,701	0,814	6=5=3>2=4=1
TMgTF/TCaTF		Rapport Mg/Ca tiges et feuilles	1,921	10,26	0,6924	0,9999	1,683	1,617	1,864	1,951	2,201	2,213	6=5>4=3=1=2
BasTF	méq	Somme bases tiges et feuilles	122,502	14,26	0,2039	0,9645	139,580	131,920	125,266	108,963	118,578	110,706	1=2=3>5=6=4
TCaTF/BasTF	%	% calcium dans bases tiges et feuilles	18,009	9,48	0,9914	0,1932	17,760	17,779	17,510	18,862	18,010	18,131	
TMgTF/BasTF	%	% magnésium dans bases tiges et feuilles	34,469	11,75	0,8300	0,9998	29,879	28,745	32,592	36,542	39,238	39,820	6=5=4>3=1=2
TKTF/BasTF	%	% potassium dans bases tiges et feuilles	47,784	11,18	0,9437	0,9930	52,234	53,346	49,769	44,432	42,619	41,904	2=1=3>4=5=6
TNaTF/BasTF	%	% sodium dans bases tiges et feuilles	0,138	21,24	0,9879	0,7294	0,127	0,131	0,128	0,163	0,133	0,145	

Tableau 2 : Influence de doses croissantes d'amendement phosphaté sur le développement de l'hybride double de maïs XL-80 : résultats de l'expérience conduite en vases de végétation, sur le premier horizon du sol ferrallitique allitique de Tawaïnèdre.

322 - *Recherches sur la concentration optimale de la solution du sol*

L'idée, à l'arrière plan de cette expérience, est que la nutrition minérale d'une plante est d'autant mieux assurée que la solution du sol est voisine d'un niveau optimal spécifique. Hormis le cas des cultures "hors sols" - ou hydroponiques -, déterminer cette concentration optimale est, malheureusement, très difficile : elle varie de façon continue avec l'absorption d'eau et de nutriments par la plante et, de façon généralement discontinue, avec les recharges en nutriments - azote, potassium, oligo-éléments - opérées depuis la surface. Une approche de la question a donc été envisagée en alimentant des vases de végétation de façon continue sans recyclage des percolats. Dans ces conditions, on doit observer :

1°/- une modification continue du complexe d'échange sous l'action, à la fois, de la plante et de la solution nutritive au contact du sol ;

2°/- un développement de la plante lié à la solution à son contact. Celle dernière doit être d'autant plus proche de la solution nutritive de départ que celle-ci percole plus rapidement et / ou que ses échanges avec le sol sont réduits.

Dans le cas du sol oxydique de Tawaïnèdre, les études précédentes (BONZON et BECQUER, 1994) ont montré que le sol en question était très fortement carencé en pratiquement tous les nutriments. Les modifications rapides du complexe échangeable du sol devraient donc être dues essentiellement à l'action de la solution nutritive percolant au travers de la colonne de sol.

3221 - *Description sommaire de l'expérimentation*

L'étude expérimentale mise en place pour aborder la question fut, comme la première, conduite sur vases de végétation de 4,675 l. Elle consista, elle aussi, en un essai en blocs complets équilibrés à 6 répétitions et un seul facteur contrôlé, la concentration de la solution à 6 niveaux : 3,44 ; 6,48 ; 9,73 ; 12,98 ; 16,22 et 19,47 méq·l⁻¹. La solution de base est celle constituée à partir des solutions élémentaires du tableau 3 et titrant 1622 méq·l⁻¹. Une application d'amendement phosphaté sous forme de superphosphate apportant 2t/ha de P₂O₅ fut retenue. Deux vases de végétation constituaient une parcelle élémentaire. Après incorporation au sol de l'amendement et remplissage, les vases furent mis à la capacité au champ pendant 15 jours afin de permettre au sol de réagir à l'application d'amendement. La plante-test utilisée fut le même hybride double de maïs, Hycorn 80. L'essai fut arrêté, lui aussi, le 37ème jour, avant que n'entre en jeu une distorsion majeure par comparaison avec un essai semblable en plein champ.

Produits	Concentration des solutions en g/l	Volumes des solutions en ml apportées au			Quantités d'éléments apportées en mg par pot de 4,675 l								
		1er jour	10eme jour	18eme jour	N	P	K	S	B	Cu	Mo	Zn	
NH ₄ NO ₃	102,459	10	10		716,8								
(NH ₄) ₂ SO ₄	169,140	-	-	10	358,4			410,2					
K ₂ SO ₄	77,223	10	-	-			346,5	142,1					
Na ₂ B ₄ O ₇ , 10H ₂ O	3,086	10	-	10					7,00				
CuSO ₄ , 5H ₂ O	3,130	10	-	10				4,0		15,94			
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ , 1,5 H ₂ O	0,160	10	-	10	0,1						1,80		
ZnSO ₄ , 7 H ₂ O	2,400	10	-	10				2,7					10,92
Quantités totales d'éléments apportées en					(mg par pot de 4,675 litres	1075,3		346,5	559,0	7,00	15,94	1,80	10,92
					(équivalent kg/ha.....	690		222	358,7	4,50	10,22	1,16	7,00

Remarques

1 - Les quantités de nutriments, exprimées en kg/ha, correspondent aux réserves maximales du sol utilisées par la plante entière pour réaliser une production de grain sec de 15,66 t/ha dans le cas de l'hybride double de maïs haut-producteur XL 399, cultivé sur le sol peu évolué d'apport alluvial très fertile de la vallée de la Douencheur, en face de Bourail. Ces réserves ont été estimées à partir des exportations d'éléments par les parties aériennes de la plante, les exportations d'éléments par les racines étant estimées au dixième des exportations des parties aériennes.

2 - S'agissant de l'azote, un coefficient d'utilisation de 0,6 a cependant été appliqué à l'exportation en cet élément par la plante entière - 414 kg/ha - pour rendre compte des réserves du sol effectivement nécessaires.

3 - Les quantités de nutriments, exprimées en mg/pot, dérivent des précédentes en considérant que le volume de sol exploité par cette culture est de 3.10⁶ litres à l'hectare, et que le volume de sol contenu dans les pots utilisés étant de 4,675 litres.

Tableau 3 : Dose optimale d'amendement phosphaté pour un maïs cultivé sur le premier horizon du sol ferrallitique allitique de Tawainèdre : nature et doses des solutions nutritives à utiliser.

3222 - Résultats (cf. le tableau 4)

Le résultat marquant de l'étude est le fait que la biomasse des parties aériennes de la plante atteint un palier à $28,5 \text{ g} \cdot \text{plant}^{-1}$ dès la deuxième concentration de la solution du sol. Dans ces conditions expérimentales, on remarque, toutefois, que si les immobilisations en azote et en potassium continuent d'augmenter avec la concentration de la solution du sol, celle en phosphore plafonne à partir de la deuxième concentration.

Au niveau du sol, des modifications importantes s'observent sur les principales caractéristiques du complexe d'échange. Ces données sont en cours de vérification.

3223 - Discussions et conclusions

Le plafonnement des immobilisations en phosphore dès la deuxième concentration de la solution doit être rapproché du fait que la dose optimale d'amendement phosphaté observée dans la première expérience était deux fois plus élevée : la disponibilité du phosphore a très vraisemblablement été le facteur limitant du développement du maïs. De la même façon, la comparaison des masses de matière sèche obtenues sur les deux expériences semble indiquer que l'on doit avoir une carence en azote dans la première. L'analyse des données "sol", en cours de vérification, apportera des précisions utiles sur l'importance des effets de l'augmentation de la concentration de la solution du sol tant sur le complexe d'échange que sur la nutrition minérale de la plante.

Sigles	Paramètres		Moyennes générales	CV %	Probabilités des tests F		Moyennes des traitements						Classements
	Unités	Significations			Blocs	SN	SN1	SN2	SN3	SN4	SN5	SN6	
PTF	g/plt	Poids sec tiges+feuilles	27,364	15,07	0,9865	0,9995	18,742	28,502	28,429	27,396	29,224	31,891	6=5=2=3=4>1
TNTF	%	Teneur N tige +feuilles	3,799	5,49	0,0270	1,0000	3,063	3,468	3,834	3,981	4,286	4,161	5=6>4=3>2>1
TPTF	%	Teneur P tige +feuilles	0,224	9,73	0,3102	0,6449	0,239	0,231	0,227	0,217	0,217	0,216	
TCaTF	%	Teneur Ca tige +feuilles	0,380	9,96	0,9958	0,9982	0,407	0,432	0,394	0,350	0,348	0,349	2=1=3>4=6=5
TMgTF	%	Teneur Mg tige +feuilles	0,273	8,41	0,9889	1,0000	0,404	0,324	0,270	0,227	0,212	0,202	1>2>3>4=5=6
TKTF	%	Teneur K tige +feuilles	2,829	9,95	0,4833	1,0000	1,731	2,079	2,754	3,195	3,573	3,645	6=5>4>3>2>1
TNaTF	%	Teneur Na tige +feuilles	0,003	15,45	0,3818	0,7138	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	
TFeTF	%c	Teneur Fe tige +feuilles	0,174	33,91	0,2952	0,4783	0,207	0,156	0,140	0,173	0,181	0,183	
TAITF	%c	Teneur Al tige +feuilles	0,098	70,80	0,6881	0,0906	0,095	0,094	0,073	0,118	0,108	0,101	
TMnTF	%c	Teneur Mn tige +feuilles	0,208	18,60	0,9398	0,9911	0,164	0,179	0,216	0,241	0,210	0,239	4=6=3=5>2=1
TSiO2TF	%	Teneur SiO2 tige +feuilles	0,388	33,90	0,7282	0,9870	0,447	0,486	0,266	0,455	0,422	0,251	2=4=1=5>3=6
PNTF	g/plt	Immobilisation N tige +feuilles	1,044	15,52	0,9936	1,0000	0,564	0,980	1,081	1,073	1,247	1,320	6=5>3=4=2>1
PPTF	g/plt	Immobilisation P tige +feuilles	0,060	12,30	0,9988	0,9997	0,044	0,0065	0,064	0,059	0,062	0,068	6=2=3=5>4>1
PCaTF	g/plt	Immobilisation Ca tige +feuilles	0,104	17,06	0,9972	0,9974	0,076	0,123	0,112	0,096	0,103	0,113	2=6=3=5>4>1
PMgTF	g/plt	Immobilisation Mg tige +feuilles	0,072	17,12	0,9888	0,9981	0,076	0,091	0,077	0,062	0,061	0,065	2=3>1=6=4=5
PKTF	g/plt	Immobilisation K tige +feuilles	0,778	12,98	0,9941	1,0000	0,315	0,581	0,764	0,838	1,011	1,158	6>5>4=3>2>1
PNaTF	mg/plt	Immobilisation Na tige +feuilles	0,875	23,31	0,9646	0,9824	0,590	0,891	0,899	0,866	1,044	0,958	5=6=3=2=4>1
PFeTF	µg/plt	Immobilisation Fe tige +feuilles	4,608	28,36	0,8930	0,9453	3,630	4,390	3,981	4,487	5,196	5,966	
PAITF	µg/plt	Immobilisation Al tige +feuilles	2,575	57,55	0,8677	0,6624	1,509	2,637	2,086	2,937	2,995	3,289	
PSiO2TF	g/plt	Immobilisation SiO2 tige +feuilles	0,059	29,37	0,9456	0,9975	0,031	0,052	0,062	0,068	0,063	0,078	6=4=5=3>2>1
PMnTF	µg/plt	Immobilisation Mn tige +feuilles	5,908	29,37	0,9456	0,9975	3,135	5,174	6,231	6,773	6,303	7,829	6=4=5=3>2>1
TPTF/TSiO2TF		Rapport phgosphore sur silice	0,818	61,16	0,8369	0,9627	0,624	0,576	1,030	0,550	0,708	1,421	6=3>5=1=2=4
TMgTF/TCaTF		Rapport Mg/Ca tiges et feuilles	1,192	10,00	0,9828	1,0000	1,665	1,280	1,156	1,072	1,012	0,968	1>2=3=4=5=6
BasTF	méq	Somme bases tiges et feuilles	113,952	6,50	0,6805	1,0000	97,988	101,561	112,439	117,981	126,382	127,361	6=5>4=3>2=1
TCaTF/BasTF	%	% calcium dans bases tiges et feuilles	17,023	10,17	0,9679	1,0000	20,894	21,224	17,499	14,999	13,886	13,634	2=1>3>4=5=6
TMgTF/BasTF	%	% magnésium dans bases tiges et feuilles	20,566	10,37	0,4247	1,0000	34,168	26,393	19,913	15,995	13,879	13,045	1>2>3>4=5=6
TKTF/BasTF	%	% potassium dans bases tiges et feuilles	62,287	5,18	0,6256	1,0000	44,796	52,249	62,463	68,886	72,108	73,218	6=5>4>3>2>1
TNaTF/BasTF	%	% sodium dans bases tiges et feuilles	0,125	16,11	0,1629	0,9548	0,142	0,134	0,124	0,120	0,126	0,102	1=2=5=3>4=6

Tableau 4 : Influence de la concentration de la solution nutritive sur le développement de l'hybride double de maïs XL-80 : résultats de l'expérience conduite en vases de végétation, sur le premier horizon du sol ferrallitique allitique de Tawaïnèdre.

33- Choix et mise en place des équipements de suivi météorologique et hydrochimique.

331- Introduction

L'évaluation des flux hydriques et minéraux dans un agrosystème est très difficile à obtenir en raison de la complexité des cycles biogéochimiques. Diverses méthodes, complémentaires les unes des autres doivent être utilisées, chacune d'entre elles présentant des limites d'utilisation (voir DUWIG *et al.*, 1995).

Les différents flux à mesurer et les méthodes ou les dispositifs utilisés pour y parvenir sont présentés succinctement dans le tableau 5.

332- Installations sur le terrain

Quatre parcelles de "l'essai système" du Centre d'Appui au Développement Agricole de Tawainèdre ont été choisies pour suivre les flux hydriques et minéraux. Toutes les quatre reçoivent une fumure minérale "haute" (F2) correspondant à un apport de 800 kg/ha de 13-13-21 et sont soumises à un travail du sol "lourd" (labour, semis mécanisé...). Ces conditions correspondent à un niveau d'intensification relativement important où les risques de lixiviation de nitrate sont maxima. Les parcelles choisies correspondent aux rotations suivantes :

- une parcelle sol nu (R), qui sert de référence ;
- une parcelle en rotation maïs patate douce / maïs-patate douce (P3) ;
- une parcelle en rotation maïs-légumineuse / igname-légumineuse (P6) ;
- une parcelle sous graminées pérennes (P5).

Le financement correspondant au premier avenant nous a permis, dans le cadre de cette opération, d'acquérir les équipements et le matériel nécessaire au suivi de ces parcelles, en particulier :

- une station automatique d'acquisition des données météorologiques ;
- un pluviographe enregistreur ;
- un appareil de T.D.R. (Time Domain Reflectometry) pour la mesure de l'humidité des sols ;
- des tensiomètres placés à 5 niveaux, 10, 20, 30, 40, 60 cm (3 séries par parcelles) ;
- des plaques et des tubes lysimétriques placées à 40 cm de profondeur (3 par parcelles) ainsi que des bougies poreuses placées à 10 et 40 cm de profondeur (8 par niveau pour chaque parcelle).

	Flux hydriques		Flux minéraux	
	Flux à mesurer	Dispositifs de mesure	Flux à mesurer	Dispositifs de mesure
Entrées	- Pluie	- Pluviographe relié à une station d'acquisition des données météorologiques à pas de temps horaire ; - Pluviographe automatique enregistrant la pluie tous les 0,2 mm (mesure de l'intensité) ; - 4 Pluviomètres totalisateurs répartis sur la parcelle.	- Pluie - Engrais - Fixation d'azote par les micro-organismes du sol	- 5 collecteurs d'eau de pluies + analyses minérales. - Pesée des apports. - ?
Sorties	- Evaporation - Evapo-transpiration - Drainage - Prélèvements des Plantes	- Bac d'eau libre de type "Colorado". - station d'acquisition des données météorologiques (T, HR, Vent Rayonnement net et global) à pas de temps horaire pour le calcul de l'évapotranspiration par la formule de Penman-Monteith ; - tubes lysimétriques pour la mesure directe de l'ETR. - Tensiomètres pour la mesure du potentiel de l'eau du sol ; - T.D.R. (Time Domain Reflectometry) et profils hydriques pour la mesure de l'humidité. - Comparaison des données tensio-humidimétriques sur sol nu et sous culture	Lixiviation - Prélèvements des Plantes	- Collectes des eaux gravitaires avec des plaques et des tubes lysimétriques + analyses chimiques des eaux ; - Prélèvement par des bougies poreuses + analyses chimiques des eaux ; - Fixation des ions lixiviés par des résines échangeuses d'ions + dosage des ions fixés ; - Evaluation à partir des profils d'azote minéral. - mesure du rendement et de la minéralomasse.
Flux internes	Remontées capillaires	- ?	Minéralisation Adsorption / désorption	- Mesure au laboratoire du potentiel de minéralisation de la matière organique ; - mesure <i>in situ</i> de l'Activité Biologique Globale par mesure du dégagement de CO ₂ ; - Mesure <i>in situ</i> de la minéralisation nette de l'azote. - Détermination des isothermes d'échanges ; - Mesures sur colonnes de sol.

Tableau 5 : Détermination des flux hydriques et minéraux : méthodes et dispositifs de mesure.

333- Premiers résultats

Pour le moment, peu de résultats ont été obtenus, l'acquisition des données n'ayant pu se faire que progressivement après l'achat et la mise en place des appareils. Les premiers résultats obtenus sur deux parcelles (maïs et graminées), essentiellement à partir des données tensiométriques, des profils hydriques et des profils d'azote minéral (DUWIG *et al.*, 1995, 1996) sont présentés ci-dessous.

Deux parcelles de "l'essai système" de Tawainèdre ont été étudiées pendant 2 mois (du 11/01/95 au 4/03/95). La première est une prairie de graminées implantée depuis 2 ans (parcelle P5), la seconde une parcelle de maïs semé le 11/01/95 (parcelle P3). Les deux parcelles ont reçu, le jour du semis du maïs, une fertilisation azotée de 104 kg d'N/ha (38 % de l'azote est apporté sous forme de nitrate et 62 % sous forme d'ammonium). Chaque parcelle est équipée de tensiomètres implantés à 5 profondeurs (10, 20, 30, 40 et 60 cm), afin de suivre la charge hydraulique du sol. La teneur en eau a été mesurée par gravimétrie. Des profils d'humidité et d'azote minéral (extrait par KCl M) ont été réalisés périodiquement. Les précipitations ont été mesurées et l'ETP Penman-Monteith calculée journalièrement.

Deux épisodes pluvieux, respectivement de 160 mm et de 40 mm (fig 1a) ont eu lieu durant la période d'étude. L'humidité du sol a alors atteint rapidement un niveau proche de la saturation, de l'ordre de 45 % (fig 1d et 1e), après la pluie. Les gradients de charge à la base du profil (40 cm) (voir fig 1b et 1c), sont généralement négatifs sous P3, ce qui n'est pas le cas sous P5. Les variations des teneurs en eau au cours du temps (fig 1d et 1e) permettent d'estimer le drainage profond. Celui-ci a été évalué à 40 mm pour P3 et 50 mm pour P5 au cours des 10 jours suivant la première pluie [dans le cas de P5, le drainage est probablement surestimé car il ne prend pas en compte les prélèvements de la plante, que nous ne sommes pas en mesure d'estimer correctement actuellement ; dans le cas du maïs, ceux-ci sont négligeables, la plante étant encore très peu développée].

Par ailleurs, l'analyse des profils de nitrate (fig 1f et 1g) montre :

- Sous P3, le nitrate localisé en surface, à la suite de l'apport d'engrais, est entraîné en profondeur après la première pluie et le stock total dans le profil est nettement diminué (de 130 kg/ha à 90 kg/ha). Ces teneurs restent relativement stables jusqu'à la pluie suivante, hormis en surface où l'on observe une légère augmentation des teneurs de nitrate. A la suite de la seconde pluie, les teneurs de nitrate diminuent légèrement dans l'ensemble du profil.

- Sous P5, la teneur initiale en nitrate est plus faible que sous P3 du fait d'une nitrification incomplète de l'azote ammoniacal. Ensuite, la teneur en nitrate diminue rapidement pour rester proche de zéro dans l'ensemble du profil.

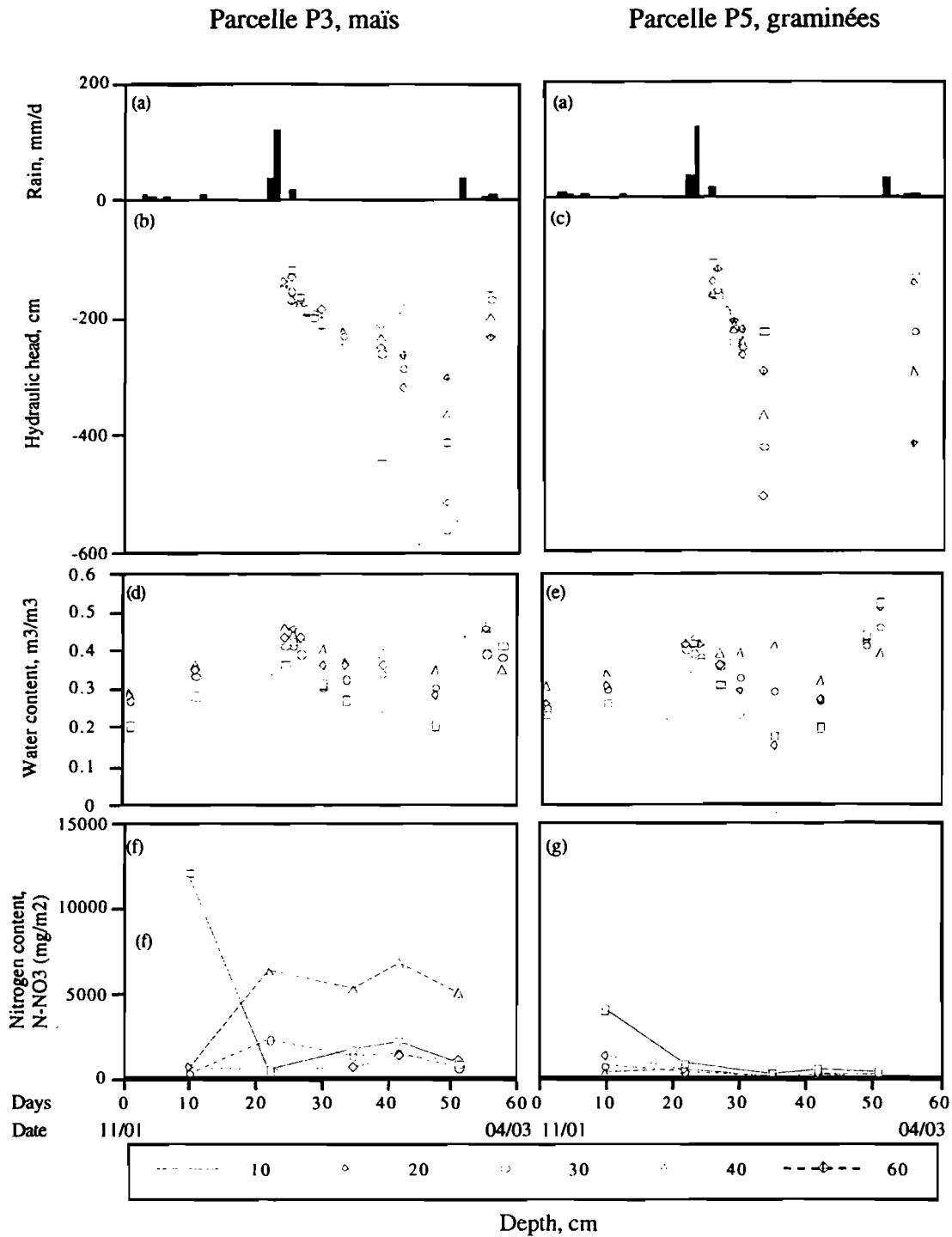


Figure 1 : Évolution avec le temps et la profondeur de la charge hydraulique (b, c), de la teneur en eau (d, e) et de la teneur en azote nitrique (f, g) (D'après DUWIG *et al.*, 1996).

La lixiviation de nitrate, calculée à partir du flux d'eau drainé et de la teneur en nitrate du sol (à 30-40 cm), est estimée respectivement à 50 kg/ha et 4 kg/ha en 10 jours pour P3 et P5.

Dans le cas de P3, la consommation d'eau et d'azote par le maïs est encore très faible par rapport au drainage et à la lixiviation du nitrate consécutive à la première pluie. Le maïs, à ce stade de développement, n'est pas capable d'utiliser le nitrate qui s'est concentré vers 30-40 cm de profondeur. De ce fait, la teneur du nitrate ne varie pas en profondeur entre les deux épisodes pluvieux. Le second épisode pluvieux entraîne de nouveau du nitrate issu de la minéralisation de l'azote organique de la surface vers la profondeur et pousse au-delà de 40 cm le nitrate de l'engrais qui était déjà localisé en bas de profil à la suite de la première pluie. Dans ces conditions, l'efficacité de l'azote apporté par l'engrais pour cette culture en début de croissance est extrêmement faible et l'on peut estimer sa perte à 80 % de l'apport.

Au contraire, sur P5, la graminée en croissance active consomme très rapidement la totalité de l'azote disponible dans le profil de sol. Les pertes par lixiviation sont alors très limitées.

Ces premiers résultats nécessitent d'être confirmés par d'autres mesures sur l'ensemble des parcelles et avec la totalité des équipements mis en place. Toutefois, en l'absence d'une couverture végétale active, les pertes par lixiviation semblent être très rapides. Une gestion rigoureuse des apports d'engrais azotés (fractionnement) est sans doute nécessaire pour limiter les risques de pollution par le nitrate.

4- CONCLUSION

Cette première année de travail a abouti à la mise en place sur le terrain d'un important dispositif expérimental qui va permettre de collecter des résultats pendant les trois années à venir.

Les premiers résultats confirment les craintes que l'on pouvait avoir concernant la grande sensibilité de ce sol vis à vis de la lixiviation du nitrate. Le suivi, au champ, par diverses méthodes, des flux hydro-chimiques devrait donc permettre d'évaluer correctement les risques de pollution de la lentille qui découlent des apports d'engrais azotés.

Les expérimentations en serre et au laboratoire, qui viennent de débiter, permettront, pour leur part, de mieux comprendre les processus agissant à l'interface sol - solution du sol - plante, afin de limiter la lixiviation des éléments minéraux tout en améliorant leur biodisponibilité. Cependant, une "vérité-terrain" devra très certainement être envisagée dès que l'on sera fixé sur un certain nombre des modes d'actions des engrais et des amendements sur ce type de sol.

BIBLIOGRAPHIE

BECQUER T., BOURDON E. et PÉTARD J., 1993 - Contribution à l'étude des sols de Maré : les sols du Centre d'Appui au Développement Agricole de Tawaïnèdre et Taode. 2- Caractérisation physico-chimique des sols. Nouméa : ORSTOM. Conv. : Sci. Vie : Agropédol., 24, 63p., multigr.

BECQUER T., BOURDON E. et NIGOTTE W., 1993 - Contribution à l'étude des sols de Maré : les sols du Centre d'Appui au Développement Agricole de Tawaïnèdre et Taode. 1- Caractérisation morphologique et cartographie des épaisseurs de sols. Nouméa : ORSTOM. Conv. : Sci. Vie : Agropédol., 17 ; 37p., multigr.

BONZON B. et BECQUER T., 1994 - Mise en valeur des sols ferrallitiques allitiques des Iles Loyauté. Note de synthèse. Nouméa : ORSTOM. Conv. : Sci. Vie : Agropédol., 28 ; 14p., multigr.

BONZON B., PODWOJEWSKI P., BOURDON E., L'HUILLIER L. et DE MONPEZAT Ph., 1991 - Recherches préliminaires pour le développement de la culture du cocotier sur les petits archipels du Pacifique Sud. 1- Adaptation à l'espèce des tests de fertilité sur vases de végétation. 2- Identification des sols sous cocoteraies présentant des carences difficiles à éliminer. Problématique de la mise en valeur de tels sols. Convention Science de la vie n° 8, ORSTOM Nouméa, 275p.

CAPART I et BONZON B., 1993 - Mise en valeur des sols des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Effets de doses croissantes d'amendement phosphaté sur laitue et haricot (Etude en serre n° 6). Nouméa : ORSTOM. Conv. : Sci. Vie : Agropédol., 21 ; 58p., multigr.

CAPART I, BOUCARON C., GOURDON F. et BONZON B., 1993 - Mise en valeur des sols des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Effets de doses et de formes différentes d'amendements organiques sur maïs (Etude en serre n° 5). Nouméa : ORSTOM. Conv. : Sci. Vie : Agropédol., 20 ; 26p., multigr.

DUWIG C., BECQUER T., CLOTHIER B.E. et VAUCLIN M., 1996 - Nitrate leaching in the Loyalty Islands (New Caledonia) under intensified agricultural practices. First International Conference on Contaminants in the Soil Environment in the Australasia-Pacific Region, 18-23 février 1996, Adélaïde, Australie (soumis).

DUWIG C., BECQUER T., NIGOTE W. et TAPUTUARAI L., 1995 - Installations des dispositifs de mesure et premiers résultats des suivis hydro-chimiques sous différents systèmes de

culture sur la station de Tawaïnèdre. Nouméa : ORSTOM. *Conv. : Sci. Vie : Agropédol.* (en préparation).

EDIGHOFFER S., 1991. Etude de l'influence des teneurs élevées en nickel des sols ferrallitiques ferritiques des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie, sur le comportement des plantes cultivées : premières études expérimentales de reconnaissance des problèmes à l'aide du maïs choisi comme plante-test. Mémoire de fin d'études. Nouméa : ISARA-ORSTOM. : 105p.

GOURDON F., PUJOL G., BOUCARON C. BONZON B., L'HUILLIER L. et COLLET L., 1991. Mise en valeur des sols ferrallitiques ferritiques des massifs du Sud de la Grande Terre. Carences en phosphore et en silice : résultats des deux premières études expérimentales en serre. Nouméa : ORSTOM. *Conv.: Sci. Vie : Agropédol.*, **9** : 53p.

GOURDON F., BOUCARON C. et BONZON B., 1992. Mise en valeur des sols ferrallitiques des massifs du Sud de la Nouvelle-Calédonie. Interaction phosphore-silice et influence de la matière organique : résultats de la troisième et de la quatrième études en serre. Nouméa : ORSTOM. *Conv. : Sci. Vie : Agropédol.*, **14**, 60 p.multigr.

PUJOL G., 1989. Etude sur vase de végétation, sur un maïs, d'amendements phosphaté et calcique sur un sol ferrallitique ferritique du sud néo-calédonien. Mémoire de fin d'étude de l'Ecole Supérieure d'Ingénieurs et de Techniciens pour l'Agriculture. CREA ed., 101p. multig.

