

Une chronoséquence pédologique sur formations alluviales quaternaires siliceuses

Les sols des terrasses de la Basse Vallée du Loir (Anjou - France)

J.-P. Rossignol⁽¹⁾, G. Moguedet⁽²⁾, R. Biagi⁽³⁾ et F. Sème⁽²⁾

(1) I.N.H., laboratoire de Science des sols et des substrats, UMR Sagah A462, 2 rue Le Nôtre, 49045 Angers cedex 01

(2) Université Angers, Equipe Paysages et Biodiversité, 2, Bd Lavoisier 49045 Angers Cedex, 49045 Angers cedex 01

(3) Groupe ESA, 55 rue Rabelais, BP 30748, 49007 Angers Cedex 01

RÉSUMÉ

Les formations alluviales quaternaires étagées de la basse vallée du Loir, bien qu'étant d'âges différents, sont constituées d'un matériau qui, dans son ensemble, varie peu d'une terrasse à l'autre. Il est en effet hérité pour l'essentiel, qu'il soit fin ou plus grossier, du remaniement des formations mésozoïques et cénozoïques sur lesquelles le cours d'eau est installé depuis sa source.

Si les solums pédologiques sont semblables pour un niveau de terrasse donné et pour une occupation actuelle du sol équivalente, il n'en est pas de même pour les solums de niveau altitudinal différent et donc d'âge différent. Bien qu'étant constitués de matériaux *a priori* identiques au départ, les sols dérivés ne présentent pas les mêmes caractéristiques, tant du point de vue morphologique que minéralogique ou physico-chimique.

Les sols des terrasses du Loir qui ont enregistré des pédogénèses successives sont polygénétiques. Plus les sols sont vieux, plus leur évolution a, bien sûr, été importante ; mais surtout cette évolution peut s'intégrer dans le même type de chronoséquence. Ceci permet de proposer un modèle d'évolution quaternaire des formations alluviales siliceuses situées aux moyennes latitudes.

Mots clés

Formations alluviales, sols polygénétiques, Brunisols, Podzosols, Planosols, minéraux argileux, basse vallée Loir, Ouest de la France.

SUMMARY

A PEDOLOGICAL CHRONOSEQUENCE ON QUATERNARY SILICEOUS ALLUVIAL FORMATIONS

The soils in the terraces of the low-lying valley of the Loir river (France - The Anjou)

The quaternary alluvial formations of the Loir low-lying valley which are layered, although originating from different periods, are made up of material, which globally shows little variation from one terrace to another. The material, whether fine or coarse, has mainly been reorganised from the mesozoic and cenozoic formations into which the waterway has dug its bed from the source.

While the pedological profiles are similar for a given terrace level and actual equivalent use of soil, it is different for the profiles with different altitude levels and thus of different ages. Although made up of materials that are *a priori* originally identical, they do not present the same characteristics, either from morphological, mineralogical or physico-chemical point of view.

The soils on the terraces of the Loir River which have accumulated successive pedogeneses are polygenetics. The older the soils are, the greater are their evolution, of course, and all their evolution can be incorporated into the same type of chronosequence. This enables us to put forward a model of quaternary evolution for the siliceous alluvial formations situated in medium latitudes zone.

Key-words

Alluvial formations, Polygenetic soils, Brunisols, Podzols, Planosols, clay minerals, low valley Loir, west of France

RESUMEN

UNA CRONOSECUENCIA PEDOLÓGICA SOBRE FORMACIONES ALUVIALES CUATERNARIAS SILÍCEAS

Las formaciones aluviales cuaternarias del bajo valle del Loir, mientras siendo de edades diferentes, son constituidas de material que varía poco de una terraza a otra. Se hereda esencialmente, que sea fino o grueso, de la reorganización de las formaciones mesozoicas sobre las cuales el río se instaló desde su fuente.

Si los perfiles pedológicos son idénticos para un nivel dado de terraza y para un uso actual del suelo equivalente, no es idéntico para los perfiles de nivel altitudinal diferente y así de edad diferente. Mientras los suelos son constituidos de materiales a priori idénticos al principio, no presentan mismas características tanto del punto de vista morfológico que mineralógico o físico-químico.

Los suelos de las terrazas del Loir, que registraron pedogénesis sucesivas son poligenéticos. Más el suelo es viejo, más su evolución es importante. Pero sobre todo, esta evolución puede integrarse en un mismo tipo de chrono-secuencia. Esto permite de proponer un modelo de evolución cuaternaria de las formaciones aluviales silíceas situadas en las latitudes medianas.

Palabras clave

Formaciones aluviales, suelos poligenéticos, Brunisoles, Podzsoles, Planosoles, minerales arcillosos, bajo valle del Loir, Oeste de Francia

Les sols des formations alluviales étagées ont été étudiés en France mais aussi dans d'autres régions du monde ; par exemple, dans la vallée du Rhône (Bornand, 1979, 1978), dans la vallée de la Loire (Macaire, 1981, 1986), dans la vallée de la Seine (Horemans, 1984, Roque, 2003), dans la vallée du Rhin (Miedema, 1992 et Marocke, 1962), en Meurthe et Moselle (Gury, 1990) et dans le bas Dauphiné (Joud, 1997) ; certains auteurs se sont penchés sur les sols d'alluvions du piémont des Pyrénées (Hubschman, 1975 et Icole, 1973) ; à l'étranger, on peut citer les travaux de Dorronsoro et Alonso (1994) en Espagne sur la rivière Alma (Salamanque) et de Othberg *et al.*, (1997) aux Etats-Unis d'Amérique dans la vallée de la Boise (Idaho).

Les formations alluviales étagées mises en place à l'occasion des oscillations climatiques qui ont affecté le Quaternaire, ont été relativement bien protégées de l'érosion, d'abord parce que leur surface est plane mais aussi parce que, tout en présentant un état de compaction important, le matériau est resté poreux, en grande partie grâce à leur constitution sablo-gravelo-caillouteuse. Ceci a ainsi facilité la percolation de l'eau plutôt que le ruissellement dont le pouvoir érosif est important. La caractéristique principale des sols de la vallée du Loir est qu'ils se sont développés sur des matériaux exclusivement silico-clastiques (composés de graviers et cailloux siliceux). Bull W.B. (1990) présente les différents modes de genèse des terrasses alluviales.

Dans la basse vallée du Loir, en amont d'Angers, les formations alluviales ont subi au cours des temps quaternaires des pédogénèses successives. L'objectif de l'étude est de mettre en évidence ces différentes phases pédogénétiques liées aux modifications climatiques et de savoir si celles-ci sont à l'origine de séries de transformations, dont l'empreinte morphologique et les caractéristiques minéralogiques et physico-chimiques auraient pu être conservées. Les effets de chacune de ces pédogénèses pourraient s'être cumulés et les sols auraient ainsi enregistré, sinon le témoignage de tous les épisodes climatiques, au moins celui de certains d'entre eux. L'étude a également pour but de mettre en évidence les mécanismes de cette transformation.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Des cartographies géomorphologique (Sème, 1991) et pédologique (Lorgeoux et Rossignol (document non publié) de la zone ont été réalisées à l'échelle de 1/100.000°. Sept « solum-types » ont été choisis d'après leur position topographique, donc en fonction de l'âge du dépôt alluvial, mais aussi de l'occupation actuelle du terrain sous forêt ou sous culture. Après description macromorphologique des profils, le matériel alluvial a été inventorié d'un point de vue sédimentologique et ses caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques ont été mises en évidence.

Une attention plus particulière a été portée à l'étude des minéraux argileux. Les échantillons d'argiles ont été préparés selon la méthode des pâtes orientées (Holtzapffel, 1985) et analysés au

diffractomètre RX Rigaku 1 Max du Laboratoire de Géologie d'Angers. Une analyse qualitative et semi-quantitative du cortège a été réalisée pour permettre de caractériser la phase argileuse.

PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le cadre physique

Le Loir, qui prend sa source dans la région de Chartres vers le centre du Bassin de Paris, rejoint au Nord d'Angers, la Sarthe et la Mayenne pour former la Maine. Celle-ci franchit le synclinal paléozoïque d'Angers par une cluse qui détermine le niveau de base de l'ensemble du bassin hydrographique à l'amont.

Avant d'atteindre la confluence, le Loir s'écoule sur un substratum mésozoïque et cénozoïque constitué essentiellement de calcaires jurassiques et de marnes, craies, sables et argiles du Crétacé ou du Tertiaire (*figure 1*). Certaines de ces formations contiennent des silicifications sous diverses formes : silex et bancs silicifiés massifs d'origine pédologique ou phréatique (Mouyoungou, 1990).

Au cours du Quaternaire, le Loir s'est progressivement encaissé dans ces terrains sédimentaires. Petit à petit son tracé rectiligne a laissé place à des méandres de plus en plus prononcés dont certains ont ensuite été recoupés (*figure 2*). Lors des périodes d'alluvionnement intense, il a abandonné d'imposants dépôts, alimentés par ces matériaux empruntés au substratum (Sème, 1991). Quatre niveaux principaux de terrasse ont été distingués indépendamment du remblaiement holocène du lit majeur (Brossé *et al.*, 1989 - Sème, 1991) :

- les très basses terrasses (Fy), à moins de 8 m d'altitude relative, auraient été déposées au Würm (de -10000 à - 80000 ans)
- les basses terrasses (Fx), entre 10 et 14 m d'altitude relative, auraient été déposées au Riss (de - 130000 à - 180000 ans)
- les moyennes terrasses (Fw), entre 16 et 28 m d'altitude relative, auraient été déposées au Mindel (de - 200000 à - 500000 ans)
- les hautes terrasses (Fv), entre 35 et 45 m d'altitude relative, auraient été déposées au Günz (de - 600000 à - 900000 ans).

Le climat

Le climat en Anjou est de type tempéré océanique ; la pluviométrie annuelle moyenne est de l'ordre de 600 mm (612 mm à Angers-Avrillé, 624 mm à Tiercé, 655 mm à Seiches-sur-le-Loir).

La température moyenne annuelle est de 11,4° C à Angers où la moyenne des températures de janvier est de 4,6° C et celle de juillet de 18,8° C.

Le bilan P - ETP fait apparaître un déficit climatique moyen annuel de 120 mm, mais en fait, le déficit climatique mensuel cumulé est surtout important d'avril à septembre où il atteint plus de 300 mm.

Figure 1 - Localisation régionale et coupe stratigraphique.

Figure 1 - Regional localisation and stratigraphic section.

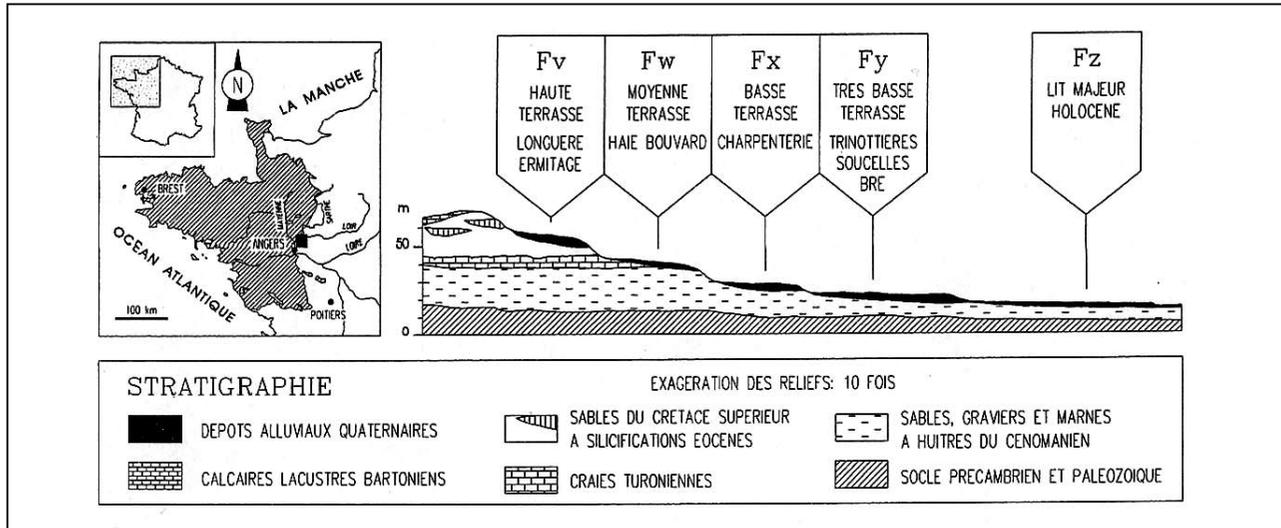
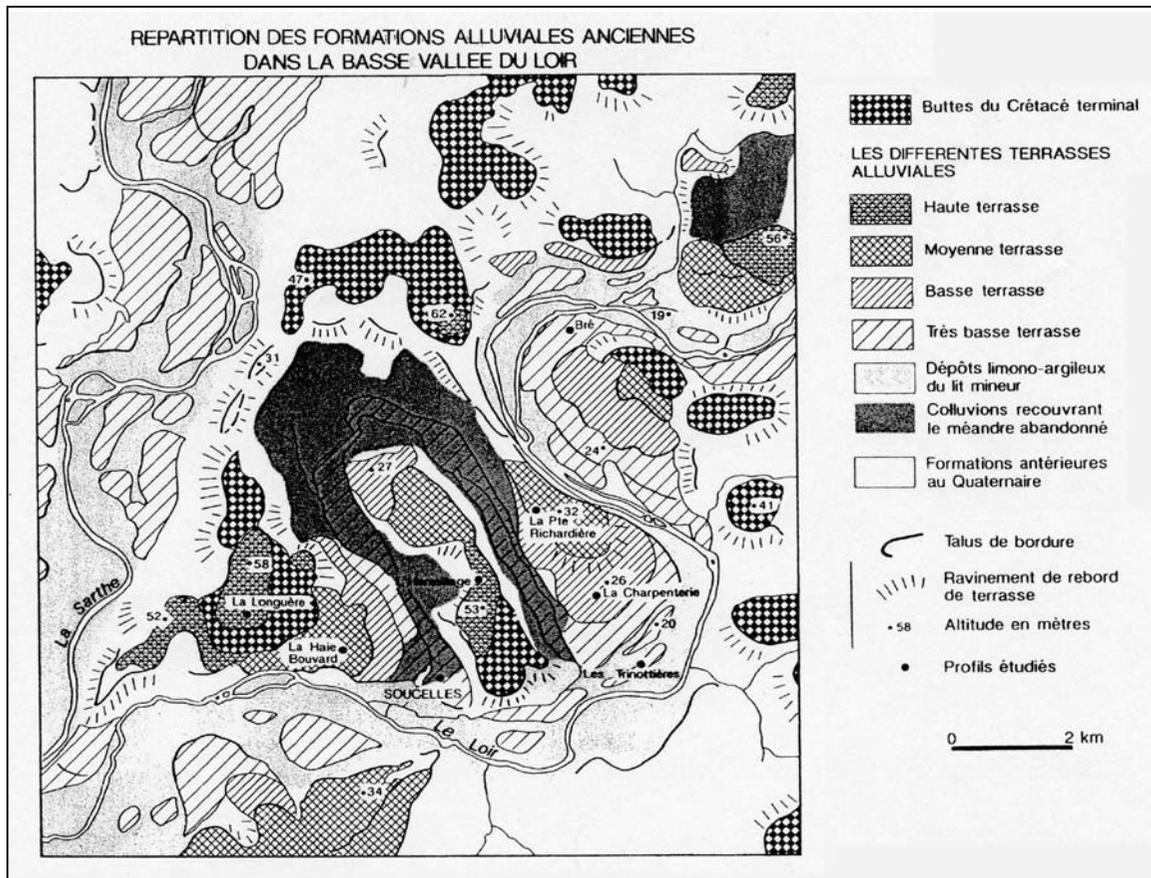


Figure 2 - Répartition des formations alluviales anciennes dans la basse vallée du Loir.

Figure 2 - Repartition of old alluvial formations in the Loir low valley.



L'excès de pluviométrie hivernale, qui est d'environ 200 mm, se situe entre novembre et mars. Lorsque les conditions de milieu l'imposent, un retard à l'écoulement des eaux peut apparaître et les sols prennent alors un caractère hydromorphe.

Des variations climatiques ont eu lieu pendant le quaternaire. Elles ont été étudiées souvent grâce à l'étude des pollens présents dans les sédiments terrestres (lacs ou marais). Cheddadi *et al.* (2005), dans la région du Velay, ont montré que pendant les cinq dernières périodes interglaciaires, à l'aide de modèles, les climats ont été chauds et humides (P annuel > 800 mm) pendant les périodes interglaciaires et froids et secs (P annuel < 400 mm) pendant les périodes glaciaires.

Durant les interglaciaires trois associations végétales sont dominantes et représentent plus de 70 % des pollens présents : conifères, arbres tempérés latifoliés (chênes à feuilles caduques), arbres tempérés mésophyles (hêtres ou charmes).

LE MATÉRIEL ALLUVIAL

Les dépôts alluviaux de la basse vallée du Loir sont constitués par un matériau silico-clastique sablo-graveleux et faiblement argileux. La composition globale du matériau varie peu d'une terrasse à une autre ; la variabilité granulométrique est cependant importante sur un même profil, reflétant ainsi les brusques changements qui ont affecté la dynamique de dépôt (*figure 3*). La plupart du temps on observe une alternance de passées sableuses et de passées graveleuses.

Si l'on excepte les énormes blocs de grès qui résultent du démantèlement de bancs silicifiés et qui reposent le plus souvent sur le substratum des formations alluviales, les passées graveleuses sont surtout composées de silex accompagnés de graviers et de galets de grès, de rares quartz que l'on rencontre surtout dans la haute terrasse Fv, où ils sont arrondis, émoussés, ont un aspect laiteux et sont parfois rougis à cœur. Quelques coquilles d'huîtres, remaniées du Cénomaniens, peuvent accompagner le matériel silico-clastique grossier. L'étude morphoscopique des galets fait apparaître une usure plus prononcée des quartz par rapport aux silex dont la résistance à l'abrasion est pourtant similaire, voire plus faible. Le façonnement des graviers et galets de quartz est donc antérieur au remaniement quaternaire ; ces matériaux sont donc hérités de formations plus anciennes (Sème 1991) : les silex proviennent des assises jurassiques et crétacées des formations calcaires du bassin de Paris ; les sables viennent essentiellement des formations sableuses sédimentaires du bassin parisien particulièrement des sables cénomaniens et sénoniens. On peut aussi trouver des éléments gréseux d'origine tertiaire.

Les niveaux sableux et sablo-limoneux sont quant à eux, presque exclusivement quartzueux et le matériau est souvent bien classé. Les quartz sont la plupart du temps limpides et monocristallins, arrondis et 50 à 75 % d'entre eux sont émoussés et luisants. Ils proviennent vraisemblablement, pour la grande majorité d'entre

eux, du remaniement des assises crétacées abondantes dans le bassin versant. La présence dans la très basse terrasse, aux Trinottières, d'une forte proportion de grains ronds-mats, souligne l'existence d'une période d'éolisation antérieure à la mise en place de cette formation alluviale.

Le matériel alluvial présente donc en général des courbes granulométriques bimodales, le premier mode grossier correspondant surtout aux silex et le second fin au quartz de la fraction limono-sableuse. Alors que les fractions sont bien séparées et relativement bien classées dans les terrasses inférieures, le mode grossier tend à s'estomper dans les niveaux alluviaux supérieurs où le matériau est plutôt mal classé et les éléments grossiers moins nombreux.

Le fait que coexistent dans un même stock sédimentaire, des éléments grossiers plutôt mal classés et des éléments sablo-limoneux plutôt bien classés montrent que les seconds sont hérités d'assises sédimentaires. Le transport fluvial quaternaire n'a donc pas été suffisant pour classer l'ensemble du matériau, pour donner un nouvel équilibre aux éléments, qu'ils soient grossiers comme les silex ou plus fins comme les sables. Ces formations sableuses sont souvent glauconieuses. Les granules de glauconie, transportées avec les sables, s'altèrent et libèrent leur fer dans les alluvions déposées. Les argiles sont surtout smectitiques quand elles sont abondantes et peuvent atteindre 30 % de la terre fine à environ un mètre sous la surface du sol, dans les alluvions des terrasses supérieures. Or, les smectites sont les minéraux dominants dans la fraction argileuse des assises mésozoïques ou cénozoïques environnantes. Il faut toutefois souligner que, la plupart du temps, la fraction argileuse dans les dépôts alluviaux, reste très accessoire.

Tout ce matériel, qu'il soit fin ou grossier, c'est à dire qu'il soit argileux, sableux ou encore graveleux, est en conséquence un résidu d'altération des calcaires, craies, et argiles sédimentaires, hérité du Mésozoïque ou du Cénozoïque. Même si l'on observe une certaine variabilité au niveau des différentes terrasses, cette variabilité reste malgré tout très modeste et il est donc possible de considérer que, quel que soit le niveau alluvial, le matériau était à peu près identique au moment du dépôt (Biagi, 1993).

LES SOLS

Sept solums ont été étudiés dans quatre niveaux alluviaux différents. Chacun d'eux est décrit et interprété d'un point de vue pédogénétique en appliquant le référentiel pédologique (Baize *et al.*, 1995) (*figure 4*). Des analyses classiques ont été effectuées sur chaque horizon. Le *tableau 1* ne présente que les éléments les plus significatifs.

Sols des tres basses terrasses (Fy)

Les Trinottières : P1 : **BRUNISOL RESATURE, sableux, cultivé** : sol à horizons sableux reposant à 90 cm sur un matériau graveleux. Le pH est neutre en surface et diminue en profondeur. La

Figure 3 - Variabilité granulométrique des alluvions inter et intra-profiles.

Figure 3 - Alluvial deposit variability inter and intra-profiles.

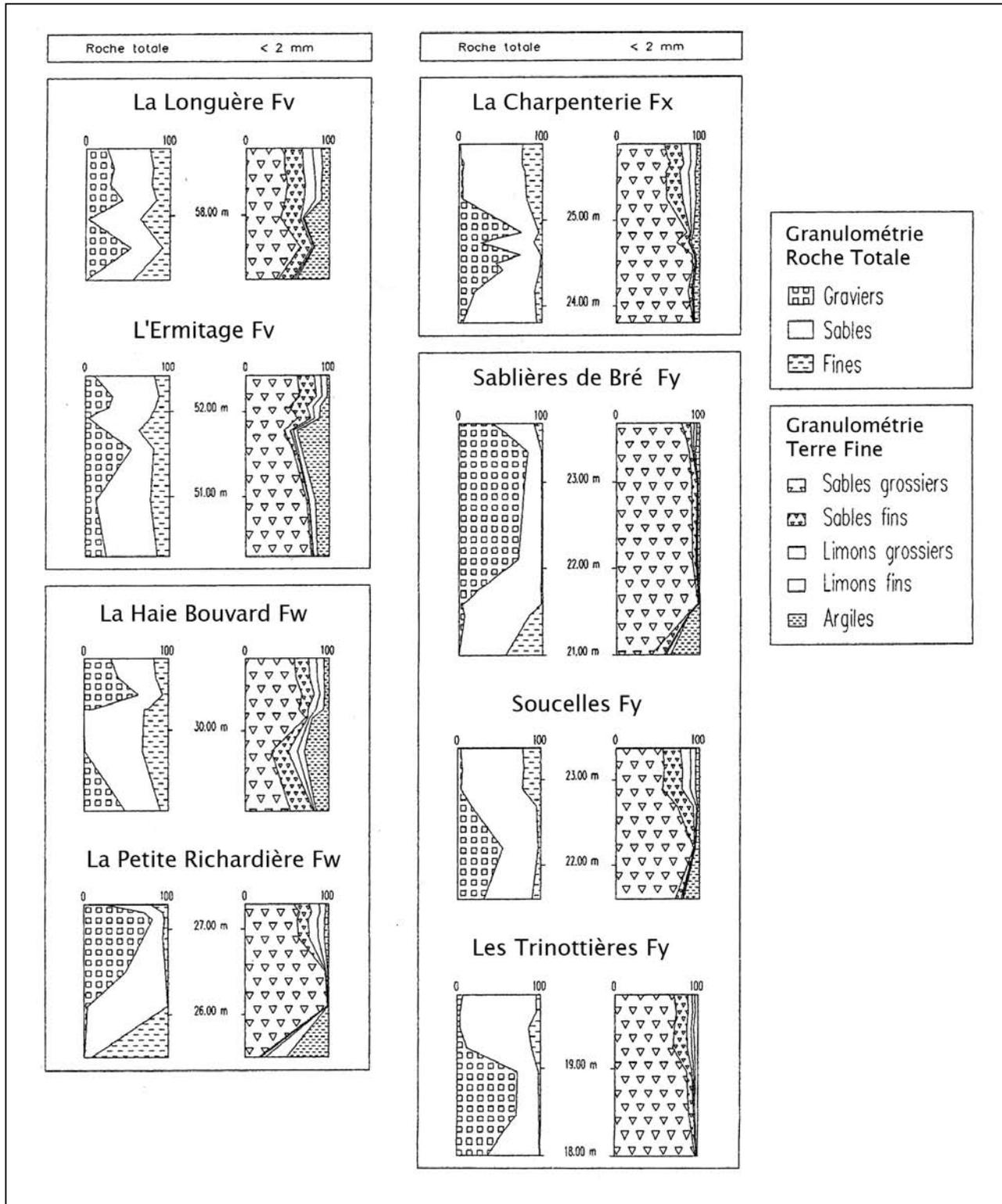


Figure 4 - représentation schématique des solums pédologiques.
 Figure 4 - Schematic representation of pedologic solums.

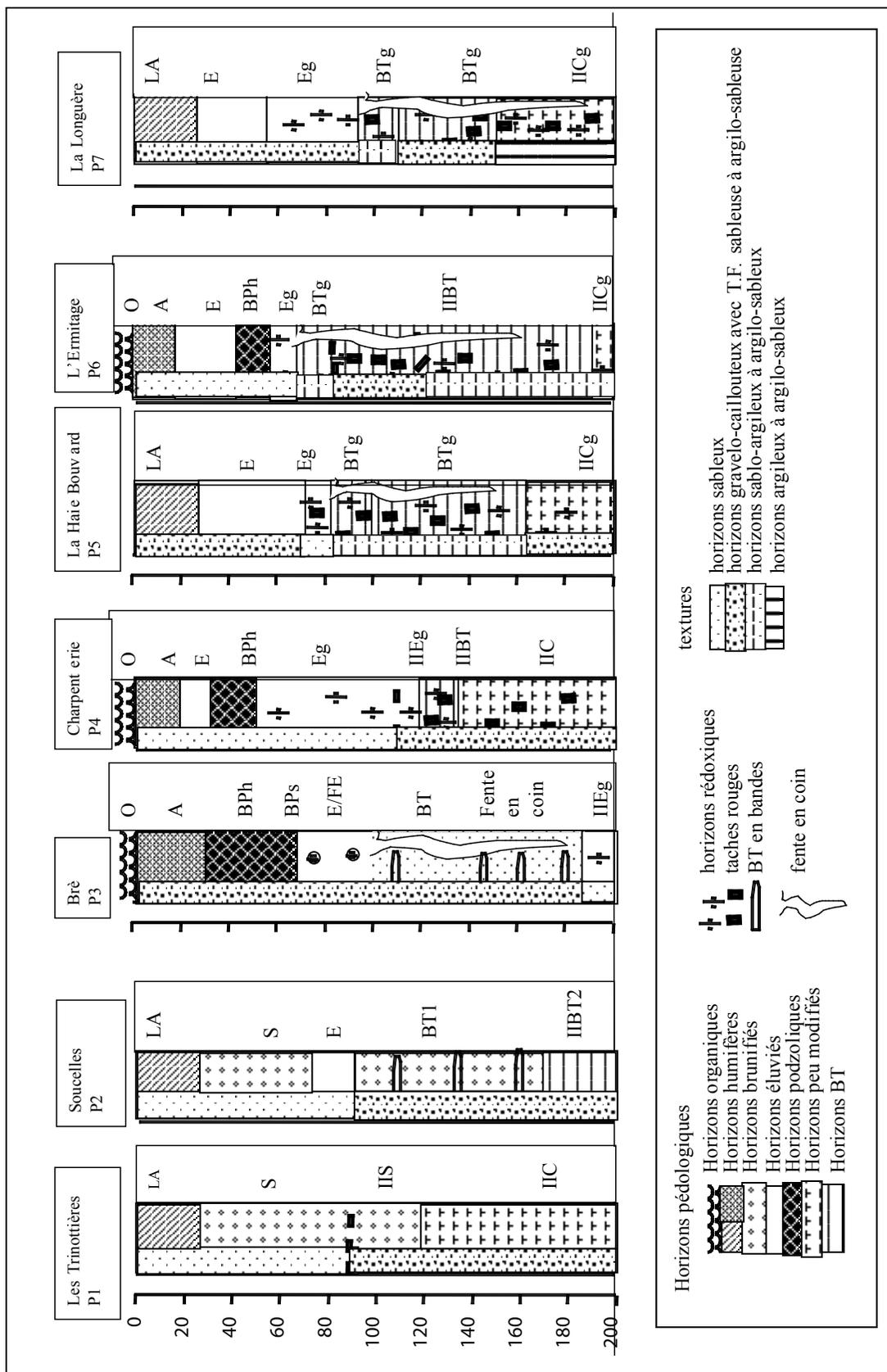


Tableau 1 - Caractéristiques morphologiques et analytiques des solums.

Table 1 - Morphologic and analytic characteristics of solums.

	Horizons	Profondeur (cm)	Graviers (% RT)	Argiles (% RT)	Couleur Munsell		pH		C Anne	N Kjeld.	C/N	MO	C.E.C	Al
					Fond	Taches	eau	KCl						
	LA	0 à 25	6,5	3,4	10 YR 3/4		6,8	5,9	4,6	0,4	11,5	7,9	21	
	S1	25 à 43	3,8	3,4	10 YR 4/4		6,1	4,6	1,2	0,13	9,23	2,1	13	
	S2	43 à 62	3,3	5,2	10 YR 4/4		5,7	4,5	1,7	0,23	7,39	2,9	22	
	S3	62 à 88	11,8	3,3	10 YR 4/4		5,8	4,6	2,1	0,19	11,5	3,6	23	
	II S4	88 à 120	72,6	0,9	10 YR105/6		5,4	4,2					21	
	II C1	120 à 190	70,7	1,1	10 YR 6/8		5	3,9					31	
	II C2	190 à 210+	37,2	0,3	10 YR 7/8		5,9	4,7					7	
	LA	0 à 25	14,0	3,9	5 YR 4/4		5,4	4	1,5	0,17	8,82	2,6	17	
	S1	25 à 50	13,7	4,2	5 YR 4/4		5,5	4,2	3,7	0,35	10,57	6,4	21	
	S2	50 à 72	14,5	4,3	10 YR 4,5/4		5,7	4,4	1,6	0,15	10,67	2,8	21	
	E	72 à 90	17,6	1,7	10 YR 5/6		5,9	4,6	0,7	0,07	10	1,2	8	
	II BT1	90 à 170	54,2	2,2	10 YR 5/6		6,1	4,6					26	
	II BT2	170 à 210+	31,8	12,7	7,5 YR 5/8		4,7	3,5					120	
		A	0 à 30	41,2	2,0	10 YR 4,5/3		4,2	3,4	12,5	0,81	15,43	21,5	35
BPh		30 à 50	67,2	1,2	10 YR 4/3		4,3	3,5	11,6	0,81	14,32	20	54	
BPs		50 à 65	82,8	0,8	7,5 YR 4/5		4,6	4	7,1	0,44	16,14	12,2	39	
Bfe		65 à 100	78,7	0,5	7,5 YR 4/4		4,8	4,3	3,8	0,19	20	6,5	24	
BT		100 à 190	71,7	0,7	10 YR 6/8		4,9	4,3					25	
II Eg		190 à 210	3,7	0,5	10 YR 8/1		5,9	4,6					7	
II Cg		210 à 240	7,2	11,8	7,5 YR 5/8		6,1	4,6					59	
III M		240 et +	0,0	34,5	5 G 4/2		6,4	4,7					170	
		A	0 à 22	1,5	3,9	10 YR 3/1		4,3	3,7	26,9	1,28	21,02	46,3	66
	E	22 à 30	1,9	4,3	10 YR 4,5/2		4,3	3,8					40	
	BPh	30 à 38	5,8	4,4	10 YR 3/3,5		4,6	4,1	19,4	0,92	21,09	33,4	70	
	BPs	38 à 50	3,9	5,9	10 YR 4/4		4,7	4,3	19,2	0,91	21,1	33	63	
	Eg2	50 à 110	4,6	4,8	10 YR 7,5/3		4,8	4,3	3,7	0,19	19,47	6,4	22	
	II Eg3	110 à 117	75,0	2,0	10 YR 8/2		5,2	4,1	3,1	0,23	13,48	5,3	39	
	II BTg	117 à 135	27,0	7,7	{ BTg: 2,5 YR 5/8		5,4	4,1					54	
	II C1	135 à 147	73,7	1,2	10 YR 7/8		5,3	4,1					25	
	II C2	147 à 155	45,0	2,4	10 YR 6/8		5,2	4					23	
	II C3	155 à 165	52,9	2,3	10 YR 6/6		5	3,9					28	
	II C4	165 à 210	19,9	5,9	10 YR 5/6		5,5	4,1					40	
	III C5	> 210	5,2	5,5	10 YR 5/8		5,4	4					36	
		LA	0 à 30	31,1	4,1	10 YR 5/3		4,7	3,8	9,3	0,86	10,81	16	41
E1		30 à 45	39,8	3,3	10 YR 4/3		4,7	3,8	8,2	0,76	10,79	14,1	42	
Eg2		45 à 70	43,8	1,9	10 YR 4/4		5,1	4,1	4,6	0,38	12,11	7,9	28	
Eg3		70 à 80	9,6	5,4	10 YR 6/6		5,5	4,3	1,6	0,1	16	2,8	22	
BTg		80 à 90	0,0	19,4	5 YR 5/8		4,9	3,8	2,2	0,18	12,22	3,8	75	
II BTg		90 à 160	1,0	28,9	5 Y 7/2		4,7	3,5	2,4	0,19	12,63	4,1	480	
III Cg		160 à 230+	48,3	7,6	7,5 YR 5/6		4,7	3,6					120	

UNITÉS UTILISÉES

En % de la masse de la roche totale (RT) -> Graviers et argiles

En g.kg⁻¹ de la masse de la terre fine (< 2 mm) -> Al Tamm, Al total, Fe DEB, Fe total, Ca total, Na total, Mg total, K total, acide phosphorique totalEn Cmol⁺ kg⁻¹ de terre fine -> C.E.C., Al Jackson, Ca échangeable, Na échangeable, Mg échangeable, K échangeableEn g.kg⁻¹ de terre fine -> C Anne, N Kjeldahl, M.O., acide phosphorique DYEREn mg.kg⁻¹ de terre fine -> Mn total

	Cations échangeables					Cat. libres		Eléments totaux							P ₂ O ₅		Trinottières
	Al J.	Ca	Na	Mg	K	Fe	Al T.	Fe	Al	Ca	Na	Mg	K	Mn	Dyer	Total	
	21	0,036	3	2											0,356		
	7	0,021	1	1		2,4	0,5	4,4	5,7	0,2	0,7	0,3	3,2	111	0,159	0,5	
	12	0,044	1	2											0,283		
	12	0,038	1	2													
	11	1	1	2		3,7	0,7	6,9	5,8	0,4	0,3	370	2,2	37		0,3	
	8	0,047	1	2													
	5	0,014	1	0,015													

	Cations échangeables					Cat. libres		Eléments totaux							P ₂ O ₅		Soucelles
	Al J.	Ca	Na	Mg	K	Fe	Al T.	Fe	Al	Ca	Na	Mg	K	Mn	Dyer	Total	
	7	0,013	2	2											0,107		
	6	0,018	2	3		2,9	0,5	5,4	8,6	0,4	1,1	0,5	4,2	191	0,237	0,6	
	13	0,016	1	2											0,069		
	5	0,011	0,04	1		2,1	0,1	3,3	5,4	0,8	0,4	0,2	2,4	56		0,2	
	24	0,039	3	2													
	35	1	4	2													

	Cations échangeables					Cat. libres		Eléments totaux							P ₂ O ₅		Bré
	Al J.	Ca	Na	Mg	K	Fe	Al T.	Fe	Al	Ca	Na	Mg	K	Mn	Dyer	Total	
	8	0,031	1	1		3,7	0,8	5,3	5,9	0,9	0,3	0,3	2,3	65	0,071	0,5	
	19	0,025	0,02	1		8,8	1,1	10,8	7,8	0,4	0,3	0,4	2,3	54	0,231	1	
	28	0,043	0,02	1		7,1	1,7	9,5	8,7	2,4	0,3	0,5	1,9	40	0,126	0,5	
	17	0,02	0,02	0,032		5,3	2	8	10	2,9	0,1	0,5	2,1	46	0,054	0,3	
	20	0,019	0,04	0,025		7,3	1,6	10,8	10	0,1	0,3	0,6	2,9	30		0,3	
	3	0,01	1	0,017													
	48	1	8	2													
	150	1	19	5													

	Cations échangeables					Cat. libres		Eléments totaux							P ₂ O ₅		Charpenterie
	Al J.	Ca	Na	Mg	K	Fe	Al T.	Fe	Al	Ca	Na	Mg	K	Mn	Dyer	Total	
	32														0,012		
	22					1,3	0,6	2,7	8,1	0,1	0,8	0,2	3	29	0,009	0,1	
	36					3	4	4,6	10,6	0,5	1	0,3	3,2	27	0,013	0,2	
	24					8,02	6,1	10,6	17,4	0,4	1,5	0,6	4,8	60	0,019	0,2	
	13					10	2	14,4	15	0,3	1,3	0,8	5,7	57	0,007	0,2	
	8																
	4					12	1,7	17,9	14,5	0,6	0,3	1,1	3,2	24		0,2	

	Cations échangeables					Cat. libres		Eléments totaux							P ₂ O ₅		Haie Bouvard
	Al J.	Ca	Na	Mg	K	Fe	Al T.	Fe	Al	Ca	Na	Mg	K	Mn	Dyer	Total	
	12	0,035	2	2											0,048		
	10	0,016	1	3											0,032		
	11	0,048	2	2		3,9	1	6,1	9	0,2	0,6	0,4	2,8	28	0,041	0,3	
	14	0,028	3	1		3,5	0,7	6,4	10,5	0,3	0,4	0,5	2,9	20		0,2	
	31	0,048	11	2		12,5	2,5	21,4	26,9	0,6	0,4	1,5	4,1	24		0,2	
	68	1	28	2		5,3	3,5	23,4	38,8	1,6	0,5	2,5	4,4	34		0,2	
	42	1	17	2													

Suite du Tableau 1 - Caractéristiques morphologiques et analytiques des solums.

Table 1 - Morphologic and analytic characteristics of solums.

Ermitage	Horizons	Profondeur (cm)	Graviers (% RT)	Argiles (% RT)	Couleur Munsell		pH		C Anne	N Kjeld.	C/N	MO	C.E.C	Al
					Fond	Taches	eau	KCl						
					A	0 à 14	10,5	3,0						
E	14 à 37	32,4	1,9	10 YR 4/1		4,1	3,2	4,4	0,14	31,43	7,6	18	10	
BPhs	37 à 50	28,2	8,1	10 YR 3/4	10 YR 4/3	4,4	3,9	12,4	0,56	22,14	21,3	100	50	
Eg	50 à 65	4,0	11,3	2,5 Y 5/4	10 YR 5/8 ; 10 YR 4/6	4,6	4	4,2	0,18	23,33	7,2	58	40	
BTg1	65 à 80	23,3	29,7	2,5 Y 5/2	7,5 YR 5/8	4,8	3,6					180	110	
BTg2	80 à 110	54,6	15,0	7,5 YR 5/8	2,5 Y 6/2 ; 10 R 4/8	4,8	3,4					130	65	
BTg3	110 à 200	12,5	14,9	10 YR 6/8	2,5 Y 6/2 ; 10 R 4/8	4,8	3,3	1,9	0,19	10	3,3	90	34	
Cg	> 200	24,5	10,7	10 YR 5/6	2,5 Y 7/2	4,9	3,5					80	7	

Longuère	Horizons	Profondeur (cm)	Graviers (% RT)	Argiles (% RT)	Couleur Munsell		pH		C Anne	N Kjeld.	C/N	MO	C.E.C	Al
					Fond	Taches	eau	KCl						
					LA	0 à 33	24,6	7,8						
E1	33 à 56	32,5	5,8	10 YR 5/3	10 YR 7/3 ; 10 YR 5/6	5,5	4,4	9,2	0,76	12,11	15,8	46		
Eg2	56 à 92	28 à 43	6,89 à 5,26	2,5 Y 6/4 ; 7/2	7,5 YR 5/8	5,4	4,2	3,7	0,29	12,76	6,4	41		
BTg1	92 à 115	43,5	5,3	2,5 Y 5/4	7,5 YR 4/6	5	3,8					130		
II BTg2	115 à 150	63,7	8,1	7,5 YR 5/8	5 Y 6/2 ; 2,5 YR 4/8	4,7	3,6					66		

UNITÉS UTILISÉES

En % de la masse de la roche totale (RT) -> Graviers et argiles

En g.kg⁻¹ de la masse de la terre fine (< 2 mm) -> Al Tamm, Al total, Fe DEB, Fe total, Ca total, Na total, Mg total, K total, acide phosphorique total

En Cmol⁺ kg⁻¹ de terre fine -> C.E.C., Al Jackson, Ca échangeable, Na échangeable, Mg échangeable, K échangeable

En g.kg⁻¹ de terre fine -> C Anne, N Kjeldahl, M.O., acide phosphorique DYER

En mg.kg⁻¹ de terre fine -> Mn total

C.E.C. est très faible (10 à 30 Cmol⁺.kg⁻¹ et saturée par le calcium ; le taux de saturation diminue en profondeur.

Soucelles : P2 : **BRUNISOL MESOSATURE, luvique, sableux, cultivé** : sol à horizons sableux en surface reposant vers 90 cm sur des matériaux sablo-caillouteux. Il y a un horizon éclairci E vers 80 cm de profondeur et des bandes plus riches en argile apparaissent entre 1 m et 1,50 m. Le pH est acide dès la surface (5,4). La C.E.C. est faible (8 à 30 Cmol⁺.kg⁻¹).

Bré : P3 : **PODZOSOL OCRIQUE, sableux, à horizon BT en bandes, cryoturbé, forestier** : sol à horizons sablo-caillouteux dès 25 cm. La succession d'horizons podzoliques est la suivante : A, BPh, BPs ; un horizon enrichi en fer ferrique FE et en pellicules ferro-manganiques apparaît surmontant des horizons présentant des bandes enrichies en argile avant d'arriver sur un niveau de sable blanc où circule la nappe. Le tout repose sur une argile sableuse vert-grisâtre à faible effervescence contenant quelques débris de coquilles d'huîtres cénomaniennes remaniées. Le pH est acide et varie entre 4,2 et 4,9 sur 2 m d'épaisseur. La C.E.C. comprise entre 20 à 50 Cmol⁺.kg⁻¹ est faible. L'Al échangeable représente 70 à 80 % de la C.E.C. suivant les horizons.

Sols des basses terrasses (Fx)

La Charpenterie : P4 : **PODZOSOL MEUBLE, redoxique, cryoturbé, sableux, à horizon BT rubéfié, polygénétique, planosolique, forestier** : sol à horizons sableux puis sablo-caillouteux à partir de 1,10 m, avec un horizon E peu épais et peu blanchi suivi d'horizons BPh et BPs. En dessous apparaissent des horizons Eg rédoxiques qui s'éclaircissent sous l'action de l'excès d'eau ; puis un horizon BT rubéfié plus riche en argile (10 %), et peu épais (17 cm), à taches rougeâtres, peu poreux. Enfin à la base il y a des horizons de type C sablo-caillouteux, relativement poreux avec des taches rouges. La matière organique est abondante en A (5 %) et en BP (3 %), le C/N est élevé (21). Le pH est acide et varie entre 4,3 et 4,7 dans les horizons BP puis monte à 5,2 et 5,4 en profondeur. La C.E.C. est faible de 20 à 70 Cmol⁺.kg⁻¹ avec 40 à 60 % d'Al échangeable dans les horizons BP et 20 à 7 % en dessous.

Sols des moyennes terrasses (Fw)

La Haie Bouvard : P5 : **PLANOSOL DISTAL, pédomorphe, redoxique, cryoturbé, à horizon BT rubéfié, polygénétique, sableux, cultivé** : Sol à horizons sableux et sablo-caillouteux entrecroisés, sous prairie. L'horizon E rédoxique, appauvri (5 à 6 % d'argile) s'éclaircit au contact de l'horizon BT plus argileux (20 à 30 %), rougeâtre et présentant des taches rouges et un

	Cations échangeables					Cat. libres		Éléments totaux						P ₂ O ₅		Ermitage	
	Al J.	Ca	Na	Mg	K	Fe	Al T.	Fe	Al	Ca	Na	Mg	K	Mn	Dyer		Total
10	0	1	1	0,021											0,034		
10	0	0,023	0,02	0,011		0,5	0,2	1,3	3,9	0	0,4	0,1	1,8	17	0,006	0,1	
50	1	1	1	0,045		6,8	3,7	11,7	18,3	0,1	0,7	1	4,1	36	0,008	0,2	
40	1	1	1	1		8,3	2,7	14,1	19	0,1	0,7	1,2	4,2	26	0,006	0,1	
110	16	4	38	3		19	5,6	39,1	50,4	0,8	0,7	4,3	8,3	93		0,2	
65	21	4	61	2		19,5	4	39,8	63,1	2,4	0,4	3,9	5,9	39		0,2	
34	21	3	48	2		11,9	2,8	22,8	45,7	0,7	0,3	2,5	3,7	26		0,2	
7	34	3	47	1													

	Cations échangeables					Cat. libres		Éléments totaux						P ₂ O ₅		Longuère	
	Al J.	Ca	Na	Mg	K	Fe	Al T.	Fe	Al	Ca	Na	Mg	K	Mn	Dyer		Total
	52	1	5	7											0,165		
	29	1	3	1		2,9	1,1	6,1	12,9	0,7	1,1	0,6	3,8	28	0,034	0,3	
	23	1	3	1		1,9	1,1	6,2	15,5	0,7	1,2	0,7	4,2	23	0,03	0,2	
	64	1	11	3		18,2	4,2	31,4	39,2	1,5	0,3	2	4,3	28		0,2	
	29	1	6	2													

réseau polygonal de veines grises dont le centre est occupé par des racines mortes soulignant la porosité fissurale du sol. Les taches rouges sont localisées plutôt dans les zones centrales des prismes entourés des veines grises. Le pH est acide de 4,7 à 5,1. La C.E.C. est faible dans les horizons sableux, de 20 à 40 Cmol⁺. kg⁻¹, et augmente dans les horizons plus argileux, de 70 à 180 Cmol⁺. kg⁻¹; la saturation est de 30 à 50 % en surface, elle passe par un maximum de 80 %; l'Aluminium libre représente 6 à 11 % de l'Aluminium total.

Sols des hautes terrasses (Fv)

L'Ermitage : P6 : **PODZOSOL MEUBLE, sableux, cryoturbé, rédoxique, sur horizon BT rubéfié, polygénétique, planosolique, forestier** : Sol à horizons sableux en surface et reposant sur des couches plus caillouteuses entre 80 et 120 cm; en dessous apparaissent des couches argilo-sableuses. Un horizon E éclairci de 15 cm repose sur des horizons BPhs. Un horizon Eg rédoxique repose ensuite sur un horizon plus argileux (40 %) à nombreuses taches rouges et un réseau polygonal de veines grises dont les centres sont occupés par des racines mortes. Les taches rouges apparaissent sous un premier horizon brun-ocre de 20 cm. Les pH sont acides à très acides, 3,8 à 4,8. La matière organique est abondante en A (5 %) et en BP (2 %), avec un C/N élevé, 46 en A et 20 en BP. La C.E.C. est faible (< 50 Cmol⁺. kg⁻¹), l'Al échangeable est élevé et représente 40 à 75 % de C.E.C. L'aluminium libre représente 20 % dans l'horizon BP, 6 à 7 % dans les horizons sous-jacents.

La Longuère : P7 : **PLANOSOL DISTAL, pédomorphe, rédoxique, cryoturbé, à horizon BT rubéfié, polygénétique, sableux, cultivé** : Sol à horizons sablo-caillouteux en surface et sablo-argilo-caillouteux en profondeur; sous prairie. Des horizons E éclaircis, rédoxiques apparaissent au contact des horizons BTg

plus argileux (30 %) présentant des taches rouges et un réseau polygonal de veines grises soulignées par des racines mortes. Les pH sont de 5,7 en surface et diminuent jusqu'à 4,7 en profondeur. La C.E.C. est faible dans les horizons sableux, de 30 à 90 Cmol⁺. kg⁻¹ et augmente dans les horizons argileux à 130 Cmol⁺. kg⁻¹. La saturation est forte en surface et décroît en profondeur. Le rapport Al libre sur Al total est de 7 à 11 %.

Les superpositions des horizons, leurs différentes caractéristiques morphologiques et analytiques permettent déjà de mettre en évidence des convergences et des divergences dans les sols des différents niveaux de terrasses.

La pédogénèse actuelle se superpose nettement à des pédogénèses plus anciennes. Les sols des formations alluviales étagées de la basse vallée du Loir sont en réalité des sols polyphasés. Selon les niveaux alluviaux, leur morphologie n'est bien entendu pas la même, mais leurs caractéristiques physico-chimiques sont également différentes.

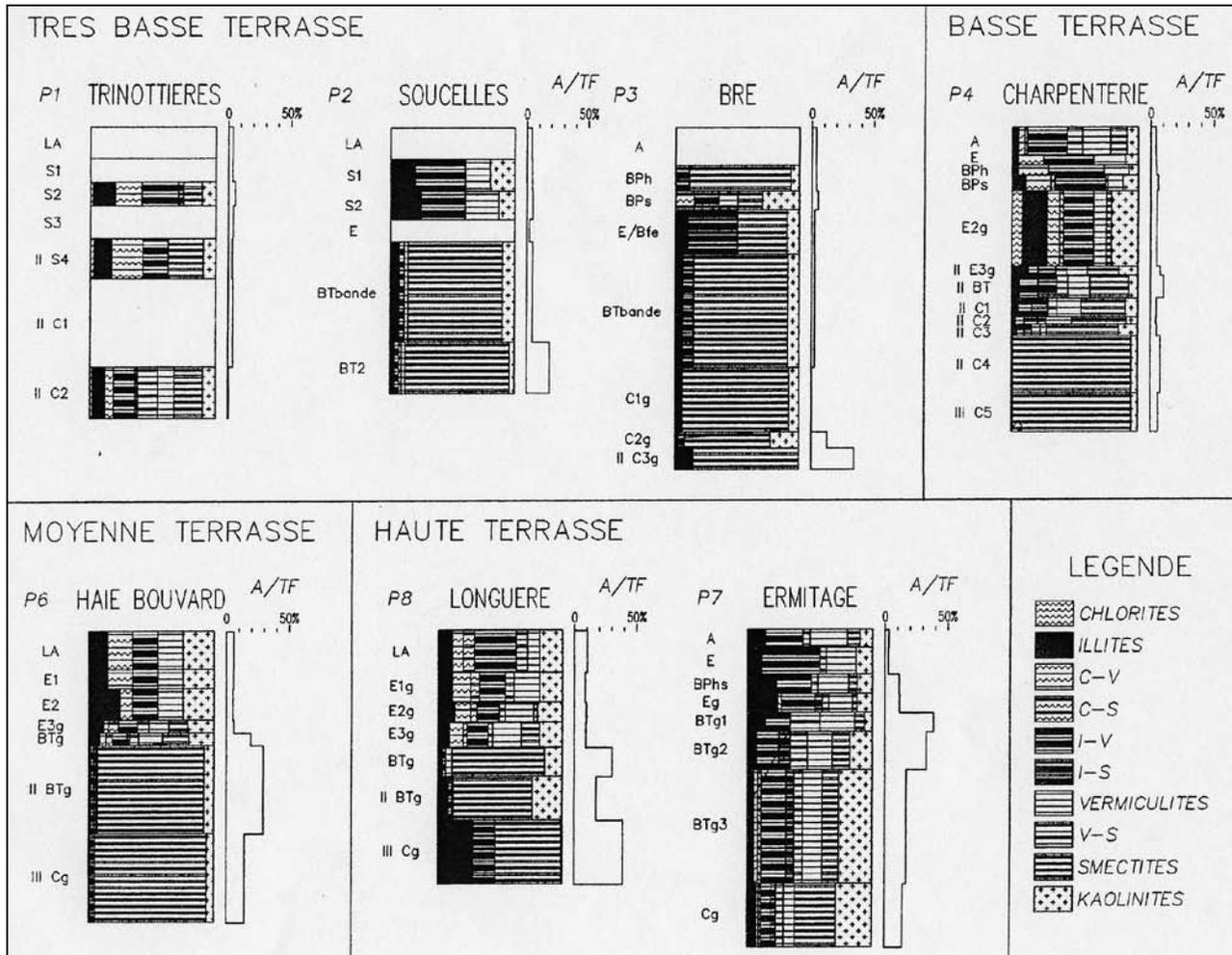
LES MINÉRAUX ARGILEUX DES SOLS ET DES HORIZONS

Généralement la composition de la fraction argileuse est sensiblement la même quel que soit le niveau de terrasse considéré et dans chaque profil l'évolution du cortège est également assez comparable (figure 5).

Les argiles des sols sont mal cristallisées et donnent aux RX des pics petits, trapus, mal individualisés, et ce d'autant plus que ce sont des horizons de surface. Elles présentent cependant une meilleure cristallinité relative, à la base des profils, où la fraction argileuse contient une fraction smectitique dominante, accompagnée d'illites, de kaolinites, ainsi que d'interstratifiés illite-smectite (par

Figure 5 - Evolution du cortège minéralogique de la fraction argileuse des horizons des sols.

Figure 5 - Mineralogical trail evolution of soil horizon clayey fraction.



exemple à La Longuère, à la Haie Bouvard, à la Charpenterie ou à Bré). En remontant vers les horizons supérieurs, le cortège contient des espèces argileuses plus nombreuses, moins bien cristallisées et présentant de nombreux intergrades. Les smectites sont alors de moins en moins abondantes et vont pratiquement disparaître, sauf dans la terrasse Fy ; les illites et les kaolinites sont en faible quantité ; des vermiculites hydroxyalumineuses sont mises en évidence. Dans les terrasses les plus anciennes (Fx, Fw et Fv) ce sont en revanche les intergrades qui dominent : d'abord illite-vermiculite mais aussi en moins grande quantité, vermiculite-smectite, illite-smectite, vermiculite-chlorite et smectite-chlorite. Sur la terrasse Fy, les intergrades, moins abondants, sont : vermiculite-smectite, illite-smectite et illite-vermiculite.

On considère que les kaolinites et les illites ont été à peu près conservées, d'après la figure 5, quels que soient les profils et les horizons considérés. Si cette fraction kaolino-illitique est invariante,

il faut donc admettre que l'évolution dans la teneur et la nature des argiles vers le haut des profils, correspond à la seule transformation du stock smectitique hérité. Cette transformation est intimement liée à des processus pédogénétiques.

INTERPRÉTATION DES DONNÉES ET DISCUSSION

Evolution du cortège argileux

La fraction argileuse des dépôts alluviaux de la basse vallée du Loir est héritée des assises mésozoïques et cénozoïques. Les minéraux smectitiques constituent l'essentiel du cortège et sont accompagnés d'une faible proportion d'illite et de kaolinite. Les quelques analyses effectuées sur les terrains constituant le substratum des

Tableau 2 - Données analytiques et pédogénèse.**Table 2** - Analytical data and pedogenesis.

	Fy			Fx	Fw	Fv	
	Les trinottières: cultivé	Soucelles: cultivé	Bré: sous forêt	La Charpenterie: sous forêt	La Haie Bouvard sous prairie	L'Ermitage: sous forêt	La Longuère: sous prairie
pH	6,8 - 5,4	5,4 - 4,7 à 5,4	4,2 - 4,9	4,3 - 4,7	4,7 - 5,5	3,8 - 4,8	3,7 - 4,7
I.D.T.	S2/S1 = 1,5		1,1	BTg/Eg= 1,35	BTg/E= 3,8	BTg/E= 3,3	BTg/E= 3,6
Fer total dans BTrub. et BT	0,69	0,79	1,08	1,79	2,34	3,91	3,14
Fer libre	0,37	0,48	0,73	1,20	1,25	1,90	1,82
Couleurs Fond taches	10YR4/4	10YR5/8	10YR6/8	7,5YR5/8 5YR5/8	5YR5/8 2,5YR4/8	7,5YR5/8 10R4/8	7,5YR5/8 2,5YR4/8
Al libre / Al total	0,08 à 0,12	0,02 à 0,11	0,13 à 0,2	0,35 à 0,38 (BP) 0,11 à 0,14 (dessous)	0,06 à 0,11	0,06 à 0,11 0,20 (BP)	0,07 à 0,11

terrasses à Bré, à la Charpenterie et à la Haie Bouvard ont montré la très nette prédominance des smectites dans la fraction argileuse qui est donc très représentative du bassin versant du Loir, dans les assises crétacées. En effet, les deux échantillons prélevés sous les matériaux des terrasses ont donné principalement des smectites et des illites et des interstratifiées smectites-illites.

Quel que soit le niveau de terrasses considéré on peut donc estimer qu'au moment du dépôt les argiles étaient en majorité smectitiques. Par la suite une majorité d'entre elles a été entraînée par lessivage et s'est accumulée dans les horizons BT où elles ont été préservées. Kaolinite et illite peu abondantes au départ et moins sujettes au lessivage, en particulier pour la kaolinite, constituent une fraction pratiquement invariante sur l'ensemble du profil.

En revanche, au dessus des horizons d'accumulation les smectites ont été transformées et cette transformation est d'autant plus importante que l'on s'élève dans le profil. Soumises à des conditions d'hydromorphie temporaire en environnement acide, les smectites ont alors subi des transformations qui ont abouti à la formation d'intergrades smectites-vermiculites puis de vermiculites hydroxy-alumineuses ou d'intergrades chlorites-smectites puis de chlorites (Aurousseau *et al.*, 1983) déjà décrites dans la massif armoricain. Une certaine partie des illites a certainement été affectée également par des transformations aboutissant à la formation d'intergrades.

En conditions podzoliques sous couvert forestier, les kaolinites et les illites ont tendance à être détruites.

Une filiation génétique existe donc entre les smectites, dont certaines ont été minéralogiquement préservées dans les horizons d'accumulation, et la plupart des autres minéraux argileux rencontrés le long des profils. Cette filiation est liée à des transformations résultant de processus pédogénétiques.

Les horizons des sols

Les différents types d'horizons décrits sont les suivants :

Des horizons podzoliques se développent dans les horizons superficiels des sols quel que soit le niveau de terrasses, dans la mesure où il existe une végétation forestière à base de résineux accompagnée de bouleaux, de calunes et d'ajoncs. L'intensité de la podzolisation varie suivant les niveaux de terrasses ; sur la très basse terrasse (Fy), au lieu dit « Bré », le solum observé ne présente pas d'horizon E podzolique qui existe sur la basse et la haute terrasse. Le rapport de l'Al libre entre BPs et A est égal à 2,1 dans la très basse terrasse puis augmente avec le niveau de terrasse ; il passe en effet à 10 sur basse terrasse et à 18 sur haute terrasse. De la même façon, celui du fer libre entre BPs et A est de 1,9 sur la très basse terrasse, il passe à 6,3 sur basse terrasse puis à 13,6 sur la haute terrasse. Le taux de fer libre dans les horizons podzoliques d'accumulation BPh et BPs varie de 0,3 à 0,8 %. (*tableau 2*)

Des horizons « bruns » sont présents sur les très basses terrasses, dans les sols cultivés qui sont le plus souvent partiellement resaturés par les apports d'amendements et d'engrais. Le taux de fer libre des horizons S est compris entre 0,21 et 0,37 %.

Des horizons d'accumulation d'argile ont été observés dans les BRUNISOLS des très basses terrasses sous forme d'horizons en bande de quelques mm d'épaisseur. L'indice de différenciation texturale (IDT) varie de 1,1 à 1,5 et le taux de fer libre est de 0,73. Il n'apparaît pas d'horizons éluviés E éclaircis sauf au lieu dit « Soucelles » à 80 cm de profondeur.

Des horizons plus argileux sont présents dans les sols des autres niveaux de terrasses ; le taux d'argile de la terre fine augmen-

te de la basse terrasse (10 %) à la moyenne terrasse (20 à 30 %) puis à la haute terrasse (30 à 40 %). L'IDT y est respectivement de 1,35, 2,3 et 3,2. L'épaisseur de ces horizons argileux est faible dans les sols sur basse terrasse (17 cm). Ceux-ci, moins poreux que les horizons sableux et sablo-graveleux, sont d'une part le siège d'engorgement et d'autre part occasionnent des excès d'eau dans les horizons éluvies sus-jacents. Les marques d'hydromorphie sont en revanche peu abondantes dans l'horizon BT du sol sur basse terrasse ; elles augmentent en passant sur la moyenne terrasse puis sur la haute terrasse.

Ces horizons argilisés présentent des formes de rubéfaction ; quelques taches rougeâtres (5YR5/8) peu nombreuses sont présentes dans les horizons BT des sols sur basse terrasse ; sur moyenne terrasse ceux-ci montrent une couleur générale rougeâtre (5YR5/8) avec des taches rouges (25YR4/8) ; sur haute terrasse ils sont brun soutenu à orangé (75YR5/8) avec de nombreuses taches rouges (10R4/8 et 25YR5/8). La rubéfaction est la plus marquée dans les horizons argileux des sols sur moyenne terrasse (Fw) alors qu'elle est débutante dans ceux des basses terrasses (Fx). Dans les horizons BTg des sols des hautes terrasses, la couleur de fond est brun soutenu à orangé avec des taches rouges. On assiste donc à des phénomènes de « dérubiéfaction » qui se produisent principalement à leur partie supérieure, ainsi qu'en une moindre mesure au niveau des fissures qui les parcourent ; c'est l'hydromorphie temporaire qui est la cause de cette « dérubiéfaction ». Le taux de fer total est en augmentation, des horizons BT des sols des basses terrasses (1,79 %), à ceux des moyennes terrasses (2,34 %) puis à ceux des hautes terrasses (3,14 et 3,91 %). Le taux de fer libre suit à peu près cette même évolution.

L'évolution des sols

Les sols des différents niveaux de terrasses présentent des données qui peuvent s'interpréter en termes de pédogenèse :

- Sur les très basses terrasses (Fy), les sols sont brunifiés ; cette brunification peut être reliée à la mise en culture déjà ancienne de ces sols, contrariant ainsi la podzolisation qui aurait pu les affecter. Un lessivage des argiles a engendré l'apparition en profondeur d'horizons BT en bandes. Sous forêt de conifères une podzolisation superficielle se surimpose à la brunification et au lessivage.
- Sur les basses terrasses (Fx), le lessivage conduit à l'apparition d'un horizon peu épais d'accumulation ; le colmatage des pores est suffisamment intense cependant pour induire une baisse de perméabilité entraînant un excès d'eau dans les horizons éluvies sus-jacents. Une faible rubéfaction affecte ces horizons « argilisés ». Sous forêt de conifères une podzolisation superficielle se développe dans les horizons E d'éluviation.
- Sur les moyennes terrasses (Fw), la rubéfaction des horizons argilisés, qui sont ici épais, est intense ; une sur-structure prismatique, de 20 à 30 cm de large, se dessine ; elle est soulignée par la couleur grise des faces des prismes qui résulte des phénomènes d'hydro-

morphie et de réduction existant dans les fissures. Des racines, dont nombre d'entre elles sont mortes, parcourent cet espace fissural ; en revanche l'intérieur des polygones caractérisés par leur compacité élevée n'est pas colonisé. Un excès d'eau temporaire peut alors prendre place dans les horizons sus-jacents. A la base des horizons Eg des marques d'une faible « dérubiéfaction » apparaissent. Sous forêt de conifères une podzolisation superficielle se développe dans les horizons E d'éluviation.

- sur les hautes terrasses (Fv), l'argilisation des horizons BTg présente une intensité maximale, engendrant le colmatage des fissures et de la porosité ; le réseau polygonal de fissures souligné par la couleur grise et la présence des racines est bien développé. Une hydromorphie temporaire affecte les horizons superficiels, et la partie supérieure des horizons BTg est soumise, dans ces conditions rédoxiques, à une « dérubiéfaction » sur environ 20 cm. Sous forêt de conifères une podzolisation superficielle se développe dans les horizons E d'éluviation.

Des fentes en coin ont été observées sur les quatre niveaux de terrasses, mettant en évidence l'impact de phénomènes périglaciaires en périodes froides. Elles sont visibles dans les horizons profonds, et remplies généralement de matériaux sableux.

Discussion

Les sols développés sur les matériaux siliceux des niveaux étagés de la basse vallée du Loir ont gardé en mémoire les effets des alternances climatiques quaternaires et en particulier les traces des pédogénèses qui leur sont associées. L'ensemble des phénomènes pédogénétiques est rassemblé dans une chronoséquence pédologique où trois ensembles pédogénétiques dominants ont été mis en évidence, si l'on fait abstraction des processus de podzolisation récents ayant affectés la partie supérieure des dépôts alluviaux sous forêt, quelque soit leur niveau.

Ces trois ensembles dominants sont les suivants :

- brunification et lessivage,
- rubéfaction et lessivage,
- hydromorphie et dérubiéfaction

Seuls les dépôts alluviaux les plus anciens ont été affectés par l'ensemble des processus, alors que les terrasses les plus récentes n'en sont encore qu'au début de la chronoséquence. Cette chronoséquence peut donc être considérée comme un modèle d'évolution du matériel alluvial siliceux, affecté par des alternances climatiques du type de celles observées au Quaternaire.

Trois étapes pédogénétiques peuvent alors être proposées.

1^{ère} étape : une brunification suivie par le lessivage des argiles et plus particulièrement des smectites, se développe en milieu acide et très perméable ; une légère rubéfaction peut affecter les matériaux.

2^e étape : elle est marquée par une rubéfaction des sols et par la poursuite du lessivage ; le milieu est toujours perméable, mais on assiste progressivement au colmatage de l'horizon BT par les argiles de lessivage. L'horizon BT s'approfondit et se rubéfie. Les horizons d'éluviation E s'appauvrissent et s'acidifient.

3^e étape : les horizons appauvris et le sommet de l'horizon BT sont soumis à une hydromorphie qui occasionne une dérubi-faction de la partie supérieure du BTg. L'horizon E est un milieu filtrant et pauvre, l'horizon BTg est très peu poreux. Sous forêt, une podzolisation affecte les horizons superficiels appauvris.

Dans d'autres régions les sols de terrasses ont été étudiés

Dans le confluent Rhone-Isère, la rubéfaction a été un processus généralisé dont l'empreinte est visible jusque sur les sols des basses terrasses würmiennes (Bornand M., 1969) ; Ces terrasses sont constituées de matériaux hétérogènes mais gravelo-caillouteux comme les terrasses du Loir. Ces sols peuvent être comparés aux sols rouges observés sur les basses terrasses de la vallée du Rhin (Marocke R., 1962). Sur les niveaux supérieurs (Riss et Mindel) la rubéfaction et le lessivage sont les processus responsables de l'évolution des sols. Sur les hauts niveaux (Günz), les processus secondaires d'hydromorphie sont venus interférer les processus précédents (Bornand M., 1978). Joud D. décrit la même séquence sur les terrasses du Bas-Dauphiné. Sur les terrasses de la Loire, Macaire (1986), décrit aussi des horizons BT brun-rougeâtre à rougeâtres sur les hauts niveaux (Mindel et Günz) mais pour lui la fersialitisation n'est jamais atteinte. Dans la vallée de la Seine, Roque (2003) présente des sols rubéfiés sur les moyens et hauts niveaux et ils les nomment FERSIALSOLS. Sur les terrasses de la Meurthe et de la Moselle les processus d'évolution des sols sont le couple lessivage - hydromorphie temporaire dans des matériaux limoneux de surface ; en profondeur les matériaux caillouteux présentent des colorations rougeâtres dans les niveaux alluviaux les plus anciens (Gury M., 1990). En Norvège, Olsen (1998) décrit des horizons de couleur rouge développés dans des sols d'âge rissiens et mindéliens.

CONCLUSIONS

Les sols des terrasses anciennes de la vallée du loir développés dans des matériaux silico-clastiques montrent des ressemblances avec les sols de la vallée du Rhône : brunification dans les très bas niveaux, rubéfaction et lessivage dans les bas niveaux, hydromorphie, planosolisation et dérubi-faction dans les moyens et hauts niveaux. Mais cette séquence se différencie de celles de la vallée du Rhône, du Rhin et du Danube où la rubéfaction affecte la globalité du solum. La rubéfaction, sur les sols de la Vallée du Loir, marque actuellement seulement une partie du solum : les horizons d'accumulation argileux. Les processus d'appauvrissement, d'engorgement et de podzolisation des horizons supérieurs ont pu

effacé les traces des pédogenèses antérieures dont la rubéfaction. Deux hypothèses sur l'origine de cette rubéfaction peuvent être évoquées : la première serait d'origine climatique, la deuxième liée à la nature lithologique du matériel originel. Mais l'état actuel des connaissances sur les climats interglaciaires en Anjou ne permet pas de répondre clairement. La nature sablo-graveleuse acide du matériau alluvial, permettant des dessèchements rapides, peut être considérée comme une caractéristique favorable à la rubéfaction.

BIBLIOGRAPHIE

- Arousseau P., Curmi P., Bouille S., Charpentier S., 1983 - Les vermiculites hydroxyalumineuses du massif armoricain : approches minéralogique, microanalytiques et thermodynamique. *Catena*, 31, pp. 17-40 - Elsevier Sc. Publis. B.V., Amsterdam, N.L.
- Biagi R., 1993 - La quantification des déformations récentes du domaine armoricain oriental : recherche de marqueurs géométriques adaptés (paléosurfaces continentales - niveaux marins - niveaux alluviaux) - Thèse en géologie, Université d'Angers, 368 pages.
- Baize D. et Girard M.C., coordinateurs, 1995 - Référentiel Pédologique, INRA ed.
- Bornand M., 1969 - les sols rouges du confluent Rhône-Isère, *Science du sol* 2 ; pp. 3-27 .
- Bornand M., 1978 - Altération des matériaux fluvio-glaciaires, genèse des sols sur terrasses quaternaires dans la moyenne vallée du Rhone, Thèse de l'Univ. des Sciences et Techniques du Languedoc, Acad. Montpellier. 292 p.
- Bornand M., 1979 - Application de la méthode des bilans à l'étude de l'évolution pédologique des terrasses alluviales : cas des cailloutis fluvio-glaciaires de la moyenne vallée du Rhône, *Science du Sol*, 2-3 - pp. 281-300.
- Brossé R., Janjou D., Arrondeau J.P., Arnaud A., Blaise J., Gruet M., Herrouin Y., Laugery J. et Rivière L.M., 1989 - Feuille du Lion d'Angers, in carte géologique de la France à 1/50 000^e, une notice, BRGM éd
- Bull W.B., 1990 - Stream-terrace genesis : implications for soil development, *Geomorphology*, 3 - pp. 351-367 - Elsevier publishers, NL.
- Cheddadi R., de Beaulieu J.L., Jouze J., Andrieu-Ponel V., Laurent J.M., Reille M., Raynaud D., Bar-Hen A., 2005 - Similarity of vegetation dynamics during interglacial periods, *PNAS*, vol 102, 39 - pp. 13939-13943. (www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0501752102)
- Dorronsoro C., Alonso P., 1994 - Chronosequence in Alma River fluvial-terrace soil, *soil sci. Soc. Am. J.*, 58, pp. 910-925.
- Gury M., 1990 - Genèse et fonctionnement actuel des pseudogleys podzoliques sur terrasses alluviales dans l'Est de la France, Thèse Doct es Sciences, Univ Nancy 1 - 297 p. + 34 p.
- Hubschman J., 1975 - Morphologie et pédogenèse quaternaire dans le piémont des Pyrénées garonnaises et ariégeoises. Thèse Fac Toulouse, Ed Champion, Paris, 48 p.
- Holtzapffel T., 1985 - Les minéraux argileux, préparation, analyse diffractométrique et détermination. *Mem. Soc. Géol. Nord, Villeneuve d'Ascq*, 135 p.
- Horemans P., 1984 - Carte pédologique de France à 1/250 000^e feuille de Paris et notice 202 p., INRA éd.
- Icole M., 1973 - Géochimie des altérations des nappes d'alluvions du piémont occidental nord-pyrénéen. Essai de paléopédologie quaternaire. Thèse Fac Sc Paris VI
- Joud D., 1997 - Complexité morphogénétique, historique et écologique des écosystèmes forestiers « hydromorphes » des plateaux et terrasses du Bas Dauphiné, thèse Univ. Grenoble I, 140 p.
- Joud D., 1997 - Complexité morphogénétique, historique et écologique des

- écosystèmes forestiers hydromorphes des plateaux et terrasses du Bas-Dauphiné. Thèse Univ. Joseph Fourier, Grenoble 1, 139 p.
- Macaire J.J., 1981 - Contribution à l'étude géologique et paléopédologique du Quaternaire dans le Sud et le Sud-Ouest du bassin de Paris (Touraine et abords). Thèse Doct. Etat, Univ. Tours, 304 + 146 p.
- Macaire J.J., 1986 - Apport de l'altération superficielle à la stratigraphie - Exemple des formations alluviales et éoliennes plio-quaternaires de Touraine (France), Bull. Asso. Française pour l'Etude du Quaternaire, 34, pp. 233-245.
- Macaire J.J., 1986 - Sequence of polycyclic soils formed on plio-quaternary alluvial deposits in south-western Paris basin (France) : paleoecological significance, Catena, 13 - 1 - pp. 29-46.
- Marocke R., 1962 - Les sols rouges paléoclimatiques de la terrasse würmienne rhénane alsacienne. C.R. Acad. Sciences Paris, t. 254 - pp. 3019-3021
- Miedema R., 1992 - Processus de formation des sols tardiglaciaires et holocènes sur les terrasses alluviales du Rhin aux Pays-Bas, Science du sol, vol. 30 - 3 - pp. 149-168.
- Mouyoungou J., 1990 - Les silicifications mésozoïques et cénozoïques de la bordure occidentale du bassin de Paris et de la région de Brazzaville au Congo. Thèse Univ. Angers, 270 p.
- Olsen L., 1998 - Pleistocene paleosols in Norway : implications for past climate and glacial erosion, Catena 34 - pp. 75-103
- Othberg K.L., McDaniel P.A., Fosberg M.A., 1997 - Soil development on a Pleistocene terrace sequence, Boise valley, Idaho, Northwest Science, 71 - 4 - pp. 318-329.
- Roque J., 2003 - Référentiel régional pédologique de l'Île de France à 1/250 000° - régions naturelles, pédopaysages et sols.
- Sème F., 1991 - Contribution à l'étude paléogéographique du méandre abandonné du Loir à Soucelles (N.E. d'Angers) Mémoire de Maîtrise Géographie, Univ. Angers, 122 p.