

# L'évolution morphodynamique de la vallée inférieure de l'Allier, de Varennes-sur-Allier au Bec d'Allier (Sud du Bassin parisien)\*

Jean Pierre LARUE (1)

*Morphodynamic evolution of the lower Allier Valley, from Varennes-sur-Allier to the Bec d'Allier (southern Paris Basin, France)*

Géologie de la France, n° 2, 1999, pp. 55-63, 4 fig. 2 tabl.

Mots-clés: Terrasse d'ablation, Terrasse d'accumulation, Néotectonique, Morphodynamique, Alluvion, Minéral lourd, Allier, Vallée d'Allier.

Key words: Terrace, Ablation terraces, Fill terraces, Neotectonics, Landform evolution, Alluvium, Heavy minerals, Allier, Allier valley.

## Résumé

L'étude des terrasses d'accumulation alluviale et des terrasses d'ablation dans la cuvette bourbonnaise permet de mieux mettre en évidence le rôle de la néotectonique dans l'évolution morphodynamique de la vallée inférieure de l'Allier. La reconstitution des profils longitudinaux de ces terrasses révèle les déformations tectoniques qu'elles ont subies depuis leur élaboration. Les témoins alluviaux conservés à des altitudes supérieures au sommet actuel du remblaiement des sables du Bourbonnais témoignent des premières étapes de l'encaissement fluvial. Des phases de soulèvement différentiel alternant avec des reprises de la subsidence sont nécessaires pour comprendre le façonnement et les déformations enregistrées par les principales terrasses d'ablation (TA 1, 2 et 3) conservées dans le matériau pliocène supérieur. Lors des séquences climatiques du Pléistocène, le maintien d'un lit d'ablation ne peut se réaliser que s'il y a soulèvement pendant les périodes d'accumulation et subsidence pendant celles de creusement. La haute terrasse Fv marque l'arrêt des périodes de subsidence et la poursuite de mouvements positifs non

continus, comme celui du môle de Moulins. Les variations bioclimatiques jouent un rôle plus important que la tectonique à partir de la mise en place de la moyenne terrasse Fw. Les mesures de nivellement démontrent l'existence actuelle de mouvements positifs.

## Abstract

The study of fill and ablation terraces in the Bourbonnais basin reveals the impact of neotectonics in the morphodynamic evolution of the lower Allier valley. Their reconstructed longitudinal profiles show the evolution of tectonic deformation since their formation. The alluvial outcrops preserved at higher relative altitudes than the top of the Bourbonnais sand fill, record the first stages of the fluvial incision. Phases of differential uplift alternating with renewed subsidence are necessary to understand the settling and deformation of the main ablation terraces (TA 1, 2 and 3) preserved in the Upper Pliocene Bourbonnais sands. During the Pleistocene climatic sequences, ablation beds could only be maintained if uplift occurred during the periods of accumulation and subsidence during the periods of excavation. The high terrace Fv records the end of subsidence and a continued

intermittent uplift, like in the Moulins district. Bioclimatic fluctuations played a more important role than neotectonics after the formation of the middle terrace Fw. Vertical distortions, measured by comparison of levels, show current uplift of the Moulins district.

## Introduction

Depuis l'étude de Chaput (1917) resté fidèle à l'eustatisme et au parallélisme des terrasses, les recherches conduites dans la vallée de l'Allier (Larue, 1979, 1982 et 1992, Pastre, 1987, Le Griel, 1991 a et b) montrent que le creusement est un phénomène très discontinu non seulement dans le temps mais aussi dans l'espace. Si les causes qui peuvent être responsables de cette évolution saccadée sont connues : la tectonique et le climat (Tricart, 1947, Bourdier, 1958, Schumm, 1986, Bull, 1991), la part de chacune d'elles en un point donné de la vallée reste souvent délicate à évaluer.

Après avoir traversé la Grande Limagne d'Auvergne, l'Allier s'engage dans la cuvette bourbonnaise et, de Varennes-sur-Allier au Bec d'Allier, il s'encaisse dans la formation des Sables

\* Manuscrit reçu le 6 juillet 1998, accepté définitivement le 27 avril 1999.

(1) Géodynamique des milieux naturels et de l'environnement. Université de Paris XII-Val de Marne, 94010 Créteil Cedex.

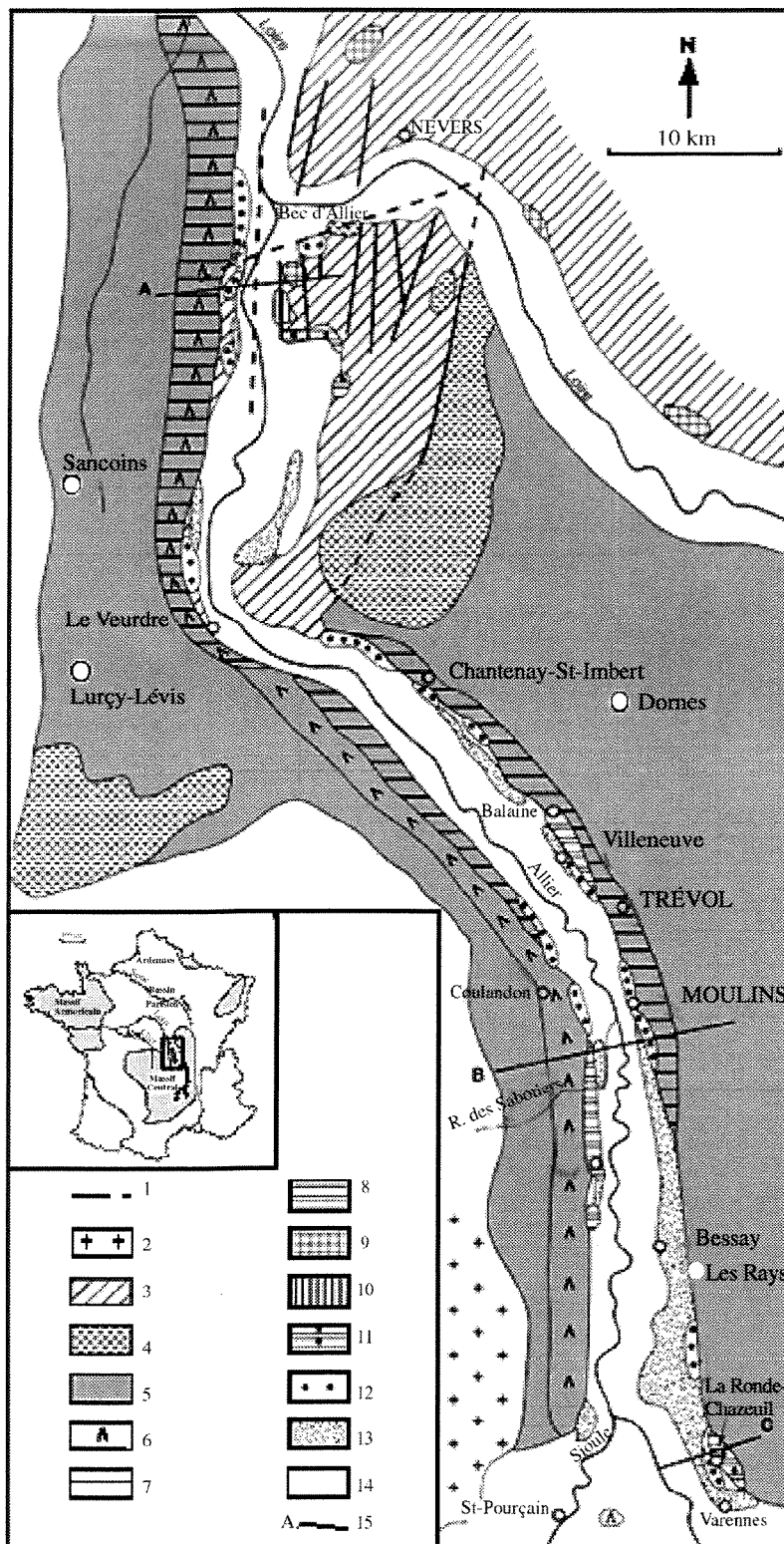


Fig. 1.- Carte morphostructurale et de localisation.

1 : failles ; 2 : socle ; 3 : sédiments secondaires ; 4 : sédiments pliocènes ; 5 : formation des Sables du Bourbonnais ; 6 : terrasse d'ablation 1 (gradin de Coulandon) ; 7 : terrasse d'ablation 2 ; 8 : terrasse d'ablation 3 ; 9 : nappe alluviale Ft ; 10 : nappe Fu ; 11 : nappe Fv ; 12 : nappe Fw ; 13 : nappe Fx ; 14 : nappes Fy et Fz ; 15 : tracé des coupes de la fig. 2.

Fig. 1: Morphostructural and location map.

1: fault; 2: basement; 3: Secondary deposits; 4: Pliocene deposits; 5: Bourbonnais sands; 6: ablation terrace 1 (Coulandon step); 7: ablation terrace 2; 8: ablation terrace 3; 9: Ft alluvial deposits; 10: Fu alluvial deposits; 11: Fv alluvial deposits; 12: Fw alluvial deposits; 13: Fx alluvial deposits; 14: Fy and Fz alluvial deposits; 15: cross sections of fig. 2.

## Des sables du Bourbonnais aux lambeaux alluviaux des très hautes terrasses

La partie inférieure des sables du Bourbonnais apparaît composée de deux formations grossières localement emboîtées, comme par exemple au nord de Neuilly-le-Réal et près du ruisseau des

du Bourbonnais mise en place au Pliocène supérieur (Tourenq, 1989) et dans le substrat marno-calcaire et calcaire, oligocène, liasique et jurassique. L'originalité de ce tronçon de 85 km tient au faible nombre de terrasses d'accumulation alluviale authentiques conservées (fig. 1). En effet, au sein de la formation des sables du Bourbonnais, on ne trouve que deux et localement trois terrasses d'ablation : la plus élevée, le gradin de Coulandon, signalé par Etienne (1979) entre Saint-Pourçain-sur-Sioule et Moulins, se suit sur la rive gauche de l'Allier jusqu'au Bec d'Allier ; les replats inférieurs, développés sur les deux rives, sont notés « Fwa » sur les cartes géologiques de Saint-Pourçain (Giot *et al.*, 1976) et de Moulins (Giot *et al.*, 1976) « Fu » et « Fv » sur celle de Dornes (Clozier et Turland, 1982) et « F » sur celle de Lurcy-Lévis (Fleury *et al.*, 1989). Par contre, dès que le substrat est atteint, des nappes alluviales plus ou moins épaisses forment un escalier de terrasses notées Fw, Fx et Fy sur les cartes géologiques précédentes. En outre, près du Bec d'Allier, on observe des nappes plus élevées : Ft, Fu et Fv (Clozier *et al.*, 1983), conservées sur les terrains secondaires du horst constituant l'interfluve entre l'Allier et la Loire.

Pour retracer l'évolution géomorphologique de la vallée, une série de profils transversaux ont été réalisés de l'amont à l'aval, afin de repérer les divers replats (fig. 2), puis de caractériser par l'analyse sédimentologique le matériau des lambeaux alluviaux conservés afin de pouvoir les raccorder entre eux et ainsi reconstituer les profils longitudinaux des différentes terrasses alluviales. Les échantillons prélevés sont localisés sur le tableau 1 et la composition en minéraux lourds est donnée sur le tableau 2. Les profils longitudinaux (fig. 3) soulignent les étapes du creusement mais révèlent aussi les déformations enregistrées par chaque nappe postérieurement à sa mise en place.

nappe	n° éch	lieu-dit	carte 1/50000	coordonnées	altitude	profondeur	lithologie	
Fx	Am 8	St Pierre-le-Moutier	Sancoins	657-200,8	190m	1 m	sables	
	Am 5	Apremont	Sancoins	654-212,5	200m	1m	sables	
Fw	Am 6	Mornay-sur-Allier	Sancoins	653-202,7	205m	1m	sables	
	Am 19	Bagneux	Lurcy-Lévis	668-182,8	210m	0,80m	sables	
Fv	Am 56	La Ronde-Chazeuil	St Pourçain-sur-Sioule	681,4-148	275m	2m	grave	
	LA 65	La Brosse	Nevers	662,7-227,8	236m	0,60m	sables	
Ft	Am 3	Gimouille	Sancoins	657,7-214,4	225m	0,60m	sables	
	Am 11	La Montée du Gras	Lurcy-Lévis	662,4-194,4	219m	1m	sables	
replat	Am 17	Chantenay-St-Imbert	Lurcy-Lévis	665,6-192,3	218m	0,80m	grave	
	Am 18	Bagneux	Lurcy-Lévis	666,3-184,3	217m	0,80m	sables	
	Am 20	Trévol	Dornes	675,3-181,6	230m	2m	grave	
Niveau à galets	Am 22	Neuvy	Moulins	673-174,8	232m	1m	sables	
	Am 23	Neuvy	Moulins	673,6-174	245m	1m	sables	
	Am 26	Rancy	Moulins	678,7-170,6	240m	2m	sables	
	Am 29	Chemilly	Moulins	675,4-162,1	256m	2m	sables	
	Am 39	Les Rays	St Pourçain-sur-Sioule	680,8-159,5	255m	2m	sables	
	Am 40	Les Picandots	St Pourçain-sur-Sioule	682,5-157,6	255m	3m	sables	
	Am 42	Les Badets	St Pourçain-sur-Sioule	685,3-156,3	260m	2m	sables	
	Am 36	Givreuil	Moulins	673-161,5	270m	1m	sables	
	G C	Am 52	Montigny	St Pourçain-sur-Sioule	672,9-152,3	305m	0,60m	cailloutis
		Am 12	Pouzy-Mézangy	Lurcy-Lévis	650,5-190,2	222m	2m	sables argileux
Am 16		Laugère	Lurcy-Lévis	668,6-181	235m	1m	sables argileux	
som SB	Am 21	La Croix Pelletier	Dornes	674,9-184,9	250m	0,80m	sables argileux	
	Am 41	Les Picandots	St Pourçain-sur-Sioule	682,7-157,5	265m	0,80m	sables argileux	

Tabl. 1.- Localisation et lithologie des échantillons analysés.

Table 1.- Location and lithology of the analysed samples.

nappe	n° éch	Zir-con	Tour-maline	Monazite	Apa-tite	Grenat	Silli-manite	Anda-lousite	Staura-tide	Dis-thène	Hornbl verte	Hornblend brune	Au-gite	Hypersthène	Bron-zite	Sphene	Olivine
Fx	Am 8		3		7	6		2	11			22	15				5
	Am 5		7						31			7	15	7		30	7
Fw	Am 6		9			2		2	27	7		5	9	2		32	4
	Am 19	36	3		3	2		3	8	3	9	9	1			21	
Fv	Am 56	21	1		24	3		1	3	1	1	4	16		1	24	
	LA 65	1	3	1		4	1	4	2		17	4	46	1		3	4
Ft	Am 3				1	1						5	54				38
	Am 11	6	17					14	40	12	3	3	3				3
replat	Am 17	37	4			4		5	18	2		2	2	1		22	1
	Am 18	16	3	4		2	1	3	7	2	7					56	
	Am 20	10	16	6			2	10	30	4	8					11	
Niveau à galets	Am 22	51	3			2	1	3	13	2	1	3				15	2
	Am 23	13	6	7		2		9	21	2	2		3			28	
	Am 26	18	17	8		2	1	9	27	3	4					9	
	Am 29	25	14	3		2		2	26	4	14	2	1			8	
	Am 39	9	4		7	1	1	1	9	2	9	1				54	
	Am 40	44	1			5	1	1	15	2		5	2			19	
	Am 42	35	7				8	8	24		5	2	2			5	
G C	Am 36	47	5	9		1	1	7	10	2	1		1			1	
	Am 52	18	64	12				2					2				1
	Am 12	15	20	4		1	1	26	27	5			1				
som SB	Am 16	43	16	6			1	6	25	2	1					2	1
	Am 21	16	26	4		3	9	16	4		5	2	6			3	
	Am 41	37	3			8	3	3	11	2		3		1		22	2

Tabl. 2.- Composition en minéraux lourds des échantillons localisés sur le tableau 1. Détermination effectuée par M l'Abbé Pelletier, sauf Am 17, 22, 40 et 41 par R. Etienne.

Table 2.- Heavy minerals content of the samples in Table 1. Determined by Abbé Pelletier and R. Etienne.

Sabotiers. Plus en amont, on retrouve un schéma peu différent sur le horst de Bras-sac, à La Taupe (Larue, 1997). La nappe la plus ancienne ne comporte pratiquement pas de galets cristallins et volcaniques alors que l'autre en est relativement riche. A l'amont de Moulins, les dépôts de la première nappe se trouvent dénivelés d'une quinzaine de mètres entre la rive gauche plus élevée et la rive droite plus basse. Clozier et Gros (1985) ont mis en

évidence des failles normales NW-SE à NNW-SSE dans la partie inférieure des sables du Bourbonnais à Lurcy-Lévis, La Guerche et Chantenay-Saint-Imbert. Ces déformations se sont produites avant la mise en place de la seconde formation qui matérialise un paléochenal de l'Allier large de 2 à 3 km. L'incision séparant ces deux accumulations n'a atteint le substrat que localement, comme aux Rays, au sud-est de Bessay-sur-Allier.

Après la mise en place du niveau argi-leux noir riche en pollen qui témoignent du climat tempéré froid du Prétiglien (S. Farjanel), le remblaiement s'est pour-suivi avec des argiles sableuses sur de fortes épaisseurs. Le sommet actuel modelé en collines molles ne représente probablement pas la plaine d'épandage de la fin de l'accumulation, car l'érosion consécutive à l'encaissement de l'Allier semble avoir été très active.

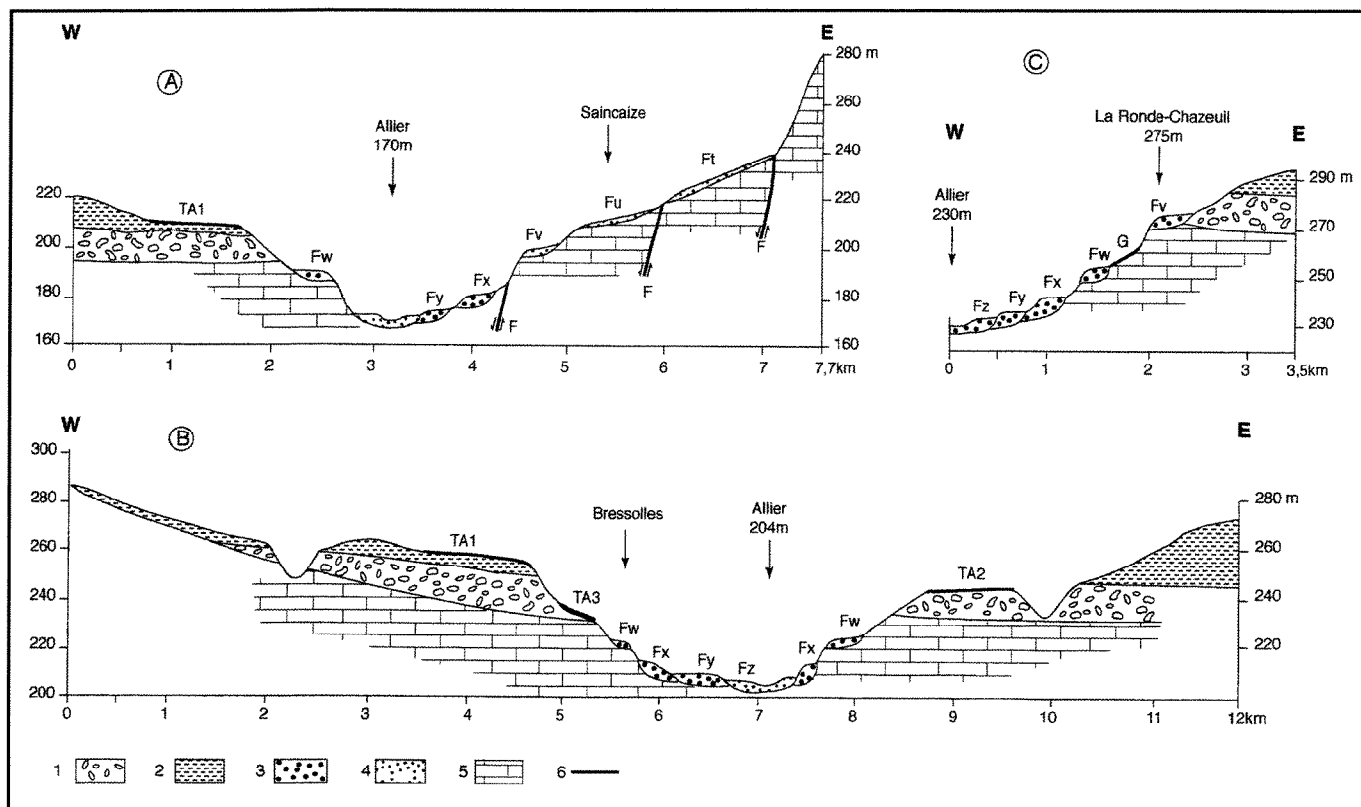


Fig. 2.- Coupes transversales à la vallée de l'Allier : A = au sud du Bec d'Allier ; B = au sud de Moulins ; C : au droit de Varennes-sur-Allier.

1 : Sables du Bourbonnais, formation inférieure grossière ; 2 : Sables du Bourbonnais, partie supérieure sablo-argileuse ; 3 : alluvions grossières ; 4 : alluvions fines (Ft = nappe à augite, 1,75 Ma ; Fu = très haute terrasse ; Fv = haute terrasse, 0,8 Ma ; Fw = moyenne terrasse ; Fx = basse terrasse weichsélienne ; Fy = première terrasse ; Fz = alluvions de la plaine alluviale actuelle) ; 5 : substratum, calcaire liasique et jurassique en A, marno-calcaires oligocènes en B et C) ; 6 : terrasse d'ablation (TA 1 = gradin de Coulandon ; TA 2 et 3 = replats inférieurs ; G = glacis d'ablation).

Fig. 2: Sections across the Allier valley: A: south of Bec d'Allier; B: south of Moulins; C: near Varennes-sur-Allier.

1: lower part of the Bourbonnais sands; 2: upper part of the Bourbonnais sands; 3: coarse alluvial deposits; 4: fine alluvial deposits (Ft = alluvial sheet with augite, 1.75 Ma; Fu = very high terrace; Fv = high terrace; Fw = middle terrace; Fx = low terrace; Fy = first terrace; Fz = flood plain); 5: substratum (Liassic and Jurassic limestone in A, Oligocene marly limestone in B and C); 6: ablation terrace (TA 1 = Coulandon step; TA 2 and 3 = lower steps; G = erosion glacis).

Les témoins des premières étapes du creusement doivent être recherchés sur les bordures de la cuvette bourbonnaise, dans les secteurs qui ont connu un soulèvement favorable à la conservation des dépôts. Le horst au sud de la confluence Loire-Allier a conservé des lambeaux alluviaux à 60 m d'altitude relative (Ft) et 45 m (Fu). Le premier niveau est caractérisé par sa richesse en augite et par la présence d'olivine et de quelques quartz de ponce (tabl. 2). Ce fleuve à augite qui représente la première étape du creusement dans le remblaiement pliocène supérieur se suit de proche en proche jusqu'à la Manche (Tourenq et Pomerol, 1995). Ces lambeaux alluviaux sont constitués de matériau toujours plus fin que celui des nappes formant les moyenne et basse terrasses. Il ne s'agit certainement pas de nappes de remblaiement d'origine périglaciaire, mais plutôt d'alluvions témoins des premières phases du creusement de l'Allier dans les sables

du Bourbonnais. Les deux niveaux peuvent résulter d'un dédoublement de nappes alluviales consécutif au soulèvement de la région au sud de Nevers qui présente une série de failles délimitant des panneaux étroits (Clozier *et al.*, 1983). Plus en amont, le même phénomène produit les mêmes effets dans la région de Randan (Larue, 1979). Au Pléistocène inférieur, la tectonique joue un rôle plus important que celui des variations climatiques.

L'analyse chimique globale des alluvions sableuses peut aider à leur identification et à leur raccordement de l'amont à l'aval. Ainsi, pour les nappes de l'Allier moyen, Veldkamp (1991), Veldkamp et Kroonenberg (1993) ont trouvé une diminution des rapports Mg/Fe et Ca/Ti des nappes récentes aux terrasses anciennes, mais la profondeur du prélèvement apparaît jouer un rôle plus important que les différences d'une nappe à l'autre, ce qui

rend cette méthode difficile à appliquer pour des nappes résiduelles.

### Les replats d'érosion dans la formation des sables du Bourbonnais et leurs enseignements

Ces replats ne se développent qu'à proximité de l'Allier (fig. 1 et 2).

Le gradin de Coulandon (TA 1) se situe une vingtaine de mètres en contrebas des collines modelées dans les argiles sableuses du sommet du remblaiement des sables du Bourbonnais. Sur la rive gauche de l'Allier, ce replat débute à environ 300 m d'altitude au nord de Saint Pourçain-sur-Sioule et se prolonge sans discontinuité jusqu'au Bec d'Allier où il atteint 207 m d'altitude, adoptant ainsi une pente moyenne de 1,22 % alors que l'Allier actuel ne dépasse pas 0,74 %

(fig. 3). Modelée en croupes par les affluents de l'Allier, sa topographie sommitale présente une pente plus ou moins forte vers la vallée actuelle. Longitudinalement, il recoupe les différents faciès des sables du Bourbonnais : à l'amont, jusqu'au ruisseau des Sabotiers, il est façonné dans la formation sableuse à galets de quartz et de silex constituant la partie inférieure du remblaiement, alors qu'à l'aval il l'est dans les dépôts argilo-sableux supérieurs. En surface, on trouve toujours un cailloutis grossier de quartz et de silex, sorte de reg alluvial, témoignant de l'érosion et de l'évacuation de la fraction fine. La taille moyenne des galets diminue vers l'aval : plus de 10 cm de diamètre au nord de Saint-Pourçain, moins de 5 cm au nord de Moulins.

Moins étendus, les replats inférieurs se localisent sur les deux rives. TA 2 ne se développe qu'à partir du sud de Moulins vers 230 m d'altitude. Modelé dans le matériau de la formation à galets des sables du Bourbonnais sur une largeur n'excédant guère 1,5 km, il forme une assez belle terrasse dominant l'Allier actuel de 25 à 40 m. A l'aval du seuil du Veurdre, il se raccorde avec le replat précédent qui enregistre une forte réduction de pente. Sa pente longitudinale varie donc sensiblement de plus de 1 % à l'amont à moins de 0,4 % à l'aval. TA 3 commence sur la rive gauche un peu plus en amont, au sud de Chemilly vers 247 m d'altitude, en ravinant d'abord la formation à galets puis plus en aval le substrat oligocène. Au nord de Moulins, sur la rive droite, il engendre un replat de moins d'1 km de largeur, situé à quelques mètres en contrebas de TA 2 et qui finit par se confondre avec ce dernier un peu à l'amont de Chantenay-Saint-Imbert. A la surface des deux replats, les coupes ne révèlent qu'un mince cailloutis résiduel constitué d'éléments remaniés des sables du Bourbonnais. Ainsi, la sablière située à 2 km au nord de Trévol, sur le replat TA 2, révèle que la formation à galets des sables du Bourbonnais est ravinée par un cailloutis plus massif au sein duquel on retrouve des galets de même taille (4 à 5 cm de diamètre en moyenne) et de même composition (quartz, silex, éléments cristallin et volcanique très altérés) que ceux de la formation sous-jacente, mais aussi quelques lentilles de sable fin de 20 cm d'épaisseur. Ces faciès attestent d'un remaniement fluvial réalisé par

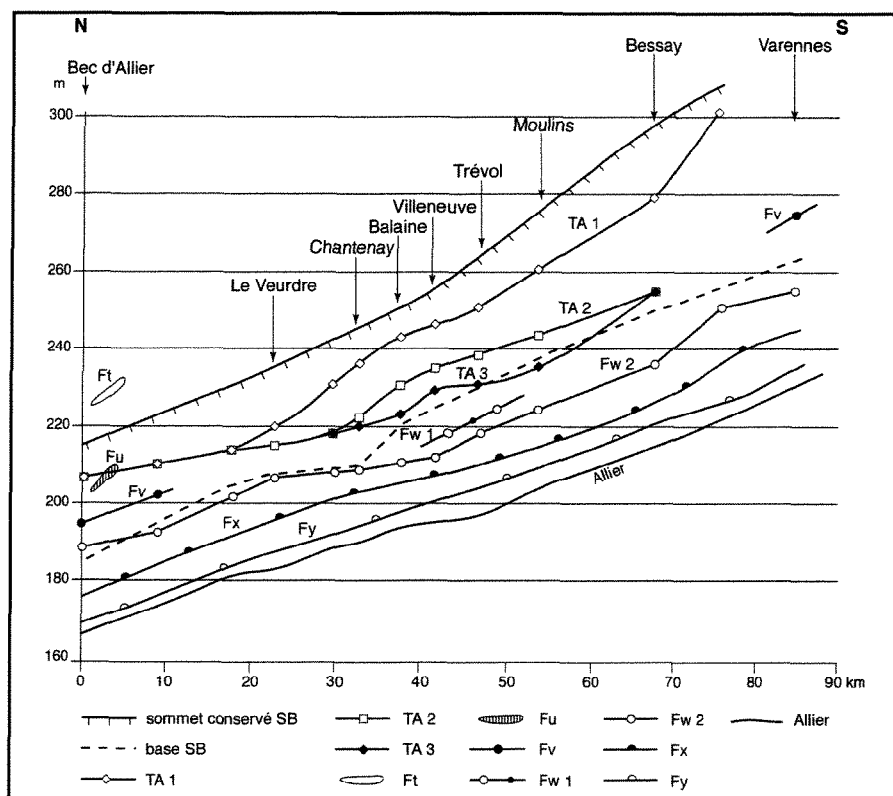


Fig. 3.- Profils longitudinaux des terrasses d'accumulation et d'ablation de l'Allier.

SB : sables du Bourbonnais ; TA : terrasse d'ablation ; Ft à Fy : sommet des nappes alluviales, de la plus ancienne à la plus récente.

Fig. 3.- Longitudinal profiles of the Allier fill and ablation terraces.

SB: Bourbonnais sands; TA: ablation terrace; Ft to Fy: tops of the alluvial deposits from oldest to youngest.

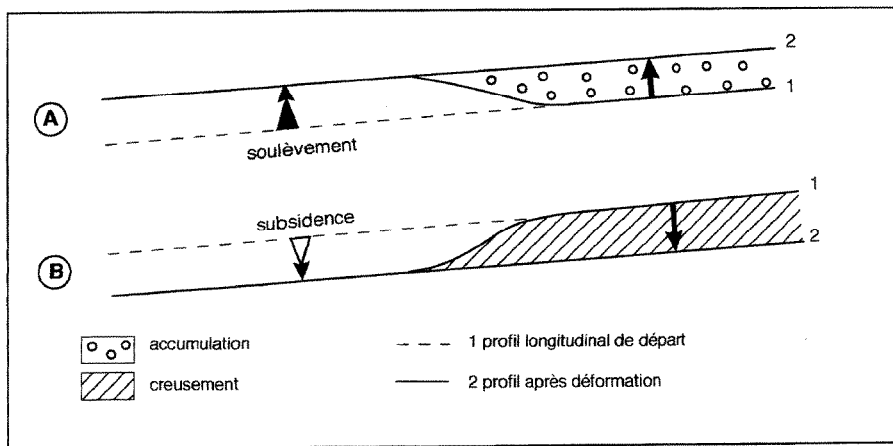
un cours d'eau à chenaux tressés (Miall, 1977). Dans le replat TA 3, une petite excavation ouverte près de Balaine montre un cailloutis qui diffère par une épaisseur plus forte (2 m), par la rareté des galets volcaniques et par l'absence de lentilles sableuses. Donc, la reprise fluviale des mêmes matériaux a évacué la presque totalité des éléments fins et a éliminé les galets les plus fragiles. Ces remaniements sont également attestés par la composition des éléments fins. La composition en minéraux lourds diffère de celle des terrasses quaternaires (tabl. 2) et ressemble à celle des sables du Bourbonnais. La présence de quartz de ponces provenant des éruptions du Mont-Dore de 3,1 Ma (Lo Bello, 1988) contemporaines de la mise en place des sables du Bourbonnais s'explique par la reprise de ces derniers. Enfin, l'existence de calcium dans les argiles de la matrice caillouteuse du replat TA 3, à Balaine, est due à l'incision du paléo-Allier dans le substrat marno-calcaire entre le sud de Moulins et Trévol (fig. 3).

La faible épaisseur des dépôts alluviaux prouve qu'il ne s'agit pas de ter-

rasses d'accumulation qui dépassent en général 5 m de puissance (Larue, 1979). Les replats TA 1 et TA 2 correspondent à des terrasses d'ablation, le replat TA 3 pourrait être assimilé à une terrasse de stabilité résultant du déplacement latéral du lit sans véritable accumulation. Il est par contre difficile de savoir si chaque replat correspond bien à une seule et même phase d'érosion alluviale.

Les profils longitudinaux des terrasses d'ablation présentent des irrégularités plus ou moins importantes (fig. 3). Pour les trois replats, la pente augmente brutalement entre Villeneuve-d'Allier et Le Veurdre. En outre, TA 3 enregistre un net ralentissement de pente entre le nord de Moulins et Villeneuve. Selon Keller et Rockewell (1984), Gregory et Schumm (1987), les ruptures de pente peuvent correspondre à des déformations tectoniques.

Comment expliquer le façonnement somme toute très localisé de ces replats correspondant à des terrasses d'ablation et/ou de stabilité ? Le Griel (1991, b) invoque le comportement des sables du



(A) Soulèvement pendant une phase d'accumulation

(B) Subsidence pendant une phase de creusement

Les flèches indiquent les vitesses des mouvements tectoniques et de la dynamique fluviale : accumulation et creusement

Fig. 4.- Schémas montrant les relations entre tectonique et dynamique fluviale.

Fig. 4.- Relationships between tectonics and river dynamics.

Bourbonnais : « les alluvions bourbonnaises consolidées par une nappe phréatique encore gelée au moment des fortes crues du début de saison chaude se sont comportées en véritables roches dures. Canalisé à l'intérieur d'une vallée de taille réduite, l'Allier a agi comme dans le socle : chaque nappe déposée a été érodée lors de l'épisode alluvial suivant. » Cependant, on comprend mal pourquoi dans la cuvette de Sologne, au sud d'Orléans, la Loire a réussi à accumuler de vastes nappes alluviales dans un matériau très semblable à celui des sables du Bourbonnais (Debrand-Passard *et al.*, 1998). Les faits infirmant cette interprétation, il convient d'envisager une autre solution.

Les relations entre la dynamique fluviale et la tectonique peuvent expliquer le façonnement et la conservation d'un lit d'ablation. Il peut résulter d'un déplacement latéral d'un cours d'eau ou d'une variation de largeur de la bande active suite à un changement de régime fluvial au cours de l'incision (Bull, 1991). Placée sous contrôle climatique, l'incision, produite par une augmentation des débits liquides par rapport à la charge solide, affecte en général tout le cours et non uniquement un secteur comme en Bourbonnais. En outre, les fluctuations climatiques du Pléistocène, qui font alterner sur tout le cours phases de creuse-

ment et d'accumulation, permettent l'accumulation d'alluvions grossières après chaque phase de creusement (Larue, 1979, Lefebvre *et al.*, 1994). La commande tectonique semble donc s'imposer, d'autant plus que les profils longitudinaux sont irréguliers.

Les déformations suggèrent que le gradin de Coulandon résulte d'un creusement inégal dans le remblaiement des sables du Bourbonnais suite au soulèvement relatif des môles de Moulins et du Veurdre, réalisé entre la fin de l'accumulation et le façonnement du gradin. Le replat TA 2 traduit un soulèvement de la partie amont par rapport à la section aval, durant la période séparant le façonnement des deux surfaces. Par rapport au sommet actuel des sables du Bourbonnais, les profils des deux replats se joignent dans la région du Veurdre. Toutefois la datation de ces événements est délicate. Le gradin de Coulandon pourrait correspondre au prolongement de la nappe Ft datée de 1,75 Ma en Limagne (Pastre, 1987), mais il ne comporte aucun élément volcanique caractéristique de ce niveau (tabl. 2). Les replats inférieurs TA 2 et TA 3 apparaissent comme des surfaces polygéniques situées dans le prolongement des nappes Fu et Fv, mais là encore, on ne trouve pas de minéraux caractéristiques de ces nappes. Au nord de Moulins, l'étagement des deux niveaux, notés Fu et Fv sur la

carte géologique de Dornes, implique probablement un soulèvement durant la période séparant leur élaboration. Les accélérations de pente entre Villeneuve et Le Veurdre semblent correspondre à une flexure, moins marquée que celle localisée au nord de Vichy (Larue, 1979, Le Griel, 1991a).

Ces déformations couplées aux fluctuations climatiques ont modifié spatialement la dynamique fluviale (Ouchi, 1985). En accentuant la pente à l'aval, le soulèvement lent du môle de Moulins a pu faire évoluer le paléo-Allier d'un cours à méandres à un lit à chenaux tressés, comme tendent à le prouver les faciès alluviaux observés. Une épaisse accumulation n'a pu se réaliser car le soulèvement localisé a fortement limité les transports longitudinaux en provenance de l'amont, comme l'atteste l'absence des minéraux lourds caractéristiques des très hautes terrasses de la Limagne d'Auvergne. Malgré la pente, le creusement a été bloqué parce que la taille des matériaux présents excédait la compétence du fleuve. Ce dernier n'a pu qu'élargir son lit comme le prouve la taille des replats et évacuer les dépôts fins que l'on retrouve d'ailleurs dans les terrasses d'accumulation conservées plus en aval au sud de la confluence Allier-Loire. La préservation de ces terrasses d'ablation et/ou de stabilité est due aux incisions du fleuve provoquées par l'augmentation des débits liquides.

Le modèle suivant peut être proposé pour comprendre comment un lit d'ablation peut perdurer dans un secteur localisé durant l'alternance de phases de creusement et d'accumulation (fig. 4) : il se maintient si le creusement se fait au même rythme que la subsidence ou si le remblaiement se réalise à la même vitesse que le soulèvement. Comme l'évolution climatique du Pléistocène fait alterner sur tout le cours phases de creusement et d'accumulation, la conservation d'un lit d'ablation pour une section donnée ne peut se réaliser sur une longue durée que s'il y a alternance de périodes de soulèvement pendant les phases d'accumulation et de subsidence durant celles de creusement. Le faible encaissement total de l'Allier dans la cuvette bourbonnaise apparaît incompatible avec un soulèvement continu de la région de Moulins, aussi faut-il envisager la poursuite de la subsidence de la cuvette au moins à deux

ou trois reprises. Cette discontinuité dans le temps des mouvements verticaux apparaît nécessaire pour expliquer la genèse des trois replats analysés.

### Les nappes des haute (Fv), moyenne (Fw) et basse terrasses (Fx, Fy)

Les profils longitudinaux de ces terrasses n'enregistrent que des déformations limitées (fig. 3).

La haute terrasse Fv ne correspond pas à une nappe alluviale homogène de l'amont à l'aval. Bien développées en Grande Limagne, les alluvions grossières d'origine périglaciaire se terminent à l'entrée dans la cuvette bourbonnaise, à la Ronde-Chazeuil. Ravinant les sables du Bourbonnais et le substrat oligocène, le lambeau alluvial de 5 m d'épaisseur est nettement plus riche en galets cristallins (30 %) et volcaniques (20 %) que le niveau à galets des sables du Bourbonnais (Larue, 1979). La composition en minéraux lourds traduit le mélange des apports de l'Allier et de la Sioule enregistrés par les hautes terrasses. Parmi les éléments volcaniques (44,5 % du total), le sphène (24 %) présente deux aspects : la moitié des grains sont usés et corrodés, comme ceux rencontrés dans le niveau à galets pliocène, l'autre moitié se compose de cristaux frais qui proviennent certainement de l'activité du Sancy, vers 0,8 Ma (tabl. 2). Cette nappe n'entre pas en contact avec la terrasse d'ablation qui se développe plus à l'aval, à partir du sud de Chemilly, mais elle se situe dans un plan peu différent. Les alluvions résiduelles conservées à Chantenay-Saint-Imbert ont une composition difficile à distinguer de celle des sables du Bourbonnais sous-jacents. Près du Bec d'Allier, les alluvions Fv notées sur la carte de Sancoins sont nettement plus fines que celles des moyenne et basse terrasses : elles ressemblent davantage aux dépôts Ft ou Fu. Un soulèvement au même rythme que celui du remblaiement semble nécessaire pour comprendre l'absence d'alluvions conservées lors de la traversée de la cuvette bourbonnaise. En effet, les galets cristallins et volcaniques traversent la cuvette bourbonnaise lors de la mise en place du niveau à galets pliocène ainsi que lors des remblaiements d'origine périglaciaire formant les moyennes et

basses terrasses. Fv marque ainsi l'arrêt des périodes de subsidence encore enregistrées lors du façonnement des terrasses d'ablation supérieures.

L'accumulation peut se réaliser durant une phase de soulèvement pourvu que les conditions climatiques permettent l'érosion sur les versants et que la surrection soit moins rapide que le remblaiement. Les inégalités spatiales des déformations tectoniques lentes pourraient expliquer certaines irrégularités du plancher des nappes alluviales, alors que le sommet de la plaine d'accumulation garde une pente régulière.

Formée d'alluvions grossières sur tout le cours, la nappe de la moyenne terrasse apparaît comme le premier remblaiement d'origine climatique dans la cuvette bourbonnaise. Elle est caractérisée par l'association sphène-augite-hornblende (tabl. 2). Son dédoublement à l'aval de Moulins et la légère déformation de son profil longitudinal dans la région du Veudre (fig. 3) tend à démontrer la poursuite du soulèvement de ces secteurs.

Moins altérée et non indurée, les alluvions des basses terrasses sont caractérisées par leur richesse en olivine. Une même terrasse peut comporter plusieurs nappes alluviales, comme l'a bien montré Veldkamp (1991) pour les basses terrasses de l'Allier en Limagne. En effet les replats de 10 et 20 m d'altitude relative, correspondent à quatre nappes qu'il distingue par l'analyse géochimique : X1 est daté de 30 000 BP, X2 plus riche en apports latéraux s'est mise en place entre 25 000 et 16 500 BP, X3 déposée entre 16 500 et 11 500 BP a une origine fluvioglaciale de par sa richesse en éléments volcaniques, et X4 date du Dryas récent. L'emboîtement de ces nappes s'explique par les fluctuations climatiques du Weichsélien supérieur et du Tardiglaciaire, mais le creusement tardiglaciaire précédant l'accumulation de X4 peut aussi résulter du soulèvement durant le Weichsélien qui ne s'est traduit par une incision que lorsque les conditions climatiques l'ont permis.

La comparaison des nivellements NGF (1884-1900) et IGN (1964-1985), réalisée selon la méthode de Fourniguet (1987), a permis à Delfau et Lenôtre (1991 et 1992) d'évaluer les mouvements

verticaux actuels (sur une centaine d'années) dans le Massif central et le sud du Bassin parisien. La surrection l'emporte largement sur l'affaissement qui ne concerne que l'ensemble Touraine-Berry-Poitou, le Sancerrois et la région de Montargis. Le soulèvement affecte tout le Massif central et la Sologne. Les vitesses maximales dessinent deux axes se recoupant dans le Velay qui s'élève à plus de 2 mm/an : l'un N-S passe par Moulins, l'autre NW-SE traverse la Margeride. En descendant la vallée de l'Allier, on observe d'abord une décroissance assez régulière du rythme de soulèvement, des sources à Brioude, puis les mouvements deviennent plus inégaux : la Limagne d'Issoire et le môle de Moulins forment deux secteurs en forte surrection (supérieure à 0,75 mm/an) encadrés par les zones plus stables de la Limagne de Brioude, de la Grande Limagne et du Nivernais.

Ces mouvements mesurés sur une centaine d'années sont difficilement extrapolables à l'ensemble du Pléistocène. En effet, une épirogenèse se réalisant à une vitesse constante de 0,5 mm/an impliquerait un soulèvement total de 500 m en un million d'années, or en Grande Limagne, là où l'encaissement est le plus fort, il n'excède guère 100 m depuis deux millions d'années. Il faut donc admettre que les vitesses sont très variables dans le temps et/ou que des mouvements négatifs peuvent alterner avec des mouvements positifs dans un même secteur. Le soulèvement récent du môle de Moulins peut expliquer la mise en relief, mieux marquée dans ce secteur, de la première terrasse Fy formée d'alluvions identiques à celles de la plaine alluviale actuelle et peut-être aussi le risque de déchaussement du pont Régemortes à Moulins. Toutefois, dans ce dernier cas, les extractions d'alluvions dans le lit actuel suffisent à expliquer le phénomène qui n'est pas spécifique aux zones en soulèvement, comme le démontre l'effondrement du pont Wilson à Tours en 1978.

### Conclusion

Cette étude montre que l'évolution morphodynamique des vallées dépend d'interactions complexes entre la dynamique fluviale liée à l'évolution bioclimatique et la tectonique. Contrairement aux vallées de la Seine et de la Somme

(Lefebvre *et al.*, 1994), il n'y a pas, pour la vallée de l'Allier, parallélisme des profils longitudinaux des terrasses, en raison de mouvements tectoniques différentiels. La cuvette bourbonnaise est loin d'être restée une zone subsidente permanente. Depuis l'accumulation des sables du Bourbonnais, le soulèvement a été plus important à l'amont qu'à l'aval, mais il a concerné aussi les môles de Moulins et du Veurdre à plusieurs reprises : entre la fin du remblaiement bourbonnais et le façonnement du gradin de Coulandon, puis pendant la période séparant l'élaboration du replat inférieur et la mise en place de la nappe Fv et enfin à l'Holocène. L'évolution verticale du lit des cours d'eau dépend du bilan entre les rythmes de la dynamique fluviale : creusement/remblaiement et ceux de la tectonique : soulèvement/subsidence. La stabilité du lit se maintient tant que le rythme du creusement ne dépasse pas celui de la subsi-

dence ou que la vitesse de l'accumulation n'excède pas celle du soulèvement. Ainsi, la tectonique joue-t-elle un rôle aussi important que celui du climat pour l'explication morphologique des formes fluviales du Pléistocène inférieur et moyen. Pour l'Allier, les mouvements verticaux sont responsables de la disparition locale de formes (les terrasses d'accumulation) liées à la variabilité bioclimatique du Pléistocène. En revanche, à partir de la mise en place de la moyenne terrasse Fw, les variations bioclimatiques jouent un rôle plus important que la tectonique.

Souvent négligée, l'étude des terrasses d'ablation et de leurs rapports avec les terrasses d'accumulation permet de préciser les mouvements différentiels enregistrés par une vallée de l'amont à l'aval : le soulèvement de la cuvette bourbonnaise, au même rythme que l'accumulation d'origine périglaciaire de la nappe

formant la haute terrasse Fv plus en amont, explique l'absence de dépôts et le maintien du lit d'ablation dans la cuvette bourbonnaise. Sur le Haut Allier, entre Langeac et Vieille-Brioude, les replats discontinus, appelés «plages» (Bout, 1960), modelés dans le socle et dominant le cours actuel d'une trentaine de mètres, témoignent aussi d'un «lent affaissement au même rythme que le creusement de l'Allier, d'où l'élargissement des plages» selon Derruau (1992). Cette subsidence s'est maintenue du Pliocène supérieur jusqu'à la mise en place de la nappe de la moyenne terrasse.

### Remerciements

Nous remercions H. Pelletier et R. Etienne qui ont effectué la détermination des minéraux lourds et également L. Clozier et le lecteur anonyme pour leurs utiles commentaires.

## Références

- Bourdier F. (1958) - Origine et succès d'une théorie illusoire : l'eustatisme appliqué aux terrasses alluviales. *Rev. Géomorphologie Dynamique*, 1-4, 16-29.
- Bout P. (1960) - Le Villafranchien du Velay et du bassin hydrographique moyen et supérieur de l'Allier. Thèse Etat Sciences, Univ. Paris, Impr. Jeanne d'Arc, Le Puy, 350 p.
- Bull W.B. (1991) - Geomorphic responses to climatic change. New York, Oxford University Press, 321 p.
- Chaput E. (1917) - Recherches sur les terrasses alluviales de la Loire et de ses principaux affluents. *Ann. Univ. Lyon*, nouv. série, I, n° 41, 303 p.
- Clozier L., Debrand-Passard S., Delance J.H., Desprez N., Lorenz C., Lorenz J. (1983) - Notice explicative de la feuille de Sancoins à 1/50 000. Ed. BRGM, Orléans, 37 p.
- Clozier L., Gros Y. (1985) - Présence de failles normales dans les sables et argiles du Bourbonnais d'âge pliocène supérieur (nord du Massif central). Essai d'interprétation. *Géologie de la France*, 4, 395-398, 2 fig.
- Clozier L., Turland M. (1982) - Notice explicative de la feuille de Dornes à 1/50 000. Ed. BRGM, Orléans, 51 p.
- Debrand-Passard S., Macaire J.J., Clozier L., Fleury R. (1998) - Particularités de l'évolution du système fluvial solognot dans le bassin de la Loire au Quaternaire. Corrélations possibles. *Géologie de la France*, 2, 55-68, 7 fig., 1 tabl.
- Delance J.H., Lablanche G., Clozier L. (1988) - Notice explicative de la feuille de Nevers à 1/50 000. Ed. BRGM, Orléans, 55 p.
- Derruau M. (1992) - L'interruption de quelques aplanissements dans le Massif Central : interruption néotectonique ?, p. 11-22. *In*: Actes du colloque A.G.F. : Rythmes morphogéniques en domaine volcanisé, Clermont Ferrand, 270 p.
- Etienne R. (1979) - Morphogénèse et tectogénèse du bassin tertiaire bourbonnais et de ses marges cristallines. 2<sup>ème</sup> partie de recherches géomorphologiques sur la bordure du Massif Central. Lyon, 171 p.
- Fleury R., Lablanche G., Lefavrais-Raymond A., Gros Y., Mathis V., Belkassa R. (1989) - Notice explicative de la feuille de Lurcy-Lévis à 1/50 000. Ed. BRGM, Orléans, 39 p.
- Fourniguet J. (1987) - Géodynamique actuelle dans le nord et le nord-est de la France. Apports des comparaisons de nivellement. *Mém. BRGM*, n° 127, 160 p.
- Giot D., Gentilhomme P., Bouiller R., Clozier L., Fleury R., Belkassa R. (1976) - Notice explicative de la feuille de Moulins à 1/50 000. Ed. BRGM, Orléans, 32 p.
- Giot D., Gentilhomme P., Bouiller R., Clozier L., Fleury R., Gagnière G. (1976) - Notice explicative de la feuille de St Pourçain-sur-Sioule à 1/50 000. Ed. BRGM, Orléans, 35 p.
- Gregory K.J., Schumm S.A. (1987) - The effect of active tectonics on alluvial river morphology. *In*: Richards K.S. (ed.), *River channels: environment and process*. Oxford, Blackwell, 41-68.
- Keller E.A., Rockwell T.K. (1984) - Tectonic geomorphology, Quaternary chronology, and paleoseismicity. *In*: Costa J.E. and Fleischer P.J. (eds): *Developments and Applications of Geomorphology*, 203-239. Springer, Berlin.



- Larue J.P. (1979) - Les nappes alluviales de la Loire et de ses affluents dans le Massif Central et dans le sud du Bassin Parisien : étude géomorphologique. Thèse d'Etat Géographie, Clermont II, multigraphiée, 543 p. + annexes, 30 cartes et 129 planches.
- Larue J.P. (1982) - Les enseignements climatiques et tectoniques fournis par l'étude des nappes alluviales de la Loire et de ses affluents. *Rev. Géomorphologie Dynamique*, 4., 137-149.
- Larue J.P. (1992) - Volcanisme et dynamique fluviale dans le Massif Central, p 137-150. *In* : Actes du colloque A.G.F. : Rythmes morphogéniques en domaine volcanisé, Clermont Ferrand, 270 p.
- Larue J.P. (1997) - Les déformations tectoniques enregistrées par les nappes alluviales de l'Allier, du bassin de Brioude au Lembronnais (Massif central) : essai de mise au point. *Géologie de la France*, 2, 31-38.
- Lefebvre D., Antoine P., Auffret J.P., Lautridou J.P., Lecolle F. (1994) - Réponses de la Seine et de la Somme aux événements climatiques, eustatiques et tectoniques du Pléistocène moyen et récent : rythmes et taux d'érosion. *Quaternaire*, 5, (3-4), 165-172.
- Lenôtre N., Delfau M. (1991) - Mouvements verticaux actuels dans le sud-est du Massif Central. Comparaisons de nivellements. Rapport BRGM R 32688 SGN/GEO 91, 18 p.
- Le Griel A. (1991a) - L'évolution géomorphologique du Massif Central français. Essai sur la genèse d'un relief. Thèse Etat Lettres, Univ. Lyon II, 2 t., 660 p. + 112 fig.
- Le Griel A. (1991b) - Auvergne, la mobilité tectonique dans un socle volcanisé. Livret-guide de l'excursion de la commission «Géographie physique des socles», Comité National de Géographie, 36 p.
- Lo Bello P. (1988) - Géochronologie par la méthode  $^{39}\text{Ar} / ^{40}\text{Ar}$  de ponces quaternaires contaminées. Exemple des ponces du Mont-Dore (Massif Central français). Utilisation d'un laser continu pour la datation de minéraux individuels. *Thèse Sciences*, Univ. Nice, 148 p.
- Miall A.D. (1977) - A review of the braided river depositional environment. *Earth Sci. Rev.*, 13, 1-62.
- Ouchi S. (1985) - Response of alluvial rivers to slow active tectonic movement. *Bull. Geol. Soc. America*, 96, 504-515.
- Pastre J.F. (1987) - Les formations plio-quaternaires du Bassin de l'Allier et le volcanisme régional (Massif Central, France). Thèse Sciences, Paris VI, 706 p.
- Schumm S.A. (1986). Alluvial river response to active tectonics. *In*: Active Tectonics, 80-94. Nat. Acad. Press., Washington, D.C.
- Tourenq J. (1989) - Les sables et argiles du Bourbonnais : une formation fluvio-lacustre d'âge pliocène supérieur, étude minéralogique, sédimentologique et stratigraphique. Document BRGM, n° 174, 333 p.
- Tourenq J., Pomerol C. (1995) - Mise en évidence, par la présence d'augite du Massif central, de l'existence d'une pré-Loire-pré-Seine coulant vers la Manche au Pléistocène. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **320**, (2), 1163-1169.
- Tricart J. (1947) - Méthode d'étude des terrasses. *Bull. Soc. géol. Fr.*, **17** (7-8-9), 559-575.
- Veldkamp A. (1991) - Quaternary river terrace formation in the Allier basin, France: a reconstruction based on sand bulk geochemistry and 3 D modelling. Thèse, Univ. de Wageningen, 172 p.
- Veldkamp A., Kroonenberg S.B. (1993) - Application of bulk geochemistry in mineral exploration and Quaternary research: a methodological study of the Allier and Dore terrace sands, Limagne rift valley, France. *Appl. Geochem.*, 8, 177-187.

# VIENT DE PARAÎTRE AUX ÉDITIONS BRGM

## DÉCOUVERTE GÉOLOGIQUE DU LUBERON

### GUIDE ET CARTE GÉOLOGIQUE

À 1/100 000

Créé en 1977, le Parc naturel régional du Luberon se situe en région Provence-Alpes-Côte d'Azur à mi-chemin entre Alpes et Méditerranée, sur les départements du Vaucluse et des Alpes de Haute-Provence. Il englobe le territoire de 67 communes soit une superficie de 165 000 hectares et une population de 155 000 habitants.

Depuis 1987, il est gestionnaire de la Réserve naturelle géologique du Luberon qui protège 28 sites paléontologiques de l'ère tertiaire englobés dans un périmètre de protection qui concerne 27 communes, soit 70 000 hectares.

La géologie est une composante essentielle, évidente des paysages du Luberon. Partout la roche affleure, calcaires blancs, sables rouges, argiles grises. Elle a modelé les paysages les plus pittoresques, conditionné des ressources naturelles et, par la diversité des roches, des minéraux et des fossiles, nous enseigne l'histoire de notre région, de toutes les espèces animales et végétales et par la même, de nos propres racines.

Cet ouvrage est le résultat du travail collectif d'une équipe de géologues d'horizons divers (Universités, CNRS, Muséum, Ingénieurs...) regroupée autour du service Géologie du Parc naturel régional du Luberon. Il s'adresse au grand public, sur des bases scientifiques rigoureuses et a pour objectif d'initier à la « vision » géologique des paysages afin qu'ils nous livrent une partie de cette histoire qui constitue la mémoire de la Terre.

Le BRGM, éditeur de ce guide, produit des informations géologiques, cartes, notices, guides, atlas, ouvrages scientifiques et de vulgarisation... à l'usage de tous ceux qui s'intéressent aux milieux naturels, pour le plaisir de les contempler, de s'y ressourcer ou de comprendre leur origine et leur évolution.

**Prix de vente : 175 F + 50 F de frais de port et d'emballage pour la France et 60 F pour l'Étranger.**

**En vente chez votre libraire habituel ou aux Éditions BRGM - BP 6009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France - Tél. : 02 38 64 30 28.**  
Fax : 02 38 64 36 82 accompagné de votre titre de paiement.