

# Valeur diagnostique des caractères hydromorphes et halomorphes de vertisols de la vallée du Cauto à Cuba

## Application à l'évaluation des besoins en drainage agricole

Robert BOUZIGUES(1), Jean-Claude FAVROT(1), Julian HERRERA(2), Gréco CID(2)  
(1) Laboratoire de science du sol, Centre Inra, 2, Place Viala, 34060 Montpellier cedex 01 France.  
(2) Instituto de investigaciones de Riego y Drenaje, Minag, La Havana, Cuba.

### RÉSUMÉ

*Dans des vertisols du nord de la vallée du Cauto, à l'est de Cuba, des caractères hydromorphes (redistribution de fer, de manganèse, de calcite) et halomorphes (redistribution de sels, précipitations de gypse) se superposent aux caractères vertiques. Pour évaluer les besoins en drainage agricole de ces sols, à partir de leur cartographie, deux démarches complémentaires ont été réalisées :*

- l'étude des traits morphologiques, par leur observation sur le terrain, à la loupe binoculaire, au microscope électronique à balayage, par leur analyse à la microsonde et par diffractométrie X ;*
- un suivi piézométrique pour l'étude des oscillations saisonnières de la nappe souterraine permanente.*

*Ces investigations ont été menées sur des sites et profils représentatifs des trois principaux types de vertisols régionaux, lesquels s'ordonnent selon une toposéquence :*

- vertisols faiblement hydromorphes et peu halomorphes en sommet de buttes ;*
- vertisols hydromorphes et halomorphes sur versants (pentes < 1 %) ;*
- vertisols très hydromorphes et très halomorphes en position de bas-fond.*

*Les résultats des observations et analyses se traduisent par la mise en évidence, dans chaque profil, de la superposition de trois horizons de diagnostic qui, du haut vers le bas, sont :*

- un horizon Goy, caractérisé par la présence de films rouille vif (fer amorphe) recouvrant des pores racinaires et des agrégats, et par l'existence de filaments blanchâtres de gypse pur formés de cristaux de 20 à 100  $\mu\text{m}$  ;*
- un horizon Gok, identifiable par des amas blanchâtres ou jaunâtres constitués de cristaux rhomboédriques, homométriques (10  $\mu\text{m}$ ) de calcite, ainsi que par des revêtements manganiques noirâtres ;*
- un horizon Gr, reconnaissable aux teintes grises recouvrant les faces de glissement et entourant des pores racinaires.*

*La profondeur d'apparition des horizons Goy et Gok, qui varie de 0 à 80 cm selon les vertisols, correspond sensiblement à la zone de battement de la nappe, alors que l'horizon Gr est saturé toute l'année.*

*Ce régime hydrique, spécifique de chaque vertisol, permet de comprendre la genèse des traits morphologiques et confirme, pour les sols hydromorphes et très hydromorphes, l'intérêt des horizons de diagnostic pour l'évaluation du besoin en drainage. Pour les sols non ou peu hydromorphes, d'autres critères (plasticité, portance, salinité) sont à prendre en considération pour cette évaluation.*

**MOTS CLÉS :** Diagnostic – Hydromorphie – Halomorphie – Drainage – Vertisol – Microscopie – Piézométrie – Cartographie.

## ABSTRACT

DIAGNOSING HYDROMORPHY AND HALOMORPHY IN VERTISOLS IN THE CAUTO VALLEY, CUBA.  
JUDGING THE NEED FOR DRAINAGE

To determine the need for drainage in halomorphic vertisols in the north of the Cauto Valley of Cuba, from the soil map, two complementary steps have been taken. They are:

- a detailed analytical study of the terrain and of the morphological indicators of hydromorphy (Fe, Mn, CaCO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub>, 2H<sub>2</sub>O) using a binocular microscope, scanning electron microscope and microprobe, and X ray diffractometry;
- piezometric recording to study the seasonal oscillation of the permanent ground water table.

We did these studies at sites with profiles representative of three principal types of vertisol in the region, which are arranged in a toposequence, namely :

- (i) those that are slightly hydromorphic and halomorphic on the crests of hills,
- (ii) hydromorphic and halomorphic vertisols on slopes,
- (iii) very hydromorphic and very halomorphic vertisols in bottomlands.

As a result of these studies we have shown that each profile consists of three superposed horizons. There are:

a Goy horizon, characterized by bright rusty films of amorphous iron lining root channels and covering the surfaces of aggregates, and whitish filaments of pure gypsum crystals 20 to 100  $\mu$ m across;

a Gok horizon identifiable by its masses of whitish or yellowish rhombohedral equalized (10  $\mu$ m) crystals of calcite, in addition to blackish concretions of manganese ;

a Gr horizon, in which the faces of slickensides and of root channels are characteristically grey.

The depths of the Goy and Gok horizons, which vary from 0 to 80 cm depending on the type of vertisol, correspond closely to the zone within which the water table fluctuates, whereas the Gr horizon is saturated all the year round.

Knowing the hydrological regime, which is specific to each type of vertisol, enables us to understand the genesis of the morphology, and for the hydromorphic and very hydromorphic soils to use the information of the diagnostic horizons to judge the requirements for drainage. For the soils that are only slightly hydromorphic other criteria such as the plasticity, bearing strength, as well as salinity should be taken into account in their evaluation.

KEY WORDS : Hydromorphy – Drainage – Vertisol – Microscopy – Piezometry – Mapping.

## RESUMEN

## VALOR DIAGNOSTICO DE LOS CRITERIOS HIDROMORFICOS Y HALOMORFICOS EN VERTISUELOS DEL VALLE DEL CAUTO EN CUBA. APLICACION A LA EVALUACION DE LAS NECESIDADES DE DRENAJE

En los vertisuelos del norte del valle del Cauto al este de Cuba, los criterios de hidromorfia (repartición del hierro, manganeso, yeso) se superponen a los criterios vérticos. Para evaluar las necesidades de drenaje de estos suelos a partir de la cartografía, dos pasos complementarios fueron realizados :

- el estudio de los rasgos morfológicos con observación de terreno, a la lupa binocular, al microscopio electrónico de barrido, y análisis a la microsonda y difracción de rayos X ;
- un seguimiento piezométrico para el estudio de las oscilaciones estacionales del manto subterráneo permanente.

Estas investigaciones han sido realizadas en lugares y sitios representativos de tres tipos principales de vertisuelos regionales, los cuales se ordenan en una toposecuencia : vertisuelos debilmente hidromórficos y poco halomórficos en la posición más alta ; vertisuelos hidromórficos y halomórficos sobre la vertiente (pendiente < 1 %) ; vertisuelos muy hidromórficos y muy halomórficos en la posición más baja.

Los resultados de las observaciones y análisis se traducen por la puesta en evidencia en cada perfil, de la superposición de tres horizontes diagnósticos : un horizonte Goy, caracterizado por la presencia de una película herrumbrosa intensa (hierro amorfo) recubriendo los poros de raíces, los agregados y por la existencia de filamentos blancuzcos de yeso formando cristales de 20 a 100  $\mu$ m ; un horizonte Gok, identificable por las amas blancuzcas o amarillentas constituidas por cristales romboédricos, homométricos (10  $\mu$ m) de calcita, así como por revestimientos mangánicos negruzcos ; un horizonte Gr (reducción permanente), reconocible por tintes grises recubriendo las caras de deslizamientos y rodeando los poros de raíces. La profundidad de los horizontes Goy y Gok, que varían de 0 a 80 cm según los vertisuelos, corresponden sistemáticamente a la zona de fluctuación del manto de forma que el horizonte Gr está saturado todo el año.

Este régimen hídrico, específico de cada vertisuelo, permite comprender la genesis de los rasgos morfológicos y confirmar para los suelos hidromórficos y muy hidromórficos, el interés de los horizontes diagnósticos para la evaluación de las necesidades de drenaje.

Para los suelos no, o poco, hidromórficos, otros criterios (plasticidad, fuerza de sustentación, salinidad) son tenores de consideración para esta evaluación.

PALABRAS CLAVES : Diagnóstico – Hidromorfia – Halomorfia – Drenaje – Vertisuelo – Microscopia – Piezometria – Cartografía.

## INTRODUCTION

En milieu tempéré, l'engorgement temporaire des sols limoneux entraîne des changements nets des états du fer et de la matière organique, liés essentiellement à des modifications de l'intensité et de la nature de processus bactériens (BERTHELIN, 1982). L'hydromorphie se traduit par des traits morphologiques caractéristiques. La profondeur d'apparition et le contraste de ces traits, notamment de ceux résultant des mécanismes d'oxydo-réduction du fer, sont bien corrélés avec les fluctuations saisonnières des nappes perchées. Ils autorisent ainsi un bon diagnostic des besoins en drainage agricole lors des études pédologiques préalables aux aménagements (FAVROT et DEVILLERS, 1975). En sols argileux en revanche, et notamment en milieu calcaire, les signes d'hydromorphie ne sont pas toujours bien individualisés (BOUZIGUES *et al.*, 1981) et la mise en évidence de la forme de l'excès d'eau et de son suivi n'est pas toujours aisée (BOUMA *et al.*, 1980).

Sous climat tropical, l'excès d'eau provoque également dans les sols des phénomènes d'oxydo-réduction du fer et de redistribution des sels, lesquels génèrent aussi des traits morphologiques révélateurs de l'hydromorphie. En vertisols topomorphes par exemple, on observe fréquemment de petites concrétions ferro-manganiques, associées en profondeur à des nodules et amas diffus calcaires (ROSSIGNOL, 1983). Mais certains facteurs autres que la seule durée de saturation des horizons (température, conductivité hydraulique, géométrie de l'espace poral, etc.) peuvent intervenir sur la cinétique et donc sur la signification des réactions (VIZIER, 1983, 1990). Celles-ci sont également sous la dépendance de la texture et de la structure du sol (JAILLARD et CABIDOCHÉ, 1984), de sa teneur en sels ou parfois même de la culture réalisée (CHEN C. *et al.*, 1980 ; MOENNE-LOCCOZ, 1986).

Si de nombreux auteurs ont ainsi analysé les facteurs et mécanismes de transformation et de redistribution des constituants du sol, liés à l'hydromorphie (BERTHELIN, 1982 ; PATRICK, 1981 ; PONNAMPERUMA, 1978 ; VIZIER, 1983, 1987, 1990), peu de travaux ont porté en revanche sur la constitution fine des traits pédologiques résultant de ces processus (MOTOMURA et YOKOI, 1969 ; SOULIER, 1991 ; TAMIA, 1992), notamment en milieu très argileux, carbonaté et salé. Ce sujet est précisément celui abordé dans le présent travail, qui vise un double objectif, cognitif et appliqué.

À Cuba, les vertisols ont une grande extension (17 % de la superficie cultivée – PANEQUE, 1984). Ils sont fréquemment affectés par la remontée de nappes généralement salées, due à une pluviométrie élevée et/ou à une recharge de la nappe liée à la généralisation de l'irrigation. L'amélioration de la productivité de tels sols implique le recours au drainage agricole (fossés ouverts et/ou tuyaux enterrés). Des études préalables à cet aménagement ont été entreprises dans la vallée du Cauto, à l'est de l'île. Elles révèlent une gamme variée de sols en relation avec la variabilité spatio-temporelle de l'excès d'eau et de la salinité. Parallèlement, des expérimentations sur les modalités de drainage ont été engagées. Elles tiennent compte des résultats déjà obtenus dans d'autres pays en vertisols à nappe salée, notamment en Australie (LOVEDAY, 1984) et au Soudan (JEWITT *et al.*, 1979).

Afin d'améliorer la prévision des besoins en drainage, une étude approfondie des traits morphologiques révélateurs de l'hydromorphie et de l'halomorphie a été entreprise sur une séquence représentative des vertisols de la vallée du Cauto, et a été confrontée à des relevés piézométriques. Les résultats de ces travaux sont exposés ci-après. Seront abordés successivement la présentation du milieu d'étude et des méthodes employées, la caractérisation morphologique et analytique détaillée des horizons de diagnostic de l'hydromorphie-halomorphie, puis la confrontation de la profondeur d'apparition de ces horizons avec les oscillations saisonnières de la nappe salée.

## MILIEU ET MÉTHODES D'ÉTUDE

### Localisation et traits généraux du site étudié

L'étude exposée ci-après a été menée dans la province d'Holguin, au nord-est de la vallée du Cauto (4 000 km<sup>2</sup>), dans une région caractérisée par une grande extension des vertisols (fig. 1). Les investigations se sont concentrées sur une parcelle expérimentale de drainage, de 33 ha, dénommée « La Yolanda », choisie à la suite d'une cartographie au 1/10 000 d'une aire échantillon de 700 ha (secteur de référence de Mir, HERRERA et CID, 1991). La parcelle (20° 42' 06 de latitude nord, 76° 37' 36 de longitude ouest) se situe à une dizaine de kilomètres au sud du bourg de Mir, à proximité du village de Monte Alto. Elle est à 4 km à l'est du rio La Rioja et à 6 km au nord du rio Salado, affluent du Cauto.

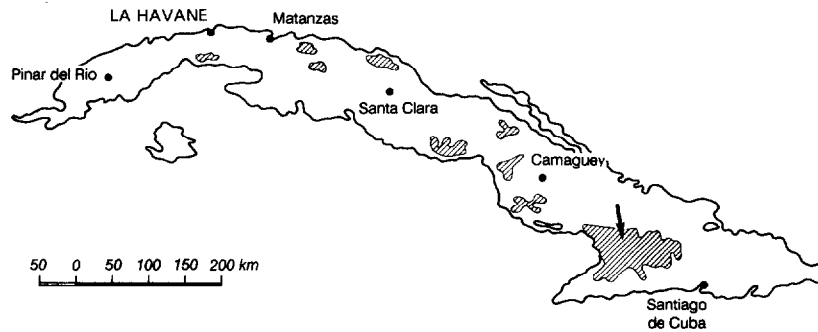


FIG. 1. – Répartition schématique des vertisols à Cuba (PANEQUE, 1984) et localisation du site étudié.  
Schematic distribution of vertisols in Cuba (PANEQUE, 1984) and location of the study site.

Ce site expérimental, représentatif du milieu régional, comporte un modelé général légèrement ondulé, marqué par des gouttières évasées, d'orientation nord-sud, distantes de 800 à 1 000 m et des sommets de buttes convexes dominant les zones basses de 1,50 m environ (fig. 2). L'altitude absolue est voisine de 40 m.

Le climat tropical local (BERNAL et RAMIREZ, 1991), d'après les relevés de la station de Monte Alto (1974-1989), se caractérise par une pluviométrie annuelle moyenne de 997 mm (tabl. I) qui est sensiblement inférieure à la valeur moyenne relevée pour l'ensemble des postes de la vallée du Cauto (1 110 mm). Ce chiffre de 997 mm masque à la fois une forte variabilité interannuelle (652 mm en 1974, 1 343 mm en 1980) et l'existence de deux saisons contrastées dans l'année, l'une sèche, de novembre à avril (moins de 50 mm de précipitations par mois), l'autre humide, de mai à octobre (plus de 100 mm par mois). Durant l'année 1989, année de référence pour les suivis piézométriques (fig. 8), le total des précipitations (850 mm) a été sensiblement inférieur à la moyenne annuelle. La température annuelle moyenne est de 25,6 °C dans la vallée du Cauto, avec des valeurs inférieures à ce chiffre pour les

mois de la période sèche et supérieures pour les mois de la période humide. L'évapotranspiration potentielle estimée selon la formule de Penman est de 1 750 mm en moyenne annuelle. Mensuellement, elle varie de 94 mm en décembre à 194 mm en juillet (tabl. II – BERNAL et RAMIREZ, 1991).

Sur le plan géologique, les sols étudiés se sont formés à partir de matériaux fluvio-marins argileux, souvent calcaires, déposés au Quaternaire récent (formation « Yayal »), dans lesquels s'intercalent des lentilles sableuses de quelques centimètres à plusieurs décimètres d'épaisseur. Les dépôts sableux, occupés par une nappe en charge, apparaissent souvent à moins de 1,50 m de profondeur dans les parties les plus basses du paysage.

La parcelle expérimentale se situe sur la frange orientale d'une vaste zone d'élevage comportant surtout des prairies naturelles, associées, près des villages, à des cultures vivrières (maïs, bananes...). De vastes plantations de canne à sucre, conduites avec irrigation gravitaire, apparaissent à environ 5 km à l'est de « La Yolanda ». Sur cette dernière, non équipée pour l'arrosage, une culture de sorgho grain (variété Cubana V-6) a remplacé, en 1988, la prairie naturelle originelle.

TABLEAU I

Valeurs moyennes mensuelles de la température T, de la pluviométrie P (poste de MONTÉ ALTO), et de l'évapotranspiration potentielle (ETp - PENMAN) dans la vallée du Cauto (d'après BERNAL et RAMIREZ, 1991)

Mean monthly values of temperature T, precipitation P (MONTÉ ALTO rain gauge) and potential evapotranspiration (ETp-PENMAN) in Cauto Valley (from BERNAL and RAMIREZ, 1991)

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
T°C	22,9	23,4	24,7	25,6	26,6	27,4	27,7	27,8	27,1	26,2	24,7	23,6	25,6
Pmm	15,4	25,2	30,6	53,5	144,0	156,5	107,9	130,9	179,1	101,7	41,5	10,6	996,9
ETp mm	101,0	117,3	169,2	184,2	179,4	165,0	194,0	176,0	144,9	126,1	103,0	94,0	1750,0

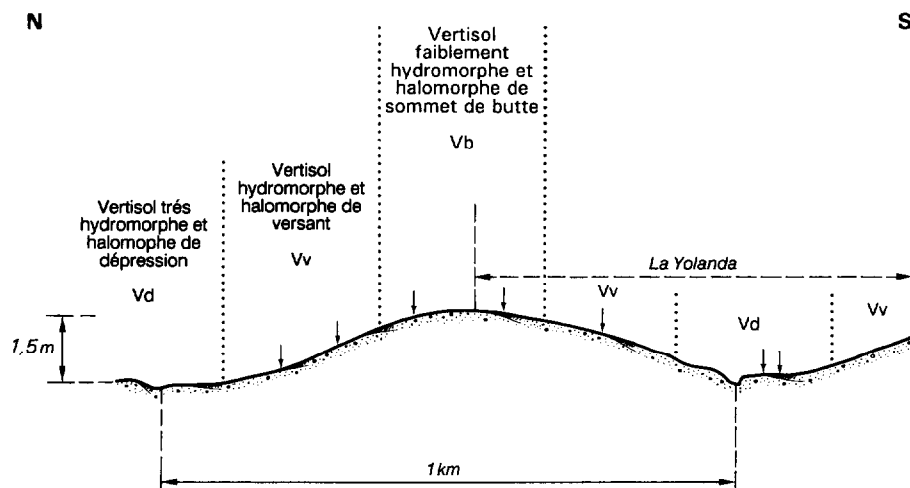


FIG. 2. – Représentation schématique de la toposéquence des vertisols étudiés. Localisation des profils observés.  
Schematic representation of the toposequence of the vertisols studied. Location of the observed profiles.

## Les sols

### NATURE ET DISTRIBUTION

Les sols étudiés – *vertisuelos oscuros plásticos gleyzados y vertisuelos oscuros plásticos gleyzoso* de la classification cubaine – sont des vertisols typiques caractérisés par de larges faces de glissement (WILDING et HALLMARK, 1984). Ils présentent toutefois une couleur peu foncée dans l'ensemble. Les trois types de sols suivants sont observés en fonction de leur position dans le modelé (fig. 2) :

- des vertisols faiblement hydromorphes et faiblement halomorphes au sommet des buttes (Vb) ;
- des vertisols hydromorphes et halomorphes sur les versants (pente < 1 %) (Vv) ;
- des vertisols très hydromorphes et très halomorphes, s'apparentant à des solontchaks, dans les parties basses (Vd).

Sous prairies naturelles, les vertisols de sommets de buttes sont occupés par des graminées abondantes, alors que les vertisols des parties basses sont identifiables par une forte proportion de plantes halophytes et par des plages de sols nus présentant localement des efflorescences blanchâtres en périodes sèches.

Dans le détail, les traits morphologiques de ces deux types de vertisols sont les suivants :

#### Vertisol de sommet de butte (Vb)

Ap – 0-22 cm – 10YR4/2, brun gris foncé et noyaux bruns 10YR4/3 ; sec ; argileux, faible effervescence HCl ; structure prismatique grossière avec larges fissures, sous-structure polyédrique ; très poreux ; racines ; limite nette peu ondulée.

Sv – 22-52 cm – 10YR5/3, brun ; frais à sec ; argileux ; faible effervescence HCl ; structure prismatique grossière avec larges fissures, début des faces de glissement obliques,

sous-structure polyédrique ; poreux ; galeries de vers ; quelques racines ; limite nette ondulée.

S(Goy) – 52-80 cm – 10YR6/3, brun pâle avec rares traînées rouille et filaments blanchâtres ; faible effervescence HCl ; frais ; argileux ; larges faces de glissement, nettes, sous-structure polyédrique ; peu poreux ; peu plastique ; quelques galeries de vers ; quelques racines localisées dans les fissures et entre les plaques obliques ; limite nette ondulée.

SGoy – 80-102 cm – 10YR6/4, brun jaunâtre clair avec traînées rouille autour des pores ; petits pisolithes noirs et filaments blanchâtres ; frais ; argileux ; nette effervescence HCl ; petites faces de glissement ; peu poreux ; peu plastique ; rares galeries et racines ; limite progressive et ondulée.

SGok – 102-133 cm – 10YR6/4, brun jaunâtre clair avec gaines noirâtres et quelques pisolithes ou amas noirs, gaines grises autour de certaines racines ; noyaux calcaires blancs, de 1 à 4 cm ; argileux ; nette effervescence HCl ; très frais ; petites faces de glissement, grisâtres, brillantes ; très peu poreux ; plastique ; limite nette, peu ondulée.

SG<sub>r</sub> – 133-180 cm – gaines racinaires gris bleuté 10YR6/2 dans une matrice brun jaunâtre clair 10YR6/4 ; rares concrétions noires ; très frais ; argileux ; nette effervescence ; faces de glissement brillantes, de teinte grise s'accroissant avec la profondeur ; rares dépôts rouilleux ou noirâtres sous les faces de glissement supérieures ; très peu poreux ; très plastique.

IICGr – 180-230 cm – 5Y6/3, olivâtre clair ; niveau sableux avec nappe.

#### Vertisol de dépression (Vd)

Ap(Goy) – 0-14 cm – 10YR3/1, gris très foncé et noyaux bruns 10YR5/3, gaines rouille autour des racines ; quelques filaments blancs gypseux ; très frais ; argileux ; très faible effervescence HCl ; structure polyédrique grossière avec faces horizontales de tassement ; plastique ; peu poreux ; nombreuses racines ; limite nette très ondulée.

SGoy – 14-25 cm – 10YR5/3, brun et gris avec nombreuses gaines et taches rouille, pisolithes noirs, filaments blancs gypseux abondants ; très frais ; argileux ; sans effervescence à HCl ; structure polyédrique grossière et faces de glissement ; plastique ; peu poreux ; racines verticales et horizontales ; limite nette ondulée.

S<sub>Go</sub>(k) – 25-57 cm – 10YR5/2, brun grisâtre (matrice), gaines rouille et noires autour des pores, amas blanchâtres calcaires ; très frais ; argileux, rare effervescence à HCl dans la masse ; petites faces de glissement, tapissées de racines ; peu poreux ; plastique ; limite nette faiblement ondulée.

S<sub>Gok</sub> – 57-80 cm – 10YR5/3, brun, avec gaines gris bleuté 5B6/1 autour des racines ; amas calcaires blanchâtres de 1 cm à 4 cm, abondants ; très frais ; argileux ; nette effervescence à HCl ; microporeux ; quelques faces de glissement ; plastique ; quelques racines, verticales ; limite nette ondulée.

S<sub>G<sub>r</sub></sub> – 80-118 cm – 10YR5/3 pour la matrice, brun et 5B6/1, gris bleuté sur les faces de glissement et autour de certaines racines ; quelques pisolithes et amas noirs ; très frais ; argileux ; nette effervescence HCl ; structure polyédrique fine ; microporeux ; plastique ; rares racines ; limite nette ondulée.

S<sub>2G<sub>r</sub></sub> – 118-180 cm – 5B6/1, gris bleuté sur les faces de glissement avec suintements d'eau et autour de nombreuses racines, et 10YR5/3 ; brun pour la matrice ; argileux ; nette réaction HCl ; sous-structure polyédrique fine ; peu poreux ; moyennement plastique ; présence parfois de petits graviers émoussés de 0,5 à 1 cm de diamètre.

IIC – 180-220 cm – 5Y6/3, olivâtre clair ; niveau sableux à nappe.

#### CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

D'un type de vertisol à l'autre, le tableau II révèle à la fois une certaine homogénéité sur le plan textural (50 à 60 % d'argile), de la teneur en calcaire (1 à 10 %), du pH eau (7,8 à 8,8), et une variabilité nette des paramètres de la salinité (conductivité électrique de l'extrait au 1/5 : 0,3 à 6,2 mS/cm<sup>2</sup>) et de la sodicité (rapport Na ech/T : 2,5 à 37,0 %).

#### Salinité de la nappe

Une nappe inégalement salée, dont les oscillations sont étudiées plus loin, affecte, à des profondeurs variables, les trois types de vertisols. Sa composition a fait l'objet de diverses études.

TABLEAU II

Caractéristiques physico-chimiques d'un profil représentatif des vertisols faiblement hydromorphes et halomorphes (Vb) et d'un profil représentatif des vertisols très hydromorphes et halomorphes (Vd).

(Prélèvements effectués en novembre 1988 – fin de saison des pluies).

Prof. : Profondeur en cm ; CT = Calcaire total % ; CE = Conductivité électrique de l'extrait au 1/5 en mS/cm<sup>2</sup> ;

T = Capacité d'échange en meq/100 g assimilée à la somme des bases échangeables.

*Physico-chemical characteristics of a representative profile of vertisols slightly hydromorphic and halomorphic (Vb) and a representative profile of vertisols very hydromorphic and halomorphic (Vd). (Samples were collected in November 1988 at the end of the rainy season).*

V <sub>b</sub> Prof.	SG	SF	LG	LF	A	MO	pH	CT	CE	T	Na/T %	Mg/T %
0-22	3,3	8,9	6,2	24,5	54,8	2,3	8,2	4,0	0,29	51,4	2,5	23,8
22-52	3,7	7,6	4,5	21,8	60,0	2,4	8,5	4,0	0,34	51,1	6,3	30,6
52-80	4,0	10,3	3,2	22,2	59,7	2,6	8,8	4,0	0,56	50,6	15,7	39,6
80-102	2,7	7,2	6,2	26,4	56,9	0,7	8,6	8,0	1,29	47,3	22,1	41,0
102-133	1,9	6,9	6,9	29,4	54,9	0,6	8,4	9,0	1,88	39,6	26,5	48,5
133-145	1,1	7,2	8,6	28,7	54,0	0,4	8,4	14,0	2,02	43,2	24,0	44,6

v <sub>d</sub> Prof.	SG	SF	LG	LF	A	MO	pH	CT	CE	T	Na/T %	Mg/T %
0-14	4,9	14,2	7,6	17,9	53,9	1,5	7,9	1,0	6,2	46,1	36,9	28,2
14-25	3,9	13,8	8,2	18,7	54,0	1,5	7,8	1,0	6,2	45,6	34,5	30,3
25-57	4,7	13,6	6,0	17,4	57,4	0,8	8,2	1,0	1,5	47,8	15,8	24,0
57-90	5,0	13,0	6,2	25,7	49,5	0,6	8,5	11,0	0,8	41,9	15,3	29,7
90-118	4,5	11,6	5,9	27,2	50,3	0,5	8,6	9,0	0,6	42,8	11,9	27,7
118-150	2,8	11,6	5,9	29,5	49,8	0,4	8,7	11,0	0,3	41,4	13,2	29,1

A. ROSALES (1991) a montré, dans la région de Monte Alto, que la teneur moyenne en sels solubles totaux, pour l'année 1986, variait de 12,8 g/l pour des prélèvements effectués dans une nappe peu profonde (apparaissant vers 2,0 m de profondeur) à 4,1 g/l pour ceux issus d'une nappe profonde (4 m de profondeur en moyenne). Pour chaque cas, de légères variations de l'ordre de 2 g/l sont observées, à la fois spatialement, entre piézomètres, même assez proches (quelques mètres), et d'un mois à l'autre (teneurs les plus élevées en février-mars-avril et les plus faibles en novembre-décembre).

Sur la parcelle même de la Yolanda, des analyses plus complètes ont été effectuées au début de l'année 1988, lors de l'installation du système de

drainage, en six points des parties basses du paysage. Les résultats (tabl. III) montrent des variations assez nettes quant au degré de salinité et au pH, relativement faibles quant à la balance anionique. Ainsi, la conductivité électrique varie de 17,2 mS/cm pour l'eau prélevée dans un piézomètre à 5,6 mS/cm pour l'eau prélevée dans le fossé collecteur principal. Sa teneur en sels solubles totaux oscille parallèlement entre 11,6 g/l et 3,6 g/l, alors que le pH passe de 7,9 à 8,5. En revanche, la proportion relative des différents ions varie peu d'un échantillon à l'autre, les valeurs moyennes (6 prélèvements au total) étant les suivantes : Na<sup>+</sup> : 59,4 % ; Mg<sup>++</sup> : 26,2 % ; Ca<sup>++</sup> : 14,5 % ; Cl<sup>-</sup> : 80,7 % ; SO<sub>4</sub><sup>=</sup> : 9,8 % ; HCO<sub>3</sub><sup>=</sup> : 7,8 %.

TABLEAU III  
Composition de l'eau de nappe dans trois types de prélèvements (février-mars 1988)  
*Ground water composition for three sampling types (February-March 1988)*

Mode pré- lèvement	Para- mètres	Conducti- vité électrique mS/cm	Sels solubles totaux g/l	pH	ions en mé /l						
					Na <sup>+</sup>	Mg <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>
Piézomètre		17,2	11,0	7,9	139,1	43,8	42,3	147,2	13,5	8,7	0,0
Drain col- lecteur		11,4	7,3	8,5	102,2	37,1	15,3	94,0	13,1	9,2	0,8
Fossé col- lecteur		5,6	3,6	8,1	40,5	21,3	11,5	43,8	4,3	7,3	0,4

### Techniques d'observations et de mesures

#### OBSERVATIONS MACROMORPHOLOGIQUES ET MODES DE PRÉLÈVEMENTS

Des examens et prélèvements sur le terrain ont été réalisés à deux époques différentes, en novembre 1989, en fin de saison des pluies, et en avril 1991 en fin de saison sèche. Ils ont porté sur deux à trois profils par type de vertisol, choisis après une cartographie détaillée de la parcelle expérimentale (80 sondages, 15 profils). Sur le profil le plus représentatif de chaque type, un ou deux blocs de sol non perturbé, de 5 à 7 cm d'arête, ont été prélevés par horizon, en vue d'études au laboratoire, en plus des prélèvements classiques pour analyses physico-chimiques.

#### OBSERVATIONS ET DÉTERMINATIONS DE LABORATOIRE

Sur les différents blocs prélevés, les investigations suivantes ont été réalisées :

– description des différents traits morphologiques

caractéristiques de l'hydromorphie et de l'halomorphie à la loupe binoculaire (grossissement 8 à 30) ;

– observation de ces traits au microscope électronique à balayage (MEB) sur des échantillons de 1 à 5 mm d'arête (grossissement 500 à 5 000) ;

– analyse de ces traits (Fe, Mn, Ti, Ca, S, Si,...) à la microsonde associée au MEB ;

– minéralogie par diffractométrie X sur des échantillons représentatifs des traits morphologiques.

#### Suivi hydrologique

Des tubes piézométriques de 8 cm de diamètre, de 0,2 cm d'épaisseur et de 200 cm de profondeur, perforés sur toute leur hauteur (à l'exception des 30 cm du sommet), ont été installés dans chacun des trois grands types de vertisols, en zones non drainées. Un colmatage argileux à la surface du sol évite les entrées d'eau par ruissellement. Ces piézomètres ne traversent que des horizons argileux.

Les relevés sont effectués avec une fréquence hebdomadaire (fig. 8).

## LES TROIS HORIZONS DE DIAGNOSTIC DE L'HYDROMORPHIE

Les variations verticales de l'état et des formes de ségrégation du fer et du manganèse d'une part, les modes de redistribution du gypse et du carbo-

nate de calcium d'autre part, conduisent à identifier trois horizons principaux (Goy, Gok, Gr) vis-à-vis des critères d'hydromorphie et d'halomorphie (fig. 3).

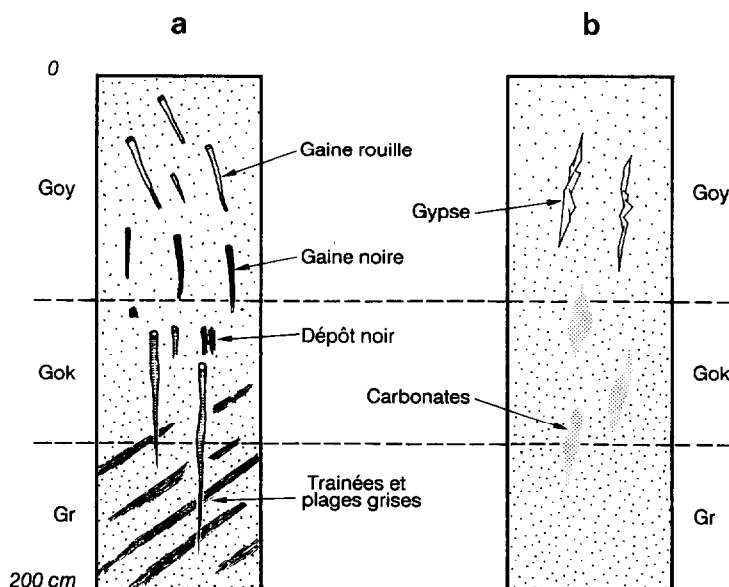


FIG. 3. – Distribution verticale très schématique des traits morphologiques révélateurs de l'hydromorphie dans les vertisols Vd du secteur de référence de Mir :

a : traits liés aux formes du fer et du manganèse,

b : traits correspondant à la redistribution du gypse et de la calcite.

*Schematic vertical distribution of morphological features that characterise hydromorphology in vertisols Vd for the reference area of Mir.*

*a. features related to the form of iron and manganese. b. features corresponding to the distribution of gypsum and calcite.*

### Traits généraux

Dans chaque type de vertisol, la même superposition est observée avec, de haut en bas :

- un horizon Goy (Afes, 1990) caractérisé par d'abondantes formes de fer oxydé et de nombreuses cristallisations de gypse ;

- un horizon Gok, avec de nombreux amas blancs de calcite et des gaines racinaires le plus généralement noirâtres ;

- un horizon Gr où le fer est à l'état réduit, grisâtre, peu abondant et localisé de manière spécifique.

De petites concrétions noires sphériques (0,2 à 1,0 mm de diamètre), formées essentiellement de manganèse non cristallisé, peuvent être présentes dans les trois horizons. Elles sont en général plus abondantes dans le deuxième horizon. Il existe aussi de petits graviers calcaires aux angles émoussés (0,5 à 1,0 cm de diamètre), plus abondants à la base du profil.

La profondeur d'apparition de chaque horizon varie d'un vertisol à l'autre (tabl. IV). La différenciation de ces trois horizons correspond aussi à des changements verticaux dans la structure (faces de glissement plus ou moins nettes), dans la teneur en calcaire et dans la couleur de la matrice.

Le passage d'un horizon à l'autre est toutefois progressif, avec chevauchement de traits morphologiques au niveau des transitions. Ces différents horizons sont visibles aussi bien en saison humide qu'en saison sèche, même si dans ce dernier cas le contraste des couleurs entre signes d'hydromorphie et matrice est atténué. En particulier dans l'horizon Gok, les tonalités grises se rapprochent de la teinte gris jaunâtre de la matrice. La dureté des horizons secs rend plus difficile également la mise en évidence de certains traits (gainés racinaires de couleur rouille) dans l'horizon Goy.



## Traits morphologiques principaux des horizons de diagnostic

### HORIZON GOY

L'horizon Goy se reconnaît surtout à la présence de minces revêtements (quelques  $\mu\text{m}$ ) de teintes rouille vif et noirâtre de fer, tapissant des pores racinaires très fins (0,1 à 2 mm), généralement vides (photo 4a). Ces gaines porales, sans direction privilégiée, sont juxtaposées à des taches rouille de 5 à 10 mm de largeur, situées à la surface de petits agrégats (photo 4b). Les déterminations à la microsonde (fig. 6a) et aux rayons X mettent en évidence l'abondance du fer, associé à du titane. Le fer est à l'état amorphe et réparti au sein de structures bactériennes arrondies ou filamenteuses (photo 5a) ; il est aussi associé à des cristallites d'argile et prend la forme d'anciennes structures racinaires (photo 5b).

Un autre trait caractéristique de l'horizon Goy est la présence de filaments blanchâtres, de 1 à 2 mm de diamètre, localisés quasi exclusivement dans des pores racinaires fins (photo 4f). Ils sont formés de cristaux irréguliers de gypse quasi pur, de 20 à 100  $\mu\text{m}$  d'arête (photo 5f).

### HORIZON GOK

En transition progressive avec le précédent, l'horizon Gok (fig. 3) se reconnaît à la présence d'amas blanchâtres ou jaunâtres, de 1 à 4 cm de longueur, bien individualisés (photo 4e). Ces amas, dont l'abondance varie beaucoup d'un profil à l'autre, sont formés par de très nombreux cristaux rhomboédriques, de l'ordre de 10  $\mu\text{m}$  d'arête (photo 5e), parfois de 100 à 200  $\mu\text{m}$ . Ils sont constitués de calcite (fig. 7). Des voiles de silice amorphe s'observent entre les cristaux. Ces amas, dispersés dans l'horizon, se localisent également dans les vides formés par les assemblages structuraux et dans quelques gros pores biologiques.

Cet horizon présente également des gaines manganiques noirâtres (fig. 6b) autour de pores racinaires, parfois revêtues par des dépôts ferriques de couleur rouille. Il existe aussi de petites concrétions noirâtres arrondies, plus nombreuses que dans les horizons sus- et sous-jacents. Elles sont formées de l'agglomération d'amas de 50  $\mu\text{m}$  de manganèse amorphe. Des gaines grises périracinaires peuvent déjà s'observer, surtout à la partie inférieure de cet horizon.

### HORIZON GR

L'horizon Gr apparaît progressivement. Il se caractérise par des teintes grises dominantes correspondant à l'état réduit et à un départ du fer (fig. 6c). Ces teintes grises se rencontrent, soit à la périphérie de pores tubulaires racinaires, qui prolongent ceux observés dans l'horizon sus-jacent, soit à la surface des larges faces de glissement.

Les premières sont plus nombreuses au sommet de l'horizon et se répartissent sous forme de gaines pouvant atteindre (en coupe) jusqu'à 1 cm de largeur (photo 4c). Certaines grosses gaines racinaires grises se prolongent jusqu'aux lentilles de sables (aquifère).

Les faces de glissement, qui apparaissent lisses et brillantes à la loupe binoculaire (photo 4d), sont constituées en fait de la juxtaposition de fines particules argileuses (photo 5d). L'épaisseur de la paroi grise des éléments structuraux vertiques varie de quelques millimètres à deux centimètres. Les teintes grises des faces de glissement deviennent plus couvrantes avec la profondeur. De minces dépôts ferriques et manganiques existent parfois à la face inférieure des plans de glissement.

## Variation des traits morphologiques en fonction du type de vertisol

Outre la profondeur des horizons de diagnostic, plusieurs traits morphologiques varient sensiblement, quant à leur fréquence et leur contraste, en fonction de la position des vertisols dans le paysage.

Ainsi, dans l'horizon Goy, la proportion des gaines de couleur rouille est nettement plus élevée dans les parties basses du paysage (15 à 20 % de l'horizon) qu'en sommet de butte (5 % environ). Il en est de même pour les dépôts de gypse, rendant cet horizon peu apparent dans les vertisols Vb.

Dans l'horizon Gok, la couleur des amas calcaires est nettement blanchâtre dans les vertisols peu hydromorphes et devient plus jaunâtre dans les vertisols très hydromorphes, par suite de la présence de minces revêtements de fer.

Concernant les amas calcaires (horizon Gok et sommet de l'horizon Gr), les déterminations au MEB et aux rayons X révèlent, seulement dans les vertisols de versants et de parties basses du paysage, la présence de revêtements ferrugineux extrêmement minces, non cristallisés, autour de certains rhomboédres de calcite, et l'existence de traces d'ilménite, de goethite et de sulfate de baryum.

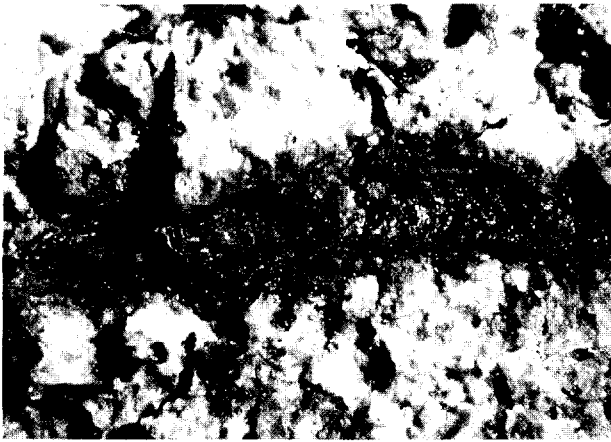


Photo a : gaine rouille vif tapissant un pore racinaire.  
*Horizon Goy d'un vertisol de dépression Vd (prélèvement vers 20 cm)*

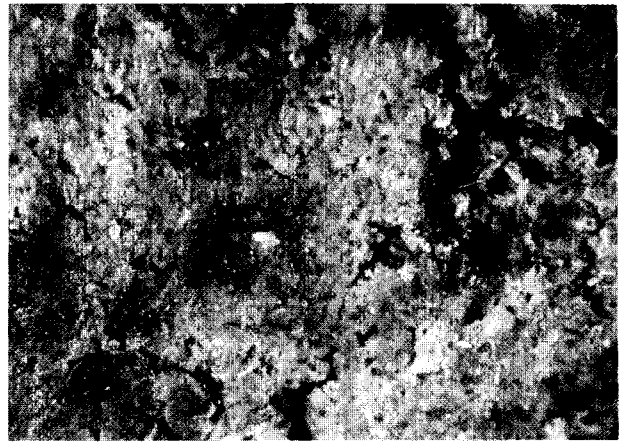


Photo b : taches rouille vif à la surface d'éléments structuraux.  
*Horizon Goy d'un vertisol de dépression Vd (prélèvement vers 20 cm)*



Photo c : gaine grise, déferrifiée, autour d'un pore racinaire.  
*Horizon Gr d'un vertisol de versant Vv (prélèvement vers 70 cm)*



Photo d : surface grise, déferrifiée et empreintes racinaires d'une face de glissement.  
*Horizon Gr d'un vertisol de versant Vv (prélèvement vers 70 cm)*



Photo e : amas blanchâtre calcaire.  
*Horizon Gok d'un vertisol de butte Vb (prélèvement vers 80 cm)*

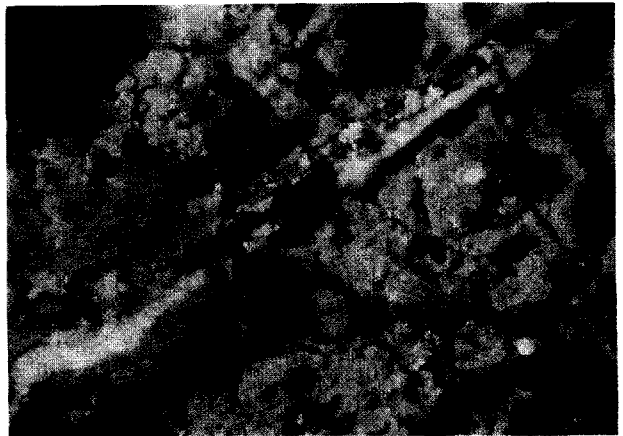


Photo f : filament blanchâtre de gypse.  
*Horizon Goy d'un vertisol de versant Vv (prélèvement vers 30 cm)*

FIG. 4. – Observation à la loupe binoculaire (grossissement : 8 à 30).  
*Observation using microscope (magnification : 8 to 30).*



Photo a : filaments bactériens constituant une gaine rouille vif tapissant un pore racinaire (cf. photo 4a).  
*Horizon Goy d'un vertisol de dépression Vd (prélèvement vers 30 cm de profondeur)*

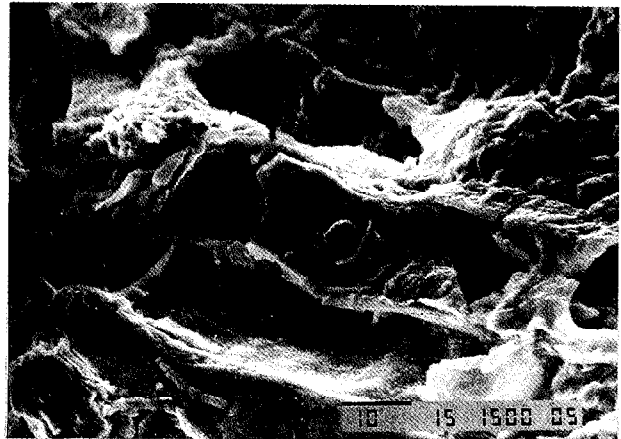


Photo b : structures racinaires d'une gaine rouille vif tapissant un pore racinaire.  
*Horizon Goy d'un vertisol de dépression (prélèvement vers 30 cm)*

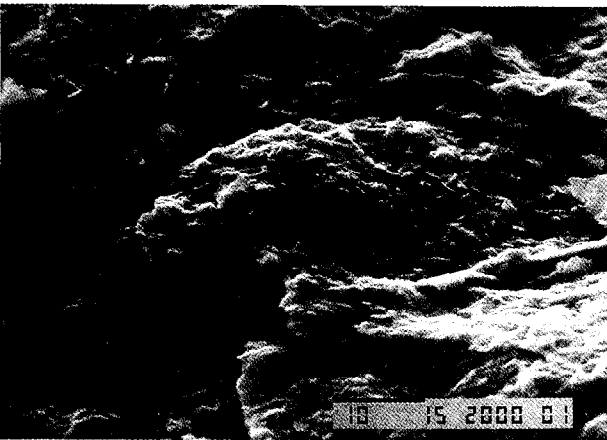


Photo c : amas manganiques amorphes formant une gaine noirâtre tapissant un pore racinaire.  
*Horizon Gok d'un vertisol de dépression Vd (prélèvement vers 40 cm)*

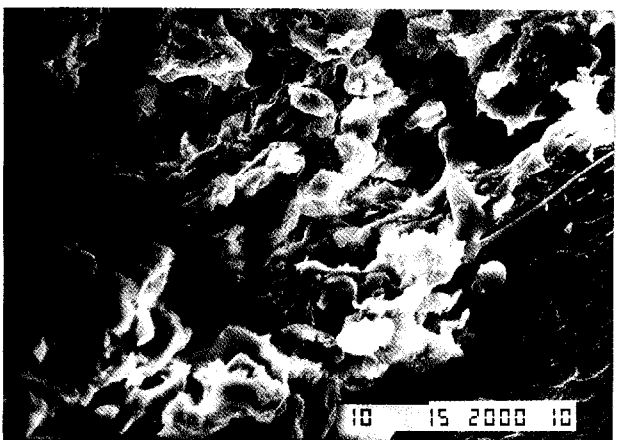


Photo d : tactoïdes argileux orientés formant la surface d'une face de glissement (cf. photo 4d).  
*Horizon Gr d'un vertisol de versant Vv (prélèvement vers 80 cm)*

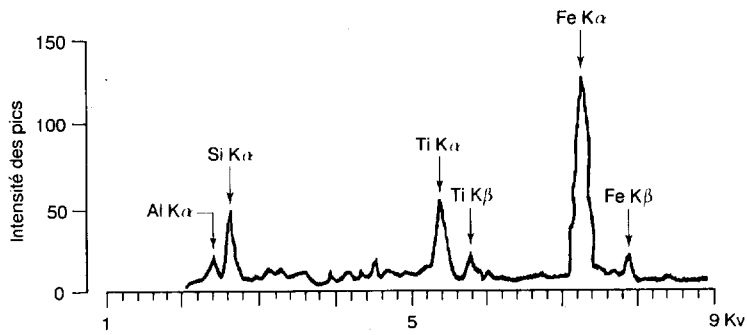


Photo e : rhomboédres de calcite constituant un amas blanc (cf. photo 4e).  
*Horizon Gok d'un vertisol de butte (prélèvement vers 80 cm)*

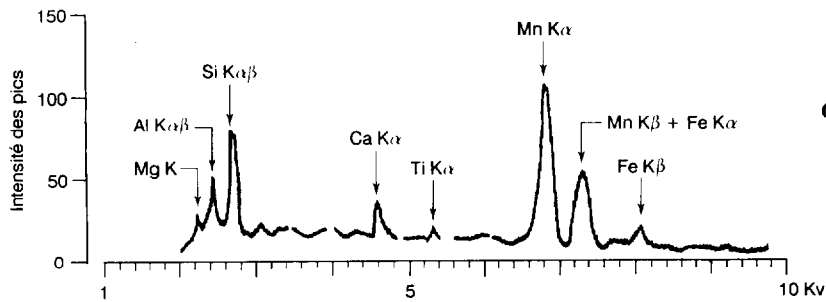


Photo f : cristaux de gypse constituant un filament blanchâtre (cf. photo 4f).  
*Horizon Goy d'un vertisol de versant Vv (prélèvement vers 30 cm)*

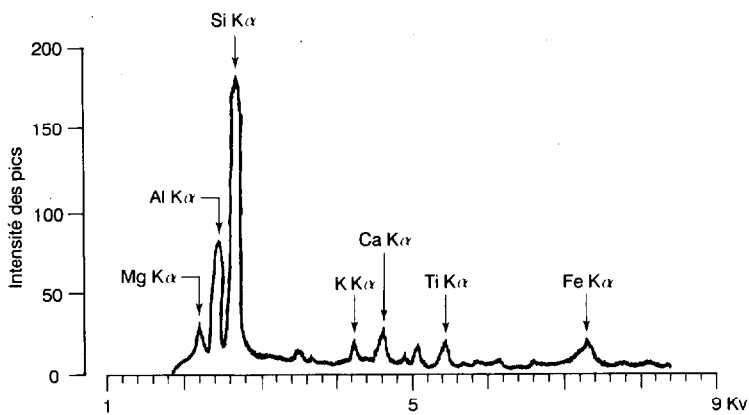
FIG. 5. – Observation au microscope électronique à balayage MEB.  
*Observation using a scanning electron microscope SEM.*



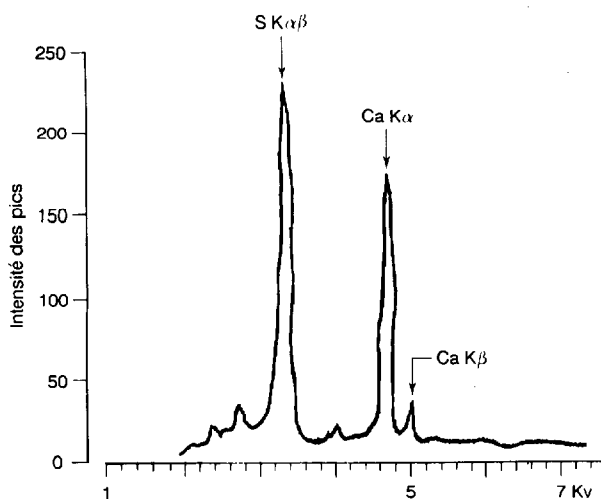
**6a** - Abondance de Fe, présence de Ti et Al dans un enduit rouille tapissant un pore racinaire d'un horizon Goy d'un vertisol de dépression Vd (prélèvement vers 35 cm de profondeur).



**6b** - Abondance de Mn dans un enduit noirâtre de pore d'un horizon Gok d'un vertisol de versant Vv (prélèvement vers 40 cm de profondeur).



**6c** - Abondance de Si, Al et rareté de Fe à la surface d'une face de glissement de l'horizon Gr d'un vertisol de sommet de butte Vb (prélèvement vers 140 cm).



**6d** - Abondance de S et Ca (gypse) dans les filaments blancs de l'horizon Goy d'un vertisol de dépression Vd (prélèvement vers 20 cm).

FIG. 6. - Diagrammes de microsonde MEB.  
Microprobe diagrams SEM.

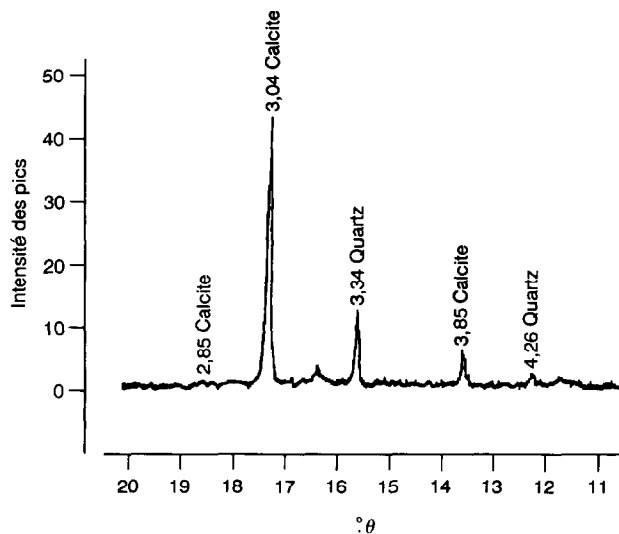


FIG. 7. – Diagramme de diffractométrie X. Présence de calcite et quartz dans les amas blancs de l’horizon Gok d’un vertisol de sommet de butte Vb (prélèvement vers 100 cm). Xray diffraction pattern. Presence of calcite and quartz in the white aggregates of the Gok horizon of a vertisol at the top of a hillock Vb (sampled at about 100 cm).

RELATIONS ENTRE HORIZONS DE DIAGNOSTIC ET OSCILLATIONS SAISONNIÈRES DE LA NAPPE

Profondeur des horizons et niveaux d’oscillation de la nappe

Le degré d’hydromorphie des vertisols, apprécié en fonction de la profondeur d’apparition de l’horizon Goy, varie nettement d’un point à l’autre de la toposéquence.

Alors qu’en sommet de butte, les premiers signes d’hydromorphie ne s’observent qu’à partir de 80-100 cm de profondeur, et de manière relativement discrète (tabl. IV), ils sont visibles et très contrastés dès les premiers centimètres du profil en position de bas-fond. Sur versant, les manifestations de l’excès d’eau (et de sel) se rencontrent dès le sommet du profil (10 à 30 cm).

Les relevés piézométriques de l’année 1989 sont représentés sur la figure 8. Ils ont une allure comparable à ceux des années 1988 et 1990. Ils montrent que les variations du niveau piézométrique, surtout en saison humide (mai-septembre), sont globalement reliées au régime des pluies. Les décalages peuvent s’expliquer à la fois par les effets de l’évapotranspiration et par la recharge de la nappe, résultant de l’irrigation des plantations de canne à sucre situées à quelques kilomètres (ROSALES, 1991).

TABLEAU IV

Relations entre la profondeur d’apparition des trois horizons de diagnostic, les types de vertisols et les fluctuations saisonnières de la nappe

Relationships between the depth of appearance of the three diagnostic horizons, the vertisols types and the seasonal fluctuations of the water table

Profondeur d’apparition, en cm				
Horizons de diagnostic et nappe		Vertisol Vb faiblement hydromorphe et peu halomorphe de sommet de butte	Vertisol Vv hydromorphe et halomorphe de versant	Vertisol Vd très hydromorphe et très halomorphe de dépression
Prof. horiz. de diagn. en cm	Goy	80-100	10-30	0
	Gok	100-120	40-60	30-40
	Gr	120-150	80-100	60-80
Prof. nappe en cm	Saison humide (août-octobre)	80-120	30-80	0-30
	Saison sèche (janvier-août)	120-170	80-100	30-80

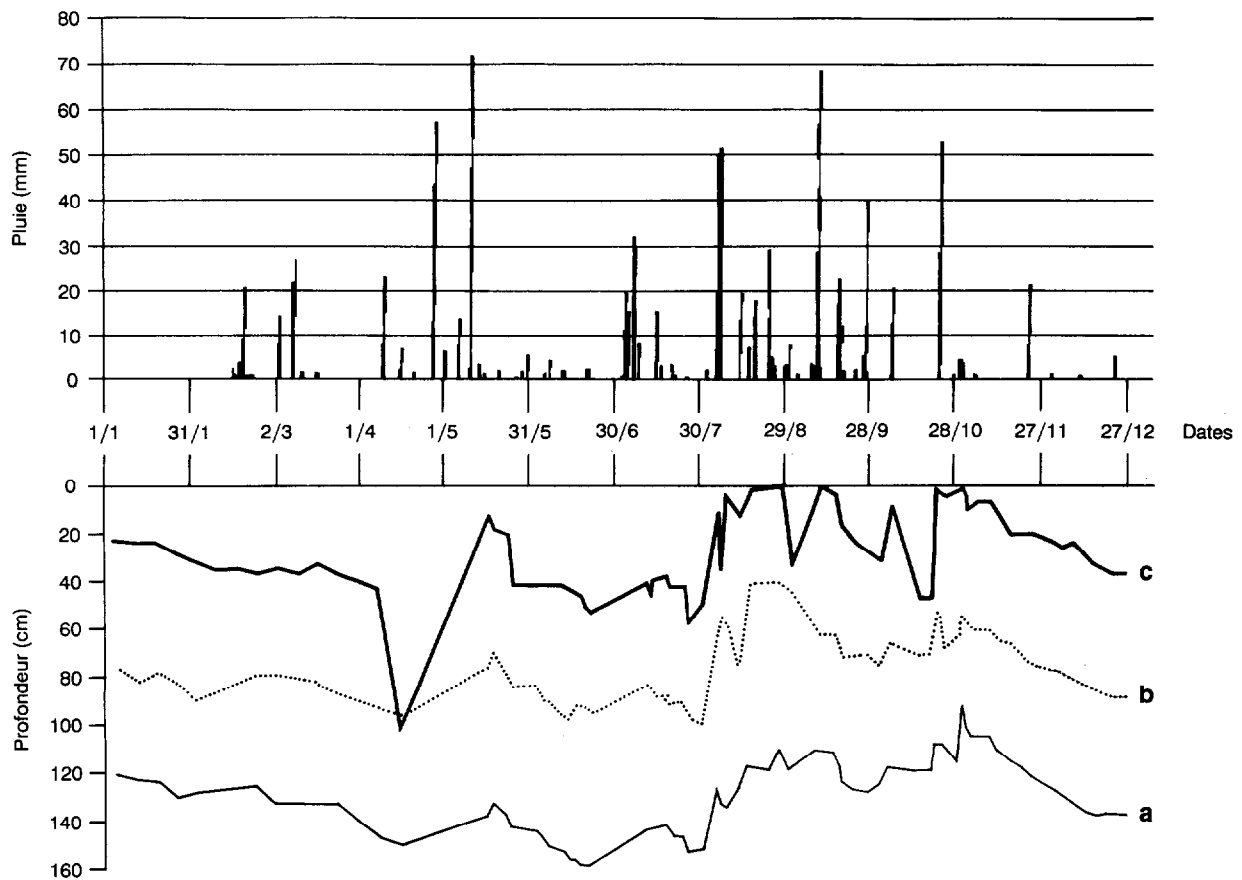


FIG. 8. – Évolution de la profondeur de la nappe selon la pluviométrie, pour l'année 1989, sur la toposéquence des vertisols étudiés  
 a : vertisol faiblement hydromorphe de sommet de butte (Vb) ;  
 b : vertisol hydromorphe et halomorphe de versant (Vv) ;  
 c : vertisol très hydromorphe et halomorphe de dépression (Vd)  
 (J.C. CHOSSAT ET al., 1991).

*Evolution of water table depth with precipitation in 1989, for the toposequence of the vertisols studied.*

Notons que des suivis effectués dans des piézomètres des zones basses recoupant des lentilles sableuses traduisent d'abord la réaction aux surpressions enregistrées dans ces couches sableuses puis, à partir du mois d'août, donnent des valeurs comparables à celles des piézomètres implantés dans les seuls horizons argileux (CHOSSAT, 1991).

Il ressort des campagnes de relevés piézométriques qu'en zones non drainées la nappe affleure en surface durant plusieurs mois de la période humide dans les vertisols des parties basses du paysage, alors qu'elle ne remonte respectivement qu'à 30 et 80 centimètres de la surface dans les sols situés en position de versant et de sommet de butte.

Le rapprochement de ces observations avec la profondeur des horizons de diagnostic montre en particulier une bonne concordance entre la profon-

deur d'apparition de l'horizon Goy et le niveau de l'eau relevé dans les piézomètres en période humide.

#### Durée de saturation et genèse des traits morphologiques

De la confrontation des niveaux de fluctuation de la nappe et de la profondeur des trois horizons de diagnostic (tabl. IV), il ressort que l'horizon Gr est saturé de manière quasi permanente par la nappe souterraine, alors que les horizons Goy et Gok correspondent à la zone de fluctuation saisonnière de celle-ci. En position de bas-fond toutefois, l'horizon Gok est fréquemment saturé, à la fois par l'eau de la nappe et, périodiquement, par l'eau de submersion provenant de l'afflux du ruissellement intervenant sur les versants.

Concernant les modalités de saturation de l'horizon Gr argileux, l'examen des profils montre que si l'eau remplit essentiellement les micropores du sol, elle peut néanmoins transiter par les quelques pores racinaires et par les vides laminaires situés à l'interface entre les plans de glissements présents dans cet horizon.

La genèse des traits morphologiques est à raisonner en fonction de ce contexte.

Dans l'horizon Gr argileux, la localisation des zones déferrifiées (teinte grise) autour des pores racinaires et à la surface des faces de glissement s'interprète comme la conséquence d'une circulation préférentielle de l'eau dans une porosité restant ouverte à ces niveaux. Il y a donc persistance des conduits formés par d'anciennes racines d'une part, et non-fermeture totale des vides entre faces de glissement d'autre part. La présence d'empreintes racinaires à la surface de ces dernières permet effectivement certains transferts hydriques. En revanche, la matrice de l'horizon, qui est plus riche en fer et avec une part de ce dernier à l'état oxydé, est donc très peu accessible à ces transferts. La porosité matricielle est fermée aux échanges hydriques par la présence d'une couche comprimée, imperméable, à la surface des faces de glissement (photo 5d). Cette morphologie est observée également dans les vertisols hydromorphes de Nouvelle-Calédonie où des éléments figurés (carbonates ou sulfates) sont toutefois redistribués à la surface des faces de glissement, traduisant des conditions de circulation de l'eau plus favorables (PODWOJEWSKI, 1988).

L'existence de faces de glissement dans des horizons actuellement saturés en permanence s'interprète par une genèse préalable de ces horizons vertiques en milieu non saturé en eau, la remontée de la nappe étant récente et d'origine anthropique (recharge par l'eau d'irrigation).

Dans l'horizon Gok, la présence des amas de calcite, compte tenu de la petite taille et de l'homométrie des cristaux les constituant, semble impliquer des échanges gazeux très lents (JAILLARD, 1980) et donc une saturation importante de l'horizon. Une désorganisation préalable d'édifices argileux, avec mobilisation de la silice (mise en évidence au MEB), expliquerait la localisation et le contact étroit des cristaux de calcite avec la matrice (HALITIM, 1988). Un tel processus pourrait résulter de très fortes élévations du pH, telles qu'elles sont observées dans la rhizosphère (CALLOT *et al.*, 1983).

Dans l'horizon Goy, la précipitation du gypse interviendrait après une mobilisation sous l'effet de flux ascendants (évaporation et évapotranspiration). Une plus grande solubilité que celle de la calcite conduit à une position plus haute dans le profil.

### **Hydromorphie et besoins en drainage**

Si la profondeur et la durée de saturation des horizons des différents vertisols, finalement bien révélées par les signes d'hydromorphie, constituent des critères importants de diagnostic des besoins en drainage, ils ne sont pas les seuls, notamment en sols argileux. Trois autres facteurs sont à prendre en compte.

Le premier est lié aux modifications de l'état de consistance du premier horizon provoquées par une augmentation de la teneur en eau (BOUZIGUES, et FAVROT, 1987 ; CABIDOCHÉ et VOLTZ, 1987). Une pluie, même de courte durée, peut ainsi rendre cet horizon (non hydromorphe) plastique et limiter les possibilités de pénétration dans les parcelles pour la réalisation des façons culturales.

Le second facteur, lié au premier, est la susceptibilité du sol à former des semelles de labour ou des horizons compactés à la suite d'interventions culturales en sol non ressuyé. Ces phénomènes peuvent engendrer à leur tour des saturations temporaires (nappe perchée superficielle) en période de pluies.

Ces deux facteurs amènent à préconiser éventuellement le drainage dans le cas de sols faiblement hydromorphes tels que les vertisols de buttes.

Le troisième facteur est la salinité. L'excès de sels solubles ou de sodium échangeable, au sommet des profils, n'est pas toujours visible morphologiquement. Des déterminations analytiques sont donc indispensables, notamment en sols non ou faiblement hydromorphes, pour diagnostiquer le besoin en drainage. Cette condition s'impose surtout dans les milieux où la remontée de la nappe, à la suite de l'irrigation, est récente et n'a pu se matérialiser dans des horizons nouvellement affectés par une saturation prolongée.

La comparaison de rendements de sorgho-grain mesurés en 1989, sur placettes, montre une augmentation générale, de 9 à 10 quintaux par hectare en situation drainée par rapport aux témoins non drainés. Ainsi, pour les vertisols de butte, les chiffres passent de 24,5 qx/ha à 33,5 qx/ha alors que pour les vertisols de zones basses, ils croissent de 19,2 à 29,6 qx/ha. La salinité résiduelle du sol explique les écarts de rendements observés entre les deux types

extrêmes de vertisols (CASTELLANOS *et al.*, 1991). De telles expérimentations sont à poursuivre pour évaluer l'opportunité, hydraulique et économique, du drainage dans les différents types de vertisols.

## CONCLUSION

La confrontation des données morphologiques et hydrologiques dans une toposéquence de vertisols inégalement hydromorphes et halomorphes de la vallée du Cauto a montré les relations étroites existant entre profondeur des horizons de diagnostic de l'hydromorphie et profondeur de la nappe relevée lors des suivis piézométriques.

En sols hydromorphes et très hydromorphes (horizon G proche de la surface), le drainage est nécessaire pour améliorer la productivité agricole, en rabattant la nappe et en lessivant les sels.

En sols non ou faiblement hydromorphes, compte tenu de l'origine de l'excès d'eau et de sels (recharge de la nappe salée par irrigation), le diagnostic du besoin en drainage implique chaque fois des investigations complémentaires (profils culturaux, déterminations analytiques, approche agro-économique).

La cartographie des sols constitue en tous cas une aide précieuse à la décision de drainer, surtout si elle s'attache à bien comprendre la distribution des sols dans le paysage, à rechercher les causes (hydrologiques, pédologiques et/ou anthropiques) de l'hydromorphie et de l'halomorphie et à proposer des critères d'identification des sols aisément utilisables (topographie, végétation, couleur du sol,...) (FAVROT, 1986).

*Manuscrit accepté par le Comité de rédaction le 17 mars 1994*

## BIBLIOGRAPHIE

- Afes, 1990. – *Présentation du Référentiel Pédologique au Congrès AISS de Kyoto*. Éd. Inra, Paris, 203 p.
- BERNAL (P.), RAMIREZ (E.), 1991. – *Climatología del valle del Cauto*. Memorias del coloquio cubano-francés sobre vertisuelos, Bayamo, Cuba, Abril 1991.
- BERTHELIN (J.), 1982. – Processus microbiens intervenant dans les sols hydromorphes en régions tempérées. Incidences sur la pédogenèse. *Pédologie*, XXXII, 3 : 313-328.
- BOUMA (J.), DEKKER (L.W.), HAANS (J.C.), 1980. – Measurement of depth to water table in a heavy clay soil. *Soil Sci*, 130(5) : 264-270.
- BOUZIGUES (R.), FAVROT (J.C.), HALLAIRE (V.), 1981. – *French heavy soils: characterisation and cartography in relation to drainage*. Land Drainage Seminar. Gardener Edit. Dublin : 33-56.
- BOUZIGUES (R.), FAVROT (J.C.), 1987. – « Transferts solides en sols argileux à nappe salée du littoral languedocien ». In Colloque Inra : *Les phénomènes de transfert dans les milieux poreux déformables* : 205-214.
- CABIDOCHÉ (Y.M.), VOLTZ (M.), 1987. – « Variations isotropiques de volume en sols argileux hétérogènes. Contrôle expérimental dans le cas d'un vertisol calcique de Guadeloupe ». In Colloque Inra : *Les phénomènes de transfert dans les milieux poreux déformables* : 143-159.
- CALLOT (G.), CHAMAYOU (H.), MAERTENS (C.), SALSAC (L.), 1983. – *Mieux comprendre les inter-actions sol/racine. Incidence sur la nutrition minérale*. Inra Versailles : 325 p.
- CASTELLANOS (A.), HERRERA (J.), IRARRAGORY (R.), FELIPPE (M.), RODRIGUEZ (A.), CABIDOCHÉ (Y.M.), CHOSSAT (J.C.), 1991. – *Efecto del drenaje en los vertisuelos sobre la salinidad y el rendimiento del sorgo de grano*. Memorias del coloquio cubano-francés sobre vertisuelos. Bayamo, Cuba, Abril 1991.
- CHEN (C.), DIXON (J.B.), TURNER (F.T.), 1980. – Iron coatings on raice roots. Morphology and models of development. *Soil Sci. Soc Am J.*, 44 : 1113-1119.
- CHOSSAT (J.C.), HERRERA (J.), CASTELLANOS (A.), 1991. – *Caractérisation hydrodynamique de vertisols du secteur de référence de Monte Alto*. Memorias del coloquio cubano-francés sobre vertisuelos, Bayamo, Cuba, Abril 1991.
- FAVROT (J.C.), DEVILLERS (J.L.), 1975. – *Évaluation des besoins en drainage des terres agricoles*. C.R. Colloque CENECA, Paris, 1976 : 1-5.
- FAVROT (J.C.), 1986. – « Cartographie, caractérisation et interprétation des données pédologiques en vue du drainage agricole ». Actes du séminaire *Sol et Eau*, Amérique centrale et Caraïbes. La Havane, avril 1985. Éd. Orstom : 551-577.
- HALITIM (A.), 1988. – *Sol des régions arides d'Algérie*. Thèse Office des Publications Universitaires, Alger, 384 p.
- HERRERA (J.), CID (G.), 1991. – *Informe preliminar del sector de referencia del valle del Cauto*. Provincia Holguin, Cuba, IIRD : 49.
- JAILLARD (B.), 1980. – *Fonctionnement hydrique d'un sol carbonaté – Incidence sur la chlorose ferrique*. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, UST Languedoc : 131.
- JAILLARD (B.), CABIDOCHÉ (Y.M.), 1984. – Étude de la dynamique de l'eau dans un sol argileux gonflant. *Science du Sol* : 239-251.
- JEWITT (T.N.), LAW (R.D.), VIRGO (K.J.), 1979. – Vertisol soils of the tropics and subtropics : their management and use. *Outlook on Agriculture*, 10 : 33-40.
- LOVEDAY (J.), 1984. – Management of vertisols under irrigated agriculture. In : J.W. Mc Garity, H.B. Hoult, Éd., 1984 : 269-277.



- Mc GARTY (J.W.), HOULT (H.B.), éd., 1984. – The properties and utilization of cracking clay soils. *Reviews in rural Science* 5, University of New England, Armidale.
- MOENNE-LOCCOZ (Y.), 1986. – *Comportement physique des sédiments des barrages de la Durance. Interaction racines matériaux*. DEA Ensam-USTL : 65.
- MOTOMURA (S.), YOKOI (H.), 1969. – Characteristics of ferrous iron forms in paddy soils with reference to development of soil profile. *Soil Sc. and Plant Nutr.*, 15 : 38-46.
- PANEQUE (J.), 1984. – *Étude des sols argileux foncés de Cuba. Distribution, caractérisation, genèse*. Th. Doct. Ing. USTL-Ensa Montpellier : 175 p.
- PATRICK (W.H.Jr), 1981. – « The role of inorganic redox systems controlling reduction in paddy soils ». In : *Proceedings of Symposium on Paddy Soils*. Éd. Inst. of Soil Sc. Acad. Sin. : 107-117.
- PODWOJEWSKI (P.), 1988. – Les vertisols de Nouvelle-Calédonie. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXIV, n° 4 : 279-301.
- PONNAMPERUMA (F.N.), 1978. – Electrochemical changes in submerged soils and growth of rice. In : *Soils and Rice, Irri* : 421-441.
- ROSALES (A.), 1991. – *Influencia del manto frático en el contenido de sales de un suelo gley oscuro plástico*. Memorias del coloquio cubano-francés sobre vertisuelos, Bayamo, Cuba, Abril 1991.
- ROSSIGNOL (J.P.), 1983. – Les vertisols du nord de l'Uruguay. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XX, n° 4 : 271-291.
- SOUlier (A.), 1991. – *Relations entre l'expression des traits morphologiques de l'hydromorphie et de la dégradation, et les formes du fer (Bassin versant de la Noe-Seche-Côtes d'Armor)*. Mém. DEA, univ. Nancy-I : 50 p.
- TAMIA (A.), 1992. – *Étude morphologique des structures liées à la redistribution du fer et du manganèse en milieu calcaire*. Mémoire DEA, univ. Aix-Marseille-III : 54 p.
- VIZIER (J.F.), 1983. – *Étude des phénomènes d'hydromorphie dans les sols des régions tropicales à saisons contrastées. Dynamique du fer et différenciation de profils*. Thèse Sci., Dijon, Trav. et Doc. Orstom n° 165 : 294 p.
- VIZIER (J.F.), 1987. – Analyse des mécanismes d'adsorption et de désorption du fer ferreux dans les milieux saturés. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXIII, n° 3 : 157-167.
- VIZIER (J.F.), 1990. – *Étude du fonctionnement des milieux saturés d'eau . Une démarche physico-chimique*. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXV, n° 4 : 431-442.
- WILDING (L.P.), HALLMARK (C.T.), 1984. – *Development of structural and microfabric properties in shrinking and swelling clays*. Proceedings of the ISSS. Symposium on wates and solute movement in heavy clay soils – Irri publ. n° 37, Wageningen : 1-22.