

CONVENTIONS
SCIENCES DE LA VIE
AGROPÉDOLOGIE

N° 43

1997

Étude des risques de dégradation
de la fertilité des sols et de pollution
des lentilles d'eau douce.
Note de synthèse de l'avenant 3

Thierry BECQUER
Céline DUWIG
Igor DUBUS
Emmanuel BOURDON
William NIGOTE
Véronique VINCENT
Bernard BONZON

Convention
Province des Iles/ORSTOM
N° 04/94 notifiée le 9 mars 1994
Avenant n° 3 du 6/2/1997

CONVENTIONS
SCIENCES DE LA VIE
AGROPÉDOLOGIE

N° 43

1997

**Étude des risques de dégradation
de la fertilité des sols et de pollution
des lentilles d'eau douce.
Note de synthèse de l'avenant 3**

**Thierry BECQUER
Céline DUWIG
Igor DUBUS
Emmanuel BOURDON
William NIGOTE
* Véronique VINCENT
Bernard BONZON**

*** CIRAD**

**Convention Province des Iles/ORSTOM
N°04/94 notifiée le 9 mars 1994
Avenant n° 3 du 6/2/1997**



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

CENTRE DE NOUMÉA

RESUME

Les suivis hydriques et minéraux menés à Maré montrent que malgré des pertes de nitrate qui peuvent être importantes, de l'ordre de 50 kg ha⁻¹ sous culture de maïs, celles-ci sont nettement plus faibles que celle enregistrées en 1995. Le fractionnement de l'apport d'engrais et sa fourniture à une période où la plante est en période de croissance rapide ont eu un effet très bénéfique. Ces pertes sont réduites sous prairies de graminées ou de légumineuses, de l'ordre de 10 kg ha⁻¹. Il en est de même des pertes de potassium qui sont assez faibles sur l'ensemble des parcelles. Pour la période d'étude, cette lixiviation correspond à une teneur moyenne de 8,6 mg l⁻¹ d'N-NO₃⁻, soit 38,1 mg l⁻¹ de NO₃⁻. Cette valeur reste en dessous du seuil de pollution des eaux (50 mg l⁻¹ de NO₃⁻).

Les expériences menées en laboratoire sur la rétention du nitrate par les surfaces électropositives du sol indiquent que sa rétention est limitée. L'effet retardateur induit par ce mécanisme sur les transferts de nitrate est donc probablement réduit. Toutefois, des expériences complémentaires sur colonnes de sol sont nécessaires.

La fixation du phosphore est par contre très rapide et pourrait être irréversible. Cette fixation est moindre sur les horizons de surface du fait de la présence de matière organique. Toutefois, cet effet pourrait n'être que transitoire.

SOMMAIRE

1 - CADRE ET OBJECTIFS DES RECHERCHES	4
2 - TRAVAUX REALISES	5
3 - CARACTERISATION DE L'ADSORPTION DES ANIONS MINERAUX SUR LE SOL	6
3.1 - Introduction	6
3.2 - Matériel et méthodes	7
3.3 - Résultats	7
<i>3.3.1 - Adsorption du nitrate et du brome</i>	7
<i>3.3.2 - Adsorption du phosphate</i>	9
3.4 - Conclusion	12
4 - SUIVI DES FLUX HYDRIQUES ET MINÉRAUX	12
41- Introduction	12
42 - Matériel et méthodes	13
<i>4.2.1 - Matériel de mesure</i>	13
<i>4.2.2 - Méthodes de calcul</i>	14
4.3 - Résultats et discussion	15
<i>4.3.1 - Bilan hydrique</i>	15

<i>4.3.2 - Bilan d'éléments minéraux</i>	16
5- CONCLUSION	17
BIBLIOGRAPHIE	19

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 les écosystèmes insulaires particulièrement fragiles. 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, leur stabilité structurale et leur capacité d'échange cationique étant essentiellement liées à la matière organique (Becquer *et al.*, 1993). De plus, la mauvaise rétention par le sol de l'ion nitrate et des pesticides est susceptible d'induire une contamination de la lentille d'eau douce sous-jacente, 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 :

1°/ de mieux connaître l'évolution de la fertilité des sols au cours du temps et sous l'action de diverses pratiques agricoles. En particulier, nous analyserons, d'une part, l'évolution des caractéristiques morphopédologiques à la suite des travaux du sol et les conséquences sur les propriétés hydrodynamiques et l'enracinement des plantes, d'autre part, le fonctionnement du complexe d'échange et son évolution afin d'améliorer la nutrition potassique et phosphatée des plantes ;

2°/ de déterminer les conditions de nutrition optimale des végétaux afin de lever les carences en phosphore, silice et oligo-éléments (ou de limiter leurs effets) et

d'apprécier les conséquences de ces amendements et fertilisations sur les coefficients d'utilisation de l'azote et de la potasse.

3°/ de quantifier les risques de contamination des ressources en eau 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 ;

4°/ 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 REALISES

Au cours de la première année de travail (avenant n°1) les recherches avaient consisté essentiellement à tester et mettre en place sur le Centre d'Appui au Développement Agricole de Tawaïnèdre le matériel de suivi hydrique et minéral (tensiomètres, humidimètre TRASE, bougies poreuses, plaques lysimétriques...) (Becquer *et al.*, 1995). Seuls les premiers résultats, de janvier à mars 1995, avaient été présentés de façon assez succincte.

Cette note présente les principaux résultats acquis dans le cadre de l'avenant n°3 de la convention de recherche entre la Province des Iles Loyauté et l'ORSTOM. Deux axes de recherche ont été particulièrement développés :

- l'étude de l'adsorption des anions minéraux (nitrate, phosphate) sur le sol. Ce facteur a, en effet, une incidence directe sur les transferts de nitrate vers la lentille d'eau douce ou sur la biodisponibilité du phosphore pour les plantes ;

- le suivi des transferts hydriques et chimiques réalisés en 1996, au cours de la seconde année d'observation.

L'ensemble de ces travaux ont été menés à bien grâce à une collaboration étroite avec le CIRAD et à l'appui du Service du Développement Économique de Maré et du GIE CORAWAGURO.

3 - CARACTERISATION DE L'ADSORPTION DES ANIONS MINERAUX SUR LE SOL

3.1 - Introduction

Les sols de Maré se caractérisent par leur très grande richesse en sesquioxydes de fer et d'aluminium, qui sont la principale source de charges positives dans les sols tropicaux (Uehara et Gillman, 1981). Cette richesse conditionne fortement la dynamique des éléments fertilisants, notamment des anions (nitrate, phosphate) susceptibles de s'adsorber sur les surfaces électropositives de ces composés.

Les comportements du nitrate et du phosphate dans le sol sont cependant généralement très différents :

- le **nitrate** (NO_3^-), la forme prépondérante de l'azote (N) dans le sol, est généralement faiblement retenu dans les sols. Cette faible rétention augmente les risques de pollution des eaux souterraines par cet élément à la suite de sa lixiviation. Toutefois, la présence de sesquioxydes de fer et d'aluminium chargés positivement pourrait *a priori* limiter le départ de l'ion nitrate (chargé négativement) vers les lentilles d'eau douce.

- Contrairement à l'ion nitrate, le **phosphore** n'est pas retenu dans les sols par des interactions électrostatiques faibles mais fixé très fortement sur les sesquioxydes de fer et d'aluminium par des mécanismes de fixation spécifiques. La richesse des sols de Maré en ces composés est à l'origine d'une très forte immobilisation du phosphore qui peut engendrer des limitations de rendements des peuplements cultivés. Le phosphore, qui est très présent naturellement dans les sols de Maré, avec des teneurs de 2 à 3% (Latham et Mercky, 1983 ; becquer et al., 1993) est toutefois peu ou pas disponible pour les plantes cultivées (Bonzon et Becquer, 1994), car il serait essentiellement sous forme d'un phosphate d'alumine, la crandalite (Tercinier, 1971). La fixation du phosphore apporté par les engrais reste à préciser.

L'objectif des études qui ont été menées en laboratoire durant l'année 1996 était d'étudier la rétention du nitrate et du phosphore dans les sols ferrallitiques allitiques de Maré et de pouvoir ainsi répondre aux questions suivantes :

- l'adsorption du nitrate est-elle importante ? Peut-elle induire un facteur retard dans son transfert vers la lentille d'eau douce ?

- la fixation du phosphore est-elle réellement aussi importante qu'on peut l'attendre ? Se fait-elle rapidement ? Est-elle réversible ? Comment pourrait-on éventuellement la limiter dans une optique d'amélioration des rendements agricoles ?

3.2 - Matériel et méthodes

L'adsorption se définit comme le passage d'un soluté d'une phase liquide à une phase solide. Elle entraîne son accumulation à l'interface solide-liquide. C'est un phénomène de surface, contrairement à la précipitation.

La méthode la plus classique pour déterminer la capacité d'adsorption d'un sol est de réaliser des expérimentations en "batch". Ceci consiste en une mise en contact d'une faible quantité de sol et d'une solution de l'ion étudié. Au terme d'une agitation de l'ensemble pendant une durée déterminée, on procède à une centrifugation du tube servant à l'expérience et à un dosage du surnageant de centrifugation. Cette expérience est généralement répétée pour plusieurs concentrations initiales de phosphore pour un même sol ; la relation entre la concentration de la solution à l'équilibre après agitation et la quantité adsorbée sur le sol s'appelle l'isotherme d'adsorption. L'ensemble de la démarche est décrit en détail par Dubus (1997a).

Différents profils de sols prélevés avant mise en culture sur les stations de Tawaïnèdre et Taodé ont été étudiés.

Pour établir les isothermes d'adsorption, 1 gramme de sol $\pm 0,001g$ est mis en contact avec 10 ml de solution :

- de KNO_3 préparées dans du chlorure de calcium ($CaCl_2$) 0,01M, de concentrations croissantes Co 0 - 0,005 - 0,01 - 0,05 - 0,1 - 0,25 - 0,5 mole NO_3 l^{-1} dans le cas du nitrate ;

- de KH_2PO_4 préparées dans du chlorure de calcium ($CaCl_2$) 0,01M, de concentrations croissantes Co 100 - 200 - 500 - 800 - 1000 - 1500 mg P l^{-1} dans le cas du phosphore.

3.3 - Résultats

3.31 - Adsorption du nitrate et du brome

Le nitrate et le brome sont deux ions considérés comme ayant des comportements assez semblables dans les sols. Le brome, qui n'est pas présent naturellement dans les sols en quantité importante, est d'ailleurs souvent utilisé comme traceur pour étudier les transferts d'eau dans les sols. Une expérience a donc été réalisée pour ces deux éléments. Leurs isothermes d'adsorption ont été établies sur 4 échantillons de sol, deux de surface, deux de profondeur. Les résultats sont présentés sur la figure 1 ci-après.

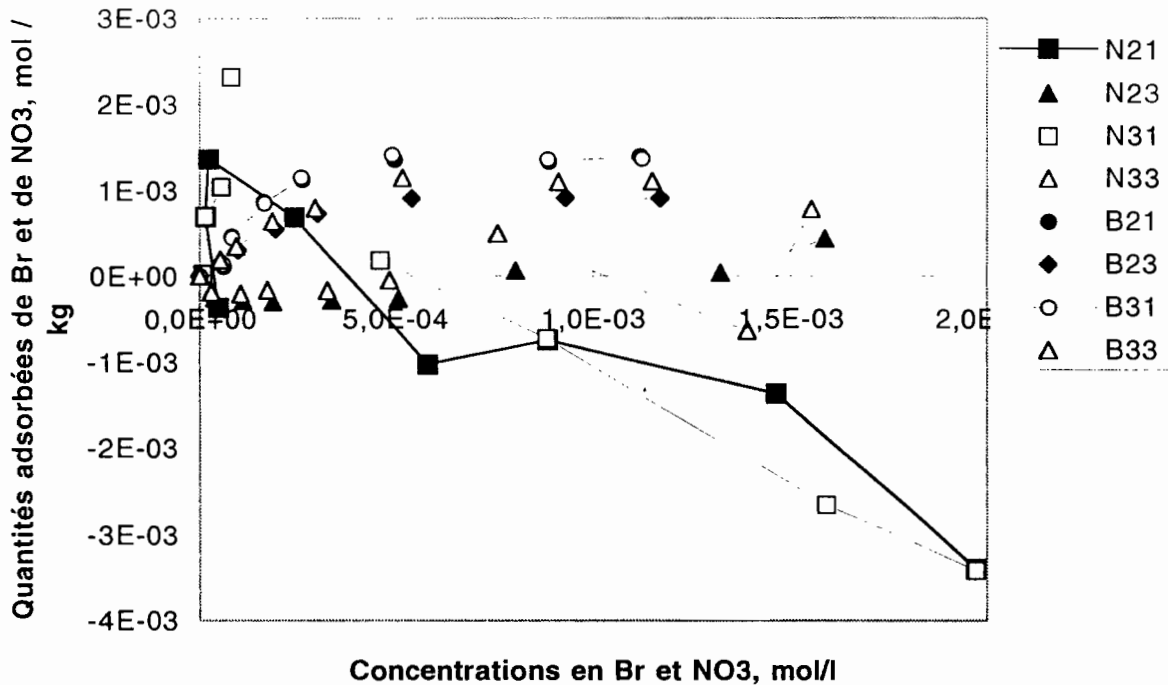


Figure 1 : isothermes d'adsorption du brome et du nitrate par les sols de Maré.

On remarque que, contrairement à ce que l'on pouvait attendre, les isothermes d'adsorption du nitrate et du brome sont apparemment différentes :

- l'adsorption du brome augmente avec l'augmentation de sa concentration initiale dans la solution pour atteindre un plateau à partir d'une concentration initiale de 6 mM l^{-1} . Cette adsorption modérée, de l'ordre de 1 mM kg^{-1} de sol, pourrait toutefois avoir un effet sur les transferts de brome dans le sol. L'adsorption est légèrement plus importante sur les échantillons de surface plus humifères (B21 et B31) alors que l'on pouvait s'attendre à l'inverse. En effet, les horizons de profondeur (B23 et B33) sont moins riches en composés organiques susceptibles de neutraliser les charges électropositives des sesquioxydes et ont un pH plus faible, ce qui a généralement pour effet d'augmenter la charge positive du sol ;

- le nitrate a un comportement nettement différent de celui du brome. Dans le cas des horizons de profondeur (N23 et N33), l'adsorption semble négligeable. Pour les horizons de surface (N21 et N31), il semble y avoir une adsorption importante du nitrate pour les faibles concentrations (inférieures à $0,05 \text{ moles l}^{-1}$) et, au contraire, une désorption de nitrate pour des concentrations plus élevées.

Ces résultats surprenants obtenus pour le nitrate nécessitent de poursuivre les recherches et de les compléter par des expérimentations sur colonnes de sol (en cours de réalisation).

3.3.2 - Adsorption du phosphate

Les résultats de cette étude sur l'adsorption du phosphore sont présentés en détail par ailleurs (Dubus, 1997a) et une analyse bibliographique détaillée (Dubus, 1997b) permet d'en préciser les fondements théoriques.

Les isothermes d'adsorption de 15 échantillons de sols, correspondant aux horizons 1 à 4 (de la surface vers la profondeur) de 6 profils observés à Tawainèdre (profils 1, 2, 3) et Taodé (profils 4, 5, 7) sont présentées sur la figure 2. Sur cette figure, les horizons de profondeur sont représentés par des lignes pointillées, tandis que les horizons de surface sont en traits pleins.

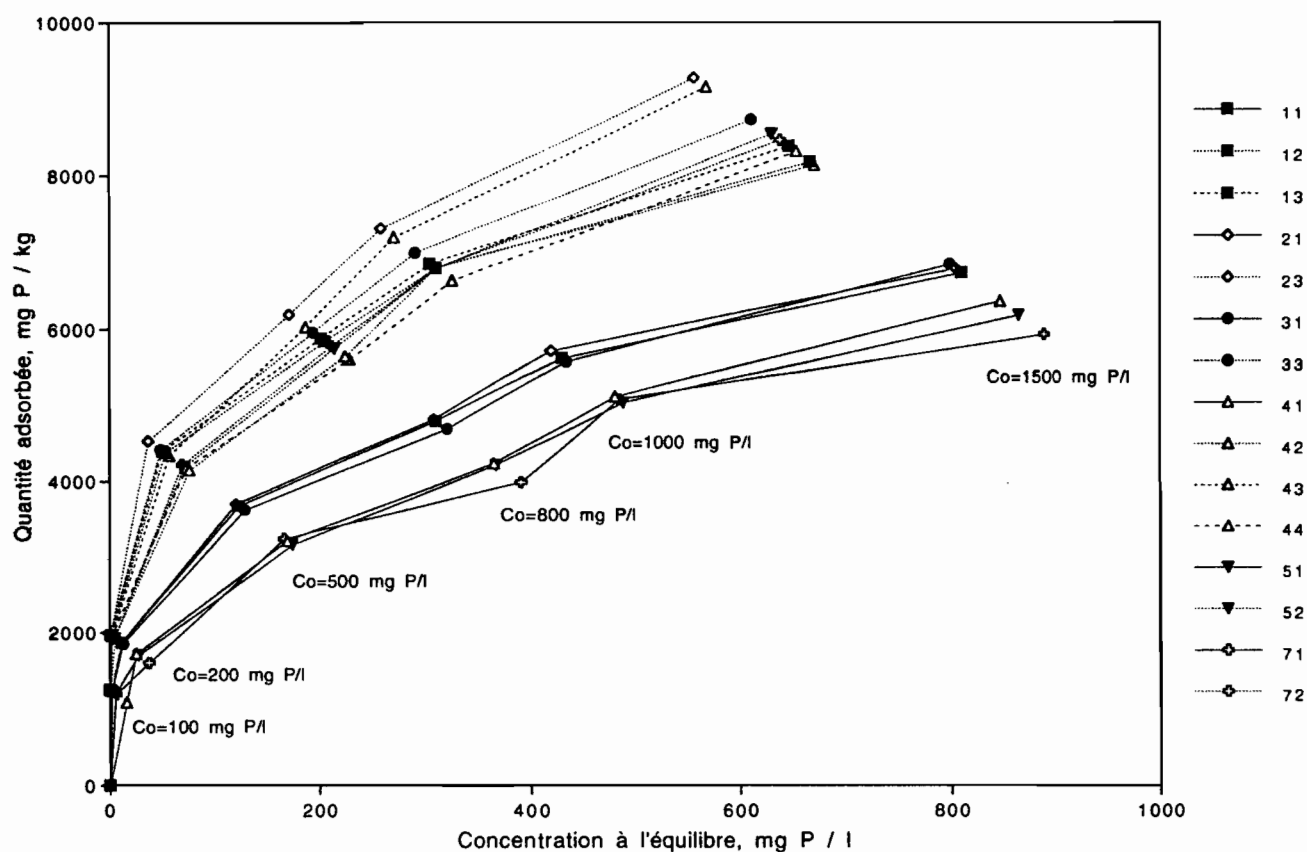


Figure 2 : isothermes d'adsorption du phosphate par les sols de Maré.

La pente des courbes traduit la capacité d'adsorption du phosphore pour l'échantillon considéré. Plus elle est forte, plus le phosphore se fixe sur l'échantillon considéré. Certains groupes se différencient nettement sur la figure 2. Ainsi, les horizons de surface, en lignes pleines, semblent moins adsorber le phosphore que les horizons de profondeur.

Les courbes de la figure 2 semblent tendre asymptotiquement vers un maximum. Ce maximum peut exister dans les conditions précises de notre expérience en batch avec une

faible durée d'agitation mais ne se justifie pas dans la réalité. En effet, le phosphore continue de se fixer sur le sol pendant des mois, avec une vitesse de fixation de plus en plus faible (Parfitt, 1978).

La capacité des sols oxydiques de Maré à fixer le phosphore est extrêmement élevée comparativement à la plupart des sols du globe. Les valeurs de K_f (coefficient de partage de Freundlich) et de X_{max} (maximum d'adsorption de l'équation de Langmuir) sont par ailleurs supérieures aux valeurs trouvées pour des échantillons de sol du Sud de la Grande Terre. Ceci est probablement à mettre sur le compte de la prédominance des composés de l'aluminium dans les sols de Maré, qui sont connus pour adsorber plus fortement le phosphore que les sesquioxydes de fer (Borggaard et al., 1990).

La rétention du phosphore augmente avec la profondeur. Ceci s'explique généralement par une diminution du taux de matière organique au sein du profil. Les échantillons de Taodé et de Tawaïnèdre sont par ailleurs nettement différenciés sur la figure 2 ; il se peut que cela soit également dû à des taux de matière organique plus importants à Taodé.

Afin de déterminer l'importance respective des divers composés du sol dans la rétention, une étude statistique a été entreprise. La corrélation entre le paramètre X_{max} de l'équation de Langmuir et le **carbone organique** est négative et très marquée ($r = -0,93$). L'analyse de régression linéaire multiple progressive entre X_{max} et les diverses caractéristiques physico-chimiques confirme le rôle majeur de la matière organique. Cette dernière explique 87 % de la variation de la rétention, l'introduction d'aucune autre variable ne permettant d'améliorer le modèle suivant :

$$X_{max} = 9121,78 - 22,40.C_{organique} \quad R^2 = 0,87$$

Un effet dépréciateur de la matière organique sur l'adsorption du phosphore, qui a été de nombreuses fois mis en évidence (Singh et Jones, 1976), s'explique par la compétition entre le phosphore et des acides organiques pour les sites d'adsorption (Nagarajah et al., 1970). Cette compétition n'est toutefois que transitoire. En effet, l'étude de la cinétique de fixation (figure 3) entreprise sur 2 échantillons de Maré et deux du Sud de la Nouvelle-Calédonie (1 échantillon de surface, assez humifère, et un de profondeur, peu humifère, dans chaque situation) montrent l'évolution de la quantité de phosphore fixé sur le sol en fonction du temps. Deux phases se distinguent :

- une première phase où l'adsorption se réalise rapidement (environ 12 heures dans notre cas) ;

- une seconde phase où la fixation du phosphore continue à se poursuivre mais de plus en plus lentement. Il n'y aurait pas atteint d'un état d'équilibre, même au bout de plusieurs mois de contact (Doula et al., 1996).

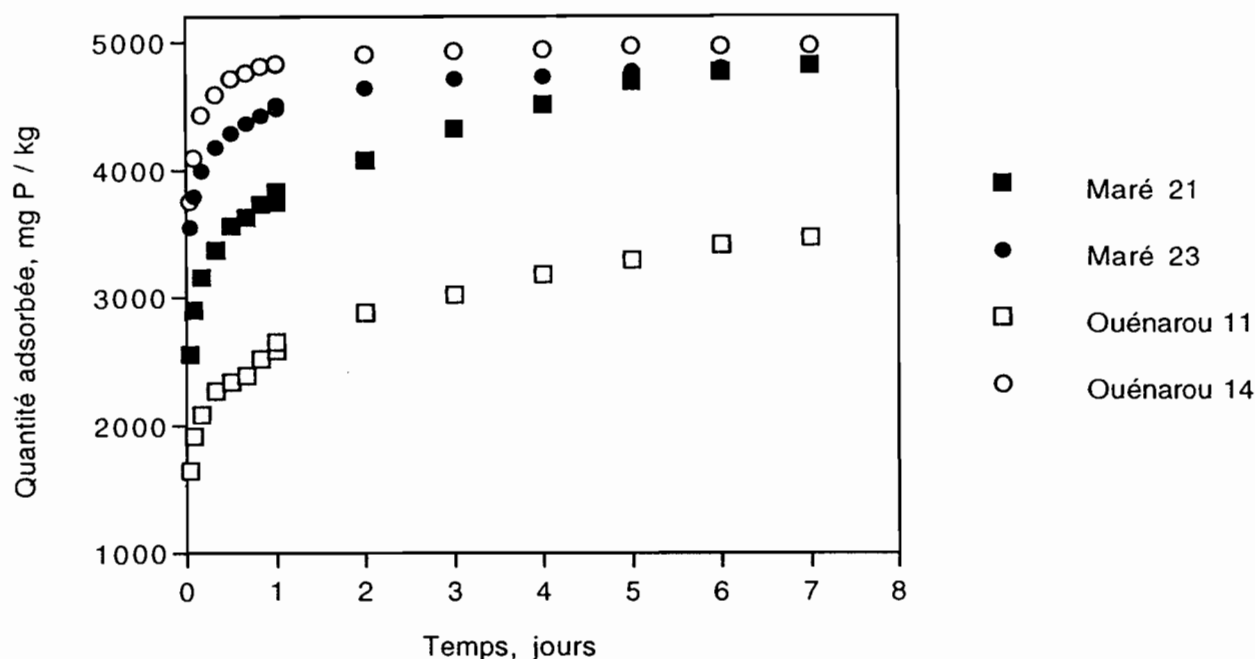


Figure 3 : Evolution de la quantité de phosphore adsorbé en fonction du temps

Pour les échantillons prélevés en profondeur, la fixation est très rapide initialement mais stagne rapidement. Au contraire, la fixation du phosphore sur les échantillons de surface, plus riche en matière organique, semble plus progressive et une durée d'agitation d'une semaine n'est pas suffisante pour atteindre l'apparent plateau dans la courbe. La matière organique semble retarder la fixation du phosphore, mais cet effet, ne pourrait être que transitoire, les ions organiques étant progressivement remplacés par des ions phosphate. La matière organique retarde la fixation des anions orthophosphate de plusieurs manières. Elle représente d'abord un obstacle physique et électrostatique puisque les anions orthophosphate doivent diffuser dans un environnement électronégatif complexe, pour rejoindre les sites spécifiques d'adsorption. Par ailleurs, ceux-ci sont généralement occupés par des anions organiques que les molécules de phosphate devront remplacer progressivement. L'effet de la matière organique n'est donc, a priori, que retardateur, mais il peut se révéler d'un intérêt agronomique majeur.

L'effet des sesquioxydes de fer et d'aluminium sur la fixation du phosphore n'apparaît pas dans cette étude. En effet, les corrélations de X_{max} avec les composés du fer et de l'aluminium identifiés par des extractions séquentielles ne sont pas significatives. Ce résultat s'explique par la trop faible variabilité de la quantité de sesquioxydes dans les échantillons analysés, bien qu'ils jouent indéniablement un rôle majeur dans la fixation du phosphore,

ainsi que par le nombre limité d'échantillons traités. On constate, cependant, une augmentation de la fixation du phosphore avec la baisse du pH du sol ($r = -0,74$). Ce résultat, qui peut mettre en jeu divers processus, (Dubus, 1997) est toutefois caractéristique des sols à charge variable avec le pH.

Par ailleurs, lorsqu'il est fixé sur le sol, le phosphore est très difficilement désorbable, même après des temps de contact très courts comme c'est le cas dans ces expériences menées en laboratoire.

34 - Conclusion

Ces résultats, obtenus à partir d'expérimentations en laboratoire, montrent que :

- l'adsorption des ions qui ne présentent pas de fixation spécifique sur les sesquioxides est relativement modérée. Le brome et le nitrate, pour des concentrations faibles, peuvent toutefois être adsorbés sur le sol. L'incidence de ce processus sur les transferts reste toutefois à préciser. De plus, la désorption de nitrate pour des concentrations élevées reste à expliquer ;

- l'adsorption du phosphore est très importante et pratiquement irréversible. Toutefois, les échantillons de surface, riche en matière organique, présentent une rétention plus faible que ceux des horizons de profondeur. La teneur en matière organique est la seule variable expliquant les variations de la fixation du phosphore sur ces sols. Bien que son effet ne soit probablement que transitoire, la préservation de cette matière organique apparaît donc comme très importante pour favoriser la disponibilité du phosphore pour les plantes sur les sols oxydiques des Îles Loyauté.

4 - SUIVI DES FLUX HYDRIQUES ET D'ELEMENTS MINERAUX.

4.1 - Introduction

Un suivi du devenir des engrais apportés aux cultures a été entrepris depuis 1995 sur divers systèmes de culture. La première année d'observation (Duwig et al., 1996) avait mis en évidence l'importance et la rapidité de la lixiviation du nitrate à la suite de précipitations importantes. Ces observations avaient conduit à une modification des pratiques d'apport des engrais sur les parcelles pour l'année 1996 avec, notamment, un fractionnement de l'apport.

Ce paragraphe présente les principaux résultats du second cycle de suivi de la lixiviation du nitrate et du potassium effectué durant la saison des pluies, de janvier à juin 1996. Ces recherches sont présentées en détail dans Duwig *et al.* (1997).

Outre le suivi hydro-chimique, la caractérisation des paramètres hydrauliques du sol et la calibration de divers instruments de mesure, commencés en 1995 (Becquer *et al.*, 1996 ; Duwig *et al.*, 1996) ont été poursuivies sur le terrain et au laboratoire.

4.2 - Matériel et méthodes

4.2.1 - Matériel de mesure

Les observations ont été réalisées sur "l'essai système" conduit par le CIRAD sur le Centre d'Appui au Développement Agricole de Tawaïnèdre. Huit parcelles ont été choisies pour suivre les flux hydriques et minéraux. Leurs caractéristiques sont résumées dans le tableau 1.

Parcelle	Culture	Rotation	Travail du sol	Fertilisation
A	sol nu	aucune	"lourd"	aucune
B	sol nu	aucune	"lourd"	F2
C	maïs	maïs-patate-douce/ maïs-patate-douce	"lourd"	F2
D	maïs	maïs-patate-douce/ maïs-patate-douce	"lourd"	F3
E	maïs	maïs-patate-douce/ maïs-patate-douce	"léger"	F2
F	maïs	maïs-patate-douce/ maïs-patate-douce	"léger"	F3
G	graminées pérennes	aucune	"lourd"	F2
H	légumineuses	aucune	"lourd"	aucune

Tableau 1 : description des parcelles étudiées [travail du sol "lourd" signifie labour et semis mécanisés et travail "léger" pas de labour mécanisé profond (simplement utilisation d'outils à disques pour un travail superficiel) et semis manuel ; fertilisation F2 correspondant à un apport de 800 kg ha⁻¹ de 13-13-21 (N, P₂O₅, K₂O) apporté par moitiés 3 et 7 semaines après le semis du maïs ; F3 = F2 + 5 t ha⁻¹ de compost]

La méthodologie mise en oeuvre pour l'étude des flux hydriques et d'éléments minéraux a été présentée et discutée en détail dans Duwig *et al.* (1996). La principale différence par rapport à l'année 1995 concerne l'extraction de la solution du sol à l'aide de bougies poreuses. Au cours de cette campagne de mesures, trois séries de 8 bougies poreuses ont été installées à 40 cm de profondeur (au lieu d'une seule série en 1995). Ceci nous a

permis de collecter des solutions tous les un ou deux jours, en alternance sur chacune des trois séries, en limitant les perturbations du flux hydrique induites par des prélèvements trop fréquents sur les mêmes bougies poreuses.

4.2.2 - Méthodes de calcul

La méthode de calcul des bilans hydriques et minéraux est exposée dans le rapport de Duwig *et al.* (1996). Nous en rappelons ici les points principaux :

- le drainage (en mm) est calculé quotidiennement à partir des données de charges hydrauliques et de teneurs en eau, en utilisant la loi de Darcy (Freeze, 1994) :

$$D = q\Delta t = -K(\theta)\text{grad}H\Delta t$$

où

q est le flux d'eau (mm j^{-1}),
H la charge hydraulique (cm),
K la conductivité hydraulique (mm j^{-1})
t le temps (j).

- les flux de nitrate et de potassium lixiviés au delà de 40 cm de profondeur sont calculés quotidiennement (en mg m^{-2}) en multipliant le drainage par la concentration en N-NO_3^- ou K^+ (en mg l^{-1}). On peut ensuite avoir un bilan d'eau et d'éléments minéraux lixiviés en sommant les calculs sur la période de mesures (ici, cette période s'étend du 23/02/96 au 30/03/96).

- le bilan hydrique a ensuite été calculé grâce à l'équation de conservation de la masse :

$$P = D + \text{ETR} + \Delta S$$

où

P est la pluie (mm),
D le drainage (mm),
 ΔS la variation de stock d'eau dans la couche de sol considérée (mm),
ETR l'évapotranspiration réelle (mm).

Le bilan permet de calculer l'ETR et de la comparer à l'ETR estimée à partir de l'ETP (évapotranspiration potentielle) selon la méthode de Chopart et Siband (1988). On peut ainsi vérifier la validité des résultats obtenus à partir de la loi de Darcy.

4.3 - Résultats et discussion

4.3.1 - Bilan hydrique

Les bilans ont été calculés sur chaque parcelle pour deux périodes où le drainage était positif, séparées par une période sans pluie et où le drainage est négatif (remontées capillaires).

Les données climatiques communes à toutes les parcelles sont regroupées dans le tableau 2 et les termes du bilan hydriques pour les 2 périodes et les différentes parcelles dans le tableau 3.

Période	Pluie, mm	ETP, mm	ETR estimée, mm
du 23/02 au 15/03/96	490,0	63,4	47,3
du 24/03 au 30/03/96	238,4	14,0	7,6

Tableau 2 : données climatiques communes à toutes les parcelles

Période du 23/02 au 15/03/96					
Parcelles	A/B	C/D	E	F	G/H
ΔS , mm	48,2	41,5	45,7	69,1	55,7
D, mm	417,7	385,7	381	375,4	400,6
ETR calculé, mm	24,1	62,8	63,3	45,5	33,7

Période du 24/03 au 30/03/96					
Parcelles	A/B	C/D	E	F	G/H
ΔS , mm	25,1	27,7	42,5	39,6	49,5
D, mm	203,7	203,1	190,3	187,4	181,6
ETR calculé, mm	9,6	7,6	5,6	11,4	7,3

Tableau 3 : Termes du bilan hydrique des différentes parcelles pour les deux périodes

En général, on observe peu de différences dans le flux hydrique pour les différentes parcelles étudiées (tableau 3), la consommation des plantes étant faibles (quel que soit le système de culture) par rapport à la pluviométrie de la période étudiée qui était très importante (728,4 mm en 28 jours).

4.3.2 - Bilan d'éléments minéraux

En moyenne, les concentrations en $N-NO_3^-$ sont élevées (souvent supérieures à $11,3 \text{ mg l}^{-1}$ de $N-NO_3^-$, qui équivaut à 50 mg l^{-1} de NO_3^- , le seuil limite de pollution de l'eau). On remarque (figure 4) que le pic de $N-NO_3^-$ après le premier apport d'engrais est bien visible sur la parcelle B (parcelle sol nu fertilisée). Les autres parcelles présentent également un pic, moins important toutefois. Le deuxième apport d'engrais a été effectué 12 jours avant le cyclone Béti (27 mars 1996). On observe le début du pic pour $N-NO_3^-$, malheureusement les données suivantes ne sont pas encore disponibles.

Le potassium est beaucoup plus retenu sur le sol que le nitrate. Le pic est donc moins haut et plus étalé. En effet, on observe le premier pic sur la parcelle B jusqu'au cyclone où le deuxième pic se superpose au premier. Les concentrations en potassium sur les parcelles cultivées sont faibles, comparativement à en $N-NO_3^-$.

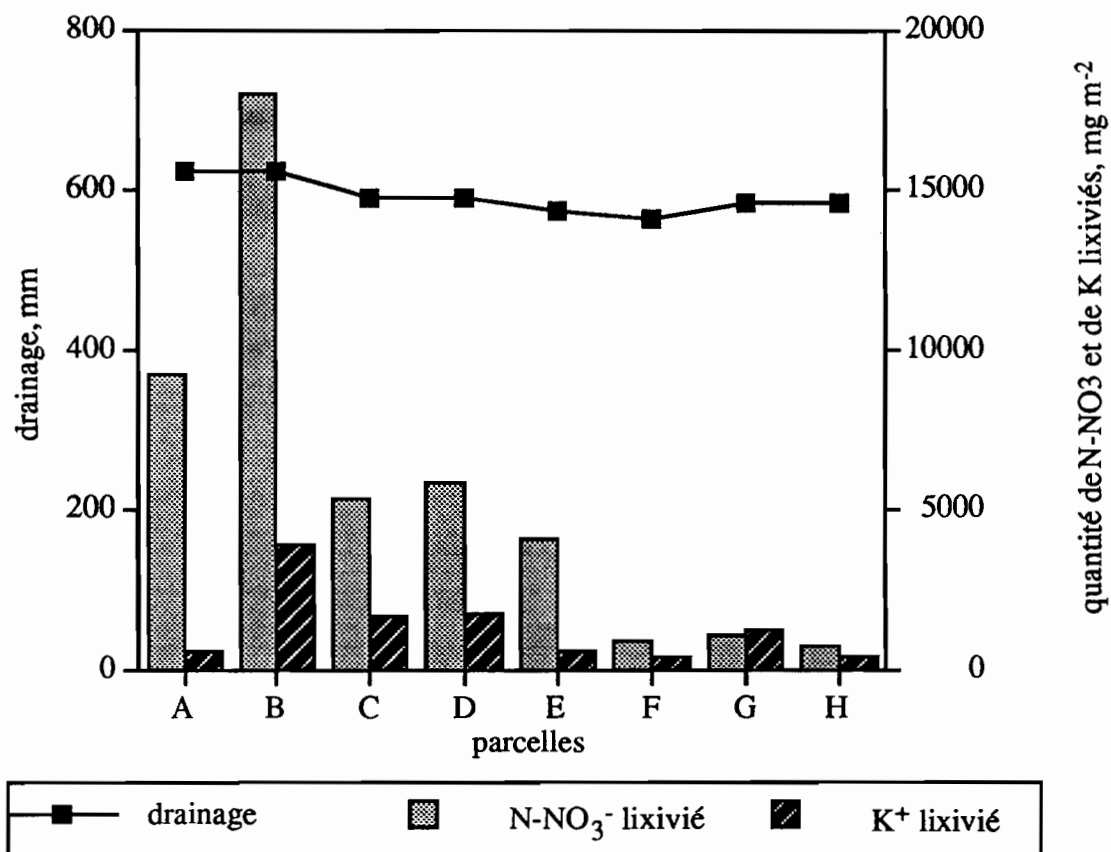


Figure 4 : drainage (mm) et quantités de $N-NO_3^-$ et de K^+ lixiviés (mg m^{-2}) par parcelle, entre le 23/02 et le 30/03/96

Le drainage et la quantité de N-NO_3^- et K^+ lixiviés sont présentés dans la figure 5. Sur la parcelle A (non fertilisée), on observe une lixiviation importante de nitrate (de 88 kg ha^{-1}) issu de la minéralisation de la matière organique du sol (des variations de cette production sont toutefois possibles sur les diverses parcelles notamment à la suite des apports de compost). En l'absence de plante (parcelle B), 85 % du N-NO_3^- apporté par l'engrais est lixivié. Pour les parcelles cultivées, les quantités lixiviées en N-NO_3^- , sont quasiment identiques pour C, D et E (maïs) et sont de l'ordre de 50 kg ha^{-1} [pour la parcelle F (maïs), le N-NO_3^- lixivié est nettement inférieur, sans que l'on puisse expliquer cette différence]. Sur G (graminées) et H (légumineuse), la lixiviation du N-NO_3^- est très faible ($< 10 \text{ kg ha}^{-1}$).

La lixiviation du potassium présente moins de variations selon les systèmes. La différence entre la lixiviation sous B et sous A donne une lixiviation liée à la production interne de 35 kg ha^{-1} . Sous toutes les parcelles cultivées, les pertes de potassium sont inférieures à 20 kg ha^{-1} , pour la période étudiée. En effet, le potassium est mieux retenu que le N-NO_3^- dans ce sol, car les cations sont adsorbés sur les charges négatives de la matière organique du sol.

5 - CONCLUSION

Au cours de cette deuxième année de suivi, diverses observations ont été faites :

- la pluviométrie de la période étudiée, qui a été très importante, a induit un drainage également important. Toutefois, les flux hydriques sont peu variables selon les systèmes de culture (rotation, fertilisation ou travail du sol).

- les quantités de N-NO_3^- et K^+ lixiviées sont par contre assez différentes selon les parcelles. Tout d'abord, malgré des pluies très intenses peu après la fertilisation (8 jours et 10 jours respectivement après les deux apports), la lixiviation au-dessous de la zone racinaire a été fortement limitée sur les parcelles cultivées durant la période étudiée, alors que 85 % de N-NO_3^- apporté par la fertilisation minérale ainsi que 90 kg ha^{-1} issus de la minéralisation de la matière organique du sol ont été perdus sur sol nu, pendant les 45 jours suivant la première fertilisation.

- les risques de pollution des lentilles d'eau douce par le nitrate sont réels. Cependant, les quantités d'éléments minéraux lixiviés au-dessous de la zone racinaire ont été relativement faibles sous parcelles cultivées contrairement à l'année dernière, car l'apport d'engrais a été

fractionné en deux au moment où la plante était le plus susceptible de consommer rapidement les éléments minéraux.

- la lixiviation de N-NO_3^- dépasse 50 kg ha^{-1} pour les parcelles C et D, pour la période d'étude. Ceci correspond à une teneur moyenne de $8,6 \text{ mg l}^{-1}$ de N-NO_3^- , soit $38,1 \text{ mg l}^{-1}$ de NO_3^- . Cette valeur reste en dessous du seuil de pollution des eaux (50 mg l^{-1} de NO_3^-).

- on peut noter que la lixiviation du potassium est faible sur l'ensemble des parcelles comparé à l'apport par l'engrais.

BIBLIOGRAPHIE

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

BECQUER, T., C. DUWIG C., BOURDON E., BONZON B., GUENEC G. et DANLOUX J., 1995. Etude des risques de dégradation de la fertilité des sols et de pollution des lentilles d'eau douce. Note de synthèse de l'avenant n°1. Nouméa : ORSTOM. Conv. : Sci. Vie : Agropédol., 29, 19p., multigr.

BECQUER T., DUWIG C., BOURDON E., DUBUS I., VINCENT V., NIGOTE W. et BONZON B., 1996 - Etude des risques de dégradation de la fertilité des sols et de pollution des lentilles d'eau douce. Note de synthèse de l'avenant 2. Nouméa : ORSTOM. Conv. : Sci. Vie : Agropédol., 34, 26p., 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.

BORGGGAARD O.K., JORGENSEN S.S., MOBERG J.P., RABEN-LANGE B., 1990. Influence of organic matter on phosphate adsorption by aluminium and iron oxides in sandy soils. J. Soil Sci., 41:443-449.

CHOPART J.L. et SIBAND P. 1988. PROBE : programme de bilan de l'eau. Mémoires et travaux de l'IRAT, n°17, 76p.

DOULA M., IOANNOU A., DIMIRKOU A., 1996. Thermodynamics of phosphate adsorption-desorption by alfisols, entisols, vertisols, and inceptisols. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 27:1749-1764.

DUBUS I., 1997a. Etude au laboratoire de la rétention du phosphore dans les sols ferrallitiques allitiques de l'île de Maré. Nouméa : ORSTOM. Conv. : Sci. Vie : Agropédol. (sous presse).

DUBUS I., 1997b. La rétention du phosphore dans les sols: principes d'étude, modélisation, mécanismes, et compartiments du sol . Documents Scientifiques et Techniques, III3 (sous presse).

DUWIG C., BECQUER T., BOURDON E., NIGOTE W., et TAPUTUARAI L., 1996. Suivi hydro-chimique sous différents systèmes de culture à Maré. Documents Scientifiques et Techniques, III1.

DUWIG C., BECQUER T., BOURDON E., NIGOTE W., DUBUS I. et VINCENT V. (1997). Suivi hydro-chimique sous différents systèmes de culture à Maré : résultats de l'année 1996. Nouméa : ORSTOM. Conv. : Sci. Vie : Agropédol. (sous presse).

FREEZE R. A., 1994. Henry Darcy and the Fountains of Dijon. *Ground Water*, 32(1): 23-30.

LATHAM M., MERCKY P., 1979. Carte pédologique et carte d'aptitudes culturales et forestières des Iles Loyauté au 1/200 000 ème. Notice explicative n°99, ORSTOM-Paris, 45 p.

NAGARAJAH S., POSNER A.M., QUIRK J.P., 1970. Competitive adsorption of phosphate with polygalacturonate and other organic anions on kaolinite and oxide surfaces. *Nature*, 228:83-85.

PARFITT R.L., 1978. Anion adsorption by soils and soil materials. *Adv. Agron.*, 30:1-50.

SINGH B.B., JONES J.P., 1976. Phosphorus sorption and desorption characteristics of soil as affected by organic residues. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 40:389-394.

TERCINIER G., 1971. Sols des terrasses et lagons calcaires surélevés des îles Loyauté. Application aux formations bauxitiques à boehmite et phosphatisées à crandalite. 12ème congrès des Sciences du Pacifique, Canberra.

UEHARA G., GILLMAN G., 1981. The mineralogy, chemistry, and physics of tropical soils with variable charge clays. Westview press, Boulder, CO.

