

Cah. O.R.S.T.O.M. sér. Pédol., vol. VII, n° 2, 1969.

CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DE LA COULEUR DES SOLS A SESQUIOXYDES DE LA ZONE INTERTROPICALE : SOLS JAUNES ET SOLS ROUGES⁽¹⁾

P. SÉGALEN ⁽²⁾

avec la collaboration technique de M^{me} F. ROBIN

RÉSUMÉ

Les sols rouges ou jaunes sont très largement répandus dans la zone intertropicale où la couleur demeure un élément essentiel de caractérisation.

Cette couleur a été attribuée depuis fort longtemps à la présence de produits ferrugineux. Mais les variations d'un sol à l'autre, ou à l'intérieur d'un sol, ont été attribuées tantôt à des causes climatiques très générales, à des variations de teneurs, au phénomène de lessivage, à une hydratation différente des produits ferrugineux. Puis, les constituants cristallisés ferrugineux essentiels eux-mêmes ont été invoqués : goethite et hématite. Enfin, plus récemment, les constituants amorphes ont été mis en cause.

Au cours de l'étude des produits amorphes des sols à sesquioxydes, les variations de couleur ont été suivies, pendant le traitement alternativement acide et alcalin préconisé, en même temps que le comportement aux rayons X.

La couleur des sols jaunes apparaît due uniquement à la goethite. Les sols rouges contiennent tous une petite quantité de produit amorphe qui disparaît rapidement au cours des traitements en découvrant les produits cristallisés colorés (goethite, hématite ou magnétite) ou incolores (minéraux argileux, gibbsite ou quartz).

ABSTRACT

Red and yellow soils extend very largely in the tropical zone where colour remains an important feature for the determination of soils.

(1) Ce travail a été réalisé avec le concours financier de la DGRST.

(2) SSC de l'ORSTOM, Bondy (France).

This colour depends on ferruginous products and this has been known for quite a long time. But differences between a soil and another have been explained by general climatic causes, by different contents, by leaching processes, by hydration of components. Later on the colour has been explained by different crystallised products such as haematite and goethite. More recently amorphous substances have been identified.

During the study of inorganic amorphous substances in sesquioxidic soils, variations of colour have been registered, as dissolution of iron proceeded, as well as the X ray diagrams.

The colour of yellow soils seems to be due only to goethite. The red soils contain all some amorphous iron oxides which are responsible for the colour. This material disappears readily during the dissolution, revealing the colored crystallized material (e.g. goethite, haematite or magnetite) or the uncolored ones (clay minerals, gibbsite or quartz).

PLAN

1. INTRODUCTION

2. MATÉRIEL ET TECHNIQUES

- 2.1. Dissolution ménagée ; autres techniques utilisées.
- 2.2. Les échantillons rouges et les échantillons jaunes.

3. RÉSULTATS OBTENUS ET DISCUSSION

- 3.1. Sols rouges.
- 3.2. Sols jaunes.

4. CONCLUSION

5. BIBLIOGRAPHIE

1. INTRODUCTION

Des observations pédologiques, faites de longue date en zone intertropicale, ont permis de constater que les sols se présentaient sous deux couleurs fondamentales, rouge ou jaune. Dans certains cas, le sol a un horizon B rouge, dans d'autres, cet horizon est jaune ; il est possible enfin d'avoir une superposition de jaune et de rouge.

Si l'épaisseur de l'horizon coloré est variable (quelques décimètres à plusieurs mètres), l'étendue occupée par un tel sol est considérable. Aussi la couleur a-t-elle constitué longtemps un critère immédiat de différenciation, facilement reconnaissable par tous sur le terrain. On lui a attribué une importance considérable et elle a servi et sert encore à la désignation des sols.

La répartition des sols d'après leur couleur a été effectuée dans de nombreux pays d'Afrique et d'Amérique. On peut citer, par exemple, l'Afrique du Sud avec VAN DER MERWE (1950), la Colombie (SCHAUFELBERGER, 1951), la Côte d'Ivoire (DABIN, 1964 ; LENEUF et RIOU, 1963), la Nigéria (SMYTHE, 1963), etc. On s'est efforcé dans ces pays de localiser les sols rouges et jaunes et de les mettre en relation avec un régime climatique. Cette répartition a été traduite dans la carte des sols d'Afrique et de Madagascar où d'HOORE (1963) a distingué les unités cartographiques « sols ferrallitiques à dominante jaune » et « sols ferrallitiques à dominante rouge ».

Cette relation couleur-climat est donc très largement justifiée. Elle souffre cependant des exceptions. Certains sols, en zone équatoriale, demeurent rouges. Ils sont liés, le plus souvent, à des roches-mères basiques. Par ailleurs, en zone tropicale, apparaissent des zones à sols jaunes qu'on peut alors mettre en relation avec un drainage local médiocre.

On peut se demander à quoi sont dues ces colorations jaune ou rouge. Différentes explications ont été proposées pour rendre compte de la couleur de ces sols et l'on a songé tout naturellement aux produits ferrugineux trivalents.

On peut, en effet, dissoudre sélectivement les produits ferrugineux comme l'ont fait WAEGEMANS et HENRY (1954), KAMOSHITA et YAMADA (1956), par exemple, qui constatent que l'enlèvement du fer suffit à faire disparaître la couleur vive notée. Mais on ne peut établir de relation quantitative entre la teneur en fer et la couleur, et MAIGNIEN (1958), qui l'avait tenté, a montré qu'il n'y avait pas de relation entre la couleur et la teneur en produits ferrugineux. WAEGEMANS et HENRY (1954) ont essayé, sans succès, de mettre la couleur en relation avec le degré d'hydratation des sols.

On a pensé que certaines variations de couleur dans un profil (Madagascar, par exemple, où la partie supérieure est jaune et la partie inférieure rouge) étaient dues au lessivage du fer. Certes, on peut mettre en évidence des sols où les horizons jaunes sont plus pauvres en fer que les horizons rouges, mais on peut également constater l'inverse (SEGALEN, 1951). Par conséquent, les différences entre les teneurs globales en produits ferrugineux ne peuvent seules être prises en considération.

La nature des produits ferrugineux a été également envisagée. PLICE (1943), DECRAENE et LARUELLE (1956), KUBIENA (1956), KOJIMA (1962), WAEGEMANS et HENRY (1954), SCHWERTMANN et LENTZE (1966) ont trouvé que la couleur rouge des produits était due à l'hématite tandis que la couleur jaune était due à la goethite. Ceci est vrai pour un certain nombre d'échantillons, mais ne s'est pas révélé entièrement satisfaisant. KAMOSHITA et YAMADA (1956) estiment que le fer libre est responsable de la couleur du sol qu'ils font disparaître, dans certains cas, par un traitement au sulfure de sodium. SCHWERTMANN et LENTZE (1966) ont constaté que les sols rouges traités par l'oxalate d'ammonium, pour enlever les produits amorphes, ont une couleur moins rouge. Dans une étude sur les sols du Viet-Nam, HERBILLON et al. (1966) ont estimé que la couleur des sols podzoliques rouges et jaunes était à mettre en relation avec la présence de produits amorphes pour les sols rouges, de goethite pour les sols jaunes. SOILEAU et McCracken (1967) ont estimé que les produits amorphes avaient un rôle prépondérant dans l'appréciation de la couleur et qu'il y avait lieu d'en tenir compte.

Au cours des travaux relatifs à la mise au point d'une méthode destinée à l'estimation des constituants amorphes des sols à hydroxydes (SEGALEN, 1968), il est apparu rapidement que les produits amorphes influençaient fortement la couleur des sols. Après l'étude des sols méditerranéens (LAMOUROUX et SEGALEN 1969), des sols rouges et jaunes des régions équatoriales et tropicales ont été examinés. Il est apparu que, dans tous les sols étudiés, la couleur jaune ou jaune orangée était bien due à la goethite, tandis que la couleur rouge était due à des produits amorphes recouvrant des produits ferrugineux cristallisés de couleur variée.

2. MATÉRIEL ET TECHNIQUES

2.1. MATÉRIEL ÉTUDIÉ

Deux lots d'échantillons ont été choisis parmi ceux en provenance de la zone intertropicale et considérés comme représentatifs des sols jaunes et des sols rouges. Il s'agit d'horizons B où les teneurs en matière organique sont faibles. Certains d'entre eux ont déjà fait l'objet de déterminations, au cours de précédents travaux (SEGALEN, 1968).

TABLEAU I. — PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES SOLS ROUGES EXAMINÉS.

N°	Argile %	pH	V %	Constituants cristallisés	Fe ₂ O ₃ Tot. %
MAD 1	12,5	5,5	2	Kaolinite, gibbsite, hématite, magnétite	29,4
HY 82	34,0	4,5	10	Kaolinite, illite (peu), goethite	17,8
DIV 113	49,0	4,6	35	Kaolinite, illite (peu), goethite	12,4
GBR	80,1	5,0		Kaolinite, illite, hématite, goethite	13,7
GOD 3	45,0	5,2	35	Kaolinite, hématite	3,6
BAN 9	36,0	6,1	71	Illite, kaolinite (peu)	7,0

TABLEAU 2. — PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES SOLS JAUNES EXAMINÉS.

N°	Argile	pH	V %	Constituants cristallisés	Fe ₂ O ₃ Tot. %
B 172	≠ 50	≠ 4,8	3	Kaolinite, gibbsite, goethite	19,5
C 146	77	4,7		Kaolinite, gibbsite, goethite	21,5
YAP 1,5	38,5	4,5	12	Kaolinite, illite, goethite	9,5
GB J	56,1	4,9		Kaolinite, illite (trace), goethite	9,0

Sols rouges

MAD 1 Sol ferrallitique dérivé de basalte à Arivonimamo (Madagascar).

HY 82 Sol ferrallitique dérivé de gneiss entre Mbalmayo et Yaoundé au Cameroun.

- DIV 113 Sol ferrallitique dérivé de gneiss près de Divo (Côte d'Ivoire).
GBR Sol ferrallitique dérivé de marnes de Mvone (Gabon).
GOD 3 Sol ferrallitique dérivé de continental terminal à Godomey (Dahomey).
BAN 9 Sol ferrallitique de Mayo Bangaï dérivé d'amphibolite au Cameroun Nord.

Sols jaunes

- YAPO I.5 Sol ferrallitique dérivé de gneiss prélevé à Yapo (Côte d'Ivoire).
GBJ Sol ferrallitique dérivé de marne de Cocoabeach (Gabon).
B. 172 Sol ferrallitique dérivé de grandiocrite au pK 222,6 du chemin de fer de la Comilog près de Mossenjo (Congo-Brazzaville).
C. 146 Sol ferrallitique dérivé d'amphibolite, au pK 248 du chemin de fer de la Comilog près de Mossenjo (Congo-Brazzaville).

Les caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques essentielles de ces deux groupes de sols sont résumées dans les tableaux 1 et 2. Elles ont été obtenues aux laboratoires de chimie des sols (B. DABIN), et de spectrographie (M. PINTA), des S.S.C.

2.2. TECHNIQUES UTILISÉES

— La méthode de dissolution ménagée des produits minéraux a été utilisée (SEGALEN, 1968), telle qu'elle avait été préconisée pour les produits amorphes. La courbe cumulative a été prolongée bien au-delà des 6-8 extractions nécessaires ; 20 extractions ont été effectuées.

— L'examen des échantillons aux rayons X et par analyse thermique différentielle a été effectué sur les échantillons afin d'en connaître la composition minéralogique. Des déterminations ont été effectuées, avant et au cours des traitements pour suivre l'évolution des minéraux, par Mlle FUSIL au laboratoire de spectrographie des S.S.C. (M. PINTA).

— Les couleurs ont été estimées grâce au Munsell Color Chart au cours des traitements.

3. RÉSULTATS OBTENUS, DISCUSSION

3.1. SOLS ROUGES

L'étude de la déferrification fait apparaître les résultats suivants. La courbe de la teneur en oxyde de fer dissous en fonction du temps a, en gros, la même forme pour tous les échantillons : au début une montée rapide puis une branche droite à pente variable (fig. 1). Tous les échantillons contiennent des produits ferrugineux amorphes.

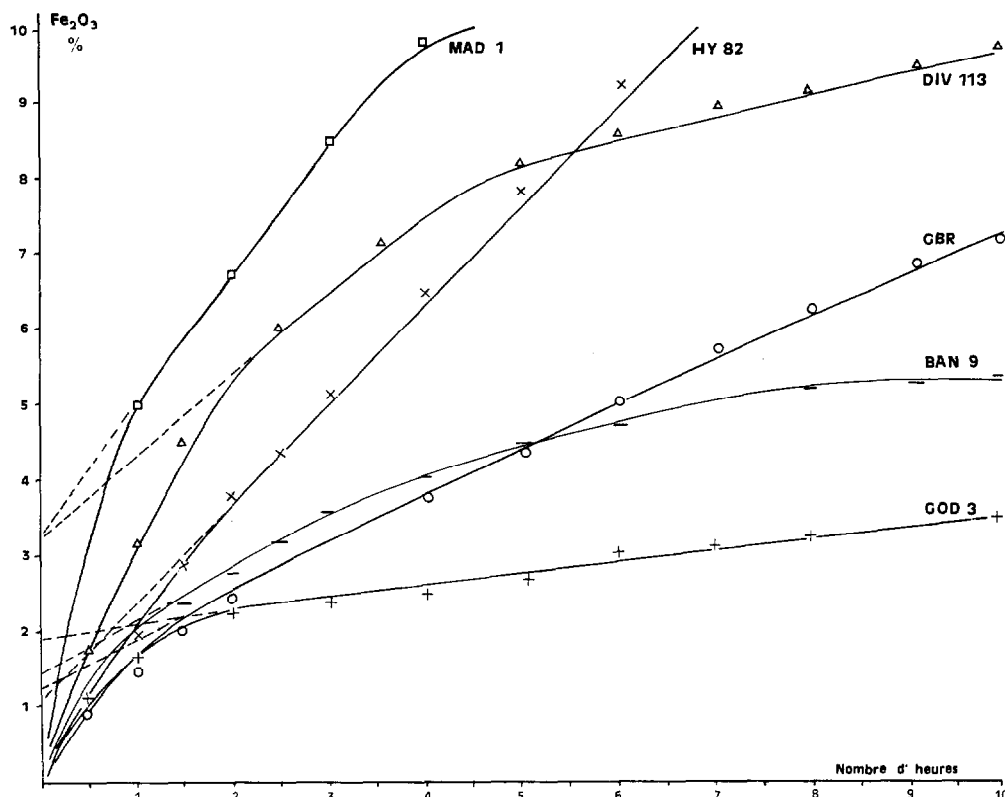


FIG. 1. — Courbe de dissolution du fer dans les sols rouges (pour MAD, $\times 2$).

Les échantillons GOD 3, GBR et BAN 9, contiennent entre 1 et 2 % d'oxyde de fer amorphe, enlevé rapidement ; puis du fer sous une forme cristallisée en quantité plus modeste ou plus difficilement attaquant qui passe plus lentement en solution.

Les échantillons DIV 113, HY 82, présentent entre 1 et 3 % de produits ferrugineux amorphes et des quantités plus importantes de produits cristallisés, ou plus faciles à dissoudre.

L'échantillon MAD 1 contient des quantités importantes de produits ferrugineux amorphes et cristallisés.

L'examen des échantillons, par diffraction des rayons X, montre que les produits cristallisés sont variés et ne disparaissent que lentement.

Les échantillons MAD, GOD, HY, BAN, ont été examinés lors d'un précédent travail (SEGALEN, 1968). On donne ici l'évolution de l'échantillon GBR (fig. 2).

Les minéraux argileux sont à l'illite (raies à 10,06 et 4,95 Å), un produit kaolinitique (raies à 7,23, 3,55 Å). Il n'y a pas de gibbsite ; du quartz est présent.

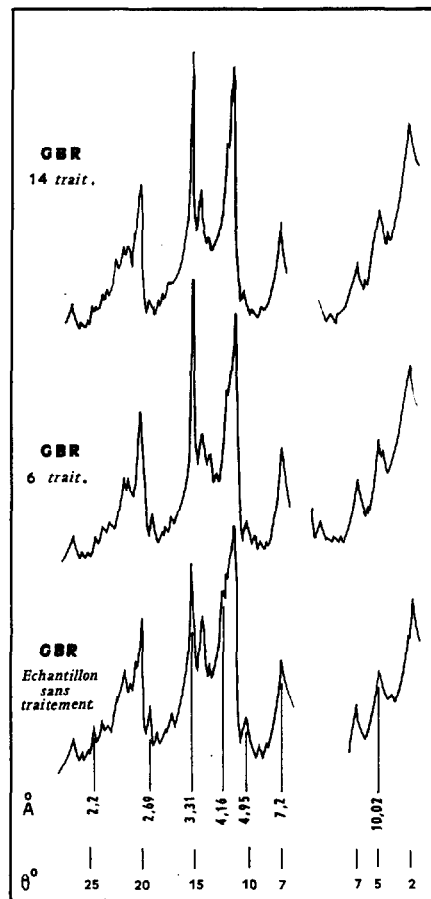


FIG. 2. — Evolution d'un sol rouge au cours de la déferrification.

Les produits ferrugineux sont goethite et hémateite.

La goethite est identifiée par les pics à 4,16 Å à 2,69 Å.

L'hémateite est identifiée par un pic à 2,21 Å et 2,69 Å.

Au cours des traitements, le pic à 4,16 Å disparaît, tandis que ceux à 2,21 et 2,69 Å se maintiennent encore faiblement au 14^e traitement.

L'examen de l'évolution de la couleur (tabl. 3) montre que tous les échantillons examinés ont une couleur rouge identifiable sur les planches 2,5 YR ou 5 YR du code Munsell. Dès le premier ou deuxième traitement, on note des changements notables de couleur qui passe aux planches 5 YR ou 7,5 YR ; tandis qu'au quatorzième traitement, on aboutit souvent à 10 YR. Dans le cas des sols rouges le traitement peut donc apporter des modifications importantes à la couleur.

Interprétation

Deux échantillons GOD 3 et GBR contiennent des quantités notables d'hématite. Après l'enlèvement d'une petite quantité de produits amorphes, la couleur demeure rouge par suite de la présence de l'hématite et on termine le cycle de déferrification sur une tonalité rouge, 5 YR pour GOD, 2,5 YR pour GBR.

L'échantillon MAD 1 contient une quantité importante de produits amorphes, de l'hématite et beaucoup de magnétite. L'enlèvement des produits amorphes fait passer très rapidement la couleur de 2,5 YR à 5 YR. Celle-ci pâlit à mesure que l'hématite s'en va, et à la fin du cycle il ne reste plus que la magnétite en présence de produits non colorés (kaolinite et gibbsite), d'où la couleur grise.

L'échantillon BAN 9 ne contient que des produits ferrugineux amorphes. Leur enlèvement se traduit par des couleurs grises dans la planche des 10 YR.

Les échantillons DIV 113 et HY 82 contiennent un peu de produits amorphes et de la goethite. Leur enlèvement se traduit par un changement vers le jaune, et les couleurs sont alors identifiées sur les planches 7,5 YR ou 10 YR.

Cet ensemble de résultats permet les constatations suivantes :

La couleur rouge des sols apparaît due, avant tout, à des produits ferrugineux amorphes qui recouvrent tous les autres produits du sol y compris les minéraux ferrugineux cristallisés. L'enlèvement de ces produits amorphes fait apparaître la teinte propre de ces minéraux, rouge pour l'hématite, jaune orangée pour la goethite, grise pour la magnétite et les minéraux primaires.

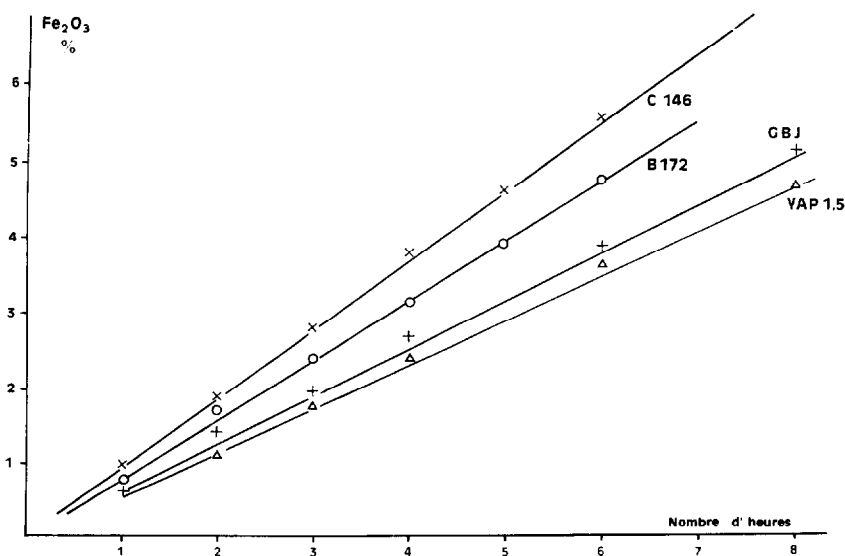


FIG. 3. — Courbe de dissolution du fer dans les sols jaunes.

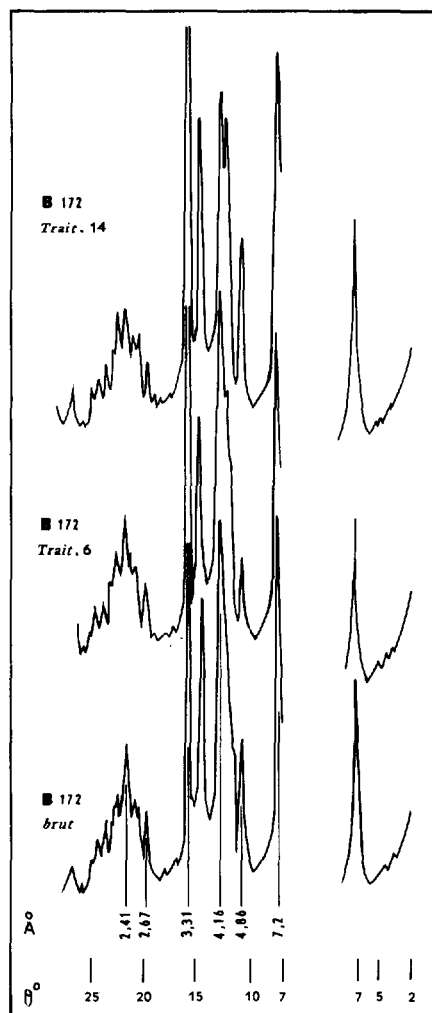


FIG. 4. — Evolution d'un sol jaune au cours de la déferrification.

3.2. SOLS JAUNES

Le groupe de 4 échantillons examinés fait apparaître un comportement unique. Le graphique des produits ferrugineux dissous en fonction du temps est une droite ; il n'y a pas de produits amorphes (fig. 3). Les minéraux argileux sont la kaolinite avec parfois un peu d'illite. La gibbsite peut être présente. La goéthite est le seul produit ferrugineux.

L'examen aux rayons X de l'échantillon B 172 (fig. 4) pendant le traitement de déferrification fait apparaître que la goéthite (pics à 4,16 et 2,69 et 2,41 Å) est encore importante après 14 traitements ; la hauteur des pics a seulement été un peu diminuée.

La couleur des échantillons subit peu de changements. Au départ, on note les couleurs sur les planches 7,5 YR ou 10 YR ; pendant la déferrification, on ne note que des changements très faibles (tableau 3).

TABLEAU 3. — EVOLUTION DE LA COULEUR EN FONCTION DE LA DÉFERRIFICATION.

		Sans traite- ment	1 30 mn	2 1 h	4 2 h	6 3 h	8 4 h	14 7 h
<i>SOLS</i>								
R	GB R	2,5 YR 3/6	→	2,5 YR 4/4	→	→	2,5 YR 5/4	→
O	GOD 3	2,5 YR 6/8	5 YR 4/6	5 YR 6/4	→	→	7,5 YR 7/2	→
U	MAD 1	2,5 YR 4/6	5 YR 3/4	5 YR 4/3	→	5 YR 4/2	5 YR 5/1	5 YR 5/3
G	BAN 9	5 YR 4/6	→	7,5 YR 6/4	10 YR 5/3	10 YR 6/3	10 YR 6/2	10 YR 6/1
E	DIV 113	2,5 YR 4/8	2,5 YR 6/8	2,5 YR 5/8	5 YR 6/6	→	7,5 YR 8/6	10 YR 8/3
S	HY 82	2,5 YR 5/8	5 YR 5/6	→	5 YR 6/4	7,5 YR 6/6	7,5 YR 6/4	7,5 YR 7/4
<i>SOLS</i>								
J								
A	B 172	10 YR 5/8	→	→	→	→	→	→
U	C 146	7,5 YR 5/8	→	→	→	→	→	7,5 YR 5/6
N	GB J	7,5 YR 6/6	10 YR 5/8	10 YR 5/6	10 YR 6/6	6 YR 6/4	7/4	10 YR 6/3
E	YAP 15	7,5 YR 7/6	7/4	6/6	→	→	10 YR 8/6	→
S								

Interprétation

Les produits amorphes n'existent pas dans ces sols ; la couleur du sol est due essentiellement à la goethite. Le traitement de déferrification dissout lentement ce produit et la couleur du sol n'est pas sensiblement modifiée.

4. CONCLUSION

L'examen d'un groupe d'échantillons en provenance de pays variés depuis la Côte d'Ivoire, le Dahomey, le Cameroun, le Gabon, le Congo et Madagascar, et appartenant aux sols à sesquioxydes permet les conclusions suivantes :

— Les sols jaunes doivent leur couleur à la présence de la goethite de teneur variable (jusqu'à 24 % pour C 146), en l'absence de produits amorphes.

La couleur des sols rouges est due, avant tout, à la présence de produits ferrugineux amorphes qui couvrent tous les autres constituants en cachant leur couleur propre, qui n'apparaît que lorsque le produit amorphe a été enlevé.

D'une manière générale, les sols rouges correspondent à des régions où, actuellement les conditions climatiques sont celles du régime tropical (une saison des pluies et une saison sèche très contrastées). Lorsque des sols rouges existent dans la zone où règne un climat équatorial, ils sont associés à des matériaux originels basiques ou déjà riches en hématite. Les sols jeunes sont à associer à des climats relevant du régime équatorial, d'humidité élevée et sans période sèche notable. En zone tropicale, les sols jaunes sont à associer à des conditions locales plus humides du sol mais sans phase réductrice.

En ce qui concerne les travaux de laboratoire concernant l'obtention de produits ferrugineux jaunes ou rouges, TAYLOR et GRALEY (1967) ont montré que les produits rouges apparaissent préférentiellement lorsqu'il y avait une dominance d'ions calcium et magnésium. Dans ses travaux sur la synthèse des complexes fer-silice-kaolinite, TRAN VINH AN (1967) a pu montrer que les complexes ordonnés ont tendance à rester jaunes, tandis que l'introduction de silice favorise l'obtention de produits désordonnés rouges.

Sans qu'on puisse trancher de manière définitive au sujet de la genèse des produits amorphes rouges et cristallisés jaunes, il semble donc que l'apparition des premiers soit liée à la présence d'ions étrangers (cations basiques ou anions) et que la présence des seconds soit au contraire à mettre en relation avec un milieu pauvre en ions étrangers. Ces résultats sont à rapprocher de ceux présentés par MILLOT (1964) pour la silice.

BIBLIOGRAPHIE

- DABIN (B.), 1964. — Les sols jaunes ferrallitiques de la Côte d'Ivoire. Congr. Int. Sci. Sol. 8, 1964. Bucarest, V, pp. 559-568.
- DECRAENE (A.), LARUELLE (P.), 1955. — Genèse et altération des latosols équatoriaux et tropicaux humides. *Bull. agric. Congo Belge*, XLVI, pp. 1113-1243.
- HERBILLON (A.), PÉCROT (A.), VIELVOYE (L.), 1966. — Aperçu sur la minéralogie des fractions fines de quelques grands groupes de sols du Viet-Nam. *Pédologie* (Gand), XVI, 1, pp. 5-16.
- KAMOSHITA (Y.), YAMADA (Y.), 1956. — The effect of free iron on soil colour. *J. Sci. Soil Manure*, Tokyo, 27, pp. 77-78.
- KOJIMA (M.), 1962. — Relationships between soil colour and iron minerals contained in the soil. *J. Sci. Soil, Manure*, Tokyo, 33, pp. 311-316.
- KUBIENA (W.L.), 1956. — Red earth formation and laterization (their differentiation by micromorphological characteristics). Congr. Int. Sci. Sol. 6. 1956. Paris, E, pp. 247-249.
- LAMOUREUX (M.), SÉGALEN (P.), 1969. — Etude comparée des sols rouges et bruns méditerranéens du Liban. *Science du Sol*, 1, pp. 63-75.
- LENEUF (N.), RIOU (G.), 1963. — Sols jaunes et sols rouges de la Côte d'Ivoire. *Sols afr.*, VIII, 3, pp. 439-450.
- MAIGNIEN (R.), 1958. — Le cuirassement des sols en Guinée. *Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, n° 16, Strasbourg, 239 p.
- MILLOT (G.), 1960. — Silice, silex, silification et croissance des cristaux. *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 13, 4, pp. 129-146.
- PLICE (J.M.), 1943. — Factors affecting soil colors. *Okla. Acad. Sci. Proc. Prog. Rept.*, 23, pp. 49-51.
- SCHAUFELBERGER (P.), 1951. — Red and yellow soils, especially of the tropics. *Z. Pfl. Ernähr. Düng. Bodenk.*, 54, pp. 163-178.
- SCHWERTMANN (U.), LENTZE (W.), 1966. — Bodenfarbe und Eisenoxid form. *Z. Pfl. Ernähr. Düng. Bodenk.*, 115, pp. 209-214.
- SÉGALEN (P.), 1951. — Etude des sols du périmètre forestier d'Ampamaherana (région de Fianarantsoa). *Mém. IRSM, sér. D*, III, pp. 147-163.
- SÉGALEN (P.), 1957. — Etude des sols dérivés de roches volcaniques basiques à Madagascar. *Mém. IRSM, sér. D*, VIII, pp. 1-182.
- SÉGALEN (P.), 1968. — Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, VI, 1, pp. 105-126.

- SMYTH (A.J.), 1963. — Red and yellow soils of western Nigeria. *Sols Afr.*, VIII, 3, pp. 463-475.
- SOILEAU (J.M.), McCracken (R.J.), 1967. — Free iron and coloration in certain well-drained coastal plain soils in relation to their properties and classification. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, 31, 2, pp. 248-255.
- TAYLOR (R.M.), GRALEY (A.M.), 1967. — The influence of ionic environment on the nature of iron oxides in soils. *J. Soil Sci.*, 18, 2, pp. 341-348.
- TRAN-VINH-AN (J.), 1967. — Les systèmes ternaires « oxydes de fer-silice-kaolinite » et la pédogenèse des sols tropicaux. Dissert. Laboratoire de physico-chimie minérale. Institut des sciences de la Terre, Héverlée, 88 p. multigr.
- VAN DER MERWE (C.R.), 1950. — Red and yellow earths. *Int. Congr. Soil Sci.* 4, 1950. Amsterdam, 2, pp. 169-172.
- WAEAGEMANS (G.), HENRY (S.), 1954. — La couleur des latosols en relation avec leurs oxydes de fer. *Congr. Int. Sci. Sol.* 5. 1954, Léopoldville, II, pp. 384-389.