

P. QUANTIN *, E. FERNANDEZ-CALDAS **,
F. GUTTIERREZ-JEREZ **, M.L. TEJEDOR **, et G. DELIBRIAS ***

**PROBLEME DU RAJEUNISSEMENT DES SOLS
ISSUS DE L'ALTERATION DE ROCHES VOLCANIQUES,
PAR DES ERUPTIONS RECENTES DE CENDRES,
AUX NOUVELLES-HEBRIDES ET AUX ILES CANARIES**

RESUME. - Deux sols, l'un situé à Aoba (Nouvelles Hébrides), l'autre à Tenerife (Iles Canaries), dont le rajeunissement par un recouvrement de cendres volcaniques a été daté en âge absolu (par 14 C), montrent qu'en milieu tropical ou subtropical humide, le rajeunissement conduit à des formations pédologiques relativement moins évoluées que la normale. Dans le cas d'Aoba, il s'agit d'andosols saturés datant de mille ans environ ; dans celui de Tenerife, ce sont des sols bruns andiques âgés de moins de 9000 ans, recouvrant des paléosols tropicaux. Il est remarquable à Aoba, qu'un millier d'années a suffi, en milieu tropical humide pour l'apparition d'halloysite, alors qu'Aomine et Miyauchi (1963) estimaient qu'un laps de temps de 8000 ans était nécessaire dans le cas des andosols du Japon.

ABSTRACT. - Two soils, one from Aoba (New Hebrides), the other from Tenerife (Canarian Islands), the rejuvenation of which by a fall of volcanic ashes has been dated (by 14 C), show that, in a humid tropical or subtropical environment, the recent rejuvenation leads to pedological forms relatively less matured than the normal soils type. In Aoba, they are one thousand years old, saturated and slightly evolved andosols, in Tenerife appear andic brown earths that are less than 9000 years old and bury tropical paleosols. It is noteworthy in Aoba, that only one thousand years has been enough to form halloysite, whereas Aomine and Miyauchi (1963) estimated that 8000 years have been necessary in the case of the Japanese andosols.

INTRODUCTION

Le volcanisme récent, d'âge quaternaire, ou plus précisément holocène, se signale par des formes (cônes, cratères, coulées) qui sont bien conservées. Il se caractérise aussi par la faible altération des

(*) Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M., Bondy.

(**) Centro de Edafología y Biología aplicada (C.S.I.C.), Santa-Cruz de Tenerife, Islas Canarias (Espagne).

(***) Centre des Faibles Radioactivités (C.N.R.S.), Gif-sur-Yvette.

20 MAI 1976
O. R. S. T. O. M. Exl
Collection de Références
n° B 8194 Pedo.

laves ou des produits pyroclastiques. Il se remarque enfin à la nature spécifique des sols : les andosols, qui en dérivent.

Dans certains sols tropicaux formés au Pléistocène, le rajeunissement superficiel par des cendres volcaniques paraît discret ; cependant, il se marque par des caractères andiques dans le haut du profil.

Pour illustrer ce phénomène, nous avons choisi comme exemple deux profils de sols complexes dérivant de roches volcaniques basiques et tous deux formés dans des conditions climatiques très humides, l'une tropicale et l'autre subtropicale. Il s'agit de sols dont le rajeunissement superficiel a été daté. Le premier, situé à Aoba (Nouvelles-Hébrides), est formé d'une succession de récents dépôts de cendres altérées. Le second, situé à Tenerife (Iles Canaries), est constitué d'un paléosol volcanique récemment rajeuni par des cendres.

I. ANDOSOL COMPLEXE D'AOPA

1. Localisation

Le sol étudié provient de Lolopuepue, dans l'île Aoba (Nouvelles-Hébrides). Cette île est située dans l'Océan Pacifique, à environ 15°30'S et 168°E ; elle fait partie de l'Archipel des Nouvelles-Hébrides.

2. Formes de relief et altérations

Aoba est un énorme appareil volcanique complexe, de type hawaïen ; il est dominé en son centre par une caldéra dont les murs culminent vers 1 400 à 1 500 m au-dessus du niveau de la mer. Compte tenu de fonds bathymétriques atteignant 2 000 m de profondeur, il s'agit donc d'un édifice de 3 500 m de haut. Latéralement, le cône principal se prolonge suivant un sill éruptif par une chaîne de petits cratères et de coulées. Ce volcan est actuellement en sommeil.

Les laves les plus anciennes qui sont à la base du cône principal, ont été datées 0,7 à 0,3 millions d'années (Snell, 1969). Les formes anciennes du cône principal sont très densément disséquées par des ravines.

Par contre, les formations latérales de petits cônes ou cratères et de plateaux de laves, sont très bien conservées. Warden (1970) pense qu'elles sont très jeunes. Il rapporte le récit de coulées catastrophiques de lahars et de laves qui remonteraient respectivement à 100 et à 300 ans seulement.

La datation d'un bois carbonisé, enterré sous une des dernières éruptions à l'intérieur de la caldéra, est de 359 ± 54 ans BP (DSIR, 1969). Tout cela suggère une activité volcanique récente.

Les altérations superficielles sont brun-rougeâtre et elles sont profondes généralement de plusieurs mètres, sauf sur les coulées très récentes où elles ne sont plus que décimétriques et interstitielles.

Elles ont formé des andosols saturés. Il s'agit de sols jeunes et relativement peu évolués d'un point de vue géochimique, bien qu'ils se soient formés à partir de roches très basiques : principalement des ankaramites et qu'ils soient apparus dans des conditions climatiques tropicales et très humides. Ces sols sont encore riches en silice et en bases, mais relativement pauvres en minéraux argileux (Quantin, 1972 et 1974). Ils sont en outre souvent complexes. On remarque deux anomalies : leur saturation en bases, même sous des climats très pluvieux ($P > 3$ m/an) ; l'homogénéité relativement grande de leurs caractéristiques physico-chimiques dans la partie supérieure des profils, indépendamment (ou presque) d'une forte différenciation climatique, consécutive du relief et des Alizés (la différenciation climatique est ailleurs la règle ; Quantin, 1974 b). Mais on observe une certaine évolution dans la profondeur des profils, évolution qui dépend sans doute de l'âge des apports. C'est ce que nous montre l'observation du profil de Lolopuepue.

3. Profil d'andosol complexe de Lolopuepue (fig. 1)

Profil de l'andosol de Lolopuepue (Aoba)

Profond. cm	Profil	Horizon	Sol	Minéraux < 2 μ	C.E.C. me/100g	Age
20		A1	I Andosol saturé / cendres β	A++ , F+ H et M-V ϵ A++ , F+ H+	34	< 1130 ans
50		A/(B)			32	
100		(B)			31	
140		A/(B)	II 1 ^{er} paléosol	A++ , M+ H et T ϵ , F+	22	1130 \pm 110 B.P.
155	C	III 2 ^e paléosol				
180		A/c	IV 3 ^e paléosol	A++ , M+ , F+ , T ϵ , z A+ , M++ , FetP+	18	4550 \pm 450 ans
200	A	V 4 ^e paléosol				
220		C	VI 5 ^e paléosol	A++ , FetP+ H et M ϵ	33	> 1550 ans
290	A/c	VII 6 ^e paléosol				
300		C	R Basalte lave	ankaramite (augite, bytownite, olivine)		
320		C				
420		A/(B)				
440						
500						

On observe successivement le sol supérieur de formation récente, jusque vers 1 m de profondeur, puis une succession de strates de cendres et lapilli altérés qui pourraient être interprétés comme six paléosols. L'ensemble recouvre une coulée de basalte vers 4,40 m. On remarque la présence d'un foyer néolithique enterré entre le sol supérieur et le premier paléosol ; les charbons de celui-ci ont été datés

(Delibrias, 1968) $1\ 130 \pm 110$ ans BP. Il en résulte que les cendres dont dérive le sol superficiel ont été émises au plus 1 130 ans auparavant. Mais le fait que l'on observe une différenciation croissante des minéraux argileux du sommet (horizon A), à la base (horizon B) du même sol suggère que l'apport de cendre a été renouvelé progressivement depuis cette date jusqu'à une époque probablement très récente. Alors qu'il n'y a encore que des traces d'argiles dans l'horizon A, on observe déjà l'individualisation nette et abondante de fins glomérules d'halloysite dans l'horizon (B) (Quantin et al., 1975). Il est intéressant en outre de noter que la durée nécessaire à l'apparition de l'halloysite : environ 1 000 ans, est sensiblement inférieure à celle de 8 000 ans proposée précédemment au Japon par Aomine et Miyauchy (1963).

La datation du troisième paléosol, vers 3 m de profondeur : $1\ 550 \pm 110$ ans BP (Delibrias, 1968), montre qu'il a pu se déposer 2 m de produits pyroclastiques pendant 430 ans environ. Cela suggère que les appareils volcaniques latéraux qui ont émis ces produits sont très probablement récents et que leur formation remonterait tout au plus à quelques milliers d'années.

Il est intéressant d'observer l'évolution des minéraux argileux dans le profil : halloysite glomérulaire, à la base du premier sol, vers 1 m ; montmorillonite dans les altérations fossiles, entre 1 m et 2,20 m ; halloysite et montmorillonite en mélange, à plus de 3 m. Cela suggère une variation dans la durée et dans les conditions climatiques d'altération, au fur et à mesure des dépôts de cendres. Nous avons pu montrer par ailleurs (Quantin, 1972 et 1974 b) que la genèse des minéraux argileux dépend de la durée et du milieu climatique.

La présence d'andosols saturés et la nature des minéraux argileux qu'ils contiennent est donc bien significative dans le cas d'Aoba de l'âge récent des éruptions volcaniques et de leur renouvellement. La nature de ces minéraux dans les paléosols pourrait aussi servir de témoin des conditions climatiques qui ont régné pendant les intervalles éruptifs.

II. PALEOSOL TROPICAL, RAJEUNI-ANDIQUE, DE TENERIFE

1. Localisation

Le sol étudié provient de Las Lajas, dans le Nord de l'île Tenerife (Iles Canaries). Cette île est située à l'Est de l'Océan Atlantique, près du Sahara espagnol, à environ 28°N et $16^{\circ}30'\text{W}$. Elle fait partie de l'archipel des Canaries. Le profil a été observé sur les sommets du Massif de Las Mercedes, dans la presqu'île d'Anaga, vers 1 000 m d'altitude. Le climat y est « perhumide » et la végétation de type Laurisylva.

2. Formes de relief et altérations

Tenerife est un très vaste appareil volcanique complexe, qui culmine au Pic Teide à 3 718 m au-dessus du niveau de la mer. Compte tenu des fonds sous-marins à 3 000 m, cela fait un édifice de plus de 6 500 m

de haut. La majeure partie de l'île est récente : les laves y sont datées au plus de 2 millions d'années (Abdel-Monem et al., 1972) ; les plus récentes dans la caldéra de Las Canadas sont de moins de 200 mille ans et certaines coulées du Teide seraient historiques. Les formes volcaniques y sont très bien conservées et les sols sont d'autant moins évolués et plus jeunes que plus proches du Mont Teide. Ainsi on observe des lithosols et des andosols peu différenciés vitriques près du Mont Teide, dans la caldéra de Las Canadas et à proximité de cette caldéra (Chio, Mont Izana) (1).

Puis, toujours en altitude, on trouve des andosols différenciés désaturés (Aguamansa, sommets de Las Esperanza et d'Agua Fria) ; mais c'est encore à proximité de petits cônes volcaniques à forme bien conservée.

Au Nord, dans la presqu'île d'Anaga, les formations basaltiques de base sont plus anciennes : 4,5 à 16 millions d'années (Abdel-Monem et al., 1972). Les reliefs y sont densément disséqués. La différenciation des sols y est apparemment plus dépendante d'une séquence climatique altitudinale et consécutive des alizés que de l'âge des roches-mères. On y observe ainsi des sols bruns andiques sur les sommets du Massif de Las Mercedes, dans la zone climatique perhumide ; puis des sols fersiallitiques lessivés, des sols bruns vertiques et enfin des vertisols sur les bas-versants à climat plus contrasté (de La Esperanza à Barranco Hondo, par exemple).

La présence de sols andiques sur des formations volcaniques anciennes avait d'abord été attribuée à l'effet du climat perhumide qui règne sur les sommets de Las Mercedes (Fenandez-Caldas et Guerra-Delgado, 1971). Mais des observations nouvelles (Quantin, 1974 ; Tejedor-Salguero, 1974) ont montré qu'il s'agit de sols complexes, probablement de paléosols tropicaux rajeunis en surface par des apports de cendres volcaniques. C'est le cas notamment du profil de Las Lajas.

3. Profil de Las Lajas

Les sols de Las Lajas sont constitués de deux parties principales. La partie supérieure, profonde de 1 m à 1,20, présente nettement des caractères d'andosols (horizon A¹ très foncé, très développé, limoneux, friable, à faible densité). Elle contraste brusquement avec le sol sous-jacent, très argileux et fortement structuré, qui présente à l'évidence des caractères de sols tropicaux. C'est à la limite entre ces deux sols que nous avons observés un lit de fins charbons de bois. La datation de ces charbons (Delibrias, 1975) : $8\,760 \pm 160$ ans BP, nous permet de préciser l'âge maximum du rajeunissement. L'analyse minéralogique du profil montre qu'il s'agit très probablement d'un apport de cendres volcaniques. Nous observons la succession suivante :

- a) sol rajeuni, de type brun andique.

(1) Nous prions nos lecteurs d'excuser l'absence provisoire des signes diacritiques hispano-portugais (N.D.L.R.).

L'horizon A est composé d'allophane et d'un peu de minéraux argileux : halloysite en glomérules et plaquettes d'illite-montmorillonite. Il contient aussi des quantités importantes de minéraux primaires : quartz, mica, sanidine (feldspath potassique), hornblende et magnétite. Il est riche en silice et en bases (Ca, Mg et K).

Dans l'horizon (B), la quantité d'halloysite augmente un peu et celle-ci prend une forme tubulaire.

b) paléosol brun-rouge, de type ferrallitique.

Le sol est riche en halloysite, tubulaire et glomérulaire ; il s'enrichit en gibbsite en profondeur, où apparaissent des concrétions bauxitiques ; il n'y a plus de quartz, ni de hornblende ; micas et illite-montmorillonite sont peu abondants ; il apparaît de l'augite. Les teneurs en bases (Ca, Mg, K) ont très sensiblement diminué.

c) paléosol brun-rouge foncé, de type brun tropical.

Le sol est riche en une belle halloysite, glomérulaire et tubulaire.

Ces observations minéralogiques suggèrent que le sol supérieur s'est constitué à partir d'un recouvrement de cendres volcaniques, provenant en mélange de projections trachytiques et basaltiques, tandis que le paléosol dériverait probablement de matériaux basaltiques. L'enrichissement en quartz et en muscovite du sol superficiel, pourrait aussi provenir d'apports éoliens de sables du Sahara, car le sirocco se fait sentir jusque-là plusieurs fois par an (Fernandez-Caldas et Schwaighofer, 1974).

Le rajeunissement des sols du massif de Las Mercedes est donc évident. Il aurait commencé, il y a près de 9 000 ans, après la dernière glaciation, et il correspondrait à la dernière reprise importante de l'activité volcanique à Tenerife. Les cendres proviendraient soit des petits appareils éruptifs les plus proches, situés près de La Laguna, soit du Mont Teide. Ce rajeunissement, conjugué à l'effet d'un climat très humide, permet d'expliquer la présence de sols andiques dans la partie la plus ancienne de Tenerife.

CONCLUSIONS

En conclusion, nous pouvons dégager les faits suivants :

1. En régions tropicales ou subtropicales humides, les formes volcaniques bien conservées indiquent une activité éruptive récente, probablement holocène.
2. Ce volcanisme récent explique la présence d'andosols.
3. Sur des formations très récentes, ou très récemment rajeunies, d'environ un millier d'années on observe des andosols saturés complexes, géochimiquement encore peu évolués. Cependant il y apparaît déjà des minéraux argileux en quantité appréciable, par exemple de

l'halloysite glomérulaire très fine, ou de la montmorillonite. Mais la différenciation pédologique demeure faible.

4. Sur des formations plus anciennes, le rajeunissement se traduit par des sols polygéniques : par exemple des paléosols ferrallitiques ou fersiallitiques recouverts par un sol brun andique. Le caractère andique de la partie supérieure des profils suggère donc un phénomène de rajeunissement par des cendres volcaniques.

BIBLIOGRAPHIE

- ABDEL-MONEM A., WATKINS N.D., GAST P.W. (1972) : Potassium-Argon ages, volcanic stratigraphy and geomagnetic polarity history of the Canary Islands : Tenerife, La Palma, and Hierro. « Amer. Jour. of Sci. », 272, nov., pp. 805-825.
- AOMINE S., MIYAUCHI N. (1963) : Age of the youngest hydrated halloysite in Kyushu. Nature, London, 199, pp. 1311-1312.
- DELIBRIAS G. (1968) : Datation par la méthode du ^{14}C de charbons et de paléosols enterrés sous des éruptions volcaniques récentes, à Aoba et Tongoa (Nouvelles Hébrides). Centre des Faibles Radioactivités, C.N.R.S., Gif-sur-Yvette ; rapport inédit.
- DELIBRIAS G. (1975) : Datation par la méthode du ^{14}C de charbons enterrés sous des cendres volcaniques altérées en sol brun andique, à Tenerife (Iles Canaries). Centre des Faibles Radioactivités, C.N.R.S., Gif-sur-Yvette ; rapport inédit.
- D.S.I.R. (1969) : Datation par le ^{14}C d'un bois carbonisé dans l'éruption du Lac-Vui (Aoba) ; in Warden, 1970, op. cité.
- FERNANDEZ-CALDAS E., GUERRA-DELGADO A. (1971) : Condiciones de formacion y evolucion de los suelos de Tenerife. « Anal. Edaf. y Agrobiol. », XXX, 5-6, pp. 565-610.
- FERNANDEZ-CALDAS E., SCHWAIGHOFER B. (1974) : Mineralumwandlung im Zuge der Genese der Kanarischen Andosole (Tenerife). Sitzungsberichten Osterr. Akad. Wissenschaften. « Mathem. Natur W. Kl. Abt. », Bd, 181, Heft, 7 bis 10, pp. 197-212.
- FUSTER J. et al. (1968) : Geología y volcanología de Las Islas Canarias, Tenerife. Instit. Lucas Mallada, Madrid, 218 p.
- QUANTIN P. (1972) : Note sur la nature et la fertilité des sols sur cendres volcaniques provenant d'éruptions récentes dans l'Archipel des Nouvelles Hébrides. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol., X, 2, pp. 123-151.
- QUANTIN P. (1974a) : Archipel des Nouvelles Hébrides. Sols et quelques données du milieu naturel ; fasc. 3 : Ambrym, Aoba, Maewo, Pentecôte. Notice explicative (sous presse) ; 4 cartes pédologiques avec cartons annexes de géologie, formes de relief et végétation (publiées). O.R.S.T.O.M., Paris.
- QUANTIN P. (1974b) : Hypothèses sur la genèse des andosols en climat tropical. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol., XII, 1, pp. 3-12.
- QUANTIN P. (1974c) : Sols de Tenerife. Réflexions à propos d'une première tournée pédologique à Tenerife (I. Canaries), avec F. Gutierrez-Jerez et M.L. Tejedor-Salguero. O.R.S.T.O.M., Paris, 24 p. multigr., inédit.
- QUANTIN P., BADAUT-TRAUTH D., WEBER F. (1975) : Mise en évidence de minéraux secondaires, argiles et hydroxydes, dans les andosols des Nouvelles Hébrides, après déferrification par la méthode de Endredy. « Bull. Groupe Français des Argiles », XXVII, fasc. 1 (sous presse).
- RODRIGUEZ-PASCUAL C., QUANTIN P., TEJEDOR-SALGUERO M.L., FERNANDEZ-CALDAS E. (1974) : Andosuelos Canarios ; IV, Intergrades Andosuelo Tierra Parda Oligotrofica. Caracteristicas mineralogicas. Interpretacion y clasificacion. « An. Edaf. y Agrobiol. », XXXIII (in prensa).
- SNELLING (1969) : Datation par K : Ar des laves de la base du volcan principal d'Aoba ; in Warden, 1970 (op. cité).
- TEJEDOR-SALGUERO M.L. (1974) : Estudio de los Andosuelos de Las Islas Canarias occidentales (Tenerife, Gomera y Hierro). Thèse Univ. de la Laguna, Tenerife (Iles Canaries), 329 p.
- WARDEN A.J. (1970) : Evolution of Aoba Caldera Volcano, New Hebrides. « Bull. Volcanologique », XXXIV, 1, pp. 107-140.