

# LES NAPPES ALLUVIALES DE L'ALLIER EN LIMAGNE (MASSIF CENTRAL, FRANCE). STRATIGRAPHIE ET CORRÉLATIONS AVEC LE VOLCANISME RÉGIONAL



Jean-François PASTRE\*

## RÉSUMÉ

La vallée de l'Allier offre en Limagne une des séquences fluviales les plus développées en Europe. Le système de terrasses quaternaire postérieur à 2 Ma comporte 12 unités principales et de nombreuses unités secondaires à développement plus ou moins local. Il prolonge un ensemble de dépôts alluviaux pliocènes et plio-pléistocènes étagés compris entre environ 5 et 2 Ma. Le volcanisme bordier, qui a joué un rôle important dans leur préservation, permet de disposer de nombreux repères chronologiques datés principalement par K-Ar et  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ . L'étude des cortèges de minéraux lourds volcaniques et des marqueurs plus ponctuels constitués par les quartz rhyolitiques et les laves différenciées permet de distinguer la majorité des dépôts et d'établir leur corrélation stratigraphique. Le rôle majeur joué par les téphras du Mont-Dore (environ 3,5 à 0,25 Ma) dans la constitution des spectres minéralogiques permet de proposer des corrélations chronologiques plus ou moins précises avec la téphrochronologie établie pour ce strato-volcan. Si l'analyse comparative des données morphostratigraphiques et sédimentologiques contribue à préciser la définition de nombreuses unités, elle montre aussi leur répartition très inégale dans l'espace et le temps. Plusieurs critères permettant d'établir la continuité et la discontinuité syn- et post-sédimentaire des formations alluviales sont ainsi examinés.

**Mots-clés :** Dépôts fluviaux, volcanisme, corrélations sédimentologiques et chronostratigraphiques, Pléistocène, Allier, Limagne.

## ABSTRACT

### THE RIVER ALLIER TERRACES IN LIMAGNE (FRANCE). STRATIGRAPHY AND CORRELATION WITH THE MASSIF CENTRAL VOLCANISM

The river Allier valley in the Limagne graben area provides one of the most developed fluvial sequence in Europe. The Quaternary terraces system developed after ca. 2 Ma comprises 12 main units and several local ones. This succession follows Early Pliocene to Early Pleistocene deposits extended ca. 5 to 2 Ma. The surrounding volcanism offers numerous chronological markers K-Ar and  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  dated. Study of volcanic heavy minerals and specific markers provided by rhyolitic quartz and differentiated lavas offer a good stratigraphical control and a tool for the correlation of the deposits. The major role played by the pyroclastites of the Mont-Dore (ca. 3.5 to 0.25 Ma) in the constitution of the fluvial mineralogical spectras provides a more or less precise tool for their correlation with the tephrochronology of this strato-volcano. Comparisons between morphostratigraphical and sedimentological data is used to define several units. They show also their variable distribution in time and space. Several aspects related to the continuity and discontinuity of the fluvial deposits during and after their deposition are illustrated.

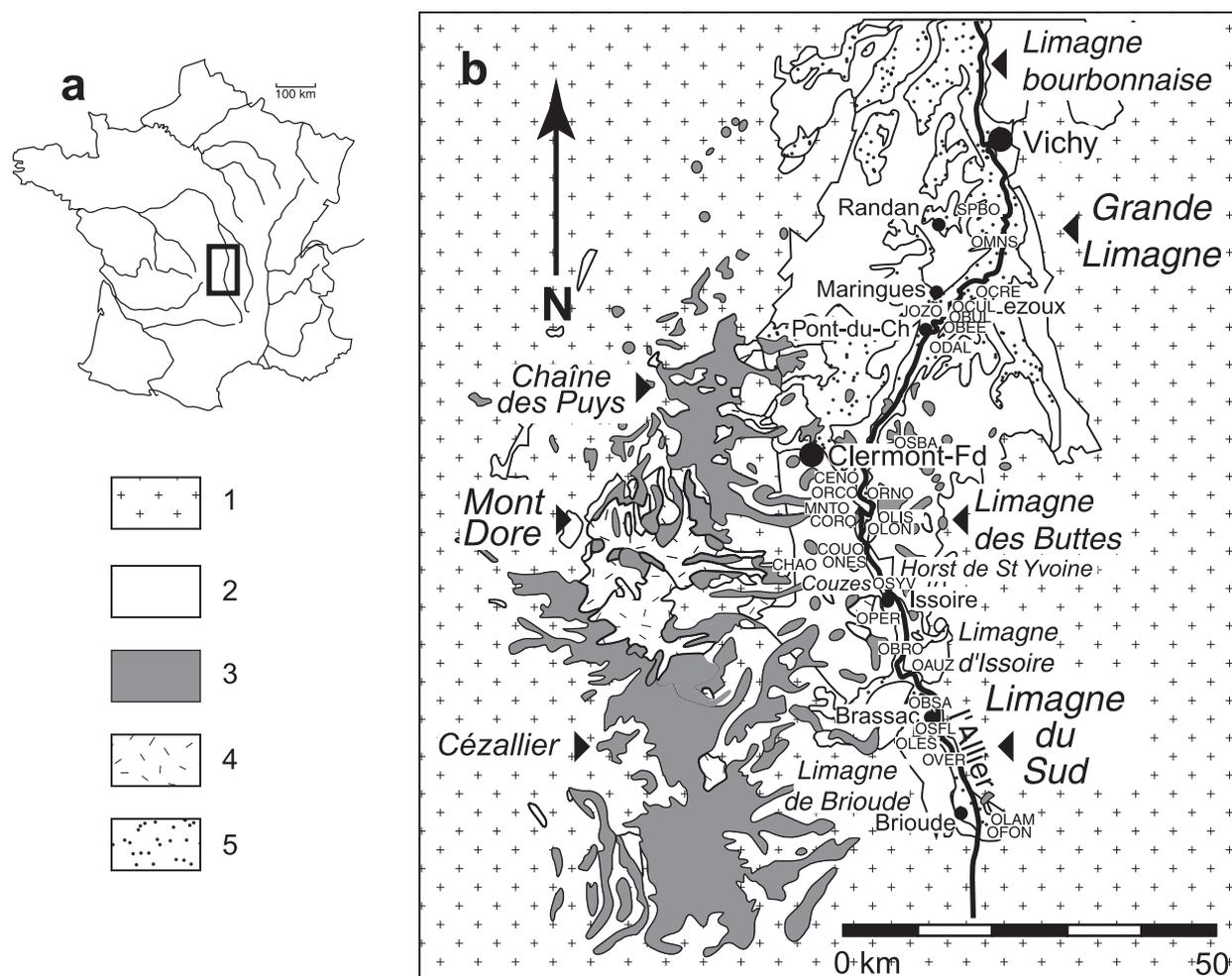
**Key-words:** Fluvial deposits, volcanism, sedimentological and chronostratigraphical correlations, Pleistocene, Allier, Limagne.

## 1 - INTRODUCTION

Principal affluent de la Loire, l'Allier constitue un axe hydrographique majeur qui draine le centre du Massif Central français selon un axe général sud-nord. Après un parcours encaissé au sein du socle granito-métamorphique hercynien volcanisé à la limite du Devès et de la Margeride, il atteint la Limagne (fig. 1). Ce graben oligocène fortement évidé au cours du Pliocène et du Pléistocène a été propice à la mise en place de nombreuses formations alluviales. Le système de terrasses quaternaire y prolonge une série de dépôts alluviaux pliocènes perchés sur les bordures. Cette

succession, étagée localement sur plus de 200 m de dénivelé, constitue un des ensembles fluviaux chronologiquement les plus étendus en Europe. Le volcanisme bordier a joué un rôle fréquent dans la préservation des formations les plus anciennes et permet de disposer de différents repères chronostratigraphiques. Les datations K-Ar ou  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  des coulées de basalte ou des pyroclastites associées aux formations alluviales offrent des repères chronologiques relativement précis, mais limités en nombre. Les marqueurs fournis par certaines laves ou minéraux caractéristiques autorisent des corrélations sédimentologiques et chronologiques généralement moins précises avec le

\* Laboratoire de Géographie Physique, UMR 8591 CNRS, 1, place Aristide Briand, 92195 MEUDON cedex, France – pastre@cnsr-belleve.fr



**Fig. 1 :** Cadre général de la moyenne vallée de l'Allier en Limagne. a) Localisation de la région étudiée – b) Carte générale de la Limagne et du volcanisme bordier. 1. Socle hercynien – 2. Sédiments tertiaires (Oligocène, principalement) – 3. Volcanisme basaltique pliocène et pléistocène – 4. Volcanisme différencié et pyroclastites – 5. Sédiments quaternaires (alluvions, principalement).

Localités citées dans le texte (Limagne d'Allier) : AUZ : Auzat-sur-Allier – BRO : Le Broc – BSA : Beaulieu-sur-Allier – BEE : Beauregard-l'Evêque – BUL : Bulhon – CHA : Champeix – CEN : Le Cendre – COR : Corent – COU : Coudes – CRE : Crevant-Laveine – CUL : Culhat – DAL : Dallet – FON : Fontannes – JOZ : Jozé – LAM : Lamothe – LEN : Lempdes (N-E Limagne des Buttes, Puy-de-Dôme) – LES : Lempdes (Aval Allagnon, Limagne du Sud, Haute-Loire) – LIS : Lissac (Saint-Maurice) – LON : Longues (Vic-le-Comte) – MNS : Mons – MNT : Monton – NES : Neschers – ORC : Orcet – PER : Perrier – RNO : La Roche-Noire – SBA : Saint-Bonnet-lès-Allier – SFL : Sainte-Florine – SPB : Saint-Priest-Bramefant – SYV : Saint-Yvoine – VER : Vergongheon.

*Fig. 1. Sketch of the middle part of the river Allier valley in Limagne a) Location of the studied area – b) General map of the Limagne graben and of the surrounding volcanism – 1. Hercynian basement – 2. Tertiary sediments (mainly Oligocene) – 3. Pliocene and Pleistocene basaltic volcanism – 4. Differentiated volcanism and pyroclastites – 5. Quaternary sediments (mainly fluvial deposits). AUZ to VER Localities cited in the text.*

volcanisme contemporain, mais plus nombreuses en nombre et plus étendues sur le plan géographique. L'étude des associations de minéraux lourds a ainsi montré leur répartition différentielle dans plusieurs unités (Meilhaud, 1955, Van Dorseer, 1969, Pelletier, 1971, Van Dorseer et Pelletier, 1963, Etienne, 1979, Pelletier *in* Larue, 1979, Tourenq, 1986). L'approfondissement de ces recherches et l'analyse conjointe des produits volcaniques contemporains a permis de construire un schéma corrélatif cohérent de ces relations sédimentologiques et chronostratigraphiques (Pastre, 1987). Ce schéma établit le rôle important joué par les pyroclastites dans la diffusion rapide des minéraux au sein des formations alluviales. Parmi celles-ci, le rôle majeur des téphras émis par le strato-volcan du Mont-Dore au cours du Pléistocène inférieur et moyen a été démontré. Les coulées pyroclastiques émises sur le versant oriental du Mont-Dore ont pu être remobilisées

très rapidement par le réseau hydrographique (bassins des Couzes Chambon et Pavin, principalement), représentant la source principale des minéraux dispersés dans les nappes alluviales contemporaines de la Limagne. Les retombées pyroclastiques (retombées pliniennes principalement) ont également favorisé une diffusion éolienne des produits hors de cette zone d'alimentation fluviale directe, en particulier vers le bassin amont de la rivière (Haut-Allier et Limagne du Sud). L'analyse minéralogique et stratigraphique conjointe des téphras *in situ* et de leurs produits de remaniement fluviale a ainsi permis de proposer un schéma de leurs relations chronostratigraphiques. Depuis, l'approfondissement des travaux téphrochronologiques dans le Mont-Dore et l'étude détaillée de nouvelles séquences alluviales en Limagne ont introduit des éléments nouveaux à ce schéma. Cet article en propose ainsi une mise au point actualisée.

Il envisage également ses implications pour l'analyse spatio-temporelle de la continuité et de la discontinuité des niveaux alluviaux et leurs implications dans l'étude de leur genèse et de leur évolution post-dépôt.

La limite adoptée pour le Pléistocène inférieur (2,6 Ma), s'inscrit dans la perspective d'un Quaternaire long (Suc et al., 1997 ; Van Kolfschoten et Gibbard, 1998), tel qu'actuellement débattu par la communauté scientifique. Les altitudes relatives sont données en valeur approchées à  $\pm 5$  m par rapport au lit mineur actuel de la rivière.

## 2 - ORGANISATION MORPHOSÉDIMENTAIRE GÉNÉRALE DU SYSTÈME DE NAPPES ALLUVIALES

Le compartimentage de la Limagne en plusieurs sous-unités morphostructurales (les « Limagnes », fig. 1), la variété lithologique de l'Oligocène et le rôle joué par le volcanisme sont à l'origine d'une distribution inégale des dépôts alluviaux dans l'espace et dans le temps. Les lacunes, liées à l'érosion, jouent ainsi un rôle variable selon les périodes et les secteurs. La numérotation stratigraphique utilisée (Fy, Fv...) est dérivée de celle de la carte géologique de France au 1/50 000<sup>ème</sup>, dont les subdivisions (ex. Fva, Fvb) ont été multipliées pour tenir compte d'une réalité stratigraphique plus complexe. Elle diffère légèrement de celle proposée antérieurement (Pastre, 1987). Les corrélations sédimentologiques et morphostratigraphiques proposées permettent d'assurer la validité de ce système d'Issoire à Vichy (fig. 2, coupes synthétiques c à e). Les minéraux du Mont-Dore, injectés massivement dans le vallée de l'Allier par le réseau hydrographique situé à la bordure orientale du strato-volcan, fournissent de nombreux repères, et un bon suivi stratigraphique des unités peut être assuré. Cette possibilité étant beaucoup plus réduite vers l'amont, les subdivisions adoptées pour la Limagne de Brioude et le horst de Brassac (fig. 2, coupes synthétiques a et b) n'ont qu'une valeur locale limitée à ces secteurs. L'importance prise par ces facteurs paléogéographiques conduira à en présenter les grandes lignes.

Au sud, la Limagne du Sud comporte deux entités, la Limagne de Brioude et la Limagne d'Issoire (fig. 1). Ces deux bassins, qui comportent essentiellement des argiles de l'Oligocène inférieur, sont séparés par le horst de Brassac (houiller et socle métamorphique).

La Limagne de Brioude se singularise par la présence dans sa partie orientale de dépôts plio-quaternaires (cailloutis à galets de quartz de Lamothe, sables du ruisseau de Granat à Fontannes... fig. 2a) dont la faible altitude par rapport à l'Allier actuel a permis d'établir l'existence de mouvements tectoniques négatifs dans ce secteur (Bout, 1960 ; Larue, 1979 ; Pastre, 1987). Elle présente un système de terrasses quaternaires qui comporte 7 nappes (fig. 2a), dont plusieurs se situent à des altitudes proches (ex. nappes Fv).

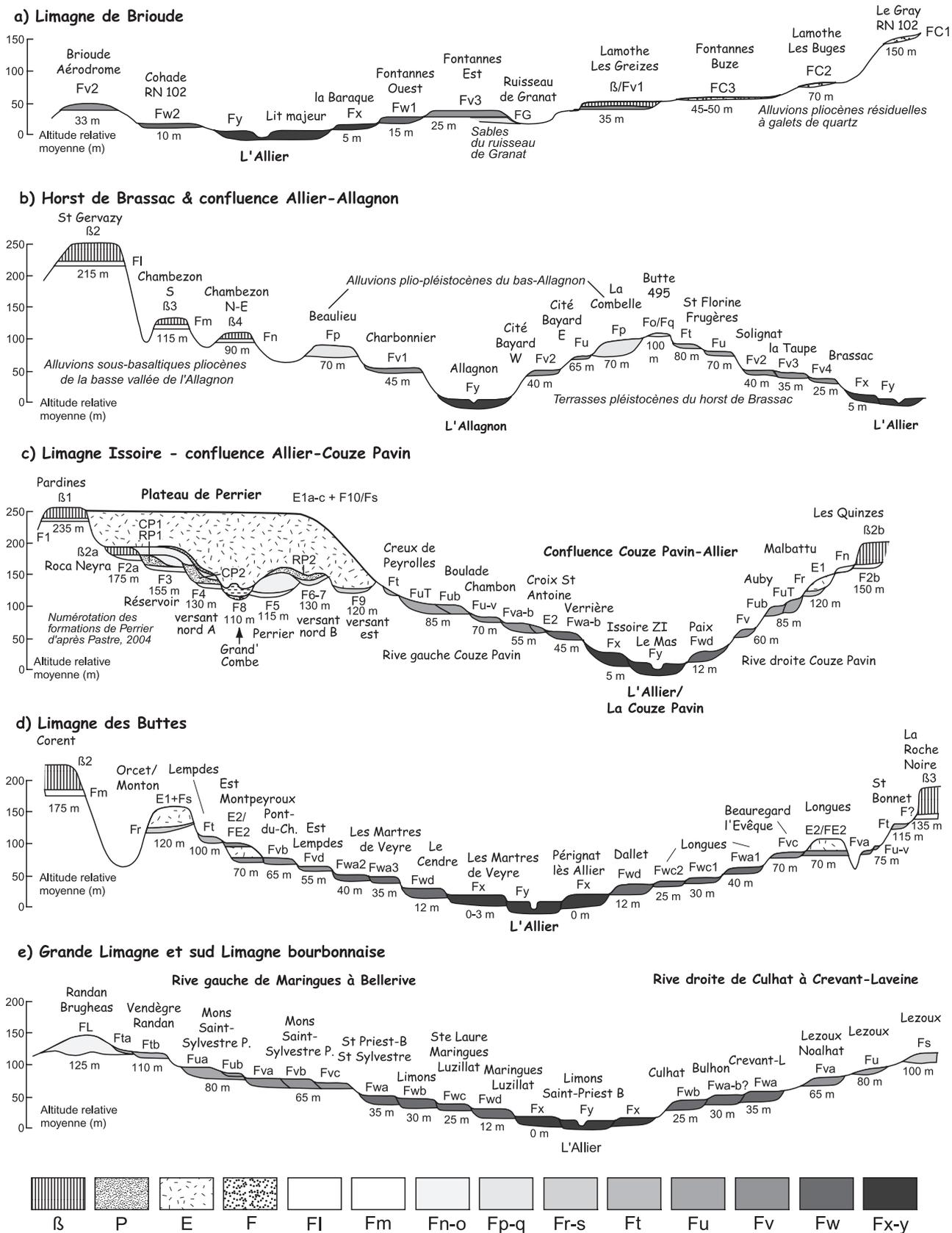
Le horst de Brassac se caractérise par la présence de niveaux alluviaux plio-pléistocènes perchés (Fp-Fq), conservés à la faveur de l'affleurement de formations houillères stéphaniennes et métamorphiques hercyennes. Les terrasses quaternaires y comprennent 8 unités (Ft-Fy), d'extension généralement très ponctuelle pour les plus anciennes (fig. 2b).

La Limagne d'Issoire ne compte pratiquement dans sa partie sud que des nappes du Pléistocène supérieur (Fx, Fy), occupant le fond de vallée. Par contre, l'élargissement qui caractérise sa partie nord dans la zone de confluence de l'Allier avec la Couze Pavin comporte différentes unités du Pléistocène inférieur et moyen dont plusieurs sont associées à des formations pyroclastiques et épicycliques du Mont-Dore (fig. 2c). Cette série prolonge la séquence du plateau de Perrier, qui constitue une séquence alluviale plio-pléistocène unique fossilisée vers 2 Ma par d'importantes avalanches de débris du Mont-Dore (Pastre, 2004). Le horst granitique de Saint-Yvoine détermine ensuite une vallée encaissée où peu de témoins alluviaux subsistent, puis la rivière atteint la Limagne des Buttes, qu'elle suit de Coudes à Pont-du-Château.

La morphologie en buttes, caractéristique de ce secteur, est liée à la présence de formations volcaniques d'âges variés qui ont protégé localement la série marno-calcaire oligocène. Aux témoins résiduels du volcanisme phréatomagmatique oligo-miocène (hydroclastites de type pépérite et basaltes), se surimposent quelques coulées de basalte pliocènes et pléistocènes (Corent, la Roche-Noire) et des épicyclites du Mont-Dore (ex. Longues, Monton). Le resserrement de la vallée dans une bande de 1 à 2 km de large a favorisé dans ce secteur le déblaiement des terrasses du Pléistocène inférieur et moyen, au profit des unités du Pléistocène supérieur. Néanmoins, plusieurs ont pu être conservées ponctuellement à la faveur de la morphologie locale ou du volcanisme (fig. 2d).

Au nord de Pont-du-Château, l'élargissement important de la vallée dans les marnes et les calcaires de la Grande Limagne a permis un développement et une conservation plus importants du système de terrasses. Les secteurs caractéristiques de Culhat / Lezoux en rive droite, au sud, et de Randan / Saint-Priest-Bramefant en rive gauche, au nord (fig. 2e), montrent un développement significatif des terrasses du Pléistocène moyen, mais conservent également des unités du Pléistocène inférieur, voire du Pliocène supérieur. Si ce secteur, situé au sud de Vichy, constitue la limite de la zone étudiée, il importe de signaler la contraction importante du système vers le nord. A la disparition de la majorité des unités du Pléistocène inférieur et moyen, s'ajoute un resserrement important du système d'étalement, résultant en partie de la subsidence lente de la cuvette bourbonnaise. Le recyclage fréquent des sédiments constaté dans les terrasses de cette zone contribue à restreindre leur corrélation avec les nappes alluviales amont.

Les formations alluviales rencontrées peuvent être séparées entre des formations présentant un bilan



**Fig. 2 : Coupes synthétiques des formations alluviales et volcaniques des différents secteurs de la Limagne.**  
 La numérotation des formations renvoie au texte et au tableau de la fig. 6, sauf pour les formations de Perrier (c, F1 à F9) décrites dans Pastre, 2004 – β. Basalts – P. Pyroclastites – E. Épiclastites – F. Alluvions pliocènes à galets de quartz – F1 à Fx-y. Alluvions pliocènes à holocènes regroupées par ensembles.  
 Fig. 2: Synthetic cross-sections of the fluvial deposits of the key-areas of Limagne.  
 The legend is given in the text and in fig. 6, except for the Perrier deposits (c, F1 to F9), described in Pastre, 2004 – β. Basalts – P. Pyroclastic rocks – E. Epiclastites – F. Pliocene alluvium with quartz pebbles – F1 to Fx-y. Pliocene to Holocene fluvial deposits main groups.

sédimentaire excédentaire, se traduisant par des accumulations de plusieurs mètres (« nappes d'accumulation »), et des formations peu épaisses (– de 2 m), attribuées plutôt à des phases de transit de la rivière (« nappes d'ablation ») et conservées ponctuellement à la faveur de la conjonction de son encaissement et de facteurs paléogéographiques locaux. Les nappes alluviales les plus développées en épaisseur (6 à 12 m) semblent en majorité attribuables à des péjorations climatiques froides. Cette attribution est fondée avant tout sur la chronologie des accumulations, la comparaison de leur faciès avec les unités caractéristiques du Pléistocène supérieur et les conditions génétiques classiquement admises pour la mise en place des unités de ce type (Antoine, 1994 ; Antoine *et al.*, 2000 ; Bridgland, 2000). Le caractère grossier de nombreuses formations (cailloutis à galets) n'est par contre pas forcément révélateur de leur mise en place dans des conditions climatiques froides. Il peut correspondre à des conditions de transit fluviale tempérées avec des transports de fond énergiques pouvant recycler en plus ou moins grande abondance un matériel hérité des périodes froides antérieures (ex. alluvions holocènes) ou, pour les phases les plus anciennes, dérivé d'altérites générées dans des conditions plus ou moins chaudes (ex. alluvions à galets de quartz plio-pléistocènes). De manière générale, le contexte de moyenne montagne des zones-sources a favorisé conjointement la vigueur de la dynamique fluviale et l'importance de la fourniture de débris, incitant à faire part de prudence quant à la signification climatique des critères de faciès grossiers associés. Le volcanisme a pu également contribuer localement à une suralimentation en matériel grossier (ex. région des Couzes à la bordure du Mont-Dore, Limagne du Sud à l'aval du Devès). Les dépôts concernés ne livrent que peu d'éléments paléobiologiques (grande faune) utilisables pour des reconstitutions environnementales. Ils ne montrent que sporadiquement des figures de cryoturbation périglaciaires et ne comportent que de rares formations de couverture révélatrices de conditions dynamiques interglaciaires (Pléistocène supérieur et Holocène, pour l'essentiel). Ces lacunes renforcent ainsi la prudence de certaines interprétations discutées plus loin (*cf.* 4).

### 3 - LES MARQUEURS VOLCANIQUES : CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES ET ORIGINE

La majorité des corrélations repose sur l'étude des cortèges de minéraux lourds volcaniques qui ont l'avantage de fournir des associations de minéraux ou des marqueurs spécifiques caractéristiques des différentes provinces volcaniques et des types de produits émis.

La concentration classique de ces phases minérales au bromoforme a été réalisée sur la totalité de la fraction sableuse (63  $\mu\text{m}$  – 2 mm), afin de prendre en compte à la fois les espèces de petite taille (ex. zircon) et celles de taille supérieure à 500  $\mu\text{m}$ , abondantes à

proximité des sources (ex. amphiboles). La granulométrie des échantillons, constitués le plus souvent par des sables hétérométriques (représentant le plus souvent la matrice des cailloutis), influence naturellement la représentation des espèces. Elle explique la fluctuation des pourcentages au sein d'une même unité, mais ne perturbe guère les tendances générales vérifiées sur de nombreuses coupes (ex. fig. 5a). Les comptages et déterminations effectués au microscope polarisant et à la loupe binoculaire ont porté sur les différents silicates lourds et l'apatite. Les oxydes opaques (magnétite, ilménite...), difficilement déterminables sans analyses chimiques systématiques et les micas (biotite *s.l.*), inégalement distribués et difficilement discernables de ceux du socle, n'ont pas été décomptés, leur représentation n'apportant de plus qu'une information généralement annexe. L'étude de la composition chimique des phases minérales a été précisée par des analyses à la microsonde électronique sur de nombreux téphras des zones-sources, permettant une caractérisation applicable aux minéraux alluvionnaires. Toutefois, une telle recherche ne pouvant pas être envisagée systématiquement dans le cas des minéraux à composition chimique variable (solutions solides comme les amphiboles et les pyroxènes), l'usage d'une nomenclature générale (ex. amphiboles brunes) a été adopté pour ces minéraux. La majorité des résultats utilisés ici sont détaillés et quantifiés dans Pastre (1987). Ils sont complétés par l'analyse de quelques séquences échantillonnées ultérieurement. Les minéraux du socle, étudiés par ailleurs (*ibid.*), ont été comptabilisés séparément et ne sont pas considérés ici, sauf si leur abondance dans les spectres globaux, contribue à relativiser l'importance du volcanisme contemporain. Les corrélations avec les pyroclastites du Mont-Dore s'appuient sur un référentiel téphrostratigraphique et minéralogique élargi, dont on trouvera une synthèse dans Pastre et Cantagrel (2001). Le renouvellement rapide des spectres minéralogiques durant les phases d'activité pyroclastiques importantes (ex. phases contemporaines du cycle Fv) peut déterminer une résolution stratigraphique très fine des unités (ex. Fvb, Fvc), mais il est par contre souvent difficile de déterminer précisément le ou les téphras spécifiques qui ont alimenté telle ou telle unité alluviale, compte tenu de la pluralité des émissions de type proche au cours d'une même phase éruptive. La répétitivité possible d'émissions de type comparable, le caractère en partie lacunaire de la téphrostratigraphie du Mont-Dore (multiplicité inévitable des téphras érodés ou oblitérés) constituent des facteurs limitatifs dont il n'est pas possible de s'affranchir complètement. Les incertitudes mises en évidence sont ainsi exposées et discutées. Cependant les résultats obtenus montrent la rémanence relativement faible des produits émis, et assurent la cohérence d'ensemble du schéma défini. La plupart des téphras remaniés ne présentent qu'une récurrence négligeable au-delà d'un cycle alluvial et permettent d'exclure alors toute corrélation directe. Lors des phases d'apport volcaniques principales, la « saturation » des spectres par les mêmes types de

minéraux, tend à réduire fortement le rôle de la granulométrie dans la variabilité des spectres. Les diagrammes de la figure 3 présentent des spectres de minéraux lourds typiques des différentes unités. Le rôle joué dans les cortèges par les amphiboles brunes, les clinopyroxènes verts (augite) et le sphène, dont l'origine du Mont-Dore est soit quasi-exclusive (clinopyroxène vert, sphène), soit souvent prépondérante (amphiboles brunes), est illustré par un diagramme triangulaire regroupant ces trois phases pour la zone à l'aval du strato-volcan (fig. 4).

Les principales occurrences des minéraux sont les suivantes :

- Les amphiboles brunes constituent un silicate fréquent dans de nombreuses laves et pyroclastites. Il s'agit surtout de kaersutites et dans une moindre mesure de pargasites ou d'oxykaersutites. Cette variabilité géochimique n'est guère caractéristique des provinces volcaniques considérées et rien ne permet en général d'attribuer tel ou tel individu à une source plus qu'à une autre. C'est donc plutôt la confrontation de l'âge des dépôts à la nature des produits volcaniques contemporains qui peut permettre d'en proposer une origine dominante. Fréquentes dans les éjectas du Cézallier au cours du Pliocène, les amphiboles

deviennent ensuite un minéral lourd souvent prépondérant dans de nombreuses pyroclastites du Mont-Dore. Elles sont en particulier très représentées durant la phase d'activité plio-pléistocène (3 à 1,6 Ma) et sont souvent associées à des émissions de type sous-saturé (téphrites et phonolites). On les rencontre également dans les produits du Devès (laves et pyroclastites) où elles sont attribuées à des enclaves profondes (Boivin, 1982). Durant les périodes de baisse d'activité, elles semblent provenir en majorité des galets de laves alluvionnées et montrent alors en général des faciès plus émousés.

- Le cas des amphiboles vertes est beaucoup plus spécifique, puisqu'elles sont uniquement présentes dans la majorité des pyroclastites rhyolitiques du Mont-Dore émises vers 3 Ma (Ménard, 1979 ; Pastre, 1987). Elles constituent ainsi un marqueur précis, toutefois peu représenté. Il s'agit selon la classification de Leake *et al.* (1997) d'édénites de composition chimique homogène (Ménard, 1979 ; Pastre, analyses inédites).

- Hormis la présence de très rares hypersthènes issus de pyroclastites latitiques du Mont-Dore (Pastre et Cantagrel, 2001), la grande majorité des orthopyroxènes sont des enstatites. Ces orthopyroxènes xénomorphes, pouvant évoluer vers une composition de

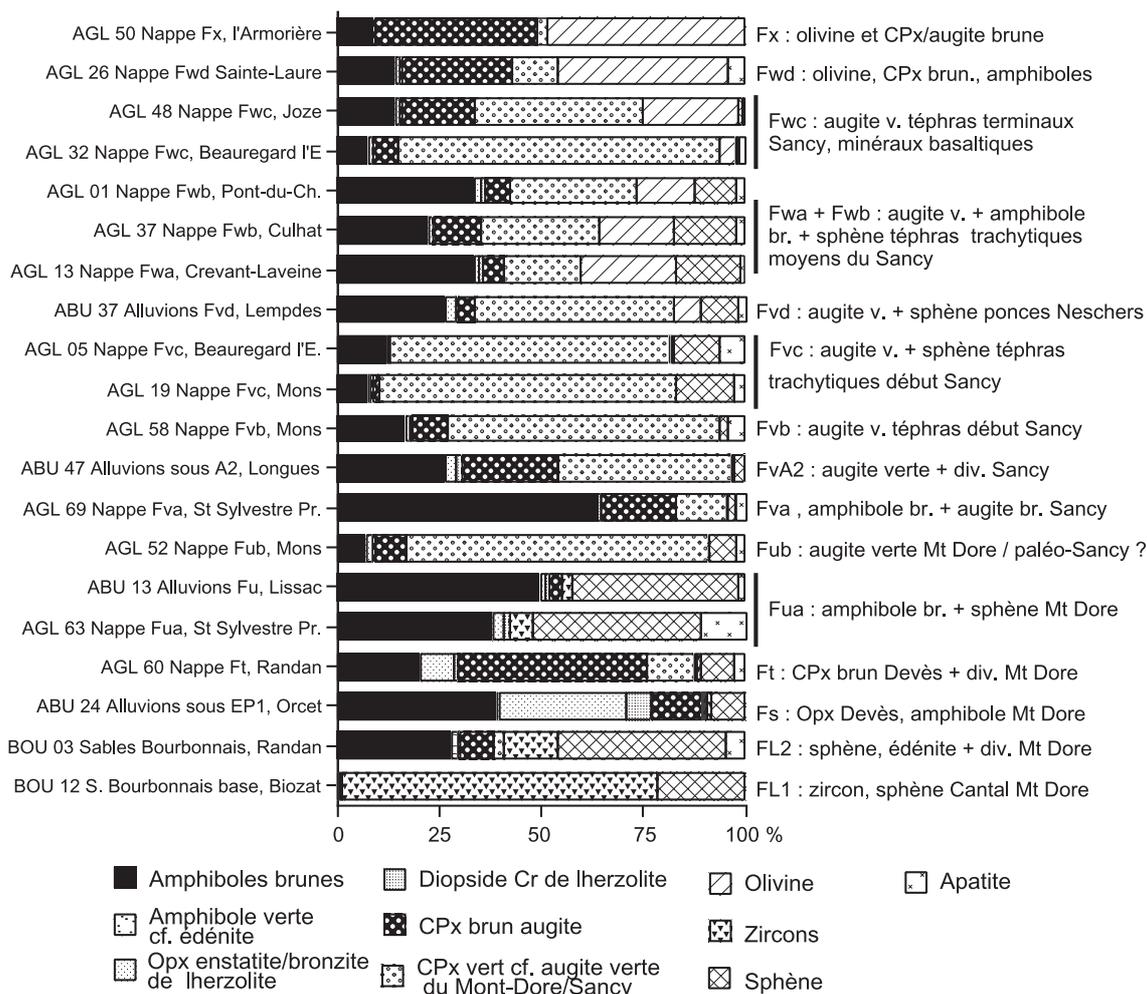


Fig. 3 : Spectres de minéraux lourds volcaniques types des alluvions de l'Allier en Limagne (Limagne des Buttes et Grande Limagne).  
Fig. 3: Typical volcanic heavy minerals spectras of the river Allier fluvial deposits in Limagne (Limagne des Buttes and Grande Limagne).

bronzite, proviennent des nodules de lherzolites (« péridotites ») d'origine mantellique contenus dans de nombreux basaltes. Ils sont associés à du diopside chromifère caractéristique et à de l'olivine magnésienne qui a généralement été altérée. Si leur libération mécanique des galets alluvionnés détermine leur occurrence fréquente à hauteur de quelques % dans les cortèges, seule leur injection massive durant le paroxysme d'activité du Devès vers 2 Ma a assuré leur diffusion importante. Celle-ci a alors été fortement amplifiée par leur présence dans de nombreux tufs phréatomagmatiques mobilisés par la rivière.

- Les clinopyroxènes verts (qualifiés aussi d'augite verte) proviennent quasiment tous du Mont-Dore où ils constituent le silicate lourd dominant (plus de 50 %) de nombreuses pyroclastites trachytiques et latitiques. Dans la classification de Morimoto *et al.* (1988) il s'agit d'augites calciques (augites à la limite des salites de la classification antérieure de Poldevaart et Hess, 1951). Peu représentés dans les phases antérieures à 2,5 Ma, ils deviennent plus abondants dans les pyroclastites émises entre 2 et 1,5 Ma, mais constituent surtout un minéral du Sancy très fréquent entre 0,8 et 0,3 Ma. La présence, dans certains spectres de la Limagne du Sud, de rares augites vertes à habitus plus trapu, issues du volcanisme basaltique du Devès joue un rôle négligeable.

- Les clinopyroxènes bruns sont également des augites, dont la tendance est généralement plus calcique que les clinopyroxènes verts (Ménard, 1979 ; Pastre et Cantagrel, 2001). Leurs phénocristaux sont abondants dans de nombreux basaltes, ce qui assure leur libération mécanique récurrente dans les alluvions. Mais ils ont surtout été libérés en abondance par le volcanisme du Devès où leur présence dans de nombreux tufs a pu, comme pour les minéraux mantelliques, favoriser leur diffusion rapide dans l'Allier. Dans le Mont-Dore, ils sont caractéristiques de certaines pyroclastites téphritiques et/ou phonolitiques, où ils peuvent représenter jusqu'à 30 % des spectres de minéraux lourds, en association avec des amphiboles brunes prépondérantes.

Avec l'altération, ces clinopyroxènes évoluent vers des faciès denticulés (augites brunes) ou plus typiquement aciculaires (augite verte montdorienne) sans que ces faciès morphologiques liés à l'altération post-dépôt aient la signification stratigraphique qu'on a parfois voulu leur octroyer.

- Les minéraux accessoires, sphène, zircon et apatite proviennent quasiment tous du Mont-Dore, sauf pour les dépôts pliocènes où certains apports peuvent être attribués au Cantal ou au Cézallier. Le sphène constitue un minéral caractéristique fréquent des produits les plus différenciés, et en particulier des pyroclastites rhyolitiques et trachytiques. Il représente 5 à plus de 25 % des cortèges rhyolitiques, dominés par les amphiboles, et des cortèges trachytiques, dominés par les clinopyroxènes verts, mais peut représenter plus de 80 % des cortèges des pyroclastites trachytiques à biotite (Pastre et Cantagrel, 2001). L'apatite, qui à

l'origine se présente le plus souvent en cristaux automorphes incolores, se fragmente assez rapidement pour aboutir à des fragments de cristaux plus ou moins xénomorphes. Il s'agit de fluor-apatite, plus ou moins enrichie en fluor (1,6 à 3,6 %). Elle est présente dans de nombreux téphras latitiques, trachytiques ou rhyolitiques, mais est surtout caractéristique de certaines pyroclastites trachytiques où sa fréquence peut dépasser 20 % des spectres. Les zircons, qui ne constituent en général que quelques % tout au plus des spectres (leur représentation, de même que leur couleur ont tendance à croître avec la différenciation des produits) sont surtout intéressants par la variété de leurs types morphologiques, objet de recherches approfondies (Pupin, 1976, 1983 ; Gagnol, 1987). La distinction opposant les zircons pyramidaux de type D, caractéristiques des éjectas sous-saturés (Pupin, 1976), des types prismatiques (J3, J4, S23, S24...) présents dans la majorité des pyroclastites trachytiques et rhyolitiques constitue un critère standard qui a été fréquemment utilisé. La typologie générale des individus, la couleur et l'élongation des grains ont permis de distinguer différentes unités que l'étude minéralogique standard ne permettait pas de discerner, mais la très grande variété de leurs types morphologiques et des téphras à leur origine, n'a pas permis d'affiner ces résultats en appliquant la méthode typologique de Pupin (1976).

- Les olivines proviennent essentiellement des phénocristaux abondants dans les basaltes, mais leur grande sensibilité à l'altération limite dans la plupart des cas leur distribution stratigraphique aux nappes alluviales du Pléistocène moyen et surtout à celles du Pléistocène supérieur, dont elles constituent le minéral le plus abondant. Les olivines magnésiennes xénomorphes, issues des nodules de lherzolites, obligatoirement présentes en grand nombre lors du premier paroxysme d'activité du Devès, ont pour la plupart été complètement détruites par l'altération.

Ce dernier constat permet de rappeler le rôle important joué par l'altération dans l'évolution des cortèges de minéraux lourds avec le temps (Pastre, 1986b, 1987). Au développement des figures de corrosion, succède une diminution numérique des populations allant jusqu'à leur disparition totale selon l'échelle de sensibilité générale croissante suivante : sphène, amphiboles, orthopyroxènes, clinopyroxènes, olivine.

Les autres marqueurs volcaniques utilisables possèdent en général une représentation plus circonscrite dans le temps. Ils concernent les quartz de ponces rhyolitiques du Mont-Dore, dont l'occurrence, reconnue depuis longtemps dans les formations alluviales (Bout, 1951, 1960 ; Clochiatti et Tourenq, 1971) a pu être précisée dans les formations pyroclastiques (Ly, 1982 ; Pastre, 1987 ; Pastre et Cantagrel, 2001) et certaines laves différenciées du strato-volcan (basaltes porphyriques, roches intermédiaires, roches sous-saturées) dont les périodes d'émission bien établies (Cantagrel et Baubron, 1983) concordent avec la stratigraphie des nappes alluviales (Pastre, 1987). Leur représentation est détaillée dans les développements qui suivent.

#### 4 - STRATIGRAPHIE, CORRÉLATION ET CONDITIONS DE MISE EN PLACE DES FORMATIONS ALLUVIALES

##### 4.1 - LES FORMATIONS FLUVIATILES DE LA TRANSITION PLIO-PLÉISTOCÈNE

Les buttes qui dominent la rive gauche de l'Allier à l'ouest de Vichy sont couronnées par des sables et cailloutis rattachés aux Sables et Argiles du Bourbonnais, formation fluviatile largement développée au nord (Tourenq, 1989). Ces dépôts situés à plus de 120 m d'altitude relative (FL, fig. 2e) dépassent une quinzaine de mètres aux environs de Randan. Les points d'observation limités ne permettent pas de reconstituer précisément leur géométrie et leur stratigraphie sujettes à des variations latérales, mais leur niveau d'affleurement, leur faciès et leur minéralogie permettent de reconnaître dans ce secteur trois ensembles stratigraphiques principaux :

- À la base, un cailloutis à petits galets et graviers de quartz ravine l'Oligocène sous-jacent. La richesse de ses spectres de minéraux lourds volcaniques en zircons est caractéristique. Les types prismatiques J et S (classification de Pupin, 1976) peuvent provenir en partie d'apports récurrents post-éruptifs du Cantal, mais leur liaison plus ou moins importante avec les premières pyroclastites trachytiques du Mont-Dore (phase ancienne située approximativement entre 3,5 et 3 Ma) est probable. Les individus pyramidaux de type D, de loin les plus abondants, sont reliables à un volcanisme sous-saturé qui pourrait correspondre aux premières émissions trachyphonolitiques du Mont-Dore et/ou à celles du Cézallier. Ils inscrivent ces dépôts dans la continuité des alluvions sous-basaltiques du Pliocène moyen de la bordure NE du Cézallier des environs d'Issoire (Le Broc, Perrier, âge voisin de 3,5 Ma ; fig. 2c), ainsi qu'avec les alluvions du Puy de Corent en Limagne des Buttes (Pastre, 1987 ; fig. 2d), mais l'absence totale de quartz rhyolitiques du Mont-Dore implique clairement leur antériorité à 3 Ma.

- Les sables médians, qui constituent la partie principale de l'accumulation, comportent par contre de nombreux quartz automorphes caractéristiques des pyroclastites rhyolitiques du Mont-Dore proches de 3 Ma identifiées à Perrier : la coulée de ponces porphyriques de Roca-Neyra (Ly, 1982) datée à 3,18 Ma par K-Ar (Cantagrel *in* Ly, 1982) et à  $3 \pm 0,01$  par  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  (Lo Bello, 1988), les retombées pliniennes de la Grand'Combe (Pastre et Cantagrel, 2001, Pastre, 2004), datées à  $3,02 \pm 0,07$  Ma par  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  (Duffell, 1999). Parmi les minéraux lourds, la présence d'amphibole verte de type édénite y constitue également un marqueur spécifique des téphras rhyolitiques montdoriens. Les autres minéraux : amphiboles brunes, sphène et zircons, peuvent provenir de ces pyroclastites rhyolitiques mais également d'autres téphras différenciés indistincts. L'altération entraîne le plus souvent un déficit en amphiboles et une sur-représentation du sphène. Les pyroxènes, bien que peu représentés

initialement, d'après les données obtenues sur les formations pyroclastiques et alluviales amont (Mont-Dore, Cézallier, Perrier... : Pastre, 1987 ; Pastre et Cantagrel, 2001 ; Pastre, 2004) ont fréquemment disparu. Ils peuvent comporter quelques orthopyroxènes et diopside chromifère de lherzolite et des clinopyroxènes bruns (augite) provenant sans doute en majorité du Cézallier et dans une proportion mal précisable de phases anciennes du Mont-Dore et du Devès.

- Les sables supérieurs sont globalement marqués par une augmentation des feldspaths potassiques volcaniques (sanidine sodique, anorthose) et une régression des quartz rhyolitiques. Celles-ci sont probablement liées à de nouveaux apports pyroclastiques et à un amenuisement progressif du stock de quartz originel. La présence de quartz magmatiques subautomorphes, caractéristiques de l'ignimbrite à ponces fibreuses du Mont-Dore (« Grande nappe » de Vincent, datée à  $3,07 \pm 0,02$  Ma par  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ , (Féraud *et al.*, 1990), mal caractérisée dans les formations médianes y est bien établie. Aux amphiboles et au sphène, s'ajoutent dans les niveaux les moins altérés quelques clinopyroxènes verts relictuels (augite verte aciculaire). Ces derniers proviennent probablement de quelques émissions trachytiques du Mont-Dore post 2,6 Ma qui en contiennent en abondance (Pastre et Cantagrel, 2001) comme la coulée de ponces du Pessy (âge  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  :  $2,58 \pm 0,03$  Ma, Duffell, 1999) ou les retombées pliniennes de Perrier (âge K-Ar : 2,46 et 2,48 Ma, Cantagrel *in* Ly, 1982 ; âge  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  : 2,44 Ma, Lo Bello, 1988).

Plus au sud, sur l'interfluve précédant la confluence de l'Allier et de la Dore, les sables de Lezoux, qui se situent dans une position morphostratigraphique proche des niveaux de Randan, présentent un faciès deltaïque caractéristique. Leur richesse en minéraux chimiquement résistants, comme la tourmaline ou la sillimanite (Pelletier, 1971 ; Pastre, 1987) semble surtout liée au déstockage rapide des formations oligocènes présentes à l'amont dans le bassin de la Dore. Ceci peut expliquer leur pauvreté en minéraux volcaniques (absence de quartz magmatiques, rares pyroxènes bruns et sphène) et n'implique pas forcément leur mise en place avant les dépôts précédents, bien que leur âge soit difficile à préciser.

Dans la même génération de dépôts, les « hauts niveaux » du horst de Brassac (sables et cailloutis dits du bas Allagnon, Pastre, 1987), constituent un ensemble caractéristique en Limagne du Sud (Fp, fig. 2b). Des sondages récents effectués en collaboration avec le BRGM ont permis de préciser leur épaisseur et leur faciès. Épais d'une vingtaine de mètres, ils présentent une alternance de sables plus ou moins graveleux (Beaulieu, Auzat, Brassac) pouvant intégrer localement des niveaux argileux indiquant des épisodes de décantation confinée (Beaulieu-sur-Allier). Ils débutent et se terminent par des cailloutis à galets de quartz et de basalte (Beaulieu-sur-Allier), indiquant des phases de fort transit fluviatile. La fréquence des minéraux lourds du socle (+ de 70 % en moyenne des

spectres totaux) y dénote la contribution importante du socle et de l'Oligocène environnant. Les minéraux lourds volcaniques y sont principalement représentés par des amphiboles brunes associées à des pyroxènes altérés et à du sphène. Si une part prépondérante de ces minéraux provient d'apports différés du Cézallier (ex. pyroxènes de lherzolites, amphiboles) une partie est également attribuable au remaniement de pyroclastites du Mont-Dore. La présence de quartz bipyramidés issus des retombées pliniennes rhyolitiques signe en particulier la postériorité de ces dépôts à 3 Ma, mais ils sont antérieurs à la phase d'apport principale du Devès (syn et post 2 Ma), caractérisable dans plusieurs terrasses à galets de basalte étagées en contrebas (Ft, fig. 2b). Ces éléments témoignent ainsi d'une contemporanéité probable des hauts niveaux du horst de Brassac avec ceux des environs de Randan, et de manière plus générale avec les Sables du Bourbonnais. Ils contribuent ainsi à établir l'existence probable d'un important remblaiement alluvial polyphasé étendu à l'ensemble des Limagnes.

S'il n'est pas possible en l'état actuel des recherches d'être plus précis dans la chronologie et la corrélation de ces dépôts, il convient de s'interroger sur leur genèse. Si la succession des environs de Randan atteste incontestablement de premiers épisodes de sédimentation peu avant 3 Ma (Bourbonnais sud FL I, fig. 6), il est clair que l'essentiel de la sédimentation est postérieure. La richesse générale de la sédimentation principale en quartz rhyolitiques pourrait faire coïncider son démarrage avec les épisodes de dégradation climatiques du Reuvérien (phase vers 3 – 2,7 Ma, Bourbonnais sud FL II, fig. 6), mais il est permis de se demander si sa phase principale ne pourrait pas coïncider avec les premiers épisodes de dégradation climatique du Praetiglien *s.l.*, soit pour partie ou totalité les stades isotopiques 102, 100 et 98 (Bourbonnais sud FL III, fig. 6). Une coïncidence au moins partielle de cette phase, avec les alluvions ponceuses de Perrier, situées vers 2,6 Ma (Pastre, 2004), serait alors pertinente, en dépit de faciès différents liés à l'origine des apports sédimentaires ou à l'importance de leur altération après leur dépôt (Limagne du Sud, Limagne bourbonnaise). On rappellera à cet égard les résultats palynologiques obtenus plus au nord pour les « Argiles Noires » du Bourbonnais (Châteauneuf, inédit, *op. cit. in* Tourenq, 1989 ; Farjanel, 1985) où le caractère tempéré froid de la végétation accreditte cette attribution climatostratigraphique.

Il convient de remarquer que si le volcanisme a pu induire une accentuation géographique ou chronologique ponctuelle de cette sédimentation, il est peu probable qu'il ait joué un rôle majeur, compte tenu de la richesse générale des sédiments en produits du socle (minéraux et galets de quartz filonien) et de l'importance de leur développement.

Le retour de conditions plus favorables au transit alluvial durant la période située vers 2,5 – 2 Ma (Tiglien) semble avoir favorisé une reprise de l'incision entrecoupée par des phases de dépôt mal

différenciables des précédents (Bourbonnais sud, FL IV, fig. 6). Le creusement amorcé à Perrier peu avant la mise en place des retombées pliniennes trachytiques datées vers 2,5 Ma (Pastre, 2004) pourrait ainsi marquer un phénomène généralisé à l'ensemble de la Limagne. Si les niveaux alluviaux supérieurs des environs de Randan ne fournissent pas d'éléments précis pour y dater la fin de la sédimentation des Sables et Argiles du Bourbonnais, les alluvions piégées sous la première grande génération d'avalanches de débris du Mont-Dore de la Limagne centrale, permettent d'y préciser la nature de la sédimentation fluviale vers 2 Ma (1,99 Ma : âge d'une téphrite syn-avalanche, Cantagrel *in* Poidevin *et al.*, 1984 ; âge moyen des avalanches de débris, Morel, 1987).

Largement représentés à Perrier (Pastre, 1987, 2004 et fig. 2c, F9), mais également observables sur l'autre rive de la Couze Pavin (Issoire « Malbattu », fig. 2c, Fr) ou en Limagne des Buttes à la « Montagne de Stras », à Orcet (fig. 2d, Fr), ces dépôts débentent par des cailloutis à gros galets (« poudingues ») révélateurs de transports de fond énergiques (épaisseur 1 à 3 m). Ils sont suivis par des cailloutis et des sables graveleux, associés à des niveaux limono-argileux plus ou moins dilatés (épaisseur 0,5 à 3 m), traduisant soit des épisodes de décantation dans des bras-morts soit des épisodes de débordement de berge. En dépit d'une légère dilatation des séquences, celles-ci ne sont cependant jamais aussi développées que les accumulations sableuses antérieures. La faune des Étouaires (Est du plateau de Perrier), caractérisée par sa richesse en cervidés (Bout, 1960 ; Heintz, 1970 ; Heintz *et al.*, 1974), témoigne de conditions contemporaines tempérées. Les cortèges minéralogiques de ces alluvions sont alimentés par des émissions pyroclastiques contemporaines du Mont-Dore révélées en particulier par des taux fluctuants d'amphiboles brunes, d'augite verte et de sphène, des lits de ponces et des minéraux frais. Ils se signalent par leur richesse fréquente en pyroxènes de lherzolites (orthopyroxènes type enstatite-bronzite, diopside chromifère), parfois complétés dans les dépôts les moins altérés d'olivine magnésienne de même origine. Cette occurrence, inégalée dans l'histoire de l'alluvionnement en Limagne (ex. ABU 24, fig. 3) est à mettre en relation avec le paroxysme d'activité du Devès situé vers 2 Ma. Elle découle en particulier de l'injection massive de ces minéraux par le phréatomagmatisme (tufs de déferlantes de maar) associé aux effusions basaltiques du Haut-Allier où les cortèges des alluvions sous-basaltiques contemporaines présentent une évolution comparable durant la même période (Pastre, 1987).

Les différents dépôts d'avalanches de débris du Mont-Dore (fig. 2c, E1) qui jalonnent la Limagne moyenne entre Issoire et le sud-est de Clermont (Issoire, Perrier, Monton, Orcet...) peuvent fournir une limite stratigraphique entre les dépôts alluviaux plio-pléistocènes, et les premières véritables terrasses quaternaires. Les différentes unités qui composent ces formations épiciastiques, auparavant considérées comme

des lahars (cf. « lahars de première génération », Ly, 1982), peuvent être séparées par des niveaux alluviaux présentant des taux contrastés d'amphibole brune ou de clinopyroxène vert (Pastre, 1987, 2004). Ces taux semblent à la fois révélateurs de reprises d'un matériel volcanique contemporain et antérieur. Les premières sont révélées par la fréquence des latites (« sancyites »), et pour les phases les plus tardives de téphrites à hauyne (« ordanchites »), voire de trachyphonolites (Monton), laves caractéristiques de cette période (Cantagrel et Baubron, 1983). Les secondes sont corroborées par la fréquence dans certains niveaux de quartz rhyolitiques de la phase pyroclastique centrée autour de 3 Ma. Bien que ces avalanches aient pu indiscutablement perturber de manière notoire les écoulements contemporains et contribuer à alimenter le stock sédimentaire de la rivière, il est aussi patent que les paléochenaux qui les séparent (ex. Perrier) impliquent des réincisions rapides au sein de leur masse, et leur influence négligeable sur l'évolution de la rivière à moyen terme (Pastre, 1987).

#### 4.2 - LES TRÈS HAUTES TERRASSES DU PLÉISTOCÈNE INFÉRIEUR (Ft)

Entre les vallées de la Couze Chambon et de la Couze Pavin, la « paléovallée Champeix-Pardines » (Pastre, 1982), qui représente l'ancien cours aval de la Couze Chambon (*ibid.* et Pastre *et al.*, 1997), marque le premier stade de réincision post-avalanches de la région

des Couzes. Son jalonnement par des alluvions et des lahars à trachyphonolites abondantes coïncide avec la période d'émission majeure de ces laves dans la zone nord-orientale du Mont-Dore vers 2 / 1,9 Ma (Cantagrel et Baubron, 1983).

En Limagne des Buttes, quelques niveaux alluviaux résiduels, perchés à plus de 100 m des thalwegs actuel (ex. Saint-Bonnet-lès-Allier, fig. 2d), marquent les premiers jalons postérieurs aux avalanches dont ils remanient les roches caractéristiques (latites et téphrites). Dans certains niveaux, il est également possible de reconnaître des basaltes porphyriques à augite et labrador de type « demi-deuil » et des trachyphonolites, caractéristiques des émissions du Mont-Dore vers 2 Ma.

Aux confins de la Grande Limagne et de la Limagne bourbonnaise, les alluvions Ft constituent un replat caractéristique subdivisé en deux niveaux situés vers 110 m d'altitude relative à l'est de Randan (fig. 2e). Le premier niveau Fta, développé au nord, ravine les Sables du Bourbonnais, auxquels il emprunte une partie de son matériel, comme l'atteste sa richesse en sphène (fig. 4). Le second niveau Ftb, conservé au sud, est alimenté essentiellement par les formations volcaniques amont. Son cortège de minéraux lourds caractéristique (ex. AGL 60, fig. 3) se caractérise par une prédominance de clinopyroxène brun (augite brune basaltique,  $x = 43,6\%$ ) dont l'origine essentielle doit être recherchée dans le volcanisme contemporain du Devès (libération mécanique par les basaltes alluvionnés,

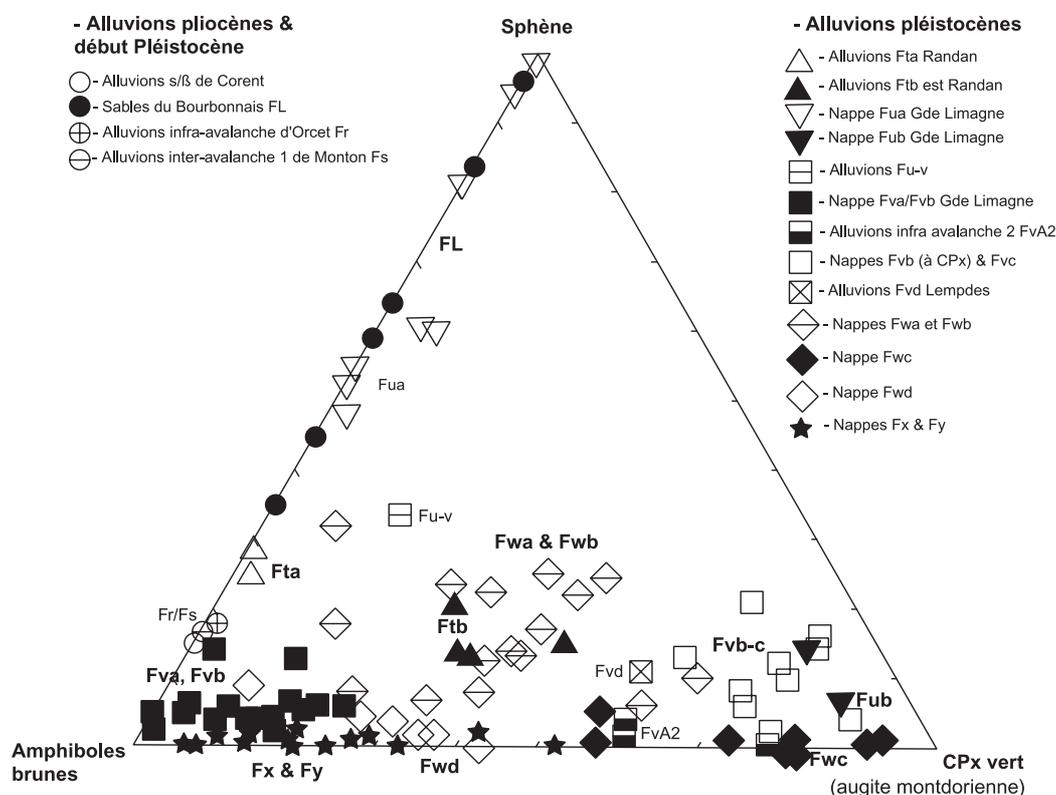


Fig. 4 : Diagramme amphiboles brunes / augite verte du Mont-Dore / sphène des formations alluviales de l'Allier en Limagne (Limagne des Buttes et Grande Limagne).

Fig. 4: Brown amphiboles / Mont-Dore green augite / sphene diagram of the river Allier fluvial deposits in Limagne (Limagne des Buttes et Grande Limagne).

mais aussi probablement remaniement significatif de pyroclastites contemporaines). Il contient encore de fréquents pyroxènes mantelliques (ex. orthopyroxènes de lherzolites,  $x = 7\%$ ) provenant également du Devès, mais leur diminution est toutefois nette par rapport aux alluvions précédant les avalanches (ex. AGL 60, fig. 3). La composante montdorienne y est essentiellement représentée par des amphiboles brunes, des clinopyroxènes verts (augite) et du sphène repris aux éjectas plio-pléistocènes immédiatement antérieurs. L'augmentation des clinopyroxènes verts du Mont-Dore (fig. 3 et 4) peut y être interprétée comme une influence des émissions trachytiques et latitiques (« trachyandésitiques ») synchrones et postérieures aux lahars de première génération, influence également perçue dans les alluvions de la paléo-Couze Chambon (paléovallée Champeix-Pardines, Pastre, 1987). L'âge « moyen » de  $1,75 \pm 0,1$  Ma proposé antérieurement pour ces niveaux (Pastre, 1986a, 1987), doit être regardé comme une estimation approximative par rapport aux âges K-Ar connus pour les laves de cette période, et non comme une valeur précise. Compte-tenu des imprécisions sur la chronologie des produits volcaniques de cette période et de leur temps de remaniement, rien ne permet en effet d'exclure qu'il soit plus proche de 2 ou de 1,6 Ma.

Relativement peu épaisse (– de 2,5 m), riche en galets de quartz et de basalte et en marne reprise à l'Oligocène sous-jacent, cette unité ravinante doit plus être regardée comme une nappe d'ablation, isolée dans ce secteur par une reprise rapide du creusement, que comme une unité d'extension régionale obéissant implicitement à une logique climatique « froide ». Elle s'insère néanmoins de manière caractéristique dans la longue phase de creusement postérieure à 2 Ma, dans laquelle s'intercalent également différents niveaux « d'ablation » mal datés de la Limagne des Buttes (ex. Lempdes, Ft, fig. 2d) ou de la Limagne du Sud (ex. Sainte-Florine, Ft, fig. 2b). Elle s'inscrit bien dans la famille des très hautes terrasses de l'Europe occidentale datées de cette période, comme la terrasse du Pin (115-130 m) dans le secteur centralien de la vallée de la Creuse, datée par ESR à  $1,7 \pm 0,2$  Ma (Despriée *et al.*, 2004) ou dans un contexte plus éloigné les premières terrasses de la vallée de la Somme (Antoine *et al.*, 2000) ou de la Tamise (Maddy *et al.*, 2001 ; Westaway *et al.*, 2002).

#### 4.3 - LES HAUTES TERRASSES MOYENNES DU PLÉISTOCÈNE INFÉRIEUR (TYPE Fu)

En Grande Limagne, le creusement post Ft porte le lit de l'Allier à une quarantaine de mètres sous ces terrasses. Ce creusement précède le dépôt d'une importante nappe alluviale, la nappe Fua, unité qui subsiste sur l'interfluve Dore-Allier, au nord de Lezoux, et entre les vallées du Buron et du Béron, au SW de Vichy. Au cailloutis à galets de base, succède un corps sablo-graveleux à lits argileux locaux relativement épais (+ de 12 m dans certains secteurs), qui distingue cette terrasse des autres unités pléistocènes toujours plus grossières.

En dépit d'une altération prononcée qui a entraîné la disparition fréquente des clinopyroxènes, la chute des taux de minéraux volcaniques à moins de 50 % des spectres de minéraux lourds totaux, leur usure fréquente, cadrent bien avec l'arrêt de l'activité centralisée du Mont-Dore situé vers 1,6 Ma (Cantagrel et Baubron, 1983). La fréquence du sphène, caractéristique de cette unité (ex. AGL 63, fig. 3 ; fig. 4), semble résulter essentiellement de l'altération des autres phases, même si elle a pu bénéficier d'apports pyroclastiques antérieurs riches en ce minéral (groupe des pyroclastites trachytiques à feldspaths alcalins, biotite et sphène, Pastre et Cantagrel, 2001) ou d'une reprise possible de l'activité du strato-volcan à la fin du dépôt (présence locale de sphène, zircon et oxydes de Fe-Ti d'aspect « frais », Pastre, 1987).

La nappe Fub, qui ravine ce dépôt dans les environs de Randan, définit un replat d'érosion jalonné de place en place par des alluvions grossières à galets de basalte. La minéralogie de ces alluvions, observées à Mons, tranche nettement avec celle des précédentes. Leurs spectres de minéraux lourds sont en effet dominés par du clinopyroxène vert associé à de nombreux cristaux automorphes de sphène, d'apatite et de zircon (ex. AGL 52, fig. 3). Ces minéraux marquent l'influence indubitable d'un épisode trachytique antérieur à ceux caractérisant le début de l'activité du Sancy *sensu stricto*. Cet épisode découle probablement de la même phase d'activité que les alluvions ponceuses d'Issoire, situées à la confluence de la Couze Pavin et de l'Allier (alluvions FuT du Creux de Peyrolles et de Malbattu, fig. 2c).

Ces alluvions à ponces trachytiques, qui remanient une coulée de ponces contemporaine du Mont-Dore, comportent en effet différentes unités de sables feldspathiques et ponceux surmontant un cailloutis basal à galets de basalte, latites et trachyphonolites. Elles présentent des spectres de minéraux lourds volcaniques à clinopyroxène vert et sphène, qui bien que légèrement distincts de ceux de la nappe Fub (typologie des zircons, en particulier), offrent avec eux d'incontestables affinités. Ces niveaux ont fourni des âges par traces de fission discordants de  $1,54 \pm 0,13$  et  $1,14 \pm 0,09$  (Couthures et Pastre, 1983), dont seul le premier semble pertinent. L'âge K-Ar de 1,25 Ma, qui en a été proposé (Poidevin *et al.*, 1984) est visiblement trop jeune. Leur datation  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  de  $1,44 \pm 0,04$  Ma (Lo Bello, 1988) semble la mieux en accord avec la succession chronostratigraphique locale. Ces alluvions précèdent en rive droite de la Couze Pavin une importante nappe grossière à galets, la terrasse d'Auby-Binazat, qui semble correspondre à la terrasse de Boulade en rive gauche (fig. 2c). Si la corrélation de cette unité à clinopyroxène vert avec le niveau Fub de Limagne n'est pas rigoureusement établie sur le plan minéralogique, elle peut toutefois constituer un argument en faveur de leur proche contemporanéité. Elle démontre en tout cas l'existence probable d'un ou de plusieurs épisodes fluviaux vigoureux durant cette période.

Le cycle alluvial « Fu » apparaît ainsi constitué par une phase alluviale sableuse, suivie par une phase comprenant un ou plusieurs épisodes grossiers à cailloutis. La première, qui présente une affinité de faciès avec les aggradations sablo-argileuses plio-pléistocènes, pourrait avoir été alimentée principalement pendant une phase de dégradation climatique (xérique et/ou froide) par l'érosion d'une couverture d'altérites générée lors des phases tempérées antérieures (*cf.* Tiglien). La seconde pourrait marquer une relance (synchrone ou différée) des dynamiques froides de production de débris, la réponse importante observée dans la Couze Pavin (terrasses d'Auby et de Boulade, fig. 2e), pouvant avoir été localement amplifiée par l'amont montagnard du bassin-versant. À défaut de pouvoir corrélérer pour le moment ces phases avec des ambiances bioclimatiques précises, on peut toutefois évoquer les phases xériques froides signalées durant cette tranche de temps pour la partie supérieure des séquences polliniques de Ceyssac et de Senèze (Ablin, 1991). Les faunes à cervidés dominants associées aux alluvions ponceuses de Peyrolles et Malbattu (Heintz, 1970 ; Heintz *et al.*, 1974), qui témoignent de conditions tempérées, se sont indiscutablement mises en place dans un contexte interglaciaire qui n'est pas contradictoire avec l'intercalation probable de ces dépôts entre les deux phases de sédimentation principales. La corrélation de ces niveaux avec des stades isotopiques voisins du stade 50 (fig. 6) ne peut raisonnablement être précisée en l'état actuel des recherches.

#### 4.4 - LE CYCLE ALLUVIAL DE LA FIN DU PLÉISTOCÈNE INFÉRIEUR / DÉBUT DU PLÉISTOCÈNE MOYEN (Fv)

Le creusement de la fin du Pléistocène inférieur, séparant les unités Fu et Fv, atteint en moyenne une vingtaine de mètres. Il semble s'effectuer essentiellement durant une période de calme volcanique. À l'ouest d'Issoire, la terrasse intercalaire Fu-v de Chambon (fig. 2c) ne contient que des minéraux hérités des phases volcaniques antérieures et aucune pyroclastite du Mont-Dore n'est pour le moment datée entre 1,4 et 1 Ma. Le redémarrage de l'activité du strato-volcan semble toutefois précéder de peu la mise en place des nappes alluviales du groupe Fv. En Limagne des Buttes, le petit témoin alluvial Fu-v de Lissac à Saint-Maurice (Pastre, 1987) se signale ainsi par sa richesse en amphiboles brunes, sphène, et zircons pyramidaux (type D de Pupin, 1976) (fig. 3, ABU 13) et comporte également de nombreux oxydes de Fe-Ti. Ces minéraux sont comparables à ceux des pyroclastites montdorienne du ruisseau de l'Enfer (coulée pyroclastique de Queureuilh et tufs de déferlantes du Rossignolet), de la coulée pyroclastique du Roc du Sanglier ou des niveaux remaniés observés vers 1030 m le long du ruisseau de Vendeix (Pastre, 1987 ; Pastre et Cantagrel, 2001). Cependant, seuls ces derniers, recouverts par la coulée de ponces de Vendeix (Pastre, 1987 ; Pastre et Cantagrel, 2001) formation datée à  $0,99 \pm 0,02$  Ma par

$^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  (Duffell, 1999) semblent pouvoir présenter une chronologie compatible avec la position morphostratigraphique de ce dépôt.

La nappe Fva, bien développée en Grande Limagne où elle affleure vers 60 m d'altitude relative, y représente la première terrasse alluviale grossière importante (épaisseur pouvant atteindre 10 m). Les couches de cailloutis plus ou moins sableuses qui la composent sont bien caractérisées par des cortèges de minéraux lourds présentant des taux élevés d'amphiboles et de clinopyroxènes bruns attribuables essentiellement à l'activité du Mont-Dore (ex. AGL 69, fig. 3 ; échantillons divers, fig. 5), ainsi que par la présence de zircons pyramidaux de type D caractéristiques des produits sous-saturés (type phonolite ou trachyphonolite, Pupin, 1976). Quelques niveaux fins à cendres et ponces altérées (Lezoux, Saint-Sylvestre-Pragoulin) corroborent la relation de ces dépôts avec des événements pyroclastiques contemporains. Les pyroclastites offrant les cortèges minéralogiques les plus comparables à ceux de ces dépôts sont les coulées de ponces du ruisseau de Bozat (Pastre et Cantagrel, 2001) et les téphras situés sous la cascade du Bois de la Reine (SE de la Bourboule), qui offrent également des spectres minéralogiques très riches en amphiboles et clinopyroxènes bruns et sont recouverts par la coulée de latite porphyrique (sancyite) de Bozat (âge K-Ar :  $0,71 \pm 0,07$  Ma, Cantagrel *in* Lavina, 1985). Toutefois, ces formations ne contiennent pas, en dépit de leur caractère sous-saturé probable, de zircons pyramidaux, et l'hypothèse d'un mélange avec les minéraux d'autres pyroclastites semble ainsi la plus vraisemblable. La coulée de ponces de Queureuilh et les tufs du Rossignolet, qui fournissent en abondance de tels zircons (Pastre, 1987 ; Pastre et Cantagrel, 2001), constituent à cet égard les meilleurs candidats. Cependant, la datation  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  de  $0,59 \pm 0,02$  Ma obtenue pour ces produits (Duffell, 1999) pose problème par rapport aux autres données chronostratigraphiques. La nappe alluviale Fva est en effet antérieure à la seconde grande génération d'avalanches de débris que les données K-Ar situent actuellement entre 1 et 0,85 Ma (emboîtement probable d'une coulée de trachybasalte datée à  $0,92 \pm 0,05$  Ma dans l'avalanche de Fontenille au Cheix, Besson *et al.*, 1977 ; « sancyite » du sondage Pavin à  $0,85 \pm 0,03$  Ma, Bourdier et Cantagrel, 1983). Dans la basse vallée de la Couze Chambon, les dépôts d'avalanche de Chadeleuf recouvrent des alluvions de composition minéralogique comparable et en Grande Limagne, les soshonites/latites porphyriques (« sancyites ») caractéristiques des avalanches n'apparaissent que dans l'unité alluviale postérieure Fvb.

Parmi les produits montdorienne sous-saturés susceptibles de préciser le calage chronologique de cette nappe, il convient de citer les intrusions phonolitiques datées par K-Ar de cette période : celle du Roc de Tuile à  $0,87 \pm 0,05$  Ma (Cantagrel et Baubron, 1983) et celle des Thermes du Mont-Dore à  $0,9 \pm 0,1$  Ma (Cantagrel *in* Lavina, 1985).

L'unité Fvb (anciennement Fva-b de Pastre, 1987), étudiée à Mons (carrière des Rigaudanches), se situe à

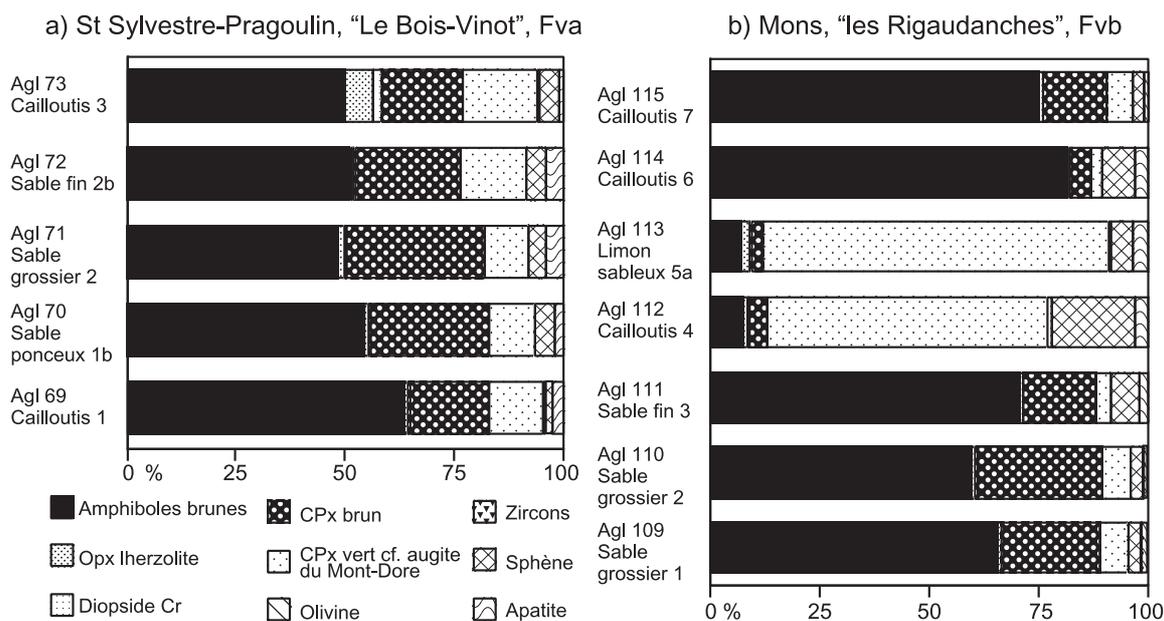
une altitude relative similaire à la nappe Fva et présente des faciès très comparables (cailloutis et sables graveleux). La composition dominante de ses cortèges de minéraux lourds à amphiboles et clinopyroxènes bruns est également proche, ce qui pourrait démontrer un remaniement important du même stock alluvial. Cependant, l'augmentation des clinopyroxènes verts (augite) dans les niveaux médians (ex. AGL 58, fig. 3, AGL 112 et 113, fig. 5) répond à l'apparition des « sancyites » typiques des avalanches, dont ils constituent également un marqueur caractéristique. La présence dans la partie médiane de la séquence d'un niveau sablo-limoneux à CPx vert et sphène automorphes signe l'apport d'une pyroclastite trachytique contemporaine, avant un retour du flux à amphiboles et pyroxènes bruns à la partie supérieure du dépôt (AGL 114 et 115, fig. 5). Ces différentes données tendent à établir le caractère emboîté de cette unité au sein de la nappe Fva, sans que cette relation soit vérifiable au niveau du terrain.

En Limagne d'Issoire (coupe de la Croix-Saint-Antoine à Issoire, Pastre, 1987), la superposition d'une nappe de cailloutis, également très riche en clinopyroxène vert et en sphène, à une première unité à amphiboles et pyroxènes bruns marque également un épisode trachytique de nature comparable, bien que distinct. Dans la région des Couzes et en Limagne des Buttes (fig. 2d), les alluvions grossières FE2 recouvertes par les avalanches de débris de seconde génération (E2) diffèrent en général de celles à amphiboles précédemment citées pour Chadeleuf (type Fva). Leurs cortèges à clinopyroxène vert témoignent en effet de plusieurs injections pyroclastiques dans le système alluvial contemporain comme la coulée de ponces latitique des Ribages ou la coulée de ponces latitique de Coudes-

plateau (Pastre, 1987 ; Pastre et Cantagrel, 2001), mais la contribution d'émissions trachytiques à clinopyroxène vert et sphène y est également avérée.

Les niveaux fluviatiles de Grande Limagne regroupés dans l'unité Fvc (Beaugard l'Evêque, Mons) correspondent à des cailloutis nettement moins épais (– de 3 m), qui paraissent marquer le retour de conditions plus favorables au transit. Leurs forts pourcentages de clinopyroxène vert (ex. AGL 19, AGL 05, fig. 3) marquent un renouvellement important du stock sédimentaire par rapport à Fva. Ils dénotent leur liaison avec des événements pyroclastiques trachytiques contemporains, mais la variabilité de leurs taux de sphène, d'apatite et de zircons, de même que celle de l'habitus de ces minéraux, tend à prouver une pluralité de niveaux alimentés par différentes pyroclastites mises en place lors du début d'activité du Sancy. Cette évolution est en bon accord avec la téphrostratigraphie du haut ruisseau de Chaire ou des environs de Super-Besse sur le versant sud du Sancy où plusieurs émissions de ce type ont été situées vers 0,8 – 0,7 Ma (Pastre, 1987 ; Pastre et Cantagrel, 2001). On peut citer à l'appui de cette assertion les âges  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  de la coulée pyroclastique de Rioubes-Haut :  $0,72 \pm 0,01$  Ma, (Féraud *et al.*, 1990) ou d'une retombée plinienne du ruisseau de Chaire :  $0,72 \pm 0,03$  Ma (Duffell, 1999).

On peut noter également que la succession générale observée dans ce secteur sud du Sancy : (i) pyroclastites sous-saturées à amphiboles et clinopyroxènes bruns, (ii) pyroclastites latitiques à plagioclases, biotite et clinopyroxène vert, (iii) pyroclastites trachytiques à clinopyroxène vert et sphène (Pastre et Cantagrel, 2001) s'accorde bien avec l'évolution minéralogique générale du cycle alluvial Fv (unités Fva à Fvc).



**Fig. 5 : Spectres de minéraux lourds volcaniques des nappes alluviales Fva et Fvb de l'Allier en Grande Limagne à l'est de Randan : a) nappe alluviale Fva à Saint-Sylvestre-Pragoulin, carrière du « Bois-Vinot », b) nappe alluviale Fvb à Mons, carrière des Rigaudanches.**

*Fig. 5: Volcanic heavy minerals spectras of the Fva and Fvb terraces of the river Allier in the Grande Limagne area, east from Randan: a) Fva terrace, « Le Bois-Vinot » quarry near Saint-Sylvestre-Pragoulin, b) Fvb terrace « les Rigaudanches » quarry near Mons.*

Ces nappes Fv, largement alimentées par le remaniement des pyroclastites montdorienne par le réseau hydrographique situé à l'est du Mont-Dore (Couzes) peuvent être ainsi suivies facilement d'Issoire aux environs de Vichy.

En considérant l'ensemble des datations obtenues et la corrélation étroite de ces unités avec l'activité volcanique contemporaine, il est possible d'envisager une corrélation de la nappe Fva avec le stade isotopique 22 (fig. 6) et des unités postérieures Fvb et Fvc avec les stades 21 à 18 ou avec différentes oscillations secondaires reconnues durant cette période (en accord avec le non synchronisme des sous-unités Fvc, en particulier). Première terrasse alluviale grossière bien développée, la nappe Fva pourrait être contemporaine de formations comparables développées au nord du Massif Central. Elle pourrait ainsi équivaloir à la nappe H de la vallée du Loir aux environs de Vendôme (« Formation de Poncé-Ruillé »), datée par RPE à environ 0,9 Ma (Voinchet, 2002, Despriée *et al.*, 2003). Elle pourrait être également contemporaine ou légèrement plus jeune que la nappe D de la moyenne vallée de la Creuse, datée par la même méthode entre 1,2 et 0,9 Ma (Voinchet, 2002, Despriée *et al.*, 2004). Les niveaux Fvc, polyphasés et peu développés, pourraient aisément s'être mis en place en contexte interglaciaire.

En Limagne du Sud, les hautes terrasses Fv de la Limagne de Brioude, qui comportent trois unités situées à des altitudes relatives proches (fig. 2a), mais bien différenciées par leurs cortèges minéralogiques, semblent également appartenir à cet ensemble, sans qu'elles puissent lui être corrélées terme à terme de manière formelle. La première, Fv1, recouverte par la coulée de basalte du volcan des Greizes à Lamothe (âge K-Ar :  $0,83 \pm 0,07$  Ma, Fouris, 1989) présente des cortèges minéralogiques dominés par les minéraux du socle qui semblent liés à une contribution locale importante d'affluents orientaux de l'Allier et ne bénéficient pas d'apports pyroclastiques aériens contemporains. La seconde, Fv2, qui se développe en rive gauche (aérodrome de Brioude), comporte de nombreux pyroxènes basaltiques et mantelliques du Devès, mais se particularise surtout par la présence de clinopyroxène vert, de sphène et d'apatite automorphes attribuables à l'influence d'une retombée aérienne trachytique contemporaine du Sancy. Cette minéralogie lui confère ainsi de fortes affinités avec plusieurs téphras du ruisseau de Chaire et semble ainsi la rapprocher des unités Fvc de Grande Limagne. La troisième, Fv3, largement développée en rive droite dans les environs de Fontannes est fortement influencée par des apports basaltiques amont du Devès. Ils s'expriment par des cortèges de minéraux lourds à augite brune et olivine qui peuvent être rapportés à la seconde phase éruptive principale du Devès centrée autour de 1-0,8 Ma. Dans la succession du horst de Brassac, la terrasse Fv3 de la Taupe à Vergongheon, seule unité accessible en coupe du secteur, présente des cortèges enrichis en amphiboles. La fréquence des pyroxènes de lherzolites tend à la rapprocher des alluvions de la

terrasse Fv2 de l'aérodrome de Brioude, mais la quasi-absence des minéraux montdorienne l'en distingue clairement. Il s'agit donc d'une autre formation, non corrélable à une autre unité du secteur.

La dernière unité rattachée à ce groupe en Limagne centrale, la nappe Fvd, constitue une terrasse peu épaisse (- de 2 m) qui s'intercale dans la phase de creusement intermédiaire entre les groupes Fv et Fw (altitude relative : 55 m). Elle semble ainsi plus représenter une terrasse d'ablation locale, conservée uniquement au NE de Lempdes (N de la Limagne des Buttes, fig. 2d) qu'une terrasse importante d'extension régionale caractéristique. Son intérêt principal est de remanier des minéraux fraîchement émis de la coulée de ponces de Neschers (CPx vert, sphène, zircons... ABU 37, fig. 3), pyroclastite trachytique caractéristique du versant oriental du Mont-Dore datée à  $0,58 \pm 0,02$  Ma par  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  (Lo Bello *et al.*, 1987). Elle fournit ainsi un calage chronologique relativement précis de ce niveau au sein de la succession morphostratigraphique régionale. Elle tend à corroborer les conditions fluviales ablatives évoquées par le cailloutis à galets peu épais fossilisé par la coulée pyroclastique dans la vallée de la Couze Chambon (Champeix, Neschers). La rareté des dépôts attribuables à cette période en Limagne contribue à montrer l'absence d'aggradations fluviales développées pour cette partie du Pléistocène moyen correspondant approximativement à la partie supérieure du Complexe Cromérien.

#### 4.5 - LES NAPPES ALLUVIALES DU CYCLE ALLUVIAL DU PLÉISTOCÈNE MOYEN (Fw)

Les moyennes terrasses du Pléistocène moyen du groupe Fw ont été successivement rapportées à une « moyenne terrasse » (Larue, 1979), puis à deux unités (Fwa et Fwb, cartes géologiques au 1/50 000<sup>e</sup>) définies essentiellement à partir de critères altimétriques. L'étude détaillée de leur morphostratigraphie et de leur minéralogie a conduit ensuite à leur division en quatre unités principales (Fwa, Fwb, Fwc, Fwd), bien que leur succession probable ait été supposée plus complexe (Pastre, 1987). Les résultats obtenus depuis ont apporté certaines précisions à ce schéma. Toutefois, la difficulté fréquente de corréler ces terrasses d'amont en aval compte-tenu de leur dissection ou du caractère souvent peu discriminant de leurs spectres minéralogiques (ex. Fwa et Fwb) n'a pas permis de résoudre définitivement leur stratigraphie.

En Grande Limagne, entre Culhat et Crevant-Laveine (W. de Lezoux), il est possible de reconnaître au moins deux premières unités en rive droite de l'Allier (fig. 2e). **La première, unité Fwa**, située vers 35 m d'altitude relative et constituée par plus de 5 m de cailloutis, peut être caractérisée à Crevant-Laveine. La chute des pourcentages de clinopyroxène vert, la remontée des amphiboles brunes et l'apparition d'olivine (ex. AGL 13, fig. 3) distinguent ses cortèges de minéraux lourds des cortèges les plus récents du cycle Fv (Fvc et d). Elle se signale par sa richesse en sphène

automorphe (+ de 15 %), qui semble le seul minéral à pouvoir provenir d'émissions montdorienne contemporaines de faible volume. **La seconde, unité Fwb** située vers 25 m d'altitude relative, comporte à Culhat une première sous-unité de sables lités à lits de graviers (5 m) suivie par une sous-unité plus grossière à petits galets de socle dominants (5 m). L'existence d'une unité intermédiaire (Fwa-b), située vers 30 m d'altitude relative à Bulhon (fig. 2e), ne peut être complètement confirmée, compte-tenu de ses caractéristiques stratigraphiques et sédimentologiques assez semblables. Ces niveaux montrent des pourcentages proches d'amphiboles brunes et de clinopyroxènes verts (20 à 30 %), environ 10 % d'augite brune et 20 % d'olivine (ex. AGL 37, fig. 3) et définissent un groupe central relativement homogène au sein du diagramme amphibole-clinopyroxène vert-sphène (fig. 4). Ces spectres peuvent être attribués au remaniement de laves et de pyroclastites antérieures, sans que l'incidence d'émissions contemporaines puisse être établie. Les amphiboles et les clinopyroxènes vert proviennent en partie de l'érosion des éjectas de la période d'activité moyenne du Sancy et l'augite brune et l'olivine sont principalement issues des basaltes alluvionnés. L'aspect fréquemment fragmenté et émoussé des grains cadre avec ces hypothèses.

Plus au nord, en rive gauche de l'Allier (fig. 2e), il est souvent plus difficile de reconnaître deux unités, et les coupes situées à l'est de Saint-Priest-Bramefant ne montrent qu'une nappe de cailloutis aux caractéristiques minéralogiques proches rapportée à Fwa.

En Limagne des Buttes, plusieurs lambeaux de terrasse de 35-40 m d'altitude relative (Fwa2, Fwa3, fig. 2d) présentent aussi des minéralogies comparables. Il est toutefois impossible d'affirmer si elles correspondent à l'unité Fwa de Grande Limagne ou si elles représentent des unités intermédiaires à représentation locale.

Plus intéressante est la présence dans ce secteur à Longues, d'un lambeau fortement influencé par une émission trachytique à clinopyroxène vert et sphène attribuable au début de la phase d'activité terminale du Sancy (Fwa1, fig. 2d). Sans en constituer l'équivalent strict, il présente de fortes affinités avec les alluvions ponceuses de Sauvagnat-Sainte-Marthe (« Autard ») dans la vallée de la Couze Chambon (Pastre, 1982, 1987), qui se situent en même position morphostratigraphique et qu'il est possible de corréler à la coulée de ponces du Barbier située vers 0,45 Ma dans la téphrostratigraphie du Mont-Dore (Pastre et Cantagrel, 2001). Cette corrélation, si elle fournit un point d'ancrage pour le calage chronologique de ces niveaux, ne résout cependant pas leur chronostratigraphie de manière satisfaisante. Si l'unité Fwa de Grande Limagne est indiscutablement postérieure à la coulée de ponces de Neschers ( $0,58 \pm 0,01$  Ma, Lo Bello *et al.*, 1987) et probablement antérieure ou proche contemporaine des pyroclastites trachytiques marquant le début de l'activité terminale du Sancy (type Barbier), l'absence de liaison sédimentologique claire de ces dernières avec les terrasses Fwb de Grande Limagne ne permet pas

d'établir de manière certaine leurs relations chronostratigraphiques. Soit les produits pyroclastiques émis l'ont été relativement avant le dépôt des terrasses Fwb, et leur stock minéralogique caractéristique a été suffisamment remanié, dilué, pour ne pas être clairement reconnaissable, soit ils ont été mis en place juste après et largement évacués avant la mise en place des terrasses Fwc.

Ces données conduisent cependant à envisager la corrélation possible de ces nappes alluviales avec le stade 12 (Fwa) et le stade 10 (Fwb), mais leur décalage durant les stades 14 à 12 ne peut être complètement exclu. Compte-tenu de leur niveau de dissection et de leur variabilité altitudinale, on ne peut pas non plus totalement exclure l'existence d'un plus grand nombre d'unités (3, voire 4 ?), que la parenté des cortèges minéralogiques observés ne permet pas de résoudre. Ces résultats peuvent en particulier être comparés avec les données obtenues dans la vallée de la Creuse où de nombreuses terrasses rapportées aux stades 10 et 12 ont été datées par RPE (Voinchet, 2002, Despriée *et al.*, 2004).

**Les terrasses Fwc**, comportent probablement deux sous-unités inscrites entre 20 et 30 m d'altitude relative.

La première, caractéristique de la Limagne des Buttes, est marquée par l'abondance de clinopyroxène vert et la disparition presque totale du sphène (ex. ech. AGL 32, fig. 3 ; fig. 4). Cette évolution minéralogique est caractéristique des produits pyroclastiques terminaux du Sancy. Elle est en particulier typique des coulées latitiques de cendres et blocs (« nuées ardentes ») des sommets du Sancy (ex. Cliegue, Sancy) et des coulées de ponces de cette période, comme la coulée de la Tache, pyroclastites mises en place entre 0,4 et 0,25 Ma (Pastre et Cantagrel, 2001), mais visiblement plus fréquentes vers 0,3 Ma. Des produits épicyclastiques dérivés de ces pyroclastites (lahars, alluvions ponceuses), sont bien caractérisables vers 30 m d'altitude relative (380 m NGF) à la confluence entre la Couze Chambon et l'Allier (Pastre, 1987) et corroborent cette corrélation. Outre différents types de latites porphyriques, ils contiennent des soshonites (« doréites ») qui représentent également des laves typiques de ces alluvions en Grande Limagne.

La seconde unité, qui se développe dans le sud de la Grande Limagne (Joze, Maringues, fig. 2e) et semble également présente en Limagne des Buttes (fig. 2d), paraît pouvoir être distinguée sur la base d'altitudes relatives plus basses (20 – 25 m) et d'une certaine « hybridation » de ses cortèges minéralogiques où l'augite verte diminue au profit des autres phases.

Ces terrasses de cailloutis, peu épaisses (– de 3 m), ne semblent pas révélatrices, malgré leur niveau de démantèlement, d'accumulations « climatiques » importantes. Compte-tenu de l'âge moyen des téphras qu'elles remanient, elles semblent pouvoir être rattachées, au moins en partie, au stade 8, une attribution au stade 10 pouvant être également envisagée dans le cadre d'un vieillissement du système (fig. 6).

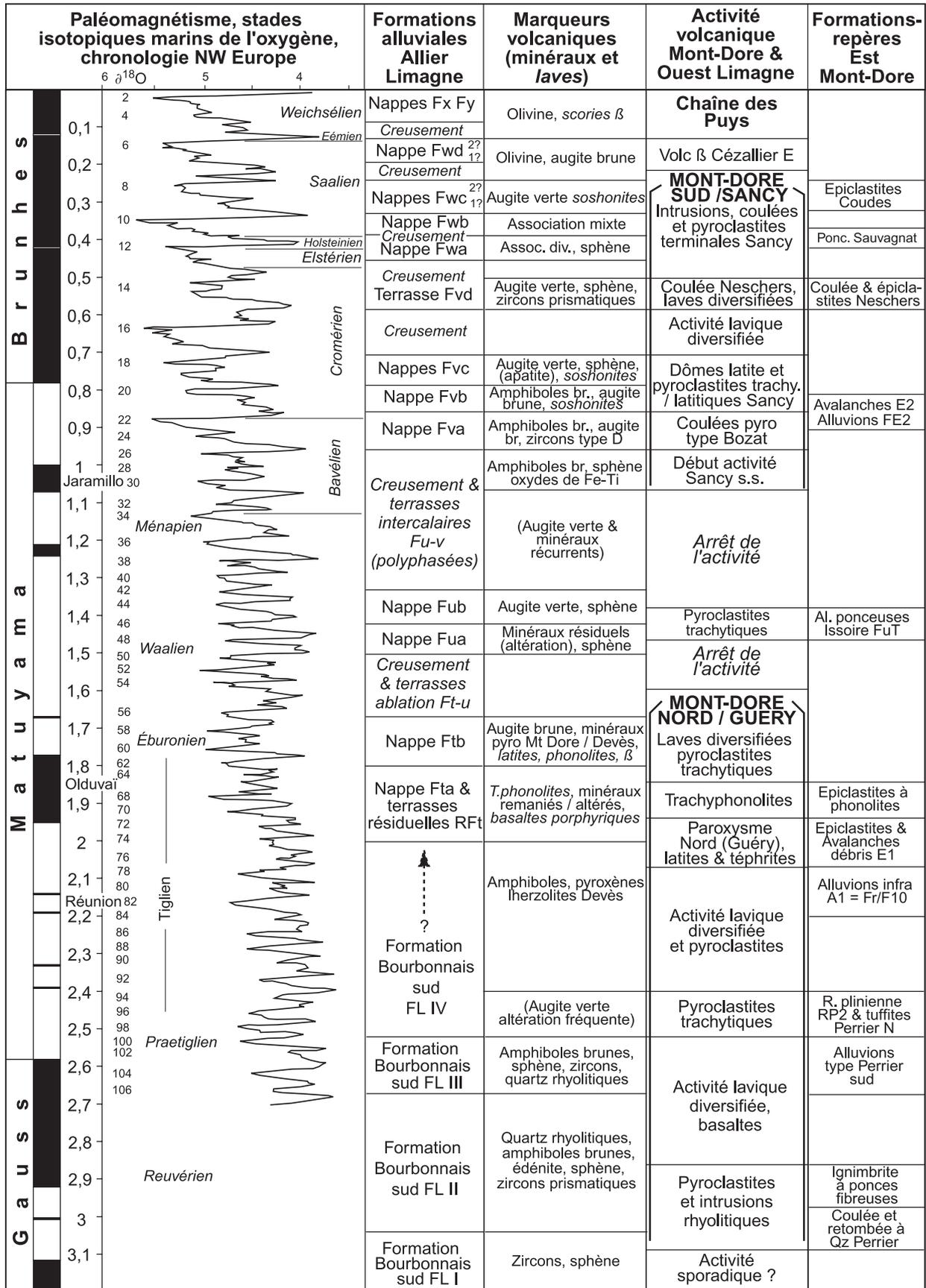


Fig. 6 : Chronostratigraphie générale des formations alluviales quaternaires de l'Allier en Limagne (Limagne des Buttes et Grande Limagne d'Issoire à Vichy), principaux marqueurs volcaniques et corrélations avec le volcanisme de la bordure occidentale de la Limagne (Mont-Dore principalement).

Fig. 6: Chronostratigraphy of the Quaternary fluvial deposits of the river Allier in the Limagne graben (Limagne des Buttes and Grande Limagne from Issoire to Vichy), main volcanic markers and correlations with the volcanism of the western border of the Limagne (mainly the Mont-Dore strato-volcano).

**La terrasse Fwd** est séparée des terrasses Fwc par un creusement d'une quinzaine de mètres. Représentée en moyenne par plus d'une dizaine de mètres de cailloutis stratifiés, elle témoigne d'une phase d'accumulation climato-sédimentaire importante, en dépit de son démantèlement important. Si les coupes les plus importantes (ex. Dallet) permettent de retenir l'existence d'une unité principale, l'existence d'une seconde unité moins épaisse emboîtée légèrement en contrebas ne peut être exclue (Le Cendre, château de Gondole ; Maringues). Elle ne bénéficie toutefois pas de critères stratigraphiques et sédimentologiques déterminants.

En Limagne des Buttes et en Grande Limagne, cette terrasse est caractérisée par une chute importante des minéraux montdoriers, ce qui dénote un renouvellement important de la charge alluviale depuis le dépôt des unités Fwc. L'augite verte du Mont-Dore passe ainsi de 70 à moins de 20 %. Cette chute coïncide avec l'arrêt de l'activité du strato-volcan et favorise la remontée des minéraux laviques (clinopyroxène brun, olivine). La relative fréquence des amphiboles semble avoir été favorisée par l'influence des facteurs de remaniement et de tri, ce minéral pouvant provenir de zones diverses et résistant assez bien au transport. Toutefois, l'incidence d'émissions contemporaines (réactivation du Cézallier, phases anciennes de la Chaîne des Puys ?) ne peut être écartée. Elle est en tout cas bien établie pour la partie supérieure du dépôt à Dallet (nord de la Limagne des Buttes) où une importante retombée basaltique stromboliennne attribuable à une phase ancienne de la Chaîne des Puys a alimenté la sédimentation d'un chenal terminal marquant la fin de l'accumulation. Son influence sur les cortèges minéralogiques se traduit par un afflux symptomatique de clinopyroxène brun et d'olivine. L'événement qui en est à l'origine n'est malheureusement pas connu à l'heure actuelle, et ce téphra n'est pas daté. Les quelques datations obtenues pour cette activité : 156 ka (Miallier, 1982), 93 ka (Raynal *et al.*, 1984) peuvent s'accorder avec la fourchette chronologique proposée pour la mise en place de cette unité, mais ne permettent pas de la préciser.

Cette terrasse est séparée des nappes du Pléistocène supérieur par un creusement d'une dizaine de mètres. Sa position morphostratigraphique et son développement conduisent à la corréler avec la partie supérieure du Saalien et avec le stade 6. En Limagne des Buttes, plusieurs travertins déposés au sein de cette unité après son dépôt ont été datés par la méthode U/Th (Veldkamp et Kroonenberg, 1993, 2004 ; Rihs *et al.*, 2000). Ils ont donné des âges variés, cependant compatibles avec cette attribution chronostratigraphique (ex. 160 000 ± 10 000, 119 000 ± 13 000, 93 000 ± 5000, Veldkamp et Kroonenberg, 1993).

#### 4.6 - LES BASSES NAPPES DU PLÉISTOCÈNE SUPÉRIEUR ET DU DÉBUT DE L'HOLOCÈNE (Fx et Fy)

La nappe Fx est bien développée en Grande Limagne où elle peut atteindre une vingtaine de mètres d'épaisseur

à Pont-du-Château. Dans plusieurs secteurs (ex. les Martres d'Artières), elle se subdivise en surface en deux niveaux topographiques (Fx1 et Fx2), suivis en contrebas par un nouveau palier rattaché à l'unité Fy. Les coupes observées ne permettent pas de préciser si ces niveaux correspondent à de véritables nappes emboîtées en profondeur ou plus probablement à des emboitements plus superficiels (nappes superficielles « ravinantes » reposant sur un corps principal unique étendu à tout le lit majeur). L'hypothèse de simples paliers d'érosion locaux peut également être formulée pour plusieurs niveaux Fx2. La disjonction stratigraphique générale entre Fx et Fy, retenue dans les coupes de la fig. 2, et établie dans certains secteurs (ex. confluence Couze Pavin / Allier), est ainsi plus théorique que systématique. Les niveaux subactuels et actuels Fy-z et Fz, non représentés, s'alimentent quant à eux essentiellement aux dépens de ces niveaux antérieurs.

Aux environs de Pont-du-Château / Les Martres d'Artières, l'unité Fx1 débute par un cailloutis très grossier à galets de basalte abondant, qui est suivi par le corps principal sablo-graveux à stratifications horizontales et incurvées. Les unités Fx2 et Fy présentent des faciès sablo-graveux et sableux variables latéralement. La surface de Fx2 est recoupée par plusieurs paléochenaux, probablement hérités de la transition Pléniglaciaire/Postglaciaire (Tardiglaciaire, début Holocène ?), colmatés par des dépôts colluviaux attribuables pour l'essentiel à la seconde partie de l'Holocène.

Les galets contenus dans ces dépôts comprennent différents basaltes, scories et mugéarites attribuables au volcanisme de la Chaîne des Puys. Cependant aucun marqueur particulier ne peut être dégagé de ce fond volcanique ubiquiste. Les cortèges de minéraux lourds sont dominés de manière caractéristique par de l'olivine non altérée issue des basaltes. Elle est suivie par les clinopyroxènes bruns et les amphiboles (ex. AGL 50, fig. 3). L'augite verte du Mont-Dore ne représente désormais plus que quelques pour-cent. Cette évolution dénote l'importance des phénomènes mécaniques dans la constitution de ce stock. La contribution restreinte de téphras contemporains de la Chaîne des Puys n'y est pas discernable.

L'essentiel de l'accumulation Fx semble datable du Pléniglaciaire supérieur. Une chronologie en a été proposée par Veldkamp et Kroonenberg (1993) et Veldkamp *et al.* (2004) et reliée à quatre unités lithostratigraphiques X<sub>I</sub> à X<sub>IV</sub>. La partie inférieure de l'accumulation (X<sub>I</sub>) a été datée à environ 30 ka. Un horizon cryoturbé dans ses deux mètres supérieurs a donné un âge radiocarbone de 16 585 ± 250 BP. L'unité X<sub>III</sub> a été située entre 16 500 et 11 500 BP et les sédiments de X<sub>IV</sub> entre 11 380 ± 100 et 7310 ± 70 BP. Les plus vieux sédiments (« ZY ») de chenaux incisant les sédiments X<sub>IV</sub> ont été datés à 6 230 ± 100 BP. Si ces résultats sont cohérents entre eux, il convient toutefois de signaler la difficulté à différencier sur le terrain les niveaux II à IV et de les relier aux niveaux cartographiés par les cartes

au 1/50 000<sup>ème</sup>. Ces résultats sont globalement en accord avec ceux obtenus par Straffin *et al.* (1999) dans la zone de confluence entre la Loire et l'Arroux où l'unité locale Fx (= « T5 ») a été datée entre 23.2 et 11.1 ka et l'unité locale Fy (T4) entre 7.3 et 5.6 ka. Ces données sont concordantes avec les observations réalisées dans la basse vallée de la Couze Pavin à Issoire où l'unité Fy, qui constitue la nappe de fond de vallée, remanie en abondance des cendres et des scories fraîches provenant très probablement du cratère de Montcineyre, appareil daté à environ 6 ka BP (Gewelt et Juvigné, 1988). La persistance d'une sédimentation grossière importante jusque vers 6 ka semblerait ainsi constituer une tendance régionale caractéristique liée au déstockage de sédiments accumulés dans les zones amont lors du Pléni-glaciaire. En Limagne du Sud, la conservation limitée de la partie supérieure de Fx s'inscrit dans cette logique, mais il est probable que l'unité Fy en recouvre aussi largement la partie inférieure dont elle n'est guère discernable, compte-tenu de la similitude des sédiments et de la rareté des coupes observables.

## 5 - CONTINUITÉ ET DISCONTINUITÉ DU SYSTÈME DE TERRASSES

Le schéma défini précédemment montre l'important développement chronologique du système de terrasses de l'Allier en Limagne mais également sa grande disparité spatio-temporelle. À la discontinuité des dépôts dans le temps, s'ajoutent des lacunes importantes liées à l'érosion des dépôts entre chaque cycle, mais cette érosion apparaît inégale dans l'espace et le temps. Quant à l'altimétrie des dépôts, si elle fournit souvent un critère de corrélation fiable entre les dépôts d'un même secteur, elle montre aussi rapidement ses limites quand on la confronte aux données sédimentologiques et stratigraphiques des cycles les mieux connus ou quand on cherche à l'utiliser pour la corrélation d'ensembles distants. La continuité morphologique de certains niveaux n'est pas forcément garante de leur continuité sédimentaire et par conséquent de leur âge. Plusieurs aspects caractéristiques peuvent ainsi être retenus et confrontés aux données régionales.

### 5.1 - LES CREUSEMENTS INTER-CYCLES

Les phases de creusement qui séparent les différents groupes de nappes alluviales sont de durée et d'ampleur très inégale. La réponse de l'incision aux mouvements positifs attribués à la croûte (Westaway, 2004) semble avoir été largement modulée par les conditions climato-sédimentaires et il s'avère souvent délicat d'individualiser chronologiquement l'une ou l'autre cause.

Les données obtenues en Limagne bourbonnaise (environs de Randan) et en Limagne du Sud (horst de Brassac, Perrier) pour la fin du Pliocène supérieur et le début du Pléistocène inférieur montrent le fort

ralentissement du creusement durant la période comprise entre environ 3 et 2 Ma. A Perrier, l'alternance des phases de sédimentation alluviale et de creusement comprises entre l'ignimbrite à ponces fibreuses (âge  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  :  $3,07 \pm 0,02$  Ma, Féraud *et al.*, 1990) et les avalanches de débris du Mont-Dore (âge situé vers 2 Ma, Poidevin *et al.*, 1984) se traduit par un bilan global d'encaissement pratiquement nul, les poudingues alluviaux marquant la base de chaque séquence se situant dans une tranche altimétrique proche ( $480 \pm 5$  m). La situation n'est pas fondamentalement différente pour les Sables du Bourbonnais aux environs de Randan. Bien que moins précis, les jalons chrono-altimétriques fournis par les cailloutis graveleux ante 3 Ma d'Effiat (388 m), le sommet de la sédimentation mal daté (fourchette 2,5 – 2 Ma) à Randan (vers 405 m), la nappe alluviale Ft post 2 Ma étagée en contrebas (375 m), établissent également la faiblesse du bilan global d'encaissement durant cette période. L'intercalation d'épisodes d'incision au sein de la sédimentation sablo-graveleuse n'a pas réussi à prendre le pas sur l'importance globale du déstockage des arènes de socle, qui semble avoir contribué de manière prépondérante à l'alimentation du système alluvial. Cette phase d'apport sédimentaire semble avoir freiné l'influence des mouvements tectoniques dont le ralentissement n'est alors pas établi. L'importance du creusement (+ de 50 m) réalisé au cours de la seconde moitié du Pléistocène inférieur après 2 Ma, montre l'importance du rôle joué par les processus d'érosion linéaire au cours de cette période. Si le démantèlement total de certaines terrasses ne peut être écarté, le développement des unités observées permet cependant de croire que la multiplication de nappes d'accumulation importantes aurait laissé des traces plus significatives. Ni la durée moyenne des cycles climatiques de  $\approx 45$  ka durant cette période, ni l'impact de leurs phases les plus rigoureuses n'auraient alors été globalement favorables à la formation de dépôts conséquents. Hormis les unités Fu, dont les conditions génétiques ont été discutées, on peut donc penser que l'accumulation sédimentaire trop faible des autres dépôts (type Ft / Fu-v) ne les a que rarement préservés des actions postérieures de l'érosion. La rupture intervenue à la fin du Pléistocène inférieur (0,9-0,7 Ma) avec la mise en place des unités Fv, et en premier lieu la nappe Fva, première unité grossière à développement important, inaugure l'entrée véritable dans le système de nappes d'accumulation climatiques attribuables à des péjorations froides. En dépit des imprécisions chronologiques, elle semble s'accompagner par une stagnation relativement durable du creusement (ordre estimé d'après les différentes datations radiométriques : 0,2 Ma), puis la reprise de celui-ci conduit à un nouvel encaissement supérieur à 20 m jusqu'au dépôt des unités Fw. Le faible développement des unités intermédiaires (type Fvd / Fv-w) corrobore leur absence de liaison manifeste avec des phénomènes climato-sédimentaires importants. La mise en place des terrasses Fw est entrecoupée par des phases de creusement limitées (- de 10 m) mais vigoureuses, qui

associent sans doute un cumul d'épisodes intervenus préférentiellement en fin et en début de cycle.

## 5.2 - CONTINUITÉ ET DISCONTINUITÉS MORPHO-STRATIGRAPHIQUES LONGITUDINALES

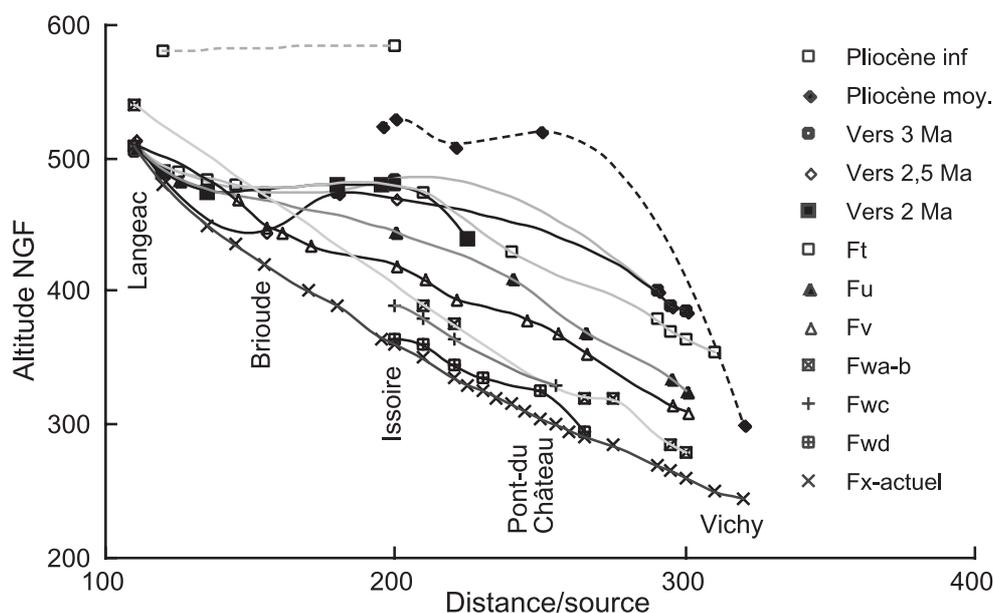
Les corrélations minéralogiques établies pour les terrasses de la Limagne des Buttes et de la Grande Limagne montrent la constance générale de l'étagement des principales unités dans ces secteurs. Les altitudes relatives ne varient globalement que d'une dizaine de mètres d'amont en aval pour les terrasses des cycles Fv et Fw et les unités antérieures, bien que de répartition plus ponctuelle, se situent également à des niveaux proches. La progression générale du creusement y a donc été relativement homogène. Cette distribution altitudinale également applicable à la Limagne d'Issoire montre que le horst de Saint-Yvoine et la tectonique quaternaire n'ont pas exercé une influence déterminante sur l'étagement des unités dans ce secteur. L'altitude relative légèrement plus faible des alluvions Fva et Fvb de la Croix-Saint-Antoine à Issoire (55 m) par rapport à celles de l'aval (65-70 m) pourrait toutefois en exprimer la faible incidence. En revanche, les données obtenues pour le reste de la Limagne du Sud et la Limagne bourbonnaise montrent des différences notables.

La contraction altitudinale du système de terrasses de la Limagne de Brioude est à mettre en relation probable avec le mouvement d'enfoncement général de la Limagne du Sud du nord vers le sud, prolongé plus au sud dans la haute vallée de l'Allier (Pastre, 1987). Si ce mouvement négatif est difficile à mettre en évidence, bien que probable, pour les terrasses quaternaires dont les altitudes relatives sont toujours plus faibles (mais le creusement est également plus réduit), il est en

revanche clairement établi pour les formations plio-pléistocènes situées en contre-pente ou en pente nulle par rapport aux formations aval (fig. 7). L'attribution de ce mouvement à un rééquilibrage isostatique de la croûte, lié à l'émission des basaltes du Devès (Westaway, 2004), constitue une hypothèse pertinente. Si un ployage général de la série oligocène vers le sud semble probable en dépit de pentages variables, l'intervention de déformations cassantes « en relais » plus ou moins calquées sur le réseau hydrographique actuel (Allagnon, Couze d'Ardes) et les bordures du horst de Brassac pourrait en constituer la cause principale.

La contraction du système de terrasses au nord de Vichy semble aussi devoir être mis au compte d'un mouvement négatif de la zone. L'existence d'une flexure active au nord de Randan a été proposée (Le Griel, 1983, 1991), mais la faille d'Aigueperse qui affecte ce secteur en constitue plus probablement la charnière réelle. Ce dispositif expliquerait ainsi le recoupement des hautes terrasses dans cette zone influencé par la poursuite possible durant le Quaternaire du mouvement négatif de la cuvette bourbonnaise et/ou de la poursuite de la surrection du bloc limagnais.

Ces hypothèses ne prennent cependant pas en compte le rôle additionnel difficilement estimable joué par les facteurs hydrosédimentaires propres à ces secteurs. En ce qui concerne la Limagne du Sud, la surcharge sédimentaire liée à l'arrivée des basaltes du Devès dans le bassin de Brioude et le rôle de verrou joué plus au nord par le horst de Brassac ont pu, comme en témoigne peut-être la répliation des unités Fv à des niveaux proches, y favoriser une sédimentation polyphasée et y ralentir le creusement. En Limagne bourbonnaise, la réduction de la pente, du calibre et de la charge a pu y multiplier les recyclages alluviaux et y diminuer la capacité de creusement de la rivière.



**Fig. 7 : Profil longitudinal simplifié des formations alluviales de l'Allier en Limagne.**

*Fig. 7: Simplified longitudinal profile of the river Allier fluvial deposits in the Limagne graben area.*

### 5.3 - CONTINUITÉ GÉOMORPHOLOGIQUE ET DISCONTINUITÉS SÉDIMENTAIRES

Les données fournies par la minéralogie et la pétrographie montrent les limites des critères de définition géomorphologique des nappes alluviales fondés sur les altitudes relatives. Chaque terrasse, au sens morphologique du terme, constitue en fait souvent un ensemble de plusieurs nappes emboîtées situées à des altitudes similaires et présentant des faciès comparables.

Le cas du cycle Fv en Grande Limagne constitue à cet égard un des plus significatifs. La nappe Fva présente des spectres de minéraux lourds très caractéristiques à amphiboles et clinopyroxènes bruns. La figure 5a l'illustre bien pour les différents niveaux de la séquence de Saint-Sylvestre-Pragoulin. Ces mêmes spectres se retrouvent dans la nappe Fvb, mais celle-ci intègre des niveaux intermédiaires très différents à clinopyroxènes verts du Sancy, comme en témoigne la fig. 5b (Mons, Les Rigaudanches) et remanie des laves (soshonites porphyriques) issues des avalanches de débris E2 du Sancy intercalées entre les deux unités. Les terrasses Fvc qui leur font suite se caractérisent par leur richesse en augite verte et en sphène, caractéristiques de nouvelles émissions trachytiques du Sancy, et témoignent d'un renouvellement important du stock alluvial. Ces données permettent ainsi d'envisager la stagnation du creusement à un niveau comparable lors d'un même cycle climato-sédimentaire. La nappe Fva, représentée dans de nombreuses localités, peut être interprétée comme le corps sédimentaire principal, marquant probablement la phase de dégradation climatique principale. Les nappes Fvb et Fvc en constituent des « répliques » emboîtées, marquant soit des épisodes climatiques secondaires, soit des épisodes de sédimentation locaux liés au rééquilibrage progressif du système. La récurrence des apports à amphiboles et clinopyroxènes bruns au sein de Fvb (fig. 5b) semble dénoter un remaniement important du stock alluvial de Fva, dans lequel les apports contemporains à clinopyroxène vert et sphène ne jouent qu'un rôle sporadique. Seules les unités Fvc, plus tardives et moins développées, montrent un véritable renouvellement de la charge, alimentée, il est vrai, par des émissions pyroclastiques contemporaines importantes.

L'exemple des terrasses Fv de la Limagne de Brioude est également démonstratif. Les alluvions sous-basaltiques Fv1 de Lamothe, la terrasse Fv2 de l'aérodrome de Brioude en rive gauche et la terrasse Fv3 de Fontannes en rive droite, que leur faciès et leurs altitudes proches pourraient inciter à rattacher à une même unité (fig. 2a), constituent en fait trois nappes alluviales distinctes, clairement différenciées par leurs spectres de minéraux lourds.

Ces données démontrent ainsi la complexité du système morphosédimentaire et la difficulté de sa lecture stratigraphique. Chaque terrasse, au sens géomorphologique du terme, peut en fait comporter deux, trois, voire quatre nappes emboîtées d'ampleur inégale, situées à des niveaux altimétriques équivalents ou proches. Bien

que les emboîtements ne soient jamais visibles sur le terrain, compte-tenu de la ponctualité des affleurements et du niveau de dissection des unités, les critères minéralogiques et morphostratigraphiques exposés, laissent peu de doute sur la pertinence de ce dispositif. La difficulté de discerner les unités en dehors des périodes d'apport volcanique contrasté ne permet pas ainsi d'écarter le polyphasage possible des unités définies sur la simple base de critères géomorphologiques et sédimentologiques convergents.

### 5.4 - LES DISCONTINUITÉS D'ORIGINE ÉROSIVE

Le niveau de dissection des différentes unités est variable selon les secteurs et les unités. Comme cela a déjà été souligné, il dépend à la fois du contexte géomorphologique local (encaissement ou élargissement de la vallée) et de la place des unités dans la chronologie du système. En dépit des nombreuses lacunes sectorielles constatées, la répartition chronostratigraphique et géomorphologique des différents témoins permet de penser que la majorité des nappes d'accumulation présentes initialement sont représentées dans le système de la Limagne des Buttes et de la Grande Limagne. Le système de la Limagne du Sud apparaît par contre beaucoup plus lacunaire. La stagnation de l'encaissement à un niveau proche a sans doute favorisé le démantèlement de certaines unités par migration latérale du cours. Par contre, les épisodes d'incision les plus vigoureux ont pu protéger des unités secondaires d'une disparition complète rapide.

Si les nappes du Pléistocène inférieur ne sont conservées que très localement, la conservation des nappes du Pléistocène moyen et du Pléistocène supérieur varie plus selon leur position géomorphologique dans la vallée qu'en fonction de l'importance de leur âge.

En Grande Limagne les nappes d'accumulation du groupe Fv (fin du Pléistocène inférieur) sont relativement bien conservées et les nappes Fwa et Fwb également. Par contre, la ou les nappes Fwc, moins épaisses, et situées à un niveau de creusement plus bas coïncidant avec un rétrécissement probable du lit majeur contemporain, sont très dégradées. La nappe Fwd, attribuée au Saalien récent, qui constituait à l'origine un remblaiement alluvial important, ne subsiste plus qu'en quelques points. Elle a été fortement démantelée par une érosion latérale qui pourrait se situer principalement au début du dernier Glaciaire. La nappe Fx, bien représentée en Grande Limagne, présente vers l'amont une distribution beaucoup plus irrégulière, attribuable à son érosion et à son recouvrement éventuel par les alluvions Fy.

## 6 - CONCLUSION

Les corrélations minéralogiques et pétrographiques réalisées entre les alluvions et le volcanisme bordier contemporain permettent de proposer un schéma chronostratigraphique cohérent du système de nappes

alluviales de l'Allier en Limagne (fig. 6). Bien que la précision de ce schéma soit assujettie au synchronisme variable de l'activité volcanique et de la mise en place des dépôts fluviaux, il constitue un exemple caractéristique relativement unique s'appliquant à une des successions alluviales les plus longues et les plus complètes d'Europe. Le rôle majeur joué par les pyroclastites du Mont-Dore dans l'alimentation sédimentologique rapide de la fraction sableuse contemporaine confère aux associations de minéraux lourds qui en sont issues un rôle discriminant essentiel pour la caractérisation des dépôts entre 3 et 0,25 Ma. La corrélation des unités ainsi réalisée à l'aval du strato-volcan entre Issoire et Vichy montre la relative constance de leur étagement et le fonctionnement morphosédimentaire globalement homogène de ce secteur de la Limagne au cours du Quaternaire. L'attribution générale de ce système morphosédimentaire à un mouvement surrectif général de cette zone ne réfute pas l'évaluation délicate de la variation de ce mouvement au cours du temps, et la modulation importante de ses effets par les apports sédimentaires liés aux variations climatiques quaternaires. Ce fonctionnement permet d'envisager un diachronisme plus ou moins important des réponses constatées au niveau du creusement et de la sédimentation. Vers l'amont, en Limagne du Sud, bien que les niveaux soient également souvent discernables grâce aux minéraux volcaniques du Devès, leur alimentation beaucoup plus sporadique par des retombées aériennes du Mont-Dore réduit les possibilités de corrélation par rapport à l'activité du strato-volcan. La contraction altitudinale du système d'étagement du nord vers le sud n'en semble pas moins établie pour cette zone méridionale. Si le transit alluvial important, y a sans doute ralenti le creusement, la persistance probable lors du Quaternaire des mouvements tectoniques négatifs, bien attestés pour les dépôts pliocènes, peut être regardé également comme une cause vraisemblable de ce ralentissement. Une interprétation proche semble également applicable à la Limagne bourbonnaise.

De manière plus générale, les grandes lignes du système défini permettent de reconnaître :

(1) une première série de dépôts emboîtés, s'inscrivant dans une tendance générale aggradante, séparée par des phases d'incision limitées au cours de la fin du Pliocène supérieur / début du Pléistocène inférieur *s.l* (de 3 à 2 Ma environ),

(2) une série de hautes terrasses très discontinue dans le temps, jalonnant une tendance générale au creusement au cours de la phase principale du Pléistocène inférieur (de 2 à 1 Ma environ),

(3) un premier groupe significatif de terrasses climatiques à la fin du Pléistocène inférieur (Fv, 0,9 à 0,7 Ma environ),

(4) un second groupe de terrasses important au cours du Pléistocène moyen (Fw, d'environ 0,5 à 0,1 Ma),

(5) les nappes du Pléistocène supérieur (Fx) et du début de l'Holocène (Fy).

Au delà de son intérêt chronostratigraphique, l'apport du schéma proposé est de montrer la complexité du système étudié et l'importance de ses discontinuités temporelles et latitudinales. Il illustre ainsi la prudence dont il convient d'user dans la corrélation de formations alluviales discontinues non définies par une pluralité de critères stratigraphiques convergents.

Le système chronostratigraphique proposé doit être considéré comme provisoire. La multiplication des datations  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  sur les produits volcaniques du Mont-Dore (téphras, en particulier), la réalisation de datations RPE et OSL sur les dépôts alluviaux devraient permettre de l'améliorer dans les années à venir. Une image plus précise des conditions climatiques synchrones de la mise en place des différentes unités devrait pouvoir par ailleurs être acquise progressivement par l'étude des séquences lacustres contemporaines, datées et corrélées grâce aux téphras du Mont-Dore.

## REMERCIEMENTS & AVERTISSEMENTS

Je remercie Evelyne Debard et un relecteur anonyme pour leurs remarques précieuses qui ont permis d'améliorer la version initiale de ce texte. Ce travail est une contribution au PICG (IGCP) 449 « Global Correlation of Late Cenozoic Fluvial Sequences » et de manière plus générale aux travaux du FLAG (Fluvial Archives Group). Je tiens à la disposition des lecteurs intéressés les données analytiques détaillées fondant ce travail. Je dédie cet article à la mémoire d'Henri Pelletier, auteur de nombreux travaux sur la Limagne, récemment décédé.

## RÉFÉRENCES

- ABLIN, D., 1991** - Analyse pollinique des dépôts lacustres de Ceys-sac, Plio-Pléistocène du Velay (Massif Central, France). *Cahiers de Micropaléontologie*, 6, 21-38.
- ANTOINE, P., 1994** - The Somme valley terrace system (Northern France): a model of river response to quaternary climatic variations since 800 000 BP. *Terra Nova*, 6, 453-464.
- ANTOINE, P., LAUTRIDOU, J.-P. et LAURENT, M., 2000** - Long-term fluvial archives in the NW France: response of the Seine and Somme rivers to tectonic movements, climatic variations and sea-level changes. *Geomorphology*, 33, 183-207.
- BOIVIN, P., 1982** - Interactions entre magmas basaltiques et le manteau supérieur. Arguments apportés par les enclaves basiques des basaltes alcalins : exemple du Devès (Massif Central français) et du volcanisme de la région de Carthagène (Espagne). Thèse de doctorat ès Sciences Naturelles, Clermont-Ferrand, 343 p.
- BOUT, P., 1951** - Sur la présence de quartz bipyramidés rhyolitiques des Monts-Dore dans les dépôts villafranchiens de Perrier et de la Haute-Loire. *Comptes-rendus sommaires de la Société géologique de France*, 2, 13-15.
- BOUT, P., 1960** - *Le Villafranchien du Velay et du bassin hydrographique moyen et supérieur de la Loire*. Thèse de doctorat d'Etat, Le Puy, Imprimerie Jeanne d'Arc, 344 p.
- BESSON, J.C., LY, M.H., CANTAGREL, J.M., GOËR de HERVE, A. de et VINCENT, P.M., 1977** - Une coulée de ponces post-villafranchienne sur le versant oriental du Mont-Dore. *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 284, série D., 1875-1878.
- BOURDIER, J.L. et CANTAGREL, J.M., 1983** - Le volcanisme aux confins des Monts-Dore et du Céallier (Massif Central français) : nouvelles données chronologiques. *Bulletin de la Société géologique de France* (7), 25, 277-280.

- BRIDGLAND, D.R., 2000** - River terrace systems in north-west Europe: an archive of environmental change, uplift and early human occupation. *Quaternary Science Reviews*, 19, 1293-1303.
- CANTAGREL, J.M. et BAUBRON, J.C., 1983** - Chronologie K-Ar des éruptions dans le massif volcanique des Monts-Dore : implications volcanologiques. *Géologie de la France* (2), I, 1-2, 123-142.
- COUTHURES, J. et PASTRE, J.F., 1983** - Chronostratigraphie du Plio-Pleistocène d'Auvergne et du Velay : nouveaux apports des datations radiométriques et du paléomagnétisme. *Bulletin de l'Association Française pour l'Étude du Quaternaire*, 2<sup>ème</sup> série, 13, 9-18.
- CLOCHIATTI, R. et TOURENQ, J., 1971** - Présence de quartz des ponces du Mont-Dore, d'âge pliocène, dans les argiles sableuses du Bourbonnais. *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 273, série D, 2453-2455.
- DESPRIÉE, J., GAGEONNET, R., VOINCHET, P., BAHAIN, J.J., FALGUÈRES, C., DUVIALARD, J. et VARACHE, F., 2004** - Pleistocene fluvial systems of the Creuse river. *Quaternaire*, 15, 2004, 77-86.
- DUFFELL, H., 1999** - Contribution géochronologique à la stratigraphie volcanique du Massif des Monts Dore par la méthode <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar. DEA de l'Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 56 p.
- ETIENNE, R., 1979** - *Le problème du soulèvement récent du socle au-dessus de ses bordures (Massif Central français). Deuxième partie : Morphogenèse et tectogenèse du bassin tertiaire bourbonnais et de ses marges cristallines*. Recherches géomorphologiques sur la bordure du Massif Central français en vue de l'obtention du doctorat d'État, Lyon, 171 p.
- FARJANEL, G., 1985** - Analyse palynologique du sondage des Barreaux (Moulins). *Rapport technique du département Géologie BRGM n° 85 GEO SED 086*.
- FÉRAUD, G., LO BELLO, Ph, HALL, C.M., CANTAGREL, J.M., YORK, D. et BERNAT, M., 1990** - Direct dating of Quaternary pumices by <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar step-heating and single-grain laser fusion methods: the example of the Monts-Dore massif (Massif Central, France). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 40, 39-53.
- FOURIS, M., 1989** - *Les sites villafranchiens du Devès et les basaltes de la vallée de l'Allier : application de la méthode K-Ar*. Thèse de l'Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 206 p.
- GAGNOL, I., 1987** - *Typologie et géochimie du zircon dans les laves alcalines différenciées*. Thèse de doctorat de l'Université de Nice, 228 p. et annexes.
- GEWELT, M. et JUVIGNÉ, E., 1988** - Téphrochronologie du Tardiglaciaire et de l'Holocène dans le Cantal, le Cézallier et les Monts Dore (Massif Central, France) : résultats nouveaux et synthèse. *Bulletin de l'Association Française pour l'Étude du Quaternaire*, 1988-1, 25-34.
- HEINTZ, E., 1970** - *Les Cervidés villafranchiens de France et d'Espagne*. Thèse de doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles, Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, nouvelle série C, 22, 303 p.
- HEINTZ, E., GUÉRIN, C., MARTIN, R. et PRAT, F., 1974** - Principaux gisements villafranchiens de France : Listes fauniques et biostratigraphie. 5<sup>ème</sup> congrès du Néogène méditerranéen. *Mémoires du BRGM*, 1, 78, 169-182.
- 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 de doctorat ès Lettres, Clermont-Ferrand, 543 p.
- LAVINA, P., 1985** - *Le volcan du Sancy et le « Massif adventif »*. Études volcanologiques et structurales. Thèse de III<sup>ème</sup> cycle, Université de Clermont II, 211 p.
- LEAKE, B.E., WOOLEY, A.R., ARPS, C.E.S., BIRCH, W.D., GILBER, C., GRICE, J.D., HAWTHORNE, F.C., KATO, A., KISCH, H.J., KRIVOVICHEV, V.G., LINTHOUT, K., LAIRD, J., MANDARINO, J.A., MARESCH, W.V., NICKEL, E.H., ROCK, N.M.S., SCHUMACHER, J.C., SMITH, D.C., STEPHENSON, N.C.N., UNGARETTI, L., WHITAKER, E.J.W. & YOUZHI, G., 1997** - Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *American Mineralogist*, 82, 1019-1037.
- LE GRIEL, A., 1983** - Age des principales étapes du dépôt des Sables et Argiles du Bourbonnais. *Revue de Géologie dynamique et de Géographie physique*, 24, 5, 425-433.
- LE GRIEL, A., 1991** - *L'évolution géomorphologique du Massif Central français*, Thèse de doctorat d'Etat ès Lettres, Saint-Etienne, 2 vol., 659 p. + 1 vol. figures.
- LO BELLO, P., 1988** - *Géochronologie par la méthode <sup>39</sup>Ar/<sup>40</sup>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 de l'Université de Nice, 115 p. et annexes.
- LO BELLO, P., FÉRAUD, G., HALL, C.M., YORK, D., LAVINA, P. et BERNAT, M., 1987** - <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar step heating and laser fusion dating of a quaternary pumice from Neschers, Massif Central, France: The defeat of xenocrystic contamination. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, 66, 61-71.
- LY, M.H., 1982** - *Le plateau de Perrier et la Limagne du Sud : études volcanologiques et chronologiques des produits montdoriens (Massif Central français)*. Thèse de III<sup>ème</sup> cycle, Université de Clermont-Ferrand II, 180 p.
- MADDY, D., BRIDGLAND, D. & WESTAWAY, R., 2001** - Uplift-driven valley incision and climate-control driven terrace development in the Thames valley, U.K. *Quaternary International*, 79, 23-36.
- MEILHAUD, R., 1955** - Les minéraux lourds des alluvions néogènes et quaternaires de l'Allier à la hauteur de Clermont-Ferrand. *Revue des Sciences Naturelles d'Auvergne*, 21, 15-34.
- MÉNARD, J.J., 1979** - *Contribution à l'étude pétrogénétique des nappes de ponces du massif volcanique du Mont-Dore (Massif Central français)*. Thèse de doctorat de III<sup>ème</sup> cycle, Université de Paris-sud, Orsay, 105 p.
- MIALLIER, D., 1982** - *L'usage des détecteurs solides de traces dans le cadre de la datation par thermoluminescence*. Thèse de doctorat de III<sup>ème</sup> cycle, Université de Clermont-Ferrand II, 115 p.
- MOREL, J.M., 1987** - *Volcanologie du massif de l'Aiguiller (Mont Dore, Massif Central français) : étude pétrographique, dynamique, structurale et rhéologie des coulées de boue associées*. Thèse de l'Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 199 p.
- MORIMOTO, N., FABRIÈS, J., FERGUSON, A.K., GINZBURG, I.V., ROSS, M., SEIFFERT, F.A., ZUSSMAN, J., AOKI, K. et GOTTARDI, G., 1988** - Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine*, 52, 535-550.
- PASTRE, J.F., 1982** - Contribution à l'étude des formations volcaniques et alluviales de la basse Couze Chambon (Massif Central français). *Bulletin de l'Association Française pour l'Étude du Quaternaire*, 2<sup>ème</sup> série, 9, 13-27.
- PASTRE, J.F., 1986a** - Les alluvions de l'Allier en Limagne et le volcanisme régional (Massif Central, France) : corrélations minéralogiques et pétrographiques. *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 303 série II, 731-736.
- PASTRE, J.F., 1986b** - Altération et paléoaltération des minéraux lourds des alluvions pliocènes et pléistocènes du bassin de l'Allier (Massif Central, France). *Bulletin de l'Association Française pour l'Étude du Quaternaire*, 2<sup>ème</sup> série, 27-28, 257-269.
- PASTRE, J.F., 1987** - *Les formations plio-quaternaires du bassin de l'Allier et le volcanisme régional (Massif Central, France). Rapports géodynamiques, corrélations téphrochronologiques, implications*. Thèse de doctorat de l'Université Paris VI - Mémoires des Sciences de la Terre Université Curie, Paris n° 87-32, 733 p.
- PASTRE, J.F., 2004** - The Perrier Plateau: A Plio-Pleistocene long fluvial record in the river Allier, Massif Central, France. *Quaternaire*, 15 (1-2), 87-101.
- PASTRE, J.F. et CANTAGREL, J.-M., 2001** - Téphrostratigraphie du Mont-Dore (Massif Central, France). *Quaternaire*, 12, 249-267.
- PASTRE, J.F., DEFIVE, E., GABLIÈRE, F. et LAGEAT, Y., 1997** - Changements hydrographiques et volcanisme plio-quaternaire dans les bassins de la Loire et de l'Allier (Massif Central, France). *Géographie physique et Quaternaire*, 51, 295-314.
- PELLETIER, H., 1971** - *Sur les minéraux lourds transparents des alluvions anciennes et récentes de la Limagne d'Auvergne*. Thèse d'Université de l'Université de Clermont-Ferrand, 78 p.

- POIDEVIN, J.L., CANTAGREL, J.M. & GUERPPA, 1984** - Un site unique du Plio-Pléistocène en Europe : le plateau de Perrier (Puy-de-Dôme). *Revue des Sciences Naturelles d'Auvergne*, 50, 87-95.
- POLDEVAART, A. & HESS, H.H., 1951** - Pyroxenes in the crystallisation of basaltic magmas. *Journal of Geology*, 59, 472-489.
- PUPIN, J.P., 1976** - Signification des caractères morphologiques du zircon commun des roches en pétrologie. Base de la méthode typologique. Application. Thèse de doctorat d'Etat, Nice, 394 p. + annexes.
- PUPIN, J.P., 1983** - Typologie des zircons des termes saturés intermédiaires et différenciés des séries alcalines du Mont-Dore et de la Chaîne des Puys (Massif Central français). *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, sér. II, 296, 761, 764.
- RAYNAL, J.P., DAUGAS, J.P., PAQUEREAU, M.M., GUADELLI, J.L., MARCHIANI, D., MIALLIER, D., FAIN, J., SANZELLE, S., 1984** - Le maar de Saint-Hippolyte (Puy-de-Dôme, France). Datation par thermoluminescence, flores et faunes fossiles, présence humaine, climatologie et dynamique du système paléo-lacustre. *Revue des Sciences Naturelles d'Auvergne*, 50, 97-114.
- RIHS, S., CONDOMINES, M. et POIDEVIN, J.L., 2000** - Long-term behaviour of continental hydrothermal systems: U-series study of hydrothermal carbonates from the French Massif Central (Allier valley). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64, 3189-3199.
- STRAFFIN, E., BLUM, M., COLLS, A. et STOKES, S., 1999** - Alluvial stratigraphy of the Loire and Arroux rivers (Burgundy, France). *Quaternaire*, 10, 271-282.
- SUC, J.P., BERTINI, A., LEROY, S.A.G. et SUBALLYOVA, D., 1997** - Towards lowering of the Pliocene / Pleistocene boundary to the Gauss / Matuyama reversal. *Quaternary International*, 40, 37-42.
- TOURENQ, J., 1986** - Étude sédimentologique des alluvions de la Loire et de l'Allier, des sources au confluent. Les minéraux lourds des roches des bassins-versants. Documents du BRGM n°108, 108 p.
- TOURENQ, J., 1989** - Les Sables et Argiles du Bourbonnais (Massif central, France). Une formation fluvio-lacustre d'âge pliocène supérieur. Étude minéralogique, sédimentologique et stratigraphique. Thèse de doctorat ès Sciences, Documents du BRGM n°174, 333 p.
- VAN DORSEER, H.J., 1969** - Étude géomorphologique d'une partie de la vallée de l'Allier dans la Grande Limagne, Auvergne, France. Institut International des Levés aériens et des Sciences de la Terre, Delft, 113 p.
- VAN DORSEER, H.J. et PELLETIER, H., 1963** - Simple remarques sur les terrasses de l'Allier entre le horst de Saint-Yvoine et Pont-du-Château. *Revue des Sciences Naturelles d'Auvergne*, 29, 101-112.
- VAN KOLFSCHOTEN, Th. et GIBBARD, P.L., 1998** - The Dawn of the Quaternary: an introduction. *Mededelingen Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO*, 60, 13-17.
- VELDKAMP, A. et KROONENBERG, S.B., 1993** - Late Quaternary chronology of the Allier terrace sediments (Massif Central, France). *Geologie en Mijnbouw*, 72, 179-182.
- VELDKAMP, A., KROONENBERG, S., HEIJNIS, H., VAN DEN BERG VAN SAPAROE, R., 2004** - The suitability of dated travertines as a record of fluvial incision: Allier (France) floodplain dynamics during the late Quaternary. *Quaternaire*, 15, 159-165.
- VOINCHET, P., 2002** - Datation par résonance paramagnétique électronique (RPE) de quartz blanchis extraits de sédiments fluviaux pléistocènes : contribution méthodologique et applications aux systèmes de la Creuse, du Loir et de l'Yonne. Thèse de doctorat du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 234 p.
- WESTAWAY, R., 2004** - Pliocene and Quaternary uplift evidenced by sediments of the Loire-Allier river system (France). *Quaternaire*, 15 (1-2), 103, 115.
- WESTAWAY, R., MADDY, D. & BRIDGLAND, D., 2002** - Flow in the lower continental crust as a mechanism for the Quaternary uplift of south-east England: constraints from the Thames terrace record. *Quaternary Science Reviews*, 21, 559-603.