

---

# Les déformations tectoniques enregistrées par les nappes alluviales de l'Allier, du bassin de Brioude au Lembronnais (Massif central) : essai de mise au point\*

Jean-Pierre LARUE <sup>(1)</sup>

*Neotectonic deformations recorded by alluvial deposits of the Allier river between the Brioude basin and Lembronnais (Massif Central): state of the art*

---

Géologie de la France, n°2, 1997, pp. 31-38, 4 fig., 2 tabl.

Mots-clés : Terrasses, Alluvions, Pliocène, Pléistocène, Minéraux lourds, Granulométrie, Minéraux argileux, Néotectonique, Haute-Loire, Puy-de-Dôme, Massif central, France.

Key words: Terraces, Alluvium, Pliocene, Pleistocene, Heavy minerals, granulometry, Clay minerals, Neotectonics, Haute-Loire, Puy-de-Dôme, French Massif Central.

## Résumé

Du bassin de Brioude au Lembronnais, les nappes alluviales de l'Allier sont situées à des altitudes relatives différentes et forment un nombre de terrasses qui varie de l'amont à l'aval. Les analyses morphologique et sédimentologique, en particulier les microgranulométries et la détermination des argiles et des minéraux lourds, permettent de proposer une identification et un raccordement des différents lambeaux conservés, de l'amont à l'aval. La reconstruction des profils longitudinaux montre l'évolution des déformations tectoniques depuis le dépôt de la formation à galets de quartz au Miocène. Le parallélisme entre la formation à quartz et la nappe sableuse pliocène témoigne de l'absence de mouvements différentiels jusqu'au Pliocène supérieur. Une subsidence du bassin de Brioude et un soulèvement du horst de Brassac expliquent la dénivellation de 50 m entre l'amont et l'aval. Ces déformations, facilitées par des failles

orientées dans trois directions, se poursuivent au Pléistocène car elles affectent toutes les nappes jusqu'à la mise en place du remblaiement weichsélien. Le horst de Brassac apparaît comme une charnière tectonique qui a joué progressivement : les très hautes terrasses sont dénivelées de 25 m, la haute de 22 m et la moyenne de 15 m.

## Abstract

The alluvial deposits of the Allier river between the Brioude basin and Lembronnais lie at different relative altitudes and form terraces which vary from upstream to downstream. Seven terraces exist in the Brassac horst and only two in the Brioude basin.

Geomorphological and sedimentological studies (grain-size distribution, X-ray and heavy mineral analysis) have made it possible to identify and link the different alluvial outcrops from upstream to downstream. The Miocene and Pliocene deposits are weathered and

contain only a few weathered volcanic pebbles. The Miocene quartz pebble deposits (a) correspond to a palaeo-Alagnon due to the presence of heavy minerals from the Cantal. The pumice quartz from the Mont-Dore eruptions date the sandy alluvial formation (b) as Middle Pliocene (3.1 Ma). The coarse alluvial deposits (c and d) may result from Pretiglian periglacial accumulation. The Pleistocene alluvial deposits (e, f, g and h), which show a major climatic influence, are rich in volcanic pebbles and heavy minerals: (e) is contemporaneous with the Devès eruptions (2 and 1 Ma), (f) is dated at 0.8 Ma and (h) is Weichselian.

The reconstruction of longitudinal profiles along the terraces shows the evolution of tectonic deformation since the deposition of the Miocene quartz pebble deposits. The parallelism between the quartz pebble formation and the Pliocene sandy alluvial deposits proves that no differential tectonic displacement

\* Manuscrit reçu le 27 janvier 1997, accepté définitivement le 9 avril 1997.

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

*occurred before the Late Pliocene. Subsidence of the Brioude basin and uplift of the Brassac horst explains the 50 m difference in altitude between the upstream and downstream sediments. Displacement, concentrated along three fault directions, continued into the Pleistocene because all the pre-Weichselian alluvial deposits are affected. The Brassac horst acted as a tectonic hinge which moved progressively, resulting in an altitude difference of 25 m for the very high terrace, 22 m for the high terrace and 15 m for the middle terrace. Tectonic deformation was not restricted to local scale; effects are also observed upstream (Haut-Allier) and downstream (Limagne and the Bourbonnais basin).*

## Introduction

La plupart des chercheurs ayant travaillé dans la vallée de l'Allier : Bout (1960), Derruau (1992), Etienne (1984), Fouris (1989), Larue (1979, 1992), Le Griel (1991), Pastre (1987), Reffay (1992), ont constaté que les nappes alluviales conservées se situaient à des altitudes relatives par rapport au lit mineur actuel très inégales de l'amont à l'aval. Ils ont expliqué ces fortes variations par des déformations tectoniques qui ont soulevé les régions d'Issoire et du Lembronnais, offrant un bel étagement de terrasses, et abaissé le secteur localisé en amont, plus pauvre en nappes alluviales. Mais jusqu'à présent, malgré la multiplication des datations absolues de coulées volcaniques, la chronologie des mouvements demeurerait encore très hypothétique, principalement en raison d'une individualisation difficile des différentes nappes. Beaucoup de contradictions et d'incertitudes subsistaient quant au dénombrement et surtout au raccordement des terrasses de l'amont à l'aval. Ainsi, les rapports entre la nappe sableuse pliocène et la nappe à galets de quartz, décrites par Larue (1979), Pastre (1987) et Le Griel (1991), restaient mal élucidés dans les secteurs de Brassac et de Fontannes. Les terrasses du Pléistocène moyen et supérieur sont-elles dénivelées comme le suggère Reffay (1992) ou au contraire exemptes de déformations selon Derruau (1992) ?

Pour tenter de répondre à ces questions, nous avons cherché, par l'analyse géomorphologique et sédimentologique, à identifier les différentes formations

plio-pléistocènes afin de pouvoir les raccorder de l'amont à l'aval et ainsi de préciser l'ampleur et la durée des déformations tectoniques.

## Les paysages morphologiques

Entre l'Allier et l'Alagnon, le horst de Brassac se présente comme un seuil de franchissement peu élevé entre les bassins oligocènes de Brioude au sud et du Lembron au nord. Par rapport aux plaines d'érosion récentes formées dans ces deux bassins, il ne représente que 70 m de dénivellation, mais domine de plus de 100 m les fonds des grandes vallées actuelles. Il a été modelé en un grand nombre de niveaux étagés (fig. 1). Si le plus élevé, qui atteint 557 m à la Selle, est constitué uniquement de roches du socle, des tufs rhyolitiques, les autres comportent fréquemment, sur les terrains houillers, des formations plio-quadernaires plus ou moins épaisses. Ainsi, on trouve successivement du haut vers le bas, la butte du Président (507 m), le niveau de la Cité Bayard (495 m), ceux de la Combelle (485 m), de Bergoide (479 m), de Frugères (464 m), de Solignat (440 m). Dans ce dernier niveau, l'érosion régressive a creusé de véritables ravins de plus de 10 m de profondeur, comme par exemple au nord-ouest de Lubières.

Au contraire, plus en amont, dans le bassin de Brioude, les dénivellations sont moindres et la topographie de terrasses régulières l'emporte. Deux marches se suivent dans tout le bassin, l'une à 20 m d'altitude relative, l'autre à 40 m, et un niveau plus élevé, 60 m d'altitude relative, n'est conservé que dans la région de Fontannes, à l'extrémité sud-est du bassin.

Dans les gorges de l'Allier, entre Langeac et Vieille-Brioude, les versants sont marqués par des replats discontinus, appelés "plages" (Rout, 1960), dominant le cours actuel d'une trentaine de mètres.

## Identification des différentes formations alluviales

Si l'altitude relative ne peut constituer un critère sûr permettant la distinction des nappes, l'observation des faciès et l'analyse sédimentologique avec en particulier l'étude de la composition minéralo-

gique et de l'altération des matériaux doivent être envisagées.

En fonction du faciès, on peut distinguer trois grands ensembles et quelques faciès locaux :

- des formations sableuses, dont l'épaisseur peut localement excéder 20 m, sont conservées à Beaulieu, à La Combelle et dans le vallon de Granat ;

- des formations sablo-argileuses à galets de quartz jalonnent de hauts niveaux dont la topographie plane est plus mal conservée, aussi bien dans le sud-est du bassin de Brioude qu'au sommet des buttes du Président, de Bergoide et de Frugères ;

- des nappes caillouteuses riches en galets volcaniques et n'excédant guère 5 m de puissance, forment des terrasses à des altitudes très variables. Si les plus élevées ravinent les formations sableuses, comme à la Combelle, Beaulieu et près de Fontannes, les autres engendrent, soit des buttes d'inversion de relief, comme au nord de Brioude, soit des replats sur les versants de rive droite de la vallée de l'Allier ou encore sur le flanc des buttes comme au nord de Beaulieu.

Sur le flanc nord de la butte de Bergoide, au sud de la Taupe, une ancienne mine servant de décharge à la commune de Vergongheon permet d'observer la coupe suivante et de découvrir de nouveaux faciès qui s'ajoutent aux formations sableuses : des alluvions grossières (nappe d, fig. 4) épaisses de 5 m, incluant des blocs démesurés (80 cm de diamètre), ravinent les argiles oligocènes et sont surmontées par des dépôts sableux et argileux de 4 m de puissance ; un peu plus à l'ouest, des alluvions grossières (c) de 3 m d'épaisseur recouvrent une formation sableuse disposée en stratification oblique sur 5 m d'épaisseur. Le rapport entre les deux ensembles n'est pas visible. Parmi les galets, les éléments du socle l'emportent largement sur les volcaniques qui présentent des patines d'altération très épaisses.

En réalisant l'analyse chimique globale des alluvions sableuses des nappes de l'Allier, Veldkamp (1991), Veldkamp et Kroonenberg (1993) ont trouvé une diminution des rapports Mg / Fe et Ca / Ti des nappes récentes aux terrasses anciennes, mais les variations minimales enregistrées

dans le Lembronnais et le bassin de Brioude ne permettent guère l'identification des différents niveaux, d'autant plus que la profondeur du prélèvement apparaît jouer un rôle plus important que les différences d'une nappe à l'autre. Toutefois, les poudres de la fraction < 40 µm qui ont pu être analysées au MEB (microscope électronique à balayage) révèlent l'homogénéité de la formation sableuse caractérisée par la prédominance de l'aluminium sur le fer, et démontrent ainsi que l'échantillon 8, prélevé à La Taupe, appartient bien à cette formation. Les alluvions plus récentes renferment plus de fer que d'aluminium.

Réalisées à partir d'échantillons prélevés dans des lentilles sablo-limoneuses et localisés sur le tableau 1 et la figure 1, les microgranulométries (fig. 2) révèlent des variations sensibles de la teneur en argiles (< 2 µm). Pour les terrasses quaternaires, elle augmente avec l'ancienneté : par exemple, 3,6 % pour le niveau de 20 m et 5,8 % pour celui de 40 m dans le secteur de Fontannes. Mais cette progression ne se vérifie pas lorsqu'il y a fossilisation par une coulée volcanique : ainsi la nappe de 40 m, recouverte par la coulée issue des Greizes, ne renferme plus que 1,3 % d'argiles. Pour les formations plus anciennes (Pliocène et Pléistocène inférieur), la teneur en argiles est plus variable. Les dépôts sableux fossilisés sous les alluvions caillouteuses riches en basaltes en contiennent moins de 4 % à Frugerolles et même moins de 2 % sur le horst de Brassac, alors que ces dernières enregistrent les taux les plus élevés à Beaulieu et à La Combelle et au contraire des teneurs très modestes à Fontannes : moins de 4 % (tandis que la terrasse voi-

nappe	n° éch	lieu-dit	carte 1/50000	coordonnées	altitude	profondeur	lithologie
a	1	Le Président	St Germain-Lembron	676,5-344,8	507 m	1 m	sables argileux
	2	Nr Frugerolles	Brioude	687,6-334	480 m	0,60 m	grave
	3	Frugerolles	Brioude	687,3-333,7	458 m	3 m	sables roux indurés
	4	E Fontannes	Brioude	686,7-333	450 m	5 m	sables meubles
b	5	SW Beaulieu	St Germain-Lembron	673,6-348,2	480 m	5 m	sables meubles
	6	Les Graves	St Germain-Lembron	676,7-349	470 m	8 m	sables meubles
	7	Les Graves	St Germain-Lembron	676,7-349	473 m	5 m	sables meubles
	8	La Taupe	St Germain-Lembron	678-343,3	465 m	5 m	sables
c	9	La Taupe	St Germain-Lembron	678-343,3	465 m	1 m	grave
	10	La Taupe	St Germain-Lembron	678-343,3	465 m	8 m	grave
d	11	La Taupe	St Germain-Lembron	678-343,3	465 m	5 m	grave et sables
	12	E Fontannes	Brioude	686,7-333	460 m	2 m	grave
e	13	SW Beaulieu	St Germain-Lembron	673,6-348,2	485 m	1 m	grave
	14	Les Graves	St Germain-Lembron	676,7-349	480 m	0,50 m	grave
	15	Fenier	St Germain-Lembron	674,4-350,7	450 m	1 m	grave
f	16	Fontannes	Brioude	685,7-332,9	460 m	2 m	grave
	17	N Lamothe	Brioude	685,3-335,9	460 m	2 m	sables fins
	18	N Lubières	St Germain-Lembron	679-342	438 m	0,60 m	grave
	19	Le Monteil	St Germain-Lembron	679,3-340,8	420 m	3 m	grave
g	20	Fontannes	Brioude	685-332,8	440 m	2 m	grave
	21	W Lubières	St Germain-Lembron	678,8-341,8	440 m	1 m	grave
	22	S Chappe	St Germain-Lembron	680,8-342,1	412 m	1 m	grave
h	23	St Quentin	St Germain-Lembron	673,8-351,6	395 m	1 m	grave

Tabl. 1.- Localisation et lithologie des échantillons analysés.  
Table 1.- Location and lithology of the analysed samples.

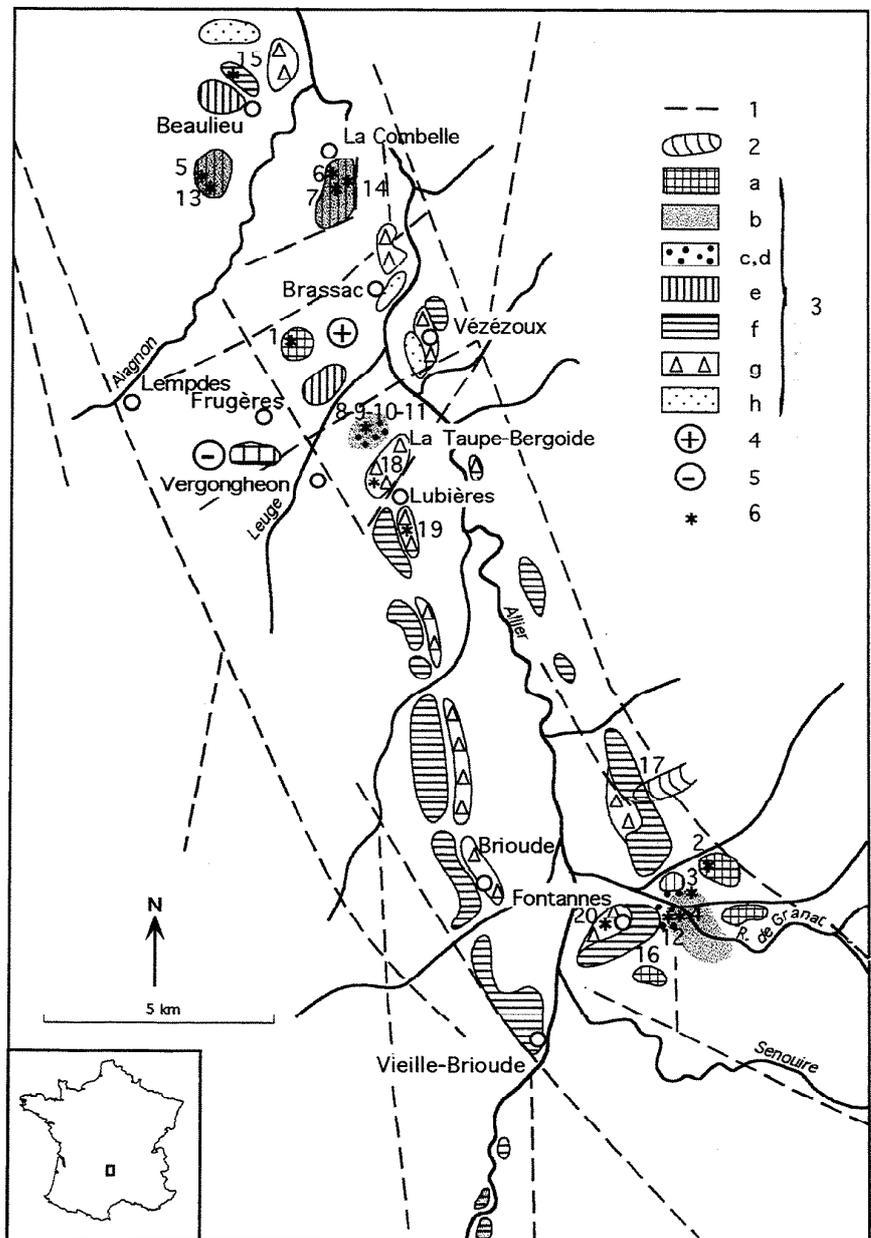


Fig. 1.- Carte de localisation des différentes formations détritiques.

1 : principales failles ; 2 : coulée volcanique des Greizes ; 3 : nappes alluviales (a : formation à galets de quartz, b : formation sableuse (3,1 Ma), c et d : formation à galets cristallins et volcaniques très altérés, e : nappe formant les très hautes terrasses, f : nappe formant la haute terrasse datée de 0,8 Ma, g : nappe de la moyenne terrasse, h : basse terrasse) ; 4 : soulèvement maximum ; 5 : subsidence relative ; 6 : échantillon prélevé.

Fig. 1.- Location of the different detrital rocks.  
1: faults; 2: Greizes lava - flow; 3: alluvial deposits (a: quartz pebble formation, b: Pliocene sandy formation (3.1 Ma), c and d: formation with weathered crystalline and volcanic pebbles, e: very high terrace deposits, f: high terrace (0.8 Ma), g: middle terrace deposits, h: lower terrace deposits); 4: maximum uplift; 5: relative subsidence; 6: sampling point.

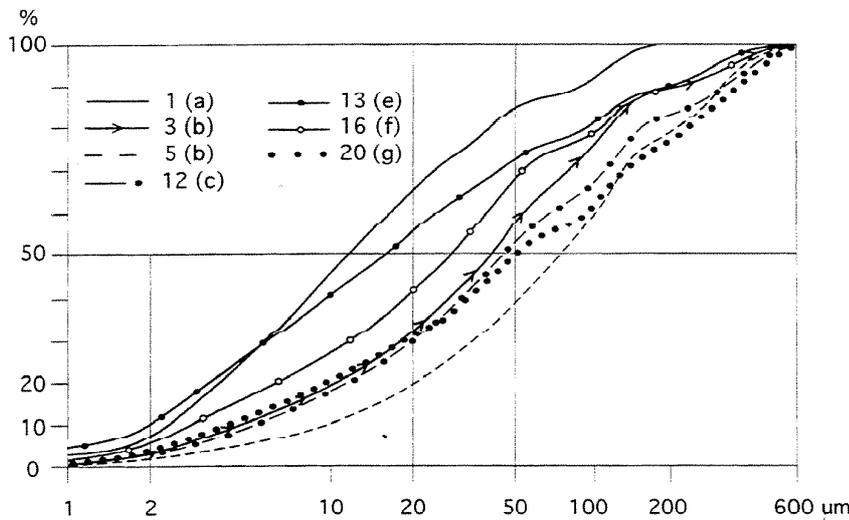


Fig. 2.- Courbes granulométriques des échantillons localisés sur la figure 1 et le tableau 1. 1 : formation à galets de quartz (a) ; 3, 5 : formation sableuse pliocène (b) ; 12 : formation à galets cristallins et volcaniques très altérés (c) ; 13 : nappe formant les très hautes terrasses (e) ; 16 : nappe formant la haute terrasse datée de 0,8 Ma (f) ; 20 : nappe de la moyenne terrasse (g).

Fig. 2.- Grain-size distribution of samples located on Fig. 1 and Table 1. 1: quartz pebble formation (a); 3, 5: Pliocene sandy formation (b); 12: formation with weathered crystalline and volcanic pebbles (c); 13: very high terrace deposits (e); 16: high terrace deposits (0.8 Ma) (f); 20: middle terrace deposits (g).

sine, de 40 m d'altitude relative, atteint 5,8 %). Quant aux alluvions à galets de quartz (1 et 2) elles en renferment en moyenne 6,5 %.

La détermination des argiles par diffractométrie des rayons X complète ces données (fig. 3). Les formations sableuses pliocènes ont une meilleure cristallinité que les terrasses quaternaires. Ces dernières renferment surtout des smectites dont l'importance augmente avec l'ancienneté, alors que les premières sont plus riches en kaolinite et en illite. La nappe pauvre en galets volcaniques voit la prédominance de l'illite sur la kaolinite. Les minéraux argileux permettent ainsi de distinguer deux formations emboîtées au sud de La Taupe : la formation grossière recouvrant les sables est plus ancienne que celle surmontée de dépôts fins, car la cristallinité est meilleure pour la première.

Concentrés selon la méthode classique de séparation au bromoforme (Parfenoff *et al.*, 1970), les minéraux lourds, de densité > 2,89, ont été déterminés par Etienne au microscope optique. Les résultats présentés sur le tableau 2 permettent de distinguer plusieurs formations :

- La nappe à galets de quartz (1) est caractérisée par sa richesse en zircon et

en tourmaline mais aussi par la présence de minéraux lourds volcaniques provenant du Cantal, en particulier de l'hypersthène et de la pargasite ferrique. Ce dernier minéral a été déterminé par comparaison avec des analyses effectuées à la microsonde sur des amphiboles cantaliennes. Les dépôts du Président ont probablement été apportés par un paléo-Alagnon qui prolongeait la Truyère antérieurement à sa capture (de Goër et Etienne, 1991), car leur composition minéralogique diffère beaucoup de celle de la région de Fontannes. Des quartz de ponces issus du Mont-Dore, signalés par Pastre (1987), sont repérables dans l'échantillon 2.

- La nappe sableuse pliocène (3, 4, 5, 6, 7 et 8) renferme des minéraux lourds volcaniques et des quartz de ponces, ce qui la placerait, selon Lo Bello (1988), aux alentours de 3,1 Ma. Les sables de Frugerolles (3), qui contiennent des quartz de ponces, appartiennent bien à cet ensemble et non à l'Oligocène comme le suggérait Reffay (1992). Étudié par Desprairies (1963), l'Oligocène du bassin de Brioude est riche en grenat alors que, pour la nappe pliocène, la staurotite dominante est associée au grenat et à l'apatite.

- Les alluvions grossières de La Taupe (9, 10) et de Fontannes (12) contiennent aussi des éléments volcaniques, mais la

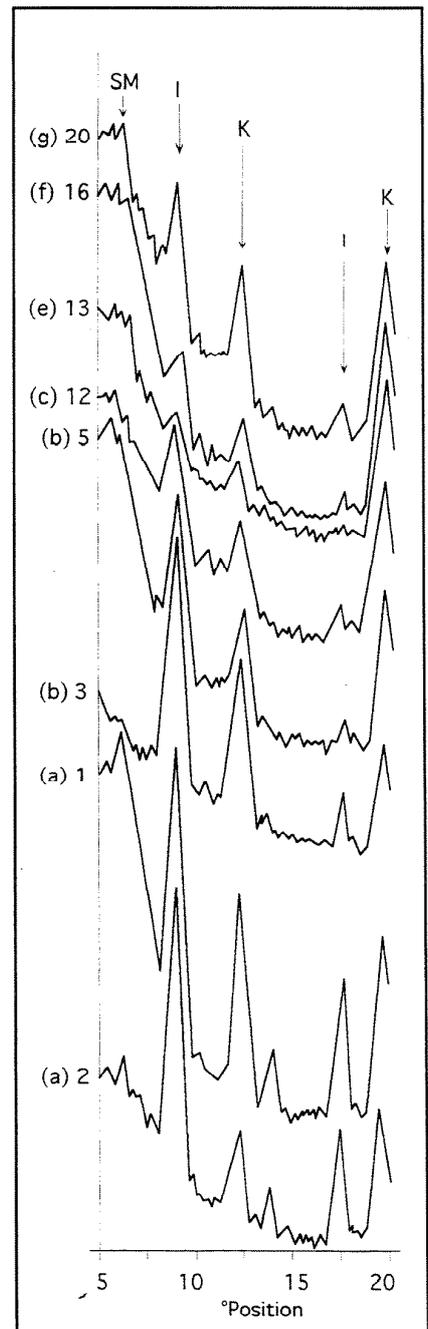


Fig. 3.- Spectres de diffraction des rayons X obtenus sur la fraction < 40 µm des échantillons localisés sur la figure 1 et le tableau 1.

1, 2 : formation à galets de quartz (a) ; 3, 5 : formation sableuse pliocène (b) ; 12 : formation à galets cristallins et volcaniques très altérés (c) ; 13 : nappe formant les très hautes terrasses (e) ; 16 : nappe formant la haute terrasse datée de 0,8 Ma (f) ; 20 : nappe de la moyenne terrasse (g).

Fig. 3.- X-ray diffraction on spectra samples located on Fig. 1 and Table 1.

1, 2: quartz pebble formation (a); 3, 5: Pliocene sandy formation (b); 12: formation with weathered crystalline and volcanic pebbles (c); 13: very high terrace deposits (e); 16: high terrace deposits (0.8 Ma) (f); 20: middle terrace deposits (g).

nappe	n° éch	Zircon	Tourmaline	Mona-zite	Pléonaste	Rutile	Brookite	Grenat	Andalousite	Sillimanite	Staurotide	Dissthène	Epidote	Hornbl verte	Hornblend brune	Augite	Enstatite	Hypersthène	Bronzite	Sphène	Olivine	Apatite	Quartz de ponces	Diopside
a	1	61	24	0,5		1	0,5	5	2		0,5	3,5	1							1				
	2	12,5	4,5			2		42	1	1	2	24		7	1	1	1		1				*	
b	3	4,5								41		50			2				2				*	
	4	0,5	1	0,5		0,2		6		2	1	0,2	11,5	44	1				29		1	*		
	5	21	16	1		1		5	10	3	18	1	1,5	1,5	2	0,5			2		16	*		
	6	26	12	1		0,5	0,5	10	6,5	2	22,5			1	1,5						16,5	*		
	7	18	5,5	0,5				16	10	3	25,5			2	0,5				0,5	1,5	2	12,5	*	
	8	7	6					23	2	4	8,5	4		19,5	5	1			0,5	10		8,5	*	
	c	9	4	2,5		0,5		35	0,5	0,5	14,5	2,5		16	1,5	5,5	0,5		0,5	7,5		6,5	*	
	d	10	6	6,5				23	3	3	10,5	1		11,5	6,5	2				2	18		7	
c	11	6	0			0,5	0	4,5		14,5	1,5		7	14	1,5	0,5		1,5	1,5	20		3		
	12	13,5	2	0,5			33,5	1,5		6,5	0,5		22,5		1	1			0,5		5,5	10,5		
e	13	0,5	1,5			0,5	5,5			1,5			1,5	1,5	58,5					0,5	21	0,5	*	
	14	3,5	0,5				14			2	0,6		0,6	8	31,5	1,6			12	3,6	21,5	0,6		
f	15	2	1				30		1		5,5		2	2	40,5	4,5			4,5	4,5	3,5	3,5		
	16	1	3,5				34	1	1	17	0,5		0,5	0,5	11,5					0,5	0,5	29	1	
	17	4	4,5				35,5	1		11	0,5		7	1	12,5	5				1	12,5	4		
	18	2,5	3,5				26,5	1		8,5	1		1	1	32,5	2,5				9,5	5	1		
g	19	7	6				32	6	9	1	1		6		17,5	4	3				7	7		
	20	4,5	4,5			1	14	2		5,5			5,5	4,5	23	2		3,5	20	5,5	4,5			
	21	2,5				1	29			6,5			3,5	2,5	37				1	5	5	3,5		
	22	1					49,5	2	2				10,5		21,5	1	2	2		2	4,5	4,5		
h	23	1	1,5				1,5							5	30	5	10			43	1,5			

Tabl. 2.- Composition en minéraux lourds des échantillons localisés sur le tableau 1 et la figure 1. Détermination R. Etienne sauf 4 et 16 : Abbé Pelletier. Les apports devésiens sont soulignés.

1 et 2 : formation à galets de quartz (a) ; 3, 4, 5, 6, 7 et 8 : formation sableuse pliocène (3,1 Ma) (b) ; 9, 10, 11, et 12 : formation à galets cristallins et volcaniques très altérés (c et d) ; 13 et 14 : nappe formant les très hautes terrasses (e) ; 15, 16 et 17 : nappe formant la haute terrasse datée de 0,8 Ma (f) ; 18, 19, 20, 21 et 22 : nappe de la moyenne terrasse (g) ; 23 : nappe de la basse terrasse (h) .

Table 2.- Heavy mineral compositions of samples located on Table 1 and Fig. 1. Devès minerals are underlined.

1 and 2: quartz pebble formation (a); 3, 4, 5, 6, 7 and 8: Pliocene sandy formation (3.1 Ma) (b); 9, 10, 11 and 12: formation with weathered crystalline and volcanic pebbles (c and d); 13 and 14: very high terrace deposits (e); 15, 16 and 17: high terrace deposits (0.8 Ma) (f); 18, 19, 20, 21 and 22: middle terrace deposits (g); 23: lower terrace deposits (h).

nappe grossière inférieure (10), surtout riche en sphène et hornblende brune, est dépourvue de quartz de ponces, alors que le niveau plus élevé (9), caractérisé par l'association augite-sphène, en possède en grand nombre. La diminution du grenat et l'augmentation de la tourmaline attestent de transports longitudinaux de plus en plus importants avec le temps. Il est probable que la première formation se soit mise en place juste après la grande nappe de ponces porphyriques de Perrier datée de 3,07 Ma (Lo Bello, 1988) et la seconde avant le premier paroxysme de l'activité volcanique du Devès, vers 2 Ma (Mergoïl et Boivin, 1993), qui s'est traduit par l'arrivée massive de clinopyroxènes.

- La nappe à galets volcaniques (13, 14), riche en augite et en olivine, enregistre le premier paroxysme de l'activité du Devès.

- Les nappes alluviales des terrasses renferment toutes des minéraux lourds volcaniques en abondance, cependant celle formant la haute terrasse (15, 16, 17) apparaît dans l'ensemble plus riche que celle de la moyenne (18, 19, 20, 21, 22) mais moins que les alluvions de la basse terrasse (23) et de la plaine alluviale. Si l'augite est présente dans les trois niveaux, le sphène caractérise plutôt les hauts niveaux et l'olivine les alluvions récentes.

L'utilisation conjointe des méthodes précédentes favorise l'identification de plusieurs nappes détritiques.

**Les formations anciennes, antérieures au Pléistocène**, sont pratiquement dépourvues de galets cristallins et volcaniques sains, elles comprennent trois catégories de dépôts :

- La formation à galets de quartz (nappe a) présente une forte altération qui se traduit par l'absence de galets fragiles, par un pourcentage important d'argile et par une bonne cristallinité des minéraux argileux. Riche en zircon et tourmaline, elle renferme quelques éléments volcaniques provenant du Cantal. Datée du Pliocène supérieur par Pastre (1987), du Pliocène moyen par Le Griel (1991) et du Miocène par Etienne et Le Griel (1995), elle est de toute manière antérieure à 3,1 Ma. Toujours recueillis à faible profondeur, les quartz de ponces de la région de Fontannes indiquent seulement que la nappe était en place au moment de ces projections.

- La formation sableuse pliocène (b) offre des faciès homogènes de l'amont à l'aval : les sables meubles incluent quelques galets cristallins et volcaniques à l'état de fantômes, les minéraux lourds montrent la prédominance de la staurotide, du grenat et de l'apatite, la présence

de quartz de ponces à tous les niveaux suggère un âge voisin de 3,1 Ma.

- Les nappes d'alluvions grossières, mêlant galets de quartz et galets cristallins et volcaniques altérés (c et d), ravisent la formation sableuse et atteignent le substrat sur le horst de Brassac, mais pas à Fontannes où on a une simple superposition. Le pourcentage de galets volcaniques décroît rapidement de l'amont à l'aval. La présence de quelques blocs démesurés du socle dans la nappe d plaine en faveur d'une accumulation effectuée en milieu périglaciaire. Comme la première phase de refroidissement ayant atteint un stade glaciaire en Europe occidentale est datée du Prétiglien (Zagwijn, 1960) et plus précisément de 2,3 Ma (Cravatte et Suc, 1981), on peut penser que cette nappe a un âge peu différent.

**Les nappes pléistocènes à galets volcaniques moins altérés** engendrent un nombre de terrasses variable de l'amont à l'aval. L'altération des matériaux progresse des bas aux hauts niveaux.

- Les alluvions des très hautes terrasses (e), riches en clinopyroxènes, enregistrent les éruptions du Devès qui connaissent deux paroxysmes vers 2 et 1 Ma.

- La haute terrasse (f) est caractérisée par l'association augite-sphène-apatite. Le sphène provient certainement de

l'activité du Sancy, vers 0,8 Ma. Près de Fontannes, cette formation se distingue de la nappe caillouteuse pliocène par des galets plus grossiers et nettement moins altérés.

- La nappe de la *moyenne terrasse* (g) renferme davantage d'éléments cristallins, alors que celle de la *basse terrasse* (h) est plus riche en galets volcaniques sains et en olivine.

## Les implications tectoniques

La reconstitution des profils longitudinaux des nappes précédemment identifiées (fig. 4) montre que les altitudes relatives, par rapport au lit mineur de l'Allier, varient souvent considérablement de l'amont à l'aval.

Le parallélisme de la formation à quartz (a) et de la nappe sableuse pliocène (b), qui présentent entre elles une dénivellation de 50 m, témoigne d'une évolution tectonique globale sans mouvements différentiels durant la période séparant la mise en place de ces dépôts. Si l'âge de la seconde (3,1 Ma) ne fait guère de doute, celui de la première reste incertain : elle pourrait bien être contemporaine de l'édification du Cantal, entre 9 et 7 Ma (de Goër *et al.*, 1988) du fait de la présence de minéraux lourds spécifiques de ce vol-

canisme. Le creusement de 50 m entre ces formations peut s'expliquer par un soulèvement d'ensemble du Massif central, qui est par ailleurs attesté par l'encaissement de l'Alagnon lors de l'épanchement de la coulée de basanite noire datée de 5,35 Ma (Thonat, 1969).

La forte épaisseur du remblaiement sableux pliocène suggère un arrêt du soulèvement et même une légère subsidence de tout le secteur étudié. Les alluvions grossières qui fossilisent et ravinent ces sables témoignent d'une recrudescence de la morphogénèse sous contrôle climatique et/ou tectonique. A Bergoide, l'emboîtement des deux formations grossières (c et d) résulte de mouvements tectoniques positifs affectant le horst de Brassac. La conservation de dépôts fins au sommet de la nappe d ne peut s'expliquer que par un changement de cours de l'Allier, par abandon d'un méandre et évolution en bras mort. Les blocs démesurés, signalés dans la partie inférieure de cette nappe, marquent certainement l'apparition de la première phase périglaciaire, vers 2,3 Ma.

L'ensemble de ces formations anciennes est fortement dénivélé de l'amont à l'aval : la base de la formation sableuse passe de 30 m d'altitude relative dans la région de Fontannes à 70 m à Bergoide et 82 m au sud de Beaulieu. A

une subsidence de l'amont, s'oppose un soulèvement inégal du horst de Brassac : le bloc de Bergoide est situé 12 m plus bas que la partie nord du horst. Ces mouvements différentiels sont facilités par l'existence de failles orientées selon trois directions, subméridienne, varisque et armoricaine (fig. 1), qui délimitent des blocs pouvant jouer les uns par rapport aux autres. Le rejeu récent de la faille subméridienne occidentale est affirmé par Le Griel (1991) mais contesté par Derruau (1992).

Ces déformations postérieures au Pliocène supérieur se sont poursuivies au Pléistocène ainsi que l'atteste le profil longitudinal des nappes alluviales. La mise en place des alluvions formant les très hautes terrasses (e) s'est réalisée dans un contexte de creusement général et de soulèvement du horst de Brassac. Comme dans la région de Randan, au nord de la Grande Limagne, ce mouvement positif permet la conservation des alluvions des lits majeurs successifs de l'Allier et explique l'emboîtement de plusieurs nappes sur les flancs de la butte de Beaulieu, bien décrites par Pastre (1987). L'altitude relative de ces nappes, conservées uniquement sur le horst, oscille entre 75 m sous le cimetière de Vézézoux et 100 m à Beaulieu, ce qui prouve une désolidarisation des blocs constituant le horst.

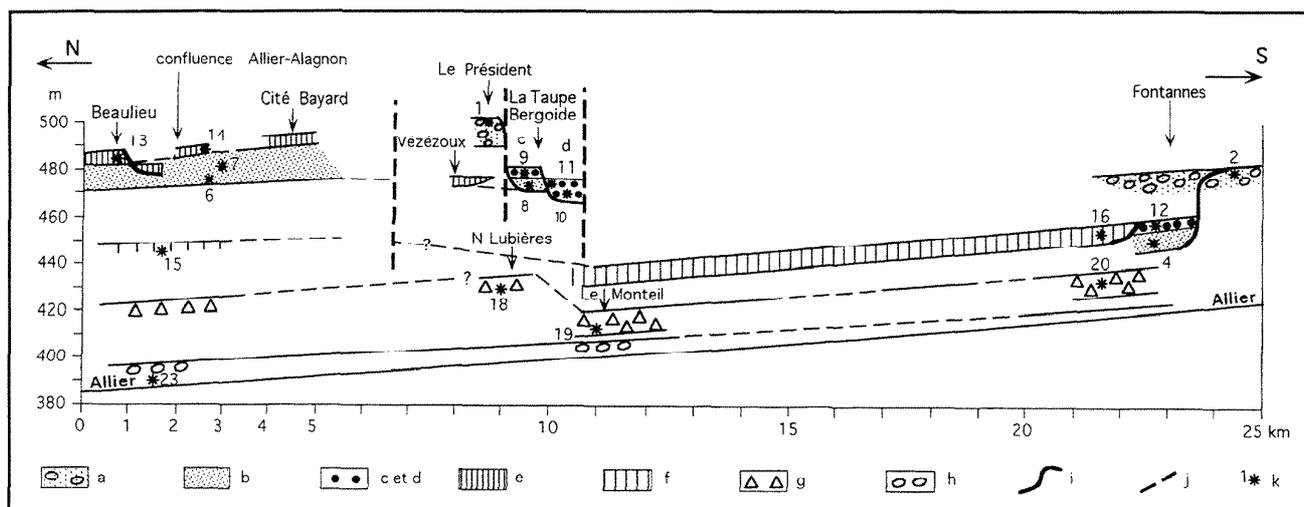


Fig. 4.- Profils longitudinaux des nappes détritiques tertiaires et quaternaires.

a : formation à galets de quartz ; b : formation sableuse pliocène ; c et d : formation à galets cristallins et volcaniques très altérés ; e : nappe formant les très hautes terrasses ; f : nappe formant la haute terrasse datée de 0,8 Ma ; g : nappe de la moyenne terrasse ; h : basse terrasse ; i : incision ; j : faille ; k : échantillon prélevé.

Fig. 4.- Longitudinal profiles of the Tertiary and Quaternary alluvial deposits.

a : quartz pebble formation ; b : Pliocene sandy formation ; c and d : formation with weathered crystalline and volcanic pebbles, e. very high terrace deposits ; f : high terrace deposits (0.8 Ma) ; g : middle terrace deposits ; h : lower terrace deposits ; i : incision ; j : fault ; k : sampling point.

Remblaiement d'origine périglaciaire, la nappe de la haute terrasse (f) donne un niveau continu de l'amont à l'aval mais encore déformé puisqu'il atteint 62 m au nord de Beaulieu et seulement 40 m dans tout le bassin de Brioude. Près de Fontannes, cette nappe, datée de 0,8 Ma par la coulée du volcan des Greizes qui la fossilise (Fouris, 1989), ravine la formation caillouteuse du Pliocène supérieur et forme avec cette dernière un seul replat de 40 m d'altitude relative.

La nappe alluviale formant la moyenne terrasse (g) apparaît également déformée : elle donne un replat de 20 m d'altitude relative de Fontannes au Monteil, puis de 35-40 m lors de la traversée du horst de Brassac. Au nord de Lubières, cette banquette a été profondément incisée par les ravins signalés précédemment, du fait du soulèvement postérieur à son élaboration. Il est probable que les nappes formant la haute et la moyenne terrasse se recoupent (fig. 4) : seuls des sondages entre Bergoide et Le Monteil pourraient apporter une réponse.

La nappe alluviale (h), datée du Weichsélien à l'amont de Brioude (Marguerie, 1984) et en Limagne (Kaynal, 1984, Veldkamp, 1991), ne semble pas avoir subi de déformations importantes. Située sous la plaine alluviale au sud du bassin de Brioude, elle engendre une basse terrasse lors de la traversée du horst de Brassac. A Chappe, un lambeau conservé sur le socle est même étagé par rapport à la plaine alluviale de l'Allier.

## Conclusion

Ainsi, l'identification des nappes alluviales est une méthode efficace pour

déceler les déformations plio-pléistocènes. Des mouvements tectoniques différentiels se développent dès l'achèvement de l'accumulation de la formation sableuse (b) datée de 3,1 Ma. Si le bassin de Brioude enregistre une subsidence prolongée, le horst de Brassac apparaît comme une charnière tectonique, selon l'expression de Reffay (1992), le bloc sud subissant un soulèvement moindre que la partie nord. La reconstitution des profils longitudinaux permet de montrer que ces mouvements déforment toutes les nappes alluviales jusqu'au remblaiement weichsélien. Le soulèvement de la partie nord du horst de Brassac, qui affecte aussi le Lembronnais, la Limagne d'Issoire et la Grande Limagne, apparaît progressif : les formations anciennes sont dénivelées de 50 m, les très hautes terrasses (c) de 25 m, la haute (f) de 22 m et la moyenne (g) de 15 m. Toutefois, il reste à évaluer la part qui revient au soulèvement, au nord et celle qui ressortit à la subsidence au sud. La comparaison des nivellements NGF (1884-1900) et IGN (1964-1985), réalisée par Lenôtre et Delfau (1991), indique un soulèvement actuel global compris entre 0,5 et 0,75 mm/an, sans mouvements différentiels marqués, excepté l'anomalie ponctuelle négative située au nord d'Arvant et correspondant au compartiment affaissé de Frugères-Mines.

Ces déformations tectoniques ne constituent pas des phénomènes purement locaux dans le bassin de l'Allier. En amont, le Haut Allier a subi successivement : une phase de surrection, permettant le creusement d'une vallée proche du niveau actuel, jusqu'à la mise en place des coulées du Devès datées à Saint Arcons de 2,8 Ma, une période de lent affaissement attesté par l'absence de terrasses

étagées, jusqu'au Pléistocène moyen, puis un soulèvement récent dont la vitesse dépasse 2 mm/an depuis une centaine d'années (Lenôtre et Delfau, 1991). L'encaissement précoce de l'Alagnon est dû à la surrection du horst de la Margeride dès le Miocène (de Goër et Etienne, 1991). Plus en aval, les coulées de la région clermontoise ont enregistré une tectonique cassante jusqu'au Pléistocène inférieur, les dénivellations plus récentes provenant plus probablement de glissements de terrain ou d'avalanches de débris (Lageat *et al.*, 1992). Dans la région de Vichy, on retrouve une charnière tectonique presque symétrique de celle de Brassac, mais seulement sous forme de flexure : la nappe des sables du Bourbonnais datée de 3-2 Ma par Tourenq (1989) et celles des très hautes terrasses plongent rapidement vers le nord, si bien qu'elles sont recoupées par la haute terrasse (Larue, 1979, Le Griel, 1991). Subsidente pendant le Pliocène moyen et supérieur, la cuvette bourbonnaise subit récemment un soulèvement localisé au môle de Moulins (Delfau et Lenôtre, 1992).

## Remerciements

Nous remercions R. Etienne (Laboratoire rhodanien de Géomorphologie) pour la détermination des minéraux lourds, A.M. Mercier (URA 449, Laboratoire des fluorures, Université du Maine) pour l'analyse des minéraux argileux, J.J. Pechon pour la réalisation des granulométries avec le granulomètre HR 850 de l'IUT Chimie du Mans, P. Ausset, Faculté des Sciences, Paris XII, pour les analyses chimiques au MEB, A. de Goër de Hervé et M. Turland pour la lecture critique du manuscrit.

## Références

- 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.
- Cravatte J., Suc J.P. (1981) - Climatic evolution of north-western mediterranean area during pliocene and early pleistocene by pollen analysis and forams of drill Autan I. Chronostratigraphic correlations. *Rev. Pollen and Spores*, 27, 2, 247-257.
- Delfau M., Lenôtre N. (1992) - Mouvements verticaux actuels dans le Massif central et le sud du Bassin Parisien. Comparaisons de nivellements. Rapport BRGM R 35 411 SGN/GEO 92, 35 p.
- Desprairies A. (1963) - Etude sédimentologique de l'Oligocène de la Limagne de Brioude. Thèse 3ème cycle, Paris.
- 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. (1984) - Mouvements tectoniques différentiels et soulèvement d'ensemble du Massif central à partir de la limite mio-pliocène. *Bull. Lab. Rhodanien Géomorph.*, 15/16, 3-13.

- Etienne R., Le Griel A. (1995) - Les trois étapes de l'édification du Massif central en tant que relief de moyenne montagne. Leur relation avec les flux de minéraux lourds du socle dans le bassin versant de l'Allier. *Bull. Lab. Rhodanien Géomorph.*, 33/34, 21-33.
- Fouris M. (1989) - Les sites villafranchiens du Devès et les basaltes de la vallée de l'Allier : application de la méthode K-Ar. Thèse mention Géochronologie, Clermont-Ferrand, 206 p.
- Goër de Hervé A. (de), Simon-Coinçon R., Tempier P. (1988) - Notice explicative de la feuille de Saint-Flour à 1/50 000. Editions BRGM, Orléans, 92 p.
- Goër de Hervé A. (de), Etienne R. (1991) - Le contact Margeride-Cézallier-Cantal, les incidences de la tectonique et du volcanisme sur la sédimentation et l'hydrographie. *Bull. Lab. Rhodanien Géomorph.*, 27/28, 3-26.
- Lageat Y., Goër de Hervé A. (de), Cantagrel J.M. (1992) - Les apports des datations volcaniques à la connaissance de l'évolution géomorphologique. L'exemple de la région de Clermont-Ferrand (Massif central français), p 51-74. In: Actes du colloque A.G.F. : Rythmes morphogéniques en domaine volcanisé, Clermont Ferrand, 270 p.
- 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 Etat Géographie. Clermont II. multigraphiée. 543p. + annexes. 30 cartes et 129 planches
- 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.
- 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. (1991) - 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.
- 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.
- Marguerie D. (1984) - Les formations alluviales de l'Allier dans le gisement préhistorique du Blot (Cerzat, Haute-Loire), éléments de dynamique fluviale. *Bull. AFEQ*, 1-2-3, 73-78.
- Mergoil J., Boivin P., avec la collab. de Blès J.L., Cantagrel J.M., Turland M. (1993) - Le Velay. Son volcanisme et les formations associées. Notice de la carte à 1/100 000. *Géologie de la France*, n° 3, 3-96.
- Parfenoff A., Pomerol C., Tourenq J., (1970) - Les minéraux en grains, méthodes d'étude et détermination. Masson, 578 p.
- Pastre J.F. (1987) - Les formations plio-quaternaires du Bassin de l'Allier et le volcanisme régional (Massif central, France). Thèse Sci., Paris VI, 706 p.
- Raynal J.P. (1984) - Chronologie des basses terrasses de l'Allier en Grande Limagne (Puy-de-Dôme). *Bull. AFEQ*, 1-2-3, 79-84.
- Reffay A. (1992) - Terrasses alluviales et néotectonique : essai de mise au point en Limagne du Sud, p. 75-86. In: Actes du colloque A.G.F. : Rythmes morphogéniques en domaine volcanisé, Clermont-Ferrand, 270 p.
- Thonat A. (1969) - Les basanites noires à l'est du Cézallier et la fossilisation de l'ancien réseau hydrographique de l'Alagnon. *Rev. Sc. Nat. d'Auvergne*, 35, 49-118.
- Tourenq J. (1989) - Les sables et argiles du Bourbonnais : une formation fluvio-lacustre d'âge pliocène supérieur, étude minéralogique, sédimentologique et stratigraphique. Documents BRGM, n° 174, 333 p.
- 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. 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. *Applied Geochemistry*, 8, 177-187.
- Zagwijn W.H. (1960) - Aspects of the Pliocene and Early Pleistocene vegetation in the Netherlands. *Mededel. Geol. Sticht.*, série C-III-1, 5, 1-78.