

P. QUANTIN
3eme version
Octobre 1988
Remodelée
par D. BAIZE

SOLS "ANDIQUES"

GENERALITES

L'originalité remarquable des propriétés des sols formés sur cendres volcaniques a été reconnue dans diverses régions du monde. C'est pour-
quoi le suffixe "ando" (= sol noir en japonais) a été repris dans
plusieurs terminologies : andepts (Soil Taxonomy), andosols (C.P.C.S.,
légende F.A.O.), andisols (ICOMAND).

L'ensemble des sols "andiques" est caractérisé par l'existence de pro-
priétés "andiques" dans la majeure partie du solum ou, au minimum, sur
les 40 premiers centimètres depuis la surface. Ces propriétés de compor-
tement résultent d'une constitution spécifique. Leur fraction colloï-
dale est dominée par des complexes organo-minéraux stables, très hygro-
philes et à propriétés de gels. Ces complexes sont constitués de pro-
duits minéraux amorphes ou para-cristallins (allophane, imogolite,
hisingérite) associés en abondance à des acides humiques, ou sous forme
de complexes Al-Fe-humus. Ces complexes ont des propriétés de surface
très développées (et variables selon les conditions de la mesure :
charges variables, deshydratation irréversible). Les sols "andiques"
présentent une structure micro-agrégée, très poreuse et très friable,
qui leur confère une faible densité apparente et une faible plasticité.
Ce sont fréquemment des sols jeunes qui dérivent, le plus souvent, de
matériaux volcaniques pyroclastiques.

Les sols "andiques" ne résultent pas d'un unique processus. En effet,
ils sont apparus dans des conditions très diverses : - de climat (per-
humide à semi-aride, tropical à froid) ; - de végétation ; - de posi-
tion topographique ; - de composition et de texture des matériaux vol-
caniques (basalte à rhyolite, cendres, tuf ou lave) voire non volcani-
ques (loess, argilites, altérites ferrallitiques) ; - et de durée de
formation (variable selon le climat et le matériau originel). Il en
résulte que la morphologie, les constituants et les propriétés des
sols "andiques" varient assez largement.

On remarquera que les Podzosols présentent, eux aussi, des propriétés
andiques, aussi bien dans l'horizon BP que dans les horizons A de sols
dits "crypto-podzoliques".

Les propriétés andiques peuvent donc résulter de deux processus fonda-
mentaux d'altération bio-géochimique :

- l'HYDROLYSE des verres volcaniques en climat tropical ou
sub-tropical produit des minéraux para-cristallins
(allophane, imogolite, ferrihydrite) sur lesquels sont
adsorbés et stabilisés les acides humiques ;

- l'ACIDO-COMPLEXOLYSE de matériaux riches en alumine, en climat tempéré ou froid produit des complexes humus-Al-Fe, saturés et stabilisés par l'aluminium.

Les deux caractères fondamentaux communs à tous les sols "andiques" sont d'une part la formation prédominante de produits non cristallins ou paracristallins qui forment des complexes organo-minéraux stables avec l'humus et, d'autre part, l'immobilité ou la très faible mobilité de ces complexes.

Il faudra cependant distinguer :

- les sols "ALLOPHANIQUES" constitués de minéraux para-cristallins dans l'ensemble du solum, y compris dans l'horizon humifère
- les sols "NON ALLOPHANIQUES" marqués par la prédominance de complexes stables aluminium-humus, au moins dans l'horizon humifère.

PRINCIPAUX CONSTITUANTS

Les produits d'altération sont en prédominance non cristallins (amorphes) ou para-cristallins. Ces produits sont rapidement solubles dans divers réactifs chimiques sélectifs, notamment : - NH_4 -oxalate-acide (pH 3 à l'obscurité = méthode Blackmore) ; - HCl, 2 N analyse semi-cinétique = méthode Quantin ; - NaOH 0,5 N (méthode semi-cinétique de Quantin). Ces produits sont généralement riches en Al, mais aussi en fer dans les sols issus de roches basiques ; leur teneur en Si varie selon l'importance relative des argiles para-cristallines, de l'opale et de Al complexé par les acides humiques (rapport $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ mol. de 0,2 à 5).

- état non cristallin = gels d'hydroxydes d' Al, Fe, Mn et d'oxydes de Si, Ti... ainsi que des chélates d' Al et Fe.
- état para-cristallin = silicates (allophane, imogolite, hisingerite), opale (biologique ou chimique), oxy-hydroxydes (ferrihydrite = oxydes de fer plus ou moins substitués par Al et par Si), etc...
- complexes organo-minéraux : acides humiques co-adsorbés par des gels minéraux non cristallins ou para-cristallins.

Les acides humiques ont une composition variable mais les formes très liées à Al et (ou) à l'allophane, donc peu mobiles, prédominent. En outre, ces produits sont très stables, protégés des activités enzymatiques ou catalytiques, et s'accumulent. Leur turn-over est très lent (plusieurs milliers d'années). Ils inhibent ou ralentissent l'évolution et la cristallisation des gels minéraux.

La quantité des éléments (Al, Fe, Si) facilement solubles sert à caractériser les produits non ou para-cristallins, responsables des propriétés andiques. La méthode de référence est celle de Blackmore (oxalate - acide). Les propriétés andiques sont bien exprimées quand $\text{Al}_0.\text{x} + 1/2 \text{Fe}_0.\text{x} > 2 \%$ (terre fine < 2 mm).

HORIZONS DE REFERENCE

Quatre horizons de référence sont nécessaires pour définir les sols diagnostiques des "sols andiques". Trois sont spécifiques : Aa allophanique, Sa allophanique, Avi vitrique. Le quatrième existe chez les ALU-ANDOSOLS et chez les Podzols : Aal "aluminique".

Critères "allophaniques" :

- $Al_{0,x} + 1/2 Fe_{0,x} >$ ou égal à 2 % de la terre fine (méthode Blackmore)
- $Si_{0,x} >$ ou égal à 0,6 % (méthode Blackmore)
- $Al_{t,e} / Al_{0,x} <$ 0,5 ($Al_{t,e}$ = extrait Na-tétraborate plus sélectif que Na-pyrophosphate pour extraire Al chélaté)
- $Al^{+++} <$ 2 mé/100 g (Al^{+++} échangeable par KCl)
- complexes organo-minéraux stables, à prédominance d'allophane
- structure micro-agrégée non ou peu plastique et très friable
- atténuation de la couleur par dessiccation à l'air
- densité apparente $<$ ou égale à 0,9 (sur sol naturel ressuyé à $p = 1/3$ bar)
- Fort taux de "deshydratation irréversible" entre l'état humide et après dessiccation prolongée à l'air : $\Delta pF 3$ (humide - sec / humide) $>$ 40 % (sol naturel non cultivé)
- pH eau $>$ ou égal à 5
- pH NaF $>$ 9,4 en 2 minutes (test de FIELDS et PERROT)
- ΔCEC (pH 9 - pH 4 / pH 9) $>$ ou égal à 40 %
- capacité de rétention du phosphore $>$ 85 % (méthode Blackmore)

HORIZON Aa ALLOPHANIQUE

Il présente tous les critères de diagnostic "allophaniques" ci-dessus auxquels s'ajoutent les caractères suivants :

- couleur foncée (code 3/3,5 humide) ;
- teneur en carbone organique $>$ ou égal à 5 %
- épaisseur $>$ ou égale à 20 cm ;
- texture apparente limoneuse ;
- macro-structure grumeleuse fine (farineuse) très friable ;
- micro-structure en flocons (fluffy) ;
- chevelu racinaire dense et forte activité biologique.

HORIZON Sa ALLOPHANIQUE

Il présente tous les critères de diagnostic "allophaniques" ci-dessus auxquels s'ajoutent les caractères suivants :

- sans marques apparentes d'illuviation, ni d'oxydo-réduction (même à quasi-saturation par l'eau) ;
- teneur importante en matière organique bien humifiée (carbone organique $>$ 0,6 %) qui ne se marque pas dans la couleur ;
- micro-structure très finement agrégée (nano-agrégats) faiblement cimentée par des films ou des ponts organo-minéraux, formant une macro-structure quasi-continue ou polyédrique fine.

HORIZON A VITRIQUE Avi

Horizon encore peu altéré, très riche en verres volcaniques : plus de 60 % de verres et minéraux altérables associés, estimés par microscopie optique ou par le résidu d'attaque par HClO_4 dans la terre fine. $\text{Al}_x + 1/2 \text{Fe}_x$ compris entre 0,4 et 2 % (donc propriétés andiques encore peu développées). Teneur en matière organique comprise entre 1 et 5 %. Densité apparente comprise entre 0,9 et 1,2. Capacité de rétention du phosphore < 85 %.

HORIZON Aal "ALUMINIQUE"

Il présente des propriétés "andiques" et notamment : $\text{Al}_x + 1/2 \text{Fe}_x >$ ou égal à 2 % de la terre fine (méthode Blackmore). Il se distingue des horizon Aa par les critères suivants :

- $\text{Si}_x < 0,6 \%$
- $\text{Alté}/\text{Al}_x > 0,5$
- $\text{Al}^{+++} > 2 \text{ mé}/100 \text{ g}$
- pH eau < 5

AUTRES HORIZONS DE REFERENCE POSSIBLES :

- horizons organiques O
- horizon placique FEmp
- horizons G ou -g
- FEm, K, Km, duripan, fragipan....

QUALIFICATIFS

Spécifiques :

- mélanique : qualifie un horizon Aa ou Aal de couleur noire code < 2/2. Ce caractère est important car il distingue des horizons humifères dont le climat environnant et la composition des acides humiques sont bien différents des horizons humifères plus colorés.
- chromique : qualifie un horizon Aa ou Aal non mélanique
- perhydraté : qualifie un horizon Aa, Aal ou Sa ayant une capacité de rétention d'eau à 1/3 bar > 100 % (sol sec, en poids), un taux de deshydratation irréversible (ΔpF) > 75 % et présentant la propriété de thixotropie.
- à horizon A mélanique peu épais (< 20 cm)
- à horizon A mélanique épais (> 50 cm)

Autres :

- eutrique : taux de saturation (à pH 7) > 50 % dans l'horizon Aa
- dystrique : taux de saturation < 50 % dans l'horizon Aa
- oxique : qualifie un horizon Sa riche en oxy-hydroxydes de Al et Fe contenant moins de 10 % de minéraux altérables résiduels.
- à fragipan, à duripan,...
- calcaire : présence d'un horizon K.

REFERENCES

Parmi les "sols andiques", 7 références sont distinguées qui peuvent être présentées en 3 ensembles :

- les sols peu altérés, développés sur matériaux pyroclastiques, encore riches en verres, et à propriétés andiques encore peu développées, sont nommés VITROSOLS.

VITROSOLS : solum Avi / C ou M sur matériaux pyroclastiques peu altérés.

- les sols "allophaniques" dans la majeure partie du solum (sur plus de 40 cm à partir de la surface) pour lesquels sera réservé le terme d' ANDOSOLS ;

ANDOSOLS HUMIQUES : solum Aa / C, M ou R ; horizon Aa très développé ; sols jeunes de climat sub-tropical ou tempéré-humide

ANDOSOLS EUTRIQUES : solum Aa eutrique / Sa / C, M ou R sur matériau volcanique basique ; sols jeunes de climat tropical à courte saison sèche

ANDOSOLS DYSTRIQUES : solum Aa dystrique / Sa / C, M ou R sur divers matériaux volcaniques ; sols assez évolués de climat tropical, ou sub-tropical ou tempéré humide.

ANDOSOLS PERHYDRATES : solum Aa / Sa perhydraté / C, M ou R sur divers matériaux volcaniques ; sols évolués de climat tropical ou sub-tropical "perhumide".

- les sols "non allophaniques" dans la partie supérieure du solum (sur au moins 40 cm à partir de la surface), qui présentent éventuellement un horizon Sa sous l'horizon Aal mais jamais d'horizon Sal ou d'horizon BP. Pour eux, le terme d' ALU-ANDOSOLS est proposé.

ALU-ANDOSOLS HUMIQUES : solum Aal / C, ou M ou R sur matériaux volcaniques de différents âges ; sous climat tempéré et transition vers climat froid et humide.

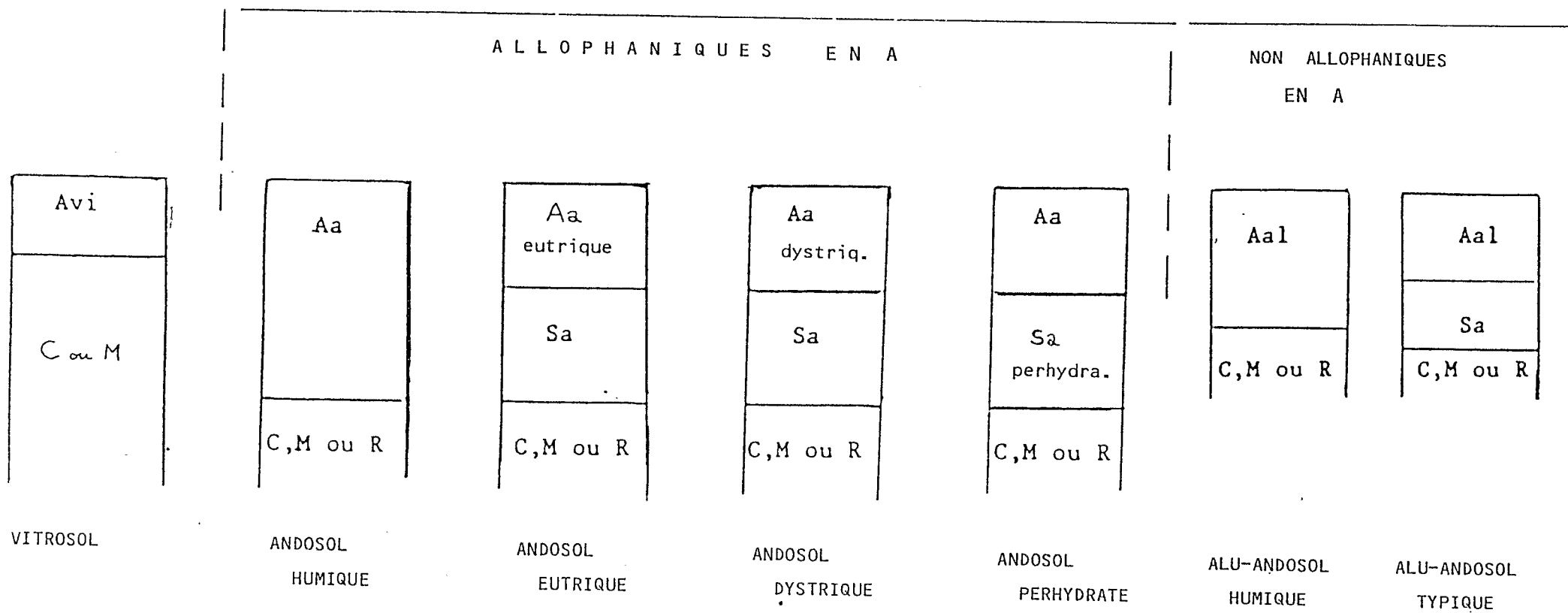
ALU-ANDOSOLS TYPIQUES : solum Aal / Sa / C, M ou R sur matériaux volcaniques de différents âges ou paleo-altérites ferrallitiques ; sous climat tempéré et transition vers climat froid et humide.

PROPRIETES EDAPHIQUES DES SOLS ANDIQUES

Les propriétés andiques majeures :

- liées à des gels à propriétés de surface : rétention d'eau, d'anions et de cations très développée mais très variables selon les condi-

SOLS ANDIQUES



tions de la mesure ou suite à des modifications consécutives à l'utilisation du sol.

- liées à des complexes ou pseudo-complexes organo-minéraux stables
- liées à une structure micro-agrégée et à micro-porosité très développée, permettant une forte rétention de l'eau et cependant un bon drainage naturel.
- entraînant une accumulation d'humus plus ou moins profonde, consécutive à un turn-over ralenti.
- entraînant l'accumulation de certains éléments liés à l'humus (tels que N, P, S) ou à la forte capacité de rétention anionique de l'allophane et des oxydes d'aluminium (phosphore).
- dans le cas des ANDOSOLS les plus typiques (sols jeunes sur cendres volcaniques), abondance de minéraux primaires altérables, fournisseurs permanents de bases échangeables.

Les VITROSOLS sont des sols andiques encore peu évolués à propriétés de sables volcaniques humifères. Ils sont souvent riches en bases 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.

Les ANDOSOLS se distinguent des ALU-ANDOSOLS par les effets prédominants de l'allophane (au sens large) et la quasi-absence de chélates d'aluminium ou de fer. Ils sont faiblement à modérément acides ($pH > 5$), même quand le taux de saturation en bases échangeables (à $pH 7$) est apparemment faible. Cependant, ils peuvent être riches en minéraux altérables. Malgré une forte accumulation d'humus, le rapport C/N reste souvent < 15 et manifeste une bonne activité biologique.

Les ANDOSOLS EUTRIQUES ont des caractères de sols eutrophes. Ils sont constitués d'une allophane modérément alumineuse 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. Ce sont des sols très fertiles qui supportent un usage agricole intensif. Ils ne connaissent pas de problème grave de fertilisation en phosphore. Sous climat à saison sèche marquée, un déficit hydrique saisonnier peut intervenir.

Les ANDOSOLS DYSTRIQUES ont des caractères de sols mésotrophes. Ils ont d'excellentes propriétés physiques (rétention d'eau et drainage interne), une richesse souvent suffisante en bases échangeables mais des déséquilibres minéraux sont possibles (déficience en K). La forte capacité de rétention du phosphore peut poser un problème de fertilisation, assez difficile à résoudre économiquement.

Les ANDOSOLS PERHYDRATES marquent le stade extrême où l'allophane est la plus alumineuse (imogolite + gels d'hydroxydes d'Aluminium et de fer), les propriétés de gels les plus développées, la rétention du phosphore la plus énergique, la macro-porosité la plus restreinte (hypoxie dans l'horizon Sa). Il n'y a cependant

pas de toxicité aluminique évidente. Le rapport S/T (T déterminé à pH 7) est très faible, des déficiences en bases sont possibles. Ces sols à caractères oligotrophes posent des problèmes très sérieux de fertilisation, notamment en phosphore.

Les ALU-ANDOSOLS se distinguent par leur richesse en chélates organiques à prédominance d'aluminium. L'horizon humifère est franchement acide (pH < 5), fortement désaturé en bases échangeables : il y a possibilité de toxicité aluminique. Le phosphore est fortement retenu, soit dans la molécule organique soit sous forme de pseudo-sels complexes avec les chélates d'aluminium. La fertilité de ces sols oligotrophes est restreinte et de très sérieux problèmes de fertilisation se posent.

EFFETS DU TRAVAIL DU SOL

Après dessiccation prolongée à l'air, l'horizon supérieur du solum (Aa ou Aal) devient très friable et perd une grande part de sa capacité de rétention en eau et de sa stabilité structurale. Il acquiert les propriétés d'un sable limoneux. La réserve en eau diminue.

Le sol atteint rapidement les limites de cisaillement et de liquidité, surtout s'il est très humide. Aussi, il n'a qu'une faible portance pour les engins lourds et il montre une très mauvaise adhérence.

En profondeur (horizon Sa), le sol n'est pas plastique et présente une forte adhésivité aux instruments de labour, rendant celui-ci quasiment impossible : le sol "bourre" et éclate mais ne se retourne pas. Il est difficile d'améliorer la macroporosité et de réduire les risques d'hypoxie et de mauvaise pénétration des racines dans les régions très humides (ANDOSOLS DYSTRIQUES et ANDOSOLS PERHYDRATES).

CONSERVATION - RISQUES D'EROSION

Les sols andiques sous bon couvert végétal, dans les conditions naturelles ou dans le cas d'une agriculture ménagée et bien conduite, offrent une bonne capacité d'infiltration de l'eau pluviale et une bonne stabilité structurale qui minimisent les risques d'érosion.

En revanche, les sols andiques dégradés par le travail du sol et une dessiccation prolongée, perdent leur bonne stabilité structurale. Les agrégats, à cause de leur faible densité, sont facilement mis en suspension. L'infiltration des pluies est réduite par le compactage du sol et la formation d'une semelle de labour. Ainsi, les sols non couverts par une végétation dense, deviennent très facilement érodibles.