

Les faciès d'altération des terrasses alluviales de la moyenne vallée du Duerna (prov. de León): un exemple de l'évolution des nappes alluviales siliceuses du nord-ouest de la Vieille Castille

par Gerard HERAIL

CIMA-ERA 427 C.N.R.S. - Institut de Géographie Daniel Faucher 31058 TOULOUSE CEDEX.

RESUMEN

Como ejemplo de la evolución de los mantos aluviales del noroeste de Castilla La Vieja, se describen las facies de alteración de las terrazas aluviales del valle medio del río Duerna (prov. de León). Se constata la existencia de un gradiente de alteración desde las terrazas bajas hasta la terraza más alta, que se traduce fundamentalmente por una transición de los perfiles disjuntos de las terrazas bajas a los perfiles continuos de las terrazas medias y altas y una secuencia de suelos pardos lixiviados en la terraza baja, suelos lixiviados fersialíticos en las terrazas medias y ultisuelos en la terraza más alta. Se describen las transformaciones químicas ligadas a esta evolución pedológica.

RESUMÉ

On décrit les faciès d'altération des terrasses alluviales de la moyenne vallée du Duerna (prov. de León) comme exemple de l'évolution des nappes alluviales du nord ouest de la Vieille Castille. On constate l'existence d'un gradient d'altération depuis les basses terrasses jusqu'à la haute terrasse. Cela se traduit fondamentalement par le passage des profils disjoints des basses terrasses aux profils continus des moyennes et hautes terrasses et par l'élaboration d'une séquence de sols bruns lessivés sur la terrasse basse, sols lessivés fersialitiques sur les terrasses moyennes et ultisols sur la terrasse haute. On décrit les transformations chimiques liées à cette évolution pédologique.

Le Duerna descend des Monts de León vers la Castille en suivant une gouttière qui longe le Teleno (2 188 m) sur son flanc nord. Très étroite à l'amont, la vallée s'élargit à partir de Molinaferrera; c'est là qu'apparaissent les premiers dépôts alluviaux tertiaires et les premiers témoins des terrasses alluviales quaternaires (fig. 1). C'est surtout à l'aval de la confluence du Duerna et du Llamas que les terrasses prennent de l'ampleur et que les différentes nappes d'alluvions quaternaires s'individualisent les unes par rapport aux autres. Il est rare qu'elles reposent sur le socle paléozoïque (schistes, grès, quartzites); presque partout elles recouvrent des dépôts fluviatiles, généralement datés de la fin du Miocène (Hernandez Sampelayo, 1941; Birot et Solé Sabaris, 1954), et qui correspondent à la période d'édification du piémont du Teleno (Hérial, 1976).

Dans la partie amont de la région étudiée, la rareté des affleurements et l'importance des bouleversements provoqués par l'exploitation de l'or au temps des Romains (Domergue et Hérial, 1978) rendent certaines observations difficiles, mais il semble bien qu'il y ait à la fois des terrasses d'érosion qui tranchent soit le socle soit les alluvions finitertiaires et des terrasses alluviales (fig. 1). Ces terrasses sont situées dans un couloir qui suit le Duerna et s'insinue

légèrement dans la vallée des principaux affluents de la rive gauche. Ce couloir est en contrebas d'une haute surface alluviale, témoin des dernières phases d'édification du piémont. Ces hautes surfaces dominant la haute terrasse représentent l'épisode raña (Hérial, 1976). Dans la partie moyenne et aval de la région étudiée, toutes les terrasses sont des terrasses alluviales. Elles sont, en général, étagées et c'est la haute terrasse qui porte les points culminants de la vallée. Plus loin vers l'aval, au-delà du secteur considéré, les terrains quaternaires couvrent de grandes étendues mais seules certaines des nappes alluviales repérées dans la moyenne vallée sont représentées.

Toutes ces nappes alluviales ont été mises en place par le Duerna à partir d'un bassin versant dont les contours ne se sont pas modifiés au cours du Quaternaire. Toutes ces nappes sont constituées de galets de quartzite et de grès (Cambrien, Ordovicien) et de graviers de quartzites, grès et schistes; au total un matériau très siliceux, homogène et peu favorable à l'expression de faciès altérologiques nuancés.

LES TERRASSES ALLUVIALES DE LA VALDUERNA ET LEUR FACIES D'ALTERATION

La basse terrasse (T5) (Tableau I, fig. 1,2)

Cette terrasse n'existe que sur la rive droite du Duerna et domine le lit majeur de quelques mètres seulement. Elle est constituée de plusieurs paliers. Le manteau alluvial est épais de 4 à 5 mètres. L'organisation du profil d'altération peut être schématisée de la façon suivante:

- un ensemble supérieur évoluant en sol brun lessivé
- un ensemble médian, gris, qui n'est pas touché par les phénomènes d'altération et témoigne de l'état originel des alluvions.
- un ensemble inférieur jaune à jaune rougeâtre (7,5 YR 7/8), fortement hydromorphe soumis aux oscillations de la nappe phréatique.

Cette disposition correspond à un *profil d'altération disjoints*.

a) *Le front de la zone d'altération subaérienne est net, marqué par une série de langues enrichies en argile et en fer qui plongent dans l'horizon C sous-jacent. Sa profondeur*

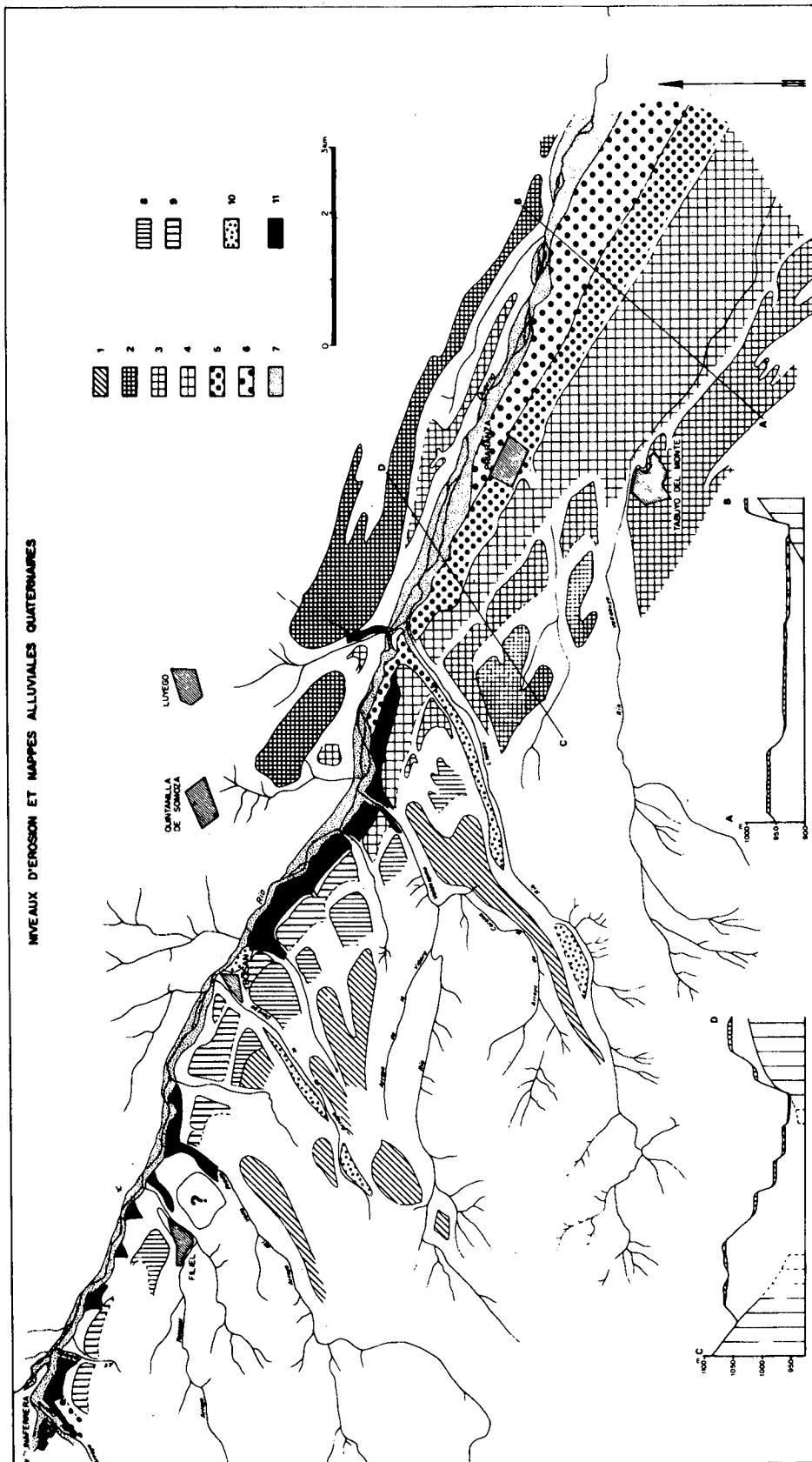


Fig. 1. Niveaux d'érosion et terrasses alluviales quaternaires dans la moyenne vallée du Duerna.

Legende

- 1) Haute surface alluviale marquant la fin de la période d'édification du piémont (raña).
- 2) Terrasse alluviale T.1.
- 3) Terrasse alluviale T.2.
- 4) Terrasse alluviale T.3.
- 5) Terrasse alluviale T.4.
- 6) Terrasse alluviale T.5.
- 7) Lit actuel et basse plaine alluviale.
- 8) Replat d'érosion correspondant à des coulloirs contemporains de T.1.
- 9) Hautes terrasses indéterminées (T1 ou T2).
- 10) Basses terrasses indéterminées (T4 ou T5).
- 11) Secteurs entièrement masqués par des déblais provenant d'exploitations minières antiques.

Tableau I

Horizons	Prof. cm	Granulométrie (% de T.F.)					Complexe absorbant (m.e.)%										Fer %		Fer et argile %	
		S.G.	S.F.	S.T.F.	L.	A.	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T%	eau	F.T.	F.L.	F.L. F.T.	P.T. A.	F.L. A.	
A ₁₂	4 - 15	11,2	37,9	13,4	23,8	12,5	12,8	1,9	4,0	1,2	19,9	197	10,1	5,1	2,8	1,5	53	22,4	12	
A ₂	15 - 31	21,2	26,3	11,1	19,1	21,3	12,1	1,4	2,0	0,9	16,4	215	7,62	5,0	3,0	1,87	62	14,1	8,8	
B _{1t}	46 - 69	43,6	18,8	6,5	11,4	18,7	11,4	1,2	2,5	1,2	16,3	245	6,65	5,3	3,95	3,37	85	21,1	18	
C ₂	115 - 130	85,1	2,7	0,7	2,3	8,0	4,2	0,4	1,0	1,2	6,8	140	4,85	5,0	4,4	2,6	59	55	32,9	
C _{5g}	275 - 295	39,7	23,6	6,2	17,5	12,4	3,5	0,2	4,0	2,2	9,9	137	7,22	5,1	3,95	2,25	56	31,8	18,1	
C _{6g}	295 - 325	23,6	16,6	4,3	16,0	39,0	3,5	0,6	13,5	3,8	21,4	239	8,95	4,7	7,7	6,37	82	19,7	16,3	

Abreviations utilisées dans les tableaux

Prof. cm: profondeur en centimètres.
T.F. : terre fine (éléments inférieurs à 2 mm).
S.G. : sables grossiers (2 à 0,2 mm).
S.F. : sables fins (0,2 à 0,05 mm).
S.T.F. : sables très fins (0,05 à 0,02 mm).
L. : limons (0,02 à 0,002 mm).

A : argiles (inférieur à 0,002 mm).
m.e. : milli-équivalents.
S : somme des cations métalliques échangeables.
T : capacité totale d'échange.
S/T % : taux de saturation.
F.T. : fer total.
F.L. : fer libre.

varie de 80 à 105 cm. Les roches qui composent ces alluvions sont des roches détritiques (grès, quartzites, schistes gréseux...). Elles sont donc peu sensibles aux faibles différences d'altération et leur faciès n'est pas fondamentalement différent de part et d'autre du front d'altération. C'est l'état des sables et graviers englobés dans la matrice et celui de la surface des petits galets de schiste qui varient le plus de part et d'autre du front d'altération. Le matériau de l'horizon C a la même couleur gris-bleuté que les alluvions actuelles du Duerna alors que l'horizon Bt est coloré en rouge (2,5 YR 5/8) et que les schistes y sont recouverts d'une pellicule rouge.

Cette coupure se traduit également par une variation de la proportion de fer libre (tableau 1) et une augmentation du taux d'argile. On a donc affaire à une illuviation relativement nette mais qui s'exprime encore mal du point de vue morphologique, les cutanes étant peu marqués.

b) La seconde zone d'altération (225 cm à 440 cm de profondeur) est structurée de manière différente, évoluant sous le signe de l'hydromorphie primaire. Cette évolution se traduit à la fois par des marques de gleyification de la matrice et par l'apparition de légers cortex de lessivage autour des galets. Dans ce mégahorizon, les redistributions de matière se font surtout latéralement mais sont limitées et fortement influencées par la structure sédimentaire et la composition pétrographique originelles. Les fortes proportions d'argile mesurées sont en grande partie synsédimentaires. On observe par contre un accroissement de la proportion de fer et notamment du fer libre (dans C_{6g}) et de la présence de formes macroscopiques d'accumulations de ce métal, associées aux contacts entre galets et matrice, ce qui suggère un déplacement et une accumulation du fer dans cet horizon.

Le complexe absorbant enregistre également un blocage des migrations dans cet ensemble d'horizons. Les taux de saturation de C_{6g} sont supérieurs à celui de Bt; il faut aussi remarquer que la hiérarchie du cortège cationique y est différente, le magnésium venant en première position.

c) Aucune différenciation minéralogique nette n'apparaît entre les deux mégahorizons altérés et l'ensemble des alluvions saines qui les séparent. Les minéraux lourds (chlorite, maghémite, magnétite, limonite, grenat, staurolite, tourmaline, épidote, rutile, anatase, zircon, chalcocite, pyrite) sont les mêmes dans les trois ensembles distingués et leurs proportions ne semblent pas varier fondamentalement. On ne note pas non plus de différence importante dans le cortège des minéraux argileux. L'illite et la kaolinite prédominent largement. La vermiculite accompagnée d'interstratifiés 10-14 non gonflants est présente dans tous les échantillons où s'observent également de faibles proportions de chlorite.

La nappe alluviale T4 (tableau II, fig. 1, 2)

Cette nappe se raccorde latéralement à T5 sans en être séparée par un talus alors que, localement, elle se compose de deux paliers reliés par un talus de 2 à 3 mètres de dénivellée. Le profil d'altération de T4 ressemble à celui décrit sur T5, mais l'altération du matériau est plus avancée. La disjonction du profil s'estompe — l'horizon C, net sur T5, est remplacé par un horizon du type BC — et un sol lessivé légèrement hydromorphe remplace le sol brun lessivé de T5. La surface de cette terrasse est parsemée de galets de quartzite entourés d'une légère patine brune ou brun-violet. Quelques traits morphologiques, chimiques et minéralogiques permettent de caractériser cette évolution.

a) Le front d'altération subaérienne a progressé plus profondément, se situant, selon les profils, entre 120 et 160 cm de profondeur. Le contact entre les horizons Bt et BC est toujours très festonné. Les galets ne sont pas plus altérés qu'en T5. L'évolution de la proportion d'argile et de celle du fer libre traduisent bien la position du front d'altération. Le complexe absorbant est dessaturé et la garniture cationique est du type Ca > Mg > K > Na en surface (alors que dans

Tableau II

Horizons	Prof. cm	Granulométrie (% de T.F.)					Complexe absorbant (m.e.) %										pH	Fer %			Fer et argile %	
		S.G.	S.F.	S.T.F.	L.	A.	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/TX'eau	F.T.	F.L.	F.L.		F.L.	F.L.	F.L.		
A _p	23 - 35	7,1	39,2	15,6	20,1	14,5	12,5	0,8	2,5	0,6	16,4	155	10,6	5,3	2,2	1,5	68	15,7	10,3			
B _{1t}	75 - 90	15,6	24,9	11,4	23,1	24,0	4,2	0,4	13,0	1,2	18,8	188	10,0	4,7	3,95	3,18	80,5	16,5	13,2			
BC	170 - 200	37,8	27,2	7,4	17,4	9,9	1,4	0,2	11,5	1,6	14,7	155	9,5	5,2	5,5	3,37	61	55,5	34			
C _{2R}	275 - 295	61,7	17,6	3,7	6,5	9,7	2,5	0,4	9,5	1,2	13,6	171	7,95	5,0	7,7	4,0	51	79,4	41,2			
C _{5(g)}	390 - 410	54,2	23,0	4,4	9,0	9,3	1,4	0,2	7,0	1,2	9,8	136	7,2	4,9	4,5	4,25	94	48,4	45,7			

certaines profils elle devient du type $Mg > Ca > Na > K$ à partir des horizons Bt.

b) *Le mégahorizon inférieur évolue, ici aussi, sous l'influence d'une hydromorphie primaire.* Les marques de gleyification sont nettes. Au contact des galets et de la matrice on remarque de nombreuses dendrites décolorées et vidées de leur contenu en argile et même en limons; seuls les sables du squelette subsistent, ce qui suggère l'effet de phénomènes de lessivage important. L'argilisation est d'ailleurs très faible et l'on n'observe pas de revêtements nets. La valeur élevée du rapport FT/A et FL/A montre que, relativement, c'est la libération du fer qui est le phénomène marquant et non la «production» d'argile. L'augmentation de la proportion de fer libre dans ces horizons, de même que la présence de revêtements et de concrétionnements ferrugineux, traduisent la dynamique de fer dans cet ensemble. Dans ce mégahorizon inférieur, il n'y a pas d'organisation verticale polarisée du profil mais une redistribution de matière limitée à des sous-ensembles locaux.

c) *Le cortège minéralogique est le même qu'en T5 mais la distribution verticale est plus nuancée.* L'illite d'abord, la kaolinite ensuite sont les minéraux argileux les plus fréquents et leur proportion relative ne varie pas fondamentalement par rapport à ce qui a été vu en T5. La vermiculite et les interstratifiés non gonflants sont peu abondants; la chlorite a disparu de la partie supérieure du profil (cependant quelques grains ont été recueillis avec les minéraux lourds). Le cortège des minéraux lourds a peu changé si l'on excepte une légère augmentation de la part de la limonite et de la magnétite dans les horizons superficiels.

La terrasse T3: un profil continu et une altération plus profonde qu'en T4 (tableau III, fig. 1, 2)

Cette terrasse est séparée de T4 par un talus haut de 5 à 10 m et peu net. T3 n'existe que sur la rive droite du Duerna. Elle n'est pas repérable à l'amont de la confluence du Valdespino et du Duerna alors qu'à l'aval de Priaranza, elle s'étale très largement pour devenir l'édifice alluvial quaternaire le plus étendu. L'épaisseur du manteau alluvial varie de 3 à 5 m. Dans la région étudiée, T3 s'abaisse de 990-980 m à l'amont, à 930 m à l'aval. Cette terrasse a été retouchée par la morphogénèse postérieurement à son édification et les nuances pédologiques y sont plus nombreuses. Les secteurs les mieux drainés sont occupés par des sols fersiallitiques

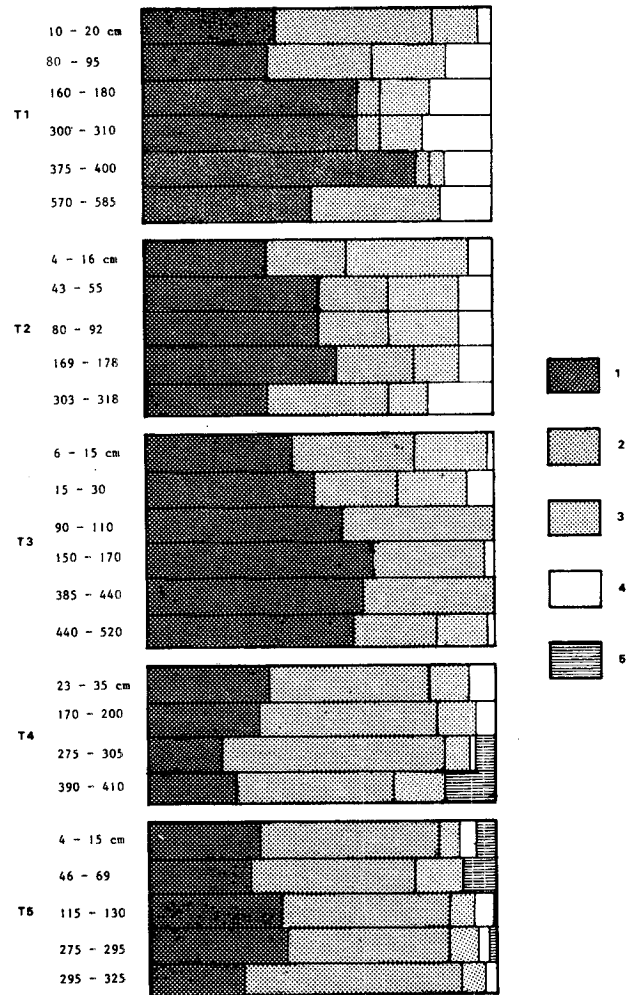


Fig. 2. Cortège des minéraux argileux dans les alluvions quaternaires de la moyenne vallée du Duerna.
1) kaolinite. 2) illite-mica. 3) vermiculite. 4) interstratifiés 10-14 non gonflants. 5) chlorite
(les proportions ont été déterminées par mesure de la hauteur des premiers pics de diffraction de chacun des minéraux observés. Elles n'ont qu'une valeur approximative).

Tableau III

Horizons	Prof. cm	Granulométrie (% de T.F.)					Complexe absorbant (m.e.)%										pH	Fer %			Fer et argile %
		S.G.	S.F.	S.T.F.	L.	A.	Ca	K	Mg	Na	S	T	S/T	eau	F.T.	F.L.		F.L. F.T.	F.T. A.	F.L. A.	
A ₁₂	6 - 15	5,9	47,9	17,3	14,6	13,7	13,9	1,9	3,0	0,9	19,7	204	9,66	5,7	1,6	0,6	37	11,6	4,4		
A ₂	15 - 30	5,9	43,2	18,9	16,5	14,3	8,5	1,0	5,0	1,2	15,7	175	8,97	5,3	1,75	0,87	49	12,2	6,1		
B _{1t} à B _{2t}	90 - 110	27,1	26,1	7,5	11,6	26,9	2,1	0,6	21,5	1,6	25,8	245	10,5	5,2	5,4	4,87	90	20	18,1		
B _{3t}	150 - 170	35,7	21,2	8,3	11,6	22,9	1,4	0,8	16,0	2,5	20,7	212	9,76	5,0	5	4,5	90	21,8	19,6		
C ₄ (Fe)	385 - 440	48,2	23,6	5,0	8,4	14,2	1,4	0,4	7,5	1,2	10,5	160	6,56	5,1	6,7	4,5	67	47,2	31,5		
C _{5B}	440 - 520	52,9	19,5	5,2	10,3	11,8	2,8	0,4	6,0	1,6	10,8	165	6,54	5,2	5,5	4,5	81	46,6	38,1		

lessivés légèrement hydromorphes. Dans les zones mal égouttées, la tendance à l'hydromorphie s'accroît et des sols à gley peuvent apparaître (Pastizales de Tabuyo). C'est dans ces mêmes secteurs que, à la surface de la terrasse les galets de quartzite épigénisés par du fer sont les plus nombreux. Partout sur T3 ces galets, sont plus abondants et l'épigenie mieux marquée que sur T4 et T5, et l'altération en général est plus avancée.

a) *Le front d'altération est plus profond* (250 à 350 cm) et la disjonction du profil d'altération est gommée. L'altération des galets est plus avancée, les éléments fragiles tels que les quartzites gréseux sont pourris et si les quartzites restent sains, les premiers galets à cassure farineuse apparaissent.

b) *L'illuviation est plus accusée.* Les horizons Bt sont épais et l'accumulation y est quantitativement nette avec des revêtements bien exprimés. Ces horizons se différencient des horizons Bt des nappes T5 et T4 par une meilleure structuration, les polyèdres sont nets et leurs crêtes aiguisées. La valeur du rapport FT/A et FL/A est plus faible que dans les profils décrits sur T4 et T5, ce qui traduit un accroissement relatif de la «fabrication» d'argile. Le comportement du fer traduit une illuviation importante mais aussi une altération profonde; la valeur élevée du rapport fer libre/fer total dans les horizons Bt exprime une importante accumulation de «fer mobile» mais aussi une libération plus forte que dans les nappes alluviales plus récentes, liée à une destruction plus avancée des roches de l'alluvion.

c) *Des changements apparaissent dans les cortèges de minéraux.* Dans les horizons supérieurs on observe un enrichissement du cortège des minéraux lourds en hydroxydes (limonite notamment). Tous les minéraux présents dans les terrasses plus récentes sont visibles à l'exception de la chlorite; le grenat paraît moins abondant. La répartition des minéraux argileux traduit à la fois une différenciation plus nette du profil et une évolution plus poussée. La chlorite a disparu, la vermiculite prend de l'importance dans les horizons A, et la kaolinite devient le minéral dominant dans les horizons Bt. Sur les diffractogrammes RX les pics de ce dernier minéral sont assez émoussés et empâtés.

d) *Dans le complexe absorbant, le type de garniture cationique varie du haut vers le bas du profil.* Dans les horizons A elle est du type Ca > Mg > K > Na alors qu'à partir des horizons Bt elle devient le plus souvent du type Mg > Ca > Na > K.

En résumé l'évolution géochimique des alluvions de T3 est plus profonde que celle des nappes précédemment décrites. L'altération plus intense a entraîné des modifications sensibles du cortège des minéraux argileux. Le profil d'altération est continu et l'on passe d'une zone où les transformations s'accompagnent de mouvements verticaux de matière à une zone plus profonde fréquemment engorgée. Entre ces deux ensembles il n'y a plus d'horizon C non altéré décelable. Des variations spatiales de l'intensité de l'hydromorphie peuvent expliquer des changements dans les faciès d'altération mais n'effacent pas les traits essentiels qui distinguent T3 de T4 et T5.

La terrasse T2 est profondément altérée (tableau IV, fig. 1, 2)

Dans la région étudiée, T2 occupe une surface bien plus réduite que T3 et à l'amont de Priaranza, une grande partie de sa couverture alluviale (épaisse de 5 m au maximum) a disparu, enlevée dans l'Antiquité par les mineurs romains. Cette terrasse est située en contrebas de T₁, nettement emboîtée et séparée de la terrasse supérieure par un talus net pouvant atteindre une trentaine de mètres de dénivelée. Le talus qui la relie à T3 est net, haut de 5 à 10 mètres. Bien développée sur la rive droite du Duerna, T2 apparaît rive gauche à partir de la confluence du Duerna et du Llamas. Les faciès d'altération sont relativement homogènes dans la région étudiée et partout un pavage de gravillons et petits galets de quartzites ferruginisés et de petits quartz masque la surface. Les traces de glaçage et de ruissellement superficiel diffus sont abondantes.

a) *Toute l'épaisseur de la nappe alluviale est transformée* jusqu'au contact avec les red-beds fini-miocènes qui gardent leur faciès particulier. La couleur du matériau est plus claire qu'en T3, les plages rouges (2,5 YR 4/8 et 10 R 4/8) sont progressivement moins étendues et rongées par des plages jaune rougeâtre (7,5 YR 6/8), jaunes (10 YR 7/8) et des langues grises. Les galets de roche «fragiles» n'apparaissent plus qu'à l'état de fantômes, les quartzites sont altérés de façon variable mais les éléments sains deviennent rares. Dans les horizons de la base du profil, l'argile et le fer envahissent les fissures ouvertes dans les galets altérés. Les cortex de lessivage sont assez bien marqués rive gauche du Duerna mais ailleurs ils sont mal venus en raison du caractère peu

Tableau IV

Horizons	Prof. cm	Granulométrie (% de T.F.)					Complexe absorbant (m.e.)%										Fer et argile %		
		S.G.	S.F.	S.T.F.	L.	A.	Ca	K	Hg	Na	S	T	S/TZ	eau	pH	F.T.	F.L.	F.L.	F.T.
A ₁₂	4 - 16	6,4	37,6	13,5	16,2	18,4	4,2	1,0	3,0	0,9	9,1	326	2,8	5,0	3	1,6	53	16,3	8,7
B _{1t}	43 - 55	5,6	29,5	8,5	11,2	44,6	1,7	0,4	9,0	1,6	12,7	244	5,20	5,2	5,5	4,8	87	12,3	10,8
B _{2t(g)}	80 - 92	12,5	36,0	9,7	11,4	30,2	2,1	0,4	2,0	1,9	6,4	238	2,7	5,2	5	5	100	16,6	16,6
B _{4t(g)}	169 - 178	21,8	36,1	10,2	11,6	19,8	1,0	0,2	1,0	0,9	3,1	190	1,6	4,7	3,7	2	54	18,5	10,1
B _{6t fe}	305 - 318	45,7	19,5	5,7	8,0	20,0	0,7	0,4	5,0	1,2	7,3	174	4,2	5,4	4,8	3,75	78	24	18,8

hydromorphe de ces profils. La matrice présente une structure polyédrique nette. Un lustrage argileux recouvre les faces des polyèdres et un revêtement argileux épais entoure les galets. A la base du profil (B_{6t} fe), ces revêtements s'associent à des enduits ferro-manganiques.

b) L'analyse du profil textural et de la distribution du fer soulignent l'importance de l'argilisation et l'existence de deux niveaux principaux d'accumulation. Le premier (B_{1t} et B_{2t}g) est caractérisé par un taux d'argile élevé et l'importance du fer libre par rapport au fer total. Le deuxième, à la base du profil au contact avec les red-beds sous-jacents est surtout marqué par l'importance de l'accumulation du fer sous formes de concrétionnements et d'indurations pouvant contenir jusqu'à 15 % de fer total.

c) La kaolinite est le minéral argileux essentiel et la vermiculite occupe une place importante, surtout dans les horizons A, ce qui constitue un fait marquant. Certains échantillons donnent des diffractogrammes où le pic de la vermiculite est plus développé que celui de l'illite. Les pics de la kaolinite sont bien marqués. La chlorite a disparu de tous les horizons. Dans le cortège des minéraux lourds, les hydroxydes gagnent en importance.

d) La désaturation du complexe absorbant s'accroît. Dans les horizons A et A₂B la couronne cationique est du type Ca > Mg > K > Na. Au contraire, dans les horizons B, les cations se distribuent dans l'ordre Mg ≥ Ca > Na > K. Cette inversion est générale et encore plus nette dans les secteurs plus hydromorphes de la rive gauche du Duerna.

Sur T2 la réorganisation minéralogique entrevue sur T3 prend de l'importance et envahit l'ensemble des horizons. La nappe alluviale est transformée sur toute son épaisseur. La lessivage est accusé comme en témoigne la nette désaturation du complexe absorbant.

T1: la nappe alluviale la plus profondément altérée (tableau V, fig. 1, 2)

C'est la plus haute des terrasses du Duerna (1 070 - 1 060 m à l'aval de la confluence du Duerna et du Llamas), et, comme T2, elle apparaît sur les deux rives de la rivière mais disparaît assez vite vers l'aval. Située en contrebas de la raña, c'est la terrasse qui possède la couverture alluviale la plus épaisse (7 mètres au maximum) mais cette épaisseur est très variable. Les divers profils étudiés sont peu différents les uns des autres. Les traces de ruissellement superficiel diffus sont nombreuses et les galets de quartzite ferruginisés sont plus abondants que partout ailleurs. Localement, c'est le cas dans le profil donné en exemple, les horizons superficiels ont été perturbés dans l'Antiquité par les mineurs Romains.

a) Une profonde transformation du matériau alluvial. La plupart des galets de quartzite sont devenus farineux au moins jusqu'à 400 cm de profondeur et s'intègrent progressivement à la matrice. Au delà, ils sont très altérés et fragiles. Dans les horizons A₁₁, A₁₂ et même II B_{1t} l'altération, associée aux effets des remaniements superficiels, a été suffisamment

Tableau V Profil décrit

Horizons	Prof. cm	Granulométrie (% de T.F.)					Complexe absorbant (m.e.)%										Fer et argile %		
		S.G.	S.F.	S.T.F.	L.	A.	Ca	K	Hg	Na	S	T	S/TZ	eau	pH	F.T.	F.L.	F.L.	F.T.
A ₁₂	10 - 20	10,6	54,8	11,2	8,4	14,5	5,0	0,6	3,5	1,2	10,3	260	3,9	4,6	1,61	1	62	11,1	6,9
IIB _{1t}	80 - 95	9,3	37,0	10,4	14,8	27,7	4,2	0,8	4,5	1,2	10,7	208	5,1	4,9	3,95	3,9	98	14,3	14,1
IIB _{3t}	160 - 180	5,8	42,0	11,0	11,4	29,7	7,8	0,2	6,5	0,9	15,4	212	7,2	5,0	4,49	4	89	15,1	13,5
IIB _{5t}	300 - 310	14,4	41,5	9,9	11,2	22,1	3,5	0,2	3,5	1,2	8,4	167	5,0	5,1	3,12	2,6	83	14,1	11,8
IIB _{6tr}	375 - 400	11,1	34,6	11,1	22,2	20,7	2,8	0,2	1,5	1,2	5,7	174	3,2	5,5	4,2	2,7	64	20,3	13
IIB _{8t}	570 - 585	8,4	39,4	12,2	15,2	23,8	1,0	0,0	0,5	0,9	2,4	200	1,2	4,8	10,3	4,7	46	43,3	19,7

poussée pour se traduire par une modification pétrographique du matériau. Les quartz, habituellement dispersés au sein des alluvions sont ici relativement concentrés et près de la surface ils accompagnent les quartzites ferruginisés qui sont très abondants. Lors de périodes d'érosion, ces profils ont fourni des colluvions riches en graviers de quartz et, dans la Valduerna, on peut les observer interstratifiés dans les alluvions fluviales de T2 et surtout de T3, ce qui suggère que l'évolution pédologique de la haute terrasse était déjà très avancée au moment où les terrasses moyennes se sont mises en place.

b) *Un profil dérubié et désaturé* et dans lequel les marques de *lessivage* sont nettes. Les taux d'argile restent élevés, les cutanes sont épais, surtout dans les horizons II Bt à II B_{st} et à la base du profil au contact avec les red-beds sous-jacents. Les examens micromorphologiques permettent d'isoler plusieurs phases d'illuviation et de voir que certains revêtements sont logés dans d'anciens canalicules de lessivage. Cette accumulation d'argile va de pair avec une forte accumulation de fer libre. Pourtant ces profils se caractérisent par leur couleur plus claire jaune rougeâtre (Se R 7/8) à jaune (10 YR 7/8 à 10 YR 8/8), les plages rouges (2,5 YR 4/8) étant moins abondantes. Des glosses s'insinuent à travers les horizons Bt supérieurs et ce lessivage «fissural» n'est bloqué que vers 180-200 cm de profondeur. Ce «relessivage» est bien traduit morphologiquement et explique l'importance texturale des limons et des sables fins. Dans ces profils, le complexe absorbant est très désaturé et les cations se classent dans l'ordre $Ca > Mg > Na > K$. Dans certains cas, Mg peut surclasser Ca dans les horizons Bt supérieurs mais ce phénomène est moins net et beaucoup moins fréquent que sur T2.

c) *Les cortèges des minéraux lourds et des minéraux argileux* ne sont pas fondamentalement différents de ceux qui ont été observés dans la couverture alluviale de T2. La *vermiculite* est abondante, la *kaolinite* prédomine largement dans les horizons Bt, les interstratifiés non gonflants sont aussi abondants que la *vermiculite*.

CARACTERISTIQUES DE L'ÉVOLUTION QUATÉNAIRE DES FACIES D'ALTERATION

Le long des divers cours d'eau qui drainent l'angle nord-ouest de la Vieille Castille, les terrasses sont en nombre très variable et vers l'aval elles forment l'élément dominant du point de vue géomorphologique. Certains traits de leur évolution pédologique ont été signalés. La disparition rapide de la chlorite d'une part, la présence généralisée de kaolinite et d'argiles micacées d'autre part, sont des phénomènes banals dans les terrasses des rivières de Vieille Castille (Leguey, 1969, Leguey et Rodriguez, 1969, 1970). L'existence de quantités appréciables de *vermiculite* et d'interstratifiés a été constatée sur les hautes terrasses des rivières du León et de la Galice (Raynal et al., 1968; Raynal, 1975) de même que la présence de galets de quartzites ferruginisés. Pour ces auteurs, les nappes alluviales les plus basses présentant ces caractéristiques (T3 dans le cas de la Valduerna) seraient attribuables au Mindel.

Faute de données paléontologiques il n'y a pas, pour le moment, d'arguments chronologiques sûrs mais l'étude des profils d'altération permet d'établir une échelle lithostratigraphique des dépôts alluviaux quaternaires à l'échelle régionale (Barrière, 1971) afin de faciliter les corrélations.

Dans la Valduerna, le fait essentiel est l'existence d'un gradient d'altération net depuis les basses terrasses jusqu'à la haute terrasse. Cela se traduit fondamentalement, du point de vue morphologique par:

- une évolution des organisations macropédologiques qui se marque par le passage de *profils disjoints* des basses terrasses aux *profils continus* des moyennes et hautes terrasses;

- l'élaboration d'une séquence de sols allant de *sols bruns lessivés* sur T5 à des *sols lessivés fersiallitiques* plus ou moins hydromorphes sur T3 et T2 et enfin des sols épais, dérubiés, dessaturés, assimilables aux *ultisols* de la classification américaine, sur T1.

Cette évolution pédologique englobe des transformations chimiques et minéralogiques parmi lesquelles on peut isoler:

- une *accentuation progressive de l'altération et du lessivage* qui se traduit par l'accumulation d'argiles et de fer et l'épaississement des horizons B. L'étude de l'évolution du rapport fer/argile dans les diverses nappes montre que tout se passe comme si dans les premiers stades de l'évolution (T5 et T4), la libération du fer était la première manifestation de l'altération suivie ensuite par une phase de «fabrication» d'argile. Ce phénomène a été relevé dans la vallée du Rhône (Bornand, 1978). Il y a une coupure nette entre T5 et T4 et T3, T2, T1. Sur T1, les valeurs des rapports fer/argile ne sont pas fondamentalement différentes de celles de T3 et T2 mais la proportion d'argile dans la matrice est plus faible et en surface, on observe une baisse nette du rapport fer/argile;

- une *accroissement de l'hydromorphie* secondaire et de l'engorgement des profils. Les marques de glyification sont de plus en plus nettes. Ce phénomène nous semble aller de pair avec la présence, à la surface des terrasses et dans l'horizon A, de *galets de quartzite épigénisés par du fer*. Les marques de ferruginisation sont de plus en plus profondes et les galets touchés par ce phénomène sont de plus en plus nombreux au fur et à mesure que l'on va des basses vers les hautes terrasses. Sur T5, le phénomène est peu sensible mais déjà sur T4, on observe en lame mince une pénétration du fer profonde de 2 à 3 mm; il semble que cette pénétration suive le plus souvent les endroits où les grains de quartz sont les plus petits et bouche les vides laissés entre les grains plus gros. Sur d'autres galets, plus fortement pénétrés, la ferruginisation semblait plus importante dans des lits particulièrement riches en minéraux lourds. Ce n'est que sur T3, là où l'hydromorphie est marquée, que la ferruginisation des galets de quartzite devient profonde. Sur T2 et T1, les galets ferruginisés sont présents partout; toutefois, il semble qu'il y ait des enrichissements relatifs là où le ruissellement superficiel a enlevé le sable qui les emballait. Il apparaît donc que, d'une part, cette ferruginisation est progressive et que, d'autre part, elle est associée à un accroissement de l'hydromorphie du sol et à l'engorgement du profil qui en découle;

- des *changements d'organisation de la garniture cationique du complexe absorbant*. Dans les horizons A, le cortège des cations du complexe absorbant est toujours du type $Ca > Mg > K > Na$. Par contre, dans les horizons Bt, et ceci dès T4, il peut être du type $Mg > Ca > K > Na$ et parfois $Mg > Ca > Na > K$. Cette prédominance de Mg est plus ou moins accusée mais elle est toujours plus nette dans les Bt supérieurs et va en s'atténuant avant de disparaître dans les horizons profonds;

- des *modifications pétrographiques et minéralogiques* des nappes alluviales. Ces transformations sont sensibles aussi bien à l'échelle du profil et des horizons qui le

composent qu'à l'échelle de la toposéquence tout entière. Les galets de quartzite sont de plus en plus profondément altérés depuis T5 jusqu'à T1, les quartzites gréseux et les grès s'intègrent à la matrice et, parallèlement à l'accroissement du nombre des galets ferruginisés, les quartz deviennent de plus en plus abondants à la surface du sol et dans les horizons A et même dans la partie supérieure des horizons B.

L'évolution des minéraux argileux (fig. 2) est caractérisée depuis T5 jusqu'à T1 par un aminuement progressif de la part des argiles micacées, la disparition rapide de la chlorite, un accroissement de la vermiculite, des interstratifiés et de la kaolinite. Vermiculite et interstratifiés proviennent très vraisemblablement, et pour l'essentiel, d'une transformation des argiles micacées (Jackson et al., 1969, Dejou et al., 1977), les chlorites ont également pu évoluer vers des vermiculites (Seddoh, 1972; Dejou et al., 1977). La kaolinite héritée des dépôts finitertiaires a son premier pic à 7,07 Å alors que dans les terrasses supérieures, on observe un accroissement de la part de la kaolinite dans les diffractogrammes et aussi un décalage du premier pic vers 7,15 Å. Ce décalage a été constaté ailleurs (Hubschman, 1975, Macaire, 1977...) et il est difficile de séparer ce qui revient à une évolution dans le profil des minéraux hérités de ce qui revient à une éventuelle néoformation de kaolinite qui, ici, se serait faite dans le sens argiles micacées → intergrades A1. → kaolinite.

BIBLIOGRAPHIE

- BARRIERE, J. (1971): Utilisation des paléosols comme élément de datation des formations quaternaires. *C. R. Ac. Sc. (D)* T 273 p. 310-313, Paris.
- BIROT, P. et SOLE SABARIS, L. (1954): Recherches morphologiques dans le Nord-Ouest de la Péninsule Ibérique. *Mem. et Doc. du CNRS*, T. IV, p. 9-61, Paris.
- BORNAND, M. (1978): *Altération des matériaux fluvio-glaciaires, genèse et évolution des sols sur terrasses quaternaires dans la moyenne vallée du Rhône*, Thèse Doctorat d'Etat, Univ. des Sciences et Techniques du Languedoc. 329 p. dactyl. + 12 planches hors texte.
- DEJOU, J. GUYOT, J., ROBERT, M. (1977): *Evolution superficielle des roches cristallines et cristallophyliennes dans les régions tempérées*, I. N. R. A., Paris, 464 p.
- DOMERGUE, C. et HERAIL, G. (1978): *Mines d'or romaines d'Espagne: le district de la Valduerna (León)*. Publications de l'Université de Toulouse-Le Mirail, Série B, Tome IV, 307 p. 18 planches, une pochette de documents hors texte. Toulouse.
- HERNANDEZ SAMPELAYO, P. (1951): Mapa geológico de España, esc. 1/50.000. Explicación de la hoja núm. 192 Lucillo 34 p., 1 carte géol. pliée.
- HERAIL, G. (1976): *Géomorphologie des placers aurifères de la moyenne vallée du Duerna (Province de León, Espagne)*. Thèse de 3ème cycle Institut de Géographie, Univ. de Toulouse-Le Mirail, 193 p. dactylographie + 9 fig. hors texte.
- HUBSCHMAN, J. (1975): *Morphogénèse et pédogénèse quaternaires dans le piémont des Pyrénées garonnaises et ariégeoises*. Thèse Doctorat d'Etat Univ. de Toulouse-Le Mirail, 747 p. Honoré Champion, Paris.
- JACKSON, M. L., HSEUNG, V., COREY, R. B., EVANS, E. J., VANDEN HEUVEL, R. C. (1952): Weathering sequence of clay size minerals in soils and sediments. II, chemical weathering of layer silicates. *Soil Scie. Soc. Amer. Proc.* 16, p. 3-6.
- LEGUEY GIMENEZ, S. (1969): *Estudio sedimentológico de la cuenca de los ríos Esla y Pisuerga*, Thèse Univ. Madrid T. I, 303 p. roneo. T. II: cartes et graphiques. Madrid.
- LEGUEY, S. et RODRIGUEZ, J. (1969): Estudio mineralógico de los ríos de la cuenca del Pisuerga. *An. de Edafología y Agrobiología* T. XXVIII, n° 7-8, p. 445-541. Madrid.
- LEGUEY, S. et RODRIGUEZ, J. (1970): Estudio de las terrazas y sedimentos de los ríos de la cuenca del Esla. *Bol. Real Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. geol.)* T. 68 n° 1-2, p. 41-56, Madrid.
- MACAIRE, J. J. (1977): Etude comparée des minéraux argileux des alluvions de trois rivières du sud du bassin de Paris: la Creuse, le Cher, la Claise, *Rev. de Géogr. Phys. et de Géol. Dyn.* (2), vol. XIX, fasc. 4, p. 339-352, Paris.
- RAYNAL, R., NONN, H., CRIQUI, G. (1968): Glacis étagés et formations quaternaires de Galice orientale et de León, *Rev. Géom. Gyn.* n° 3, p. 97-117. Strasbourg.
- RAYNAL, R. (1975): Essai de synthèse de quelques données acquises sur le Quaternaire Ancien des marges humides du domaine méditerranéen, *Etudes géographiques. Mélanges à Georges Viers*, p. 467-475. Toulouse.
- SEDDOH, F. K. (1972): *Altération des roches cristallines du Morvan*, Thèse, Mem. Géol. Univ. Dijon, n° 1, 377 p. Dijon.

Reçu, octobre 1978.