

Principales caractéristiques physico-chimiques des terres rizicoles de la Vallée de l'Artibonite (Haïti) et disponibilités réelles en éléments majeurs

J. Louissaint, Département de Ressources Naturelles et Environnement / FAMV / UEH et P. Duvivier, Département de Phyto-technie / FAMV / UEH.

Résumé

Louissaint J. et Duvivier P. 2005. Principales caractéristiques physico-chimiques des terres rizicoles de la Vallée de l'Artibonite (Haïti) et disponibilités réelles en éléments majeurs. RED 2 (1): 32–36

Dans le but de rationaliser l'usage des engrais minéraux pour la fertilisation de la culture du riz dans la Vallée de l'Artibonite, une étude a été réalisée pour déterminer les principales caractéristiques physico-chimiques des sols. Cinquante échantillons de sol ont été prélevés entre 0 et 30 cm de profondeur et 50 autres entre 30 et 60 cm à raison d'un point de sondage dans chacune des 50 localités sous étude. Le pH, la texture, la conductivité électrique, le taux de matière organique et les teneurs en éléments majeurs ont été dosés au Laboratoire des Sols de la FAMV. Les résultats ont montré que les sols sont en général limono-argileux avec en moyenne 28.8% de sable, 30.2% de limon et 41 % d'argile entre 0 et 30 cm ; 28.98 % de sable, 31.12% de limon et 39.80 % d'argile entre 30 et 60 cm. Ils sont neutres à légèrement alcalins avec des pH compris entre 7.25 et 7.96 entre 0 et 30 cm ; 7.34 et 8.03 entre 30 et 60 cm de profondeur. Leurs teneurs en éléments majeurs sont élevées (N : 0.18%, P₂O₅: 12.92 ppm, K₂O : 0.29 méq/100g entre 0 et 30 cm ; N : 0.11 %, P₂O₅: 14.99 ppm, K₂O : 0.28 méq/100 g entre 30 et 60 cm). Le taux de matière organique est moyen (1.69 % en moyenne entre 0 et 30 cm ; 1.38 % entre 30 et 60 cm). La conductivité électrique est en général faible (0.54 mmhos/cm entre 0 et 30 cm et 0.59 mmhos/cm entre 30 et 60 cm) à l'exception de deux localités (Hatte Desdunes et Grand Hilaire) où les valeurs de la conductivité électrique sont respectivement 2.47 et 2.80 mmhos/cm. Dans ces zones, des problèmes de salinité se posent.

Mots clés

Vallée de l'Artibonite, sol, culture du riz, pH, texture, conductivité électrique, azote, phosphore, potassium, matière organique, salinité.

Abstract

Louissaint J. et Duvivier P. 2005. Main physical and chemical characteristics of rice productive soils at Artibonite Valley (Haïti) and N P K nutrient disponibilities. RED 2 (1): 32–36

Soil main physical and chemical properties were studied for the Artibonite Valley in order to generate information able to permit the regulation of the use of fertilizers for rice production. 50 between 0 and 30 cm of depth and 50 between 30 and 60 cm sampling point in each of 50 sites. Soil pH, electrical conductivity, particle size distribution, organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium status were measured in the soil laboratory of FAMV. The results showed that the Artibonite Valley soils are loamy clay with 28.8% of sand, 30.2% of loam and 41 % of clay between 0 and 30 cm; 28.98 % of sand, 31.12% of loam and 39.80 % of clay in average between 30 and 60 cm, they are neutral and slightly basic with 7.25 to 7.96 unit of pH between 0 and 30 cm and 7.34 to 8.03 units of pH between 30 and 60 cm. They have high amounts of nitrogen, potassium and phosphorus with respectively 0.18% of N, 12.92 ppm of P₂O₅ and 0.29 méq/100g of K₂O between 0 and 30 cm of depth and 0.11% of N, 14.99 ppm of P₂O₅ and 0.28 méq/100g of K₂O between 30 and 60 cm of depth. Soil organic content is in the middle range (1.69% between 0 and 30 cm of depth and 1.38 % between 30 and 60 cm of depth. Electrical conductivity is low (0.54 mmhos/cm between 0 et 30 cm of depth and 0.59 mmhos/cm between 30 and 60 cm of depth) except two sites (Hatte Desdunes and Grand Hilaire) that have soils with high amount of salts (respectively 2.47 and 2.80 mmhos/cm).

Key words

Artibonite Valley, Soil, culture of rice, pH, particle size distribution, electrical conductivity, nitrogen, phosphorus, potassium, organic matter, salinity.

Introduction

Dans la Vallée de l'Artibonite, les riziculteurs appliquent 139 kg d'azote, 70 kg de P₂O₅ et 35 kg de K₂O à l'ha et obtiennent un rendement moyen de 3.5 tonnes/ha (Louissaint et Duvivier, 2003). Selon Angladette

(1996), une tonne de riz paddy exporte en moyenne 12.5 kg d'azote, 6 kg de P₂O₅ et 3 kg de K₂O. Ainsi, pour un rendement de 3.5 tonnes/ha, les exportations espérées à l'ha sont proches de 43.8 kg d'azote, 21 kg de P₂O₅ et 10.5 kg de K₂O. Plu-

sieurs hypothèses ont été émises à ce sujet: les sols de la zone rizicole de la Vallée de l'Artibonite seraient très pauvres en éléments majeurs et les doses de fertilisants appliquées actuellement par les exploitants ne seraient pas en adéquation avec les besoins réels de la culture du riz.

Ce travail a testé la première hypothèse à partir d'une étude conduite dans la Vallée de l'Artibonite, la plus importante zone de production de riz du pays. De façon plus précise, l'étude a pour objet d'évaluer la fertilité naturelle des terres destinées à la production rizicole dans la Vallée de l'Artibonite.

Méthodologie

Sur la base de la cartographie préliminaire disponible, l'aire d'étude a été divisée en quatre sous zones baptisées I, II, III et IV. La sous zone I se situe dans la partie sud-ouest de la zone d'étude et est constituée de 13 localités. La sous zone II part du canal de Duclos vers l'Estère du côté gauche de la route Nationale n° 1 en allant vers le Nord. La sous-zone III se situe dans la partie nord-est de la zone d'étude du côté droit de la route nationale n° 1 et s'étend de Boudette Grande Place Jusqu'à l'Estère. La sous-zone IV se localise dans la partie sud-est de la zone d'étude, du Pont-Sondé sur l'Artibonite jusqu'aux localités Niel et Duvallon.

Les quatre sous zones délimitées regroupent cinquante localités couvrant une superficie approximative de 20000 hectares. Dans chacune de ces localités deux échantillons de sol, dont l'un entre 0 et 30 cm et l'autre entre 30 et 60 cm, ont été prélevés à la tarière à partir d'un même point. Les coordonnées géo-

graphiques des points de sondage et leur élévation ont été repérées à l'aide d'un GPS de type Garmin tout en précisant les localités de prélèvement. Cette approche est de nature à permettre un suivi effectif de l'évolution du niveau de fertilité des sols et de la dynamique des éléments nutritifs pour un point de sondage situé dans une localité donnée.

Les échantillons de sol prélevés ont été analysés au Laboratoire des Sols de la FAMV. Les paramètres suivants ont été mesurés : l'azote total par la méthode de Kjeldahl, le P_2O_5 assimilable par la méthode Olsen, le K_2O par saturation à l'acétate d'ammonium et dosage au spectrophotomètre, le pH avec un ratio sol : eau de 1 : 2, la granulométrie par la méthode de Bouyocos. Le pourcentage de carbone organique et la conductivité électrique ont été respectivement mesurés par les méthodes de Wackley -Black et de Bouver et Wilcox.

Les données collectées ont été d'abord traitées par sous zone puis soumises à une analyse de variance en vue de tester l'homogénéité entre les quatre sous zones pour tous les paramètres de manière à mieux appréhender les caractéristiques pédologiques de la région. Le test de F a été utilisé pour comparer les valeurs moyennes à la probabilité de 0.05%. Dans le souci de faciliter l'utilisation pratique des résultats obtenus, les teneurs en éléments majeurs ont été converties en tonnes d'éléments fertilisants à l'hectare.

Résultats et discussions

Caractéristiques physico-chimiques des sols de la sous-zone I

Les résultats présentés dans le tableau 1 montrent qu'entre 0 et 30cm, la réaction des sols va de neutre (pH=7.40) à alcalin (pH=8.45) avec un pH moyen égal à 7.96. Ces valeurs découlent de l'origine calcaire des alluvions formant les sols de la Vallée de l'Artibonite. Cette gamme de pH ne pose pas de grands problèmes à la disponibilité de la

majorité des éléments fertilisants dans le sol, mais le phosphore peut être immobilisé par le calcium (Sposito, 1989). Le taux de matière organique oscille entre 0.32 et 2.01% avec une moyenne de 1.18% qui peut être considérée comme un niveau moyen (Dominguez, 1978). Quant au rapport C/N, il est faible allant de 1.33 à 11.14 indiquant la rapidité du processus de décomposition de la matière organique (Ministère de la coopération, 1991).

La texture des sols en général va de limono sableuse à argileuse avec un pourcentage d'argile variant de 25 à 60% expliquant ainsi le faible niveau de perméabilité de ces derniers. La conductivité électrique oscille entre 0,156 et 0,957 mmohs/cm soit une moyenne de 0,32 mmohs/cm. D'après Gros (1979) cette gamme de valeurs indique, à priori, qu'il n'existe aucun risque de salinisation des sols par l'irrigation pourvu que les eaux utilisées respectent les normes généralement admises en ce qui a trait à leur teneur en certains éléments chimiques notamment le sodium (Bohn and O'Comor, 1985) et que le système de drainage fonctionne de manière adéquate.

La teneur en azote est comprise entre 0,105 et 0,273%, celle en phosphore entre 4 et 34.66 ppm et celle en potassium entre 0,10 et 0,41 méq/100 g. Ces valeurs indiquent que le niveau actuel de fertilité des sols, en référence aux intervalles définis par Gros (1984), est élevé; ce qui est en contradiction avec l'utilisation à outrance de fertilisants pour la production du riz dans la région.

Pour les échantillons de sol prélevés entre 30 et 60 cm, le pH des sols varie de 7.70 à 8.40 soit une moyenne égale à 8.03. Cette gamme de valeurs ne révèle pas de différence significative avec les données obtenues au niveau de la couche superficielle. De ce fait, les mêmes conclusions en terme de disponibilité des éléments fertilisants sont maintenues.

La teneur en matière organique est comprise entre 0,51 et 3,22% avec une moyenne égale à 2,375% qui représente le double de celle observée au niveau de la première couche. De plus, le rythme de décomposition de cette matière organique se révèle également plus élevé voire optimal avec en moyenne un rapport C/N égal à 14.4 (tableau 1).

La texture des sols reste inchangée dans la majorité des cas allant de limoneuse à argileuse. Toutefois, le pourcentage d'argile diminue dans certains cas pour atteindre 15%. En conséquence, la perméabilité des sols peut augmenter légèrement en profondeur. La conductivité électrique demeure très faible dans tous les cas (< 0,682 mmohs/cm).

Pour les éléments majeurs, le taux d'azote varie de 0,05 à 0,14%, la quantité de phosphore assimilable va de 5,33 à 37.33 ppm de P_2O_5 tandis que la teneur en potasse (K_2O) oscille entre 0,05 et 0,36 méq/100g. De même que dans le cas précédent, ces valeurs confirment le niveau élevé de fertilité actuelle des sols de la sous zone I.

En résumé, à l'exception du taux de matière organique et de son rythme de minéralisation, il n'existe pas de différence significative entre les caractéristiques physico-chimiques observées entre les deux horizons des sols appartenant à la première sous zone.

Caractéristiques physico-chimiques des sols de la sous zone II

Dans l'ensemble pour les deux niveaux 0 – 30 cm et 30 – 60 cm, les caractéristiques des sols de la sous zone II sont identiques à celles de la sous zone I en ce qui a trait à la texture, le pH, la teneur en matière organique, le rapport C/N et les teneurs en éléments majeurs. Par contre, la conductivité électrique les différencie. En effet, la conductivité électrique reste dans la gamme normale des valeurs pour la plus grande partie de la sous zone II. Cependant, pour les localités de la

Hatte Desdunes (S_{45.1}) et Grand Hilaire (S_{46.1}), les valeurs de la conductivité électrique sont élevées, respectivement 2.47 et 2.80 mmhos/cm dénotant ainsi un niveau alarmant de salinisation des sols. Il est donc urgent de prendre des mesures afin de corriger cette situation qui risque d'avoir des incidences néfastes sur les localités avoisinantes d'après les conclusions de Soltner (1988). Le système de drainage actuel mérite d'être contrôlé et suivi de façon régulière en vue d'empêcher toute aggravation de la situation.

Caractéristiques physico-chimiques des sols de la sous-zone III

Entre 0 et 30cm, le pH des sols oscille entre 7.0 et 8.26 à l'exception d'une valeur de 5.50 obtenue pour la localité de Gilbert où le sol serait acide en surface. En général, les sols sont neutres à légèrement alcalins. Quant au taux de matière organique, il varie de 0,46 à 5,80% avec une moyenne égale à 1,93% qui peut être considérée d'après Tisdale et al. (1984) comme un niveau moyen pour les sols tropicaux. Le rapport C/N atteint en moyenne 6.05 démontrant que la décomposition de la matière organique se réalise à un rythme rapide au niveau de ces sols.

La texture des sols va de limono argilo sableuse à argileuse avec un pourcentage d'argile compris entre 15 et 55. A part quelques rares exceptions, dans tous les cas, l'argile demeure la fraction dominante dans la granulométrie des sols. La conductivité électrique reste dans les limites normalement admises allant de 0,144 à 1,809 mmhos/cm. Il n'existe, donc, aucun risque de salinisation des sols par l'irrigation aussi longtemps que l'eau utilisée à cette fin est de bonne qualité et qu'un système de drainage adéquat y est associé.

La teneur en azote varie de 0,12 à 0,35%, celle en phosphore assimilable oscille entre 4 ppm et 17 ppm tandis que pour le potassium elle est comprise entre 0,05 et 0,58

még/100g. Dans tous les cas, les valeurs obtenues dénotent un haut niveau de fertilité naturelle des sols dans lesquels les plantes en particulier le riz pourraient produire des rendements adéquats sans un apport additionnel de fertilisants chimiques au cas où il n'existerait pas de relations antagonistes graves entre les éléments comme l'ont révélé Bonneau et Sousher (1979) dans la compilation d'études similaires effectuée dans plusieurs sites à travers le monde.

Au niveau de la seconde couche (30-60cm) le pH des sols oscille entre 7.20 et 9.20 montrant ainsi que l'alcalinité augmente par endroits en profondeur. Ceci tend à occasionner une plus forte immobilisation du phosphore par le calcium le rendant ainsi non disponible pour les cultures.

Quant au taux de matière organique, il s'étend de 0,26 à 1,53% avec une moyenne de 0,96% de loin inférieure à celle observée au niveau de la première couche. Cette différence est normale et explique un faible taux de matière organique dans cet horizon appauvri au profit de la couche sous-jacente. Les autres propriétés restent inchangées à savoir la texture, le rapport C/N et les teneurs en éléments majeurs.

Caractéristiques physico-chimiques des sols de la sous-zone IV

Sur une profondeur comprise entre 0 et 30cm, le pH est compris entre 6.80 et 8.17 avec une moyenne égale à 7.91 montrant ainsi que les sols se révèlent neutres à légèrement alcalins. Cette gamme de valeurs exclut toute possibilité d'immobilisation d'éléments fertilisants dans ces sols. Le pourcentage de matière organique atteint en moyenne 2.028 que l'on peut considérer comme un niveau moyen pour ce paramètre. Quant au rapport C/N, il demeure faible variant de 0,46 à 9,69 et dénote un rythme rapide de dégradation de la matière organique dans ces sols.

Au point de vue texturale, les sols sont limono argileux à argileux avec une teneur moyenne en argile de plus de 43%. Compte tenu de l'importance de la fraction argileuse, le niveau de perméabilité de ces sols est faible. C'est pourquoi ils retiennent l'eau en surface et permettent la pratique de la riziculture. Quant à la conductivité électrique, elle varie de 0,166 à 1,78 mmhos/cm soit en moyenne 0.44 mmhos/cm (tableau 1). Ces valeurs montrent qu'il n'y a pas de risque de salinisation des sols par l'irrigation avec un système de drainage adéquat et une eau de bonne qualité.

La teneur en azote oscille entre 0,098 et 0,28% avec une moyenne de 0,18%, celle en phosphore (P₂O₅) varie de 5 ppm à 23,33 ppm avec une valeur moyenne de 11,18 ppm tandis que la teneur en potasse (K₂O) va de 0,13 à 0,85 még/100g avec une moyenne de 0,32 még/100g (tableau 1). Dans l'ensemble, les valeurs demeurent élevées et dénotent un haut niveau de fertilité actuelle des sols de la région (Gros, 1984).

Au niveau de la seconde couche (30-60cm), les valeurs obtenues pour les paramètres mesurés ne diffèrent pas de la première à l'exception du pH qui est légèrement plus élevé. Il faut noter qu'au-delà d'un pH 8, le phosphore tend à être immobilisé par le calcium.

En résumé, au niveau de l'horizon 0-30 cm, de manière globale les quatre sous zones ne se sont pas révélées différentes au point de vue de la texture des sols, de leur teneur en éléments majeurs, de leur teneur en matière organique et de leur rapport C/N. Par contre, elles sont différentes par leur pH et leur conductivité électrique (CE). La sous-zone II est à surveiller pour sa salinité élevée.

Au niveau de l'horizon 30-60 cm, les sous-zones sont comparables pour presque tous les paramètres à l'exception de la teneur en matière organique plus élevée dans la sous zone I et la conductivité électrique

qui dénote un degré de salinité préoccupant dans deux localités (Hatte Desdunes : CE=2.47 mmhos/cm et Grand Hilaire : CE=2.80 mmhos/cm) de la sous zone II.

Teneurs en éléments majeurs en tonnes à l'hectare

Pour les besoins pratiques, les tableaux 2 et 3 présentent les teneurs en éléments majeurs en tonnes par hectare. Au niveau de l'horizon supérieur (0 – 30cm), la teneur en azote varie entre les sous zones de 6.375 T/ha à 7.125 T/ha avec une moyenne de 6.75 T/ha. La teneur en phosphore assimilable oscille entre 0.042 et 0.064 T/ha avec une moyenne de 0.050 T/ha. Quant au potassium, sa teneur au niveau de l'horizon superficiel est comprise entre 0.293 et 0.541 T/ha avec une moyenne de 0.413 T/ha (tableau 2).

En ce qui a trait à la teneur en macro éléments, l'analyse de variance de ces données a montré que les sous zones ne sont pas différentes entre elles en terme de fertilité naturelle des sols au niveau de l'horizon superficiel c'est-à-dire entre 0 et 30 cm.

Sur la base de ces résultats, la zone rizicole de la Vallée de l'Artibonite peut être considérée comme étant non hétérogène avec une teneur moyenne en azote de 6.75 T/ha, une teneur en phosphore assimilable de 0.050 T/ha et une teneur en K₂O de 0.413 T/ha.

Entre 30 et 60 cm, les résultats ne sont pas très différents. La teneur en azote varie de 3.75 à 4.50 T/ha avec une moyenne de 4.172 T/ha. La quantité de phosphore assimilable oscille entre 0.048 et 0.065 T/ha avec une moyenne égale à 0.058 T/ha. Quant à la teneur en potasse, elle varie de 0.263 à 0.512 T/ha avec une moyenne de 0.421 T/ha (tableau 3).

Une fois de plus, les résultats obtenus montrent que la zone rizicole de la Vallée de l'Artibonite est homogène en termes de teneurs en éléments majeurs avec des teneurs moyennes de 6.75 T/ha, 0.050 T/ha et 0.413 T/ha respectivement pour l'azote, le phosphore assimilable et le potassium.

Tableau 1. Valeurs moyennes des indicateurs dans les quatre sous zones

Horizon 0-30 cm				
Sous Zones	I	II	III	IV
Indicateurs				
Sable (%)	27 a	32.5 a	29 a	27 a
Limon (%)	34 a	28.0 a	30 a	29 a
Argile (%)	39 a	39.8 a	41 a	44 a
pH	7.96 a	7.25ab	7.7 a	7.3 b
Matière organique (%)	1.18 a	1.6 a	1.93 a	2.02 a
Azote (%)	0.18 a	0.19 a	0.17 a	0.18 a
P ₂ O ₅ (ppm)	14.10 a	17.11 a	11.15 a	11.18 a
K ₂ O (méq/100g)	0.20 a	0.37 a	0.24 a	0.32 a
Conductivité électrique (mmhos/cm)	0.32 b	0.895 a	0.52 b	0.44 b
C/N	4.24 a	5.00 a	6.05 a	6.31 a
Horizon 30-60 cm				
Sous Zones	I	II	III	IV
Indicateurs				
Sable (%)	35 a	24 a	29 a	28 a
Limon (%)	32 a	32 a	27 a	33 a
Argile (%)	33 a	44 a	44 a	39 a
pH	8.03 a	7.7 a	7.34 a	7.70 a
Matière organique (%)	2.375 a	1.05 b	0.96 b	1.17 b
Azote (%)	0.10 a	0.115 a	0.11 a	0.12 a
P ₂ O ₅ (ppm)	12.82 a	16 a	15.4 a	17.38 a
K ₂ O (méq/100g)	0.18 a	0.35 a	0.32 a	0.30 a
Conductivité électrique (mmhos/cm)	0.273 b	2.25 a	0.446 b	0.40 b
C/N	14.4 a	4.8 b	5.17 b	5.82 b

N.B. Dans une ligne, les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes.

Tableau 2. Teneur en N, P₂O₅ et K₂O entre 0 et 30cm en T/ha

Sous zones	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
I	6.75	0.053	0.293
II	7.125	0.064	0.541
III	6.375	0.042	0.351
IV	6.75	0.042	0.468
Test de F	NS	NS	NS
Moyenne	6.75	0.050	0.413

N.B.- NS signifie que le test de F est non significatif à 5% de probabilité.

Tableau 3. Teneur en N, P₂O₅ et K₂O entre 30 et 60 cm en T/ha

Sous-zones	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
I	3.750	0.048	0.263
II	4.313	0.06	0.512
III	4.125	0.058	0.468
IV	4.5	0.065	0.439
Test de F	NS	NS	NS
Moyenne	9.302	0.058	0.421

N.B.- NS signifie que le test de F est non significatif à 5% de probabilité.

En définitive, l'analyse et l'interprétation des données obtenues permettent d'infirmier l'hypothèse de départ à savoir que les sols de la région rizicole de la Vallée de l'Artibonite sont pauvres. Au contraire, les sols détiennent des teneurs appréciables en éléments majeurs qui dénotent un niveau élevé de fertilité. Toutefois, compte tenu des fortes doses d'engrais appliquées par les agriculteurs pendant une période relativement longue, il s'avère opportun d'investiguer de manière exhaustive l'histoire de gestion de la fertilité des sols afin de mieux statuer sur l'origine effective de leur richesse en éléments majeurs.

Les résultats obtenus à partir de ce travail de recherche permettront de:

- dégager des doses théoriques de fertilisants à partir des résultats d'analyse d'échantillons de sols et des besoins réels de la culture du riz en fonction des objectifs de rendement.
- tester la validité des doses théoriques par des essais de fertilisation en plein champ et faire des recom-

mandations relatives aux doses de fertilisants à utiliser

Bibliographie

Angladette, A. 1966. Le riz. Collection Techniques Agricoles et Productions tropicales. Edition G.-P. Maisonneuve & Larose, Paris, France. 930p.

Bohn, H. L. M. and O'Connor, C. A. 1985. Soil Chemistry. 2e Edition. John Willey & Sons, New-York. 341 p.

Bonneau, M. et Sousher, B. 1979. Pédologie ; constituants et propriétés du sol. Tome II. Paris Masson. 459 p.

Dominguez, V. A. 1978. Abonos minerales. Quinta edición. Ministerio de Agricultura, Madrid 398 p.

Gros, A. 1979. Engrais, guide pratique de la fertilisation. 7^e édition, Maisson Rustique, Paris. 382 p.

Gros, A. 1984. Engrais, guide pratique de la fertilisation 8^e édition – Masson Paris 520 p.

Louissaint, J. et Duvivier, P. 2003. Rapport d'avancement no. 1 du projet d'Élaboration d'un référentiel technique fiable pour la fertilisation rationnelle et économique des terres rizicoles de la Vallée de l'Artibonite. Damien, Haïti. 63 p.

Ministère de la Coopération Française. 1991. Mémento de l'Agronome. Edition du Ministère de la Coopération française. 4^e édition. 1635 p.

Soltner, D. 1988. Les bases de la Production Végétale. Tome 1, 16^e édition Science et Technologie agricoles. 467 p.

Sposito, G., 1989. The chemistry of soils. Oxford University Press New York. 398 p.

Tisdale, S. L.; Nelson, W. L. and Beaton, J. D. 1984. Soil fertility and fertilizers. Fourth edition. Macmillan Publishing Company New-York. 754 p.