

V. 42. — Formation d'une cuirasse ferrugineuse et manganésifère en région latéritique

PAR

J. Riquier ⁽¹⁾

(I. R. S. M., Tananarive, Madagascar)

Au cours de nos prospections pédologiques à Madagascar nous avons rencontré une dizaine de fois ce type de cuirasse et chaque fois dans les mêmes conditions topographiques, hydrologiques et pédologiques. Les unes étaient fossiles, c'est-à-dire que l'évolution était arrêtée et les conditions de formation n'étaient plus visibles, par contre d'autres étaient en formation actuelle. C'est une de ces dernières, dont la genèse se présentait directement à l'œil de l'observateur, que nous allons décrire.

C'est une cuirasse d'aspect assez typique, noire et caverneuse, que nous distinguons des vraies cuirasses latéritiques grâce à son mode de formation bien caractérisé. L'analyse chimique montre une concentration de fer et de manganèse mais non d'alumine bien qu'elle se soit formée en climat latéritisant. Cette espèce de cuirasse se rencontre localement dans des alluvions anciennes mais ne présente jamais une très grande surface. Sa caractéristique principale est sa formation à partir d'un courant d'eau souterrain riche en humate ferrique.

La cuirasse que nous allons décrire se trouve sur la route Tananarive-Arivotimamo à 20 km de Tananarive.

Conditions de formation.

Climat des régions où nous les avons rencontrées :

Tananarive : pluviosité 1.362 mm (5 mois au-dessous de 20 mm),
 température moyenne annuelle : 18°8 C.

(1) Maître de Recherches de l'O. R. S. T. O. M., pédologue de l'I. R. S. M.

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

Collection de Référence

n° 17305

Lac Alaotra : pluviosité 1.114 mm (5 mois au-dessous de 20 mm),
température moyenne annuelle : 20°5 C.

Tsiroanomandidy : pluviosité 1.658 mm (5 mois au-dessous de
20 mm), température moyenne annuelle : 22°4 C.

Pédologie : Alluvions latéritiques anciennes de couleur
jaune (anciennes terrasses surélevées par rapport à la vallée
actuelle) ou colluvions recouvrant des pénéplaines anciennes, donc
en général sols à drainage gêné.

Dans le cas envisagé une mare temporaire plus ou moins tour-
beuse se trouve à environ 100 m de la cuirasse dans une dépression
du plateau. Cette dépression collecte l'eau, qui s'écoule ensuite
souterrainement jusqu'à l'affleurement de la tranchée de la route
(fig. 2). La cuirasse a été dégagée par le bulldozer, le profil
du sol le long de la tranchée se présente suivant la coupe n° 3.
Un profil pédologique plus détaillé est décrit et figure dans le profil
n° 4 effectué suivant la section AB.

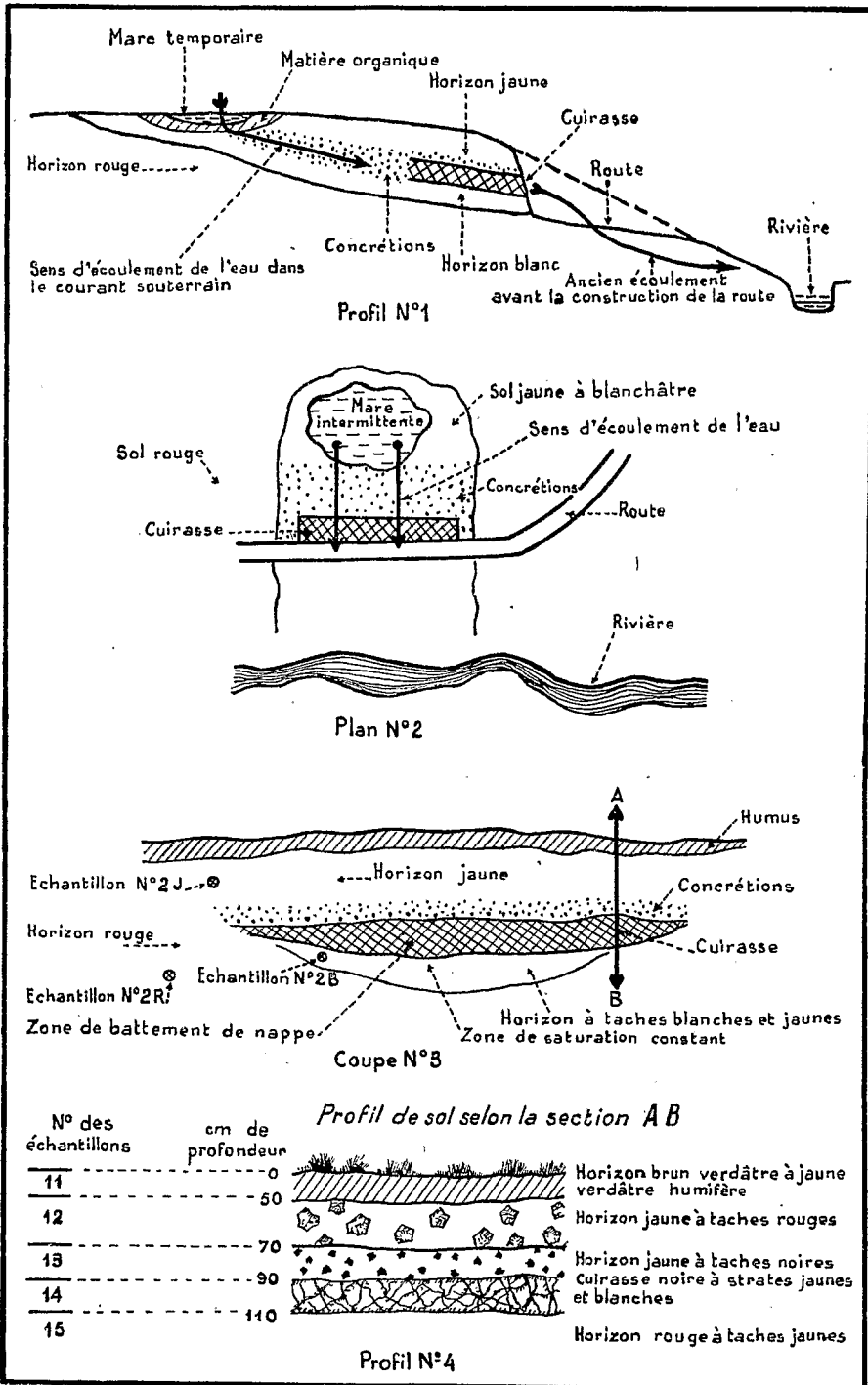


Figure 1. — Cuirasse fossile en démantèlement
sur les alluvions latéritiques anciennes du lac Alaotra.

Description de la cuirasse observée.

Elle se présente sous forme d'une lentille de 100 m de long envi-
ron sur 0,50 à 1 m d'épaisseur. Elle est constituée par un réseau
noirâtre ou rougeâtre (voir photo) qui enserme dans ses mailles

Figure 2.



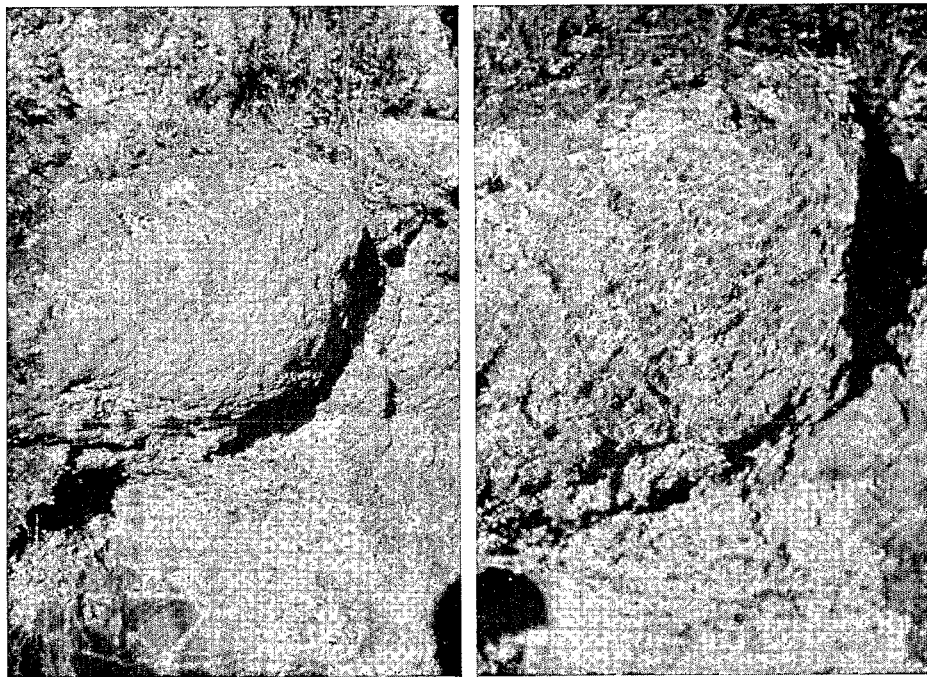


Figure 3. — Cuirasse de la région de Kianjasoa et sol sous-jacent dont le profil a été rafraîchi à la bêche (à gauche); même cuirasse mais sectionnée au pic (à droite).

un sol jaune plus ou moins poudreux à l'état sec. La teinte rougeâtre forme souvent auréole autour de la teinte noire. Toutes les formes de passage existent entre cette réticulation formant le squelette de la cuirasse et les concrétions noirâtres isolées au milieu du sol jaune. Ces concrétions se trouvent surtout à la partie supérieure et sur les bords de la cuirasse. Elles se trouvent à différents stades de durcissement. Les unes ne sont que des taches colorées dans la masse du sol. La coupe n° 3 et la photo montrent le passage de haut en bas de ces taches, aux concrétions, et à la cuirasse.

La cuirasse, elle-même, est relativement tendre dans la partie humide. Par contre, les blocs sortis depuis une quinzaine de jours et posés simplement à la surface du sol (où ils se sont desséchés) possédaient une forte cohésion et méritaient presque le terme de roche.

Le fait primordial à noter est le suintement de l'eau le long de la paroi du talus. Le mouvement de l'eau est transversal et la section de ce courant par le talus de la route a mis en évidence cet écoule-

ment qui se produisait autrefois d'une manière diffuse dans une prairie en contre-bas. Nous croyons avoir remarqué que les pisolithes, les concrétions, naissent lorsque l'eau du profil est stagnante ou circule très lentement (sol très argileux), par contre les cuirasses anastomosées, cavernueuses ou lamellaires, prennent naissance lorsque l'eau se déplace latéralement dans un horizon perméable reposant sur un horizon imperméable (souvent argile tachetée de lithomarge sur la roche mère).

Analyses.

Nous avons analysé divers échantillons du profil représenté sur la photo et décrit sur la figure 2. D'autre part, d'autres prélèvements et d'autres analyses ont été effectués sur des parties de sol colorées en rouge, en jaune et en blanc pour permettre la comparaison des propriétés physiques et chimiques de ces faciès d'un même sol originel (voir emplacement des échantillons 2R, 2J, 2B sur la coupe n° 3).

Enfin nous avons fait une analyse au triacide d'un fragment de cuirasse, d'une partie jaune et d'une partie noire de cette même cuirasse.

Les résultats sont donnés dans le tableau I.

Commentaires des analyses.

Le pH ne peut expliquer une précipitation du fer et du manganèse dans l'horizon cuirassé.

Nous constatons une texture plus grossière (moins d'argile) dans les parties jaunes et la zone de formation de la cuirasse, c'est-à-dire :

- 1) une plus grande perméabilité;
- 2) le passage préférentiel de l'eau à cet endroit;
- 3) une plus grande aération du sol durant la saison sèche.

Dans l'horizon de concrétionnement la matière organique est surtout riche en acide fulvique, forme essentiellement mobile de l'humus et principal solubilisant du fer.

Le principal résultat de l'analyse totale est la mise en évidence de la quantité de fer et de manganèse présente dans la zone de concrétionnement. La teneur en éléments grossiers et en acide fulvique est plus grande dans les horizons blanchâtres que dans les

TABLEAU I

Numéro des échantillons	11	12	13	14	15	2R	2J	2B	Analyse totale de la cuirasse	Parties de la cuirasse	
										jaunes	noires
pH... ..	6,8	6,5	6,5	6,5	6,5	6,6	6,7	6,6	—	—	—
<i>Granulométrie :</i>											
Terre fine (%)											
Argile (%)	22,1	18,1	18,5	10,1	16,2	20,2	6,0	—	—	—	—
Limon (%)	18,3	18,7	12,8	12,6	15,1	21,5	12,8	—	—	—	—
Sable fin (%)	27,9	39,5	47,3	52,4	41,1	37,0	54,3	—	—	—	—
Sable grossier (%)	26,1	17,7	14,6	18,7	21,9	15,7	21,8	—	—	—	—
Humidité (%)... ..	3,35	4,55	5,57	4,13	4,30	3,49	3,27	—	—	—	—
<i>Matière organique (%) :</i>											
Matière organique	24,7	15,1	13,0	22,7	14,4	22,2	19,2	14,4	—	—	—
Acide humique	3	1	0,4	1	1	1,4	1,4	0,2	—	—	—
Acide fulvique	3	0,4	0,4	1,4	0,6	0,2	0,6	0,6	—	—	—
Carbone organique	14,4	8,8	7,6	13,2	8,4	13,2	11,2	8,4	—	—	—
Azote total	0,87	0,25	0,32	0,13	0,11	0,20	1,00	1,10	—	—	—
Rapport C/N	16,5	35,2	23,7	100	76,3	66,0	11,2	7,6	—	—	—
Mat. hum. précipitables × 100									—	—	—
Mat. hum. solubles alcali	50	71	50	41	62	87	70	25	—	—	—

TABLEAU I (suite).

Numéro des échantillons	11	12	13	14	15	2R	2J	2B	Analyse totale de la cuirasse	Parties de la cuirasse	
										jaunes	noires
<i>Complexe absorbant :</i>											
CaO échangeable (%)	0,76	0,39	0,50	0,56	0,67	—	—	—	—	—	—
MgO échangeable (%)	0,07	0,06	0,06	0,04	0,08	—	—	—	—	—	—
K ₂ O échangeable (%)	0,04	0,02	0,06	0,03	0,02	—	—	—	—	—	—
T	8,71	9,00	10,71	13,71	12,42	—	—	—	—	—	—
S	3,14	1,73	2,21	2,26	2,83	—	—	—	—	—	—
V	36,00	19,2	20,6	16,4	22,7	—	—	—	—	—	—
P ₂ O ₅ assimilable	0,016	0,024	0,020	0,030	0,026	0,024	0,022	0,026	—	—	—
<i>Éléments totaux (%) :</i>											
CaO	2,84	2,35	2,13	2,84	2,49	2,35	2,35	2,49	—	1,82	—
MgO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
K ₂ O	0,11	0,14	0,14	0,24	0,21	0,18	0,14	0,18	—	0,14	—
P ₂ O ₅	0,58	1,20	1,48	3,68	1,95	0,87	1,74	0,68	—	4,11	—
SiO ₂	610,3	395,6	425,5	219,3	293,8	308,7	388	552,6	232,3	374,6	112,2
SiO ₂ combinée	116,2	242,2	238,8	203	237	234,4	219,7	244,5	193,7	280	192,6
Fe ₂ O ₃	50	50	75	266,5	116	112,5	75	75	200	70	250
Al ₂ O ₃	97	175,5	132,5	144	226,5	202	177,5	118,5	167	114,0	205
TiO ₂	8	6,5	10	10	6,5	11	6,5	8	11	—	—
MnO	1,5	1,82	2,22	12,1	1,75	—	—	—	12	0	32,8
Perte au feu	98,8	125,7	122	150,9	12,02	—	—	—	160,3	154,6	190,6
Rapport SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,0	2,3	3,0	2,3	1,7	1,9	2,0	3,5	1,9	4,1	1,5

autres horizons. La teneur en fer total est inférieure dans les parties jaunes ou blanches à celles des parties rouges, ce qui indique un départ du fer.

L'analyse totale de la cuirasse proprement dite montre une accumulation de fer et de manganèse dans la partie noire, par contre l'alumine est en quantité à peu près équivalente dans la cuirasse et le sol adjacent.

Une analyse bactériologique (tableau II) indique un maximum de bactéries anaérobies et un minimum de germes cellulolytiques dans les horizons blancs ou jaunes par rapport aux horizons rouges. Ces horizons sont donc plus humides et moins aérés.

TABLEAU II

Echantillon	Densité des bactéries fixatrices d'azote :		Densité des bactéries cellulolytiques
	en aérobiose	en anaérobiose	
2 B	0	160	110
2 R	0	80	480
2 J	0	310	150

Genèse de la cuirasse.

Il y a entraînement du fer et du manganèse sous la mare par la matière humifère et en conséquence blanchiment des horizons inférieurs tout le long du courant d'eau souterrain. Deux processus jouent ensuite pour le dépôt de ces éléments :

1) Dans les endroits les plus perméables l'eau coule plus activement et s'aère mieux, il y a oxydation et dépôt du fer et du manganèse le long des capillaires du sol. Les suintements sont constatés le long du talus, là où précisément se forment les dépôts noirâtres de fer et de manganèse en réseau. Des bactéries ferrugineuses jouent peut-être un rôle dans l'oxydation.

2) Au cours de la saison sèche il y a des battements de nappe. L'eau, chargée de fer, dépose ce fer par dessiccation locale d'où les concrétions. La partie qui reste saturée toute l'année est blanche donc sans fer ferrique.

Les processus de migration du fer sont donc les mêmes en sols latéritiques que dans les sols tempérés. Nous rejoignons les conclusions de BÉTRÉMIEUX (1). Il semble d'ailleurs que notre cuirasse ressemble à celle de N'Gabrin N'Golo (Kéré) décrite par ce même auteur.

Conclusions.

Bien que les phénomènes de formation de cuirasse latéritique soient en bien des points semblables (influence de la nappe phréatique, etc.) nous distinguerons la cuirasse présente des cuirasses latéritiques typiques. Sa couleur plus noire, la présence de manganèse, l'absence de concentration d'alumine en sont les caractères distinctifs. Sa présence locale sur les rebords des plateaux et dans les pénéplaines la font souvent confondre avec une cuirasse latéritique proprement dite surtout lorsqu'elle est fossile. Nous la dirons fossile lorsque les conditions qui ont présidé à sa formation ont disparu (comblement de la mare par sédimentation, drainage modifié par capture d'un ravin, etc.).

Nous avons voulu signaler à l'attention des pédologues les conditions de topographie et d'hydrologie qui ont contribué à la genèse de la cuirasse envisagée afin qu'ils puissent repérer des cuirasses similaires et peut-être étendre les résultats à d'autres cuirasses.

Nous soulignons que l'étude des cuirasses nécessite :

- 1) l'observation d'une cuirasse en formation et non fossile (on la reconnaît en général à ce qu'elle n'est pas encore durcie);
- 2) la connaissance parfaite de tous les sols qui l'entourent (bien souvent on ignore les horizons sous-jacents peu accessibles);
- 3) la connaissance parfaite de tous les mouvements de l'eau dans le sol;
- 4) l'étude chimique, microbiologique et physique non seulement de la cuirasse mais de tous les environs;
- 5) le relevé exact de la topographie.

Cette étude montre aussi que les processus pédologiques (migration du fer) peuvent être les mêmes en pays tempérés (podzols par exemple) qu'en région tropicale (sols latéritiques dans le cas présent) bien qu'ils agissent sur un matériel différent à l'origine.

RÉFÉRENCE

1. BÉTRÉMIEUX. — Etude expérimentale de l'évolution du fer et du manganèse dans les sols, *Ann. Agron.*, 3, p. 193-295 (1951).

RÉSUMÉ. — L'A. explique, à l'aide d'observations sur le terrain et d'analyses de laboratoire, la genèse d'une cuirasse ferrugineuse et manganésifère en région tropicale.

La principale particularité de ce type de cuirasses est sa formation à partir d'un courant d'eau souterrain riche en humate ferrique sous des conditions topographiques, hydrologiques et pédologiques particulières (sol à drainage gêné). Le fer et le manganèse, charriés par la matière humifère, se déposent suivant deux processus : dans les endroits les plus perméables, l'eau coule plus rapidement et s'aère mieux, il y a oxydation et dépôt le long des capillaires; en saison sèche, suite aux battements de la nappe phréatique, l'eau chargée de fer dépose celui-ci par dessiccation locale.

La couleur de ces cuirasses plus noire, la présence de manganèse et l'absence d'alumine les différencient des cuirasses latéritiques.

L'étude de telles cuirasses nécessite l'observation d'une cuirasse en formation et de préciser les conditions topographiques hydrologiques et pédologiques.

SUMMARY. — The author explains by means of field observations and laboratory analyses the formation of a ferruginous and manganiferous crust in a tropical region.

The genesis of the crust is ascribed to the movement of iron and manganese which are dragged along by the humiferous material; these elements are oxidized and deposited along the soil capillaries; during the dry season, owing to the movement of the water table, the iron is deposited by local desiccation resulting in concretions.

This crust differs from the typical lateritic crusts by its darker colour, the presence of manganese and the absence of an alumina concentration.

The necessity to specify the topographical, hydrological and pedological conditions of the crust formation is emphasized.
