

SERVICE DE L'ÉCONOMIE RURALE

R JAMET

**Le titane
dans les sols de Tahiti.**

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ET TECHNIQUE OUTRE-MER



Notes et documents Sciences de la Terre

N° 24

— 1983 —

Notes et Documents Sciences de la Terre

N° 24

Pédologie

O.R.S.T.O.M.

Tahiti

1983

Polynésie Française

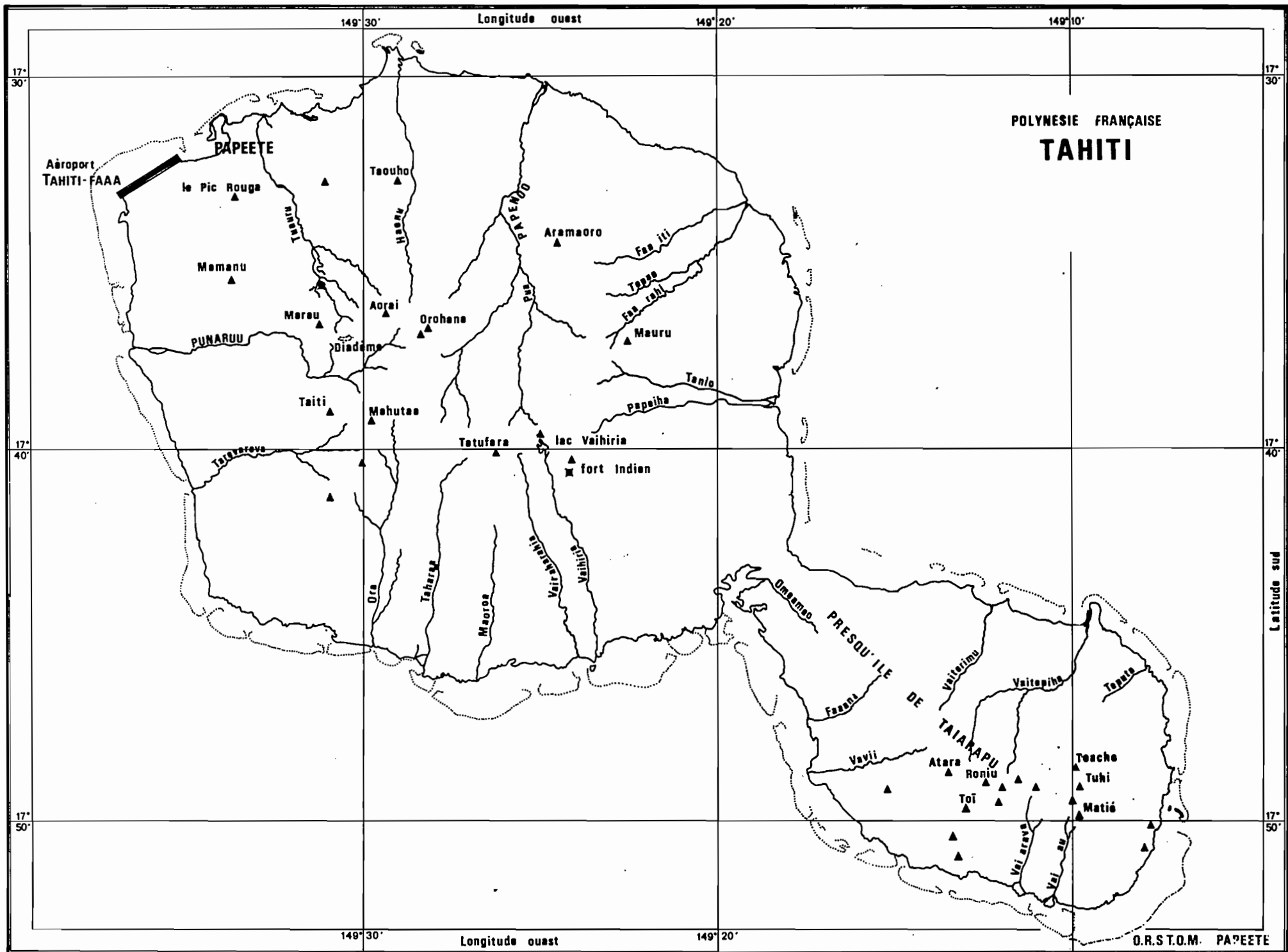
O.R.S.T.O.M.

Service de l'Economie Rurale

Le Titane
dans les sols de Tahiti

Rémi JAMET

Juillet 1983



Aéroport
TAHITI-FAAA

PAPEETE

le Pic Rouge

Mamanu

PUNARUU

Merou

Diadème

Taiti

Mehutaa

Tojokorava

Ora

Taharua

Maoroa

Vaiterimu

Vaitapiha

Vavii

Vei arava

Vei au

Longitude ouest

Longitude ouest

Longitude ouest

Longitude ouest

POLYNESIE FRANÇAISE
TAHITI

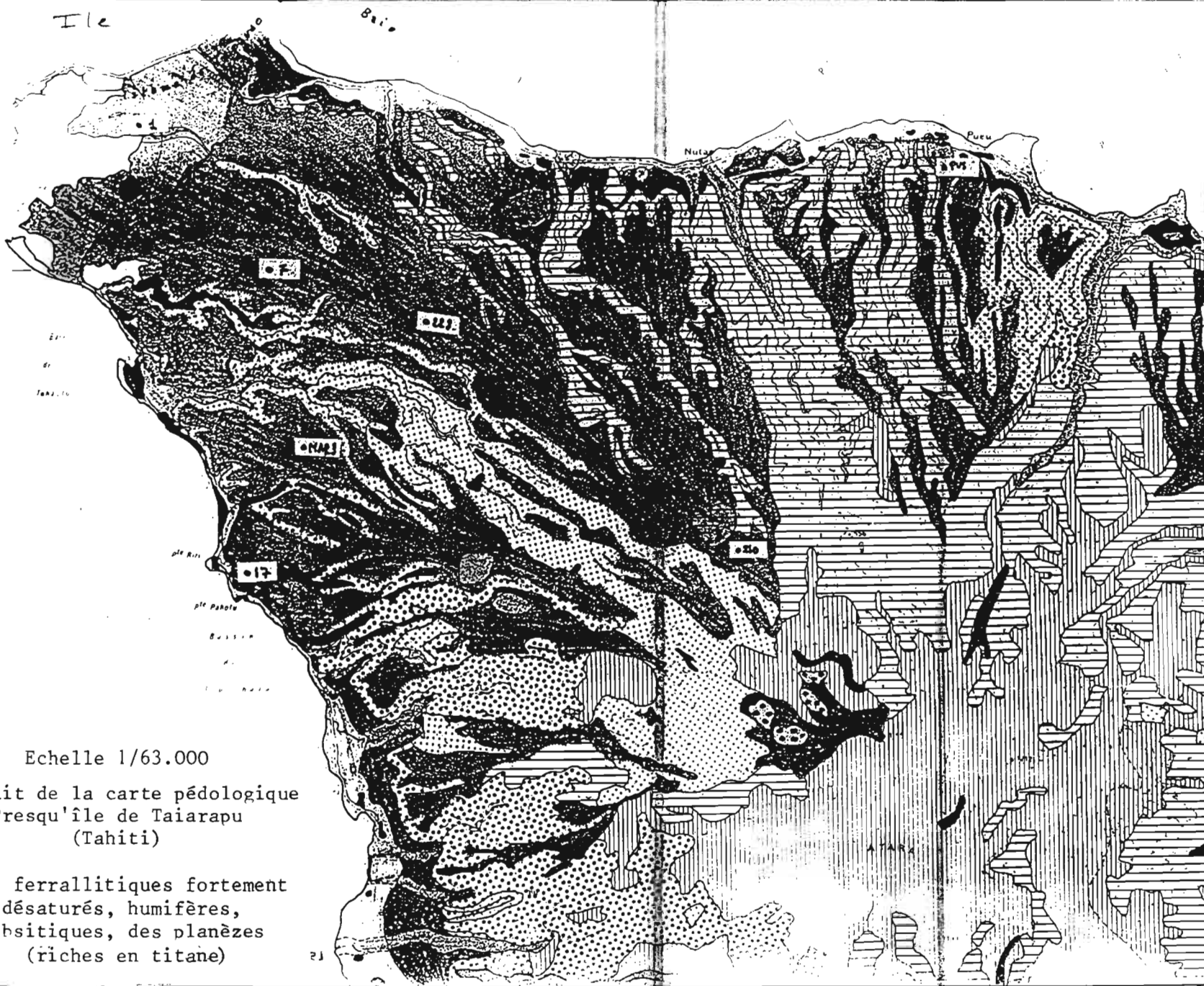
Latitude sud

O.R.S.T.O.M. PAPEETE

INTRODUCTION


Depuis la fin 1978, l'O.R.S.T.O.M., en collaboration avec le Service de l'Economie Rurale, a entrepris, en Polynésie Française, des études pédologiques diversifiées (cartographie, évolution des sols ...) dans le double but de parvenir à une meilleure connaissance et à une plus grande maîtrise des sols du Territoire.

A cet effet, de nombreuses analyses ou déterminations diverses ont été effectuées ou sont en cours dans les laboratoires des Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy ; certaines parmi celles-ci, dont les rayons X, les analyses totales par attaque triacide en particulier, technique bien adaptée à ces sols ne renfermant, pour la plupart, que très peu de minéraux primaires inattaquables (résidu généralement $< 0,5 \%$), permettent une bonne étude géochimique de ces matériaux d'altération. Elles mettent en évidence, entre autres, des sols ferrallitiques marqués par une désilicification accentuée et parfois même quasi-totale, sur certains "plateaux" de Tahiti, où d'autre part, ces sols, pauvres ou dépourvus en argile (méta-halloysite) mais par contre riches en gibbsite, sont caractérisés par une forte concentration superficielle d'oxydes de fer et aussi, fait le plus marquant sans doute, de titane, dont il est fait ci-après, une analyse succincte.



Echelle 1/63.000

Extrait de la carte pédologique
Presqu'île de Tairapu
(Tahiti)

 Sols ferrallitiques fortement
désaturés, humifères,
gibbsitiques, des planèzes
(riches en titane)

1 - Tahiti, caractéristiques générales :

L'île de Tahiti résulte de la jonction de deux édifices volcaniques datant du pléistocène moyen ou supérieur, soit 800.000 et 400.000 ans. (R. Duncan et I. Mc Dougall - 1976), réunis sur 2 km par l'isthme de Taravao, et constitués par l'empilement de coulées basaltiques de pendage voisin de 8°, aujourd'hui profondément disséquées. Les autres formations géologiques n'y occupent qu'une place restreinte : lave andésitique dans la caldeira, formations de remplissage des hautes vallées, gabbro marquant l'emplacement des cheminées.

La superficie totale ne dépasse pas 1100 km². La partie centrale montagneuse de chaque édifice, incluant la caldeira, montre de nombreuses crêtes, les plus hautes culminant, dans l'île à 2241 mètres et à 1332 mètres dans la presqu'île. La frange périphérique, dans l'ensemble moins érodée, s'étend sur une profondeur de 2 à 8 km. Il y subsiste des reliques des surfaces primitives ou planèzes, elles-mêmes déjà fortement attaquées par l'érosion. L'ensemble est bordé par la plaine littorale, plate-forme détritique exondée il y a 3.000 ans.

Les précipitations y sont très variables, le gradient pluviométrique croissant très rapidement avec l'altitude et en fonction de l'orientation aux vents dominants, les alizés soufflant de l'Est ; elles oscillent entre 2 mètres sur la côte Ouest de l'île et plus de 10 mètres sur certains versants exposés à l'Est.

2 - Le titane dans les roches de Tahiti :

Mc Birney et Aoki (1968) en donnent pour certaines roches de Tahiti, les teneurs suivantes :

Theralites	2,5 à 4,9 %
Essexites	3,2 à 4,4 %
Syenites à néphéline	1,1 à 2,2 %
Trachytes	0,8 à 1,5 %
Basaltes	3,2 à 4,8 %

ANALYSE CHIMIQUE DE ROCHES PLUTONIQUES DE TAHITI ET MOOREA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
H ₂ O ⁻	0,38	1,80	1,91	2,76	3,49	0,11	0,58	1,26	0,36	0,10	0,95	0,16
H ₂ O +	1,30	3,45	1,86	5,77	3,83	0,64	1,82	1,37	0,85	2,05	2,15	0,64
SiO ₂	46,0	39,70	44,60	41,25	41,80	44,80	45,50	43,05	48,85	54,15	57,00	48,00
Al ₂ O ₃	17,22	16,50	15,16	13,09	13,85	13,92	16,82	15,27	19,76	21,05	18,01	17,32
Fe ₂ O ₃	12,00	14,56	14,45	12,68	15,16	12,76	11,61	13,85	7,90	4,23	8,39	10,08
TiO ₂	3,61	4,16	3,61	3,47	3,28	3,44	3,48	3,99	2,60	1,08	0,47	2,80
MgO	4,30	7,0	6,37	8,59	9,02	9,10	4,74	6,09	1,94	0,74	0,54	4,80
CaO	8,77	9,28	9,06	8,67	7,05	10,50	8,85	10,92	5,89	2,66	1,38	11,38
Na ₂ O	2,81	1,83	2,05	0,93	1,15	2,44	3,24	1,88	7,04	7,14	4,47	2,76
K ₂ O	2,09	0,54	1,02	1,78	0,66	1,31	1,66	0,81	4,34	5,63	5,28	1,30
MnO	0,17	0,21	0,17	0,10	0,18	0,16	0,21	0,19	0,22	0,13	0,08	0,12
P ₂ O ₅	0,65	0,63	0,37	0,42	0,37	0,42	0,85	0,47	0,37	0,09	0,12	0,33
Total	99,30	99,16	100,63	99,51	99,84	99,60	99,36	99,15	98,78	99,05	98,84	99,69

1 - Basalte microlithique - Route du Mont Marau-PK 10-Tahiti

2 - Basalte polyédrique à petits grains d'augite et olivine
Route du Mont Marau PK 12-Tahiti.

3 - Basalte alvéolaire à grains fins à plagioclases, augite,
quelques olivines. Route du Mont-Marau PK 10-Tahiti.

4 - Basalte à amygdales zéolithiques et phénocristaux de
de pyroxène et olivine. Domaine d'OPOA. Raiatea.

5 - Basalte alvéolaire à olivine et pyroxène. Route du Mont
Marau - Tahiti.

6 - Basalte à beaux phénocristaux d'augite titanifère et d'O-
livine (océanite). Vallée de la Papenoo - Tahiti.

7 - Basalte à augite et olivine iddingsitisées.

8 - Basalte à olivine iddingsitisée et augite,
nodules pyroxéniques. Route du Mont-Marau-PK5.

9 - Tahitite - Pueu - Presqu'île Tahiti.

10 - Syénite néphélinique à beaux cristaux de né-
phéline. Vallée de la Papenoo - Tahiti.

11 - Trachyte - Moorea.

12 - Gabbro à olivine et augite titanifère. (Moorea).

Nous avons nous-mêmes fait procéder à l'analyse d'une dizaine de roches en provenance de Tahiti et Moorea dont les teneurs en titane apparaissent dans le tableau ci-joint. Concernant les basaltes, roches-mères essentielles des sols de Tahiti, leur teneur moyenne en est de 3,6 %.

Comparativement, l'on peut observer que les teneurs en sont moindres dans les basaltes des séries volcaniques de Honolulu aux Hawaii : 2 à 3 % de TiO_2 . (Harold T. Stearns - 1966).

3 - Les sols riches en titane, localisation, caractéristiques générales, classification :

Les sols de Tahiti sont, dans leur grande majorité, des sols ferrallitiques (oxysols) fortement désaturés et humifères (classification C.P.C.S. - 1967).

Le "Projet de classification des sols" d'un groupe de pédologues de l'ORSTOM, R. Fauck et al. (1977), permet d'y apporter une plus grande précision basée sur la teneur en oxydes ou hydroxydes et en minéraux argileux 1/1 ; c'est ainsi que l'on peut les partager en deux classes :

- "Fermonosols", caractérisés par la présence de minéraux argileux 1/1, d'oxydes ou d'hydroxydes de fer et (ou) d'hydroxydes d'aluminium.

- "Oxydisols", dominés par des oxydes ou hydroxydes métalliques où les minéraux argileux ne jouent qu'un rôle effacé.

La limite entre ces deux classes correspond à une teneur d'oxyhydroxydes fixée à 60 %.

Les premiers correspondent aux sols rajeunis par l'érosion, donc sans horizon éluvial : sols des pentes jusqu'à des degrés accentués.

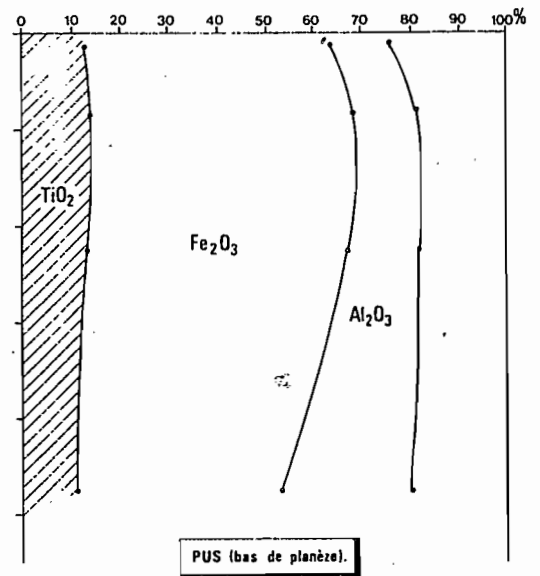
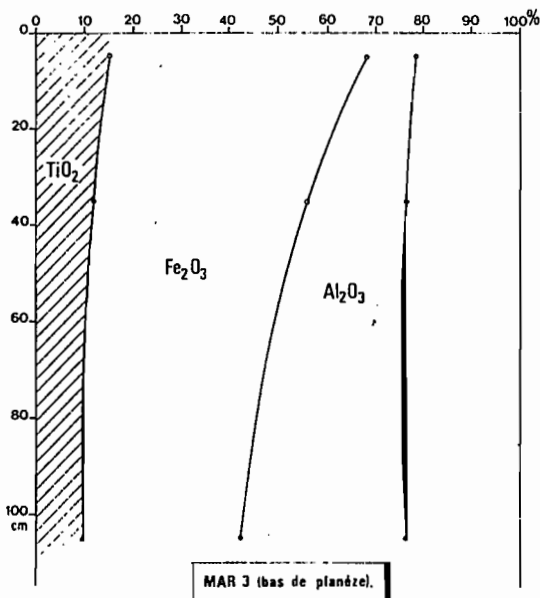
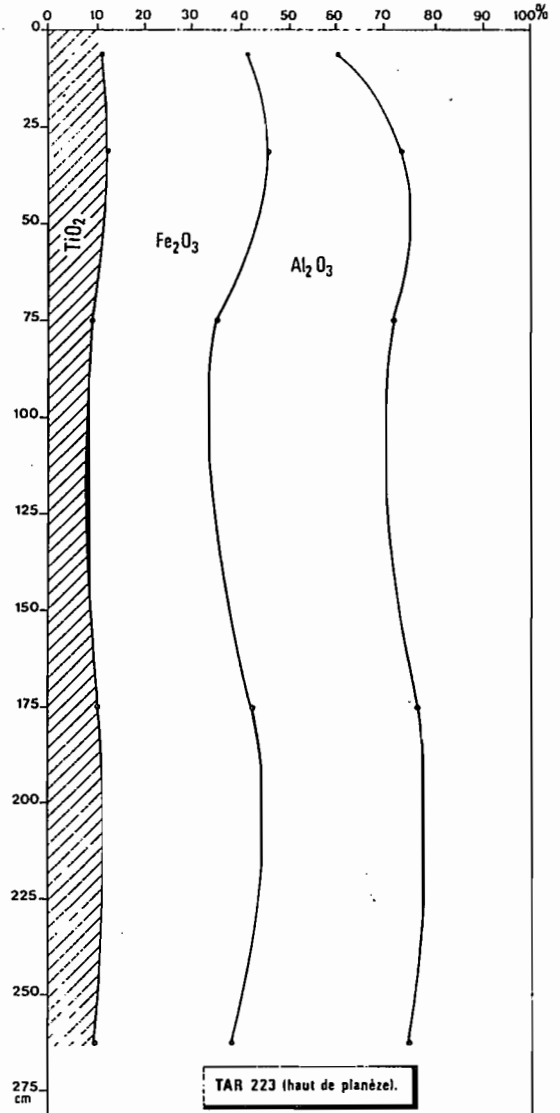
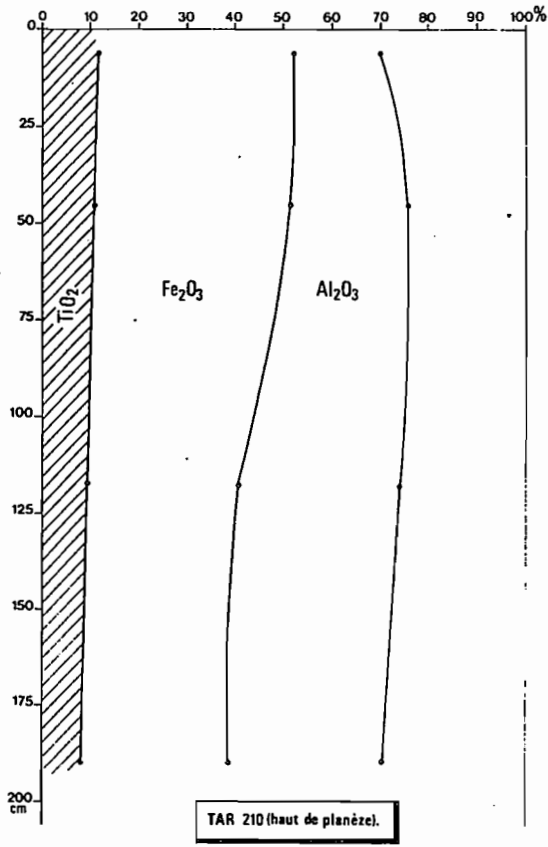
Les seconds, les oxydisols sont du domaine des planèzes, reliques de la surface primitive des cônes volcaniques, en forme de triangle dont la superficie s'amenuise au fur et à mesure que l'on s'écarte du rivage et dont la pente est inférieure à 15 %. Encore importantes dans l'île de Tahiti, ces planèzes y sont toutefois fortement disséquées par l'érosion qui n'y a finalement épargné que de petits "plateaux" peu ravinés. Les plateaux les plus étendus s'observent dans la presqu'île, ils y correspondent au flanc N-NW du volcan ; les surfaces les mieux conservées y occupent une superficie dépassant 30 km² dont plus de 20 pour les "plateaux" les plus importants de Taravao, Afaahiti, Toahotu, Puunui, Pueu (région d'élevage et agricole).

		En % de l'échantillon séché à 110° C												
Echant.	Prof. cm	Perte au feu 1000°C	Résidu total	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	NaO ₂	Total	
TAR	11	0- 5	18,1	0,30	0,30	12,3	50,0	16,9	0,154	0,36	0,36	0,04	0,29	99,104
	12	10- 15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	13	35- 45	17,1	0,10	0,25	19,5	46,5	15,6	0,127	0,24	0,32	0,04	0,17	99,947
	14	80- 90	20,4	0,35	1,50	33,0	35,5	10,5	0,099	0,24	0,21	0,04	0,17	100,009
	15	140-150	18,5	0,15	2,00	33,5	34,5	10,04	0,238	0,24	0,68	0,03	0,15	99,988
	16	200-220	22,7	0,15	1,40	36,5	30,0	8,50	0,099	0,21	0,24	0,03	0,18	100,009
TAR	171	0- 10	10,3	0,35	0,40	6,50	59,0	19,8	0,436	0,38	2,48	0,06	0,26	99,906
	173	40- 50	11,1	0,50	3,50	11,8	50,3	19,6	0,269	0,38	1,11	0,05	0,33	98,939
	175	150-160	13,0	0,05	20,3	28,5	27,5	9,25	0,232	0,21	0,72	0,04	0,17	99,972
TAR	71	0- 10	14,8	1,25	2,20	9,50	52,5	16,0	0,291	0,68	1,34	0,05	0,26	98,871
	72	20- 30	10,6	0,25	2,05	10,2	56,5	17,5	0,317	0,38	1,28	0,04	0,33	99,447
	73	45- 55	11,1	0,60	2,75	15,0	52,0	15,6	0,253	0,30	1,23	0,04	0,21	99,083
	74	70- 80	14,5	0,25	5,00	21,5	42,5	13,5	0,204	0,30	1,01	0,06	0,22	99,044
	75	100-110	16,9	0,05	6,25	31,0	34,0	9,50	0,303	0,27	0,93	0,07	0,20	99,523
MAR	31	0- 10	16,2	0,30	1,40	10,5	53,0	15,0	0,238	0,64	1,30	0,08	0,30	98,958
	33	30- 40	15,4	0,20	4,35	20,5	44,0	12,0	0,218	0,76	1,18	0,08	0,50	99,188
	35	100-110	18,9	0,05	1,55	34,0	32,5	10,0	0,277	0,64	1,02	0,06	0,74	99,737
PUS	11	0- 7	20,9	0,15	1,10	12,4	51,0	13,10		0,15	1,03	0,04	0,20	99,17
	12	12- 20	16,1	0,10	0,80	12,1	54,5	14,50		0,11	1,04	0,03	0,25	99,53
	14	40- 50	14,8	0,10	0,70	15,3	53,5	13,50		0,14	0,32	0,04	0,19	99,19
	15	90-100	17,7	0,05	0,90	26,5	42,5	10,90		0,15	0,82	0,05	0,15	99,70
TAR	2231	0- 10	35,5	0,80	1,50	19,4	30,0	10,6	0,265	0,41	1,23	0,05	0,23	99,985
	2232	25- 35	22,5	0,60	1,40	28,5	33,5	11,5	0,333	0,27	1,20	0,05	0,18	100,033
	2234	70- 80	24,1	0,15	2,00	36,4	26,5	8,75	0,277	0,24	1,01	0,04	0,20	99,667
	2235	170-180	19,7	0,05	1,35	34,0	32,5	9,85	0,285	0,24	0,98	0,005	0,21	99,165
	2236	260-270	20,7	0,10	2,20	36,5	29,0	9,00	0,238	0,27	1,14		0,29	99,438
TAR	2101	0- 10	24,9	1,20	1,75	18,3	40,5	11,3	0,154	0,30	1,04	0,04	0,15	99,631
	2102	40- 50	19,2	0,20	3,15	24,5	40,5	11,0	0,148	0,18	0,98	0,04	0,15	99,998
	2103	110-120	20,4	0,40	2,80	33,3	32,0	9,25	0,226	0,24	1,23	0,06	0,11	100,076
	2104	180-200	17,9	0,40	8,60	31,8	30,3	8,60	0,269	0,30	1,23	0,08	0,22	99,689

Plateaux de la presqu'île

COMPOSITION CHIMIQUE DES SOLS

ANALYSE TRIACIDE



Pourcentages pondéraux de TiO_2 , Fe_2O_3 et Al_2O_3
dans les sols de planèzes

Ce sont les sols des plateaux en général et ceux de cette partie de la presqu'île en particulier qui renferment les plus fortes concentrations en TiO_2 .

En effet, corrélativement à l'entraînement quasi-total par les eaux de percolation des éléments les plus solubles, silice et bases et à une certaine illuviation de l'alumine, est apparue, dans les horizons éluviaux de surface, une concentration plus ou moins forte, relative ou résiduelle, des éléments stables de haut poids spécifique, oxydes de fer et de titane, concentration particulièrement nette dans les sols des bas plateaux de la presqu'île, au-dessous de la côte approximative des 150 mètres. Ceci nous a conduit à les diviser en 2 groupes :

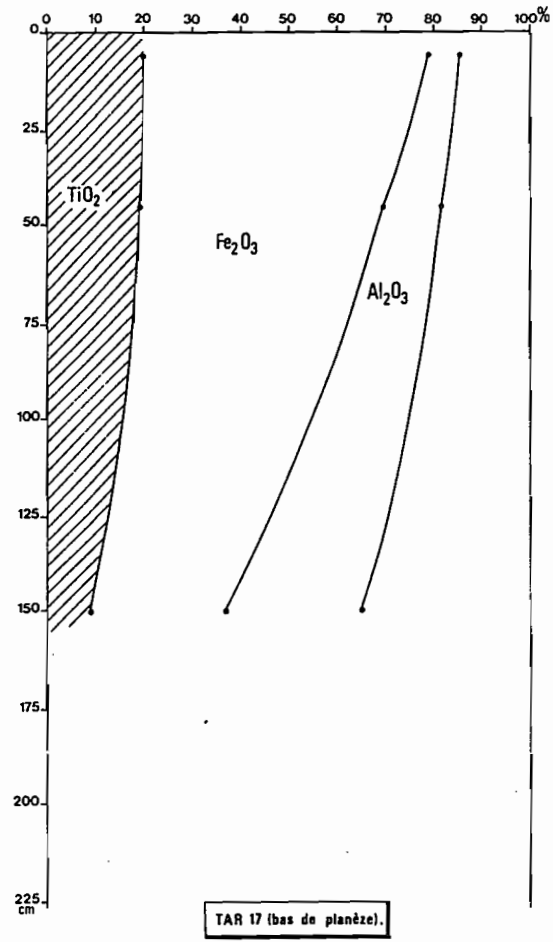
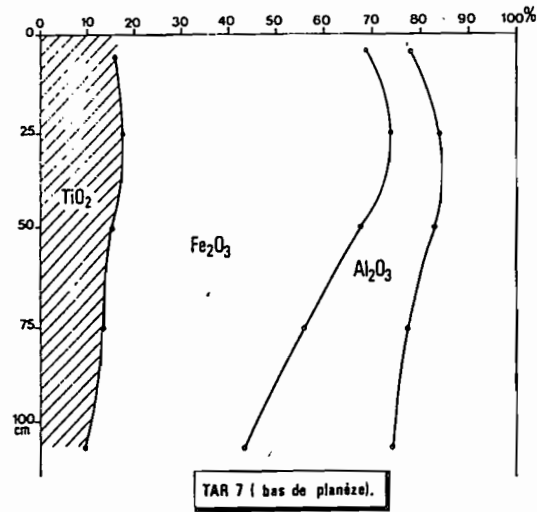
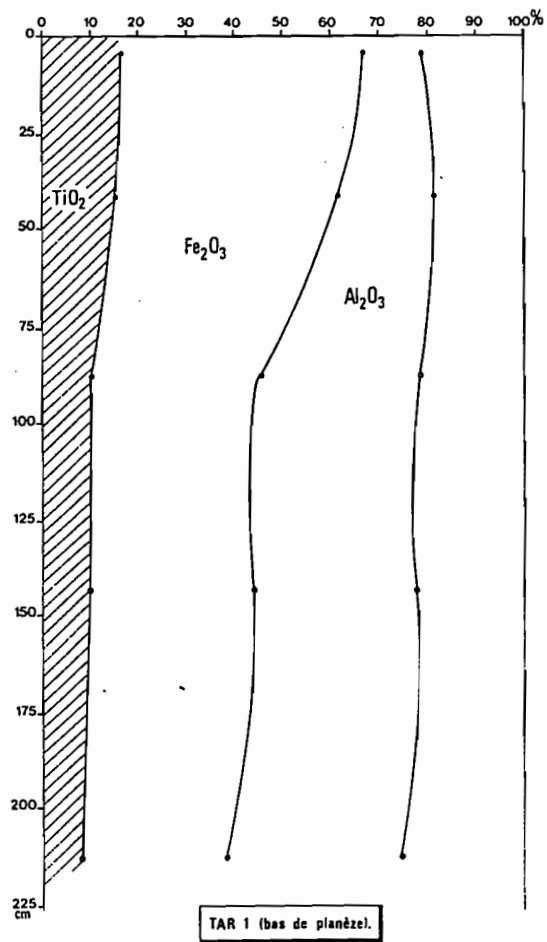
- Sols à forte accumulation ferrito-titanique de surface
= oxydisols ferrito-titaniques des bas de planèzes
- Sols à accumulation ferrito-titanique modérée
= oxydisols ferrito-allitiques des hauts de planèzes.

4 - Teneur des sols en titane :

Issus pour la plupart de roches relativement riches en titane, les sols de Tahiti en renferment eux-mêmes des quantités plus ou moins importantes.

Les plus pauvres sont ceux de la plaine littorale avec, en moyenne 4 % sur un mètre (et 15 % de Fe_2O_3) : ils sont développés dans un matériau d'apport, d'origine essentiellement basaltique mais privé d'une grande partie de sa fraction lourde ($Fe_2O_3 + TiO_2$) demeurée sur place sur les hauteurs dominantes. Les sols issus des formations agglomératiques de remplissage des hautes vallées en renferment de 5 à 8 % sur un mètre (et 25 à 35 % de Fe_2O_3) ; ceux issus des matériaux d'altération des gabbros et andésites, de 4 à 6 %

Mais la majeure partie des sols de Tahiti se développent aux dépens des laves épanchées de nature basaltique (basalte lourd enrichi en Mg-Ca et titane : R. Brousse - 1969) : laves d'épanchement principal mises à nu par l'érosion sur la plupart des interfluves, ou laves d'épanchement terminal auxquelles correspondent les sols des "plateaux", notamment ceux de l'W-NW de la presqu'île dont la grande extension serait liée à des bouches à feu secondaires (G. Deneufbourg. 1965).



Pourcentages pondéraux de TiO₂, Fe₂O₃ et Al₂O₃ dans les sols de planèzes

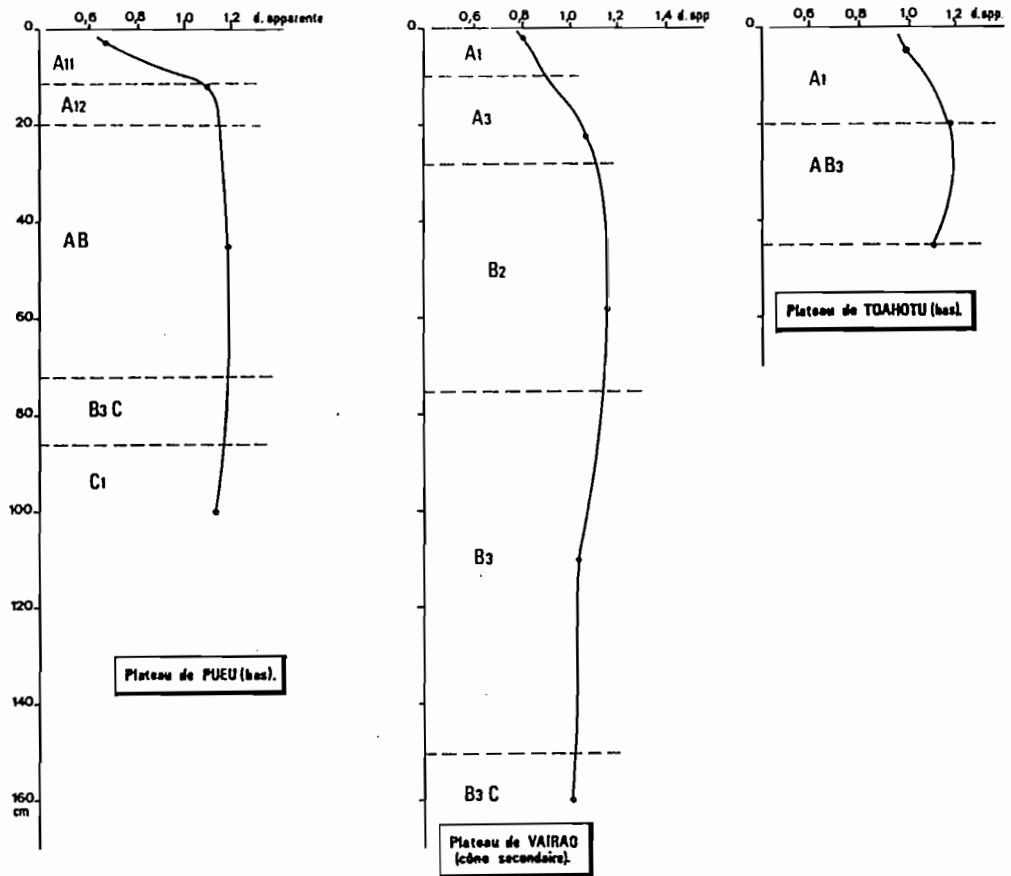
Sur les pentes, les sols, rajeunis par l'érosion et d'autant plus fortement qu'elles sont plus fortes, ne renferment généralement que 5 à 7 % de TiO_2 sur un mètre (et 20 à 30 % de Fe_2O_3).

Les "plateaux", seules reliques de la surface primitive, où l'érosion est peu perceptible, portent quant à eux, les sols les plus "vieux" et aussi, dans leur ensemble, les plus riches en fer et en titane, avec des variations importantes toutefois selon que l'on considère les "plateaux" de l'île ou ceux de la presqu'île. Dans l'île, les teneurs courantes en TiO_2 y sont de 6 à 8 % sur un mètre, avec toutefois des exceptions : par exemple à la côte 1.000^m de la planèze de Faaa, un sol en renferme 15 % à 1,30 mètre, et en altitude, des sols ferrallitiques podzolisés présentent un horizon A^2 gibbsitique et titanifère avec 13 % de TiO_2 . Quant aux teneurs en Fe_2O_3 de ces sols, elles sont très largement variables entre 20 et 50 %. Dans la presqu'île, les teneurs moyennes en oxyde de titane, sur 1, voire 1,5 mètre sont voisines de ou supérieures à 10 %. Les sols des bas plateaux (< 150 mètres) sont, entre tous, ceux qui présentent la plus forte accumulation ferrito-titanique de surface avec généralement plus de 50 % de Fe_2O_3 et de 13 à 19 % de TiO_2 sur les 50 cm supérieurs.

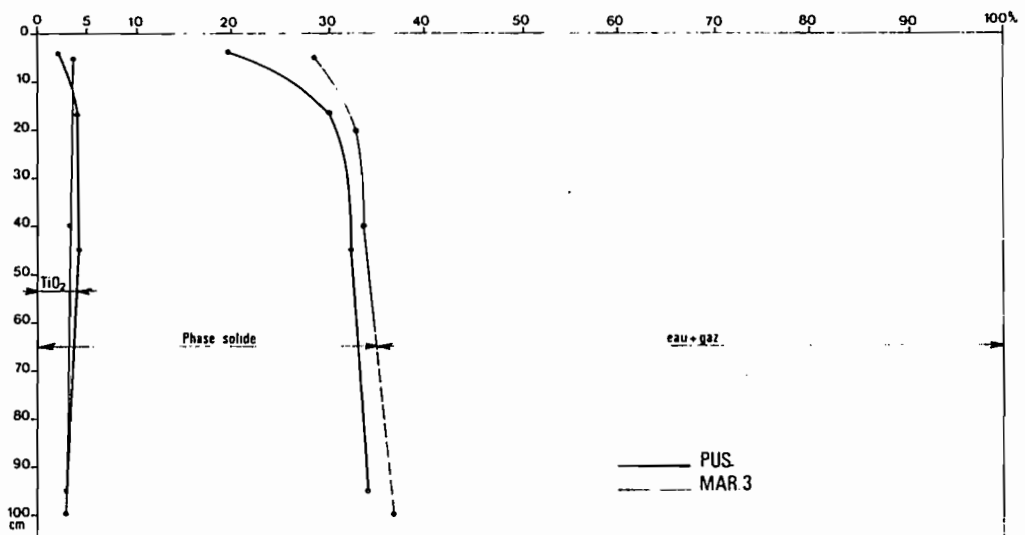
Les analyses totales n'y concernent qu'un nombre assez réduit de profils, une dizaine échelonnés de bas en haut de ces planèzes, entre les côtes 5 et 700 mètres (sur 9 km et une pente moyenne de 8 %).

Il en ressort la nette croissance de la teneur en titane des horizons supérieurs des sols du bas des planèzes (valeurs moyennes en %).

Profondeur cm	0-10	40-60	110-120	140-150	200-220
Bas de planèze	16,2	14,7	10,2	9,8	
Haute de planèze	13,1	10,2	10,2	9,8	8,8



Densité apparente mesurée in situ
de trois sols ferrallitiques
sur roche basaltique



Volumes occupés par la phase solide totale
et par le titane

En corrélation avec l'accroissement de la teneur en oxydes lourds, la densité réelle de ces sols croit vers la surface : jusqu'à 3,6 contre 3,1 à 3,2 plus profondément (densité d'un basalte microlithique mesurée au densitomètre Goguel : 2,7). La densité apparente mesurée sur trois profils des bas plateaux apparaît, au contraire, faible : 0,7 à 1 pour l'horizon humifère, entre 1 et 1,2 pour le ou les 2 mètres sous-jacents (variations jusqu'à 0,8 ou 1,6) reflétant une porosité élevée de 60 à 75 %. La partie occupée par la phase solide de ces sols correspond donc au tiers environ de leur volume total. Quand à l'oxyde de titane, il y occupe à lui seul, dans le mètre supérieur, en moyenne 3,2 % de ce même volume.

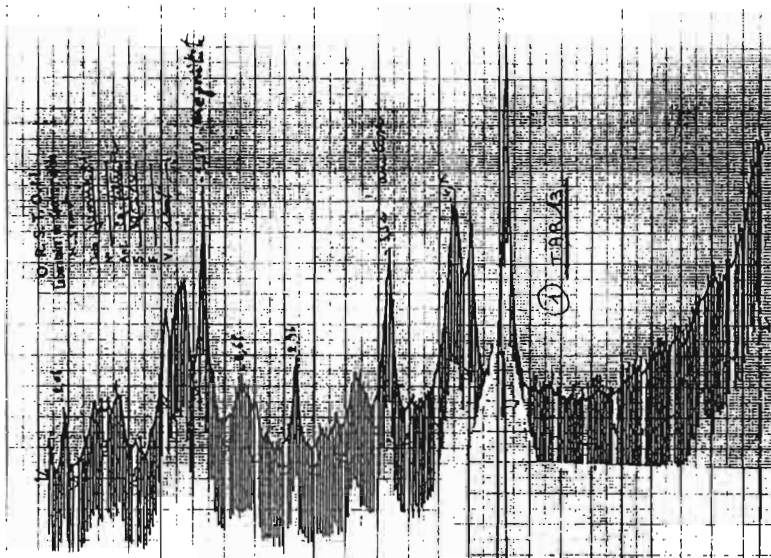
Les sols des bas plateaux de la presqu'île, les plus riches en cet élément, recèlent donc jusqu'à la profondeur de 1 mètre, environ 130 kg de TiO_2 par m^2 , soit 1300 tonnes à l'hectare. Entre la profondeur de 1 et 2 mètres, la teneur volumique, ne décroît que faiblement. Au-delà de 2 mètres, les teneurs, décroissantes, restent à vérifier.

5 - Formes du titane dans les sols :

L'observation microscopique de lames minces de roches permet d'y déceler des grains de titano-magnétite et des augites titanifères (J.F. Parrot - ORSTOM).

Dans les sols (sols colluviaux-alluviaux exceptés), tout au moins en leurs horizons supérieurs, les augites ont disparu, libérant leur titane. La magnétite, présente dans la plupart des sols, y est parfois abondante et c'est alors sous forme de titano-magnétite que se trouve vraisemblablement la plus grande fraction du titane du sol, titane très fortement lié au fer (voir page 13 : diffractogramme de MAR 33, raie intense à $2,52\text{\AA}$). De même une partie du fer de l'hématite, abondante dans certains de ces sols, peut être remplacée par du titane, conduisant à de la titano-hématite (Caillère-Hénin - 1963). Les diffractogrammes de R-X montrent d'autre part, très fréquemment un pic à $3,52\text{\AA}$, parfois très important (voir page 13 diffractogramme de MAU45) et caractéristique de l'anatase, minéral accessoire des roches éruptives.

Dans certains sols semble prédominer l'anatase, dans d'autres la titano-magnétite ou la titano-hématite, dans d'autres encore (TAR 7) semble s'établir un équilibre entre ces différentes formes.

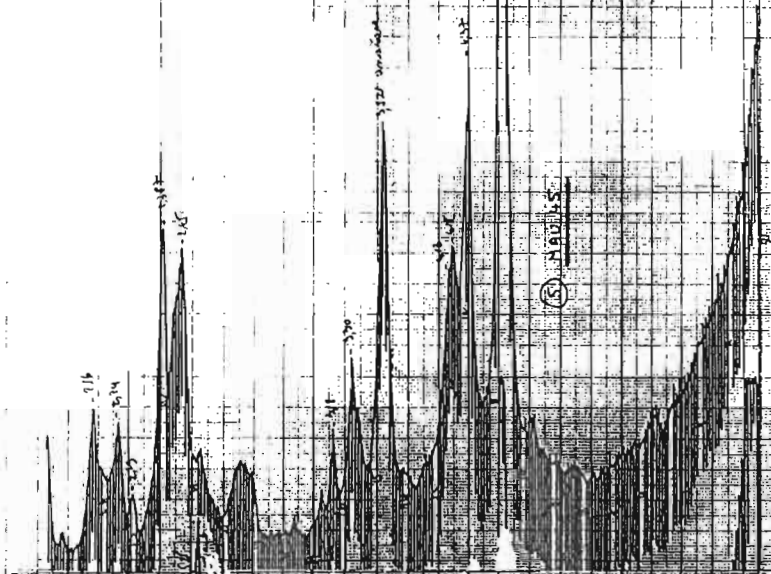


Prof. = 0,40 m.

TiO₂ = 15,6%

Fe₂O₃ = 46,5%

Al(OH)₃ = 28%

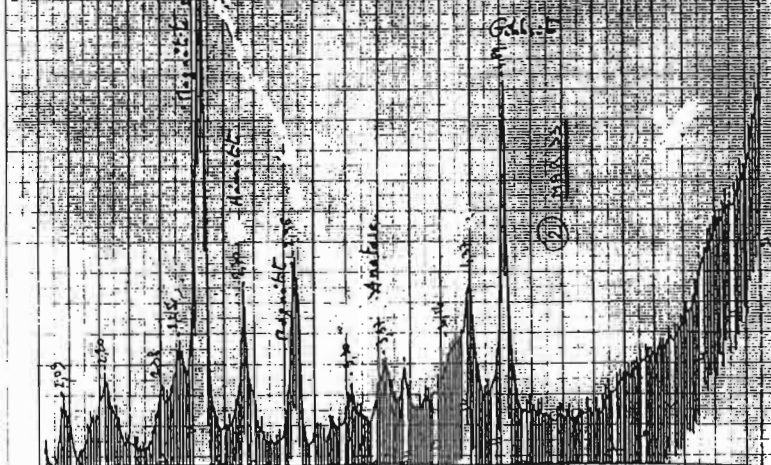


Prof. = 1,20 m.

TiO₂ = 15,2%

Fe₂O₃ = 35%

Al(OH)₃ = 39%

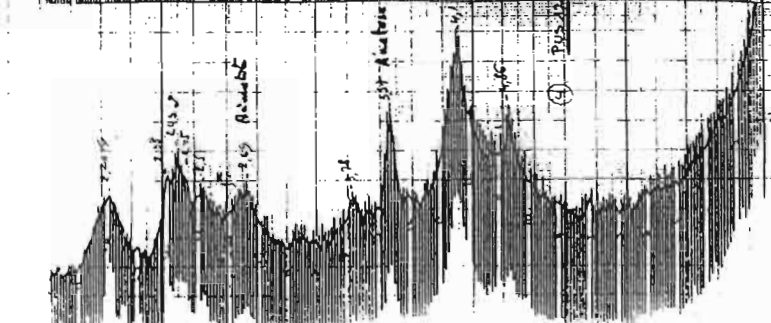


Prof. = 0,35 m.

TiO₂ = 12%

Fe₂O₃ = 44%

Al(OH)₃ = 25%



Prof. = 0,20 m.

TiO₂ = 14,5%

Fe₂O₃ = 54,5%

Al(OH)₃ = 14%

Diffractogrammes de R.X (Sol total).

CONCLUSION

Les roches de Tahiti, essentiellement basaltiques sont, avec des teneurs généralement comprises entre 3 et 4 %, riches en titane (TiO_2). Les sols qui en sont issus renferment donc aussi du titane, élément stable s'il en est, et à des teneurs généralement supérieures à 5 %. Les plus riches sont ceux des "plateaux", parties peu érodées des planèzes, elle-mêmes témoins de la pente primitive, et tout particulièrement les sols des "plateaux" sous le vent de la presqu'île qui renferment de 10 à 15 % de TiO_2 jusqu'à un mètre.

Dès le début de l'altération, puis au cours de la pédogenèse, les éléments solubles dont la silice et les bases, à l'exception parfois d'une partie du magnésium, ont été entraînés par les eaux de percolation. De même, les horizons supérieurs ont-ils été appauvris en aluminium dont apparaît une certaine accumulation illuviale à la base des profils. Il en est résulté un net enrichissement relatif des horizons de surface en les éléments à la fois les plus lourds et les plus stables, fer et titane, qui peuvent, dans les décimètres supérieurs de certains oxydisols des bas de plateaux de la presqu'île, y représenter plus de 70 % du poids du sol dont environ $3/4$ de Fe_2O_3 et $1/4$ de TiO_2 .

Ces sols acides, constitués pour l'essentiel par une accumulation des trois oxydes ou hydroxydes de fer, titane, aluminium et dépourvus d'argile sont, malgré leur richesse en matière organique, très pauvres chimiquement, de charge largement variable avec le pH et très fortement désaturés. Malgré leur faible capacité de rétention pour l'eau, mais parce qu'ils offrent une grande résistance à la détérioration physique, y compris sous culture mécanisée et surtout du fait de leur localisation topographique des plus favorables, ils sont, malgré tout, avec ceux de la plaine littorale, à condition qu'y soient apportés les engrais adéquats, les plus propices à la mise en valeur : les pâturages y occupent de grandes superficies, les cultures maraîchères et fruitières s'y développent.

BIBLIOGRAPHIE

- BROUSSE (R.), 1969 - Compte-rendu de la mission Museum VI - C.E.A. - S.M.C.B., Papeete.
- CAILLERE (S.), HENIN (S.), 1963 - Minéralogie des argiles, Masson et Cie. éditeurs - Paris.
- C.P.C.S., 1967 - Classification des sols. Laboratoire Géologie-Pédologie E.N.S.A. Grignon.
- DENUFBOURG (G.), 1965 - Carte géologique à l'échelle 1/40.000. Notice explicative de la feuille Tahiti . B.R.G.M. - Paris.
- DUNCAN (R.), Mc DOUGALL, 1976 - Linear volcanism in French Polynesia. T. Volc. and geotherm. Rés., 1, 197-227 - Elsevier.
- FAUCK (R.), LAMOUREUX (M.), PERRAUD (A.), QUANTIN (P.), ROEDERER (P.), VIEILLEFON (J.) et SEGALEN (P.), 1979 - Projet de la classification des sols. Services Scientifiques Centraux de l'ORSTOM. Bondy-France.
- JAMET (R.), 1980 - Les sols de planèzes de Tahiti, évolution sous l'influence de reboisements en pin des Caraïbes. Centre ORSTOM de Papeete-Tahiti.
- JAMET (R.), 1981 - Carte pédologique de la Polynésie Française à 1/40.000. Notice explicative. Presqu'île de Tairapu. Centre ORSTOM de Papeete-Tahiti.
- JAMET (R.), 1982 - Evolution des sols de Tahiti sous l'influence de cultures maraîchères intensives. Centre ORSTOM de Papeete-Tahiti.
- JAMET (R.), 1983 - Carte pédologique de la Polynésie Française 1/40.000. Notice explicative. Tahiti (4 cartes). Centre ORSTOM de Papeete-Tahiti.
- Mc BIRNEY (AR.), AOKI (K.), 1968 - Petrology of the island of Tahiti Geol. Soc. Amer. Mem. 116.
- STEARNS (H.T.), 1966 - Geology of the state of Hawaii. Pacific Books. Palo Alto - California.
- TERCINIER (G.), 1974 - Cristallochimie des sols ferrallitiques totalement désilicifiés d'une région très humide de l'Océanie Intertropicale. C.R. 10è Congrès Int. de la Sci. du Sol. Moscou, Vol. V - p. 61-68.