

MODELE EXPERIMENTAL DE LESSIVAGE CONTINU EN SOXHLET *

Dr. H. GHANEM**

Introduction

La pédologie expérimentale remonte au début de ce siècle et, en particulier, les études qui consistent à suivre les altérations des roches en case lysimétrique (DEMOLON A. et E.M. BATISSE, 1936). Les altérations expérimentales furent réalisées par divers auteurs en vue de suivre l'évolution géochimique des roches et des minéraux silicatés, alumino-silicatés, ferro-magnésiens, carbonatés... et son incidence sur l'évolution des sols.

Parmi ces travaux, citons ceux de TAMM O. (1930), MURATA (1946), MERING (1946), BRINDLEY G.W. et *al.* (1951), GASTUCHE M.C. et *al.* (1951), CORRENS C.W. (1962), ARVIEU et CHAUSSIDON (1964), PEDRO G. (1964), POLZER et HEM (1965), PEDRO G. et INIGUEZ J. (1966), PEDRO G. et BITAR K.E. (1967), BONDAM J. (1969) etc...

(*) Extrait de la thèse présentée par l'auteur à l'Université d'Etat de Gand ITC, Belgique, le 9 Février 1978.

(**) Docteur-Es-Sciences, Ingénieur Agronome (ENSAG.), Pédologue (ORSTOM) Chef du Service d'Ecologie et de la Station Centrale de Pédologie de la Direction de la Recherche Agronomique (DRA) — Rabat — Maroc.

Les expériences furent réalisées en condition neutre (hydrolyse) ou acide (acidolyse). Les matériaux ainsi soumis au lessivage intense, se transforment en donnant naissance à « un complexe d'altération », ou phase résiduelle et à une phase soluble, comprenant tous les éléments susceptibles d'être entraînés au cours du lessivage (PEDRO G., 1964). L'évolution provoquée en condition acide ou neutre est de nature podzolisante, allitique ou siallitique. Dans le premier cas elle résulte de l'évacuation des sesquioxydes de fer et d'alumine et le maintien de la silice dans le milieu. Dans les deux autres cas, elle résulte de l'évacuation de la silice et du maintien des sesquioxydes dans le milieu. Les rapports molaires $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ et $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ sont des paramètres fondamentaux de l'évolution géochimique pour la série de roches sialferriques. Pour la série « sifémique » (SiO_2 — MgO) — R_2O_3 , le comportement de la silice est indépendant de celui des sesquioxydes (PEDRO G. et INIGUEZ J., 1966).

Le renouvellement du contact eau-minéral (hydrolyse), les protons de l'eau étant à l'origine de la rupture des liaisons du minéral considéré, permet en outre de suivre la solubilisation et la migration des éléments du matériau « initial ». Les éléments les moins retenus correspondent aux cations compensateurs de charge (alcalins). Selon HENIN S. (1960), « ces cations passent en solution et sont en quelque sorte des vecteurs à d'autres éléments, comme la silice qui présente un comportement anionique... seuls s'accumulent les cations structuraux... lorsqu'il y a juxtaposition de minéraux de fragilité inégale, la solubilisation des édifices les plus sensibles à la présence d'un milieu acide « agressif » protège les autres ».

En condition expérimentale, les conditions de drainage réel des sols ne sont pas reproduites fidèlement, puisqu'en Soxhlet, tous les éléments migrent verticalement d'une part, et d'autre part, leur accumulation est absolue. Ainsi, les extractions prolongées en condition neutre ou acide entraînent la précipitation d'une partie des éléments lessivés, voire leur fixation irréversible sur les faces internes des ballons d'accumulation. Selon HENIN S. et ROBICHET (1954), la simple ébullition dans des ballons de verre, de solutions d'acétate de magnésium entraîne la néogenèse de phyllites magnésiennes (antigorite) édifiée en utilisant le verre (silice), constitutif du récipient.

Pour pallier cette limitation majeure à l'interprétation géochimique des analyses totales des lessivats, ceux-ci furent analysés après centrifugations et filtrations successives tels que les solutions analy-

sées soient limpides. Toutefois, les résultats montrent des taux de silice plus élevés par rapport aux normes de solubilité de cet élément en milieu neutre. Ceci résulte du fait que des globules, co-précipités de silice ou groupes silanols, sont fréquemment présents dans les lessivats, avant et après filtration. De ce fait, la tendance évolutive des lessivats n'est que « virtuelle ». La tendance évolutive réelle des échantillons lessivés en soxhlet, est estimée d'un point de vue chimique, d'après les analyses totales effectuées sur les échantillons naturels et résiduels, soit avant et après lessivage ; et d'un point de vue minéralogique d'après les diffractogrammes des R.X. des mêmes échantillons.

Le lessivage en soxhlet comporte d'autres limitations. D'une part, le lessivage se produit en milieu « stérile ». Il en résulte que le rôle de la microflore, e.p. des ferro-réducteurs y est nul.

D'autre part, au cours des premières extractions, quelques particules argileuses fines traversent les filtres en cellulose. Celles-ci sont éliminées après centrifugation et filtration des solutions analysées.

Compte-tenu des nombreuses limites d'interprétation des résultats d'analyses chimiques totales des lessivats, l'évolution des échantillons de sols lessivés est estimée d'après celle de leurs minéraux argileux, en condition d'hydrolyse, et surtout d'acidolyse. Dans ce dernier cas, nous avons tenté de circonscrire l'évolution des minéraux 2/1 et 1/1 après réduction du fer, suivie de son oxydation au cours des arrêts du lessivage, dans un milieu partiellement « désaturé » (migration des bases). D'autre part, une série d'échantillons de sols sont soumis aux conditions d'hydrolyse en présence de matières organiques, celles-ci étant riches en acides fulviques, et humiques. Ces acides auraient-ils un pouvoir complexant du fer ? un rôle dans la dégradation des minéraux argileux des sols ? Remarquons que l'humus choisi est caractéristique des sols sous suberaie, de ce fait les résultats obtenus s'inscrivent uniquement dans le contexte des sols étudiés, formés sous forêt acidiphile et à humus du type Moder.

Enfin, la vitesse de migration des bases (Ca, Mg, Na et K) est estimée pour trois échantillons de sols représentatifs des horizons diagnostiques des sols fersiallitiques et ferrugineux xérotériques.

Techniques du modèle expérimental réalisé

Le modèle expérimental porte sur le lessivage en soxhlet d'échantillons de sols qui constituent en fait, un « complexe d'altération »

déjà évolué sous des conditions naturelles peu connues. Le raisonnement « isovolumétrique » fréquemment adopté pour l'interprétation des bilans géochimiques obtenus en soxhlet pour des roches saines, ayant une composition chimique et minéralogique connue, ne peut donc être retenu pour des sols. En effet, les cations structuraux, échangeables ou libres, sont susceptibles de migrer indépendamment ou simultanément. En fait, nous verrons que seuls les cations les plus mobilisables (échangeables ou libres) furent affectés par le lessivage en soxhlet.

Celui-ci comporte une série de six soxhlets subdivisée en deux groupes. Le premier comporte trois échantillons de sols lessivés en présence de matières organiques à l'aide de l'eau bidistillée ; le second groupe comporte les mêmes échantillons lessivés à l'eau pure sans matières organiques, puis à l'aide d'une solution acétique (FIG. 1). A cet effet, 100 g de sol tamisé à 2 mm sont introduits dans des filtres en cellulose et placés dans les manchons extracteurs. Dans la partie supérieure de ces manchons, sont placés des filtres « secondaires » remplis soit de terre issue des mêmes échantillons, soit de matières organiques (50 g) issus des horizons Ao des sols polyphasés de Témara. Les caractéristiques de cette matière organique sont les suivantes :

1. teneur en carbone : 2% (soit 3.44% de m.o.)
2. pH de l'ordre de 6.0
3. C/N = 19.0
4. $C_{AF} = 1,08 \%$
5. humus du type Mull-moder

Les échantillons de sols correspondent aux horizons argilliques des sols fersiallitiques-ferrugineux (Profil n° SLI 10b) et des sols ferrugineux (Profil n° BOU 15) * (Petroferric Ochraqulf).

L'échantillon rouge SLI 10b6 correspond à l'horizon argillique IIBt2 rubéfié et l'échantillon ocre-jaune SLI 10b3 à l'horizon argillique IIBtg,co du même profil. L'échantillon bigarré BOU 15.6a correspond à l'horizon argillique à pseudogley du sol ferrugineux pétroferrique. Ces trois échantillons présentent à l'état naturel trois états des produits ferrugineux libres : oxydés et déshydratés, oxydés et hydratés, oxydés et réduits.

Le lessivage en soxhlet a duré pendant 230 jours. Le second groupe de sols lessivés sans matières organiques pendant 200 jours fut

* Profils décrits *in* thèse présentée par l'auteur (1978) o.c.

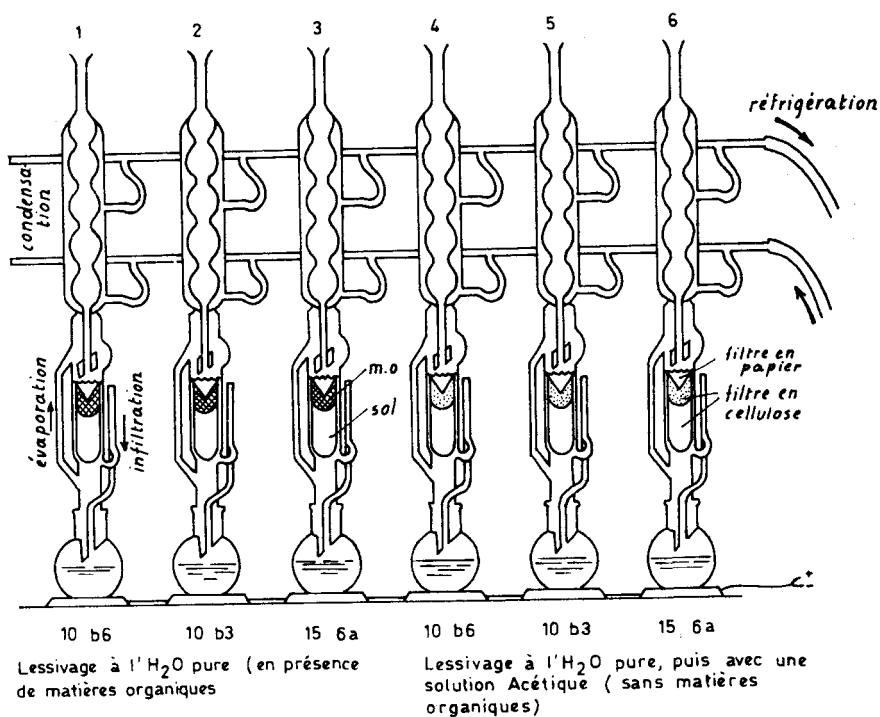


Fig.1 **Schema du modèle Expérimental de Lessivage Continu en SOXHLET**

soumis au lessivage acide à l'aide d'une solution d'acide acétique à pH 2.5 (0.57 N), soit en condition d'acidolyse telle que les sesquioxydes de fer soient mobilisables (CHARLOT G., 1926 ; PEDRO G., 1966).

Pendant toute la période du lessivage, les extraits ou lessivats solubles, puis insolubilisés, sont analysés à intervalles croissants : 2 j., 7 j., 48 j., 103 j., 190 j. et 230 j., correspondants ainsi aux I^è, II^è, III^è, IV^è, V^è et VI^è extractions.

L'évaporation des solutions d'extraction (eau pure, solution acétique) est assurée à l'aide de plaques chauffantes maintenues à température constante de 70-75°C. Les solutions d'extraction sont ainsi portées à une température moyenne de 50°C environ, à hauteur des manchons extracteurs. Le volume des soxhlets (manchons extracteurs) ont permis le lessivage des échantillons par percolation d'un volume global de 690 litres d'eau bidistillée et de 90 litres de solution acétique.

Le climat des régions étudiées étant caractérisé par une pluviosité moyenne annuelle de 500 mm, le lessivage réalisé correspond théoriquement à une période de deux millénaires environ. Les sols étudiés étant des paléosols, la période de lessivage en soxhlet ne correspond donc qu'à une courte période de leur évolution dans des conditions naturelles.

Interprétation des résultats

Les résultats des analyses totales des lessivats, des échantillons naturels et résiduels et des lessivats insolubilisés (résidus d'extraction) sont portés sous forme de tableaux, et, les premiers sous forme de courbes des valeurs cumulées au cours du lessivage.

Notons que les termes d'hydrolyse et d'acidolyse ont trait aux conditions expérimentales de lessivage en soxhlet, et non à la destruction des minéraux silicatés (ou phyllosilicatés) comme dans le cas des roches soumises aux mêmes traitements.

Evolution des matières organiques

(TABL. 1)

A chaque extraction, tous les lessivats du premier groupe contiennent des matières humiques (CMHT = Ct), les constituants fai-

TABLEAU 1

**Caractéristiques de l'humus et taux d'extraction du Carbone
au cours du lessivage en soxhlet**

a. Composition globale de l'humus initial

Echantillon initial	Carbone total	Quotient	Matières organiques %	Matières humiques	Acides humiques	Acides fulviques	Rapport
Profil n°	C_t ‰	C/N	$C_t \times 1.724$	MHT ‰	AF ‰	AH ‰	Ah/AF
Horizon Ao Mull-Moder	20.0	19.0	34.500	6.376	5.131	1.068	4.80

b. Taux d'extraction de carbone dans les lessivats

Echantillon n°	Extractions (temps)	Carbone mg/50 ml	I	II	III	III* ₂
			Après 24 h	Après 7 jours	Après 40 jours	Après 60 jours
10b6 argillique rouge	C_t		1.275	1.415	6.130	12.800
	C_{MHT}		1.215	1.405	6.099	12.600
	C_{AH}		0.386	0.248	0.998	1.528
	C_{AF}		0.889	1.167	5.101	11.150
10b3 argillique ocre-jaune	C_t		2.140	2.911	ppm	29.800
	C_{MHT}		2.140	2.911	ppm	29.771
	C_{AH}		0.469	0.496	ppm	10.056
	C_{AF}		1.671	2.414	ppm	19.715
15.6a argillique bigarré	C_t		2.023	3.576	5.102	45.711
	C_{MHT}		2.023	3.576	5.102	45.711
	C_{AH}		0.333	0.166	1.220	20.571
	C_{AF}		1.690	3.410	3.882	25.571

C_t : carbone total;

C_{MHT} : carbone des matières humiques

C_{AH} : carbone des acides humiques

C_{AF} : carbone des acides fulviques

*: carbone (insoluble) recueilli dans le filtre.

blement humifiés n'ayant subi aucune migration au cours des quatre premières extractions.

Les taux des acides fulviques sont dix fois supérieurs aux taux des acides humiques ayant migré au cours des trois premières extractions. L'hypothèse d'une extraction « sélective » des cations métalliques, fer et alumine notamment, par complexation avec les composés organiques solubles et « agressifs » n'a pu être vérifiée. En effet, en condition d'hydrolyse neutre et en présence de matières organiques, le fer et l'aluminium ne bougent pratiquement pas. D'où trois hypothèses possibles :

1. la migration du fer sous forme de complexe implique sa réduction préalable ;
2. la complexation du fer par les acides organiques implique un temps minimum (équilibre) de contact sol-solution ;
3. la migration des acides humiques et fulviques s'accompagne de celle des cations bivalents (Ca^{++} et Mg^{++}) et la formation d'humates de calcium et de magnésium. La complexation postérieure des cations métalliques (Fe, Al) impliquerait, dans ce cas, une désaturation plus poussée des échantillons de sols. Celle-ci fut faible, malgré la durée totale du lessivage en soxhlet.

Evolution des pH des échantillons de sols et de leurs lessivats

1. Après lessivage en soxhlet à l'aide de l'eau pure suivi ou non d'un lessivage à l'aide de la solution acétique, les pH des échantillons résiduels ont faiblement varié. Cette variation est de l'ordre de 1/10 d'unité pH. La désaturation des sols à complexe saturé par les cations bivalents est lente et implique un lessivage de longue durée et un volume d'eau plus élevé (pluviosité plus élevée, en condition naturelle).

2. Les pH des lessivats ont par contre varié au cours du lessivage. En présence de matières organiques, les pH des lessivats sont moins élevés qu'en l'absence de matières organiques. En condition d'acidolyse, les pH des lessivats sont supérieurs d'une unité pH par rapport à la solution d'extraction. Les pH des lessivats obtenus en condition d'hydrolyse passent de 6,5 au cours de la première extraction à 9,4 au cours de la troisième et de la quatrième extraction (TABL. 2). Ces pH corroborent la migration croissante des bases, notamment des cations échangeables.

TABLEAU 2

Evolution des pH des lessivats successifs

Echantillons n°	Traitements (con- ditions de lessiva- ge)	pH des extractions successives à l'eau pure					pH Extr. C ₂ O ₃ H ₄
		I	II	III	IV	V	VI
10 b 6 Horizon argillique rouge	sans matières or- ganiques	7.10	7.20	7.55	7.55	7.10	6.84
	en présence de ma- tières organiques	7.00	7.10	8.20	8.35	8.65	3.85
10 b 3 Horizon argillique ocre-jaune	sans matières or- ganiques	6.80	7.50	7.70	7.30	7.90	6.54
	en présence de matières organi- ques	6.55	7.15	8.10	8.30	8.35	3.90
15.6 a Horizon argillique bigarré	sans matières or- ganiques	6.60	8.65	7.30	6.35	6.40	6.56
	en présence de ma- tières organiques	6.75	8.05	9.50	9.45	8.60	3.78

Extractions

I : après 24 h;

II : après 7 jours;

III: après 48 jours;

IV: après 103 jours;

V : après 190 jours;

V : après 230 jours

Evolution des lessivats solubles et insolubilisés (résidus d'extraction) et des échantillons de sols (naturels et résiduels).

L'évolution géochimique globale des échantillons de sol soumis au lessivage en soxhlet, est estimée d'après les variations des rapports molaires des lessivats d'une part et, d'autre part, d'après les valeurs des paramètres molaires des échantillons naturels et résiduels. Pour chaque échantillon, le rythme et le taux d'extraction de ses éléments sont également comparés.

Premier exemple: échantillon rouge
n° SLI10b6

A. rythme et taux d'extraction des éléments cardinaux

(FIG. 2 et TABL. 3, 5b et 6)

Les courbes des valeurs cumulées des éléments extraits (bases, silice et sesquioxydes), présentent deux phases ascendantes suivies de palier et une troisième phase « explosive », ascendante à très forte pente, correspondant au lessivage acide (acidolyse).

Hydrolyse en présence de matières organiques

La silice est l'élément le plus exporté par rapport aux bases, les sesquioxydes ne bougeant pas à une exception près. Celle-ci porte sur la migration de quelques ppm d'alumine au cours de la troisième extraction.

B. rythme d'extraction et rapports molaires des lessivats et des échantillons résiduels.

1. $\text{Na}_2\text{O} > \text{CaO} > \text{K}_2\text{O} > \text{MgO}$
2. $\text{SiO}_2 > \text{bases} \gg \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{MnO} > \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{O}$
3. $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3\text{L}_1 \gg \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3\text{ER}_1$
4. $\text{SiO}_2/\text{Bases L}_1 \ll \text{SiO}_2/\text{Bases ER}_1$
5. $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3\text{EN} \simeq \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3\text{ER}_1$
7.93 8.02
6. $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3\text{EN} \simeq \text{SiO}_2/\text{R}_2\text{OER}_1$
6.01 5.47
7. $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{OEN} < \text{SiO}_2/\text{K}_2\text{OER}_1$
81.92 107.99

Fig.2 . Courbes des valeurs cumulées des éléments extrait en soxhlet: échantillon rouge n° SLi 10b6

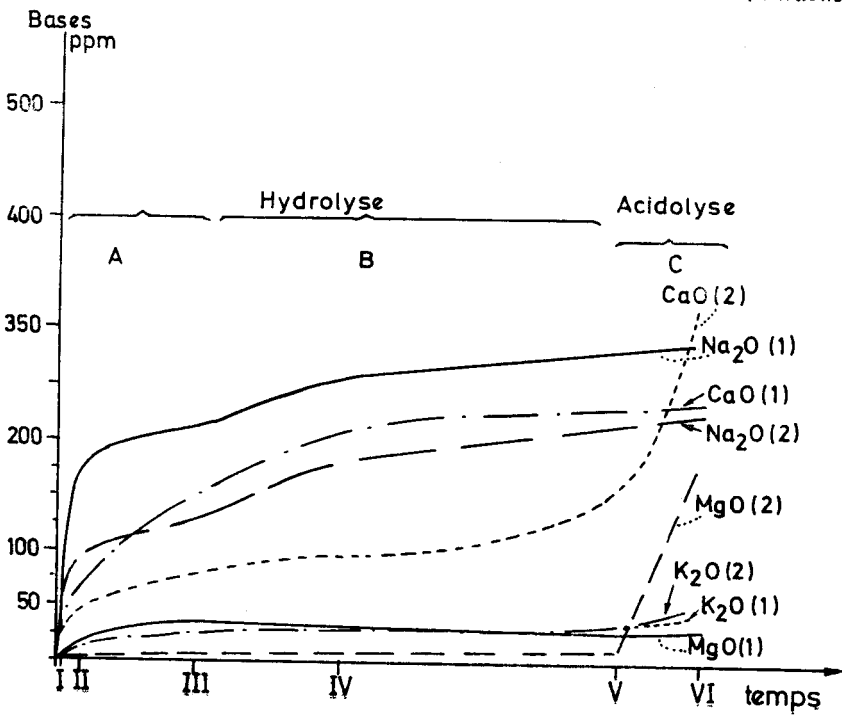
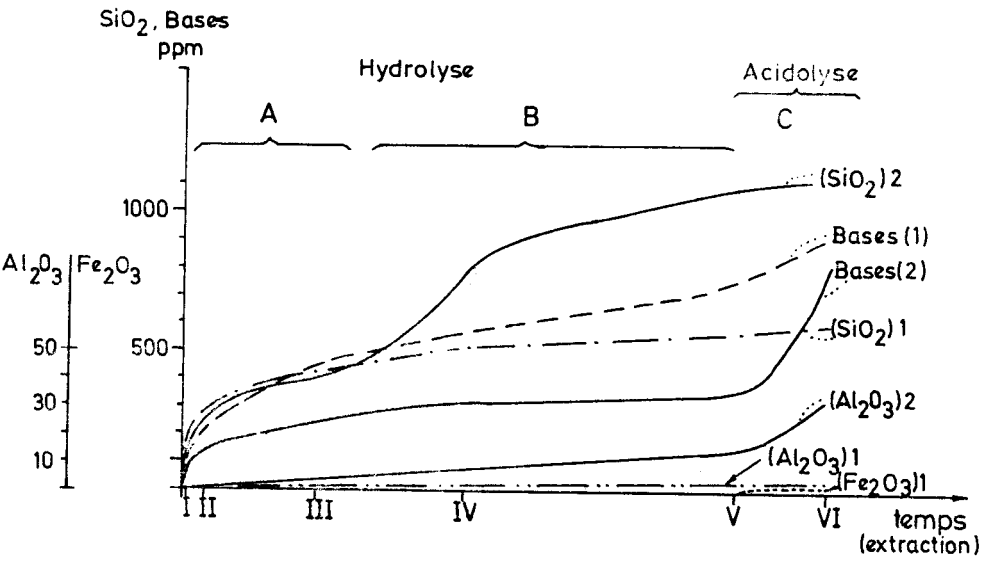


TABLEAU 3
Composition chimique des lessivats successifs de l'échantillon rouge n° 10b6
(Horizon Bt3 argillique rubéfié ; profil n° SLI 10b)

Eléments totaux en ppm	Hydrolyse en présence de matières organiques						Somme Hydrolyse, sans matières organiques						Acido-lyse		Somme Σ 2	Résidu en % Vib*
	I	II	III	IV	V	VI	Σ 1	I	II	III	IV	V	VI*	VI*		
SiO ₂	39.37	165.89	239.68	133.16	206.05	127.10	911.25	47.93	161.59	186.19	421.57	277.03	6.79	1095.5	19.01	
Al ₂ O ₃	—	—	2.27	—	—	—	2.27	—	1.34	1.81	4.40	8.14	16.82	32.51	12.04	
Fe ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.10	1.10	0.50	
MnO	—	—	0.10	0.27	0.27	0.06	0.70	—	—	—	—	—	—	x	x	
CaO	38.83	28.29	80.45	60.45	18.41	11.03	237.46	29.16	12.60	34.40	21.55	12.55	218.07	328.13	x	
MgO	6.29	2.86	5.15	10.42	4.69	3.91	33.82	5.15	2.27	21.55	—	—	173.61	187.89	x	
K ₂ O	5.17	6.28	21.53	6.78	4.64	3.66	48.06	4.61	9.92	11.62	6.29	8.38	11.43	52.24	x	
Na ₂ O	117.73	58.91	35.71	40.89	27.80	15.18	290.22	54.39	45.44	31.11	43.07	38.51	21.16	238.68	x	
Σ Bases	168.02	96.34	142.24	118.24	50.54	33.78	609.56	93.31	70.23	83.99	70.71	59.44	474.27	801.94	4.95	
R ₂ O ₃	—	—	2.27	—	—	—	2.27	—	1.34	1.81	4.40	8.14	17.92	33.61	12.54	

(—) : néant

I à VI : extractions successives

1 et 2 : somme de chaque élément à la fin de l'extraction.

résidu non compris

Vib : phases résiduelles ou résidus insolubilisés dans les ballons d'accumulation

x : non déterminé

TABLEAU 4

Composition chimique des lessivats successifs de l'échantillon ocre-jaune n° 10b3 (horizon argillique du profil n° SLI 10b)

Éléments totaux en ppm	Hydrolyse en présence de matières organiques						Somme Hydrolyse sans matières organiques						Acido- lyse			Résidu en % Vib*
	I	II	III	IV	V	VI	Σ I	I	II	III	IV	V	VI	Σ 2	Σ 2	
SiO ₂	43.6	158.7	194.2	223.8	128.1	171.4	930.2	42.6	171.0	223.7	248.5	237.0	25.28	948.5	25.83	
Al ₂ O ₃	—	—	2.72	—	—	—	2.72	—	—	1.20	1.3	—	40.10	42.60	16.69	
Fe ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.86	2.86	0.16	
MnO	—	—	1.2	0.12	0.12	—	1.4	0.05	—	0.3	—	0.05	—	0.40	x	
CaO	18.9	28.5	88.4	65.3	30.0	9.8	241.1	16.5	14.0	32.1	23.2	11.4	332.4	432.5	x	
MgO	6.3	2.9	8.6	8.7	—	—	26.4	5.2	2.3	6.9	—	—	173.6	187.5	x	
MgO	3.5	6.5	9.9	12.1	8.4	5.1	45.4	4.6	9.9	11.6	6.3	8.4	11.4	52.20	x	
Na ₂ O	47.6	37.3	33.6	39.4	42.0	16.8	216.9	38.8	35.1	61.9	41.6	28.8	23.7	230.90	x	
Σ Bases	76.4	75.3	140.6	125.4	80.3	31.3	530.1	65.0	61.2	111.5	71.1	52.5	541.2	903.6	x	
R ₂ O ₃	—	—	2.72	—	—	—	2.72	—	—	1.2	1.3	—	42.96	454.6	16.85	

L_1 = lessivats après hydrolyse en présence de matières organiques

EN = échantillon naturel

ER_1 = échantillon résiduel après hydrolyse en présence de matières organiques.

La relation 1 indique la dynamique des cations échangeables. La relation 2 montre que la silice est fortement exportée par rapport aux bases, les sesquioxydes de fer et d'alumine étant stables, soit une tendance évolutive du type fersiallitique caractérisée par une accumulation « relative » des sesquioxydes. Cette évolution « géochimique » des lessivats n'est qu'apparante en ce sens qu'elle ne peut être extrapolée aux échantillons de sols. Les relations 5 et 6 montrent en effet que la carcasse ionique des complexes d'altération ne bouge pas, soit que leurs minéraux silicatés ne subissent aucune transformation.

En condition d'hydrolyse neutre et en présence de matières organiques, les échantillons de sols subissent un entraînement de leurs cations échangeables et de la silice non silicatée.

Hydrolyse sans matières organiques

Le rythme d'extraction des éléments cardinaux suit la même dynamique que précédemment et n'en diffère que par une exportation des bases plus importante par rapport à la silice. Dans ce cas, l'on peut conclure que la matière organique jouerait un « rôle stabilisateur » et non de facteur « dégradant ».

Acidolyse

Le lessivage à l'aide de la solution acétique se traduit par un départ intense des bases, la migration des sesquioxydes de fer et d'alumine. Toutefois, ces éléments se présentent sous forme soluble et insolubilisée dans les ballons d'accumulation. La dynamique des éléments cardinaux est exprimée par les relations suivantes :

1a. Bases $>$ Al_2O_3 $>$ SiO_2 (Ls) (1b) SiO_2 $>$ Al_2O_3 $>$ Bases (L1)

3a. SiO_2/Al_2O_3Ls \ll $SiO_2/Al_2O_3ER_2$
 0.68 9.13

3b.	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ Li} \ll \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ ER}_2$
	2.68 9.13
5.	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ EN} < \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ ER}_2$
	7.93 9.12
6.	$\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3 \text{ EN} < \text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3 \text{ ER}_2$
	6.01 6.54
7.	$\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O} \text{ EN} < \text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O} \text{ ER}_2$
	81.92 104.76

L_s : lessivat soluble ; L_i : lessivat insolubilisé ou résidu d'extraction ; ER_2 : échantillon résiduel après acidolyse.

Les relations 1a et 1b montrent la tendance évolutive des bases cumulées par rapport à la silice et aux sesquioxydes. Cette tendance diffère de la précédente (hydrolyse) par une exportation des bases et des sesquioxydes relativement plus intense, soit une accumulation relative de la silice ou « tendance évolutive podzolique » selon PEDRO G. (1964).

Toutefois, comme en condition d'hydrolyse, cette tendance évolutive pédo-géo-chimique des échantillons de sols n'est qu'apparente. En effet, les rapports molaires des échantillons résiduels et des échantillons naturels sont équivalents, d'où la fraction silicatée (phyllosilicatée) n'a subi aucune transformation sensible. Les diagrammes de diffraction des R.X. et les analyses thermiques différentielles et thermopondérales confirment les données chimiques en ce sens que les minéraux 2/1 et 1/1 et de faibles quantités d'interstratifiés subsistent dans les échantillons lessivés en condition d'hydrolyse et d'acidolyse sans aucune modification qualitative ou quantitative sensible.

Deuxième exemple : échantillon n° SLI 10b3 (FIG. 3, TABL. 4, 5 et 6)

L'évolution géochimique des lessivats et des échantillons résiduels est analogue à celle de l'échantillon précédent. Elle est du type « siallitique » en condition d'hydrolyse et « podzolique » en condition d'acidolyse pour les lessivats. Les échantillons résiduels ne montrent aucune évolution minéralogique sensible. Cette évolution porte principalement sur la migration des bases échangeables, de la silice non silicatée et des sesquioxydes libres, même en condition d'acidolyse.

Fig.3 - Courbes des valeurs cumulées des éléments extraits en soxhlet : échantillon ocre-jaune n° SLi 10b.3

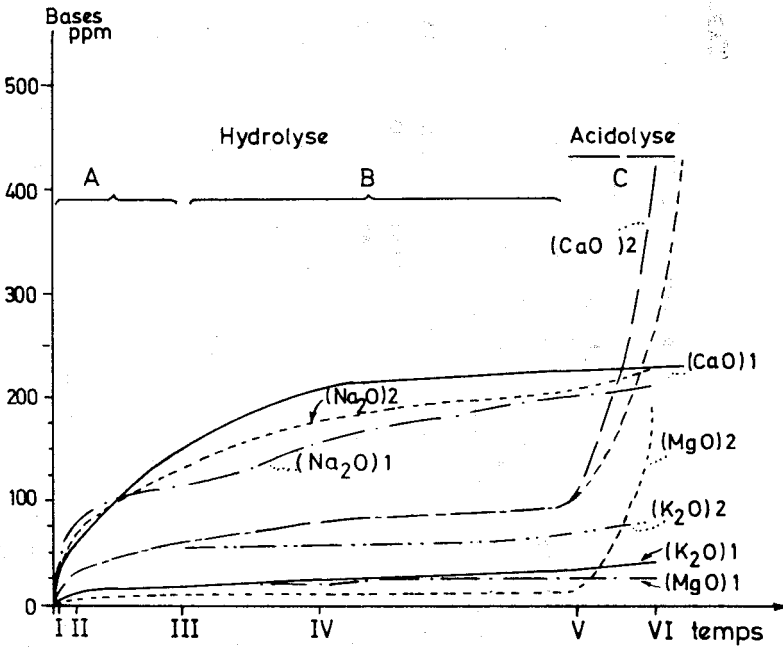
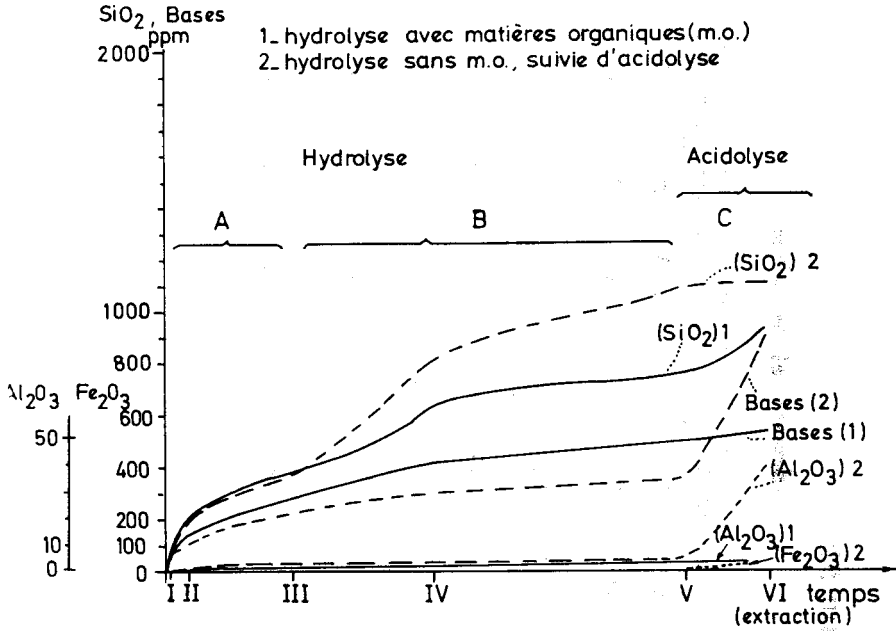


TABLEAU 5 b
Rapports molaires des lessivats après hydrolyse et acidolyse

Rapports molaires	Echantillon n° 10b6						Echantillon n° 10b3						Echantillon n° BOU 15.6a											
	Σ 1		Σ 2		VIa		VIb		Σ 1		Σ 2		VIa		VIb		Σ 1		Σ 2		VIa		VIb	
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	690.59	57.18	0.43	2.68	581.95	37.78	1.06	2.62	135.0	15.94	13.56	7.07	135.0	15.94	13.56	7.07	135.0	15.94	13.56	7.07	135.0	15.94	13.56	7.07
SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	∞	2681.0	16.60	127.83	∞	881.82	67.85	429.80	∞	55.72	39.74	123.27	∞	55.72	39.74	123.27	∞	55.72	39.74	123.27	∞	55.72	39.74	123.27
SiO ₂ /R ₂ O ₃	690.59	55.99	0.65		581.95	36.22	1.05	2.61	135.0	15.49	10.11	6.68	135.0	15.49	10.11	6.68	135.0	15.49	10.11	6.68	135.0	15.49	10.11	6.68
SiO ₂ /CaO	4.13	3.56	0.033	x	4.114	2.33	0.08	x	7.18	3.78	0.18	x	7.18	3.78	0.18	x	7.18	3.78	0.18	x	7.18	3.78	0.18	x
SiO ₂ /MgO	18.27	3.91	0.026	x	23.63	3.38	0.09	x	12.29	3.27	0.14	x	12.29	3.27	0.14	x	12.29	3.27	0.14	x	12.29	3.27	0.14	x
SiO ₂ /K ₂ O	30.05	32.81	0.93	x	32.05	28.48	3.47	x	44.69	46.59	8.54	x	44.69	46.59	8.54	x	44.69	46.59	8.54	x	44.69	46.59	8.54	x
SiO ₂ /Na ₂ O	3.27	4.73	0.33	x	4.42	4.23	1.10	x	2.51	4.17	2.78	x	2.51	4.17	2.78	x	2.51	4.17	2.78	x	2.51	4.17	2.78	x
SiO ₂ /Bases	1.57	1.28	0.022	x	1.84	1.006	0.042	x	1.55	1.20	0.078	x	1.55	1.20	0.078	x	1.55	1.20	0.078	x	1.55	1.20	0.078	x

A : Σ, après hydrolyse avec matière organique
 B : Σ, après acidolyse et hydrolyse sans matière organique
 C : Acidolyse : lessivats solubles
 D : Acidolyse : lessivats insolubilisés

TABLEAU 6

Composition chimique globale des échantillons de sols avant et après lessivage en soxhlet (déterminés par attaque fluorhydrique)

Echantillon	Traitements	Perte au feu	Silice		Alu- mine	Fer	Tita- ne	Man- ganèse	Chaux	Ma- gnésie	Po- tasse	Soude	Som- me	Rapports molaire			Som- me Traitements bases		
			SiO ₂	SiO ₂										Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃		Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
		SiO ₂ %	SiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Σ1	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	Σ2	
10b6 Argillique rouge	I	6.17	69.82	14.74	7.40	0.45	0.03	0.38	0.83	1.32	1.00	0.20	100.44	7.93	24.77	6.01	31.92	2.73	Echantillon naturel
	II	7.13	64.98	14.54	7.81	0.43	tr	0.19	0.34	1.00	0.15	100.53	8.02	23.40	5.97	107.99	1.68	Hydrolyse en présence de matières organiques	
	III	7.04	70.51	13.11	8.12	0.44	tr	0.06	0.36	1.06	0.12	100.82	9.13	23.09	6.54	104.76	1.60	Hydrolyse suivie d'acidolyse	
10b3 argillique ocre-jaune	I	10.61	57.99	20.23	9.00	0.43	0.05	0.28	0.47	1.05	0.19	100.61	4.86	17.14	3.78	86.93	2.43	Echantillon naturel	
	II	10.81	57.99	19.45	9.12	0.43	0.04	0.20	0.42	1.03	0.14	99.47	5.04	16.83	3.87	88.19	1.79	Hydrolyse en présence de matières organiques	
	III	10.17	58.24	20.42	8.92	0.43	0.04	0.11	0.25	1.21	0.12	100.30	4.84	17.36	3.78	75.71	1.69	Hydrolyse suivie d'acidolyse	
106a argillique bigarré	I	10.41	61.56	19.95	4.91	0.38	0.03	0.31	0.63	1.17	0.28	100.15	5.23	33.36	4.52	82.61	2.39	Echantillon naturel	
	II	10.99	61.48	20.08	5.25	0.38	0.03	0.32	0.60	1.36	0.17	100.68	5.19	31.19	4.45	71.04	2.48	Hydrolyse en présence de matières organiques	
	III	10.95	59.27	21.61	5.05	0.38	0.03	0.08	0.58	1.30	0.21	99.63	4.63	31.21	4.49	71.47	2.17	Hydrolyse suivie d'acidolyse	

tr : traces.

Soit :

1. $\text{CaO} > \text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O} > \text{MgO}$
2. $\text{SiO} > \text{Bases} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{MnO}_2 > \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{O}$
- 2a. $\text{SiO}_2 > \text{Bases} > \text{SiO}_2 > \text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{Li}$
- 2b. $\text{Bases} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{SiO}_2 > \text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{Ls}$
3. $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3\text{L}_1 \gg \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3\text{ER}_1 : \text{hydrolyse, + m.o.}$
- 3a. $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3\text{L}_2 \gg \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3\text{ER}_1 : \text{hydrolyse, sans m.o.}$
- 3b. $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3\text{L}_2 < \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3\text{ER}_2 : \text{acidolyse}$
5. $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3\text{EN} \underset{4.86}{\approx} \underset{5.04}{<} \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3\text{ER}_2 : \text{hydrolyse}$
- 5a. $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3\text{EN} \underset{4.86}{\approx} \underset{4.84}{>} \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3\text{ER}_2 : \text{acidolyse}$
6. $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3\text{EN} \underset{3.78}{\approx} \underset{3.87}{<} \text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3\text{ER}_1 : \text{hydrolyse}$
- 6a. $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3\text{EN} \underset{3.78}{\approx} \underset{3.78}{>} \text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3\text{ER}_2 : \text{acidolyse}$
7. $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{OEN} < \text{SiO}_2/\text{K}_2\text{OER}_1 : \text{hydrolyse}$
86.93 88.19
- 7a. $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{OEN} < \text{SiO}_2/\text{K}_2\text{OER}_2 : \text{acidolyse}$
86.93 75.71

L'échantillon ocre-jaune montre néanmoins en condition d'hydrolyse (sans m.o.), une faible migration du fer. La présence de fer libre, non associé aux argiles, favoriserait ainsi sa mobilisation après réduction. Ce stade d'évolution « incipiente » du fer correspondrait au « stade initial des processus de ferrilyse ».

Rythme et taux d'extraction : tendance évolutive
(FIG. 4, TABL. 5, 5b et 6)

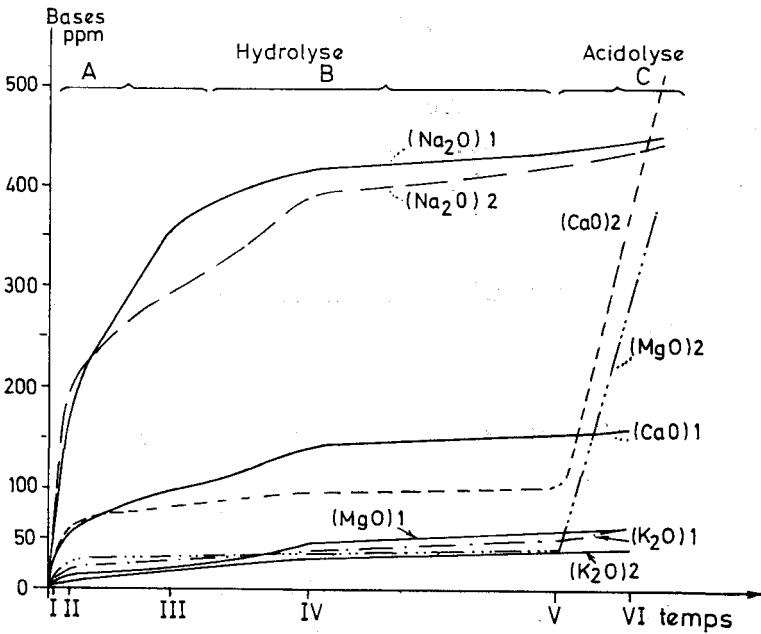
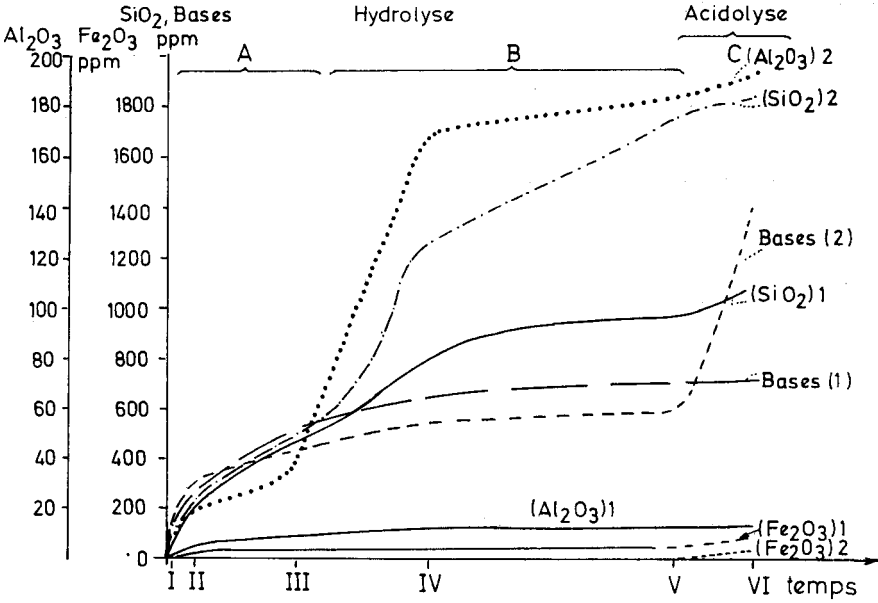
Rythme et taux d'extraction : tendance évolutive
(FIG. 4, TABL. 45, 45 b et 46)

L'allure des courbes des valeurs cumulées de la silice, des bases et sesquioxydes extraits, est analogue à celle des échantillons précédents. Elle en diffère néanmoins du fait :

1. d'un départ « intense » du sodium au cours des trois premières extractions, en condition d'hydrolyse ; traduisant une tendance évolutive des lessivats du type « solodisante » ;

Fig. 4 - Courbes des valeurs cumulées des éléments extraits en soxhlet: échantillon bigarre n° BOU 15.6a

- 1_ hydrolyse avec matières organiques (m.o.)
- 2_ hydrolyse sans m.o. suivie d'acidolyse



2. d'un départ de très faibles quantités d'alumine en condition d'hydrolyse, relativement plus importante dans les lessivats sans matières organiques ;

3. d'une exportation plus poussée de la silice, des sesquioxydes et des bases en condition d'acidolyse ; traduisant ainsi une tendance évolutive complexe « allitique », « siallitique » et « podzolique » selon les phases des lessivats considérés.

En fait, l'évolution des rapports molaires des échantillons naturels et résiduels montre une très grande stabilité des silicates, soit de faibles variations des rapports molaires $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ après hydrolyse et acidolyse de l'échantillon de sol.

D'où :

a. rythme des extractions :

1. $\text{Na}_2\text{O} > \text{CaO} > \text{MgO} > \text{K}_2\text{O}$: hydrolyse avec m.o.
- 1a,b. $\text{CaO} > \text{MgO} > \text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$: hydrolyse sans m.o. et acidolyse
2. Bases $> \text{SiO}_2 \gg \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{MnO} > \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{O}$: hydrolyse avec m.o.
- 2a. $\text{SiO}_2 > \text{Bases} \gg \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{MnO} = \text{idem} - \text{sans m.o.}$
- 2b. $\text{SiO}_2 > \text{Bases} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3$: acidolyse (Ls : soluble).
- 2b'. Bases $> \text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3$: idem (Li : insoluble).

b. rapports molaires des lessivats, des échantillons naturels et résiduels

3. $\frac{\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3\text{L}_1}{135.0} \gg \frac{\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3\text{ER}_1}{5.19}$: hydrolyse m.o.
- 3a. $\frac{\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3\text{L}_1\text{b}}{15.94} \gg \frac{\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3\text{ER}_1\text{b}}{4.63}$: hydrolyse sans m.o.
- 3b. $\frac{\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3\text{L}_2}{13.56 \text{ et } 7.07} < \frac{\text{Ls}}{\text{Li}} \gg \frac{\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3\text{ER}_2}{4.63}$: acidolyse

5a.	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{EN} \approx$	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	ER_1	: hydrolyse
	5.23		5.19		
5b.	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{EN} \approx$	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	ER_2	: acidolyse
	4.52		4.63		
6.	$\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$	$\text{EN} \approx$	$\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$	ER_1	: hydrolyse
			4.45		
6a.	$\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$	$\text{EN} \approx$	$\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$	ER_1	: acidolyse
	4.52		4.49		
7.	$\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$	$\text{EN} >$	$\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$	ER_1	: hydrolyse
			71.04		
7a.	$\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$	$\text{EN} >$	$\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$	ER_2	: acidolyse
	82.61		71.47		

En condition d'hydrolyse ou d'acidolyse, les taux de silice, d'alumine et de fer exportés tout au long du lessivage en soxhlet, sont faibles, soit 2 ‰ pour la silice et moins de 1 ‰ pour les sesquioxydes et les bases ; le titane n'ayant pas bougé. Une hydrolyse et une acidolyse plus prolongée auraient probablement conduit à de plus fortes exportations des éléments du sol, et en particulier de leurs éléments compensateurs de charge, voire même des cations structuraux. L'hydrolyse n'ayant duré qu'une dizaine de mois et l'acidolyse un mois, l'évolution des minéraux silicatés est faible, voire nulle comme en témoignent les très faibles variations des rapports molaires des échantillons de sols. Cette stabilité des minéraux argileux est mise en évidence par les diagrammes de diffraction aux R.X., les A.T.D. et A.T.P. des échantillons de sols avant et après traitements, des diverses fractions granulométriques.

Evolution morphologique et minéralogique des échantillons de sols après lessivage en soxhlet.

M i c r o m o r p h o l o g i e

Après hydrolyse et acidolyse, les distributions relatives des échantillons de sols n'ont pas subi de modifications sensibles. L'apparition de fentes ou de cavités dans certaines zones sont attribuables aux manipulations des échantillons au cours des arrêts du lessivage (phase oxydante) et de réhumectation (phase favorable à la compaction).

Les variations les plus sensibles portent sur :

1. l'état d'hydratation des nodules sesquioxydiques (photo 1 et 2);
2. la redistribution du fer dans le fond matriciel des échantillons bigarrés ;
3. la structure des zones déferrifiées, apparaissant ainsi plus fortement orientées après acidolyse (déferrification) ;
4. l'apparition possible de nodules (oolithes) résultant de la concentration du fer et la diminution des taches diffuses oxydées. Toutefois, la présence de ces oolithes dans les échantillons naturels n'est pas exclue.

De ce fait leur formation peut être soit postérieure, soit antérieure au lessivage acide de l'échantillon bigarré (BOU 15.6a).

M i n é r a l o g i e

Sables et limons (FIG. 5)

Constitués principalement de quartz, des traces de feldspaths, de goethite et d'hématite et de micas (illite), les sables et les limons présentent les mêmes raies de diffraction des R.X. après hydrolyse et acidolyse. L'évolution minéralogique de ces fractions granulométriques est nulle. L'on observe tout au plus l'apparition de faibles pics de goethite après acidolyse, résultant probablement du lavage des formes amorphes réparties « en couverture » des formes cryptocristallines.

Argiles ($< 2 \mu$) (FIG. 6, 7)

L'évolution des minéraux argileux des échantillons rouges et ocre-jaune est nulle. Elle est légèrement marquée pour l'échantillon bigarré, caractérisée par des pics à 14.5 Å relativement plus nets après acidolyse, et passant à 17.5 Å après glycolage.

Le lessivage en soxhlet, en condition d'hydrolyse ou d'acidolyse, ne conduit ni aux transformations des minéraux 2/1, ni à la dégradation des minéraux 1/1 et 2/1 (kaolinite et illite).

La ségrégation du fer et des argiles et l'alternance des processus d'oxydo-réduction, même en condition « agressive » (acide) ne s'accompagne pas nécessairement de la dégradation des minéraux argileux.

FIG. 5

Diagrammes de diffraction des R.X. des fractions limoneuses et sableuses des échantillons lessivés en soxhlet

E 10b6 :	échantillon rouge	1 et 1a :	échantillon naturel
E 10b3 :	» ocre-jaune	2 et 2a :	» résiduel
E 15.6a :	» bigarré	après hydrolyse (avec m.o.)	
		3 et 3a :	
		échantillon résiduel	
		après acidolyse	

I sables (50 - 2000 μ)

II limons (2 - 50 μ)

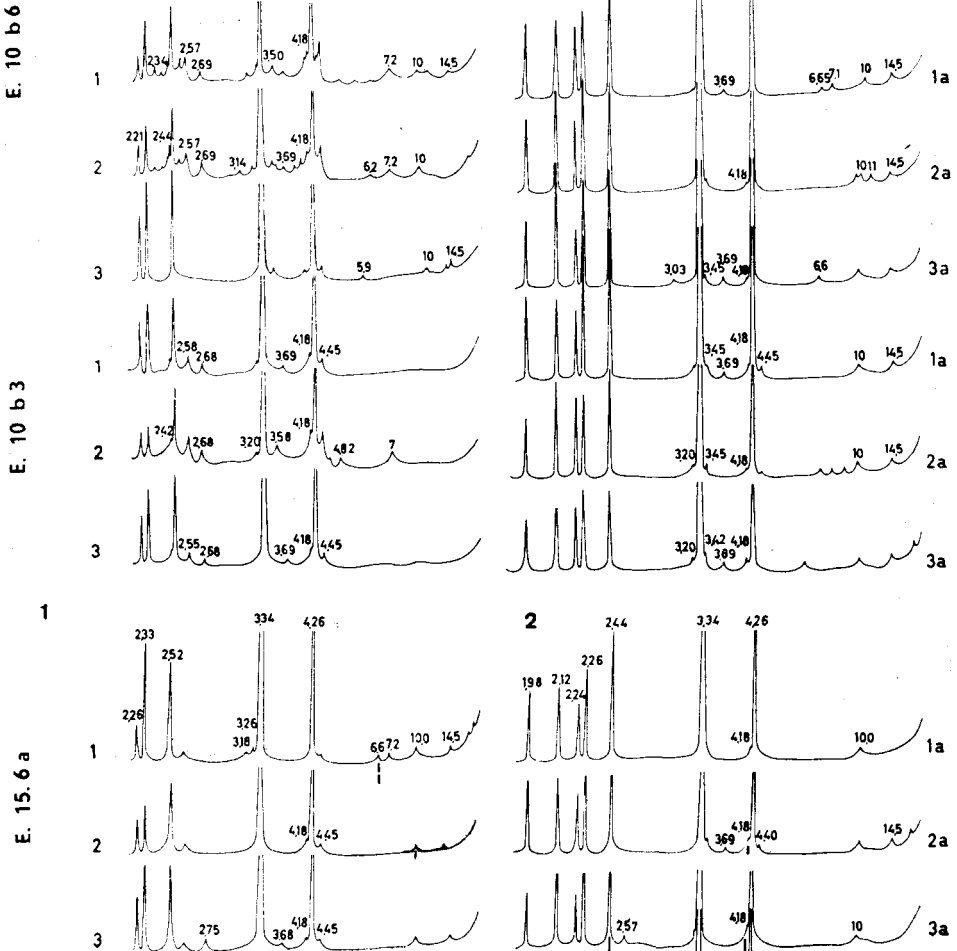
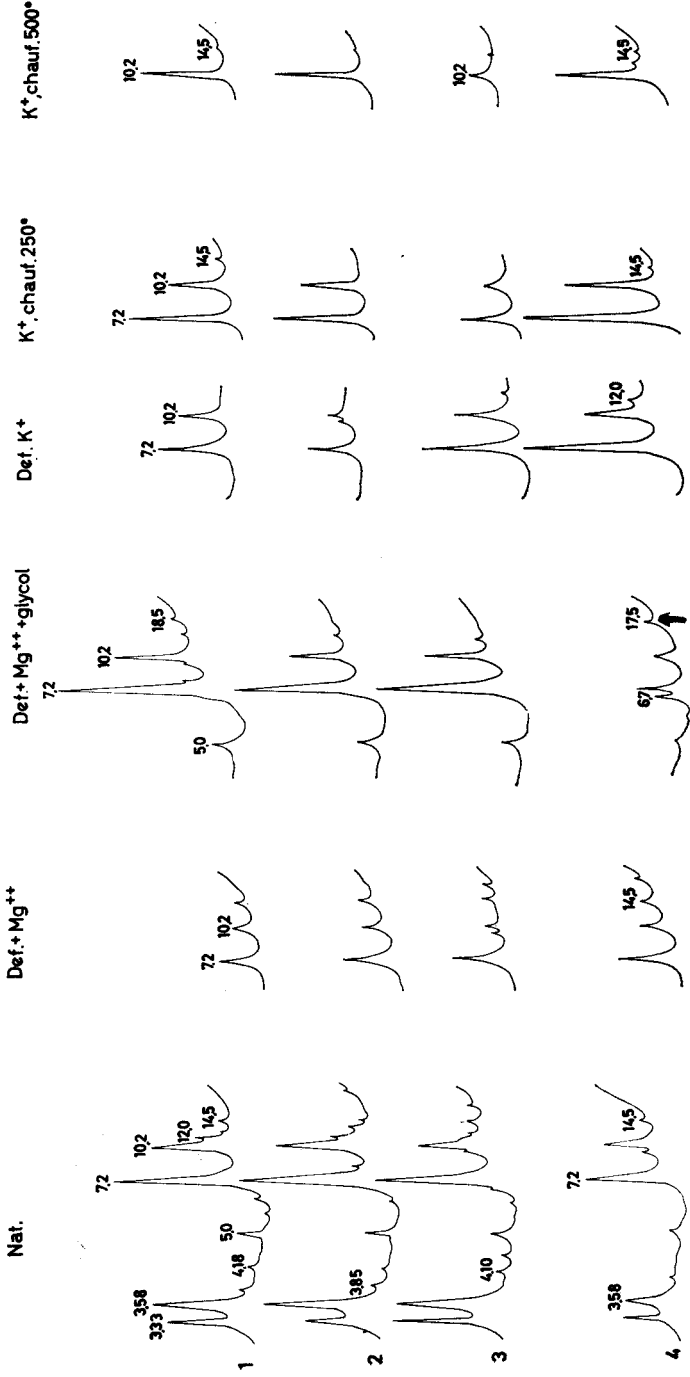


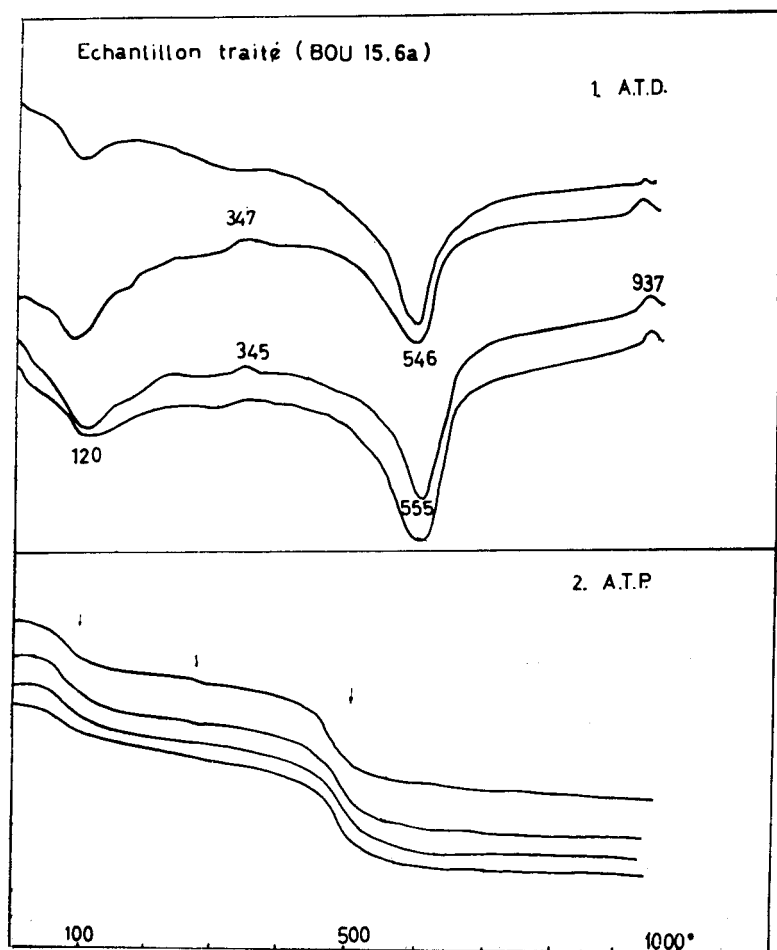
FIG. 6
 Diagrammes de diffraction des R.X. des fractions fines (2 μ)
 Echantillon bigarré (Bou 15.6a) avant et après hydrolyse et acidolyse
 E 15.6a



1 : échantillon naturel, 2 : échantillon résiduel après hydrolyse en présence de matières organiques, 3 : idem, mais sans matières organiques; 4 : échantillon résiduel après acidolyse

FIG. 7

Courbes thermiques différentielles et thermopondérales des fractions fines (< 2 li) de l'échantillon bigarré (Bou 15.6 a) avant et après hydrolyse et acidolyse



1.: échantillon naturel ; 2.: échantillon résiduel après hydrolyse en présence de matières organiques ; 3.: idem, sans matières organiques ; 4.: échantillon résiduel après acidolyse.

Lessivats insolubilisés (résidus d'extraction)

Plusieurs gels furent analysés et déterminés aux R.X., A.T.D. et A.T.P. complétés par la spectroscopie infrarouge (FIG. 8, 9).

En fait la nature des constituants de ces lessivats insolubilisés n'intéresse pas les sols, puisqu'ils furent « co-précipités » dans des ballons d'accumulation, soumis à haute température. La néogenèse de constituants de ces lessivats correspond donc à des conditions hydro-thermales.

Les résidus d'extraction présentent sous microscope électronique une multitude de « globules » correspondant à des co-précipités complexes, de silice, alumine et bases.

Les diagrammes de diffraction des R.X. montrent :

1. la présence de kaolinite, d'illite et de smectite dans les premières extractions, disparaissant au cours des dernières extractions ;
2. la présence de boehmite, notamment dans les résidus de la troisième extraction, disparaissant en condition d'acidolyse ;
3. dans ce dernier cas, les résidus sont constitués principalement de gels amorphes hydratés, caractérisés par des pertes de poids de l'ordre de 25 % et par l'absence de pics de diffraction des R.X. L'allure du diagramme de diffraction est analogue à celle obtenue par PEDRO G. (o.c.) pour des co-précipités de fer et d'alumine sous forme de gels. Selon BONDAM J. (o.c.) ces globules, plus ou moins associés (linkage) correspondent à de la silice opaline, observés dans les lessivats résultant de l'altération de l'albite. Les spectres infrarouges de ces globules ou co-précipités montrent (FIG. 10) :

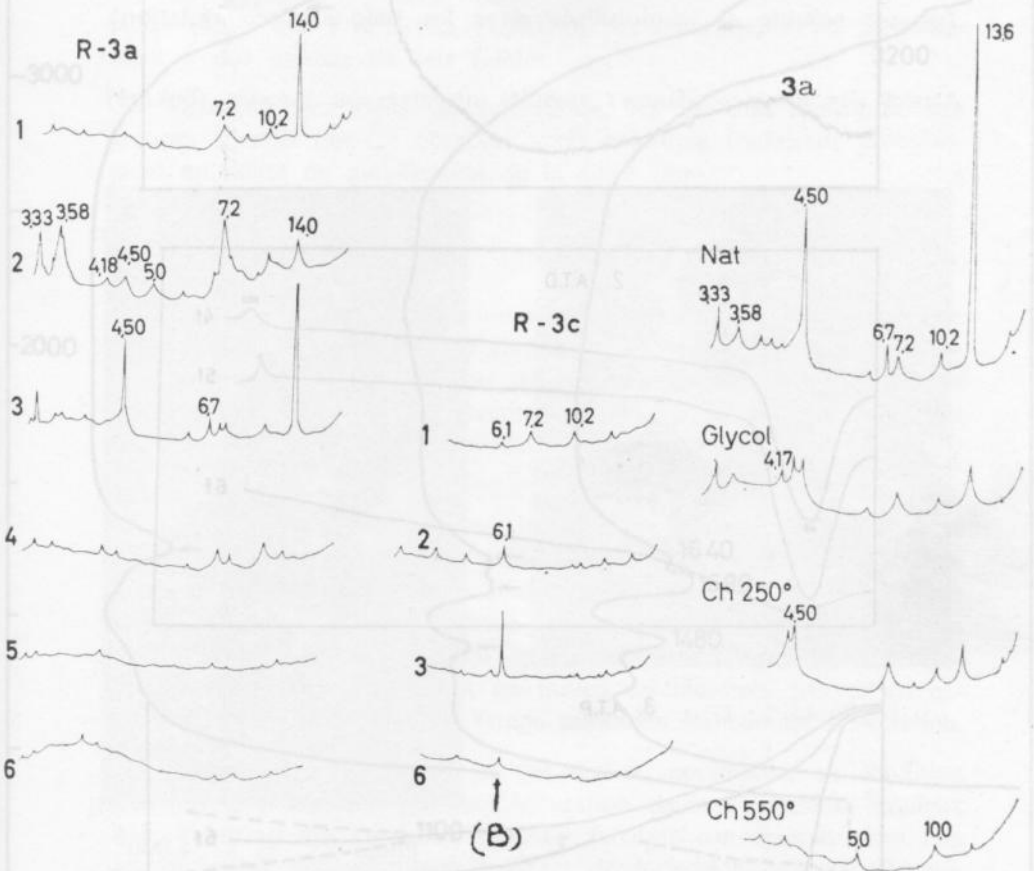
— des vibrations étalées dans la région spectrale de 3600 à 3 620 cm^{-1} , caractéristiques des gels mixtes, de composés de silicate d'alumine hydraté et des groupements Si-O... H-O-H et Si-O-Al^{IV}, ainsi que des liaisons Al-OH (JORGENSEN, 1966) ;

— des vibrations centrées sur 450, 650 et 750 cm^{-1} correspondant à des silicates d'alumine hydratés ou à des zéolithes. Selon BONDAM J. (o.c.) la région spectrale centrée sur 3 500 cm^{-1} correspond à des groupes silanol Si-O.H et Si-O...H-O-H.

Les bandes aplaties peu larges centrées sur 800 cm^{-1} corres-

FIG. 8

Diagrammes de diffraction des R.X. les lessivats insolubilisés
(phase résiduelle)



R-3a : résidus d'extraction après hydrolyse en présence de matières organiques ;

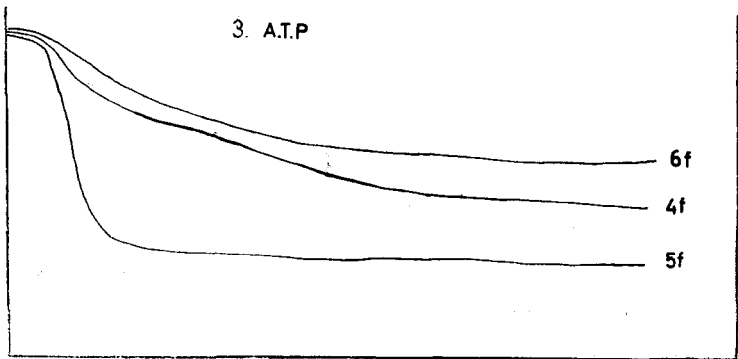
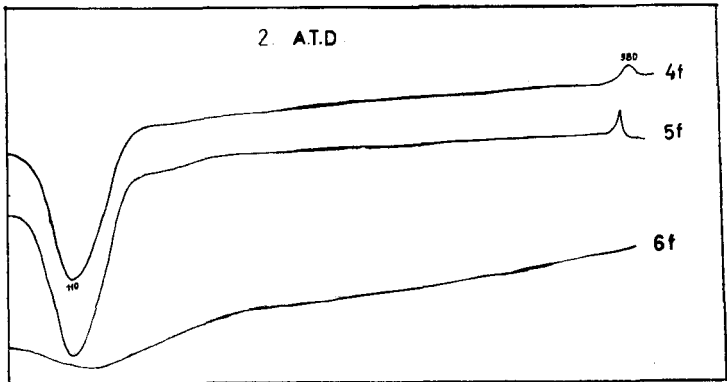
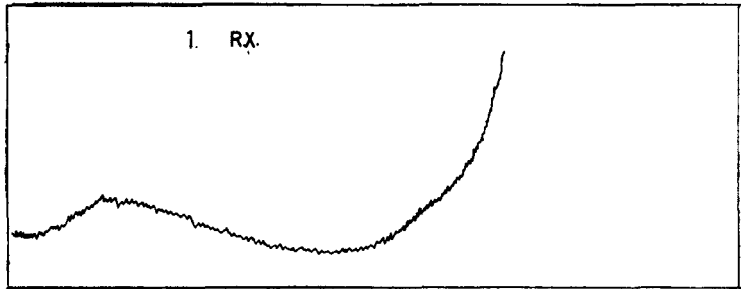
R-3c : résidus d'extraction après hydrolyse sans matières organiques, suivie d'acidolyse.

3a- : résidus de la troisième extraction

1 à 6 : extractions successives (en fonction du temps)

FIG. 9

Diagrammes de diffraction des R.X.
et courbes thermiques différentielles et thermo-pondérales
caractéristiques des résidus d'extraction (lessivats insolubilisés)



4f : résidus après hydrolyse en présence de matières organiques
5f : résidus après hydrolyse, sans matières organiques
6f : résidus après acidolyse

FIG. 10
Spectres infra-rouges des résidus insolubles des extractions
au soxhlet

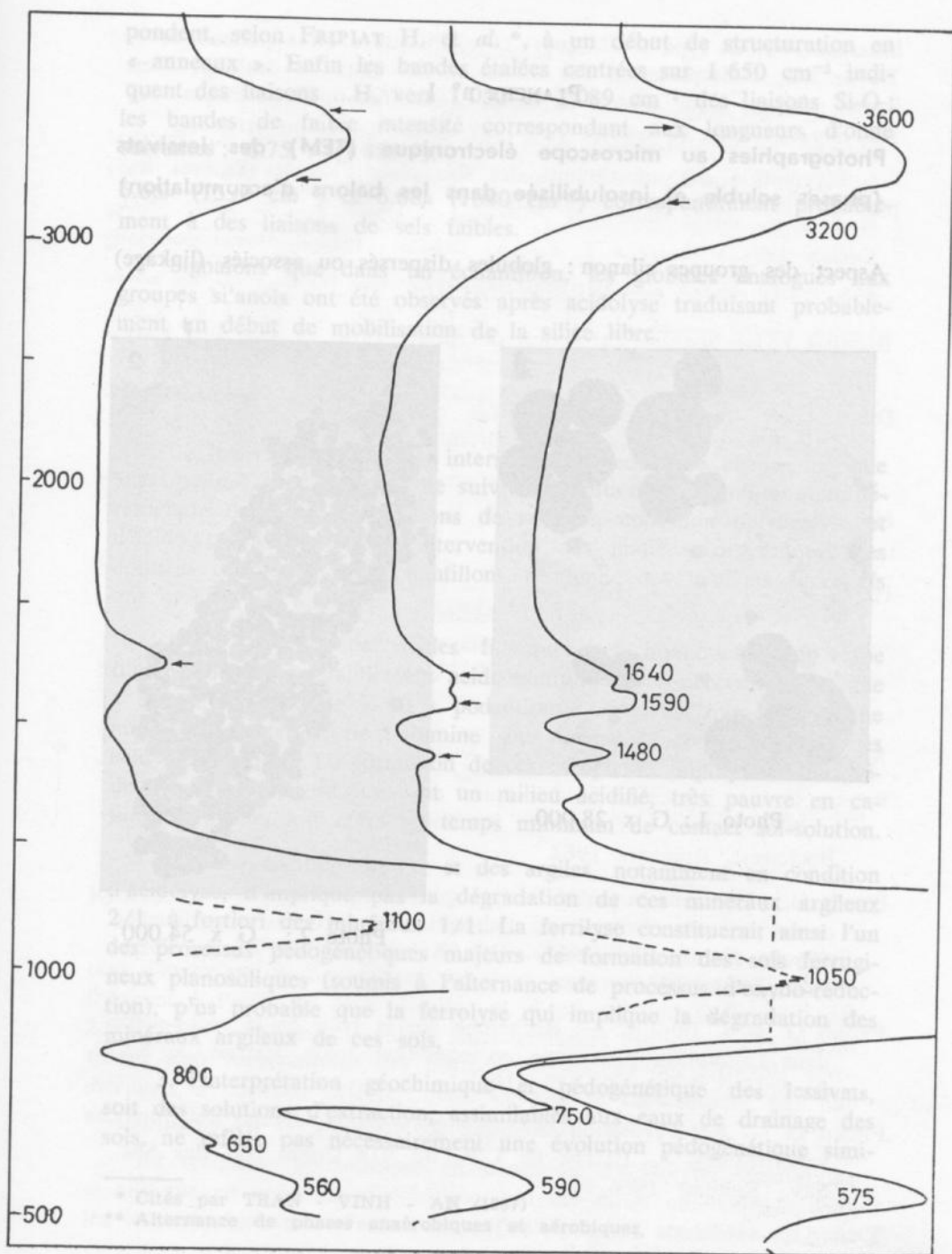


PLANCHE n° 1

Photographies au microscope électronique (TEM) des lessivats
(phases soluble et insolubilisée dans les balons d'accumulation)

Aspect des groupes silanon : globules dispersés ou associés (linkage)

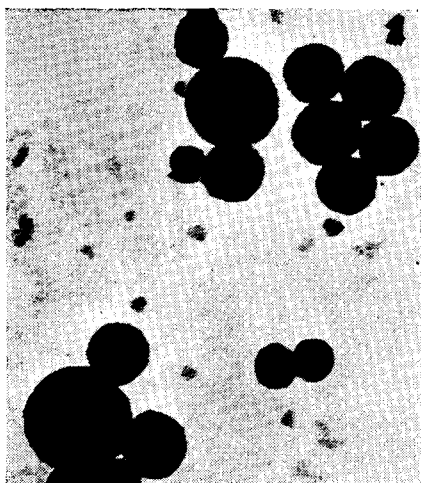


Photo 1 : G x 28.000

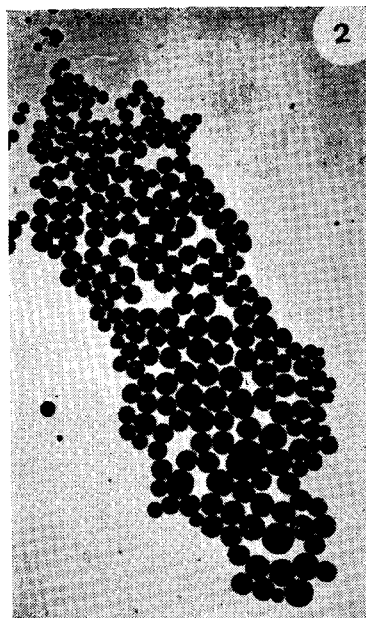


Photo 2 : G x 54.000

pondent, selon FRIPIAT H. et *al.* *, à un début de structuration en « anneaux ». Enfin les bandes étalées centrées sur $1\ 650\text{ cm}^{-1}$ indiquent des liaisons ...H, vers $1\ 050$ et $1\ 089\text{ cm}^{-1}$ des liaisons Si-O ; les bandes de faible intensité correspondant aux longueurs d'onde suivantes : $6.75\ \mu$ ($1\ 480^{-1}$).

6.66μ (1590 cm^{-1}) et 6.08μ (1640 cm^{-1}) correspondraient probablement à des liaisons de sels faibles.

Signalons que dans un échantillon, les globules analogues aux groupes silanols ont été observés après acidolyse traduisant probablement un début de mobilisation de la silice libre.

Conclusions

Le lessivage en soxhlet, interrompu au cours de chaque période d'extraction (**), a permis de suivre l'évolution géochimique et minéralogique des trois échantillons de sols, en condition d'hydrolyse et d'acidolyse, avec ou sans intervention des matières organiques. Les données chimiques des échantillons résiduels, des lessivats successifs ont montré que :

1. la richesse en acides fulviques (et humiques) d'un type d'humus neutre ou faiblement acide n'implique pas nécessairement une « action complexante » ou « podzolizante » de cet humus, soit une migration du fer et de l'alumine sous forme de complexe avec des acides organiques. La formation de ces complexes implique soit la réduction préalable du fer, soit un milieu acidifié, très pauvre en cations bivalents, soit enfin un temps minimum de contact sol-solution.

2. la ségrégation du fer et des argiles, notamment en condition d'acidolyse, n'implique pas la dégradation de ces minéraux argileux 2/1, à fortiori des minéraux 1/1. La ferrilyse constituerait ainsi l'un des processus pédogénétiques majeurs de formation des sols ferrugineux planosoliques (soumis à l'alternance de processus d'oxydo-réduction), plus probable que la ferrollyse qui implique la dégradation des minéraux argileux de ces sols.

3. l'interprétation géochimique et pédogénétique des lessivats, soit des solutions d'extraction, assimilables aux eaux de drainage des sols, ne reflète pas nécessairement une évolution pédogénétique simi-

* Cités par TRAN - VINH - AN (1967)

** Alternance de phases anaérobiques et aérobiques.

laire des sols, du type « allitique », « siallitique » ou « podzolique ». De ce fait, l'interprétation des bilans et des eaux de drainage d'un bassin versant pour tenter de sérier l'évolution pédogénétique des sols répartis dans ce bassin, peut être aléatoire, sinon erronée.

L'évolution des constituants des sols reste l'un des critères les plus tangibles quant à leur formation.

BIBLIOGRAPHIE

- BONDAM J. — Soxhlet Extraction of Albite. Proc. of The Int. Clay Conf., Vol., 1, Tokyo, 1969.
- DEMELON A. et E. BATISSE — Rôle vecteur de la silice dans les phénomènes géochimiques et physiologiques. - Ann. Agron. 14 pp. 265-296, 1944.
- HENIN S. : Etude physico-chimique de la stabilité structurale — thèse Paris 1938.
- HENIN S., G. PEDRO et M. ROBERT — Considérations sur les notions de stabilité et d'instabilité des minéraux en fonction des conditions du milieu : essai de classification des « systèmes d'agression ». 9th Int. Cong. of Soil Sci. transaction, vol. III, paper 9, 196..
- MURATA J.K. — Bull. U.S. Geol. survey, 950, 25-33 ; 1946.
- PEDRO G. — Principes géochimiques de la pédogenèse. Incidences minéralogiques — Extrait du 8th Int. Cong. of Soil Sci. Vol II. Bucharest, Romania 1964.
- PEDRO G. : Essai sur la caractérisation géochimique des différents processus zonaux résultant de l'altération des roches superficielles (Cycles aluminosiliciques) — C.R. Ac. Sci., t. 262, D ; pp. 1828-1831, Paris, 1966.
- PEDRO G. et J. INIGUEZ — Recherche sur le rôle de la roche-mère dans l'altération provoquée en condition acide. Extrait de Sci. du Sol n° 1, pp. 93-111, 1967.
- PEDRO G. — Sur l'évolution chimique des roches dans les conditions superficielles. — Extrait de C.R. du 91è Cong. Nat des Soc. Sav., Rennes, 1966.
- TAMM O. — Chemie Erde, 4 ; 1930.

ملخص

ان تطبيق طرق الدراسة الكيماوية لتربة الكرة الارضية بالتحليل بالماء أو بالتحليل بالحوامض ، على ثلاث عينات من التربة ، أي غسلها في سوكسلط بالماء المصفى أو بمحلول حامض (0,57 - 2,5) قد مكن من تحديد اتجاهاتها التطويرية ، وهاته العينات ممثلة للآفاق الطينية للتربية الحديدية في المناطق القاحلة (Ferrisols xérothériques) ذات الآفاق حديدية متصلبة (Pétroferrique) هذه الاراضي بتراكم مكثف للحديد ونسب ضعيفة من الطين . وقد أمكن ابراز هذه التربة الى تكثير السليسيوم (Podzolisation) عند التحليل بالحامض (et bisiallitique) والى تكثير الالومنيوم عند التحليل بالماء في محلولات الاستخلاص . ان هذه الميول لا يحدد بالنسبة الكتولية للعينات المتبقية (مجمع الاتلاف) . ان تطويرهم البيدوجيوكيماوي (pédo-géochimique) ليس معبرا ان لم نقل بدون قيمه .

ويلاحظ كذلك أن اتلاف المعادن الفيولوسلاطية (phyllosilicatés) من طرف الحوامض الفولفيقية (Ferrolyse) لا قفيمة له .

وينهي الكاتب بان الحاصل الجيوكيماوي بالنسبة لحوض هيدرولوجي يمكنه أن التطور البيدوجيوكيماوي للتربية اذ أن تطور أجزاءها الفيولوسلاطية تسديد الاستقرار في وسط متعادل أو وسط ضعيف أو متوسط الحموضة . كما أن انتقال الحديد وفصله عن الطين (Fulviques) لا يتبت قطعيا اتلاف هذا الاخير (Ferrolyse) .

RESUMÉ

L'étude pédo-géochimique de trois échantillons de sol en condition d'hydrolyse et d'acidolyse, soit leur lessivage en soxhlet, respectivement à l'aide de l'eau distillée et d'une solution acétique à pH 2,5 (0,57 N), a permis de définir leurs tendances évolutives. Ces échantillons sont représentatifs des horizons argilliques des ferrisols xérothériques à horizons pétroferriques. Ceux-ci se caractérisent par une accumulation intense du fer et par de faibles taux d'argile.

La tendance podzolisante en condition d'acidolyse, bisiallitique et allitique en condition d'hydrolyse, ont été mises en évidence dans les lessivats (solutions d'extraction). Toutefois, ces tendances ne sont

pas exprimées par les rapports molaires des échantillons résiduels (complexe d'altération) ; bien au contraire, leur évolution pédo-géochimique n'est pas significative, sinon nulle.

La dégradation des minéraux phyllosilicatés par les acides fulviques est également nulle.

L'auteur conclue que le bilan géochimique à l'échelle d'un bassin hydrologique peut ne pas refléter l'évolution pédo-géochimique des sols et e.p., celle de leurs fractions phyllosilicatés très stables en milieu neutre ou faiblement à moyennement acide. De même la migration du fer et sa ségrégation des argiles (ferrilyse) n'impliquent pas nécessairement la dégradation de ces derniers (ferrolyse).

RESUMEN

El estudio pedo-geoquímico de tres muestras de suelo en condiciones de hidrolisis y acidolisis, es decir su lixiviación en «soxhlet» respectivamente con agua destilada y una dilución acética con pH 2,5 (0,57 N), nos ha permitido definir sus tendencias evolutivas. Las muestras son representativas de los horizontes arcillosos de los ferri-suelos xerotéricos con horizontes petroféricos. Estos se caracterizan por una fuerte acumulación de hierro y por leves tasas de arcilla.

En las diluciones de extracción se pusieron de manifiesto las tendencias podzolizante en condiciones de acidolisis, y bisialítica y alítica en condiciones de hidrolisis. Pero estas tendencias no son exprimidas en las relaciones moleculares de las muestras restantes (complejo de alteración) ; al contrario, su evolución pedo-geoquímica no es significativa y aún nula.

La degradación de los minerales filosilicados por los ácidos fúlvicos también es nula.

El autor concluye que a veces el balance geoquímico al nivel de una cuenca hidrológica no refleja la evolución pedo-geoquímica de los suelos y en particular la de sus fracciones filosilicadas muy estables en medio neutro o ligera a moderadamente ácido. De la misma manera, la migración del hierro y su segregación de las arcillas (ferrilisis) no implica necesariamente la degradación de estos (ferrolisis).

ABSTRACT

The pedo-geochemical study of three soil samples under conditions of hydrolysis and acidolysis, i.e. their leaching in soxhlet by means of distilled water and an acetic solution at pH 2.5 (0.57 N), has allowed to define their evolutive tendencies. The samples are representative for argillic horizons of xerotheric ferrisols with a petro-ferric horizon, characterized by an intensive iron accumulation and a low clay-rate.

The podzolic tendency under acidolysis conditions and the bisalitic and allitic tendencies under hydrolysis conditions have been demonstrated in the extracted solutions (lessivats). These tendencies however are not expressed by the molar ratios of the residual samples (alteration complexes). On the contrary, their pedo-chemical evolution is not significant and may even be none.

The degradation of phyllosilicate minerals by fulvic acids is also none.

The author concludes that the geochemical balance at watershed level might not reflect the pedo-geochemical evolution of soils and in particular the evolution of their phyllosilicate fractions which are very stable in a neutral or a slightly at moderately acid environment. Likewise, iron migration and its separation from clay (ferrilysis) do not necessarily imply the degradation of the latter (ferrolysis).