



HAL
open science

L'évolution des cortèges de minéraux lourds des alluvions néogènes et quaternaires du bassin de l'Allier ; ses rapports avec les grandes étapes de la géodynamique du Massif Central.

Robert Etienne, Alain Le Griel

► **To cite this version:**

Robert Etienne, Alain Le Griel. L'évolution des cortèges de minéraux lourds des alluvions néogènes et quaternaires du bassin de l'Allier ; ses rapports avec les grandes étapes de la géodynamique du Massif Central.. *Geodynamica Acta*, 1997, 10 (2), pp 59-69. halshs-00783868

HAL Id: halshs-00783868

<https://shs.hal.science/halshs-00783868>

Submitted on 1 Feb 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

L'évolution des cortèges de minéraux lourds des alluvions néogènes et quaternaires du bassin de l'Allier; ses rapports avec les grandes étapes de la géodynamique du Massif Central

Evolution of heavy mineral spectra in the neogene and quaternary alluvia of the Allier basin; relations with the main geodynamic phases of the Massif central

Robert ETIENNE* et Alain LE GRIEL*

RÉSUMÉ. – Basé sur les minéraux lourds issus des roches du socle, cet article utilise les résultats de plus de 250 analyses, certaines reprises à divers auteurs, d'autres nouvelles. Il montre dans une première partie que de très nets changements ont marqué la composition minéralogique des alluvions du bassin de l'Allier depuis le milieu du Tertiaire. Chaque génération de dépôts peut être associée à une espèce dominante: la tourmaline l'emporte dans les alluvions miocènes, la staurotite tend à s'imposer au Pliocène, tandis que les nappes quaternaires contiennent une grande quantité de grenats (fig. 2).

La seconde partie s'interroge sur les causes de ces changements. Elle souligne d'abord le rôle joué par l'altération différentielle entre les espèces minérales, soit au cours de la phase d'érosion, soit dans le cadre de l'évolution post-sédimentaire. Elle conclut néanmoins à la succession d'authentiques flux d'origine géographique différente. Une fois pris en compte les correctifs imposés par la vitesse d'altération des minéraux et la teneur exceptionnelle de certaines roches en barylites, on ne peut que constater les rapports étroits de cause à effet qu'il est possible d'établir entre les principales étapes du soulèvement du Massif central par la grande crise tectonique fini-tertiaire et les changements apportés aux spectres minéralogiques des nappes alluviales.

Mots-clés : Paléogéographie, minéraux lourds, flux alluviaux, tectonique, Massif central, bassin de l'Allier.

ABSTRACT. – Heavy mineral contents in the alluvia of the Allier basin have been studied for about twenty years. These studies, which are principally based upon stratigraphy, are especially interested in minerals from volcanic origin which are the basic elements of tephrochronology. On the contrary, the present article is devoted to the information given by the heavy minerals originating from the basement, except for two

species considered less significant: zircon and apatite. On the basis of more than 250 analyses published by various authors, it shows, in a first part, that the composition of the barylites from the basement has changed during Neogene and Quaternary.

Except for some local exceptions and for the sedimentaries deposited during short transition phases, it is possible to distribute the alluvia in three groups:

- The Quaternary deposits are characterized by garnet.
- The Pliocene alluvia are mainly composed of staurolite.
- In the Miocene material, tourmaline prevails.

Thus, three alluvial flows, each marked by a different cardinal species, have followed one another since the early of Neogene in the Allier basin.

After situating the unquestionable or probable sources of these flows, the second part develops the main point which is their explanation. Analysing the consequences of heavy mineral content in rocks –case of the staurolite– and of differential alteration responsible for the disappearance of some weak minerals –e.g. the garnet–, the study comes to the conclusion that there is a close relation between the mineralogical composition of the flows and the important paleogeographical changes caused by tectonics. Land upheaval affected broader and broader areas –first central horsts and then peripheral plateaus–, and as the last Tertiary epeirogenical crisis was increasing triggered river incisions which resulted in abundant garnet delivery.

Key-words : Paleogeography, heavy minerals, alluvial flows, tectonics, Massif Central, Allier basin.

* Laboratoire Rhodanien de Géomorphologie, Université LUMIERE-Lyon II, 69676 Bron Cedex.

INTRODUCTION

Le bassin-versant de l'Allier représente seulement 17 % de l'étendue du Massif central. Sa délimitation par quelques-uns des plus grands horsts fractionnant le socle (monts du Forez, Livradois, Margeride) ainsi que la présence sur ces mêmes limites des principaux édifices volcaniques régionaux (Devès, Cantal, monts Dore et monts Dômes) explique qu'il ait focalisé l'attention des chercheurs. Il offre en effet un terrain idéal pour dater avec une relative précision les grandes étapes de l'évolution structurale et topographique.

Grâce à l'utilisation de méthodes identiques ou complémentaires, géologues et géographes ont d'abord permis à la stratigraphie d'accomplir, dans les vingt dernières années, de remarquables progrès. En offrant la possibilité de classer et de corréliser les dépôts, la connaissance des stocks de minéraux lourds volcaniques contenus par le matériel sableux (Pelletier, 1971; Larue, 1979; Etienne, 1979; Pastre, 1987; Tourenq, 1989) a ainsi joué un rôle décisif dans la mesure où elle a été accompagnée par la mise au point d'une chronologie de plus en plus précise des éruptions (parmi de nombreuses publications: Cantagrel & Baubron, 1983).

Le raisonnement géomorphologique a bénéficié de ces découvertes puisqu'elles lui ont fourni les repères dans le temps qui lui manquaient. Dans un schéma global de la mise en place du relief récemment proposé, les volumes actuels du Massif central paraissent résulter d'une crise tectonique majeure, étalée sur les dix derniers millions d'années et scindée en trois épisodes plus ou moins distincts (Le Griel, 1991 a et b). Le présent article est né de l'idée de R. Etienne de vérifier ces conclusions morphostructurales en utilisant les indications données par les minéraux lourds non dans un but stratigraphique, au contraire de la plupart des publications récentes citées plus haut, mais à des fins paléogéographiques. Ce choix explique que nous nous soyons intéressés de manière exclusive aux minéraux de roches plutoniques et métamorphiques contenus par les échantillons, ceux-ci étant, néanmoins, classés en chronologie relative (tableau et figure 1) d'après leurs barylites d'origine volcanique. Sur la base statistique de plus de 250 analyses (dont certaines sont nouvelles, et d'autres empruntées aux divers auteurs déjà mentionnés), il apparaît que chacune des principales étapes proposées par A. Le Griel a été accompagnée par des changements minéralogiques majeurs dans le contenu des nappes alluviales.

Mise en évidence des principales variations dans les stocks de minéraux lourds

Après un premier examen de l'ensemble des espèces issues des roches du socle, il nous a semblé légitime d'écarter de notre étude tous les minéraux rares ou absents dans une majorité d'échantillons. C'est ainsi qu'ont

été exclus les oxydes de titane, le corindon, la monazite, la barytine et l'épidote.

Pour des raisons différentes, il nous a également paru préférable de ne pas prendre en considération l'apatite, sujette à de très fortes variations et le zircon, omniprésent dans les roches cristallines. Ces espèces étaient d'autant moins significatives pour notre étude que la première est parfois éliminée par le traitement de base subi par les échantillons (passage à HCl) et que la seconde est comptabilisée de différente façon par les chercheurs suivant la fraction granulométrique où ils travaillent (sous-représentation dans les fractions grossières ou sur-représentation dans les fractions fines), sans parler de l'influence de la texture même des sédiments.

Dans le but de privilégier les éléments traceurs les plus significatifs, nous nous sommes tout d'abord intéressés aux espèces du métamorphisme. Devant l'impossibilité d'utiliser la sillimanite (du fait que les analystes cités n'ont pas tous pris en compte la forme "fibrolite", ce qui interdit les comparaisons), nous avons retenu quatre minéraux: le grenat, l'andalousite, la staurotite et le disthène, nous basant en cela sur les recherches du géologue A. Desprairies (1963). Ses travaux, limités au seul bassin oligocène de Brioude et à forte connotation paléogéographique, avaient abouti à d'intéressants résultats. Il manquait toutefois pour nous, compte tenu du changement d'échelle, une espèce surtout représentative du socle granitique. C'est la tourmaline qui s'est imposée en raison de sa répartition particulière dans les dépôts du bassin de l'Allier.

Au total le tableau des 274 échantillons répertoriés prend en compte cinq espèces dont l'identification ne présente aucune difficulté: la tourmaline, le grenat, l'andalousite, la staurotite et le disthène.

Une mise en relation du contenu minéralogique des alluvions avec leur position stratigraphique et géographique révèle d'étroites corrélations. Celles-ci apparaissent sur la figure 2. Nous les commenterons de manière récurrente en remontant le temps et en nous déplaçant, pour chaque génération de dépôt, de l'aval à l'amont.

1 - Les alluvions à grenat du Quaternaire

L'importance du rôle joué par le grenat ressort sans ambiguïté de la courbe proposée par la figure 2 A. Celle-ci associe pourtant alluvions du lit majeur et alluvions anciennes; or ces dernières concernent parfois le matériel de terrasses d'altitude relative élevée qui remanie visiblement des nappes pliocènes au contenu différent (cas, par exemple, de l'échantillon des Barbes, à l'immédiat aval de Vichy).

Les pourcentages de grenat dépassent 80 % pour les sables actuels de l'Allier bourbonnais. Ils sont majoritaires dans les alluvions récentes de tous les cours d'eau pour les 2/3 aval du bassin-versant, à l'exception de la Dore (44 % de grenat contre 53 % de tourmaline). La si-

tuation évolue dans le tiers supérieur du bassin, avec la prépondérance de la staurotite pour la Desges et la Fioule (fig. 1) et celle de la tourmaline dans le bassin de la Seuge. Le haut Allier lui-même conserve une nette domination du grenat jusqu'à Laveyrune, situé à une quinzaine de kilomètres seulement de la source.

Au fur et à mesure que l'on s'intéresse à des alluvions plus anciennes, la règle est à une diminution des teneurs en grenat. Ce phénomène ne s'exerce pas, toutefois, de manière uniforme dans l'espace. La baisse est plus sensible en Bourbonnais qu'en Auvergne: les hauts niveaux quaternaires de la région d'Issoire-Clermont conservent, de manière assez homogène, des teneurs de 60 à 80 %.

2 - Les alluvions à staurotite du Pliocène

Nous venons de voir que la staurotite impose sa marque aux alluvions actuelles de l'Allier sur un secteur très réduit, à savoir une section de quelques kilomètres en amont de Langeac. La situation montrée par la courbe B de la figure 2 en est d'autant plus surprenante; elle souligne que dans les niveaux datés du Pliocène (en particulier ceux du Pliocène supérieur, entre 3,5 et 2,4 MA, dont l'âge est démontré sans discussion possible par la présence des marqueurs du volcanisme acide des monts Dore), le stock de barylites possède une représentation majoritaire de la staurotite. Le rapport grenat-staurotite se trouve inversé, l'unique exception à cette règle concernant les alluvions de la région d'Issoire.

Pour J. Tourenq (1989), dont les travaux soulignent l'importance de la staurotite dans les dépôts du tiers occidental de la cuvette bourbonnaise, l'origine du phénomène est à rechercher dans des apports en provenance de la Sioule. Une lecture attentive de l'évolution des teneurs indique effectivement une hausse assez nette de la staurotite (+20 % environ) au niveau de l'ancienne zone de confluence Sioule-Allier. Elle démontre aussi sans ambiguïté qu'il ne s'agit pas cependant de la principale source de ce minéral puisque, sauf l'exception de la région d'Issoire déjà signalée, la part majoritaire se retrouve, voire s'accroît jusqu'à hauteur des deux grands affluents pourvoyeurs contemporains: la Desges et la Sioule comme l'avait remarqué J. F. Pastre (1987).

3 - Les alluvions à tourmaline du Miocène

Il convient tout d'abord d'insister sur les particularités de l'échantillonnage des dépôts miocènes. La courbe C de la figure 2 est établie sur un nombre beaucoup plus réduit d'analyses alors qu'elle porte sur une durée supérieure: il y a donc dispersion à la fois dans l'espace et dans le temps. Nous avons, en effet, réuni sur ce diagramme des sédiments alluviaux d'âge très variable puisque, parmi les niveaux datés de manière fiable, les plus récents recouverts par les basanites sombres de l'Alagnon sont de la charnière mio-pliocène (Cham-

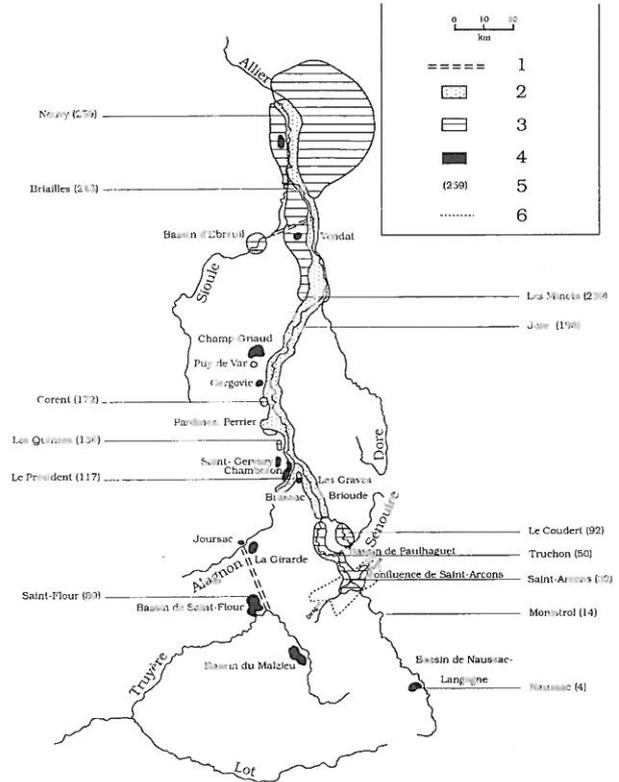


Fig. 1. - Carte de localisation. 1: Paléocours de la Truyère, 2: alluvions à grenat quaternaires, 3: alluvions à staurotite pliocènes, 4: alluvions à tourmaline miocènes, 5: numéro des échantillons sur le tableau I, 6: limite d'affleurement des micaschistes à staurotite.

Fig. 1. - Location map. 1: Paleocourse of the Truyère, 2: Quaternary alluvia with garnet, 3: Pliocene alluvia with staurotite, 4: Miocene alluvia with tourmaline, 5: Samples' number on tab. I, 6: limit of micaschists with staurotite.

bezou et St-Gervazy), tandis que le plus ancien remonte au Burdigalien (Gergovie).

La deuxième particularité de ce schéma est de présenter un bassin-versant de l'Allier modifié, dans la mesure où il est agrandi par la présence de la haute Truyère. On doit en effet rappeler qu'après les hypothèses défendues successivement par P. Glangeaud (1922), H. Baulig (1928), R. Rey (1973) et A. Le Griel (1991 a et b), la preuve minéralogique de l'existence d'un tel dispositif hydrographique a été apportée par R. Etienne (De Goer & Etienne, 1991). Il nous a ainsi semblé légitime de faire de la paléo-Truyère (échantillons 80 à 84 du tableau I et amont de la figure 2 C) l'axe principal du bassin miocène, sinon en terme de superficie (une projection dans le passé de la taille actuelle du bassin de la haute Truyère conduit à envisager un rapport 40 %/60 % au profit de l'Allier), au moins en terme de débit (exposition à l'Ouest et altitude relative beaucoup plus forte pour le secteur Truyère).

Tableau I (de droite à gauche): - Minéraux lourds: D, disthène; S, staurotite; A, andalousite; G, grenat; T, tourmaline. - Noms des analystes: RE, Robert Etienne; HP, Henri Pelletier (in thèse de J. P. Larue); JP, Jean-François Pastre; JT, Josette Tourenq. Les numéros d'échantillons sont ceux des thèses de J. F. Pastre et J. P. Larue. - Altitude relative des prélèvements. - La nature et la position du matériel analysé sont représentées par quatre signes: S, sables; C, cailloux; S/C, sables sous coulée; C/C, cailloux sous coulée. - Age des échantillons: A, Actuel; Q, Quaternaire; P, Pliocène; M, Miocène.

Table I (from right to left) - Heavy minerals: D, kyanite; S, Staurolite; A, Andalusite; G, garnet; T, tourmaline. - Analysts' names: RE, Robert Etienne; HP, Henri Pelletier (in thesis of J. P. Larue); JP, Jean-François Pastre; JT, Josette Tourenq. Samples' numbers are those of J. F. Pastre and J. P. Larue thesis. - Relative altitude of samples. - Nature and particular position of samples: S, sands; C, pebbles; S/C, sands under lava-flow; C/C, Coarse alluvia under lava-flow. - Samples' age: A, Actual; Q, Quaternary; P, Pliocene; M, Miocene.

Amorç.	Age	s;stc	alt.rel.	Analyse	T	G	A	S	D	Amorç.	Age	s;stc	alt.rel.	Analyse	T	G	A	S	D
1 A. à Laveyrune	A	s	0m	FE	41	41	16	2		69 St Ilpize(plage)	P	c	30	FE	6	40	3	51	
2 A. à Langogne	A	s	0	FE	9	81	9			70 Jazindes(plage)	P	c	30	FE	4	60	7	28	
3 Naussac La P.	M	s	45	FE	57		14	24	4	71 La Roche (*)	P	c	30	JP(Adn46)	9	30	18	42	
4 Naussac Les P	M	c	150	FE	61	1	7	28	2	72 Daule (*)	P	c	30	JP(Adn5)	3	58	3	34	2
5 Naussac Réal.	M	c	80	FE	55	5	5	31	3	73 Chnntel	P	c/c	6	JP(Adn2)	7	43	10	38	1
6 T. Beaugerard	Q	c	100	FE	22	7	69	2		74 "	P	c/c	20	JP(Adn3)	4	67	6	20	3
7 Joncherette	Q	c/c	70	FE	10	83	6			75 Tapon,Le Chau	P	s/c	70	JP(Adn49)	8	26	5	60	1
8 A. à Alleyras	A	s	0	FE	23	62	13	1		76 " all. à cailloux	P	c	50	HP(As28')	8	30	29	26	6
9 Alleyras	P	s	50	FE	27	34	34	5		77 " limons	P	s	25	HP(As28'')	30	12	24	33	
10 "	P	c	50	FE	19	50	30			78 " argiles	P	s	10	HP(As28''')	21	12	18	48	1
11 Montfaucon	P	c/c	50	JP(Ads22)	9	65	26			79 Doulon	A	s	0	FE	5	87	1	3	4
12 "	P	s	50	JP(Ads23)	15	70	15			80 St Flour	M	s/c	75	FE	94	1	3	2	
13 Dreyssaires	P	s	45	JP(Ads30)	36	7	56			82 Le Vialard	M	s/c	100	FE	91	4	4	1	
14 Monistrol	Q	c/c	?	JP(Ads17)	17	70	13			83 Les Bourisises	M	s/c	168	FE	95		5		
15 "	Q	s	?	JP(Ads18)	44	50	5			84 La Girarde	M	s/c	290	FE	85	8	5	2	
16 Ance du sud	A	s	0	FE	17	83				85 La Gamassoune	P	s	45	FE	22	13	6	59	
17 A. à Prades	A	s	0	FE	24	50	25			86 "	P	s	45	JP(Pau3-4)	23		5	72	
18 Pont de Prades	Q	s/c	10	FE	42	47	3		7	87 "	P	s	45	JP(Pau5)	1	92	3	4	
19 Seuge	A	s	0	FE	50	7	2	39	1	88 Oussoux	P	s/c	50	FE	20	21	10	49	
20 St Julien des C	Q	s	5	JP(Ads13)	37	44	18	1		89 "	P	s/c	50	JP(Pau8-10)	19	19	8	54	
21 Véreuge				JP(Ads9)	28	52	3	17		90 La Brequeille	P	s/c	40	JP(Pau27-29)	4	40	24	32	
22 "				JP(Ads10)		70	1	29		91 "	P	s/c	40	FE	15	31	11	42	
23 "				JP(Ads11)	8	48	10	34		92 Le Coudert	P	s	20	FE	12	37	14	37	
24 "				JP(Ads12)	8	55	20	17		93 Puits de Bannat	P	s		FE	12	31	12	44	
25 Desges	A	s	0	FE	2	31	4	61	1	94 Ste Marguerite	P	s/c	15	JP(Pau12-13)	12	16	19	53	
26 Fiole à St Arc.	A	s	0	FE	35	17	7	41		95 Senouire à Paul.	A	s	0	FE	6	59	16	18	
27 Tavernat	P	c/c	30	JP(Ads26)	5	12	5	75	2	96 Granat sableux	P	s	0	JP(Alb 15)	22	17	1	50	6
28 Limons St Arc.	P	c/c	15	FE	5	35	2	57		97 " gréseux	P	s	0	FE	18	65		17	
29 "	P	s	15	FE	5	22	5	67		98 " rive gauche	P	s	0	JP(Alb 17-20)	80	9	1	9	
30 "	P	s/c	15	JP(Ads7)	9	30	5	54		99 " sables roux sup.	P	s	0	JP(Alb 16)	88	2	2	7	
31 "	P	s/c	15	JP(Ads8)	7	13	5	74		100 Chaires non volc.	P	s	0	FE	16	45	3	35	1
32 "	P	s/c	15	JP(AS37)	16	20	20	43		101 Céroux	A	s	0	FE	5	93	2		
33 Galets St Arc.	P	c/c	15	FE	2	44	4	50		102 Courgoul	A	s	0	FE	1	94	4		1
34 "	P	c/c	15	JP(AS37')	23	48	8	20		103 Allier à Brioude	A	s	0	FE	8	68	4	18	2
35 All. jaunes **	P	c/c	7	FE	7	23	9	60		104 Fontannes c.460	Q	c	30	FE	4	76	4	14	2
36 La Cambuse	P	c/c	35	FE	5	40	10	44		105 " voie ferrée	O	c	32	FE	4	52	2	41	*
37 "	P	c/c	35	JP(Ads3)	4	22	10	62	1	106 " "	O	c	30	HP(AS26)	6	61	2	30	1
38 La Cambuse	P	c/c	35	JP(Ads5)	3	6	2	88	1	107 Vieille Brioude	O	c	30	JP(AS05-06)	*	56	5	36	2
39 Chanteuges	P	s/c	45	FE	16	49	8	27		108 Lamothe	O	c/c	85	FE	8	68	2	21	1
40 "	P	c/c	45	FE	7	43	4	45		109 Aérodr. Brioude	O	c	50	JP(Alb22-23)	2	48	20	29	1
41 "	P	c/c		JP(Ads1)	4	60	19	17		110 "	O	c	50	FE	14	49	14	23	
42 "	P	c/c	40	JP(Ads2)	2	45	7	45		111 "	O	c	50	HP(AS 22)	6	50	9	35	
43 Perilles Mt P.	P	s	40	FE	10	24	7	57	2	112 Largellier	O	c	33	JP(Alb 01)	5	53	4	38	
44 "	P	s	40	JP(Ads28)	2	17	9	71	1	113 N. Brioude	O	s	10	JP(Alb 04)	77	1	22	*	
45 A. à Langeac	Q	s	0	FE	4	50	3	42		114 Le Montail	O	s	14	HP(AS 21)	9	59	4	27	1
46 f. N. Langeac	Q	s	22	FE	1	29	4	65		115 Auzon Lage	A	s	0	FE	12	85	5		*
47 T. E. Langeac	Q	s	22	HP(AS30)	12	33	10	44		116 Chambezon	M	c/c	230	FE	53	18	4	23	1
48 "	P	s	22	JP(Ads25)	1	48	5	44	2	117 Le Président	M	c	100	FE	40	41	2	12	5
49 Truchon	P	s/c	6	FE	12	48	7	31	1	118 "	M	s	100	FE	51	30	7	12	1
50 "	P	c/c	12	FE	7	57	2	33		119 Bargoides(bulle)	M	s	80	FE	70	22	1	6	1
51 "	P	c/c	8	JP(Adn32)	2	76	1	21		120 Frugères(replat)	M	s	60	FE	47	39	3	10	*
52 " terrasse	P	c	10	FE	7	38	4	49	1	121 Le Concasseur	P	s/c	100	FE	29	53	4	12	2
53 Le Fournet	P	s/c	20	JP(Adn50)	2	23	3	71		122 "	P	s/c	100	JP(Ala 01)	9	43	38	10	
54 "	P	c/c	20	JP(Adn51)		90	2	8		123 NO Lempdes	O	s	60	FE	7	67	20	6	
55 Le Chambon	P	c	20	JP(Adn31)	1	52	7	40		124 Alagnon Lempdes	A	s	0	FE	3	94	1	1	1
56 Peyre	P	c/c	25	JP(Adn30)	2	47	11	39	1	125 Vezezoux	Q	s	60	FE	6	71	4	18	2
57 "	P	c/c	25	FE	2	59	16	23		126 La Comballe(Ba.)	P	s	80	FE	30	22	14	32	2
58 Cronce	A	s	0	FE	1	87	1	10		127 " (Les Graves)	P	s	70	FE	16	24	15	44	
59 Chilhac	P	c/c	77	FE	7	74	4	14		128 "	P	s	70	JP(Alb9-12)	23	16	13	46	2
60 " Le Terret	P	c/c	70	FE	12	48	7	31		129 Charbonnier(c468)	P	s	78	FE	31	10	21	36	2
61 " L'Achaud	P	s/c	24	JP(Adn22)		60	11	29		130 Beaulieu (c488)	O	c	98	JP(Alb 35)	1	73	6	14	6
62 Lavoûre-C.est	P	c/c	32	JP(Adn20)	3	36	15	45	1	131 "	O	c	98	FE	9	66	13	9	2
63 "	P	c/c	32	FE	16	20	10	54		132 " nord	O	c	50	FE	4	90	3	3	
64 Blassac Les B	P	c/c	35	JP(A13-43)	1	50	6	43		133 St Gerveyz est	M	s/c	245	FE	67	17	4	9	3
65 " Les Battants	P	c/c	35	JP(A17-18)	4	38	4	53	1	134 Couze d'Ardes	A	s	0	FE	1	92	2	2	3
66 " La Girondie	P	c/c	35	JP(A6-8)	2	37	7	52	1	135 Le Broc	P	c/c	150	FE	18	35	6	38	3
67 Laboué	P	s/c	26	FE	18	41	6	34	1	136 Les Quinzas	P	s/c	150	FE	32	28	6	25	8
68 "	P	s/c	26m	FE	3	57		39	1	137 "	P	s/c	150	JP(Alb 26)	2	41	18	36	2

L'ÉVOLUTION DES CORTÈGES DE MINÉRAUX LOURDS

Tableau I (suite).
Table I.

	Age	s:c	alt.rel.	Analyste	T	G	A	S	D		Age	s:c	alt.rel.	Analyste	T	G	A	S	D			
138	Les Quinzes	P	c/c	150	JP(All 25)	2	69	11	15	3	206	Pont Astier	O	s	20	JP(Dor10)	3	3	88	4	1	
139	Couze d'Issoire	A	s	0	FE	1	93	3		2	207	Dorat	O	s	30	JP(Dor01)	14	34	29	22		
140	Eau-mère	A	s	0	FE	20	71	3	6		208	Dore(Charnat)	A	s	0	HP	53	44		3		
141	Pardines La Chaix	P	s/c	210	JP(Per 63)	24	44	10	22		209	Nandàgre	O	c	109	HP	42	42	12		4	
142	Boissac	P	c/c	210	FE	21	35	6	37	1	210	Frigaudanches	O	c	34	HP	19	70	10			
143	Roca Neyra	P	s/c	175	JP(Per 3)	*	87	*	11	2	211	Lhéral	O	c	120	FE	11	54	15	12	8	
144	Roca Neyra	P	c/c	175m	FE	23	36	12	26	2	212	Les Taureaux	O	c	85	HP	30	6	22	36	6	
145	Parrier(decharge)	P	s	155	FE	13	48	19	19		213	Allier à Belleville	A	c	0	FE	5	85	2	6	2	
146	Les Elouaires(som.)	P	c/c	125	FE	8	72	2	18		214	Les Barbès	O	c	42	HP(Am70)	8	40	20	32		
147	"	P	s	124	FE	2	70	4	24		215	Marcenat	O	c	23	FE	10	47	16	21	5	
148	"	P	s	123	FE	8	56	3	29	4	216	Le Pérou	O	c	46	FE	6	69	5	13	6	
149	"	P	s	122	FE	7	52	2	33	5	217	Varennes	O	c	42	FE	2	74	6	18		
150	" (base)	P	c	120	FE	4	72	1	22	1	218	Allier à Varennes	A	s	0	FE	5	79	1	11	4	
151	Les Etouaires(som.)	P	c/c	125	JP(Per14)	3	61	6	27	3	219	Sioule à Bel Air	A	0	FE	4	82		13			
152	"	P	s	123	JP(Per12,13)		76	*	24		220	Bel Air terrasse	O	40	FE	5	62	6	23	3		
153	"	P	s	122	JP(Per16)	4	44	4	48		221	Arson (Ebreuil)	O	35	FE	2	49	1	48			
154	" (base)	P	c	120	JP(Per10)		77	8	14		222	Vendat bourg	M	s	1	HP(Am61)	59	1	4	36		
155	Le Coudert Perrier	P	s/c	105	FE	17	35	13	31	4	223	Bois Caché	M	s	1	HP(Am60)	40		11	44	5	
156	"	P	c	105	FE	13	45	7	33	2	224	St Pont	M	s	1	HP(Am61)	63	2	13	20	2	
157	La Belle Estrenne	P	c/c	115	FE	2	79		18		225	Vendat SW	M	1	JT	48		19	37	8		
158	"	P	c	115	JP(Per39,40)		74	*	24	2	226	"	M	2	JT	38	2	17	39	5		
159	All. intra Lahariques	P	C	165	FE	21	46	14	14	4	227	"	M	3	JT	39	*	15	42	4		
160	Creux de Peyrolles	O	s/c	100	JP(Per72-81)	13	59	11	15	2	228	Bois des Souches	M	1	JT	48	*	18	28	6		
161	Malbatu	O	s	100	FE	2	84	1	11	1	229	"	M	2	JT	51	2	11	35	1		
162	"	O	s	100	JP(All 12)	6	70	8	14	2	230	"	M	3	JT	58		16	24	2		
163	Chambon	O	c	70	JP(All 42)	*	89	3	5	2	231	Vendat NW	M	1	JT	40	*	14	41	5		
164	Croix St Antoine	O	c	60	FE	3	89	3	2	2	232	"	M	2	JT	42	2	10	41	5		
165	"	O	c	60	JP(All 07,46)	*	85	3	11	1	233	"	M	3	JT	60		11	27	2		
166	Caserne d'Issoire	O	c	45	JP(All 01)		74	1	24	1	234	St Didier Marcenat	M	1	JT	49	5	10	30	6		
167	Couze Champeix	A	s	0	FE	25	66	4	4		235	"	M	2	JT	38	3	13	38	7		
168	Montpeyroux	O	c	94	HP(AS 9)	8	46	13	33		236	St Didier Lev Baux	M	1	JT	47		17	28	8		
169	Champ Redon	O	c	26	HP(AS 14)	3	87		8	2	237	"	M	2	JT	43	4	25	26	2		
170	Pont de Longues S	O	c	14	HP	17	60	21	2		238	Les Minots	P	1	HP(Am79)	31		10	48	12		
171	" N	O	c	12	HP(As 16)	3	86	2	6	3	239	Le Jaunet	P	1	HP(Am97)	39	2	12	46			
172	Corant (en place)	P	c/c	180	FE	1	79	1	15	4	240	Les Badets	P	1	HP(Am42)	17		22	62			
173	" (glissé)	P	c	100	HP	16	49	22	11	2	241	Les Ruys	P	1	HP(Am39)	24	3	6	53	14		
174	" (glissé)	P	c	100	JP(Abu 08)	1	89	1	8	1	242	Briailles S	P	1	FE	14	5	8	65	8		
175	Veyre-Monne	A	s	0	FE	14	52	18	16		243	" centre	P	1	FE	13		16	66	5		
176	Puy de Tobize	P	s	160	FE	37	26	7	28	2	244	" N	P	1	FE	29	3	11	54	3		
177	Martres de Veyre	O	c	35	JP(Abu 21)	1	85		13	1	245	Montigny	P	1	FE	14	4	70	12			
178	Gondoles S	O	c	17	HP	24	68	4		4	246	La Grillère	P	1	FE	15		10	65	10		
179	Auzon	A	s	0	FE	11	89				247	Randan	P	1	JT	31	2	10	53	3		
180	Gergovie S(monu.)	M	s/c	388	FE	47	14	19	17	3	248	Monétay	P	1	JT	32	2	7	54	5		
181	Pérignat	O	c	48	HP	25	61	5	5	4	249	Mouzières	P	1	FE	28	19	10	38	5		
182	Lempdes	O	c	70	HP	17	76	4	3		250	Les Cailles	P	1	FE	23	3	9	56	9		
183	Pont-du-château	O	c	40	JP	66	23	8	3		251	Bourgognons	P	1	FE	36	6	14	37	7		
184	Beauregard	O	c	70	JP	72	6	17	16		252	Les Picandots	P	1	FE	13	25	12	43	6		
185	Puy de Var -1	P	s/c	235	FE	30	1	15	50	4	253	Gouise	P	1	JP(Bou11)	18	3	16	48	15		
186	" -1,5	P	s		FE	23		12	55	10	254	Les Vayots	P	1	JP(Bou10)	20	2	13	53	12		
187	" -1,8	P	s		FE	32	4	13	46	5	255	Toulon les R.	P	1	JP(Bou09)	19	1	35	39	6		
188	" -2,5	P	s		FE	33	1	8	56	2	256	Chemilly Sud	P	1	JP(Bou08)	18		10	62	10		
189	" -5	P	s		FE	25	30	12	30	3	257	Certilly	P	1	FE	19	10	10	53	7		
190	" -10	P	s		FE	26	36	9	26	3	258	Neuvy	P	1	HP(Am23)	14	4	23	53	5		
191	" -15	P	s	220	FE	29	48	9	14		259	Raney	P	1	HP(Am26)	30	3	15	47	4		
192	Champ-Griaud -5	M	s	187	FE	40	9	5	44	1	260	La Chaume T.	P	1	HP(Am20)	28		16	50	6		
193	" -7,5	M	s		FE	47	7	17	26	2	261	Pouzy Mézangis	P	1	HP(Am12)	25	1	32	35	7		
194	" -12	M	s		FE	53	2	11	31	3	262	Givréuil N.	P	1	JT	23	2	8	61	6		
195	" -14	M	s		FE	34	4	32	29	1	263	Bois de Leyde	P	1	JT	28	3	14	49	6		
196	" -19	M	s	167	FE	37	24	18	14	7	264	"	P	2	JT	26		26	39	9		
197	St Pardoux	O	c	30	JP(Agl32)	4	71	14	7	4	265	"	P	3	JT	28	1	17	51	3		
198	Joze Les Martres	O	c	25	JP(Agl48)		89	3	7	1	266	"	P	4	JT	29	1	22	43	5		
199	Culhat	O	c	25	JP(Agl9,38)		70	5	21	4	267	Les Barreaux	P	1	JT	31	3	16	46	4		
200	Bulhon	O	c	30	JP(Agl14)	4	65	12	15	4	268	"	P	2	JT	28	1	14	52	5		
201	Crevant	O	c	35	JP(Agl13)		81		16	3	269	"	P	3	JT	34		25	40	1		
202	La Morgue (ter.)	O	s	10	JP(Mor123)	44	15	23	16	2	270	"	P	4	JT	38	2	25	31	4		
203	Pont-de-Dore	O	s	20m	HP	65	31	2	*	*	271	Soupaize	P	1	FE	21	2	8	60	9		
204	Noalhat	O	s	40	HP	71	29				272	Givréuil	P	1	FE	30	8	6	47	9		
205	Peschadoire	O	s	50	JP(Dor02)	2		89	7	2	273	GIVREUIL(MN4)	M	s	2	FE	42	7	14	31	6	

En dépit de son caractère composite, la courbe C de la figure 2 est celle qui présente le plus d'homogénéité. On y observe une domination de la tourmaline qui s'accroît presque régulièrement vers l'amont –seul le secteur de la confluence entre la Truyère-Alagnon et l'Allier, où

se regroupent les échantillons du Miocène le plus tardif, atténuée cette tendance—. En dehors du rôle secondaire joué par le grenat (celui-ci apparaît chaque fois que les alluvions reposent sur des sédiments paléogènes, auxquels ils ont pu être prélevés par des phénomènes de re-

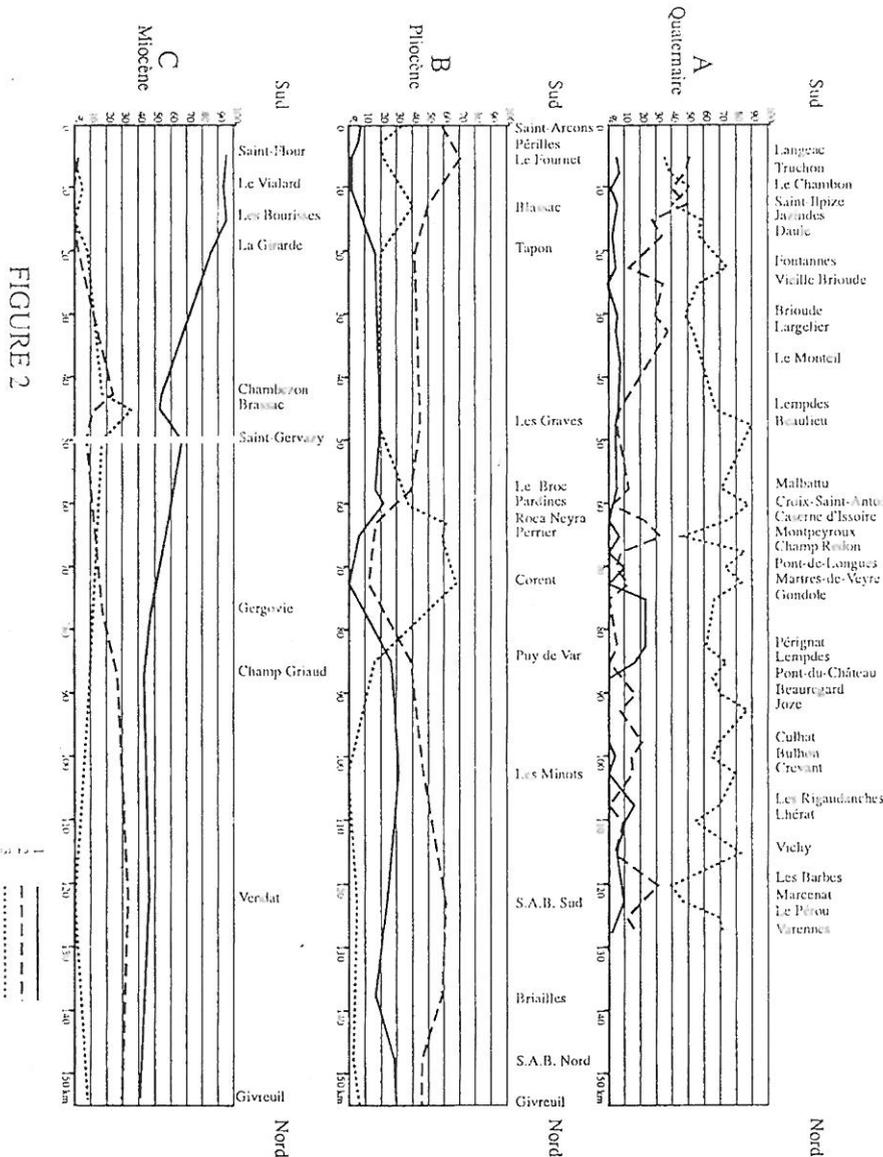


Fig. 2. - Les flux minéraux néogènes et quaternaires. 1 : tourmaline, 2 : staurolite, 3 : grenat. Les valeurs des trois espèces clés sont exprimées en pourcentages non cumulés pour faire apparaître les flux.

Fig. 2. - The Neogene and Quaternary mineral flows. 1: tourmaline, 2: staurolite, 3: garnet. The values of three main species are expressed in non cumulated percentage to indicate flows.

manièrement superficiel), il faut remarquer une participation de plus en plus importante de la staurolite vers l'aval, en association d'ailleurs avec l'andalousite et le disthène (qui n'apparaissent pas sur la figure 2, mais dont la représentation est indiquée pour le tableau I).

En conclusion, sur les cinq espèces étudiées, deux jouent un rôle annexe, trois occupent tour à tour la première place. Une analyse du contenu minéralogique des nappes alluviales, dans leur état actuel, montre donc de notables variations des spectres d'une génération de dépôt à l'autre. Il importe maintenant de réfléchir sur ce fait et d'envisager ses causes.

II Les causes des variations des spectres minéralogiques

Avec ces remarques, nous quittons le domaine des données de terrain pour entrer dans celui des interprétations. Deux hypothèses peuvent rendre compte de la présente répartition des espèces caractéristiques du socle dans les dépôts.

- Soit celle-ci résulte de la succession d'authentiques flux dont la composition différente reflète des changements majeurs dans la topographie des bassins versants.



Fig. 3. – Carte des déformations tectoniques (selon Le Griel, 1991 a). 1: Limites du Massif central, secteurs soulevés par la tectonique; 2 - au Miocène inférieur et moyen, 3 - au Miocène supérieur, 4 - au Pliocène, 5 - au Quaternaire. En blanc, secteurs de moindre soulèvement, parfois subsidents.

Fig. 3. – Map of tectonic deformations (according to Le Griel, 1991 a). 1: Massif Central boundaries, spaces lifted by tectonics; 2 - during lower and middle Miocene, 3 - during upper Miocene, 4 - during Pliocene, 5 - during Quaternary. In white, spaces of smaller uplift, sometimes subsident.

– Soit des phénomènes d'altération, contemporains ou postérieurs aux dépôts des nappes, ont pu modifier leur contenu initial en faisant disparaître les espèces les plus fragiles.

Dans la mesure où l'épaisseur des accumulations alluviales est souvent inférieure à la dizaine de mètres et parce que la perméabilité du sédiment favorise l'existence d'une nappe phréatique, il est impératif d'envisager d'abord la seconde alternative.

1 - Les pondérations imposées par l'altération

Si nul ne conteste la bonne résistance de deux des espèces clés reconnues: la tourmaline et la staurotide, le cas du grenat almandin doit être évoqué ici. Dans toutes les échelles de résistance proposées (comme celle d'A. C. Morton, 1984), le grenat vient assez loin en dernière position parmi les cinq minéraux retenus pour notre étude.

a - Les effets incontestables de l'altération post-sédimentaire

J. F. Pastre (1986 et 1987) a souligné la grande vulnérabilité du grenat à l'altération "in situ" dans des conditions d'hydrolyse forte. Les nombreuses figures de corrosion qu'il a observées sur des grains relictuels prouvent que ceux-ci n'ont pas été recyclés mais altérés au sein même du dépôt. C'est dans le but d'opérer une première évaluation des risques d'altération que le tableau I apporte des renseignements sommaires sur la texture des nappes (le symbole "S" pour sable indique une granulométrie fine, "C" pour cailloux, une plus grande perméabilité) et sur leur éventuel scellement par une coulée basaltique. Ce dernier critère a souvent été considéré par les chercheurs comme garant d'une bonne conservation (Pierre, 1990). Pourtant l'étanchéité d'une mince nappe de lave, elle-même incapable de s'opposer à l'infiltration des eaux de surface, ne doit pas être exagérée. Face aux problèmes posés par l'altération différentielle diagenétique, une étude au cas par cas, destinée à réévaluer les rapports réels entre les espèces clés lors de la sédimentation, doit donc être esquissée.

Il est évidemment inutile d'examiner la plus récente génération de dépôts puisque le grenat, espèce réputée la plus fragile, a dominé nettement toutes les autres au cours du Quaternaire. La présente réflexion portera sur la participation initiale du grenat aux nappes miocènes et pliocènes.

Une remise en cause du rapport tourmaline-grenat pour les alluvions les plus anciennes paraît difficile. On dispose, en effet, de deux gisements burdigaliens qui semblent avoir été assez bien protégés contre l'altération.

– Celui de Gergovie (n° 180 du tableau) se situe dans un contexte marneux peu hydrolysant; de plus il est recouvert par une épaisse couche de basalte. Le taux de tourmaline (47 %) domine nettement celui du grenat (14 %) et ces valeurs sont sans doute proches de celles d'origine.

– Le second dépôt est celui de Champ-Griaud, au Nord de Clermont-Ferrand (n° 192 à 196). Le taux de tourmaline y atteint en moyenne 43 %, alors que celui du grenat est de 9 %, soit 5 points de moins qu'à Gergovie. Une aire d'alimentation différente peut rendre compte de l'écart, tout comme l'intervention de la diagenèse: le ph plus faible des eaux de percolation dans un matériel non carbonaté ayant réduit le stock initial. Ce

sont d'ailleurs les niveaux supérieurs d'une série épaisse d'une vingtaine de mètres, ou les passées grossières qui présentent les pourcentages de grenat les plus bas.

Le problème majeur est posé par les alluvions du Pliocène. Certes le nombre élevé des échantillons où la staurotide domine permet de caractériser les nappes de la période par ce minéral mais, dans le secteur du bassin moyen de l'Allier, à la latitude d'Issoire-Perrier, la figure 2 B montre une brisure qui exprime soit un équilibre relatif entre la staurotide et le grenat (alluvions du Pliocène inférieur), soit une domination du grenat (Pliocène plus récent).

La bonne conservation du grenat dans les alluvions de la toposéquence plio-quaternaire de Perrier s'explique selon J. F. Pastre (communication personnelle) par l'étanchéité des épiciastites montdorienne qui ont recouvert l'ensemble des alluvions et des coulées associées. Cet auteur a souligné à juste titre la différence extrême entre la bonne conservation des grenats pliocènes dans ce secteur et le stade relictuel qui les caractérise dans les sables du Bourbonnais (1986, 1987). Il est donc établi que les dépôts pliocènes ont été plus marqués par la présence du grenat que ne l'indiquent les chiffres actuels.

D'une manière plus générale, il convient maintenant de poser la question du rôle des conditions paléoclimatiques dans la progression ou la régression du grenat selon les époques.

b - Le rôle des facteurs paléoclimatiques et de l'altération différentielle dans la fourniture des minéraux:

En première approximation, on pourrait estimer que le grenat a été systématiquement sous-représenté par rapport à la tourmaline ou à la staurotide lorsque les mécanismes de la pédogenèse et les processus de l'altération chimique l'emportaient sur la morphogenèse et une usure plus mécanique du relief. Dans cette idée on est tenté de faire référence à des modèles bioclimatiques de la zone chaude actuelle où le lessivage et la corrosion sont intenses. Une meilleure connaissance des paléomilieus de la deuxième partie du Tertiaire incite à la prudence (Le Griel, 1991). La preuve des limites d'une telle hypothèse apparaît d'ailleurs avec clarté sur les courbes de la figure 2: les pourcentages de grenat recensés aujourd'hui dans les spectres d'alluvions miocènes ou pliocènes dépassent pour certains secteurs 20 à 30 %.

L'altération initiale de la roche mère comme l'évolution postérieure des altérites transportées vers l'aval n'ont pas provoqué une disparition massive des grenats. Un tel constat paraît en accord avec les caractères fersiallitiques à bisiallitiques des paléosols miocènes et pliocènes du Massif central étudiés par G. Pierre (1990).

Bien entendu, l'augmentation des pourcentages de grenats au Quaternaire doit être considérée en partie comme une conséquence de l'évolution paléoclimatique. La baisse globale des températures et les crises

froides ont d'une part favorisé les processus mécaniques, d'autre part réduit les effets de l'hydrolyse: les minéraux abondants mais fragiles l'ont ainsi emporté sur les minéraux plus rares mais résistants. Une bonne illustration de ce phénomène est fournie par les alluvions de la toposéquence de Perrier-Issoire (Tab. 1, échantillons 141 à 166), dont les niveaux quaternaires possèdent des rapports staurotide/grenat inférieurs à ceux observés dans le Pliocène.

Pour conclure sur ce point, nous pensons devoir souligner le rôle joué par l'altération différentielle dans les teneurs actuelles en minéraux. Il n'explique pas cependant l'intégralité de l'écart entre la représentation du grenat au Miocène et au Quaternaire. On doit en effet remarquer que si les stocks de grenats augmentent d'une génération de dépôts à l'autre sur la figure 2, la courbe du Pliocène présente elle-même une situation très contrastée. A l'amont, les pourcentages se rapprochent de ceux du Quaternaire, mais à l'aval, ils restent très semblables aux chiffres du Miocène. Cette observation renforce l'hypothèse d'une conjonction de causes pour rendre compte de l'importance prise par le grenat. Pour nous, la domination successive des trois espèces a bien coïncidé avec l'arrivée de flux. Ceux-ci ont été engendrés par des changements paléogéographiques majeurs.

2 - L'organisation des " flux "

Il s'agira ici moins de situer l'origine géographique des différents flux, qui ressort presque directement des figures déjà observées, que de comprendre les raisons de leur évolution spatio-temporelle. Il est clair qu'il n'y a pas une concordance simple et directe entre les surfaces d'affleurement des différentes roches pourvoyeuses de minéraux et l'importance que ces minéraux ont tour à tour occupée dans les nappes alluviales.

a - Les sources des minéraux

L'abondance du grenat dans les alluvions quaternaires s'explique facilement: il s'agit de l'espèce la plus fréquente dans les roches du socle parmi les trois étudiées. On la rencontre aussi bien dans les formations métamorphiques que dans les séries magmatiques de profondeur: granites calco-alcalins ou leucogranites. Aucun des affluents de l'Allier ne comporte de ce fait des alluvions dépourvues de grenat. C'est donc plutôt l'absence ou la modeste représentation de ce minéral dans les dépôts pliocènes ou miocènes qui mérite, on l'a vu, de retenir l'attention.

L'origine de la tourmaline du flux le plus ancien paraît aussi évidente. L'évolution régulière de la courbe, en dehors, nous l'avons dit, des échantillons du Miocène terminal situé à proximité de l'ancienne confluence Truyère-Alagnon-Allier, indique sa provenance depuis les parties les plus hautes du bassin-versant. Il faut placer son origine dans les leucogranites associés aux monzogranites porphyroïdes de la Margeride, en accord avec

les observations de J. P. Couturié (1977). En comparant les fournitures de tourmaline sur les trois courbes de la figure 2, il est facile de mesurer la différence d'importance entre la source margeridienne et les sources "annexes": plateau des Dômes (pointe entre les kilomètres 70 et 90 sur 2 A et 2 B) et plateau du Livradois par l'intermédiaire de la Dore (pointe entre les 100^e et 110^e kilomètres). La capture de la haute Truyère par un affluent du Lot a donc amputé le bassin-versant de l'Allier de sa principale zone d'alimentation en tourmaline. Cet événement est contemporain de la fin de l'épanchement du basalte des planèzes cantaliennes entre 4,5 et 4 Ma (De Goër & Etienne, 1991). La provenance de la staurotide est plus complexe. Un examen parallèle des courbes des flux miocène et pliocène est révélateur à ce sujet. Au Miocène, des apports minoritaires mais malgré tout conséquents, ont eu une origine latérale. Ce phénomène a moins d'intérêt en Petite Limagne, où il est conjoncturel, qu'au Nord de la Grande Limagne, où les apports sont venus des plateaux de la Sioule qui devaient alors très légèrement dominer dans la topographie (situation en limite du bassin-versant). Au Pliocène, l'essentiel du stock a été alimenté par l'amont. Il paraît net, au vu de la figure 2 B, qu'il faut placer les micaschistes à staurotide de l'Allier supérieur (Marchand *et al.*, 1989) à l'origine de l'important flux axial qui s'est imposé tout le long du cours, à l'exception de la zone de confluence avec les Couzes, déjà pourvoyeuses de grenat à cette époque.

Il importe de comprendre maintenant comment des matériaux prélevés sur une surface d'affleurement réduite ont pu marquer de leur empreinte l'ensemble du bassin-versant.

b - Le rôle de la teneur de la roche en minéraux lourds; le cas des micaschistes à staurotide

Entre Véreuges, au Sud de Prades et St-Arcons (fig. 1), sur une distance de 5 km seulement, le cours de l'Allier traverse une auréole micaschisteuse entrant en contact avec le granite de Margeride. La cartographie qu'en fournit F. H. Forestier (1963) permet d'estimer à 150 km² l'affleurement actuel; mais le recouvrement partiel par les coulées du Devès conduit à penser que la surface affleurante prévolcanique devait avoisiner les 200 km². Comparé à l'étendue de tout le bassin, ce chiffre est dérisoire. Il permet de démontrer l'existence de rapports complexes, rarement généralisables, entre les minéraux lourds et leur répartition géographique. Habituellement très minoritaire, la fraction lourde peut connaître de fortes variations de son abondance dans certaines roches parmi lesquelles il faut placer la série métamorphique du haut Allier. Des mesures pondérales réalisées dans les alluvions de la Sioule, entièrement inscrite dans les micaschistes, indiquent que les sables fins (500 à 50 µm) sont constitués à 50 % par des barylites ! Les chiffres obtenus pour la Desges, dont le bassin-versant ne voit affleurer ce type de roche que sur les 2/3 de son étendue, s'élèvent encore à 25 %. De tel-

les teneurs en minéraux lourds excèdent de très loin les valeurs trouvées dans le reste du bassin de l'Allier. A titre comparatif, on peut signaler que les sables colluviaux formés à partir des micaschistes de la Sioule, dans la région d'Ebreuil, ne contiennent pas plus de 2,5 % de minéraux lourds, valeur déjà très élevée pour des roches du socle.

Si l'on peut admettre que le creusement des vallées actuelles établies dans les micaschistes de l'Allier supérieur ait pu provoquer une exportation massive de staurotide, il reste à expliquer deux faits:

- pourquoi le flux à staurotide ne s'est-il pas manifesté auparavant, au cours du Miocène ?
- pourquoi s'est-il imposé au seul Pliocène, s'effaçant face au grenat au cours du Quaternaire ?

c - Le rôle des transformations topographiques par la tectonique

Les remarques précédentes viennent de nous montrer qu'il est nécessaire d'apporter un certain nombre de correctifs pour passer des populations minérales recensées dans des sédiments (données de départ) aux roches mères soumises à érosion (données recherchées). Elles ne permettent pas pourtant de résoudre le problème principal posé par l'existence des trois flux alluviaux du bassin de l'Allier, à savoir un écart de plus en plus grand, au fur et à mesure que l'on remonte dans le temps, entre les surfaces effectivement occupées par les sources potentielles dans l'espace et leur représentation dans les dépôts. L'explication de cet écart se trouve, à notre avis, dans une analyse paléogéographique tridimensionnelle. En effet, dans la mesure où un réseau hydrographique qui s'écoule de manière superficielle, sans inciser le substratum, est incapable de fournir des alluvions, la seule représentation en plan des roches affleurantes offre un intérêt limité. Le spectre minéralogique des alluvions doit d'abord être mis en rapport avec l'hypsométrie du bassin-versant. Compte tenu des réserves émises plus haut (vitesse d'altération des minéraux et/ou teneur pondérale), ce spectre reflète l'ampleur des volumes de roches de différente nature soumis à glyptogénèse. Autrement dit, c'est dans l'histoire des transformations connues par le relief du Massif central que l'on doit rechercher la cause majeure de la succession des flux.

La figure 3 est une synthèse de l'interprétation proposée par la plus récente étude paléogéographique menée à l'échelle de l'ensemble du bassin de l'Allier (Le Griel, 1991 a et b). Deux points méritent d'être soulignés à son propos:

- Si elle intègre les données stratigraphiques apportées par les minéraux lourds, elle est antérieure aux recherches présentées ici dont elle ignorait par conséquent les résultats.

- Ses propres conclusions reposent sur l'utilisation groupée de trois techniques plus ou moins originales: une observation à plusieurs échelles du cadre morphostructural, une enquête spatio-temporelle sur les bilans

sédimentaires, une analyse de l'inscription dans l'espace des systèmes alluviaux et de leurs déformations.

Réalisées de manière indépendante, ces deux recherches nous paraissent devoir être associées, car elles sont étonnamment complémentaires. Le relais d'un flux par un autre trouve une explication très satisfaisante dans l'inégal soulèvement de telle ou telle portion du socle comprenant les roches mères pourvoyeuses de minéraux.

Le flux à tourmaline du Miocène s'est inscrit dans un contexte topographique bien particulier. Il a accompagné un changement majeur dans l'évolution morphostructurale du Massif central: le rétablissement après l'Oligocène de l'"exoréisme alluvial" (Le Griel, 1991 a, Etienne & Larue, 1993) et l'apparition du bassin-versant de l'Allier. Avec l'arrêt de la subsidence associée aux mouvements distensifs de la deuxième moitié du Paléogène, les apports latéraux en provenance des bordures du rift (qui constituaient alors les points hauts du relief) se sont réduits et des flux longitudinaux leur ont succédé. Ceux-ci se sont installés sur un système général de pentes conforme au dispositif contemporain: le Massif central se partageant entre un long versant nord et un versant méridional beaucoup plus court (d'où le faciès fin et dépourvu de galets des alluvions septentrionales et celui, plus grossier, de la molasse à dragées languedocienne). La déclivité moyenne des pentes à cette époque devait être sans commune mesure avec leur valeur actuelle puisque, malgré la longueur du trajet, le flux de tourmaline initial établi à l'extrême amont du grand Allier miocène n'a pratiquement pas été modifié à l'aval, preuve incontestable de la modestie des apports latéraux. Dans l'atonie de la topographie miocène, le paléorelief taillé dans le granite de Margeride constituait donc une exception (Etienne, 1984). Une telle situation s'explique par l'existence d'un équilibre morphostructural bien particulier, celui qu'A. Le Griel (1991 a) a associé, dans la longue histoire paléogéographique du Massif central, à la durée d'élaboration de la "Primär-rumpf alpine", c'est-à-dire au maintien d'une vaste et régulière topographie d'aplanissement, malgré sa remise en cause locale par des déformations tectoniques d'ampleur trop limitée ou de vitesse trop lente en regard de la puissance des agents d'érosion.

La disparition du flux à tourmaline et son remplacement par le flux à staurotide ont coïncidé avec une brutale accélération de la grande crise tectonique qui a mis en place les paysages contemporains. Les mouvements différentiels, responsables du soulèvement des horsts infravolcaniques de l'Aubrac et du Cantal comme de la mise en place sous sa physionomie présente de l'axe Margeride-Cézallier, se sont poursuivis, au Pliocène, avec le début de l'épeirogenèse (Le Griel, 1991 a et b) et la surrection des plateaux entaillés par le haut Allier (fig. 3). C'est à ce moment-là que la Sioule et la Desges ont commencé à s'inscrire dans les micaschistes et ont libéré en masse la staurotide. Pour s'imposer sans partage, le flux à staurotide a dû attendre, néanmoins, la cap-

ture de la Truyère par un affluent du Lot et l'arrêt de la plus importante source de tourmaline. Les rapports staurotide-grenat observés en Grande Limagne et en Bourbonnais (fig. 2 B) s'expliquent à la fois par une disparition du minéral le plus fragile et par sa fourniture en quantité mesurée: les bas-plateaux du Nord du Massif central n'étant pas encore nettement soulevés.

C'est l'extension de l'épeirogenèse qui a généralisé et accentué l'encaissement du réseau hydrographique au Quaternaire (fig. 3). Associée à une diminution de l'altération chimique liée au refroidissement climatique et à une augmentation des processus mécaniques, elle a, selon nous, donné au flux à grenat sa pleine expression.

CONCLUSION

Le présent article utilisant une majorité d'analyses déjà publiées, nous reconnaitrions bien volontiers qu'un certain nombre des observations précédentes avaient pu être faites à l'échelle locale. L'originalité de notre point de vue tient au caractère global de l'analyse qui vient d'être proposée. Elle concerne surtout l'explication des grands changements constatés dans les cortèges de minéraux lourds du bassin de l'Allier depuis la fin de l'Oligocène.

Le travail du paléogéographe consiste ici non seulement à établir une liste aussi exhaustive que possible des paramètres impliqués, mais encore à découvrir la hiérarchie qui s'est établie entre eux. C'est ainsi que les facteurs paléoclimatiques n'auraient joué un rôle sensible que pendant le seul Quaternaire, que la teneur de certaines roches en minéraux lourds a été un des facteurs déterminants de la succession des flux sur un plan purement géologique, alors que d'un point de vue à la fois géographique et géodynamique, la succession des flux coïncide avec les étapes du soulèvement du Massif central depuis le Miocène supérieur. C'est là que se situe pour nous l'explication la plus décisive, dès lors que les correctifs imposés par l'étude des altérations minérales ont été pris en compte. Cette interprétation paraît s'inscrire dans le cadre d'un consensus récent puisqu'elle rejoint l'une des conclusions majeures des journées sur la morphogenèse cénozoïque de l'Europe de l'Ouest qui ont réuni à Rennes géologues et géomorphologues en septembre 1994, à savoir que les reliefs actuels des régions de plates-formes de notre pays résultent pour l'essentiel d'une phase de soulèvement qui a débuté au Messinien avant de culminer au Plio-quaternaire

BIBLIOGRAPHIE

- BAULIG H., (1928). – Le Plateau Central de la France et sa bordure méditerranéenne. Etude morphologique. *Thèse d'Etat lettres*, Paris, 590 p.
- CANTAGREL J. M. & BAUBRON J. C., (1983). – Chronologie des éruptions dans le massif volcanique des Monts Dore

L'ÉVOLUTION DES CORTÈGES DE MINÉRAUX LOURDS

- (méthode potassium-argon). Implications volcanologiques. *Géol. Fr.*, 1, n° 1-2, 123-142.
- COUTURIÉ J. P., (1977). – Etude pétrographique, géochimique et structurale du Massif granitique de la Margeride. *Ann. Scient. Univ. Clerm.-Ferr.* 62, 320 p.
- DESPRAIRIES A., (1963). – Etude sédimentologique de l'Oligocène de la Limagne de Brioude. *Thèse III^e cycle*, Sciences, Clermont-Ferrand.
- ETIENNE R., (1979 a). – Morphogenèse et tectogenèse du bassin tertiaire bourbonnais et de ses marges cristallines. 2^e partie de recherches géomorphologiques sur la bordure du Massif Central, Lyon, 1979, 171 p.
- ETIENNE R., (1984). – Mouvements tectoniques différentiels et soulèvement d'ensemble du Massif Central à partir de la limite mio-pliocène. *Bull. Lab. Rhodanien de géomorpho.* 15-16, 3-13.
- ETIENNE R. & LARUE J. P., (1993). – Le relief du " Pays des Couzes " pendant l'Oligocène: les enseignements des minéraux lourds et des faunes. *Bull. Lab. Rhodanien de géomorpho.* 31-32, 15-26.
- FORESTIER F. H., (1963). – Métamorphisme hercynien et anté-hercynien dans le bassin du haut-Allier. *Bull. Serv. Carte Géol. France*, 271, tome LIX, 293 p.
- GLANGEAUD P., (1922). – Le bassin oligocène de Saint-Flour, Malzieu, la Truyère miocène, affluent de l'Allier. *C.R. Acad. Sci. Fr.* 174, 401-404.
- GOER DE HERVE 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. Rhod. Géomorphologie*, 27-28, 3-21.
- 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: Etude Géomorphologique. *Thèse d'Etat lettres*, Clermont-Ferrand, 543 p. + 1 tome d'illustrations.
- LE GRIEL A., (1991 a). – L'évolution géomorphologique du Massif Central français, Essai sur la genèse d'un relief, *Thèse d'Etat Lettres*, Université Lyon II, chez l'auteur, St Etienne, 3 tomes, 660 p., 112 fig.
- LE GRIEL A., (1991 b). – Auvergne, la mobilité tectonique dans un socle volcanisé. Livret-guide de l'excursion de la Commission "Géographie physique des socles", du Comité National de Géographie, 36 p., 12 fig.
- MARCHAND J., BOUILLER R., BURG J.-P. & CORNEN G., (1989). – Notice de la feuille géologique de Langeac. B. R. G. M. (éd.), 57 p.
- MORTON A. C., (1984). – Stability of detrital heavy minerals in tertiary sandstones from the North Sea Basin. *Clay Min.*, 19, 287-308.
- PASTRE J. F., (1986). – Altérations et paléoaltérations des minéraux lourds des alluvions pliocènes et pléistocènes du bassin de l'Allier. *Bull. Ass. Fr. Et. du Quaternaire*, 27-28, 257-269.
- PASTRE J. F., (1987). – Les formations plio-quaternaires du Bassin de l'Allier et le volcanisme régional (Massif Central, France). *Thèse d'université*, Paris VI, 733 p.
- PELLETIER H., (1971). – Sur les minéraux lourds transparents des alluvions anciennes et récentes de la Limagne d'Auvergne. *Thèse Université Sciences*, Clermont-Ferrand, 78 p.
- PIERRE G., (1990). – Générations d'altérites dans le Massif Central français (Auvergne, Aubrac, Velay) du Miocène au Quaternaire: implications paléoclimatologiques et géomorphologiques. *Physio-Géo.*, 20, 31-49, 5 fig., 7 tabl.
- REY R., (1973). – Biostratigraphie des formations sédimentaires du Cantal. *Rev. Scient. du Bourbonnais*, Moulins, pp. 77-128.
- TOURENQ J., (1986). – Etude sédimentologique des alluvions de la Loire et de l'Allier, des sources au confluent. Les minéraux lourds des roches des bassins-versants. *Doc. BRGM.* 108, 108 p.
- TOURENQ J., (1989). – Les sables et argiles du Bourbonnais (Massif Central, France). Une formation fluvio-lacustre d'âge pliocène supérieur. *Thèse d'Etat Sciences*, Université P. et M. Curie. 320 p.