

Première découverte de traces de pas de vertébrés tétrapodes dans le bassin permien de Brive-la-Gaillarde (Corrèze) *

*First discovery of tetrapod footprints in the Permian basin
of Brive-la-Gaillarde (Corrèze)*

En hommage à Robert Feys (1922-1988)

Georges Gand ⁽¹⁾

Mots-clés : Ichnites (*Anthichnium*, *Limnopus*, *Dimetropus*), Faune tétrapode, Permien, Grès de Meyssac et Argiles de la Bitarelle, Grès de Grammont, Paléoenvironnement, Corrèze (Bassin de Brive-la-Gaillarde).

Résumé

Dans le bassin de Brive-la-Gaillarde, pour la première fois, sont découvertes des traces de vertébrés tétrapodes. Celles-ci proviennent de la formation des « Grès de Meyssac et des Argiles de la Bitarelle » et de celle des « Grès de Grammont », toutes deux localisées dans la partie supérieure de la série permienne, au-dessus de la discordance saaliennne. Ces empreintes appartiennent aux ichnogenres et aux ichnoespèces *Anthichnium salamandroides*, *Limnopus* cf. *zeileri* et *Dimetropus leisnerianus*. A partir de la répartition verticale de *D. leisnerianus* dans le Permien français (plus limitée que celle des deux autres ichnoespèces), des corrélations entre le bassin de Brive et ceux de Lodève et de la Thuringe ont été établies. Elles suggèrent, pour les « Grès de Meyssac », un âge saxonien. Après corrélation, cet âge pourrait être compris entre le Sakmarien et le Kungurien si on se réfère aux nouvelles datations des couches de Tambach de la Thuringe (J. Schneider, 1989).

En association avec d'autres traces d'origine biologique et mécanique, les ichnogenres *Anthichnium* et *Limnopus* (attribués à des Temnospondyles), concourent à caractériser les paléoenvironnements dans la partie sud-est du bassin permien à l'époque du dépôt des « Grès de Grammont ». Ces animaux vivaient au sein de nappes d'eau, vraisemblablement dans une plaine d'inondation à végétation installée. Dans ces environnements exondables, de nombreux crustacés fouisseurs ont fortement bioturbé les sédiments argilo-sableux, fins et micacés.

Les paléoenvironnements de la formation des « Grès de Meyssac » furent probablement proches de ceux des « Grès de Grammont ». Les traces *D. leisnerianus* témoignent de l'existence de Pélycosauriens carnivores vivant dans un milieu également aquatique à végétation installée.

Abstract

For the first time, in the Brive-la-Gaillarde basin, tetrapod footprints have been discovered. They were found both in the Grammont and in the Meyssac Sandstones formations. They belong to the ichnogenus and ichnospecies *Anthichnium salamandroides*, *Limnopus* cf. *zeileri*, *Dimetropus leisnerianus*. The vertical distribution of *D. leisnerianus* is restricted enough in the French Permian to authorize correlations between the Brive-la-Gaillarde and Lodève basins. The dating of the *D. leisnerianus* beds in the formations belonging to the Lodève and Thuringian Forest basins suggest a Saxonian age for the Meyssac Sandstone formation; also, possible a Sakmarien-Kungurian age according to the new dating given by Schneider (1989) for the Tambach footprint-bearing beds in the Thuringian Forest (Germany).

Mechanical and biological tracks, such as *A. salamandroides* and *Limnopus* assigned to Temnospondyls, enable the paleoenvironments of the SE part of the basin during the deposition of the Grammont sediments to be characterized. These animals lived in shallow ponds, distributed in a large basin, similar to a flood plain. In these woody paleoenvironments, lots of active burrowing crustaceans commonly strongly deformed the sediments.

During the deposition of the Meyssac Sandstone formation, the paleoenvironments were probably close to those of the Grammont formation. The presence of *D. leisnerianus* shows that carnivorous Pelycosaurians were, living in the basin.

* Manuscrit reçu le 31 novembre 1991, accepté le 30 décembre 1991.

(1) Centre des Sciences de la Terre de l'Université de Bourgogne et Unité Associée n° 157 du CNRS : Paléontologie analytique et Géodynamique sédimentaire : 6, boulevard Gabriel, 21100 Dijon.

Introduction

Dans le bassin permien de Brive-la-Gaillarde, les fossiles animaux sont très rares. L'essentiel de la faune provient de la formation du Calcaire de Saint-Antoine, localisée dans la base de la série permienne. Celle-ci a fourni *Estheria tenella* (Feys, 1976), des débris de vertébrés, des ostracodes (Lavergne et Châteauneuf, 1988) associés à une abondante flore et microflore étudiée successivement par R. Zeiller (1982), J. Doubinger (1956, 1974) et J.-J. Châteauneuf *et al.* (1980).

Dans les autres formations, hormis des « pistes de vers et des perforations » (Feys 1976, 1989), aucun autre fossile animal n'a été signalé. La première découverte de traces de vertébrés tétrapodes dans le bassin de Brive et en particulier dans des formations rouges, par ailleurs très pauvres en flore déterminable et sans microflore, est donc importante. En association avec les autres empreintes d'origine biologique et mécanique, les traces de vertébrés contribuent à la reconstitution des paléoenvironnements de ces grès dans la partie sud-est du bassin de Brive.

La répartition verticale des ichnoespèces permet ensuite de discuter l'âge des formations fossilifères.

Situations géographique et géologique

La série stratigraphique

Elle a été décrite par plusieurs auteurs. Parmi les plus récents, citons : R. Feys (1976, 1989), P. Lavergne et J.-J. Châteauneuf (1988).

La série sédimentaire débute par le Houiller contenant une flore qui indique « un âge Stéphanien moyen ». Comme dans beaucoup de bassins (Le Creusot-Blanzy, Saint-Affrique,...), cet étage est ensuite surmonté, de manière continue, par le Permien. Dans la région de Meyssac (fig. 1), son épaisseur atteint environ 700 mètres.

La série permienne a été découpée en plusieurs formations à partir de critères de couleurs, lithologiques, tectoniques et quelquefois sédimentologiques. D'après R. Feys (1989), les « Grès et argiles rouges de Brive » sont limités par deux discordances notées D1 et D2 sur la figure 2. D1 correspond à la discordance saaliennaise. Dans ce bassin, elle sépare la partie supérieure des « Grès et argiles rouges de Brive » des « Grès de Grammont » sus-jacents.

Dans cet exposé, il est fait référence à la lithologie de la série permienne de la région de Meyssac définie par R. Feys (1989).

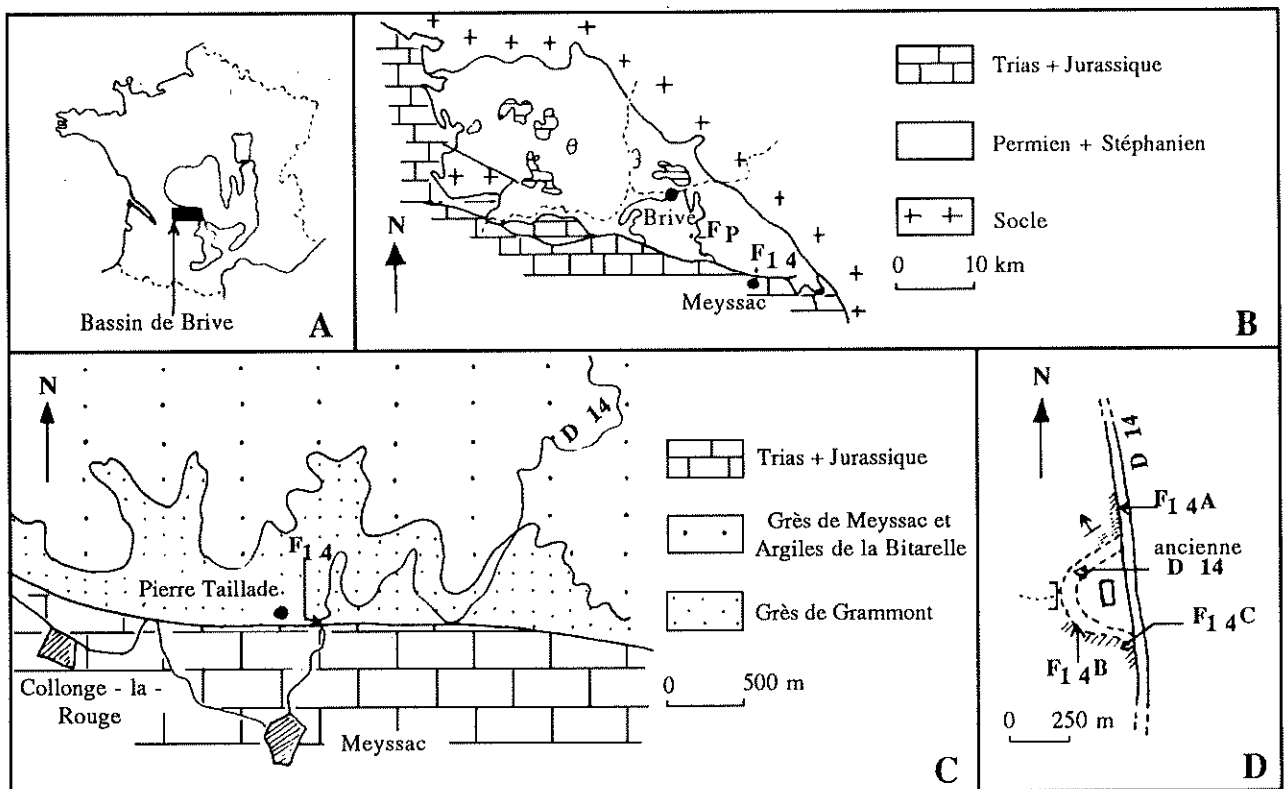


Fig. 1. - A : Le bassin de Brive-la-Gaillarde en France ; B et C : situation des gisements à empreintes F14 et Fp dans le bassin de Brive ; fonds géologiques empruntés, pour B à la carte à 1/1 000 000 de la France et pour C à la carte à 1/50 000 Brive-la-Gaillarde (1976) ; D : localisation du gisement fossilifère F14 au nord de Meyssac.

Fig. 1. - A : the Brive-la-Gaillarde basin (France); B and C : location of deposits with F14 and Fp impressions in the Brive basin; geological base for B taken from 1:100,000-scale Geological Map of France and for C from the 1:50,000-scale Brive-la-Gaillarde sheet (1976). D : location of the F14 fossil-bearing deposit to the north of Meyssac.

Le gisement de Meyssac (F 14, fig. 1 à 3)

Les niveaux à empreintes de vertébrés ont été trouvés par l'auteur en 1991 dans la partie sud-est du bassin de Brive-la-Gaillarde (fig. 1 B), au nord de Meyssac, dans la formation dite des « Grès de Grammont » (fig. 1 C et 2).

Les lits fossilifères, inclinés d'une cinquantaine de degrés vers le nord, appartiennent à des affleurements bordant un ancien virage de la D 14, à 800 m au nord de Meyssac (carte à 1/50 000 Brive-la-Gaillarde ; x = 548, 1 ; y = 307 ; z = 250 et fig. 1 D).

Les « Grès de Grammont » reposent en discordance (Feys, 1989) sur un ensemble de formations daté de l'Autunien à partir de la flore (Doubinger, 1956) et de la microflore (Doubinger... 1974 ; Châteauneuf *et al.* 1980).

Lithologie	Log.	P	Âges (Feys 1989)	
TRIAS				
Grès de la Ramière			SAXONO-THURINGIEN	
Grès de Meyssac et Argiles de la Bitarelle		Fp		
Grès de Grammont				
D 1				
Grès et Argiles rouges de Brive			AUTUNIEN	
Grès du Verdier		F14		
D 2				
Grès à Walchia				
Calcaire de St. Antoine				
Grès de Grand' Roche				
Grès houillers			STE.	
			+ socle	

Fig. 2. - Localisation stratigraphique des gisements à empreintes de vertébrés dans la série permienne ; log de la série dans la région de Meyssac d'après R. Feys (1989) ; log complété par les discordances D1 et D2 ; P. = Paléontologie ; STE = Stéphanien.

Fig. 2. - Stratigraphic position within the Permian series of the deposits with vertebrate impressions; log of the series in the Meyssac region after Feys (1989); log completed by the D1 and D2 unconformities; P. = Paleontology; STE = Stephanian.

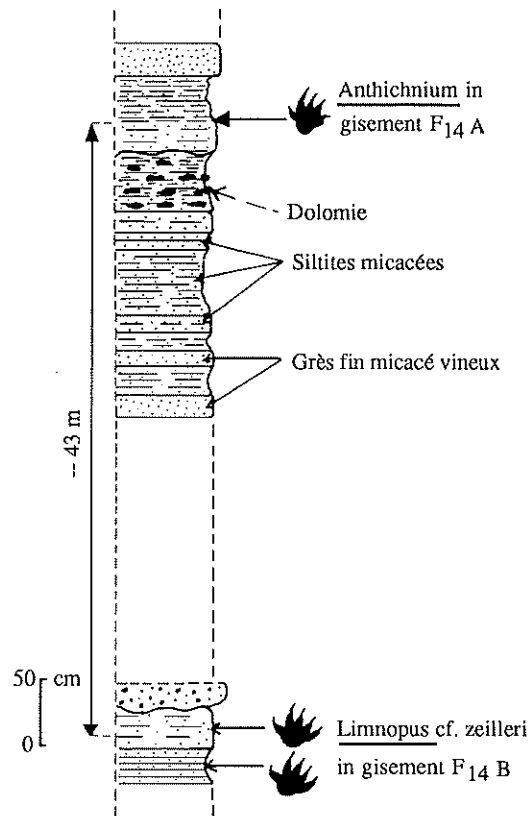


Fig. 3. - Localisation des niveaux fossilifères F14B et F14A dans les « Grès de Grammont ».

Fig. 3. - Position of the F14B and F14A fossil layers within the Grammont formation.

Le gisement de Noailhac

Il a été découvert par J.-M. Pouillon, Ingénieur à la SOGEREM, dans une carrière située au nord de Noailhac, à 1 100 m de ce village, sur le côté gauche de la D 150. Cette carrière est indiquée sur la carte géologique à 1/50 000 de Brive-la-Gaillarde (x = 544, y = 309, z = 330). Le niveau à empreintes est localisé à la base de la formation des « Grès de Meyssac et des Argiles de la Bitarelle ». Cette formation est sus-jacente à celle des « Grès de Grammont », dont elle se distingue difficilement dans l'est du bassin d'après R. Feys (1989).

Étude paléontologique

Traces attribuées à des Temnospondyles

1) Eryopsidés.

Limnopus cf. zeilleri (fig. 4 D à 4 I ; pl. I, A et B).

a) Gisement F14 B (fig. 1)

b) Matériel (fig. 4 D à I)

* Traces de locomotion.

— 1 piste de quatre couples pied-main répartis sur les dalles référencées BriG1A, 1B, 2A, 2B, 2C pour les hyporeliefs convexes et BriG4, BriG5A, 5B, 6A, 6B

pour les épireliefs concaves correspondants. Ces derniers représentent l'image au premier degré de la trace de l'autopode.

— Autres traces associées : des marques de tiges et une empreinte lacertoïdes rapprochée de *Dromopus*. Sur la face à épireliefs des dalles BriG1A à 2C, il existe aussi des ridules millimétriques.

* Quatre traces de nage ont été observées de manière isolée sur plusieurs niveaux sous-jacents à celui contenant la piste *Limnopus*. Celle de la dalle BriG9 est associée à des fentes de sécheresse.

c) Brève description de la piste BriG4 (fig. 4 D et 4 I).

Ces traces digitigrades à subdigitigrades, plus larges que longues ne sont pas très grandes pour cet ichnogène. Les dimensions sont, pour la main : L = 36 mm, l = 56 mm et pour le pied : L = 49 mm, l = 53 mm. Les doigts courts larges avec les extrémités arrondies, sans griffe, la main tétradactyle et le pied pentadactyle sont des caractères typiques de l'ichnogène *Limnopus*.

Comme il est fréquent de le voir sur cette ichnite, le doigt I de la main est prolongé par l'empreinte fortement marquée du coussinet métacarpien. Celui-ci est très apparent sur l'empreinte M3 de la piste (fig. 4 I).

Les traces de main, toujours plus complètes et mieux imprimées que celles des pieds, suggèrent un animal à train avant plus lourd que le train arrière, vraisemblablement en raison d'une tête volumineuse. La démarche de cet animal semble avoir été régulière, puisque les mains et les pieds sont bien groupés dans la piste. Les éraflures prolongeant les doigts des mains indiquent néanmoins une locomotion peu aisée durant laquelle les autopodes impriment davantage le sol du côté interne.

L'interprétation des traces *Limnopus* a déjà été faite. Cet ichnogène a été attribué à des Temnospondyles Eryopsidés (Haubold, 1971 ; Gand et Haubold, 1984 ; Gand, 1985, 1988). A partir des mensurations de la piste BriG4 et en utilisant les proportions du squelette d'*Eryops* (Gand, 1988), il a été calculé que l'animal pouvait mesurer une soixantaine de centimètres de longueur.

Le nombre de mesures relatives aux divers caractères des traces d'autopodes est trop faible pour aborder une comparaison statistique entre ces dernières empreintes et les deux autres ichnoespèces du Permien français : *L. zeilleri* et *L. regularis*. Sur des critères uniquement morphologiques, nous les rapprochons provisoirement de *Limnopus zeilleri*, empreinte fréquente dans les autres bassins du Permien français (Gand, 1988 ; Demathieu *et al.*, 1992, à paraître).

2) Edopsoidea (Haubold, 1971), **Dissophoroidea** (Haubold, 1984) ; attribuable à plusieurs taxons : Branchiosauridés, Micromelerpétontidés,... (Gand, 1988).

Anthichnium salamandroides (fig. 4 A à 4 C ; pl. I, E)

a) Gisement F14 A ; fig. 1 D.

b) Matériel.

* la piste *A. salamandroides*.

— la dalle BriG13 montre 5 couples pied-main fragmentaires en épirelief convexe. D'après la morphologie et la localisation respectives de ces traces, il semble que les empreintes correspondantes à l'image directe de l'autopode aient été faites à la surface du niveau numéroté 8 sur l'échantillon. Les autres épireliefs sont donc des sous-traces observées à la surface de 7 autres niveaux consécutifs et sous-jacents au sol de locomotion.

— L'image de cette piste à épireliefs cassés et mal conservés est complétée par celle de la grande dalle BriG17 à hyporeliefs concaves plus nombreux (8 couples pied-main) et mieux conservés que les épireliefs (fig. 4 A). Le niveau 1 semble posséder les moules naturels directs des traces originales.

— Autres traces associées.

La dalle BriG13 possède aussi des traces de gouttes de pluie sur la face à épireliefs. L'ensemble est bioturbé par quelques terriers de type *Scoyenia*. Il en est de même pour la dalle BriG17, découpée par des fentes de sécheresse, sur laquelle existent deux longues empreintes de tiges, d'une trentaine de cm. BriG15 (fig. 4 B) montre un couple pied-main *Anthichnium salamandroides* dont le pied est traversé par un terrier *Scoyenia gracilis* typique, avec des marques d'appendices orientées parallèlement à l'allongement du terrier.

c) Brève description de la piste *Anthichnium salamandroides* BriG17 (fig. 4 A et pl. I, E).

Malgré des traces représentant sans doute des images peu fidèles des faces inférieures des autopodes, les caractères des hyporeliefs sont suffisamment lisibles et nets pour que ces empreintes de vertébrés soient rangées dans l'ichnopolypopulation *Anthichnium salamandroides*.

La piste, assez longue, est formée par une succession de traces, grandes pour l'ichnogène. La main, tétradactyle, est régulièrement convergente. Elle est placée de manière variable devant le pied, subparallèle ou divergent par rapport à l'axe de la voie. Les divers caractères et les dimensions de la piste (angle du pas voisin de 90°, longueur de l'enjambée...) permettent de dresser la silhouette d'un petit amphibien aux membres transversaux et à démarche peu aisée. La longueur du tronc déterminée, à partir de la piste, vaut 90 mm, ce qui permet d'envisager une longueur totale de 20 cm environ pour l'auteur de ces empreintes.

Trace attribuée à des Pelycosauria COPE 1878 par H. Haubold (1971) ou à des Eupelycosauria sensu T.S. Kemp (1982) par G. Gand (1988)

Dimetropus leisnerianus.

a) Gisement de Noailhac (Fp fig. 1 B).

Matériel : une dalle de grès rouge-brique, fin et micacé ; n° 74 de la collection personnelle de J.-M. Pouillon d'Autun.

* une trace de locomotion en hyporelief convexe est associée à un dense réseau radulaire.

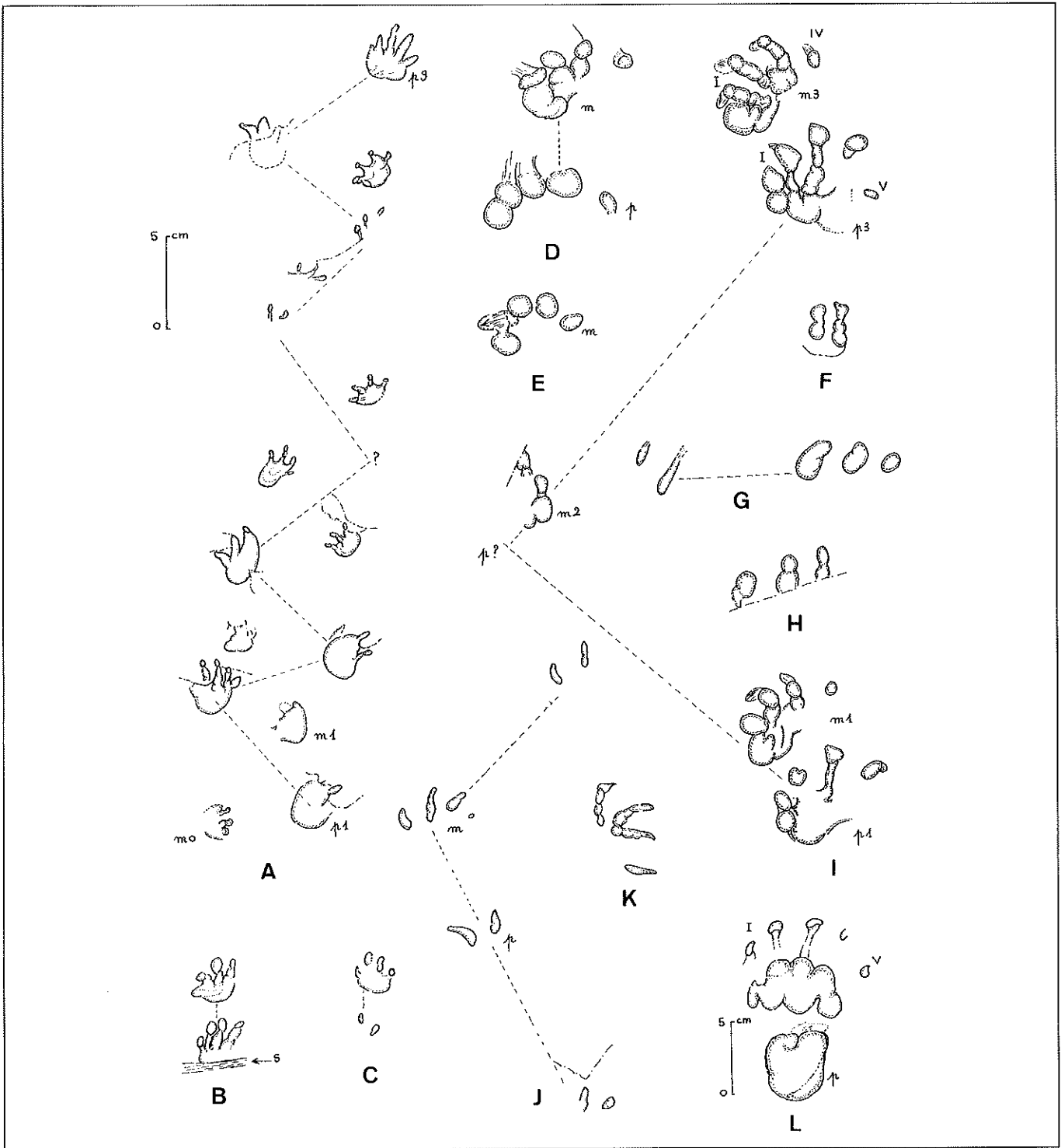


Fig. 4. - A, B et C : *Anthichnium salamandroides* (A : dalle BriG17, H) (B : dalle BriG15, H avec *Scoyenia* = S (C : BriG14, sous-traces).

D à I : *Limnopus cf. zeilleri* (D : dalle BriG2A, E) (E : dalle BriG5, E) (F : dalle BriG7, E) (G : BriG9, E) (H : dalle BriG2C, H) (I : dalle BriG1B, H).

J : indéterminé (dalle BriG13, H). K : cf. *Dromopopus* BriG4, H).

L : *Dimetropus leisnerianus* (H, n° 74, coll. J.-M. Pouillon).

L'échelle de la figure 4A est valable pour les figures 4B à 4K. p = pied ; m = main ; E = épirelief ; H = hyporelief.

Fig. 4. - A, B and C: *Anthichnium salamandroides* (A: slab BriG17, H) (B: slab BriG15, H with *Scoyenia* = S (C: BriG14, sub-traces).

D to I: *Limnopus cf. zeilleri* (D: slab BriG2A, E) (E: slab BriG5, E) (F: slab BriG7, E) (G: BriG9, E) (H: slab BriG2C, H) (I: slab BriG1B, H).

J: not determined (slab BriG13, H). K: cf. *Dromopopus* (slab BriG4, H).

L: *Dimetropus leisnerianus* (H, No. 74, coll. J.-M. Pouillon).

The scale of Figure 4A is valid for figures 4B to 4K. p = foot; m = hand; E = epirelief; H = hyporelief.

* des fragments de tiges centimétriques sont visibles dans l'épaisseur de la dalle et sur la face à hyporeliefs.

b) Brève description (fig. 4 L, pl. I, D).

L'empreinte de vertébré est pentadactyle et plantigrade, plus longue que large (L = 125 mm, l = 90 mm). Les doigts sont courts et peu marqués, terminés par des griffes acérées. Les traces du métapode et du talon sont, par contre, nettement dessinées.

Cette ichnite est fréquente dans l'« Ensemble du Mas d'Alary » et dans les niveaux de Rabéjac du bassin de Lodève, dans lequel elle a été trouvée pour la première fois en France (Ellenberger, 1983 ; Gand et Haubold, 1984). Elle correspond ici à la marque d'un pied gauche.

Groupe zoologique indéterminé

cf. *Dromopus*.

Sur la dalle BriG4 à *Limnopus* cf. *zeilleri*, il existe une trace lacertoïde isolée (fig. 4 K). Cette empreinte n'est pas suffisamment complète ni assez typique pour que l'on puisse être certain de l'attribution générique. L'orientation et la morphologie de certains doigts la rapproche de *Dromopus*. Cet ichnogène est fréquent dans le Permien français dans lequel sa répartition verticale est très large.

Données sur les paléoenvironnements des formations à empreintes

La formation des « Grès de Grammont »

Dans cette formation, les niveaux à traces *Limnopus* et *Anthichnium*, laissées par des Amphibiens inféodés à l'eau, impliquent l'existence d'espaces aquatiques durables pendant la sédimentation de ces grès, dans la partie sud-est du bassin permien. Dans ces niveaux, l'abondance et la fréquence de *Scoyenia gracilis* attribués à des Crustacés (Asgaard et Bromley, 1979 ; Frey et al., 1984), suggèrent, d'après ces auteurs, un biotope situé à la limite d'une zone émergée et d'une étendue d'eau bien oxygénée. Les nombreuses empreintes de racines observées *in situ*, les débris de tiges et de rameaux feuillés de Coniférales (*Leba-*

chia ?) attestent aussi l'existence d'une végétation palustre installée sur les bords.

Ce milieu de sédimentation dans lequel se forment des ridules d'oscillation, donc peu profond et souvent énergiquement bioturbé par d'abondants terriers de crustacés, était aussi périodiquement exondé (fentes de sécheresse et traces de gouttes de pluie). Dans le gisement F 14 A (fig. 3), nous avons observé un niveau à nodules dolomitiques analogues à ceux qui abondent dans la formation du « Viala » du bassin de Lodève et dans celle des « Grès du Dourdou » du bassin de Saint-Affrique (Odin, 1986 ; Rolando, 1988). Comme pour ces deux bassins, selon l'interprétation de B. Odin (1986) concernant le bassin de Lodève, l'existence de niveaux à nodules dolomitiques dans les « Grès de Grammont » pourrait être reliée à celle de paléosurfaces. Celles-ci seraient apparues au cours d'exondations de longue durée provoquées par des périodes de sécheresse sévissant dans le cadre d'un climat de type semi-désertique (Odin, 1986).

La formation des « Grès de Meyssac et des Argiles de la Bitarelle »

Le gisement fossilifère de Noailhac n'ayant été ni prospecté ni étudié par son inventeur, il est difficile d'apporter des précisions sur les paléoenvironnements de cette formation. Néanmoins, la présence d'un réseau radiculaire sur la dalle fossilifère associé à *Dimetropus leisnerianus* suggère l'existence d'un milieu aquatique à végétation installée dans lequel vivaient des Pélycosauriens carnivores.

Données stratigraphiques

Essai de corrélations avec le bassin de Lodève

Les empreintes de vertébrés observées dans le bassin de Brive-la-Gaillarde font partie des associations 2 et 3 du bassin de Lodève définies par G. Gand (1988, 1989). Mais alors que *Anthichnium salamandroides* et *Limnopus* y sont répertoriées, de la formation d'Usclaudu-Bosc à la base de celle de Rabéjac, *Dimetropus leisnerianus*, par contre, a une répartition verticale plus limitée. Nous l'avons, en effet, identifié dans des

Planche I

A et B : couples pied-main *Limnopus zeilleri* (A : p3-m3, B = p1-m1 ; cf. fig. 4).

C : terriers *Scoyenia*, dalle BriG19.

D : *Dimetropus leisnerianus* (pied, cf. fig. 4 L).

E : piste *Anthichnium salamandroides*, hyporeliefs convexes, cf. fig. 4 A).

A, B, C, E proviennent du gisement F14 (cf. fig. 1 C et D) ; D a été trouvé dans le gisement Fp (fig. 1 B).

Plate I

A and B: *Limnopus zeilleri* foot-hand pairs (A: p3-m3, B: p1-m1 - cf. Figure 4).

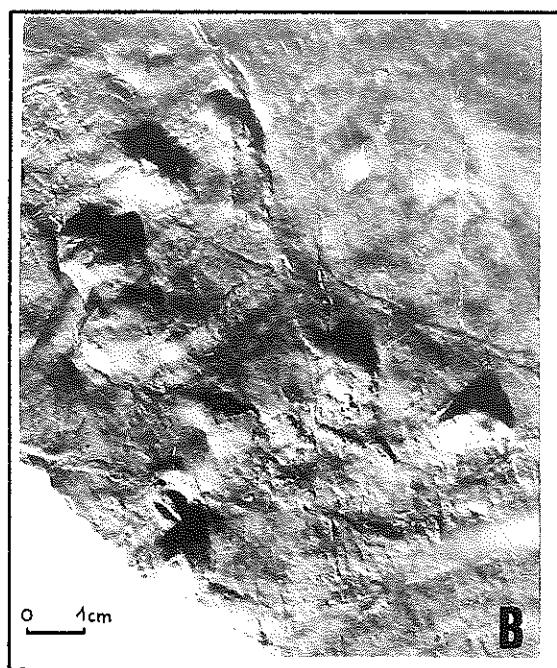
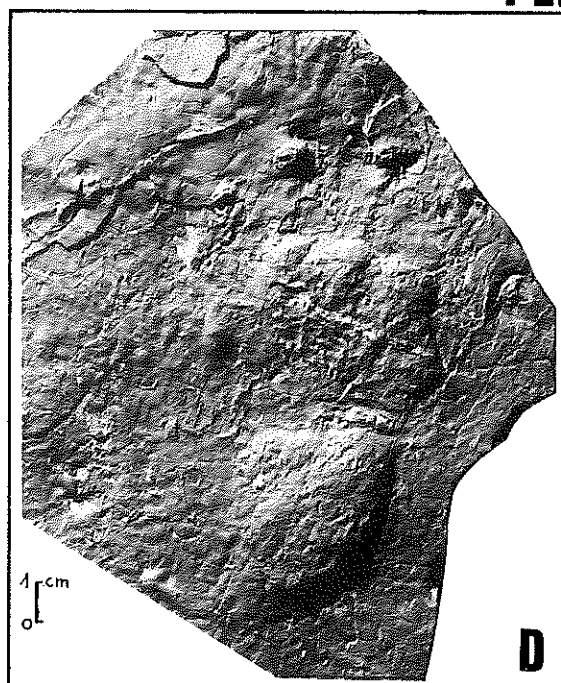
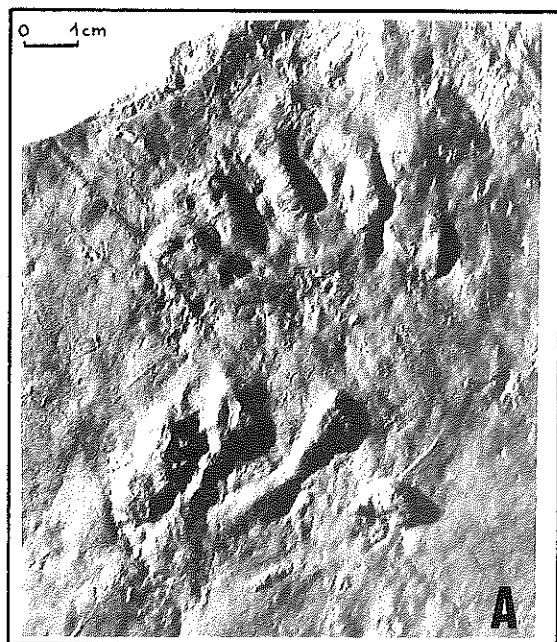
C: *Scoyenia burrows*, slab BriG19.

D: *Dimetropus leisnerianus* (foot - cf. Figure 4L).

E: *Anthichnium salamandroides* track (convex hyporelief - cf. Figure 4A).

A, B, C, E come from deposit F14 (cf. Figure 1 C and D); D was found in deposit Fp (Figure 1 B).

PL. I



couches comprises entre la base de l' « Ensemble du Mas d'Alary » et celle de la formation de Rabéjac localisée juste au-dessus du conglomérat (Odin, 1986 ; Gand, 1988). D'après la répartition verticale de *Dimetropus leisnerianus*, le niveau fossilifère des « Grès de Meysac » peut donc être corrélé avec l'une de ces couches du bassin de Lodève. Un tel rapprochement est encore peu assuré en raison d'une palichnofaune brivoise peu abondante et peu diversifiée.

Les âges possibles des « Grès de Grammont » et des « Grès de Meysac »

Dans le bassin de Brive, l'âge des « Grès de Meysac et des Argiles de la Bitarelle » à *Dimetropus leisnerianus* peut être obtenu par corrélations avec le bassin de Lodève. Dans cette région, cette dernière empreinte de vertébré appartient aux associations 2 et 3 (Gand, 1988, 1989) qui peuvent être datées de deux façons. En se plaçant dans l'échelle palynologique de J. Doubinger *et al.* (1987) ou B. Odin *et al.* (1986), les couches à *Dimetropus leisnerianus* ont un âge compris entre le « Saxonien supérieur », l'Artinskien supérieur et la base du Thuringien. Par comparaison avec les associations à traces de vertébrés de la Thuringe (Haubold, 1971, 1973 ; Andreas *et al.*, 1975 ; Haubold et Katzung, 1975), ces mêmes couches lodévoises appartiennent à l'Autunien supérieur et au Saxonien inférieur (Gand, 1988, 1989 ; Gand et Haubold, 1988 ; Châteauneuf et Gand, 1989).

Selon les références envisagées (*cf. supra*), plusieurs âges semblent donc possibles pour les « Grès de Meysac et les Argiles de la Bitarelle ». Mais compte tenu de l'âge Autunien des formations sous-jacentes aux « Grès de Grammont » et aux « Grès de Meysac » (Doubinger, 1974 ; Feys, 1989 ; Châteauneuf *et al.*, 1980), il est possible de dater du Saxonien ces « Grès de Meysac » à *Dimetropus leisnerianus*. Ils ont d'ailleurs été attribués au Saxono-Thuringien par R. Feys (1976 et 1989).

D'après l'équivalence Autunien-Assélien admise par plusieurs auteurs dont P.-A. Hochuli (1985), les « Grès de Meysac » seraient donc post-asséliens et au moins sakmariens si on se réfère aux dernières datations proposées par J. Schneider (1989) pour les formations à empreintes de vertébrés de la Thuringe. Toujours en se basant sur les corrélations entre les associations d'empreintes des bassins de Lodève et de la Thuringe, d'après l'âge Permien inférieur donné par

T. Martens (1989) à la faune de vertébrés découverte dans les Grès de Tambach, la formation des « Grès de Meysac » pourrait s'être déposée durant la fin du Permien inférieur.

Conclusions

Dans la formation des « Grès de Grammont », les traces *Anthichnium salamandroides* et *Limnopus cf. zeilleri* attestent l'existence d'une faune amphibienne à Temnospondyles évoluant dans un bassin à zones aquatiques durables. Les autres traces, d'origine biologique (invertébrés et végétaux) et mécanique (rides d'oscillation), trouvées en association avec celles de vertébrés tétrapodes suggèrent des paléoenvironnements à végétation installée constitués de nappes d'eau bien oxygénées. Ce milieu de sédimentation dans lequel la vie était active (abondants terriers de Crustacés et Temnospondyles variés) pouvait être localement exondé. C'est probablement au cours de longues périodes sèches que se formaient les niveaux de nodules dolomitiques observés dans la formation des « Grès de Grammont ».

En France, les ichnogènes *Anthichnium* et *Limnopus* rencontrés tout au long de la série permienne, de l'Autunien supérieur au Thuringien ne permettent pas, à eux seuls, d'aborder des corrélations entre la formation des « Grès de Grammont » et celles des autres bassins. Par contre, la trace *Dimetropus leisnerianus*, à répartition verticale plus limitée, après corrélations avec les associations à empreintes de vertébrés du Lodévois et de la Thuringe, suggère pour les « Grès de Meysac », un âge saxonien. D'après l'âge donné par J. Schneider (1989) aux couches à empreintes de Tambach, en Thuringe, la formation des « Grès de Meysac » pourrait s'être déposée entre le Sakmarien et le Kungurien.

Remerciements

L'auteur remercie chaleureusement M. le Professeur Louis Courel, Directeur du Centre des Sciences de la Terre de l'Université de Bourgogne pour ses remarques et ses suggestions. Il remercie également M. A. Godon pour les photos, Mme A. Bussière pour le lettrage des figures 1 à 3, ainsi que M. J.-M. Pouillon qui lui a prêté son empreinte de vertébré.

Références bibliographiques

- ANDREAS D., HAUBOLD H., KATZUNG G. (1975). - Zur Grenze Stephan/Autun (Karbon Perm). *Z. dtsh. geol. Wissensch.*, pp. 699-716.
- ASGAARD V., BROMLEY R.G. (1979). - Triassic freshwater ichnocoenoses from Carlsberg Fjord, East Greenland. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Paleocolog.*, n° 28, pp. 39-48.
- CHATEAUNEUF J.-J., FEYS R., FUCHS Y., GREBER C., HERY B., LEFORT J.-J. (1980). - Synthèse géologique des principaux bassins permien du centre de la France. Caractérisation des Métallotectes associées par la Géochimie et l'étude de la matière organique. Rapport BRGM, n° 80, SGN 436 GEO.
- CHATEAUNEUF J.-J., GAND G. (1989). - Stratigraphie. In J.-J. Châteauneuf et G. Farjanel : Synthèse géologique des bassins permien français. *Mém. BRGM Fr.*, n° 128, pp. 151-175.
- DEMATHEU G., GAND G., TOUTIN-MORIN N. (1992). - La palichnofaune des bassins permien provençaux. *Geobios*, 10 fig., 4 tabl., 4 pl. (à paraître).
- DOUBINGER J. (1956). - Contribution à l'étude des flores autuno-stéphaniennes. *Mém. Soc. géol. Fr.*, 35, 75, 180 p.
- DOUBINGER J. (1974). - Études palynologiques dans l'Autunien. *Review Palaeobotany Palynology*, 17, pp. 21-38.
- DOUBINGER J., ODIN B., CONRAD G. (1987). - Les associations spore-polliniques du Permien continental du bassin de Lodève (Hérault, France) : caractérisation de l'Autunien supérieur, du « Saxonien » et du Thuringien. *Ann. Soc. géol. Nord*, 106, pp. 103-109.

ELLENBERGER P. (1983). - Sur la zonation ichnologique du Permien moyen (Saxonien) du bassin de Lodève (Hérault). *C. R. Acad. Sci. Fr.*, **297**, (2), pp. 553-558.

FEYS R. (1976). - Permo-carbonifère in notice de la carte géologique de la France à 1/50 000, Brive-la-Gaillarde, Service géologique national. Éditions du BRGM, Orléans.

FEYS R. (1989). - Le Permien du bassin de Brive-la-Gaillarde, in J.-J. Châteauneuf et G. Farjanel : Synthèse géologique des bassins permien français. Mém. BRGM Fr., n° 128, pp. 78-84.

FREY R.W., PEMBERTON G.S., FAGERSTROM J.A. (1984). - Morphological, ethological and environmental significance of the ichnogenera *Scoyenia* and *Ancorichnus*. *J. Paleontology*, **58**, 2, pp. 511-528.

GAND G. (1985). - Significations paléobiologique et stratigraphique de *Limnopus zeileri* dans la partie nord du bassin de St-Affrique. *Geobios*, Lyon, **18**, 2, pp. 215-227.

GAND G. (1988). - Les traces de Vertébrés tétrapodes du Permien français (Paléontologie, Stratigraphie, Paléoenvironnements). Thèse de Doctorat d'État ès Sciences Naturelles, Université de Bourgogne. Édité. Centre des Sciences de la Terre, Dijon, 341 p.

GAND G. (1989). - Intérêt biostratigraphique des traces de vertébrés tétrapodes. Essai de corrélations entre des formations de quelques bassins français et européens. In les éléments de corrélations et leurs implications stratigraphiques au sein du Permien continental. Association des Géologues du Permien, Éd. Univ. Amiens, n° 1, pp. 29-34.

GAND G., HAUBOLD H. (1984). - Traces de Vertébrés du Permien du bassin de Saint-Affrique (description, datation, comparaison avec celles du bassin de Lodève). *Rev. Géol. méditerranéenne*, Marseille, **11**, 4, pp. 321-348.

GAND G., HAUBOLD H. (1988). - Permian Tetrapod Footprints in Central Europe, Stratigraphical and Paleontological Aspects. *Z. dtsh. geol. Wissensch*, **16**, 9, pp. 885-894.

HAUBOLD H. (1971). - *Ichnia Amphibiorum et Reptiliorum fossilium*. In Handbuch der Palaoherpetologie. Encyclopedia of Paleoherpptology. Gustav Fischer Verlag, Part. 18, 123 p.

HAUBOLD H. (1973). - Die tetrapodenfahrten aus dem Perm. *Freiberger Forschungsheft*, Leipzig. C. 285, 55 p.

HAUBOLD H. (1984). - Saurierfahrten. A. Ziemsen Verlag, 230 p.

HAUBOLD H., KATZUNG G. (1975). - The position of the Autunian/Saxonian boundary (Lower Permian) in Europe and North America. *Schr. geol. Wissensch*. Berlin, pp. 87-138.

HOCHULI P.A. (1985). - Palynostratigraphische Gliederung und Korrelation des Permo-Karbon der Nordostschweiz. *Eclogae geol. Helv.*, **78**, 3, pp. 719-831.

KEMP T.S. (1982). - Mammal like Reptiles and the origin of Mammal. Acad. Press. London, 363 p.

LAVERGNE P., CHATEAUNEUF J.-J. (1988). - Excursion dans le bassin de Brive-la-Gaillarde. Livret-guide de l'excursion A.G.P., 28 p., inédit.

MARTENS T. (1989). - First evidence of terrestrial tetrapods with north-american faunal elements in the red beds of upper rotliengendes (Lower Permian, Tambach Beds) of the Thuringian Forest (G.D.R.)-First results. *Acta Musei Reginahradecensis S.A.: Scientiae naturales*, **22**, pp. 99-104.

ODIN B. (1986). - Les formations permiennes, Autunien supérieur à Thuringien, du « bassin » de Lodève (Hérault, France) : stratigraphie, minéralogie, paléoenvironnement, corrélations. Thèse de Doctorat en Sciences, Université d'Aix-Marseille, 375 p.

ODIN B., DOUBINGER J., CONRAD G. (1988). - Attribution des formations détritiques rouges du Permien du Sud de la France au Thuringien, d'après l'étude du bassin de Lodève : implications géologiques, paléontologiques et paléoclimatiques. *CR. Acad. Sci. Fr.*, (2), n° 16, pp. 1015-1020.

ROLANDO J.-P. (1988). - Sédimentologie et Stratigraphie du bassin permien de Saint-Affrique (Aveyron, France). Un exemple de bassin alluvial contrôlé par la tectonique extensive. Thèse Univ. Paul Sabatier Toulouse, 265 p. (inédit).

SCHNEIDER J. (1989). - Basic problems of biogeography and biostratigraphy of the Upper Carboniferous and Rotliengendes. *Acta Musei Reginahradecensis S. A.:Scientiae naturales*, **22**, pp. 31-44.

ZEILLER R. (1892). - Bassin houiller et permien de Brive. *Études gites minér. Fr.*, 132 p.

Cartes géologiques de la France consultées : carte à 1/50 000 : Brive-la-Gaillarde, 1976, Service Géologique National, Éditions du BRGM, Orléans.

Carte à 1/1 000 000 de la France, 1968, Service Géologique National, Éditions du BRGM, Orléans.



LA GÉOTHERMIE du geyser au radiateur

Jean-Michel COUDERT et Florence JAUDIN

Géothermie : le nom peut paraître barbare, il est seulement d'origine grecque : « Gé », qui veut dire Terre et « thermé » qui signifie chaleur. La géothermie concerne donc la chaleur de la Terre. D'où provient-elle, que peut-on en faire, comment peut-on l'utiliser, quel est son avenir, telles sont les principales questions auxquelles ce livre répond.

L'énergie géothermique, cette fausse énergie nouvelle utilisée bien avant le charbon ou le pétrole, est quelque peu méconnue par rapport à l'énergie solaire ou à l'énergie nucléaire. L'impact de l'énergie géothermique, au niveau mondial, ne sera jamais très important mais localement il peut être significatif.

Cet ouvrage se veut plus un point de départ, un livre d'initiation que la somme des connaissances dans le domaine de la géothermie.

Prix 95,00 F + 30 F de frais de port et d'emballage

En vente chez votre libraire habituel ou à défaut aux :

Éditions du BRGM, BP 6009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France. Tél. 38 64 30 28
accompagné de votre titre de paiement.

NÉOTECTONIQUE DE LA PROVENCE OCCIDENTALE (FRANCE) :

Vers une analyse multicritère des déformations récentes. Application à la classification des structures sismogènes

par Monique TERRIER

L'objet de ce présent travail est double: contribuer à la mise au point d'une méthodologie générale consacrée à la détermination des failles actives et améliorer les connaissances néotectoniques et sismotectoniques de la Provence occidentale. Pour cela, quatre techniques sont mises en œuvre:

- *la télédétection*: le traitement et l'interprétation de l'imagerie satellitaire SPOT et des photographies aériennes permettent de localiser des discontinuités-image susceptibles de représenter des traits caractéristiques, visibles à la surface du sol et d'origine tectonique ou néotectonique;
- *l'interprétation des nivellements comparés*: pour l'ensemble de la Provence, plusieurs indices de mouvements verticaux actuels d'origine néotectonique sont déterminés;
- *l'analyse morphostructurale*: consacrée en particulier à l'identification au niveau de la surface topographique et de la fréquence de drainage du réseau hydrographique, des anomalies d'origine néotectonique;
- *l'étude microtectonique et tectonique*: focalisée sur les terrains miocènes, pliocènes et quaternaires; plusieurs déformations tectoniques de terrains récents sont décrites.

Le bilan néotectonique réalisé regroupe l'ensemble des indices et preuves de déformations tectoniques plio-quaternaires. L'évolution post-miocène des directions de déformations régionales est précisée. Au Plio-Quaternaire, la direction de compression régionale est horizontale-subméridienne. Par ailleurs, le cadre tectonique de la Moyenne Durance, de la Basse Durance et de la Crau est affiné.

A partir du bilan néotectonique, du cadre structural et de la sismicité, un schéma sismotectonique est établi. Puis, une classification en six familles des structures tectoniques majeures de la Provence occidentale est proposée: structures compressives E-W septentrionales; structures compressives E-W méridionales; décrochements sénestres NE-SW; système faille N-S de Salon-Cavaillon; failles localisées en Camargue (par la géophysique); certaines structures compressives (localisées à l'Est du secteur).

A moyen ou long terme, la mise en œuvre des techniques présentées pourrait permettre d'identifier de nouvelles sources inconnues à ce jour. Les résultats obtenus ont d'ores et déjà constitué des éléments fondamentaux pour plusieurs études d'évaluation de l'aléa sismique en Provence. La méthode utilisée est une démarche générale, applicable en particulier aux régions présentant un contexte de tectonique intraplaque à sismicité faible ou modérée.

The aim of this work was two-fold: to develop a general methodology for determining active faults and improve the state of neotectonic and seismotectonic knowledge of the Western Provence region. To arrive at this goal, four complementary techniques were used:

- *Remote sensing*: processing and interpretation of Spot satellite images and aerial photographs showed up discontinuities in the images that can represent characteristics features, visible on the ground and of neotectonic or tectonic origin.
- *Interpretation of comparative levelling data* for Provence as a whole, gave several indications of recent to actual vertical movements of neotectonic origin.
- *Morphostructural analysis* covered in particular the identification of anomalies in the topographic surface and drainage patterns, which might be of neotectonic origin.
- *Microtectonic and structural studies* focused on the deposits of Miocene, Pliocene and Quaternary age; several occurrences of structural deformation were studied in detail and described.

The resulting neotectonic assessment combines all indications and proofs of Pliocene-to-Quaternary tectonic deformation. The post-Miocene evolution of the regional directions of deformation was defined. Since Pliocene times, the regional compression has acted in a horizontal sub-north-south direction. Moreover, the structural framework of the Middle Durance, Lower Durance and Crau areas was further refined.

Based on the neotectonic assessment, the structural framework and seismicity data, a seismotectonic scheme was drawn up. As a result of this, it was possible to classify the major structures found in Western Provence in six groups: northern compressive E-W structures; southern compressive E-W structures; NE-SW sinistral strike-slip faults; the Salon-Cavaillon fault system; faults in the Camargue (located with geophysic studies); and some E-W compressive structures located in the east of the study area.

In the future, further use of this combination of techniques could lead to identify structures that are unknown at present. The results of this work already form the basis of several studies for evaluating seismic hazard in Provence. The method used is a general procedure, particularly applicable to regions in an intraplate tectonic setting with weak to moderate seismicity.

Document du BRGM n° 207

Prix de vente : 250 F + 35 F de frais de port et d'emballage

En vente chez votre libraire habituel
ou à défaut aux :
Éditions du BRGM - BP 6009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. : 38 64 30 28
accompagné de votre titre de paiement