

ANDOSOLS ET VITROSOLS

P. Quantin

Les Andosols sont des solums dont les propriétés sont largement déterminées par la nature de leur fraction colloïdale non cristalline ou paracristalline. Les SILANDOSOLS neutres ou faiblement acides ($\text{pH}_{\text{eau}} >$ ou égal à 5,0) sont dominés par des complexes minéraux paracristallins (allophane, imogolite, hisingerite, ferri-hydrate, etc., associés avec des acides humiques. Dans les ALUANDOSOLS acides ($\text{pH}_{\text{eau}} <$ 5,0), les complexes consistent principalement en chélates assez peu mobiles (acides humiques liés à de l'aluminium et du fer), ils ne contiennent pas ou peu d'allophanes dans la partie supérieure du solum. La fraction colloïdale a les propriétés d'un gel.

Les Andosols présentent typiquement des horizons supérieurs de couleur sombre, souvent très humifères, avec une structure microgrumeleuse (« *fluffy* » ou « farineuse ») et une texture d'apparence limoneuse. Certains horizons de profondeur sont de couleur plus vive et montrent une structure également microgrumeleuse ou granulaire fine. La couleur change considérablement après séchage. Les Andosols sont faiblement collants, peu plastiques et friables à très friables. Ils ne présentent ni horizons éluviaux ni horizons d'illuviation d'argile ou d'humus. De minces horizons d'accumulation d'oxydes de fer (horizons placiques) peuvent parfois exister.

Les Andosols (du japonais An = noir et do = sol) ont été d'abord reconnus au Japon en 1947. En 1949, Thorp et Smith ont défini le Grand Groupe des « Andosols ». Ces sols ont aussi été nommés d'après leur matériau originel pyroclastique, par exemple « sols des cendres volcaniques » (FAO, 1964). Ils sont équivalents des Andisols récemment définis dans la *Soil Taxonomy* (1992) et des Andosols de la *World Reference Base for Soil Resources* (1994).

Les Andosols sont relativement ubiquistes ; ils couvrent plus de 100 millions d'hectares à travers le monde surtout dans des régions de volcanisme actif ou récent. Ils existent sous une large gamme de climats, dans différents paysages, se développent à partir de matériaux parentaux variés et peuvent différer considérablement quant à leur âge. Ils proviennent principalement de matériaux volcaniques pyroclastiques récents, mais ils ont aussi été observés sous climats tempérés humides sur de vieilles coulées de laves ou issus de tufs volcaniques et même en régions tempérées et tropicales de haute altitude sur des matériaux non volcaniques (loess, argilites, produits d'altération ferrallitique).

Pédogenèse

Les Andosols résultent de deux processus d'altération biogéochimique bien différents : l'hydrolyse et la complexation par des acides organiques.

L'*hydrolyse des verres volcaniques* est favorisée par un milieu bien drainant, légèrement acide à modérément alcalin (pH_{eau} entre 5,5 et 8,5) et suffisamment chaud et humide. Ce processus produit rapidement des minéraux paracristallins (allophane, imogolite, hisingerite, ferrihydrite) sur lesquels les acides humiques sont adsorbés et stabilisés. Les SILANDOSOLS presque neutres ou modérément acides ($\text{pH}_{\text{eau}} > 5$) se développent à partir de matériaux pyroclastiques récents (vieux de moins de 10 000 ans). Ils apparaissent plus souvent sous des climats tropicaux, sub-tropicaux et méditerranéens que sous des climats tempérés ou froids où ils sont principalement observés sur des cendres basiques récentes. Ces sols ont souvent des horizons de surface très riches en matières organiques et présentent une prédominance des minéraux d'altération paracristallins.

La *complexation par des acides organiques* intervient sous des conditions acides (pH_{eau} entre 3,5 et 5) et généralement sous des climats suffisamment humides et froids ($T < 12^\circ\text{C}$). Les chélates (complexes humus-sesquioxides) produits sont majoritairement saturés par de l'aluminium et sont relativement immobiles. Le processus donne naissance à des ALUANDOSOLS fortement acides avec des pH (dans l'eau) inférieurs à 4,5 dans les horizons supérieurs humifères, et inférieurs à 5 dans les horizons plus profonds peu humifères mais « aluminiques » (où $\text{Al}^{3+} > 2 \text{ cmol}^+/\text{kg}$). Il est favorisé par les matériaux acides (par exemple, les rhyolithes) ou par des matériaux riches en aluminium (par ex., verres volcaniques). Il peut apparaître aussi sur de vieux dépôts de tufs ou de laves et même sur des matériaux non volcaniques (argilites). A basses latitudes, le processus peut intervenir dans des résidus d'altération riches en aluminium et en fer dans les hautes terres et hautes chaînes de montagne (par ex., Andes, Rwanda, Burundi) où les conditions sont perhumides et froides ($T < 12^\circ\text{C}$). La matière organique est généralement profondément répartie ; les horizons profonds non humifères sont rares et, si présents, ils sont peu différenciés.

Le concept d'horizons andiques couvre donc des horizons qui ont en commun la présence dominante de minéraux d'altération non cristallins ou paracristallins (*short-range-order*). Mais il y a cependant de nettes différences d'expression et de propriétés selon les types d'horizons andiques.

Remarques

L'horizon A vitrique ne présentant que faiblement les propriétés andiques, à cause de son faible taux d'allophanes, les VITROSOLS ne sont pas de véritables Andosols. Ils sont traités dans ce chapitre pour des raisons didactiques. En effet, ils se développent également dans des dépôts pyroclastiques et constituent un stade « jeune » préalable à la formation d'Andosols.

Dans le cas des produits volcaniques récents, le matériau est souvent formé d'une superposition de dépôts pyroclastiques. Les limites d'horizons ne sont pas seulement dues à la pédogenèse mais peuvent être celles des dépôts.

Quand il y a de notables différences d'âge entre strates, l'ensemble du solum peut être polygénétique, les horizons supérieurs s'avérant plus jeunes et moins altérés. Dans le cas de produits volcaniques anciens, la complexité du solum est moins évidente et n'apparaît souvent qu'après une analyse approfondie des constituants minéraux.

Caractérisation chimique des Andosols

La présence de minéraux non- ou paracrystallins dans les Andosols est caractérisée chimiquement par la méthode de Blakemore *et al.*, 1981 (oxalate acide) appliquée à la terre fine < 2 mm. Al_{ox} , Fe_{ox} et Si_{ox} = Al, Fe et Si extractibles à l'oxalate acide. Une valeur $Al_{ox} + 1/2 Fe_{ox}$ supérieure à 2 % indique des propriétés andiques bien exprimées. La méthode de Blakemore extrait de l'aluminium et du fer provenant de minéraux paracrystallins (allophane, imogolite, hisingerite, ferrihydrite), et/ou d'hydroxydes non cristallins et complexés par les acides organiques.

Le rapport Al_{py}/Al_{ox} est un critère pour établir si l'aluminium est de façon dominante complexé par les acides organiques ou principalement présent sous une forme paracrystalline d'aluminosilicate ou d'oxyhydroxyde. Al_{py} = aluminium extractible au pyrophosphate.

La quantité de minéraux allophaniques est déduite de la valeur de Si_{ox} . Elle peut être calculée en utilisant la formule de l'imogolite (SiO_2 , Al_2O_3 , $2,5 H_2O$ - Al/Si = 2) pour les minéraux allophaniques riches en aluminium, si de l'imogolite fibreuse est présente, ou bien à partir de la formule de l'halloysite ($2SiO_2$, Al_2O_3 , $2,5 H_2O$ - Al/Si = 1) pour des formes plus riches en silice, notamment l'allophane sphérique.

Les Andosols sont des solums « à charges variables », dépendantes du pH. La CEC augmente avec le pH ; c'est l'inverse pour la capacité d'échange anionique. Le taux de variation de la CEC (CEC à pH 9 - CEC à pH 4 / CEC à pH 9) est supérieur à 0,4 et peut atteindre 0,8. Ce phénomène est significatif de la composition chimique des produits allophaniques et augmente vers le pôle aluminique (imogolite).

La rétention du phosphore (Blakemore *et al.*, 1981) est normalement supérieure à 85 % (du phosphore ajouté à la solution).

Le pH dans NaF 1 M est de 9,5 ou plus en moins de 2 minutes. La valeur varie entre 9,5 et 11, dépendant de la réactivité (richesse en Al) et de la quantité des produits allophaniques, des complexes de l'aluminium et des acides organiques. Le pH NaF peut être employé comme test de terrain pour la diagnose possible des Andosols (Fieldes & Perrot, 1966).

Caractérisation physique des Andosols

Un certain nombre de propriétés physiques sont typiques des Andosols :

- une faible densité apparente, généralement inférieure à 0,9 (échantillon non séché à l'air, amené à 33 kPa), correspondant à une grande micro-porosité (60 à 90 %) ;

- une grande capacité de rétention en eau par rapport à la teneur en particules de la taille des argiles ($< 2 \mu\text{m}$) ;
- un fort taux de « déshydratation irréversible » entre l'état humide et après dessiccation prolongée à l'air. La différence d'humidité à 1 500 kPa entre échantillon non séché et échantillon séché, rapporté à l'échantillon non séché varie de 0,4 à 0,8 (sol naturel non cultivé). Il est significatif des propriétés de gel du complexe organo-minéral ;
- une bonne stabilité des micro-agrégats conservés humides et faible dispersion de la fraction colloïdale. En revanche, forte susceptibilité à l'érosion et grande friabilité après dessiccation à l'air (état poudreux, faible densité et flottabilité des agrégats) ;
- la structure micro-agrégée des Andosols est responsable de la faible densité apparente. Les micro-agrégats sont des complexes organo-minéraux de forme ovoïde de 1 à 10 μm de diamètre, composés de polyagregats friables et très poreux. La porosité macroscopique est fortement développée dans les horizons de surface tandis qu'il y a seulement une faible macroporosité dans les horizons plus profonds ;
- quelques horizons noirs et très riches en humus peuvent montrer un toucher onctueux en conditions humides. Ceci ne doit pas être confondu avec la thixotropie qui correspond à un subit changement du matériau pédologique d'un état semi-rigide à un état fluide quand une pression est appliquée, et qui est caractéristique d'un état de gel en conditions humides. La thixotropie est exceptionnelle et seulement observée chez certains Andosols sous climat per-humide.

Les horizons de référence

Les VITROSOLS sont caractérisés par l'existence d'un horizon dominé par les verres volcaniques et autres minéraux primaires et contenant peu d'allopiane : l'**horizon A vitrique**.

Les Andosols sont caractérisés par l'existence d'au moins un des horizons de références suivants :

- un (ou plusieurs) horizon (s) constitué (s) principalement d'allophanes et minéraux similaires : **horizons silandiques** ;
- un (ou plusieurs) horizon (s) dans lequel (lesquels) les complexes organo-sesquioxidiques prévalent : **horizons aluandiques**.

Horizon A vitrique (Avi)

Il est constitué d'un matériau pyroclastique encore riche en verres volcaniques et autres minéraux primaires non altérés (plus de 60 % des fractions sables et limons). C'est un horizon de surface mais qui peut être enfoui sous plusieurs décimètres de produits pyroclastiques récents. Il contient moins de 10 % d'argile et plus de 0,6 % de carbone organique. Ses caractéristiques physiques et chimiques sont :

- une densité apparente comprise entre 0,9 et 1,2 ;

- une capacité de rétention de l'eau à 1500 KPa inférieure à 25 % ;
- valeur $Al_{ox} + 1/2 Fe_{ox}$ comprise entre 0,4 et 2 % ;
- rétention du phosphore inférieure à 85 %.

Horizons silandiques (And et Snd)

Ils sont caractérisés par la prédominance des minéraux secondaires para-ou cryptocristallins tels que allophane, imogolite et hisingerite. Seule une petite quantité d'aluminium est complexée par les acides organiques par rapport à l'aluminium des minéraux allophaniques. Le pH_{eau} est acide, peu acide, voire neutre ou basique. La densité apparente est basse, généralement inférieure à 0,9. La valeur $Al_{ox} + 1/2 Fe_{ox}$ est supérieure à 2 %. Si_{ox} est supérieur à 0,6 % et le rapport Al_{py}/Al_{ox} est inférieur à 0,5. L'aluminium échangeable est inférieur à 2 $cmol^+/kg$ en valeur absolue ou $Al^{+++}/CEC < 20$ %.

- Horizon And - teneur en carbone organique généralement > ou égale à 3 % ;
 - couleur sombre ou noire (*chroma* et *value* inférieurs ou égaux à 3 à l'état humide ;
 - pH_{eau} supérieur à 4,5 ;
 - structure microgrumeleuse (« *fluffy* ») ;
- Horizon Snd - teneur encore notable en matières organiques bien humifiées (carbone organique > 0,6 %) ne se marquant pas dans la couleur ;
 - pH_{eau} supérieur à 5,0 ;
 - structure continue, grenue ou polyédrique fine.

Horizons aluandiques (Alu et Slu)

Dans ces horizons, l'aluminium complexé par des acides organiques domine sur l'aluminium des minéraux allophaniques. Le pH_{eau} est acide à très acide. La densité apparente est inférieure à 0,9. La valeur $Al_{ox} + 1/2 Fe_{ox}$ est supérieure à 2 %, mais la valeur de Si_{ox} est inférieure à 0,6 %. Le rapport Al_{py}/Al_{ox} est supérieur à 0,5. L'aluminium échangeable est supérieur à 2 $cmol^+/kg$ ou $Al^{+++}/CEC > 20$ %.

- Horizon Alu - couleur généralement noire (*chroma* et *value* inférieurs à 2) ;
 - teneur en carbone organique > ou égale à 3 % ;
 - pH_{eau} inférieur à 4,5 ;
 - structure microgrumeleuse (« *fluffy* ») ;
 - souvent toucher onctueux.
- Horizon Slu - pH_{eau} inférieur à 5,0

Autres horizons de référence possibles :

- horizons hologaniques O ou H
- horizons ferrique FEm ou placique FEmp
- horizons G ou -g en profondeur
- horizons calcariques K, siliciques Si ou pétro-siliciques Sim, -x « fragipan ».

Horizons de référence interdits :

- horizons E, horizons BP, horizon Sal.

8 Références

Définitions

Caractère perhydrique : qualifie un solum qui présente, au moins dans les horizons non labourés, des propriétés de thixotropie, une rétention en eau de plus de 100 % en poids (terre fine préalablement non séchée à l'air, amenée à 1 500 kPa) et un taux de déshydratation irréversible de plus de 70 %.

Caractère eutrique : taux de saturation supérieur ou égal à 50 % (S et T déterminés après percolation à l'acétate d'ammonium tamponné à pH 7) ou somme des cations échangeables alcalins et alcalino-terreux > 15 cmol⁺/kg.

Caractère dystrique : taux de saturation inférieur à 50 % (S et T déterminés après percolation à l'acétate d'ammonium tamponné à pH 7) ou somme des cations échangeables alcalins et alcalino-terreux < 15 cmol⁺/kg.

*si horizon vitrique*¹ —> VITROSOLS

*si horizons silandiques*¹

- si caractère perhydrique —> SILANDOSOLS PERHYDRIQUES
- si carbone > 6 % et couleur noire sur plus de 50 cm d'épaisseur —> SILANDOSOLS HUMIQUES
- sinon et caractère eutrique dans les 50 premiers cm —> SILANDOSOLS EUTRIQUES
- sinon et caractère dystrique dans les 50 premiers cm —> SILANDOSOLS DYSTRIQUES

*si horizons aluandiques*¹

- si caractère perhydrique —> ALUANDOSOLS PERHYDRIQUES
- si carbone > 6 % et couleur noire sur plus de 50 cm d'épaisseur —> ALUANDOSOLS HUMIQUES
- sinon —> ALUANDOSOLS HAPLIQUES

Des Qualificatifs permettent d'indiquer la présence d'autres horizons de référence enterrés (horizon BT, gypseux, histique, « duripan », fragipan, etc.) ou bien d'importantes propriétés secondaires (dystrique, eutrique, réductique, rédoxique, leptique, pachique, placique, etc.).

Propriétés agronomiques des ANDOSOLS et VITROSOLS

Les VITROSOLS présentent des propriétés de sables volcaniques humifères, très riches en verres et minéraux altérables. Ils sont souvent riches en cations échangeables et en phosphore assimilable. Leurs facteurs limitants sont d'ordre physique : profondeur restreinte, forte macro-porosité, fort drainage et faible rétention d'eau. En conséquence, il y a un risque de lixiviation rapide de certains éléments, dont l'azote minéral, parfois en potassium échangeable et en phosphore assimilable.

1. Horizon ou horizons épais d'au moins 30 cm apparaissant dans les 50 premiers centimètres du solum.

Les SILANDOSOLS EUTRIQUES ont des caractères de sols eutrophes. Ils sont constitués d'un allophane modérément alumineux et ferrifère et ils ont des propriétés modérées de gels. Ils sont suffisamment évolués et peu acides pour avoir une CEC élevée et une rétention modérée du phosphore. Ils présentent aussi une rétention en eau suffisante et un ressuyage rapide. Une macroporosité accessible à l'air permet un enracinement dense et profond. Ces sols très fertiles supportent un usage agricole intensif. Ils ne connaissent pas de problème grave de fertilisation en phosphore. Cependant, ils sont très sensibles à l'érosion. Sous climat à longue saison sèche, un déficit hydrique saisonnier peut intervenir.

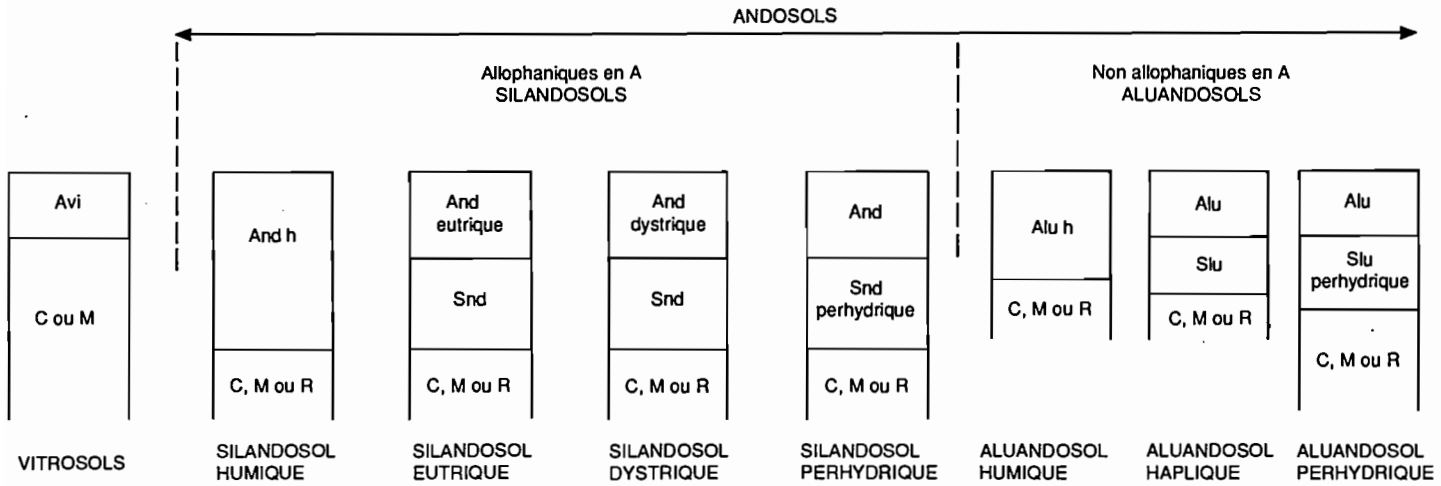
Les SILANDOSOLS DYSTRINIQUES ont des caractères de sols mésotrophes. Ils ont d'excellentes propriétés physiques (rétention d'eau et drainage interne), une richesse souvent suffisante en cations échangeables mais des déséquilibres minéraux sont possibles (déficience en K). Ils présentent presque toujours une déficience en phosphore et azote facilement utilisables, ce qui pose un problème de fertilisation, assez difficile à résoudre économiquement.

Les SILANDOSOLS PERHYDRINIQUES marquent le stade extrême où l'allophane est le plus alumineux, d'où une CEC à charge très variable, une rétention du phosphore très énergique et une forte déshydratation irréversible. Quoique modérément acide et contenant des minéraux altérables, le rapport S/T (T déterminé à pH 7) est très faible (< 10 %). La disponibilité de l'azote, du phosphore et du soufre est restreinte en dépit d'une bonne quantité de ces éléments dans les abondantes matières organiques. Ces sols constituent un milieu oligotrophe pour la croissance des plantes. En outre, l'humidité excessive du climat général et du pédoclimat, associée à une certaine anoxie dans les horizons Snd, sont de sévères contraintes pour une mise en culture intensive. Après labour profond et dessiccation à l'air, ces sols deviennent sensibles à l'érosion.

Les ALUANDOSOLS se distinguent par leur acidité, par leur richesse en aluminium complexé par des acides organiques et par l'abondance de l'aluminium échangeable. Ils ont des teneurs en cations échangeables alcalins et alcalino-terreux très faibles et un rapport S/T très bas. Les sols les plus anciens ne contiennent presque plus de minéraux altérables. Le phosphore est fortement retenu, à la fois dans les matières organiques stables et par les complexes organo-aluminiques. De plus, les horizons Slu forment un obstacle chimique au développement racinaire et il y a, dans le cas des ALUANDOSOLS PERHYDRINIQUES, une certaine anoxie. Enfin, le climat où existent ces sols est souvent trop froid ou trop humide pour obtenir de bonnes récoltes. La fertilité de ces sols oligotrophes est donc restreinte et de très sérieux problèmes de fertilisation se posent.

Relations avec d'autres GER

Avec les RÉGOSOLS : sur matériau pyroclastique très récent et encore très peu altéré (valeur $Al_{ox} + 1/2 Fe_{ox}$ inférieure à 0,4 %), sans encore formation d'un véritable horizon A vitrique : RÉGOSOL pyroclastique.



Avec les PODZOSOLS : il y a de très grandes ressemblances aux plans chimique et micro-structural entre les ALUANDOSOLS et certains PODZOSOLS ne présentant pas d'horizons E :

- valeur $Al_{ox} + 1/2 Fe_{ox}$ supérieure à 2 % dans la terre fine ;
- structure micro-grumeleuse ;
- abondance des oxyhydroxydes de fer paracrystallins ;
- pH très acides ;
- dominance du processus d'acido-complexolyse.

En cas de doute, deux éléments peuvent permettre de trancher en faveur d'un ALUANDOSOL : d'une part, la nature du matériau originel pyroclastique ou volcanique et, d'autre part, la décroissance progressive de la teneur en carbone avec la profondeur.

On pourrait aussi rechercher un réactif qui soit plus discriminant vis-à-vis des chélates d'aluminium et de fer, surtout de Fe qui semble dominer dans les complexes les plus mobiles lesquels caractérisent les PODZOSOLS. Pour les ALUANDOSOLS, le rapport $Al_{te} + Fe_{te} / Al_{ox} + Fe_{ox}$ pourrait être employé, dans lequel Al_{te} et Fe_{te} représentent Al et Fe extractibles au tétraborate de sodium (Jeanroy, 1983). Des valeurs de 0,5 ou supérieures seraient caractéristiques des horizons BP des PODZOSOLS.

Équivalences avec le WRB 1st draft, 1994

VITROSOLS	Andosols vitriques
SILANDOSOLS PERHYDRIQUES	Andosols hydriques
SILANDOSOLS HUMIQUES	Andosols pachiques
SILANDOSOLS EUTRIQUES	Andosols eutriques
SILANDOSOLS DYSTRIQUES	Andosols siliques
ALUANDOSOLS PERHYDRIQUES	Andosols hyaliques
ALUANDOSOLS HUMIQUES	Andosols pachaliques
ALUANDOSOLS HAPLIQUES	Andosols aliques

référentiel pédologique



1995

TECHNIQUES ET PRATIQUES

 **INRA**
EDITIONS



référentiel pédologique

1995

TECHNIQUES ET PRATIQUES

Ouvrages parus dans la même collection :

**Guide des analyses courantes
en pédologie**

D. BAIZE
1988, 172 p. (épuisé)

Techniques for the brucellosis laboratory

G.G. ALTON, L.M. JONES, R.D. ANGUS,
J.M. VERGER
1988, 192 p.

Maladies de la tomate

Observer, identifier, lutter

D. BLANCARD
1988, 232 p.

**Espèces exotiques utilisables pour la
reconstitution du couvert végétal en
région méditerranéenne**

Bilan des arboretums forestiers
d'élimination
P. ALLEMAND
1989, 150 p.

Le cerf et son élevage

Alimentation, techniques et pathologie

Co-édition INRA-Le Point Vétérinaire
A. BRELURUT, A. PINGARD, M. THERIEZ
1990, 144 p.

Le contrôle anti-dopage chez le cheval

D. COURTOT, Ph. JAUSSAUD
1990, 156 p.

L'alimentation des chevaux

W. MARTIN-ROSSET
1990, 232 p.

Maladies des Cucurbitacées

Observer, identifier, lutter

D. BLANCARD, H. LECOQ, M. PITRAT
1991, 320 p.

Weeds of the Lesser Antilles

Mauvaises Herbes des Petites Antilles

J. FOURNET, J.L. HAMMERTON
1991, 214 p.

**Illustrated key to West-Palaearctic
genera of Pteromalidae**

Z. BOUČEK, J.Y. RASPLUS
1991, 140 p.

**Maladies de conservation des fruits
à pépins : pommes et poires**

P. BONDOUX
Co-édition INRA-PHM Revue horticole
1992, 228 p.

Techniques de cytogénétique végétale

J. JAHIER
1992, 196 p.

**Pratique des statistiques non
paramétriques**

P. SPRENT
Traduction française : J.P. LEY
1992, 302 p.

Référentiel Pédologique

Principaux sols d'Europe - 1992
1992, 222 p.

**Immuno-analyses pour l'agriculture
et l'alimentation**

A. PARAF, G. PELTRE. Traduction
française : E. RERAT et A. BOUROCHE
1992, 356 p.

Graines des feuillus forestiers

De la récolte au semis

B. SUSZKA, C. MULLER,
M. BONNET-MASIMBERT
1994, 318 p.

Guide pour la description des sols

D. BAIZE et B. JABIOL
1995, 388 p.

Flore des champs cultivés

P. JAUZEIN
1995, 898 p.

© INRA, Paris, 1995

ISBN : 2-7380-0633-7

ISSN : 1150-3912

Le code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique. Toute reproduction, partielle ou totale, du présent ouvrage est interdite sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 3, rue Hautefeuille, Paris 6^e.