

**CONGRES DE L'ASSOCIATION
PALEONTOLOGIQUE FRANCAISE
Toulouse 10 - 12 Avril 2013**

Livret-guide de l'excursion

**GISEMENTS FOSSILE ET ICHNOLOGIQUE
SUR LA MARGE NORD-EST
DU BASSIN D'AQUITAINE (QUERCY)**

Jean-Michel Mazin, Thierry Péliissié, Pierre Hantzpergue, Carine Lézin



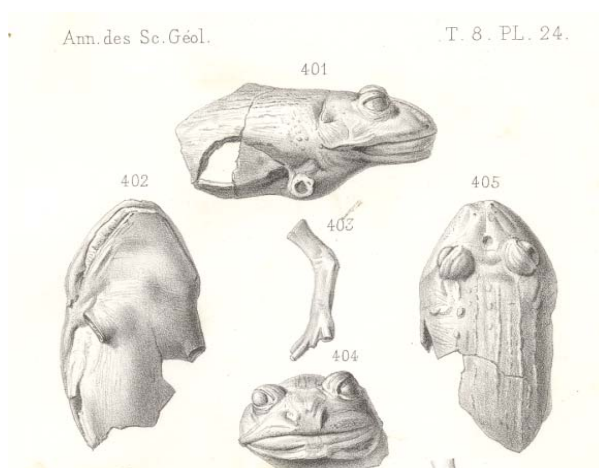
Secrétaire de rédaction : Philippe Fauré

**Editeur :
Association STRATA,
<http://strata.mp.free.fr>**

**Dépôt légal : 3ème trimestre 2013
ISSN : 0296-2055**

EXCURSION APF 2013

Gisements fossile et ichnologique sur la marge nord-est du Bassin d'Aquitaine (Quercy)



Les phosphatières du cloup d'Aural & « La plage aux Ptérosaures » de Crayssac



GENERALITES

LIVRET-GUIDE D'EXCURSION

Jean-Michel Mazin, Thierry Pélissié, Pierre Hantzpergue et Carine Lézin

Objectifs de l'excursion

L'excursion s'attachera à la présentation de deux sites majeurs de gisements fossile et ichnologique de la marge nord-est du Bassin d'Aquitaine.

La visite du Cloup d'Aural témoignera de la formation de phosphates en milieu karstique et de son exploitation. Elle rappellera la richesse des faunes des phosphorites du Quercy où de nouvelles découvertes sont faites encore chaque année. L'ensemble des phosphorites du Quercy, qui permettent des reconstitutions paléoenvironnementales sur près de 30Ma entre l'Eocène et l'Oligocène, sont du même ordre d'intérêt que les gisements fossilifères du Wyoming ou du Riversleigh.

Un gisement ichnologique sera présenté à l'occasion d'une visite du site de Crayssac, désormais célèbre par l'abondance de pistes de locomotion de ptérosaures et de nombreux autres organismes attestant, au Tithonien, d'un riche écosystème littoral.

Ce livret-guide abordera tout d'abord le contexte sédimentaire et paléoenvironnemental à l'origine de la formation de ces deux gisements puis il présentera ces 2 gisements et leur contribution dans la connaissance scientifique.

PROGRAMME

1 - Visite des phosphatières du Cloup d'Aural

(guide : T. PELISSIE)

Repas à l'Auberge du Lou Bourdié à Bach

2 - Visite du gisement ichnologique de Crayssac (guides : J-M. MAZIN, P. HANTZPERGUE)

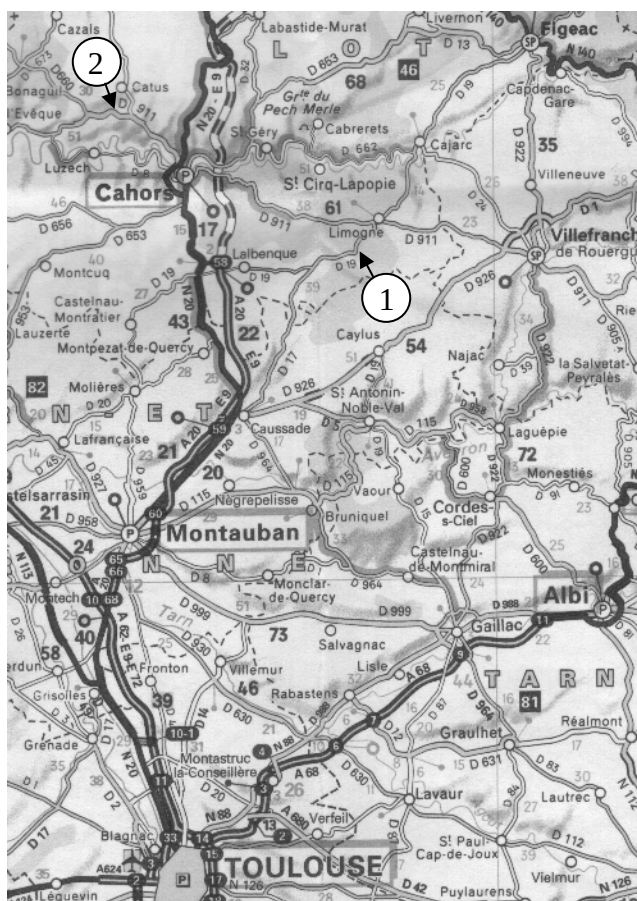


Fig.1 : Itinéraire de l'excursion.

GENERALITES

LE BASSIN DU QUERCY

Le Quercy (Fig. 1) se situe dans le Sud Ouest de la France, sur la bordure NW du Bassin d'Aquitaine. Ce bassin, caractérisé par un remplissage de terrains sédimentaires du Mésozoïque et du Cénozoïque, est encadré au Nord-Est et à l'Est par le socle hercynien du Massif Central, au Sud par les Pyrénées et à l'Ouest par la côte atlantique.

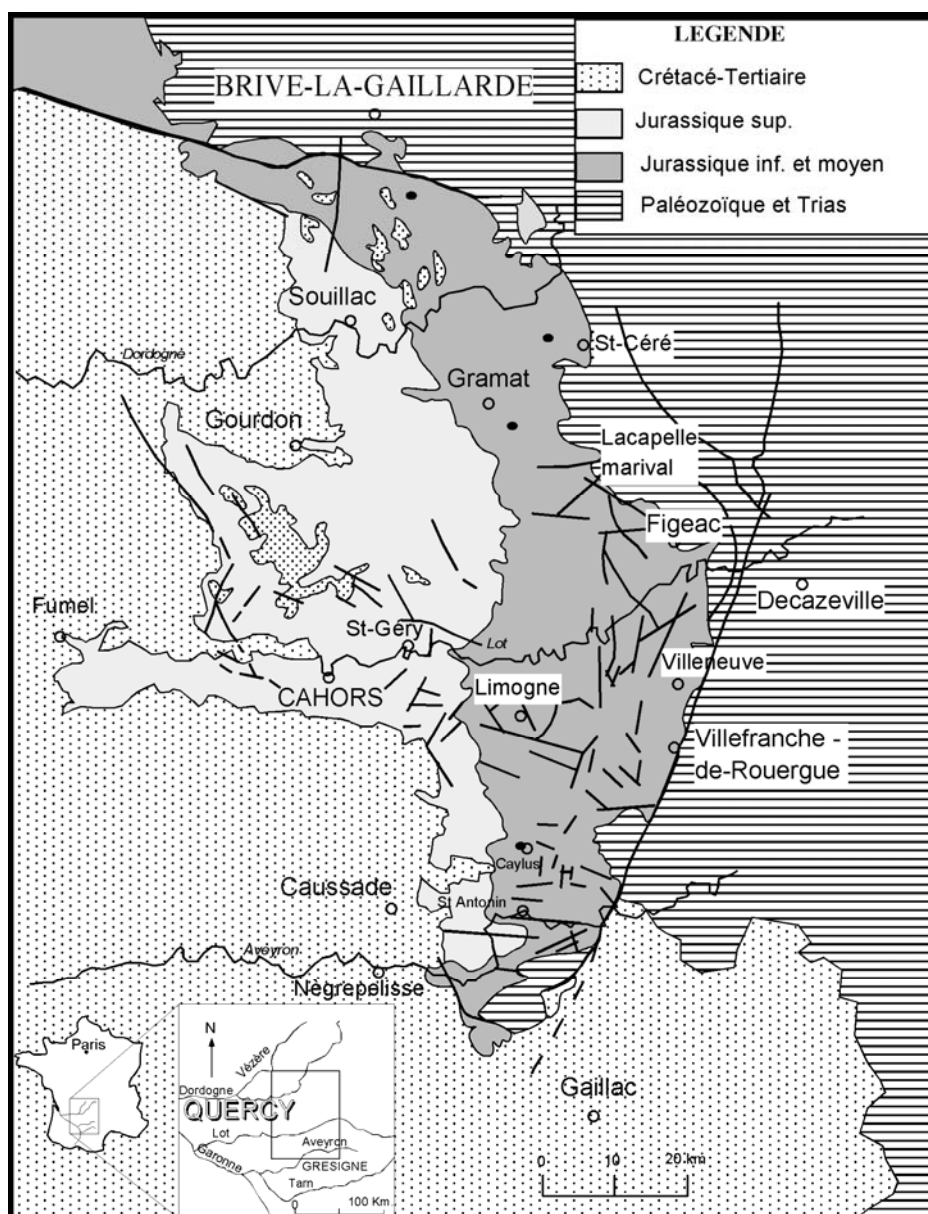


Fig.2 : Cadre géographique, géologique et structural (Lézin, 2000).

Le bassin quercynois, de forme triangulaire, s'étend sur une distance d'une centaine de kilomètres en longueur et sur 30 à 80 km en largeur. Cette entité géologique est encadrée par :

- la faille de Condat-Meyssac au Nord qui correspond à la limite méridionale du bassin permien de Brive ;
- un faisceau d'accidents, au NE, d'orientation NW-SE (failles d'Argentat et de Cornac) ;
- la faille de Villefranche-de-Rouergue, à l'Est, d'orientation N20°E ;
- le linéament Ouest-Quercynois, à l'Ouest, d'orientation N140°E ;

- l'anticlinal de la Grésigne, au Sud, qui se situe à la jonction de ces 2 derniers accidents hérités du socle hercynien.

Le Quercy est un bassin à remplissage de terrains sédimentaires essentiellement jurassiques. Les formations du Lias, du Dogger et du Malm se succèdent d'Est en Ouest et affleurent suivant une bande étroite d'orientation N-S. Ce remplissage est affecté par 3 directions majeures de fracturation : la direction NNE-SSW, la direction NW-SE et la direction E-W à N110°E matérialisée par les tracés des grandes rivières telles que le Lot et l'Aveyron.

Le Quercy a été subdivisé, du Sud vers le Nord, en 4 Causses :

- le Causse de Limogne entre le Lot et l'Aveyron ;
- le Causse de St-Chels entre le Célé et le Lot ;
- le Causse de Gramat entre la Dordogne, le Célé et le Lot ;
- le Causse de Martel au Nord de la Dordogne.

L'EVOLUTION PALEOGEOGRAPHIQUE ET SEDIMENTAIRE

L'évolution du bassin, de son origine jusqu'au Paléogène, peut se résumer en 8 étapes :

1. La création d'une plate-forme carbonatée au Lias inférieur

L'histoire marine du bassin aquitain et du bassin quercynois débute dès le Lias inférieur. A l'Hettangien inférieur, la première transgression marine engendre la création d'une plate-forme carbonatée par la submersion progressive du Sud vers le Nord et le Nord-Est de plaines fluviatiles margino-littorales. L'installation d'une mer épicontinentale peu profonde est suivie par une phase de comblement durant laquelle se succèdent une sédimentation de marais maritime et un épisode évaporitique (sebkhas). Par la suite l'approfondissement exprimé par le dépôt des calcaires à microrhythmes puis par des calcaires oolithiques, implique l'installation d'une plate-forme carbonatée peu profonde.

2. L'approfondissement du bassin quercynois et le développement d'environnements distaux

Au passage entre Lias inférieur et Lias moyen, le bassin se structure en sous-bassins. Cubaynes (1986) propose un modèle morpho-structural (Fig. 3) du Quercy méridional (Causse de Limogne) basé sur une analyse détaillée de la série liasique. Il montre que l'agencement de cette série souligne un enfoncement progressif du Nord (secteur de Figeac) vers le Sud (Grésigne). Ce phénomène serait lié à un basculement de blocs successifs suivant des failles d'orientation E-W.

Ce modèle montre également la présence de 3 zones hautes qui correspondent pour la première au seuil du Rouergue et bordure SW du massif Central (limite orientale du Quercy), pour la deuxième au haut-fond de Castelsarrasin-Montauban et seuil de Négrepelisse (limite occidentale du sous-bassin) généré par le linéament Ouest-Quercynois et pour la dernière au haut-fond de Figeac-Capdenac (NE du Quercy méridional).

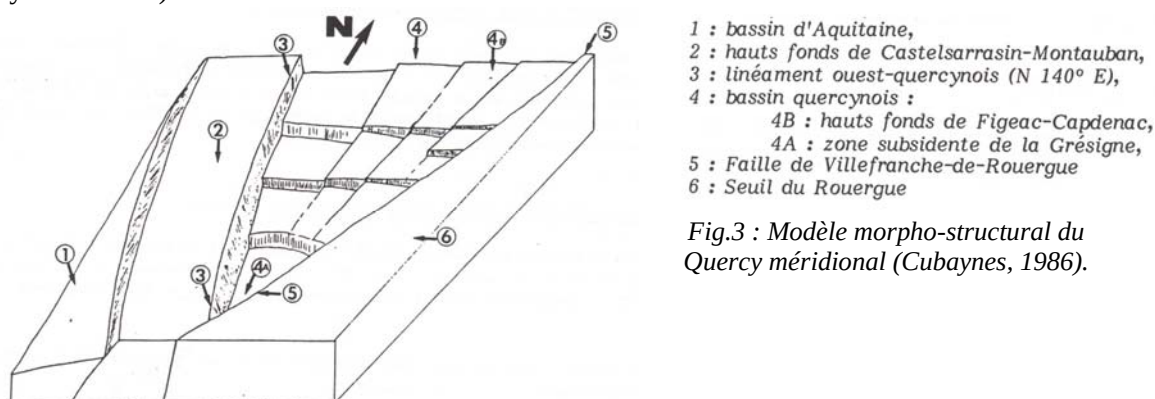


Fig.3 : Modèle morpho-structural du Quercy méridional (Cubaynes, 1986).

L'installation d'environnements distaux se produit au début du Pliensbachien (Carixien) grâce à une nouvelle transgression marine qui engendre le dépôt des calcaires de Brian de Vère (ensemble marno-calcaire à ammonites). Cet approfondissement s'accroît jusqu'au Pliensbachien moyen (Domérien inférieur à moyen) avec l'installation de vasières circalittorales.

Au Pliensbachien supérieur (Domérien supérieur), les calcaires bioclastiques de la barre à Pecten indiquent une nouvelle phase de comblement (Cubaynes, 1986). Dans le Quercy septentrional, la distribution spatiale des faciès pliensbachiens (Brunel, 1997) a permis de reconstituer un sous-bassin sédimentaire s'abaissant progressivement du Nord vers le Sud et du NE vers le SW. Ce même auteur rejette l'hypothèse d'une structuration en blocs basculés durant le Lias moyen. Dès le Toarcien inférieur, l'ensemble du Quercy est soumis à une nouvelle transgression marine qui se traduit par le dépôt dans un premier temps des schistes Carton (faciès anoxiques) puis de vasières infra à circalittorales (Toarcien moyen) moins profondes qu'au Pliensbachien (Domérien).

3. Le développement progressif d'une nouvelle plate-forme carbonatée proximale

Au Toarcien supérieur, le bassin quercynois évolue vers une plate-forme carbonatée. Un très net ralentissement de la sédimentation est mis en évidence par les condensations de faune au niveau de l'Assise à Gryphées (Cubaynes, 1986). Une diminution généralisée de l'épaisseur de la tranche d'eau provoque, localement, l'érosion d'une partie des dépôts toarciens dans les zones de hauts fonds (Lézin, 2000 ; Lézin *et al.*, 2007).

A partir de l'Aalénien, une nouvelle plate-forme se met en place (Lézin, 2000). Les calcaires à oncolithes traduisent une reprise de la sédimentation succédant aux séries réduites du Toarcien terminal. La répartition des dépôts est sous la dépendance d'accidents N°20 induisant une topographie en blocs basculés à l'Aalénien (Pélessi *et al.*, 1996 ; Lézin, 2000) et au Bajocien-Bathonien (Peybernès et Pélessi, 1985). Sur les marges du seuil de Villefranche qui sépare le bassin d'Aquitaine d'obédience atlantique du bassin des Grands Causses d'influence téthysienne se manifestent alors les effets combinés du rifting de ces deux océans.

Au cours du Dogger s'individualise progressivement un haut-fond (Fig. 4) qui intègre le Quercy, la bordure cévenole et les Grands Causses. Cette paléo-topographie de forme rectangulaire et de dimension hectokilométrique correspond au « Haut-fond occitan ». Il s'y développe une sédimentation carbonatée de vasière interne, isolée des mers ouvertes (Atlantique et Mésogée) par des cordons oolithico-récifaux de haute énergie et d'orientation N-S.

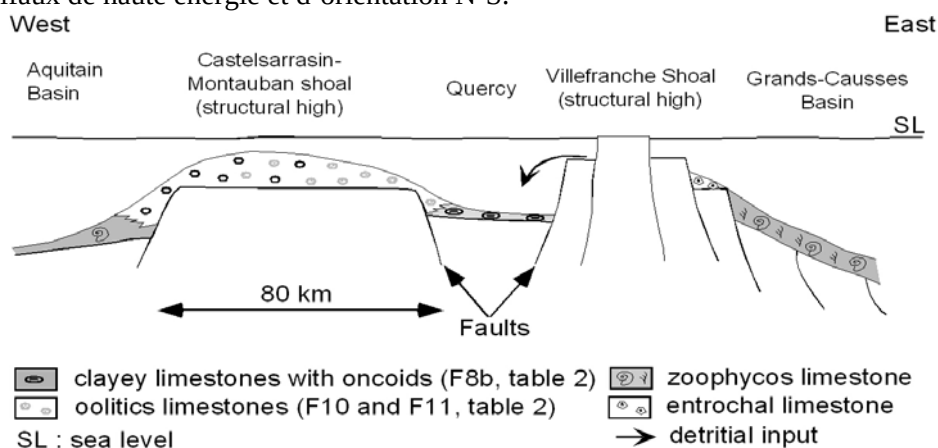


Fig.4 : Coupe schématique d'orientation Est-Ouest montrant l'isolement de la plate-forme quercynoise à l'Aalénien moyen (Lézin *et al.*, 2007).

4. Le retour aux conditions de mer ouverte

Au Kimméridgien inférieur se crée une vaste plate-forme marine non barrée qui sera progressivement comblée puis exondée à la fin du Jurassique. Les calcaires à galets mous de Nouaillac marquent le début de cet épisode. Ils se sont déposés dans des environnements inter puis subtidaux, sur

un littoral non barré. La tendance transgressive s'accroît ensuite rapidement. Elle s'accompagne d'une grande uniformisation des sédiments : les faciès caractéristiques des différentes formations du Kimméridgien quercynois s'étendent sans changement important sur la totalité de la région. Ainsi, les niveaux repères, comme le « banc à vertébrés » dans la zone à *Eudoxus* (Hantzerpergue, Lafaurie, Lange-Badré, 1982), les bancs à *Aulacostephanus contejeani* (Thur.), et *A. yo* (d'Orb.) se suivent dans le département du Lot sur plusieurs dizaines de kilomètres sans la moindre modification. Toutefois, l'épaisseur des différentes formations augmente progressivement en direction du Sud-Ouest et ceci en relation avec la structure profonde du socle, notamment exprimée par le linéament ouest-quercynois. Le dépôt des marnes et calcaires argileux à *Nanogyra virgula* (Defr.) (Formations de Cahors et de Pont-de-Rhodes), correspond à un maximum transgressif au Kimméridgien supérieur et contribue à un comblement rapide du Bassin d'Aquitaine.

Le contrôle de la sédimentation paraît principalement dépendre des variations eustatiques. Cependant, l'abondance des éléments terrigènes dans la « vasière à *N. virgula* » indique probablement un lessivage des zones émergées et semble traduire l'intervention de déformations épirogéniques (Enay *et al.*, 1980).

5. Vers la régression fini-jurassique

Avec les Formations de Salviac et de Cazals, les dépôts expriment une diminution progressive de la profondeur relative tandis que les peuplements d'ammonites deviennent très épisodiques.

Au Tithonien basal, le caractère franchement marin des dépôts est attesté par l'abondance et la vaste répartition des ammonites du genre *Gravesia*. La tendance régressive s'accroît ensuite rapidement, accompagnée par la différenciation d'un golfe étroit, du Quercy au Charentes, ouvert à l'Ouest sur le domaine atlantique. Situés à l'extrémité orientale de ce golfe, les dépôts quercynois traduisent une moindre profondeur que leurs équivalents charentais : les calcaires de *Gravesia* de la Formation de Salviac sont contemporains de l'alternance de marnes et de calcaires argileux à *N. virgula* (Defr.) de la pointe de Chassiron (Ile d'Oléron), caractérisée par la même faune d'ammonites. La fin de la régression se marque dans le Quercy par la sédimentation intertidale et supratidale de la Formation de Cazals.

6. La première émergence majeure

A la suite de la régression du Jurassique supérieur, le Quercy reste émergé pendant le Crétacé inférieur. Le Quercy est soumis à l'altération pédologique et à la dissolution karstique qui affectent les plateaux calcaires.

7. La dernière incursion marine

Au Crétacé supérieur, la zone Nord Aquitaine est à nouveau recouverte par des dépôts marins. Les dépôts laguno-marins calcaires à *Prealveolina simplex* et *Exogyra columba* du Cénomaniens sont recouverts par des calcaires argileux récifaux turoniens à Hexacoralliaires et rudistes (Hippuritidae notamment). Au Sénonien, les calcaires pélagiques, crayeux à silex (Céphalopodes et Foraminifères) sont les derniers indices d'un milieu marin franc. Les lumachelles à huîtres maastrichtiennes montrent un retour à un milieu plus littoral.

8. La continentalisation du Quercy

Dès la fin du Maastrichtien, le Quercy est totalement émergé. Cette émergence devient définitive. Le Cénozoïque est représenté dans le Quercy par des séries sédimentaires continentales d'origine fluviale, lacustre ou palustre discordantes sur les formations mésozoïques et par du remplissage karstique.

REFERENCES

- BRUNEL F. (1997) – Stratigraphie séquentielle du Domérien du Quercy septentrional. *Thèse Université Paul-Sabatier*. STRATA, 2, 28.
- CUBAYNES R. (1986) - Le Lias du Quercy méridional : étude lithologique, biostratigraphique, paléoécologique et sédimentologique. *Thèse Doctorat Sciences Naturelles*, Toulouse. STRATA, 2, 6.
- ENAY R. et al. (1980) – Synthèse paléogéographique du Jurassique français. *Docum. Lab. Géol.* Lyon, H.S. 5, 210 p., 42 cartes.
- HANTZPERGUE P., LAFAURIE G., LANGE-BADRE B. (1982) - Un crocodilien du Jurassique supérieur marin des environs de Cahors. *Bull. Soc. Etudes du Lot*. Cahors, 4e fasc., t. CIII, 375-385, 1 fig., 2 pl.
- LEZIN C. (2000) - Analyse des faciès et stratigraphie intégrée : application aux événements du passage Lias-Dogger sur la plate-forme du Quercy. *Thèse Université Paul-Sabatier*. STRATA, 2, 35.
- LEZIN C., REY J., FAURE PH., CUBAYNES R., PELISSIE T., DURLET CH. AND DECONINCK J-F. (2007). Tectono-biosedimentary recordings at the Lias-Dogger transition: example of the Quercy carbonate platform (Aquitaine Basin, France). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 178; p. 275-291.
- PELISSIE T., ASTRUC J. G. (1996) - Tectonique synsédimentaires et dissolution d'évaporites dans les dépôts du jurassique moyen et supérieur des Causses du Quercy. *Géologie de la France*, n°4, pp. 23-32.
- PEYBERNES B., PELISSIE T. (1985) - Essai de reconstitution de la paléogéographie des dépôts contemporains de la fin du rifting téthysien avant la transgression bathonienne sur le « Haut-fond occitan » (SW de la France). *C.R. Acad. SC. Paris*, (II), 301, 533-538.

LIVRET – GUIDE D'EXCURSION

**LE PALEOKARST DES CAUSSES DU QUERCY :
UN LABORATOIRE NATUREL DE L'ÉVOLUTION**

Thierry Péliissié

Association « Les phosphatières du Quercy »

Route de Varaire 46230 Bach thierry.pelissie@ac-toulouse.fr

UMR5563 Géosciences Environnement Toulouse

14, av. Edouard Belin

31400 Toulouse

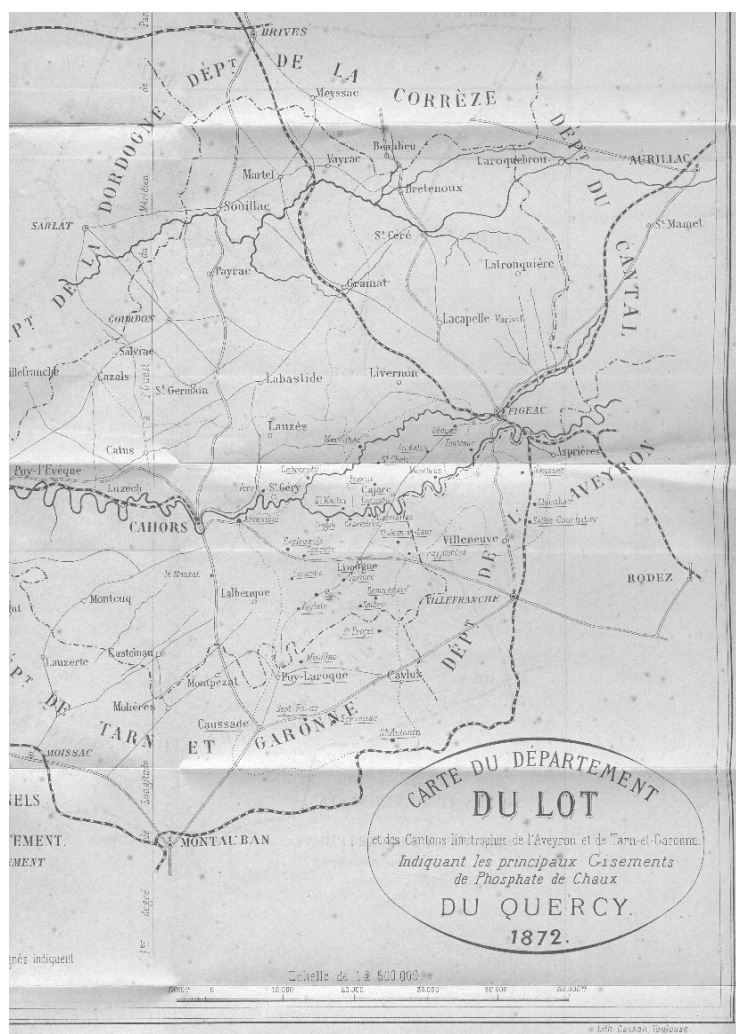
L'expression « laboratoire naturel de l'évolution » a été employée par le CNRS pour souligner l'exceptionnelle continuité (actuellement -52 à -21Ma, Péliissié & Sigé, 2006 ; Sigé & Hugueney, 2006) de l'enregistrement paléontologique des phosphorites du Quercy (De Bonis *et al.*, 1977). Mais le paléokarst quercynois ne se limite pas à ce seul fleuron. De nombreux remplissages autres que phosphatés se rencontrent dans ces causses (Astruc, 1988 ; Astruc & Simon-Coinçon, 1992 ; Simon-Coinçon & Astruc, 1992). Si nombre d'entre eux n'ont pas encore fourni de restes fossiles, d'inattendues découvertes (Crochet *et al.*, 2006 ; Aguilar *et al.*, 2007) sont venues montrer qu'à terme, on pouvait espérer avoir une séquence fossilifère continentale plus ou moins continue de -65Ma à nos jours.

LES PHOSPHATIERES DU QUERCY (LOT, TARN-ET-GARONNE, AVEYRON, TARN)

LA "RUEE VERS LE PHOSPHATE"

En 1887, Stanislas Meunier écrivait : « On peut dire que l'importance agricole d'un pays est exactement mesurée par la quantité de phosphate de chaux qu'il consomme ». C'est dans ce contexte, alors qu'en Angleterre certains en sont venus à pulvériser des momies égyptiennes pour fertiliser leurs terres, que Jean André Poumarède découvre en 1865 le premier gisement de phosphorite du Quercy à Cos, sur la commune de Caylus (Tarn-et-Garonne). D'entrée de jeu il perçoit le double intérêt de ces gisements en écrivant au Préfet le 4 janvier 1867: « Je viens de faire une découverte qui peut avoir une certaine importance pour l'agriculture et la paléontologie ». La fièvre du phosphate atteint alors le Quercy. Des nuées de prospecteurs inspectent les murets en pierres sèches ou les taupinières à la recherche d'indices.

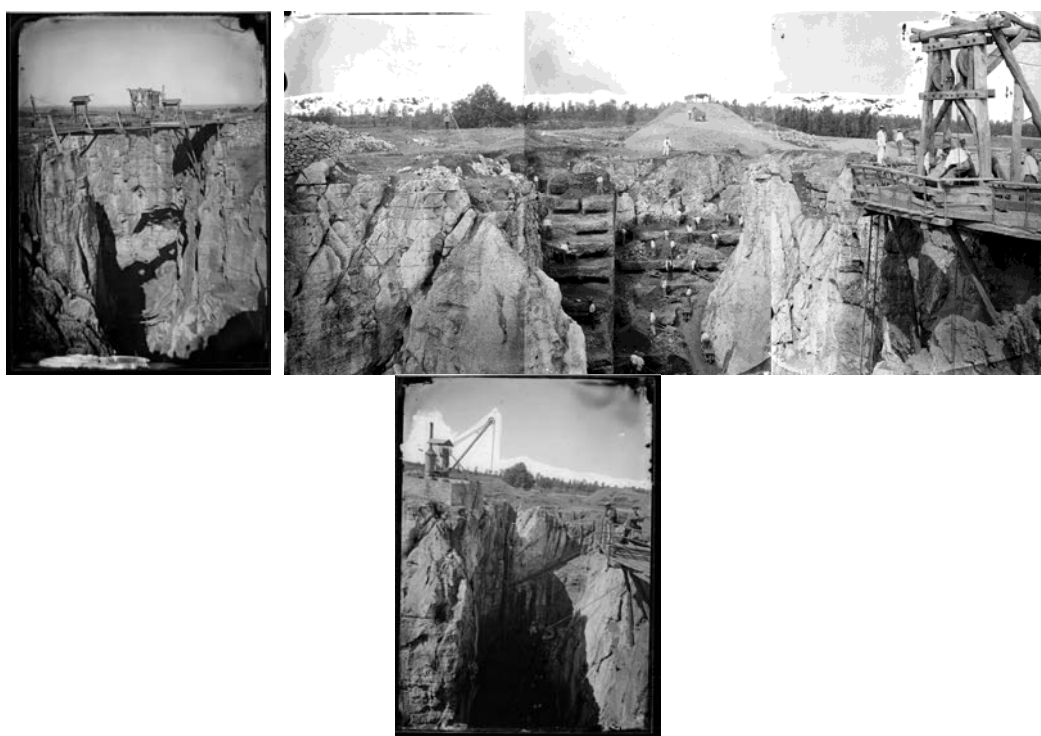
Fig.5 : Carte des gisements de phosphorites (Malinowski, 1873).



Rapidement l’aire de répartition des gisements s’étend vers le nord jusqu’à la vallée du Célé (Fig. 5). Ultérieurement elle ira vers le sud jusqu’à la vallée de l’Aveyron dans le secteur de Penne-Montrichoux (Fig.6).

L’essentiel du minerai extrait, après concassage dans des moulins, était exporté vers la Grande Bretagne via la navigation sur le Lot. Après traitement à l’acide sulfurique, il permettait d’obtenir du superphosphate bien connu comme engrais.

Mais cette exploitation intense (plus de 2000 ouvriers, jusqu’à 30 000 tonnes de phosphate par an) ne dura guère. La découverte de gisements plus aisés à exploiter en baie de Somme, en Floride et en Afrique du Nord provoqua au cours de l’hiver 1886/1887 la fermeture du $\frac{3}{4}$ des exploitations. Seules les plus importantes d’entre elles poursuivirent, de façon saisonnière, leur activité jusqu’au début du XXème siècle. Plusieurs tentatives de reprise eurent lieu, à l’issue de la 1^{ère} guerre ou durant la seconde guerre mondiale. Elles se soldèrent toutes par des échecs : les gisements de phosphate du Quercy ne sont pas épuisés mais leur richesse est largement insuffisante pour en espérer la moindre rentabilité. On peut même penser que, s’ils avaient été découverts ne serait ce qu’une dizaine d’années plus tard, ils n’auraient jamais fait l’objet d’une exploitation quelconque. Des milliers d’ossements auraient alors échappé au broyage.... Mais aurait-on seulement découvert leur existence ?



*Fig.6 : La phosphatière de Raynal (Saint-Antonin, Tarn-et-Garonne) en activité vers 1875.
Collection Trutat, Muséum d’Histoire naturelle de Toulouse.*

LES ANCIENNES COLLECTIONS

Dès la découverte de Poumarède, la présence d’ossements fossiles est mentionnée. Constituant une partie du minerai ils sont pour la plupart broyés comme les nodules et encroûtements phosphatés. Seules les plus belles pièces, cédées moyennant finance par les ouvriers et les contremaîtres, y échapperont. Elles constitueront des collections qui, au hasard d’échanges, de ventes ou de legs successifs, seront dispersées dans de nombreux musées et dans le monde entier. Avec parfois des retombées surprenantes comme l’écrit en 1882 le Préfet à un notable local : « Mille remerciements, Cher Monsieur, pour votre envoi de fossiles. Je ne souhaite pas rester en retard vis-à-vis de vous.

Donc, confidentiellement, je vous annonce que je vous propose pour le ruban rouge. Ce ne sont pas les rhinocéros qui en sont cause bien sur mais vos mérites..... ».

De nombreux paléontologues et naturalistes (Boule, De Stephano, Filhol, Gaillard, Gaudry, Gervais, Milne-Edwards, Schlosser, Stehlin, Teilhard de Chardin, Thévenin, Trutat) étudient ainsi des fossiles dont ils ignorent la provenance exacte. Il en naîtra la fausse idée d'un mélange inextricable dans les gisements karstiques. C'est dans ce contexte qu'ont été découverts nombre de spécimens célèbres comme la grenouille ou les crânes de primates et autres mammifères étudiés par Filhol (Fig. 7).

Ces pièces exceptionnelles ont servi de base pour la définition de très nombreuses espèces. Néanmoins, hors de tout contexte stratigraphique, leur intérêt demeure pour l'essentiel limité à la taxonomie.



Fig.7 : Quelques illustrations de fossiles issus des phosphorites du Quercy (Filhol, 1877).

LES TRAVAUX DE BERNARD GEZE

Bernard Gèze, dans le cadre de son « étude hydrogéologique et morphologique de la bordure Sud-Ouest du Massif Central » redécouvre en 1937/1938 l'intérêt des anciennes exploitations de phosphate quercynaises. D'une part il constate qu'elles n'ont pas été totalement vidées de leur contenu et que subsistent donc des remplissages fossilifères facilement accessibles (Fig. 8). D'autre part, à travers l'étude des sites d'Aubrelong (commune de Bach, Lot), il démontre que le temps de remplissage de chaque gisement est court et que les faunes qui y sont recueillies sont biostratigraphiquement homogènes. Par contre deux locus voisins peuvent avoir des âges très différents.

Fig.8 : Relevé du remplissage phosphaté d'Aubrelong n°2 (Gèze, 1938).



Ces observations sont confirmées lors de ses campagnes de terrain pour les levés de la carte géologique de 1943 à 1949. Elles vont ouvrir la voie à une période d'intense activité paléontologique dans le Quercy qui se prolonge encore aujourd'hui.

LA FORMATION DES PHOSPHATIERES DU QUERCY

Le karst est bien connu pour d'une part sa réactivité face aux variations du niveau de base, d'autre part son caractère conservatoire vis-à-vis de l'érosion. Ces deux caractéristiques sont à l'origine des spécificités du paléokarst quercynois (Fig. 9).

En toute logique, l'érosion aurait dû décapiter le plateau calcaire et détruire les remplissages anciens. Fort heureusement, en lien avec la surrection des Pyrénées et le remplissage molassique du Bassin Aquitain, ils ont été scellés et protégés par les dépôts lacustres et palustres de l'Oligo-Miocène.

C'est l'érosion au Plio-Quaternaire qui les a exhumés et a même entamé leur destruction comme en témoigne la concentration des phosphatières sur les seuls points hauts du causse.

Quant au phosphate, il dérive pour l'essentiel de l'altération des dépôts phosphatés marins du Crétacé supérieur.

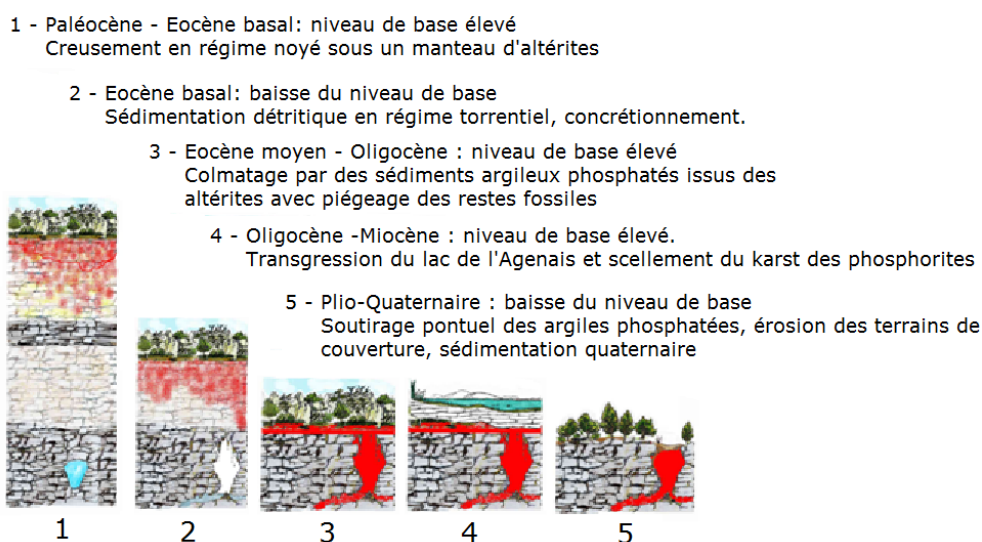


Fig.9 : Schéma simplifié de l'évolution du paléokarst quercynois (Pélissié, 2010).

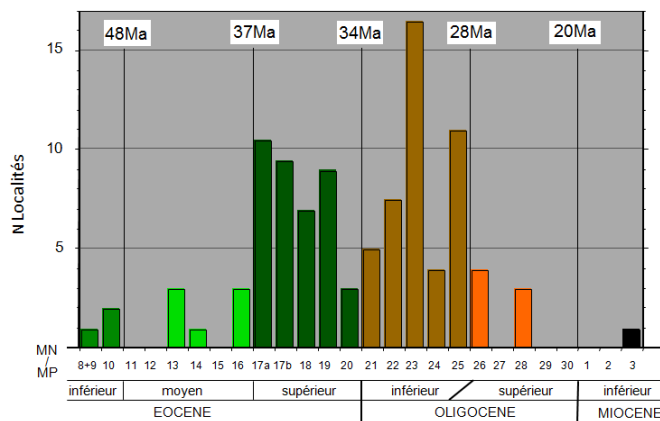
LES NOUVELLES COLLECTIONS

A partir des années 1960, plusieurs équipes reviennent explorer le Quercy : Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, université d'Utrecht, Sous l'impulsion de Louis Thaler, l'Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier entame, à partir de 1965, une longue série de campagnes de fouilles. Y participent également le MNHN et les universités de Lyon et de Poitiers.

Près de 170 gisements seront ainsi inventoriés, livrant près de 400 espèces de mammifères, 81 espèces de « reptiles », 75 espèces d'oiseaux et 15 espèces d'amphibiens sans oublier quelques poissons et invertébrés. L'intervalle de temps concerné s'étale sur plus de 30 millions d'années (Fig. 10) et documente fort précisément les renouvellements fauniques associés à la Grande Coupure au passage Eocène/Oligocène.

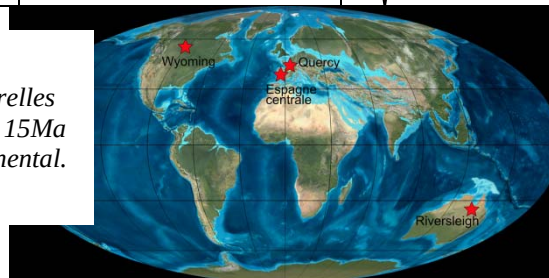
Il est à noter que de telles séquences chronologiques demeurent exceptionnelles en milieu continental. A l'échelle mondiale, seules sont connues actuellement 3 autres régions présentant un enregistrement continu équivalent (Fig. 11).

Fig.10 : Répartition biochronologique des gisements paléontologiques des phosphorites du Quercy (Legendre, 1989).



Erathème	Systèmes Périodes	Séries Epoques	Etages- Ages	Ages (Ma)	Répartition des gisements de Mammifères du paléokarst quercynois	Régions naturelles couvrant plus de 15Ma d'évolution des Mammifères
Cénozoïque	Quaternaire	Holocène		0.0118		
		Pleistocène	Tarentien	0.126		
			Ionien	0.781		
			Calabrien	1.806		
			Gélasien	2.588		
	Néogène	Pliocène	Plaisancien	3.600		
			Zancléen	5.333		
		Miocène	Messinien	7.246		
			Tortonien	11.63		
			Serravallien	13.82		
			Langhien	15.97		
			Burdigalien	20.44		
			Aquitanién	23.03		
	Paléogène	Oligocène	Chattien	28.1		
			Rupélien	33.9		
		Eocène	Priabonien	37.8+/-0.5		
			Bartonien	41.2+/-0.5		
			Lutétien	47.8+/-0.2		
			Ypresien	56.0		
			Thanétien	59.2		
		Paleocène	Selandien	61.6		
			Danien	66.0+/-0.05		

Fig.11 : Localisation et biochronologie des régions naturelles présentant, sur une surface d'environ 10 000 km², plus de 15Ma d'enregistrement paléontologique continu en milieu continental.



Au-delà de la description de nombreux nouveaux taxons, les résultats obtenus sont variés. Différents groupes terrestres de vertébrés (amphibiens, reptiles, oiseaux et mammifères) ont fait l'objet de travaux d'anatomie, systématique et phylogénie, complétant les connaissances des faunes européennes occidentales du Paléogène supérieur. L'étude de l'évolution des espèces abondamment représentées dans ces remplissages karstiques a permis d'établir puis d'affiner l'échelle biochronologique des mammifères. Ces faunes font également l'objet d'analyses paléobiogéographique et paléoécologique, ainsi que d'études sur la dynamique de leur renouvellement (extinction, apparition, diversité). Des analyses taphonomiques ont été entreprises pour comprendre la genèse des assemblages fossiles. A côté du travail purement paléontologique, des approches nouvelles ont été initiées pour mieux appréhender la dynamique des phénomènes karstiques dans un cadre chronologique calibré à quelques dizaines de milliers d'années près.

Cinq niveaux repères du Paléogène européen ont été définis sur des sites quercynois : MP19 Escamps, MP 23 Itardies, MP 25 Le Garouillas, MP 26 Mas de Pauffié et MP 28 Pech du Fraysse (Schmidt-Kittler, 1987).

Les évolutions paléoenvironnementales accompagnant le renouvellement faunique et les changements climatiques et paléogéographiques du passage Eocène/Oligocène ont pu être caractérisés en utilisant, grâce à la qualité de la fossilisation et à la représentativité des thanatocénoses, une technique issue de l'écologie, celle des cénogrammes (Legendre, 1989) qui permet de caractériser les environnements à partir de la répartition massale des espèces de mammifères herbivores (Fig. 12).

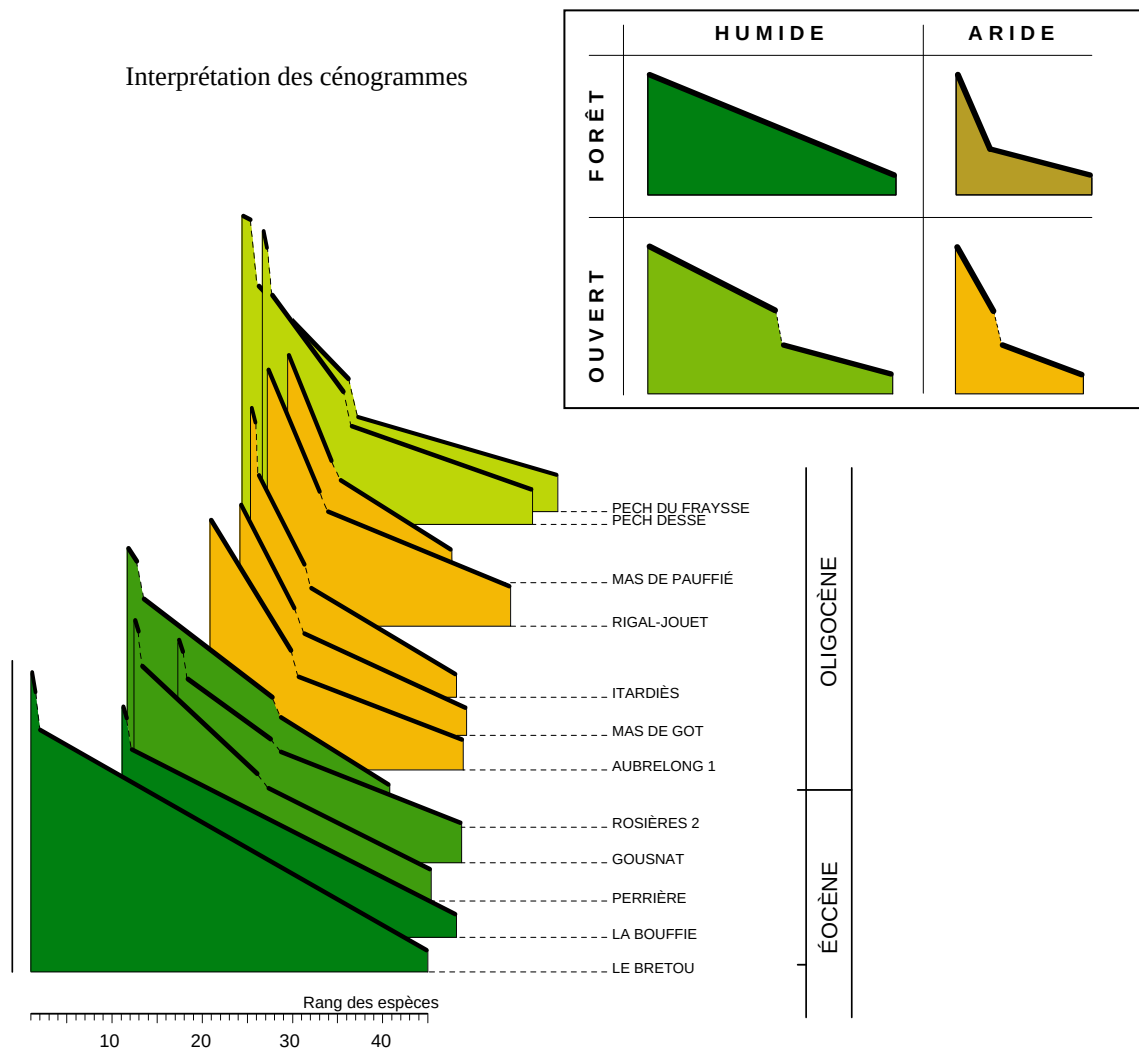


Fig.12 : La succession des cénogrammes des gisements des phosphorites du Quercy (Legendre, 1989).

LES FOUILLES RECENTES

Depuis 2007, l'association « Les phosphatières du Quercy » coordonne les fouilles estivales avec les équipes de Montpellier, Lyon, Poitiers, MNHN Paris et Dijon. En 6 ans une dizaine de sites fossilifères totalement nouveaux ont été recensés et, sur des phosphatières déjà répertoriées, ce sont plusieurs dizaines de locus nouveaux qui ont été repérés en utilisant les techniques spéléologiques et en désobstruant certains passages éboulés.

C'est dans ce cadre qu'un partenariat original a été développé avec plus de trente collèges et lycées de Midi-Pyrénées mais aussi d'Aquitaine et de la région parisienne. Du sédiment fossilifère provenant des déblais d'exploitation minière leur est fourni gracieusement. Les activités de tamisage/tri/photographies s'intègrent dans des séances de travaux pratiques, soit en SVT en lien étroit avec des points du programme, soit dans le cadre d'ateliers scientifiques. Le matériel paléontologique ainsi récupéré (Fig. 13) est intégralement retourné et complète celui collecté au cours des fouilles sur les remplissages en place dans les sites. Il alimente directement les travaux des paléontologues et permet d'établir un pont très motivant entre monde scolaire et monde de la recherche.

L'opération a pour l'instant concerné le seul gisement de Valbro. De découverte récente (Peigné *et al.*, à paraître) celui-ci s'avère très intéressant. Avec un total de plus de 50 taxons dont 11 de rongeurs et au moins 13 de carnassiers, Valbro constitue d'ores et déjà le gisement le mieux documenté de MP22, et se place parmi les gisements les plus riches et diversifiés pour l'Oligocène d'Europe.

D'autres résultats se sont avérés surprenants. La découverte d'une paléoflore paléogène riche d'au moins 6 familles végétales était totalement imprévue dans ce type d'argiles rouges (Franceschi *et al.*, 2006).

Des gisements « würmiens » ainsi que quelques sites plus anciens comme l'igue des Rameaux sont connus dans le Quercy. Mais les récentes investigations dans les phosphatières montrent que l'on a fréquemment, au-dessus des remplissages paléogènes compactés, de minces niveaux quaternaires fossilifères et dont l'étude est en cours. Encore plus inattendue a été la découverte d'une petite faune pliocène datée à -3,5Ma (Aguilar *et al.*, 2007). Dans certaines anciennes collections, des pièces rapportées au Quercy sont de toute évidence du Miocène moyen à supérieur.

Quelques résultats qui prouvent, si besoin était, qu'il y a encore beaucoup de choses à découvrir dans les paléokarsts quercynois....

PROTECTION ET VALORISATION DU PATRIMOINE PALEONTOLOGIQUE DU PALEOKARST QUERCYNOIS

De par leurs dimensions généralement restreintes, les remplissages paléokarstiques s'avèrent particulièrement fragiles. Quelques coups de pioche maladroits ou mal intentionnés peuvent suffire à les anéantir, quelques m³ de déchets suffisent à les ensevelir à jamais. Les exemples en sont malheureusement trop fréquents.

Afin de mieux préserver ce fragile patrimoine (ainsi que les traces d'activité minière et la flore actuelle spécifique associées), plusieurs démarches ont été initiées.

En premier lieu une sensibilisation de la population locale à l'existence et à l'importance de ce patrimoine : conférences à travers tout le territoire concerné, articles dans la presse locale, émissions de télévision et surtout aménagement des phosphatières du Cloup d'Aural à Bach (Lot). Ce site, ouvert au public en 2000, accueille environ 12000 personnes par an. En sus des visites classiques, il propose des animations pédagogiques (3000 élèves par an) ainsi que des visites thématiques ou adaptées à un public particulier. C'est le cas pour les mal voyants pour lesquels une exploration des phosphatières basée sur les contrastes de température, d'odeurs, de sonorités, de rugosité des roches et des végétaux a été mise au point. C'est aussi un pôle culturel avec des expositions artistiques et, pour l'été 2013, un spectacle hebdomadaire, « Les phosphatières, trous de mémoire », contant l'histoire et les anecdotes de l'exploitation minière de la fin du XIX^{ème} siècle. Plusieurs opérations de dépollution de sites ayant servi de décharges sauvages ont également été menées. En deuxième lieu une protection juridique offrant des possibilités de recours en cas de besoin. Le site du Cloup d'Aural est inscrit au titre des monuments historiques pour ses aspects industriel et minier.

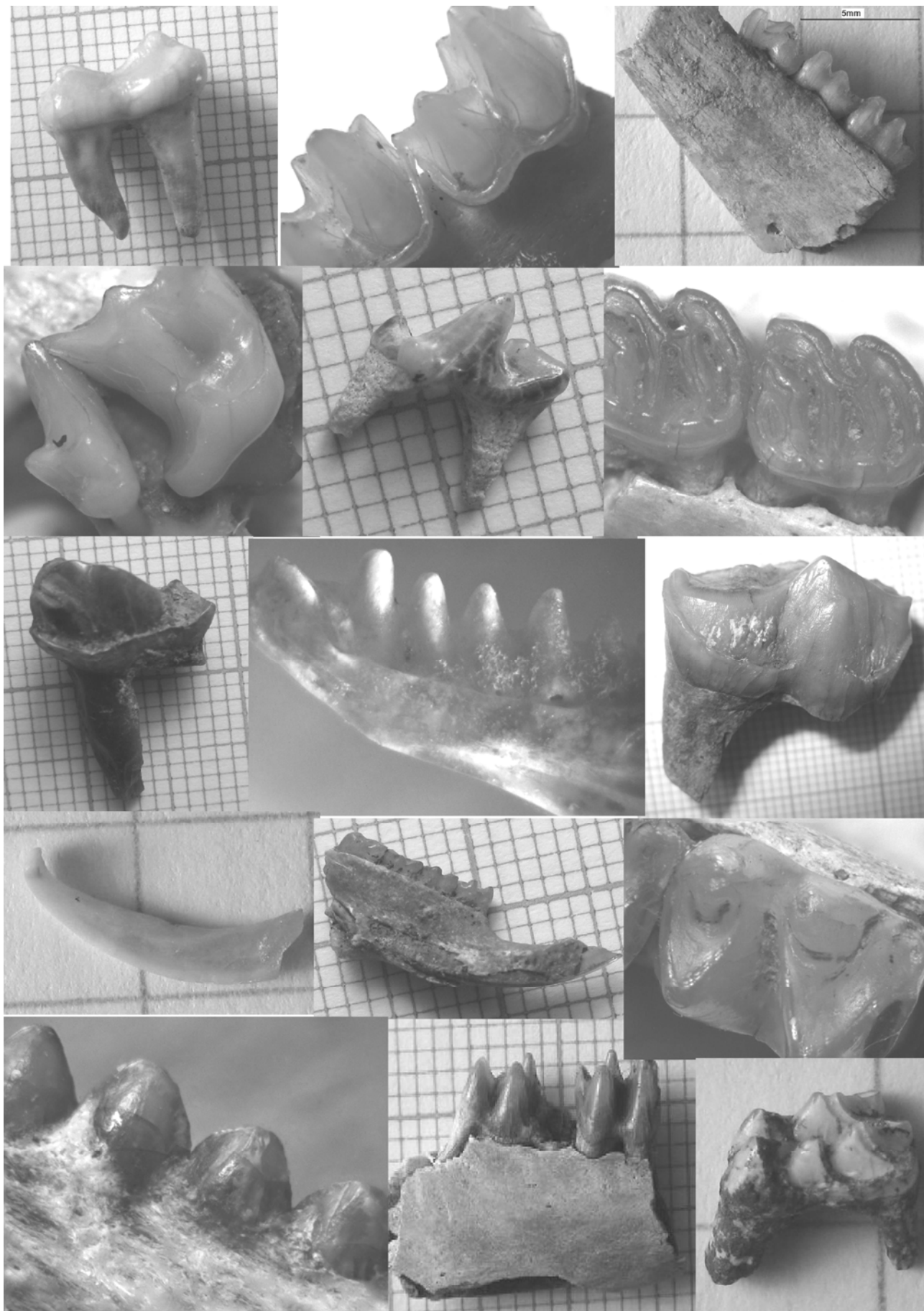


Fig.13 : Restes fossiles récoltés lors de travaux de tamisage réalisés dans le cadre scolaire.

Plus généralement, avec le site de la Plage aux Ptérosaures, la majeure partie des phosphatières lotoises devraient d’ici peu constituer une Réserve Nationale éclatée concernant 22 communes.

En troisième lieu, une valorisation devrait s’organiser autour du label European Geopark avec notamment la définition de circuits géotouristiques en partenariat avec le Parc Naturel Régional des Causses du Quercy.

RÉFÉRENCES

- AGUILAR J.P., MICHAUX J., PELISSIE T. & SIGE B. (2007) – Early late Pliocene paleokarstic fillings predating the major Plio-Pleistocene erosion of the Quercy table, SW-France. *Acta Carsologica* 36/3, 469-473, POSTOJNA
- ASTRUC J.G. (1988) – Le paléokarst quercynois au Paléogène; altérations et sédimentations associées. *Document du Bureau de Recherches géologiques et minières*, 133: 1-135.
- ASTRUC J. G. & R. SIMON-COINÇON (1992) – Enregistrement de l’évolution climatique et tectonique par les paléokarsts (exemple du Quercy et de ses marges). In “ *Karsts et évolutions climatiques*”. Presses Univ. De Bordeaux édit., pp. 497-508.
- BONIS, L. DE; CROCHET, J.Y.; HARTENBERGER, J.L.; RAGE, J.C.; SIGE, B.; SUDRE, J. & VIANEY-LIAUD, M. (1977) – Les Phosphorites du Quercy: un laboratoire naturel de l’évolution des vertébrés. *Courrier du CNRS* Paris, 25: 6-11.
- CROCHET J.Y, AGUILAR J.P., ASTRUC J.G., BOULBES N., ESCARGUEL G., MICHAUX J., MONTUIRE S., PELISSIE T., SIMON-COICON R. & SIGE B. (2006) – Reprises plio-pléistocènes du paléokarst quercynois. In 30 millions d’années de biodiversité dynamique dans le paléokarst du Quercy. Journées Bernard Gèze. *Strata* (sér. 1) 13,85-95.
- FILHOL H. (1877) – Recherches sur les phosphorites du Quercy. Etude des fossiles qu’on y rencontre et spécialement des Mammifères. *Annales des Sciences géologiques*, Paris, G.Masson éditeur, 1-338, pl. 1-28.
- FRANCESCHI DE D., LE GALL C., ESCARGUEL G., HUGUENEY M., LEGENDRE S., SIMON-COICON R ; GÈZE, B. (1938) – Contribution à la connaissance des phosphorites du Quercy. *Bull.Soc.géol.France*, (5), t.VIII, p.123-146.
- LEGENDRE S. (1989) - Les communautés de mammifères du Paléogène (Éocène supérieur et Oligocène) d'Europe occidentale: structures, milieux et évolution. *Münchner Geowissenschaften Abhandlungen*, A 16: 1-110.
- MALINOWSKI J. (1873) – Traité spécial des phosphates de chaux natifs. *Savy* (Paris) – *Laytou* (Cahors), 223p.
- MEUNIER S. (1887) – Les phosphates de Picardie. *La Nature*, 712, 113-115.
- PELISSIE T. (2010) – Le paléokarst des phosphorites du Quercy Grottes et karsts de France *Karstologia* Mémoires n°19 pp.74-75
- PELISSIE T. & SIGE B. (2006) – Une paleoflore des phosphatières karstiques du Quercy (Sud-Ouest France) : première découverte, résultats et perspectives in 30 millions d’années de biodiversité dynamique dans le paléokarst du Quercy. Journées Bernard Gèze. *Strata* (sér. 1) 13, 97-101.
- PELISSIE T. & SIGE B. (2006) – 30 millions d’années de biodiversité dynamique dans le paléokarst du Quercy. Journées Bernard Gèze. *Strata* (sér. 1) 13, 1-284.
- PEIGNE, S, VIANEY-LIAUD M, PELISSIE T & SIGE B. (accepté, à paraître) – Valbro : un nouveau site de l’Oligocène inférieur (MP22) de France (Quercy) – Contexte géologique, Rodentia, Hyaenodontida et Carnivora (Mammalia). *Annales de Paléontologie*
- SCHMIDT-KITTLER N. (1987) – European Reference Levels and Correlation Tables. In Schmidt-Kittler N. (ed.): International Symposium on Mammalian Biostratigraphy and Paleoecology of the European Paleogene. *Münchner geowissenschaftliche Abhandlungen*, A, vol. 10, 13-31.
- SIGÉ, B. & HUGUENEY M. (2006) – Les micromammifères des gisements à phosphate du Quercy (SW France) in 30 millions d’années de biodiversité dynamique dans le paléokarst du Quercy. Journées Bernard Gèze. *Strata* (sér. 1) 13, 207-226.
- SIMON-COINÇON R., ASTRUC J. G. (1992) – Karstic sedimentary traps in Quercy (Southern France): a key for paleogeographic reconstructions. *Mineralogical and geochemical records of paleoweathering*, Schmitt & Gall (eds) ENSMP Mém. Sc. de la Terre, 18, 85-95.

LE GISEMENT ICHNOLOGIQUE DE CRAYSSAC (TITHONIEN INFÉRIEUR, LOT)

Jean-Michel Mazin et Pierre Hantzpergue

UMR 5276 - CNRS/ENS/Université Lyon 1
Campus de la Doua, 2 rue Dubois, Bâtiment Géode
69622 Villeurbanne cedex

jean-michel.mazin@univ-lyon1.fr - pierre.hantzpergue@univ-lyon1.fr

LA "PIERRE DE CRAYSSAC"

Les carrières de Crayssac se situent à 15 kilomètres à l'ouest de Cahors. L'exploitation de la "Pierre de Crayssac", ou, plus largement, de la "Pierre du Lot" remonte à l'Antiquité. Du Moyen-Age aux temps modernes, maisons, monuments et églises ont été bâtis sur ces ressources locales, conférant un caractère particulier à l'architecture lotoise (Fig. 14). Cependant, avec le développement de matériaux de construction modernes, l'exploitation de ces calcaires fins a été progressivement abandonnée pendant le 20^{ème} siècle. Un renouveau de l'intérêt pour la Pierre du Lot se développa dans les années 1960, notamment en raison de la restauration de nombreux bâtiments et demeures traditionnelles. L'exploitation du calcaire se redéveloppa alors sous la forme de nombreuses petites carrières, ouvertes en fonction des besoins. Les propriétaires, le plus souvent agriculteurs ou viticulteurs, non spécialistes de l'extraction, firent alors appel à des ouvriers portugais. Aujourd'hui, nombre de carrières appartiennent ou sont exploitées par ces portugais, qui ont considérablement développé l'extraction de pierre de dallage et de construction. Bien que moins répandue, la "Pierre du Lot" est considérée comme l'égal des calcaires de Solhofen et s'exporte, notamment vers l'Europe du Sud (Fig. 15).



Fig.14 : Emploi de la "pierre de Crayssac" pour la construction traditionnelle des cazelles.



Fig. 15: Les nombreuses carrières de la région de Crayssac livrent des pierres de dallage et de construction extraites des calcaires jurassiques. Les niveaux laminés, qui contiennent les surfaces à empreintes, ne sont pas exploités par les carrières en raison de leur sensibilité au gel.

DECOUVERTE ET HISTOIRE DU SITE

Depuis longtemps, carriers et amateurs ont remarqué la présence de fossiles et de traces dans les déblais d'exploitation. Quelques collections locales se sont constituées et, à la fin des années 1970, J.-L. Obereiner, ingénieur chargé d'un inventaire des carrières, figurait et signalait dans un rapport interne des "pas d'oiseaux" sur des dalles provenant de Crayssac.

Toutefois, les premières traces portées à l'attention de la communauté scientifique ont été découvertes par Gérard Lafaurie à la fin des années 1980. Parmi ces empreintes, une courte piste a été présentée et attribuée à un crocodilien lors du Workshop on Lithographic Limestone (Hantzpergue & Lafaurie, 1991 ; publié en 1994), associée à des restes de poissons et une portion de colonne vertébrale d'un petit crocodilien (Hantzpergue & Lafaurie, 1994).

Au début des années 1990, une série de prospections fut menée dans les carrières de Crayssac, conduisant, en 1993, à la découverte d'empreintes et de pistes en place. Une première fouille modeste fut réalisée en 1994, aboutissant à la découverte de plusieurs pistes étranges. L'une de ces courtes pistes, associant des empreintes de mains tridactyles et de pieds tétradactyles put être attribuée à l'ichnogenre *Pteraichnus* STOKES 1957, ce qui confirmait l'existence de pistes de ptérosaures quadrupèdes. Ce premier résultat fut présenté lors du Symposium of Vertebrate Palaeontology and Comparative Anatomy (1994) et publié en 1995 (Mazin *et al.*, 1995).

En 1995, avec l'aide matérielle d'Antonio Pereira, carrier propriétaire à Crayssac, une surface de plusieurs centaines de mètres carrés fut ouverte dans les calcaires laminés de la carrière des Combes (lieu-dit Mas de Pégourdy, Crayssac). Cette nouvelle fouille révéla la grande richesse ichnologique de ces calcaires, livrant de très nombreuses empreintes et pistes de ptérosaures, mais aussi d'autres ichnotaxons, finement enregistrées dans ces tidalites. L'expression "Plage aux Ptérosaures" s'imposa naturellement.

Dès lors, il apparut nécessaire de fouiller très finement ces surfaces et un programme de plusieurs années d'étude fut mis en place. Nos institutions ne pouvant prendre en charge la totalité d'une telle opération, nous nous sommes tournés vers les collectivités locales et territoriales à qui nous avons proposé une opération globale associant étude scientifique, gestion du patrimoine et valorisation du site.

Ainsi, de 1996 à 2001, d'importantes fouilles furent menées avec l'aide logistique et financière des collectivités publiques (Municipalité, Communauté de Communes, Département, Région), de nos institutions (CNRS, Universités de Poitiers et Lyon 1, Muséum de Toulouse) et d'entreprises privées (carriers, banque populaire, Solen Géotechnique). Cette opération se résume en trois points :

1. Étude scientifique : fouille de près de 2 000 m² de surfaces, études stratigraphique et sédimentologique détaillées. Plus de 100 pistes de vertébrés et d'invertébrés ont été mises au jour, parmi lesquelles des isopodes, tortues, dinosaures, crocodiliens, ptérosaures, etc., révélant un cortège faunique de vasière littorale.
2. Protection du patrimoine : le propriétaire du site, M. Antonio Pereira, a cédé la carrière à la communauté de communes de Catus pour l'euro symbolique. Une politique de maîtrise foncière et patrimoniale a conduit la communauté de communes (aujourd'hui la Communauté d'Agglomération du Grand Cahors) à acquérir les parcelles encadrant le site. La Plage aux Ptérosaures est intégrée à la réserve géologique du Lot, en cours d'élaboration.
3. Actions publiques : lors des fouilles, nous avons régulièrement accueilli grand public et public scolaire sur le chantier. Près de 10 000 personnes ont ainsi visité le chantier de fouille et assisté à des conférences d'information.

En 2001, l'accumulation de données, aussi bien que la nécessité de protéger le site, nous ont conduits à interrompre le programme de terrain. Le site a été bâché et enfoui sous plusieurs dizaines de tonnes de sable. Une association locale a été créée avec plusieurs missions, dont, notamment, maintenir le lien avec les collectivités publiques, assurer une veille paléontologique et une maintenance sur le site, développer une activité culturelle, etc. L'obtention d'un financement sur un Pôle d'Excellence Rural a permis la construction d'un bâtiment de protection, également conçu pour accueillir le public. Ce bâtiment, achevé en 2010, sera le siège du futur pôle de la Plage aux

Ptérosaures. Un cabinet de scénographie a été récemment mandaté pour la muséographie du site, prise en charge par la communauté d'agglomération du Grand Cahors, aujourd'hui maître d'œuvre du projet. Il aura fallu 20 ans d'efforts des scientifiques, des collectivités et de nombreux bénévoles pour que ce projet aboutisse. L'ouverture au public du site muséographié est prévue en 2014 ou 2015, intégrant la poursuite des activités de fouilles. Plusieurs dizaines de milliers de mètres carrés, maintenant protégés légalement, notamment par maîtrise foncière publique et, espérons-le par une réserve géologique, restent à explorer sur la Plage aux Ptérosaures de Crayssac.

STRATIGRAPHIE ET BIOSTRATIGRAPHIE :

Dominant la vallée du Lot, le plateau de Crayssac héberge un grand nombre de carrières exploitant des bancs de calcaires fins. L'intérêt biosédimentaire de ce faciès a été souligné dès 1966 par Delfaud & Gottis, puis, des levés détaillés ont permis de reconstituer la succession stratigraphique synthétique du Tithonien inférieur de cette région (Hantzpergue & Lafaurie, 1994). Sur une centaine de mètres d'épaisseur, les dépôts tithoniens se répartissent dans la formation de Salviac pour leur partie inférieure et dans la formation de Cazals tronquée en son sommet par la surface d'érosion du Crétacé basal (Cubaynes *et al.*, 1989).

Les niveaux exposés dans le gisement ichnologique du Mas de Pégourdy se localisent dans la partie basale de la formation de Casals (terme L3, Fig. 16). Ils livrent de rares ammonites permettant de les attribuer à l'horizon à Gravesiana (sous-zone à Gravesiana, zone à Gigas, Tithonien inférieur). Ainsi, l'âge de ce gisement occupe une position intermédiaire entre celle des lagerstätten de Solnhofen et de Canjuers (Mazin *et al.*, 1997), (Fig. 17).

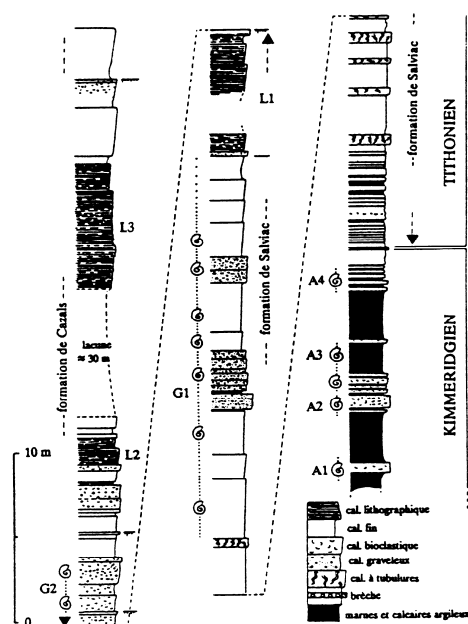


Fig.16 : Lithostratigraphie du Tithonien quercynois. Les niveaux fossilifères se situent dans le terme L3 de la Formation de Cazals, (Hantzpergue & Lafaurie, 1994).

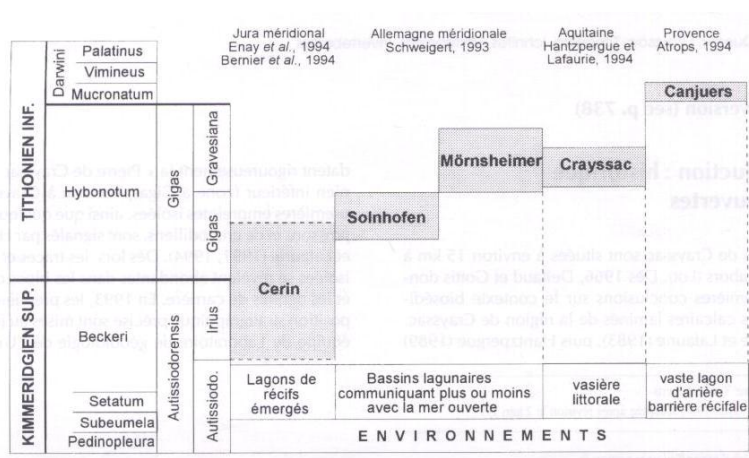
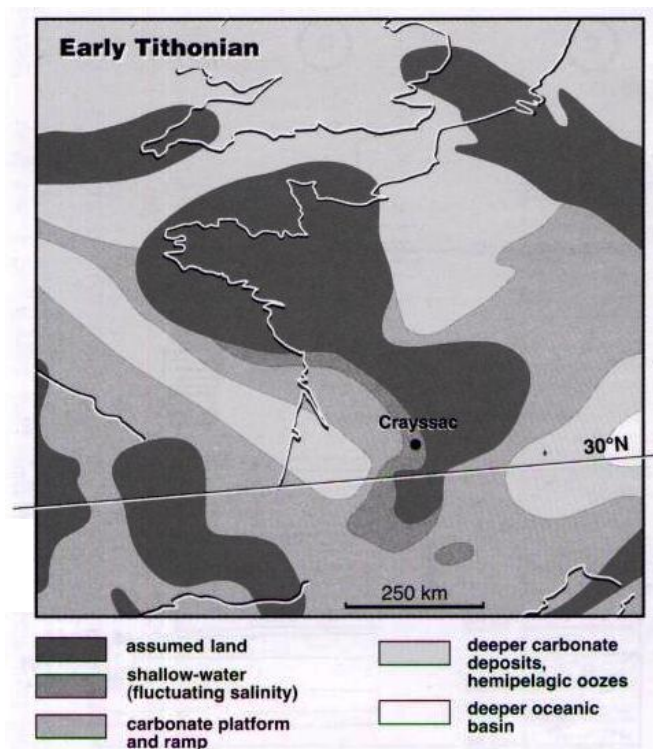


Fig.17 : Chronologie et environnements des principaux gisements du Jurassique supérieur ouest-européen (Mazin *et al.*, 1997).

PALEOGEOGRAPHIE:

Dans le contexte régressif du Jurassique supérieur, l'Europe occidentale correspond à un paysage d'archipel. Le Bassin d'Aquitaine, enserré entre la Terre armorico-centrale et la Terre ibérique est le siège d'une sédimentation carbonatée peu profonde passant, en bordure des terres émergées (Fig. 18), à des faciès péri-littoraux particulièrement bien exposés sur le plateau de Crayssac.

Fig.18 : Paléogéographie du Bassin Aquitain au Tithonien inférieur (Gaillard et al., 2005)



DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE ET PALEOENVIRONNEMENTS.

Dans le Quercy, l'épaisse série carbonatée du Tithonien se compose de séquences régressives dont le terme terminal correspond à des calcaires laminés (tidalites: L1, L2 et L3, Fig. 16). Le terme L3, exposé dans la carrière du Mas de Pégourdy, correspond, sur une épaisseur d'un mètre, à des calcaires sublithographiques laminés (Fig. 19). Cette texture présente l'alternance de feuillets micritiques et dolomicrosparitiques infra-millimétriques résultant d'une sédimentation tidale sur un vaste mudflat, avec alternance de périodes d'immersion et émergence confirmées par l'enregistrement de nombreuses figures sédimentaires et d'ichnites (Fig. 20).

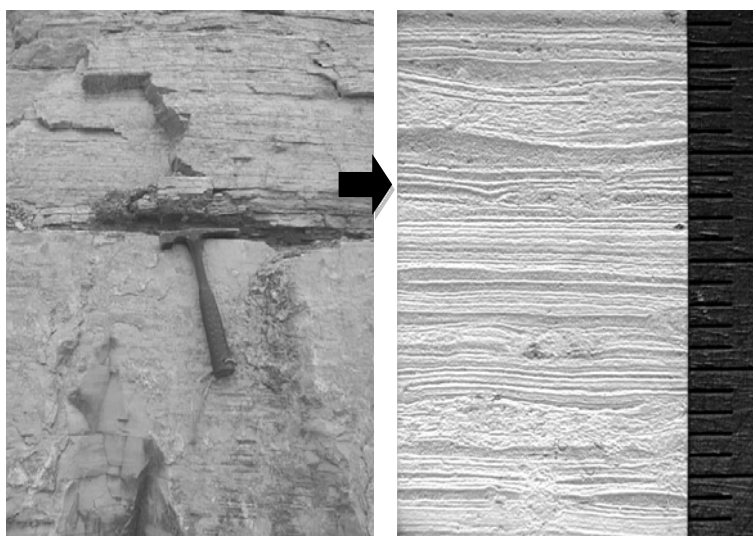
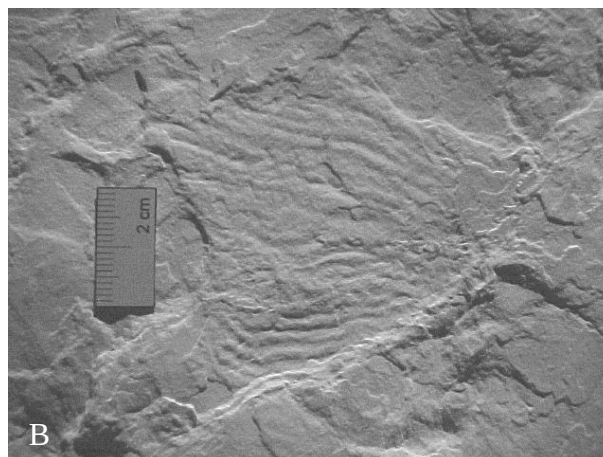
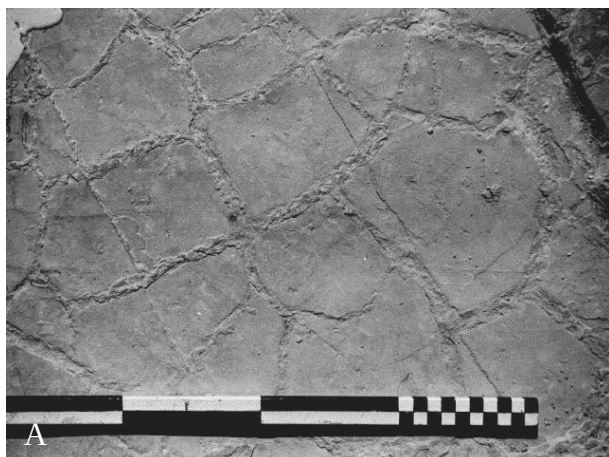


Fig.19 : Le terme L3 dans la carrière du Mas de Pégourdy.



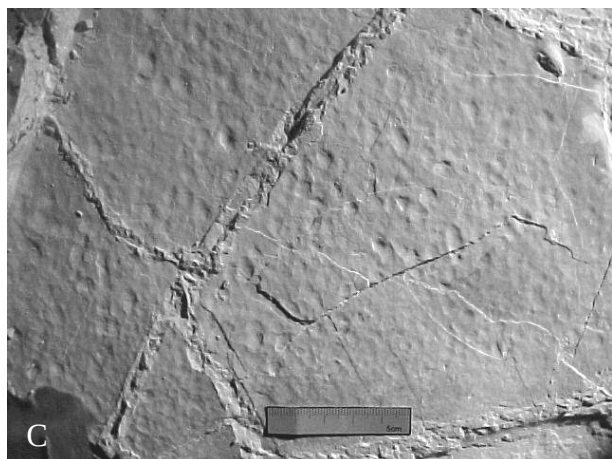


Fig.20 : Figures sédimentaires dans le terme L3 de la carrière du Mas de Pégourdy.

A: fentes de dessiccations.

B: voile cyanobactérien.

C: impacts de gouttes de pluie.

Implanté dans la carrière du Mas de Pégourdy, le sondage SOLEN 98 permet dans le détail, de reconstituer la séquence virtuelle de dépôt caractérisant la vasière quercynoise au Tithonien inférieur. De bas en haut, cette séquence présente la succession de six principaux termes (Fig. 21) :

- Intrabiosparite à oolites, ou intra-oosparite bioclastique (bivalves, échinodermes, foraminifères) et/ou oobiomicrorite à litages entrecroisés. Texture packstone à grainstone.
- Micrite ou pelmicrite bioturbée faiblement bioclastique, intraclastes micritiques. Texture mudstone à wackestone.
- Micrite laminée faiblement bioturbée, avec alternance de lits micritiques et péloïdaux à cimentation microsparitique, fentes de dessiccation et structures de dégazage recrystallisées. Texture mudstone à wackestone.
- Micrite à laminations microbactériennes et terriers calcitiques ouverts, s’achevant par une surface d’émersion à encroûtement stromatolitique. Texture mudstone.

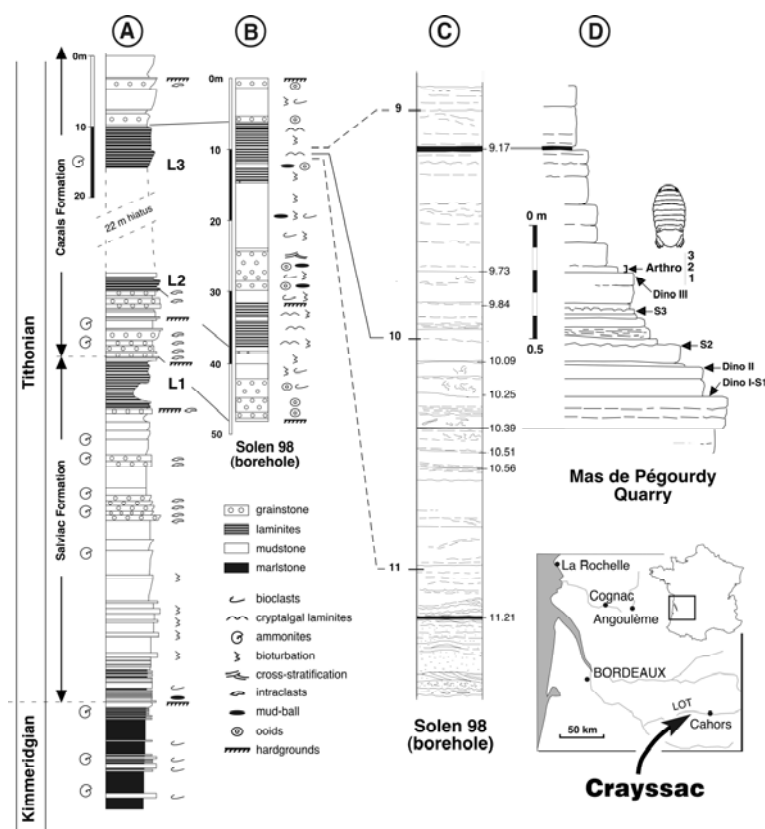


Fig.21 : Lithologie et stratigraphie du fossil-lagerstätte de Crayssac. A: succession stratigraphique du Tithonien quercynois (d’après Hantzpergue & Lafaurie, 1994); B et C: forage SOLEN 98; D: gisement ichnologique du Mas de Pégourdy (d’après Gaillard et al., 2005).

La succession de ces six termes, plus ou moins complètement représentés, traduit une dynamique sédimentaire péritidale cyclique (Fig. 22A). Chaque séquence est limitée respectivement à sa base et son sommet par une surface d'émersion. Entre ces discontinuités, la sédimentation évolue d'un milieu de lagon à des environnements de tidal flat, en passant par un maximum d'ouverture sur le domaine marin franc s'exprimant par des dépôts de ride oolitique et bioclastique ceinturant le lagon. Dans la formation de Cazals, cette évolution sédimentaire s'exprime de façon itérative à l'échelle de la paraséquence.

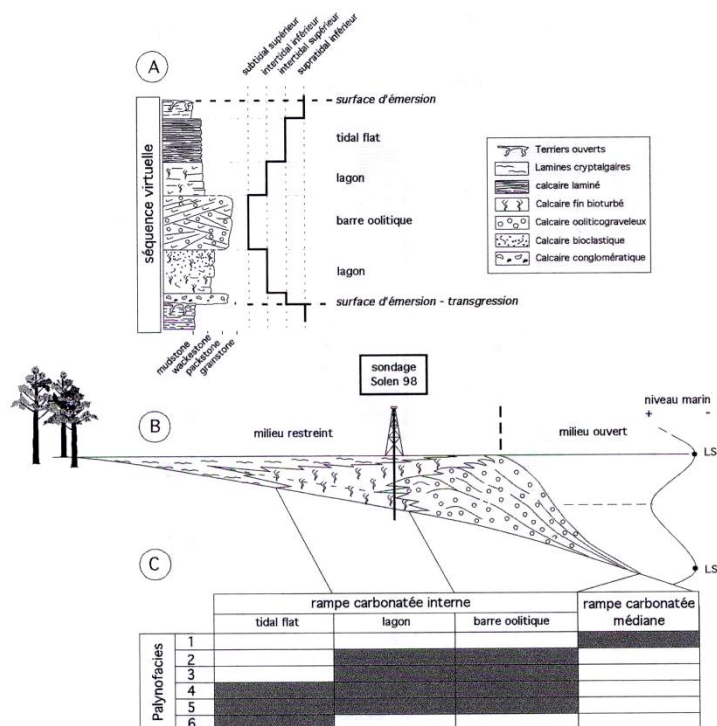


Fig.22 : Tithonien de Crayssac. A: séquence virtuelle de rampe carbonatée interne; B: environnement de dépôt; C: répartition des palynofaciès (d'après Courtinat et al., 2003).

METHODES DE FOUILLE

Les tidalites livrant des empreintes étant très finement laminées et les empreintes elles-mêmes étant souvent de petites dimensions et peu profondes, il a fallu adapter les méthodes de fouille aux conditions de terrain. Ces reliefs faibles sur ces calcaires clairs sont en effet à peine visibles en journée sous le soleil lotois. L'essentiel du travail de fouille a donc été mené de nuit, sous éclairages artificiels rasants (Fig. 23). Le travail d'approche, consistant à ôter les bancs calcaires compacts sus-jacents, a été mené à la scie à roche, au marteau piqueur puis au burin et massette pour les derniers centimètres. Une fois les tidalites atteintes, la recherche d'un niveau porteur d'empreintes s'est opérée par décolllement des feuillets à la massette ou au marteau. Sur le niveau à empreintes ou à figures sédimentaires, le travail devient alors très minutieux, bien souvent réalisé au micro-burin ou à l'aiguille, sous loupes frontales. Ce type de fouille, lent et minutieux, mettant au jour des détails millimétriques, ne permet guère de préparer plus de 1 m² par fouilleur et par mois. Ceci explique pourquoi les équipes de fouille, essentiellement constituées d'étudiants, devaient atteindre 30 à 40 personnes.

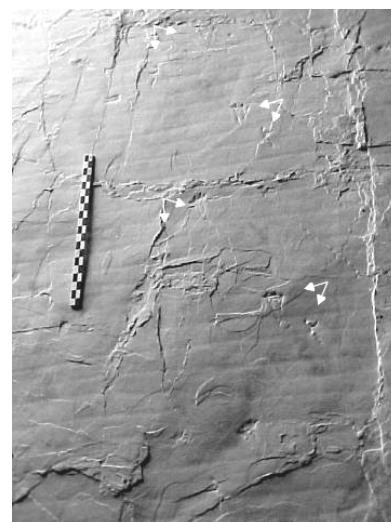


Fig.23 : Fouilles de nuit sous éclairage artificiel rasant (à gauche) et piste de ptérosaure sur une surface ondulée (à droite) (échelle: 50 cm).

MICROFOSSILES

Ces calcaires ont été déposés en eau peu profonde sous faible énergie. De nombreux nannolithes elliptiques rapportés au coccolithe *Ellipsagelosphaera* sont présents dans les tidalites (Busson *et al.*, 1993).

Dans les calcaires sus-jacents, de nombreux coprolithes de crustacés sont retrouvés, parmi lesquels *Faverina salevensis* est fréquent (détermination J-P. Bassoullet, Poitiers). Ces coprolithes sont communs dans le Jurassique supérieur sur les larges plateformes carbonatées péri-téthysiennes. Ils ont été produits par des crustacés Thalassinoidea, comparables au genre *Calianassa*, vivant aujourd'hui, par exemple, en populations denses dans les lagons de Floride et de Géorgie (USA).

MACROFOSSILES

Les macrofossiles sont particulièrement rares dans ces tidalites. Une telle vasière, soumise à l'alternance immersion-émersion sous faible énergie, n'est pas favorable à l'enfouissement et à la fossilisation de macro-restes. Cependant, bien que peu fréquents, des restes de crustacés et mollusques sont présents dans les niveaux sus- et sous-jacents, correspondant à des calcaires déposés sous une faible tranche d'eau. Dans les tidalites elles-mêmes, des mues de petits isopodes attribuées à *Archaeoniscus* sont assez fréquentes (Fig. 24A).

De rares restes de poissons, crocodiliens et ptérosaures sont également trouvés dans les niveaux sus- et sous-jacents aux tidalites. (Fig. 24 D-H)

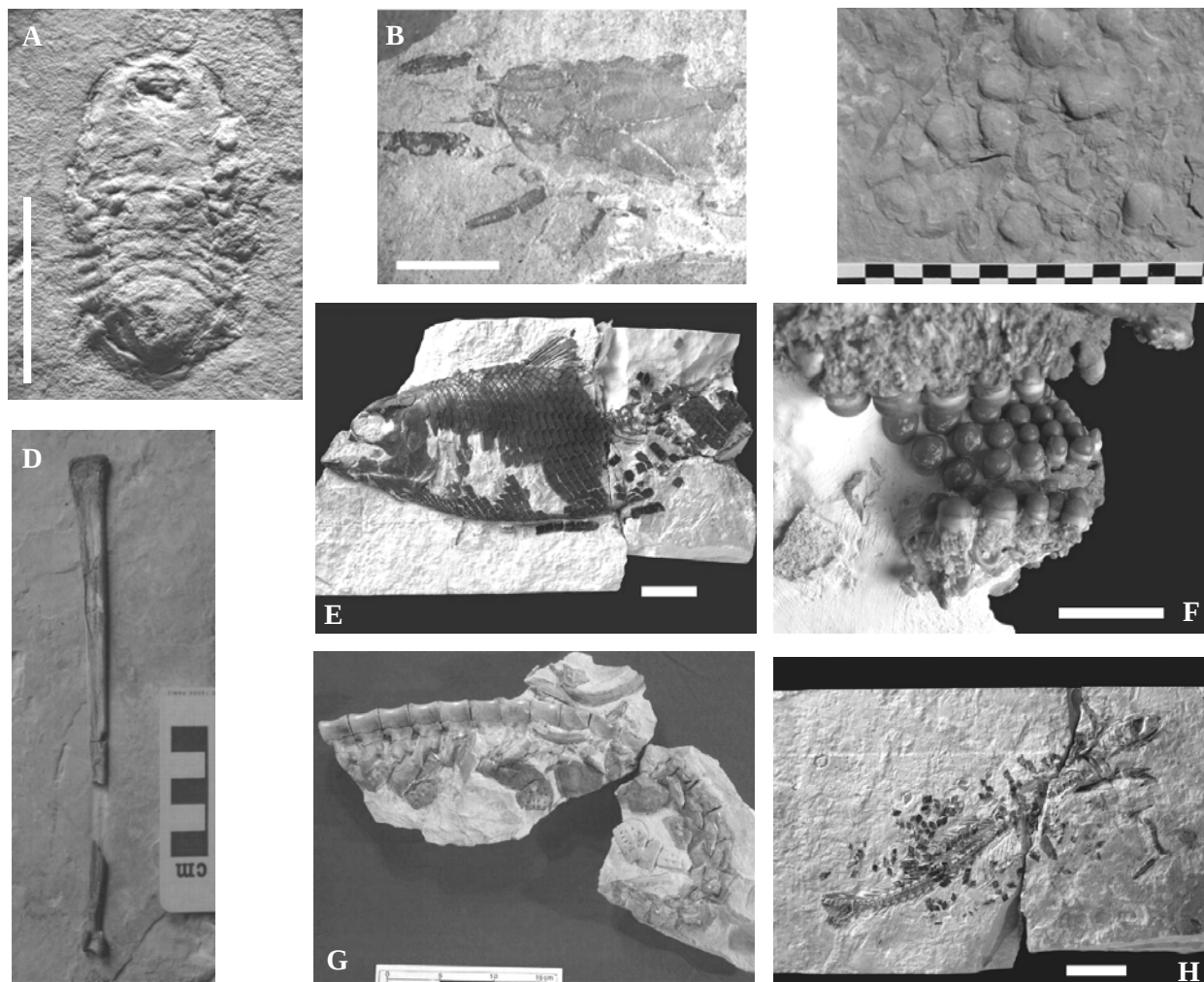


Fig.24 : Crayssac (Tithonien inférieur, Lot), macro-restes. A: *Archaeoniscus* sp., niveau Arthro 2, (Coll. Lafaurie, FSL 525007, in Gaillard *et al.*, 2005); B: *Aeger* sp.; C: *Corbula* sp.; D: Ptérosaure ptérodactyloïde, métacarpien IV; E: *Pholidophorid*; F: *Lepidotes* sp., pavé dentaire; G: *Steneosaurus* sp. juvénile; H: *Ophiopsidé*. Barres d'échelle: A et B = 5 mm; E, F et H = 1 cm.

Ichnites

La caractéristique essentielle de la Plage aux Ptérosaures est l'abondance des empreintes et pistes, souvent très bien conservées.

Invertébrés

Au toit des niveaux laminés à pistes de vertébrés, trois lits se distinguent par l'abondance de pistes de crustacés (Arthro 1, 2 et 3, Fig. 21). Attribuées à l'ichnogre *Pterichnus*, elles correspondent au déplacement d'isopodes infra-centimétriques du genre *Archaeoniscus* (Fig. 24A et 25).



Fig.25 : *Pterichnus isopodicus* GAILLARD, piste de locomotion interrompue à son extrémité par la mort de l'isopode. La flèche blanche indique le sens du mouvement (Gaillard et al., 2005).

Plus ou moins sinueuses, ces pistes de locomotion présentent une orientation préférentielle selon une direction N-S (Fig. 26), perpendiculaire à l'orientation de la plupart des pistes de ptérosaures et dinosaures. Il paraît alors probable que ces vertébrés suivaient la ligne de rivage à la recherche de nourriture dans les laisses de marée tandis que les crustacés se déplaçaient perpendiculairement à la ligne de rivage au gré des marées.

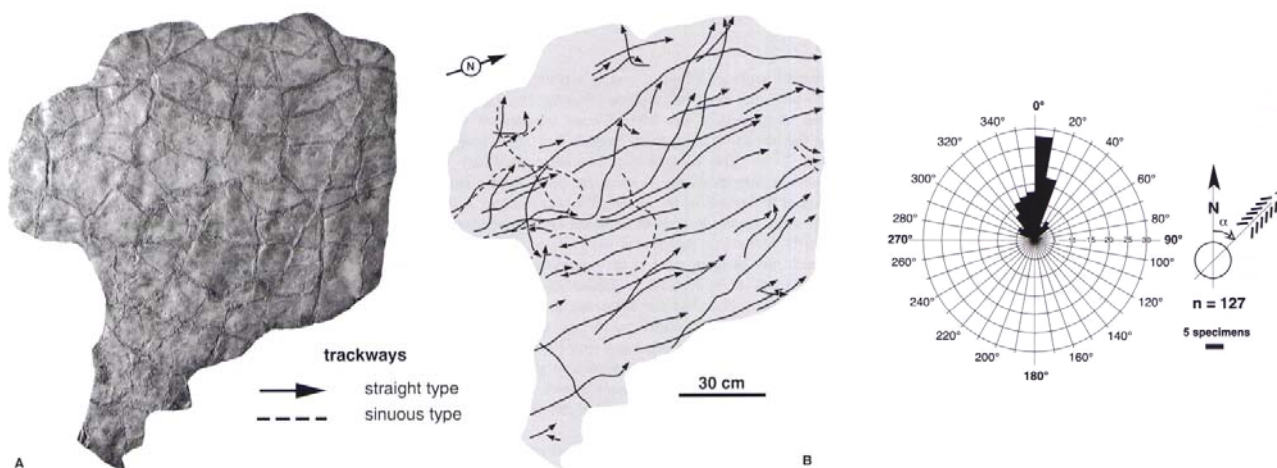


Fig.26 : *Pterichnus isopodicus* GAILLARD, orientation préférentielle des pistes (Gaillard et al., 2005).

L'alternance tidale s'exprime également par différentes morphologies de *Pterichnus isopodicus* (Fig. 27A). En fonction de la dessiccation ou de l'humidification du sédiment, les pistes de locomotion présentent un enregistrement plus ou moins précis. Si le caractère tidal de cet environnement s'accorde avec la présence d'isopodes, il explique également la préservation de leurs traces de locomotion et plus rarement, celle de leurs carapaces (Fig. 27B).

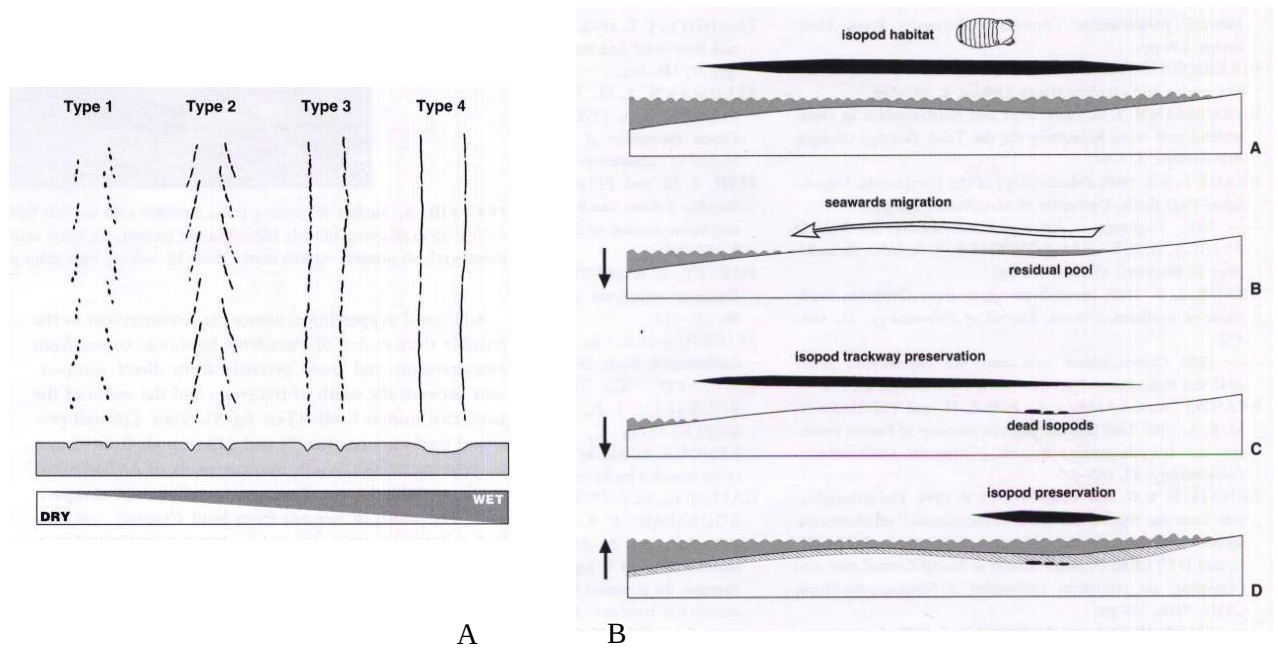


Fig.27 : A, relation entre la morphologie de *Pterichnus isopodicus* GAILLARD et la consistance du sédiment; B, modalités de formation et de préservation des pistes de locomotion et des isopodes en zone intertidale (Gaillard et al., 2005).

Tortues

Quelques empreintes isolées et pistes de tortues ont été mises au jour sur plusieurs surfaces des niveaux laminés. Les empreintes de mains et de pieds présentent des palmures interdigitales et des traces de griffes (Fig. 28). Cela correspond à la morphologie des tortues littorales connues dans le Jurassique supérieur. Noter que ces pistes de tortues s'orientent selon un axe N-S, donc perpendiculairement à la ligne de rivage supposée.

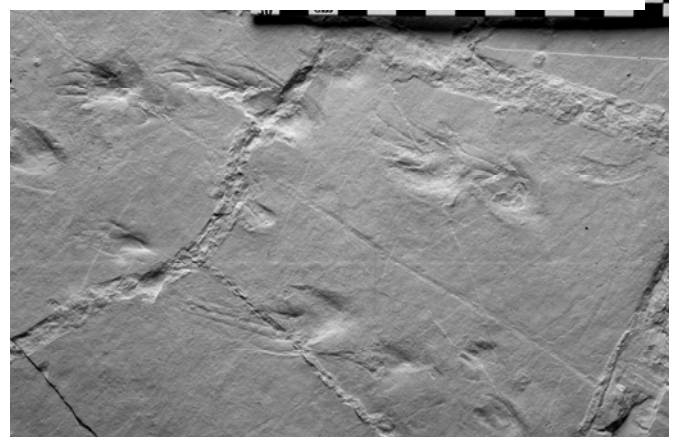


Fig.28 : Partie du spécimen CR98.35, attribuable à une petite tortue littorale.

Crocodiliens

De rares empreintes isolées sont rencontrées, mais quatre pistes ont été mises au jour. Elles représentent les plus anciennes pistes de crocodiliens clairement identifiées. Sur un spécimen finement enregistré (CR00.56, Fig. 29A), la trace de l'écaillure ventrale est visible. L'attribution des pistes de Crayssac à des crocodiliens s'appuie sur leur comparaison avec des pistes expérimentales de crocodiliens actuels (Fig. 29B). Les rares ossements trouvés sur le site appartenant à des thalattosuchiens, il est probable que ces pistes puissent être attribuées à ces crocodiliens marins bien connus au Jurassique supérieur. On peut également noter que les pistes de Crayssac correspondent à des individus de petite taille et s'orientent toutes selon un axe N-S.

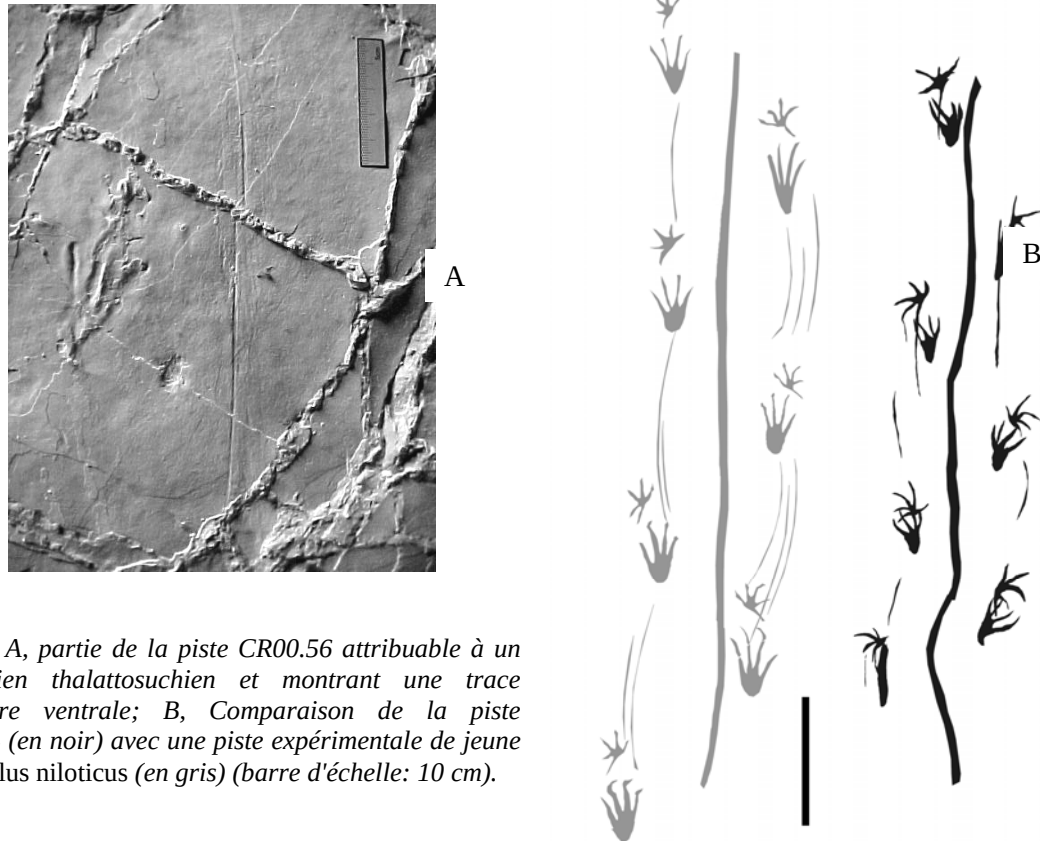


Fig.29 : A, partie de la piste CR00.56 attribuable à un crocodilien thalattosuchien et montrant une trace d'écaillure ventrale; B, Comparaison de la piste CR97.34 (en noir) avec une piste expérimentale de jeune *Crocodylus niloticus* (en gris) (barre d'échelle: 10 cm).

Dinosaures

Les dinosaures étaient assez fréquents dans la vasière de Crayssac, puisque 18 pistes ont été mises au jour dans la carrière. Toutes ont été laissées par des bipèdes tridactyles, morphologie attribuable à des théropodes de taille petite à moyenne.

Quatorze de ces pistes présentent une morphologie classiquement rencontrée chez les tridactyles du Jurassique supérieur rapportés à l'ichnogenre *Eubrontes*, avec un doigt médian plus fort que les autres, des bourrelets phalangeaires souvent bien marqués et une longueur de pied de 18 à 24 cm (Fig. 30 A). Notons que ces pistes sont toutes assez faiblement marquées, avec des empreintes peu profondes, ce qui indiquerait que ces dinosaures carnivores ne fréquentaient la vasière que sur un substrat déjà induré, sans doute en fin d'émersion et ne s'aventuraient pas dans les zones meubles. Elles sont presque toutes orientées selon un axe E-O.

Quelques pistes attribuables à d'autres théropodes, présentent une morphologie particulière (CR99.52, Fig. 30 B). Plus petites, profondément marquées dans un substrat meuble, elles présentent un important bourrelet d'expulsion à l'avant du doigt médian. Le métatarse est bien marqué à l'arrière et l'empreinte du doigt I est conservée. Trois pistes de ce type ont été mises au jour, l'une d'entre elle correspondant à un animal, de toute évidence baissé sur ses appuis et faisant un rapide demi-tour.

Notons que des empreintes de dinosaures sauropodes ont été signalées en 1996 dans une autre carrière de Crayssac, située à 500 m de la Plage aux Ptérosaures (Lange-Badré *et al.*, 1996). Stratigraphiquement, elles n'appartiennent pas à la séquence de tidalites de la vasière de Crayssac, mais à des termes plus anciens. Ces courtes pistes, premier signalement d'empreintes de sauropodes en France, ont malheureusement été détruites par l'exploitation.

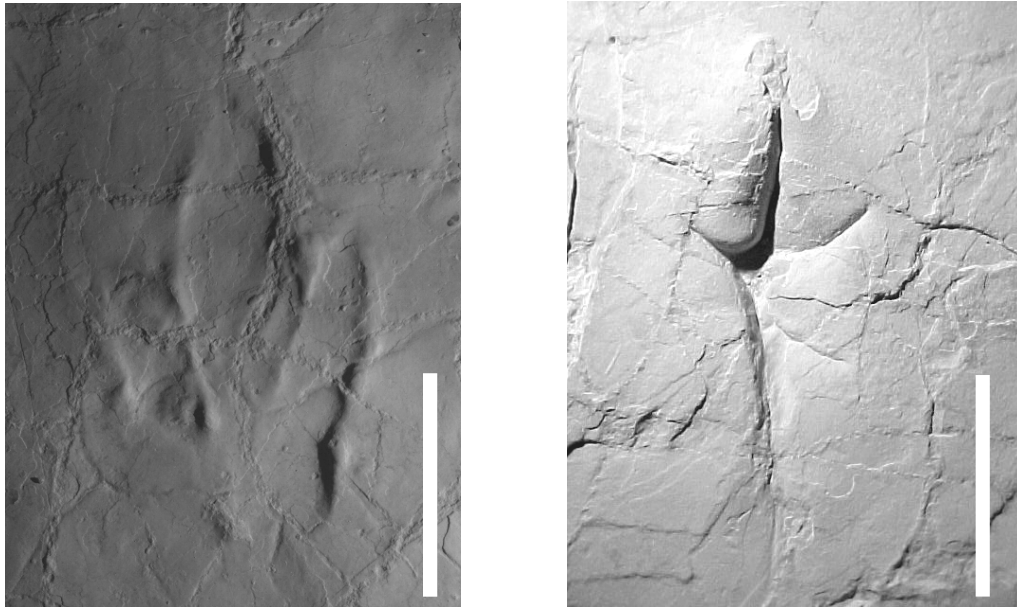


Fig.30 : Empreintes de dinosaures théropodes. A: pied droit du spécimen CR96.08, une piste de 15 mètres de longueur attribuée à l'ichnogenre Eubrontes; B: pied gauche du spécimen CR99.52, petit théropode profondément enfoncé dans la boue. Barres d'échelle: 10 cm.

Ptérosaures

Les traces de ptérosaures sont si nombreuses à Crayssac que certains niveaux de piétinement livrent de 30 à 50 empreintes de pieds ou de mains isolées par mètre carré (Fig. 31). Les pistes sont constituées d'alignements de pieds plantigrades tétradactyles et de mains tridactyles asymétriques, très écartées de l'axe de la piste, latéralement ou postérieurement aux pieds. Cette morphologie de piste très inhabituelle avait été signalée en 1957 par William Stokes sur de courtes pistes provenant du Jurassique supérieur d'Arizona, qu'il attribua à l'ichnogenre nouveau *Pteraichnus*, suggérant qu'il pourrait s'agir d'empreintes de ptérosaures ptérodactyloïdes. L'interprétation de Stokes fut contestée et tomba dans l'oubli. En 1984, Padian & Olsen démontrèrent même, de manière jugée définitive, que les empreintes de Stokes appartenaient à un crocodilien et non à un ptérosaure.

Parmi les nombreuses pistes mises au jour à Crayssac, la cohabitation de pistes de crocodiliens et de ptérosaures permet une comparaison directe, qui montre clairement que la confusion n'est pas possible (comparez la Figure 29 B et la Figure 32). Si dans les deux cas les empreintes de pieds sont plantigrades et tétradactyles, les empreintes de mains des crocodiliens sont pentadactyles alors que celles des ptérosaures ptérodactyloïdes sont tridactyles. De plus, chez les crocodiliens, l'empreinte de la main est toujours en avant de celle du pied et sur le même axe, alors que chez les ptérosaures ptérodactyloïdes la main est marquée en arrière ou latéralement au pied et plus distante de l'axe de la piste. L'interprétation de Stokes a donc pu être confirmée, levant un débat séculaire sur la locomotion terrestre des ptérosaures, entamé par Cuvier (1809) qui pensait que ces reptiles étaient bipèdes au sol, et Soemmerring (1812, 1817) qui, au contraire, les pensait mammifères et quadrupèdes.

Les pistes trouvées à Crayssac démontraient donc clairement la quadrupédie des ptérodactyloïdes, avec un cycle de locomotion caractéristique. Notons que la même année (1995),

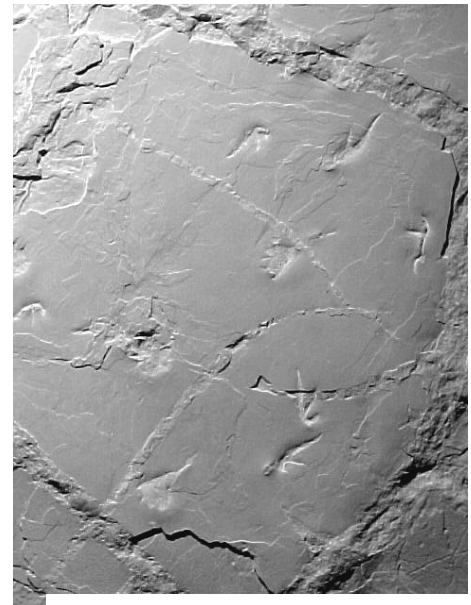


Fig.31 : Surface de piétinement.

Lockley *et al.* arrivaient à la même conclusion en réexaminant la piste initiale de Stokes, ainsi que de nouveaux spécimens. Depuis 1995, plusieurs dizaines d'autres sites livrant des empreintes de ptérosaures ont été découvertes dans le monde.

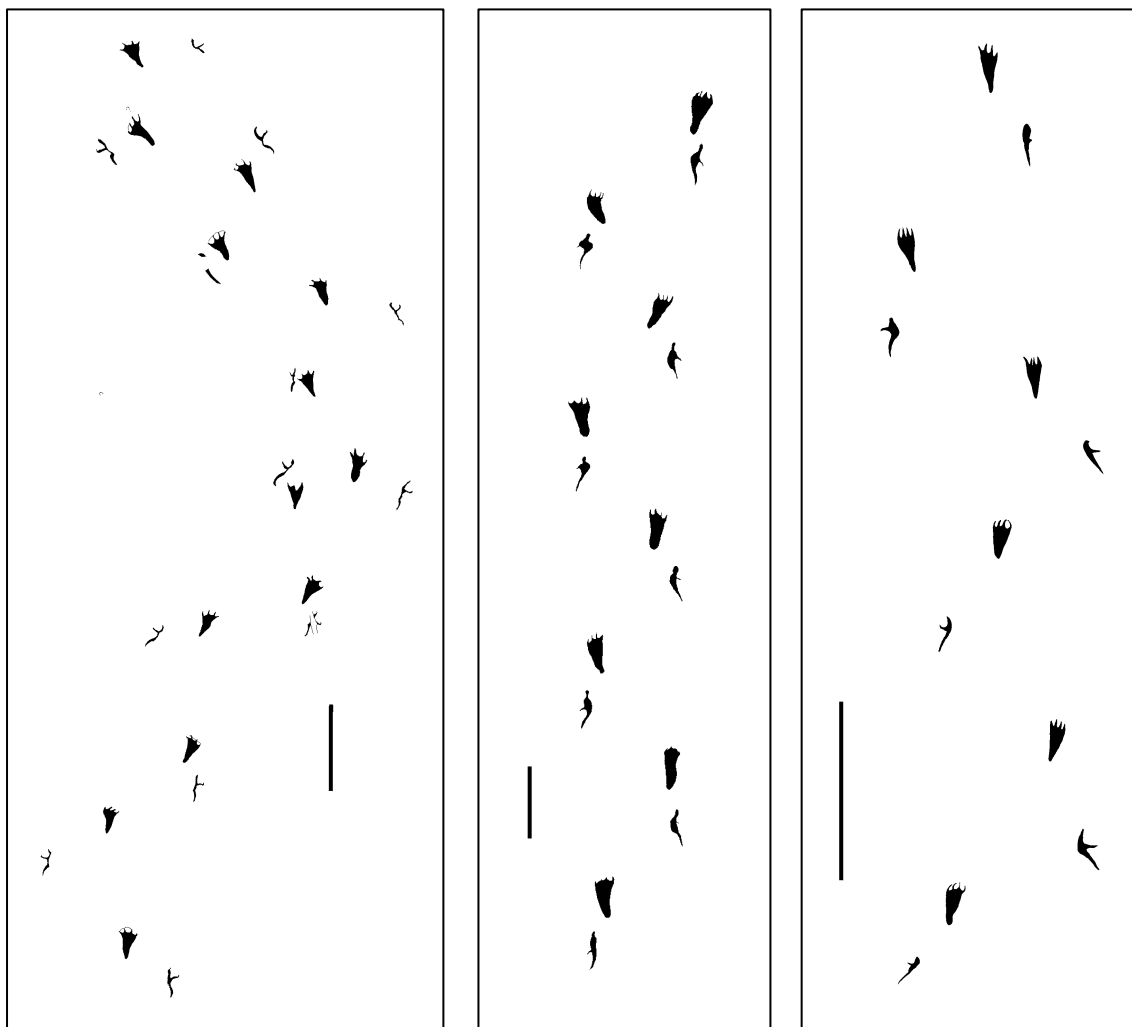


Fig.32 : Portions de pistes de ptérosaures ptérodactyloïdes du Tithonien inférieur de Crayssac. A: spécimen CR99.43, une piste de 42 pas; B: spécimen CR00.50, une piste de 22 pas; C: spécimen CR97.32, une piste de 21-pas. Barres d'échelle: 10 cm.

La finesse de la boue carbonatée de la vasière de Crayssac a permis l'enregistrement de détails d'une grande finesse, certaines empreintes de ptérosaures montrant des traces de griffes ou de palmures interdigitales (Figs. 33 E et F). Cependant, comme souvent en ichnologie, une grande variabilité d'enregistrement est due à plusieurs facteurs (morphologie et allure de l'animal, nature et état du substrat, etc.), rendant difficile l'attribution de ces pistes à des taxons spécifiques ou génériques. Le cas particulier des isopodes de Crayssac (voir ci-dessus) ne se présente malheureusement pas pour les ptérosaures. Cependant, cette variabilité de taille et de morphologie traduit certainement la présence de plusieurs espèces de ptérosaures ptérodactyloïdes (Fig. 33) (Mazin *et al.*, 2003). Parmi les spécimens remarquables mis au jour à Crayssac, une courte piste de morphologie inhabituelle est interprétée comme une piste d'atterrissage (Mazin *et al.*, 2009).

Certaines pistes, rares, présentent une morphologie caractéristique des ptérosaures (empreintes de mains éloignées de l'axe de la piste et en position postéro-latérale au pied), mais une morphologie de pieds et de mains très différente. Les empreintes de mains sont tridactyles, avec des traces de doigts parallèles, et les pieds sont pentadactyles, avec un doigt dirigé vers l'arrière (Fig. 33G). Ces rares pistes sont probablement attribuables à des ptérosaures rhamphorhynchoïdes (Mazin *et al.*, 2001).

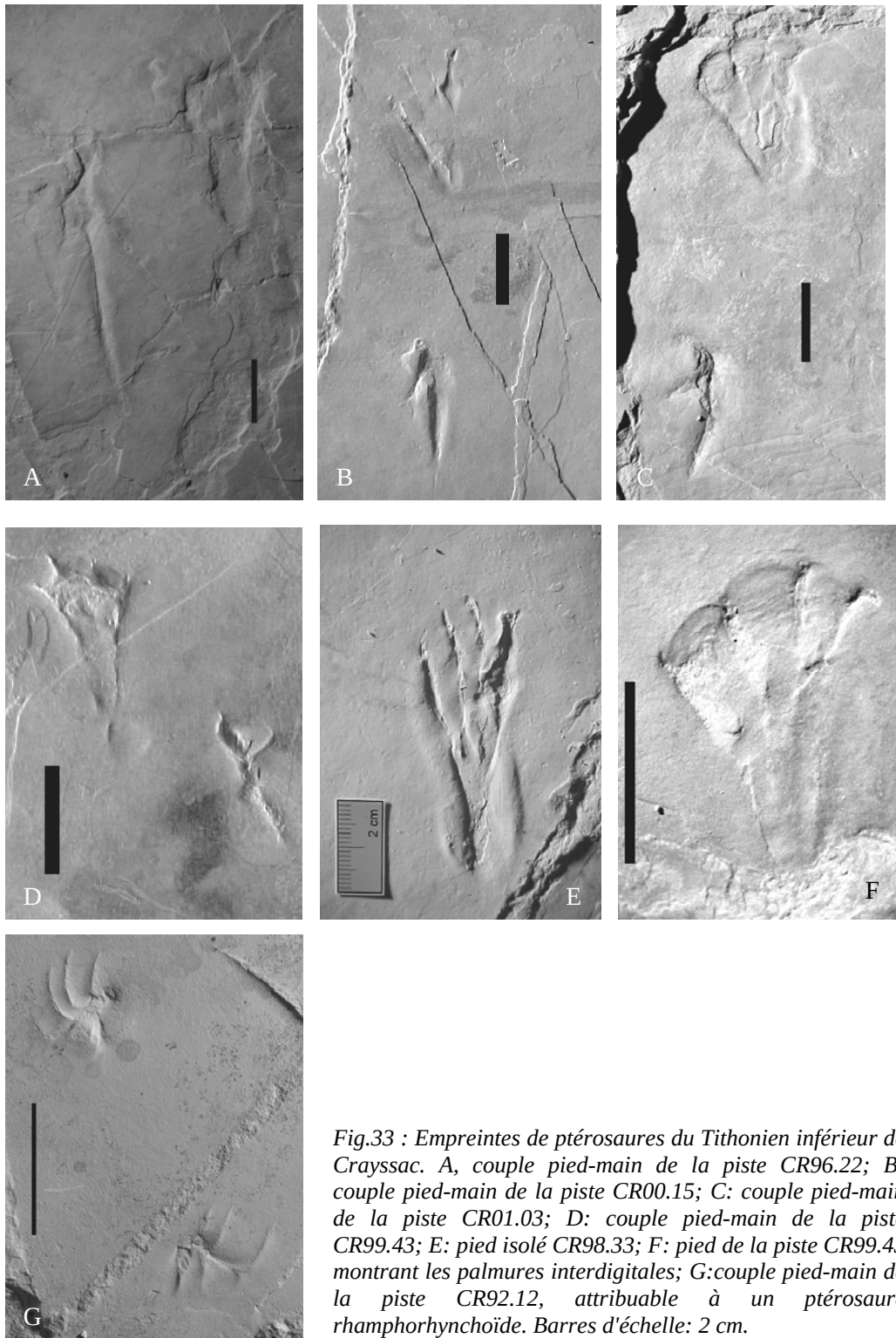


Fig.33 : Empreintes de ptérosaures du Tithonien inférieur de Crayssac. A, couple pied-main de la piste CR96.22; B: couple pied-main de la piste CR00.15; C: couple pied-main de la piste CR01.03; D: couple pied-main de la piste CR99.43; E: pied isolé CR98.33; F: pied de la piste CR99.43 montrant les palmures interdigitales; G: couple pied-main de la piste CR92.12, attribuable à un ptérosaure rhamphorhynchoïde. Barres d'échelle: 2 cm.

Les tidalites de Crayssac correspondent à une très grande vasière littorale située sur la marge nord du Bassin Aquitain. Cette vasière était soumise à l'alternance des marées, provoquant émergences et immersions sous une faible tranche d'eau et faible énergie. Il n'y a aucun élément terrigène dans les calcaires de Crayssac et la terre émergée continentale identifiée (Terre centrale) est à plusieurs dizaines de kilomètres au nord-est. Cependant, la présence de faunes terrestres (dinosaures par exemple) suggère la proximité d'importantes terres émergées, probablement des îlots calcaires communiquant à marée basse.

Une trentaine de types de pistes d'invertébrés et de vertébrés différentes, aussi bien que quelques ossements, attestent de la diversité de la fréquentation de cette vasière littorale. Tous les taxons identifiés étaient carnivores ou détritivores, associant des formes continentales terrestres (dinosaures), des formes littorales (crustacés, tortues, crocodiliens, ptérosaures) et des formes aquatiques marines (poissons). Cette convergence vers cette vasière est de toute évidence liée aux ressources alimentaires, révélant un réseau trophique littoral certainement complexe.

REFERENCES

- BUSSON G., NOËL D., CONTINI D., MANGIN A-M., CORNEE A. & HANTZPERGUE P. (1993) – Omniprésence de coccolithes dans des calcaires lagunaires du Jurassique moyen et supérieur de France. *Bull. Centre Rech. Expl. Prod. Elf-Aquitaine*, Pau, 17, 291-301.
- COURTINAT B., HANTZPERGUE P., RIO M. & MAZIN M. (2003) – Matière organique sédimentaire et paléoenvironnement du Tithonien inférieur quercynois. *Geobios*, Lyon, 36, 1, 13-25.
- CUBAYNES R., FAURE P., HANTZPERGUE P., PELISSE T. & REY J. (1989) – Le Jurassique du Quercy : unités lithostratigraphiques, stratigraphie et organisation séquentielle, évolution sédimentaire. *Géologie de la France*, Orléans, 3, 33-62.
- CUVIER, G. (1809) – Mémoire sur le squelette fossile d'un reptile volant des environs d'Aichstedt, que quelques naturalistes ont pris pour un oiseau, et dont nous formons un genre de Sauriens, sous le nom de Pterodactyle. *Annales du Muséum d'Histoire Naturelle, Paris*, 13, 424-437.
- DELFAUD J. & GOTTIS M. (1966) - Quelques figures de sédimentation dans le Portlandien du Lot et sur le cadre paléogéographique en Aquitaine septentrionale. *Actes de la Société Linéenne de Bordeaux*, 130, B, 7: 3-9.
- GAILLARD C., HANTZPERGUE P., VANNIER J., MARGERARD A-L. & MAZIN J-M. (2005) - Isopodes trackways from the Crayssac lagerstätte, Upper Jurassic, France. *Palaeontology*, 48-5, 947-962.
- HANTZPERGUE P. & LAFAURIE G. (1994) - Les calcaires lithographiques du Tithonien quercynois : stratigraphie, paléogéographie et contexte biosédimentaire. *Geobios*, Lyon, M.S.16, 237-243.
- LANGE-BADRE B., DUTRIEUX M., FEYT J. & MAURY G. (1996) – Découverte d'empreintes de pas de dinosaures dans le Jurassique supérieur des Causses du Quercy (Lot, France), *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser.*, IIa 323, 89-96.
- LOCKLEY, M. G., LOGUE T. J., MORATALLA J. J., HUNT, A. P., SCHULTZ R. J. & ROBINSON J. W. (1995) – The fossil trackway *Pteraichnus* is pterosaurian, not crocodilian: implication for the global distribution of pterosaur tracks. *Ichnos*, 4, 7-20.
- MAZIN J-M., BILLON-BRUYAT J-P., HANTZPERGUE P. & LAFAURIE G. (2001) – Could they be the first rhamphothynchid tracks? Yes!, *Two hundred years of Pterosaurs*, Toulouse, 2001, *Strata*, vol 11, 64-65.
- MAZIN J-M., BILLON-BRUYAT J-P., HANTZPERGUE P. & LAFAURIE G. (2003) – Ichnological evidence for quadrupedal locomotion in pterodactyloid pterosaurs: trackways from the late Jurassic of Crayssac (Southern France), *Geological Society, London*, Special Publication 217, *Evolution and Palaeobiology of Pterosaurs*, E. Buffetaut and J.-M. Mazin ed., 283-313.
- MAZIN J-M., BILLON-BRUYAT J-P. & PADIAN K. (2009) - First record of a pterosaur landing trackway. *Proceedings of the Royal Society, B*, London, 276: 3881-3886.
- MAZIN J-M, HANTZPERGUE P., BASSOULET J-P., VIGNAUD P. & LAFAURIE G. (1997) - Le gisement de Crayssac (Tithonien inférieur, Quercy, Lot, France) : découverte de pistes de dinosaures en place et premier bilan ichnologique. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 325, 733-739.
- MAZIN J-M., HANTZPERGUE P., LAFAURIE G. & VIGNAUD P. (1995) - Des pistes de ptérosaures dans le Tithonien de Crayssac (Quercy, France). *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 321, II a, 417-424.
- PADIAN K. & OLSEN P.E. (1984) - The fossil trackway *Pteraichnus*: not pterosaurian, but crocodilian. *Journal of Paleontology*, 58, 178-184.
- STOKES W. L. (1957) – Pterodactyl tracks from the Morrison Formation. *Journal of Paleontology*, 31: 952-954.
- SOEEMMERRING S. T. von (1812) – Über einen *Ornithocephalus*. *Denkschriften der Akademie der Wissenschaften München, Mathematisch-Physik Klasse*, 3, 89-158.
- SOEEMMERRING S. T. von (1817) – Über einen *Ornithocephalus benvirostris* der Vorwelt. *Denkschriften der Akademie der Wissenschaften München, Mathematisch-Physik Klasse*, 6, 89-104.

STRATA

Actes du Laboratoire de Géologie Sédimentaire et Paléontologie De l'Université Paul-Sabatier Toulouse
(1984 – 2005),

puis Travaux de Géologie sédimentaire, Stratigraphie et Paléontologie (de 2006 à 2009).

Les ouvrages marqués avec un « * » sont disponibles en version papier.

Les ouvrages marqués avec un « # » peuvent être téléchargés librement sur le site.

Toute commande doit être adressée à STRATA

strata.mp@free.fr

Tarifs et disponibilité à vérifier sur <http://strata.mp.free.fr>

Série 2 : Mémoires

- Vol. 1 – 1984*** **BILOTTE M.** (1985) – Le Crétacé supérieur des plates-formes est-pyrénéennes, Atlas.
- Vol. 2 – 1985*** **CANEROT J., GOY A. et coll.** - Le Jurassique des Ibérides orientales, Espagne. Livret-guide d'excursion. 182 p., 49 fig., 10 pl.
- Vol. 3 – 1985** **PAUTAL L.** – Populations fossiles, associations micropaléontologiques et paléoenvironnements des séries deltaïques ilerdiennes des Corbières (Aude – France).
- Vol 4 – 1985** **LEPICARD B.** – Le Crétacé terminal et le Paléocène basal dans les Petites Pyrénées et les dômes annexes. Biostratigraphie – Sédimentologie. 288 p. 130 fig., 27 tab., 4 pl. ph., 2 pl. ht.
- Vol. 5 – 1985*** **BILOTTE M.** – Le Crétacé supérieur des plates-formes est-pyrénéennes. 438 p., 121 fig. 53 tabl. (avec l'Atlas).
- Vol. 6 – 1986** **CUBAYNES R.** – Le Lias du Quercy méridional : étude lithologique, biostratigraphique, paléoécologique et sédimentologique. 574 p., 201 fig., 36 pl.
- Vol. 7 – 1987** **CUBAYNES R., FAURÉ Ph. et coll.** – Le Jurassique du Quercy. Généralités. Livret-Guide d'excursion. 159 p. 57 fig., 4 tab., 4 pl. ph.
- Vol. 8 – 1987** **SOUHEL A.** – Dynamique sédimentaire des couches rouges intercalaires (Bathonien – Cénomanién) dans l'Atlas de Beni Mellal (Haut Atlas Central, Maroc. 173 p., 79 fig., 3 pl.
- Vol. 9 – 1988*** **BOURGES Ph.** – Sédimentation alluviale et tectonique extensive dans le Permien du détroit de Rodez. 186 p., 54 fig., 20 pl.
- Vol. 10 – 1988*** **CUGNY P.** – Analyse quantitative des faciès dans diverses formations crétacées des marges néotéthysiennes et atlantiques. Associations paléontologiques et paléoenvironnement. 331 p., 199 fig.
- Vol. 11 – 1989** **SANCHEZ-RIOS MA.** – Foraminifères planctoniques et nannoplancton calcaire de quelques sites du Crétacé supérieur mexicain et sud-pyrénéen. 255 p., 24 fig., 16 tab., 26 pl.
- Vol. 12 – 1989** **SOUQUET P., FONDECAVE-WALLEZ M.J.** – Stratigraphie séquentielle dans l'avant fosse sud-pyrénéenne. Groupe d'Aren : Campanien, Maastrichtien, Danien. 71 p., 29 fig.
- Vol. 13 – 1990** **BILOTTE M.** – Le Sénonien supérieur du bassin d'avant-pays sous-pyrénéen de l'Ariège et de la Haute-Garonne. 96 p., 33 fig.
- Vol. 14 – 1991** **ANDREU-BOUSSUT B.** – Les Ostracodes du Crétacé moyen (Barrémien à Turonien) le long d'une transversale Agadir-Nador (Maroc). 2 tomes. 765 p., 243 fig., 14 tab., 73 pl.
- Vol. 15 – 1991** **ETTACHFINI M.** – Le Valanginien de l'Atlas Atlantique (Maroc). Stratigraphie et ammonitofaune. 177 p., 34 fig., 6 tabl., 11 pl.

- Vol. 16 – 1992** **TAJ-EDDINE K.** – Le Jurassique terminal et le Crétacé basal dans l’Atlas Atlantique (Maroc). Biostratigraphie, sédimentologie, stratigraphie séquentielle et géodynamique. 289 p., 132 fig., 9 pl., 4 annexes.
- Vol. 17 – 1992** **FRECHENGUES, PEYBERNES B., LUCAS Cl. et SOUQUET P.** – Le Trias des Pyrénées centrale et orientales franco-espagnoles. Livret-guide de l’excursion Pyrénées 92 du Groupe Français du Trias.
- Vol. 18 – 1993** **ETTACHFINI E.M.** – Le Vraconien, Cénomaniens et Turonien du bassin d’Essaouira (Haut Atlas Occidental, Maroc). Analyse lithologique, biostratigraphique et sédimentologique, stratigraphie séquentielle. 245 p., 87 fig., 10 tab.
- Vol. 19 – 1993** **BEGOUEN V.** – Les kystes de Dinoflagellés du Crétacé supérieur de la zone sous-pyrénéenne (France). Biostratigraphie, analyse des faciès et approche cladistique des Périodinales. 257 p., 79 fig., 5 tab. h.t.
- Vol. 20 – 1993*** **CISZAK R.** – Évolution géodynamique de la Chaîne tellienne en Oranie pendant le Paléozoïque et le Mésozoïque. 513 p., 107 fig., 17 pl.
- Vol. 21 – 1993** **PERRET M.F.** – Recherches micropaléontologiques et biostratigraphiques (conodontes-foraminifères) dans le Carbonifère pyrénéen. 597 p., 160 fig., 24 pl.
- Vol. 22 – 1994** **QUAJOUN A.** – Le Toarcien du Quercy septentrional : Stratigraphie et micropaléontologie. 236 p., 70 fig., 15 pl.
- Vol. 23 – 1994** **VAN DE POEL H.M.** – Messinian marginal-marine and continental faciès and their stratigraphy in the Eastern Almeria Province (S.E. Spain). 202 p. 47 fig., 5 tabl., 8 pl.
- Vol. 24 – 1994** **CUBAYNES R. et REY J, coll. BRUNEL F., FAURE Ph., RUGET C et BONNET L.** – Corrélations stratigraphiques dans le Lias du Quercy. Généralités, livret-Guide d’excursion. 64 p., 19 fig., 5 pl., 1 pl. h. texte, 1 annexe.
- Vol. 25 – 1994** **BOUCHOUATA A.** – La Ride de Talmest-Tazoult (Haut-Atlas Central, Maroc). Lithostratigraphie, biostratigraphie et relations tectonique – sédimentation au cours du Jurassique. 223 p., 45 fig., 14 pl.
- Vol. 26 – 1995** **REY J. et coll.** – Du Lias nord-aquitain aux molasses miocènes. Généralités, livret-Guide d’excursion. 194 p., 84 fig., 1 tabl.
- Vol. 27 – 1996*** **SOUHEL A.** – Le Mésozoïque dans le Haut-Atlas de Beni Mella au Maroc. Stratigraphie, sédimentologie et évolution géodynamique. 265 p., 125 fig., 5 tab., 6 pl.
- Vol. 28 – 1997** **BRUNEL F.** – Stratigraphie séquentielle du Domérien du Quercy septentrional. 280 p., 55 fig., 20 tabl., 9 pl.
- Vol. 29 – 1998*** **ALMERAS Y., ELMIS S.** – Les Brachiopodes jurassiques moyens de la Bordure vivaro-cévenole (Bassin du Sud-Est, France). 145 p. 18 fig., 24 tabl., 9 pl.
- Vol. 30 – 1998*** **WITAM O.** – Barrémien-Aptien de l’Atlas atlantique, Maroc. Lithographie, biostratigraphie, sédimentologie, stratigraphie séquentielle et géodynamique et paléontologie 421 p., 176 fig., 12 pl.
- Vol. 31 – 1998** **JAMES V.** – La plate-forme carbonatée ouest-pyrénéenne au Jurassique moyen et supérieur. Stratigraphie séquentielle, stades d’évolution, relations avec la subsurface en Aquitaine méridionale. 351 p., 178 fig., 5 tabl., 11 pl.
- Vol. 32 – 1998** **CHARCOSSET P.** – Reconstitution d’un segment de la marge ouest-téthysienne au Bathonien dans les Grands Causses et le Bas-Languedoc. Analyse séquentielle à divers ordres et dynamique de bassin. 351 p., 178 fig., 5 tabl., 11 pl.
- Vol. 33 – 1999*** **BILOTTE M., KOESS L. et LE LOEUF J.** – Moins 96 millions d’années à moins 65 millions d’années autour de la vallée de l’Aude. 116 p., 67 fig.
- Vol. 34 – 2000** **LEZIN C., CISZAK R. avec coll. REY J.** – Le passage Lias – Dogger dans le Quercy et les Grands Causses. Généralités, livret-guide d’excursion. 106 p., 26 fig., 1 tabl.

- Vol. 35 – 2000** **LEZIN C.** – Analyse des faciès et stratigraphie intégrée : application aux événements du passage Lias – Dogger sur la plate-forme du Quercy. 317 p, 138 fig., 9 pl.
- Vol. 36 – 2000*** **ALMERAS Y. et FAURE Ph.** – Brachiopodes liasiques des Pyrénées. Paléontologie, biostratigraphie, paléobiographie et paléoenvironnement. 55 text-fig., 70 tabl., 56 fig. h.t., 23 pl.
- Vol. 37 – 2001** **CANEROT J., MAJESTE-MENJOUAS C. et TERNET Y.** – La Faille nord-pyrénéenne. Mythe ou réalité ? Excursion géologique AGSO, Septembre 2001. 31 p., 28.
- Vol. 38 – 2002** **ROBERT E.** – La transgression albienne dans le Bassin andin (Pérou) : Biostratigraphie, Paléontologie (Ammonites) et stratigraphie séquentielle. 380 p., 91 fig., 38 pl.
- Vol. 39 – 2002*** **FAURE. Ph.** – Le Lias des Pyrénées. Tome 1 - 365 p., 187 fig. ; Tome 2 - 396 p., 169 fig., 25 pl.
- Vol. 40 – 2002** **GARDERE Ph.** – Les sables fauves. Dynamique sédimentaire et évolution morpho-structurale du Bassin d'Aquitaine au Miocène moyen. 217 p., 77 fig., 6 pl.
- Vol. 41 – 2003** **LAURENT Y.** – Les faunes de vertébrés continentaux du Maastrichtien supérieur de l'Europe. Systématique et biodiversité. 81 p., 14 fig., 56 pl.
- Vol. 42 – 2004** **CUBAYNES R. et coll.** – Les dépôts littoraux du Jurassique sur la bordure quercynoise (Aquitaine). Généralités. Livret-guide d'excursion. 85 p., 36 fig.
- Vol. 43 – 2004*** **ETTACHFINI M.** – Les ammonites du Néocomien dans l'Atlas atlantique, Maroc. Biostratigraphie, paléontologie, paléobiogéographie et paléoécologie. 225 p., 57 fig., 6 tab., 33 pl.
- Vol. 44 – 2006*** **ROSSI A.** – Les Ostracodes du Crétacé inférieur (Berriasien et Barrémien de l'Atlas atlantique). Apport en paléoécologie, stratigraphie séquentielle et paléogéographique. 371 p., 127 fig., 18 tabl., 24 pl. ht.
- Vol. 45 – 2008** **ETTACHFINI E.M.** – La transgression au passage du Cénomanién au Turonien sur le domaine atlasique marocain. Stratigraphie intégrée et relations avec l'événement océanique mondial. 299 p., 14 fig., 36, 36 pl. h.t.
- Vol. 46 – 2009*** **DEBROAS E.J.** – Géologie du bassin versant du Baget (zone nord-pyrénéenne, Ariège, France) : nouvelles observations et conséquences. 95 p., 15 fig., 19 annexes, 9 pl.
- Vol. 47 – 2013*** **ALMERAS Y. et FAURE Ph.** – Brachiopodes du Lias et de l'Aalénien du Quercy (France). Paléontologie, biostratigraphie et Paléoenvironnements. Echelles chronostratigraphiques. 104 p., 23 fig., 22 tabl., 9 pl.
- Vol. 48 – 2013*** **VERMEULEN J, LAZARIN P., LEPINAY P., LEROY L. & MASCARELLI E.** – Taxa d'ammonites nouveaux ou peu connus de l'Hauterivién et du Barrémien du sud-est de la France. Paléontologie, biostratigraphie et paléoenvironnements. Echelles chronostratigraphiques. 60 p., 13 fig., 3 tabl.

Série 1 : Communications

- Vol. 1 – 1984** Marges européennes et africaines à l'articulation Atlantique – Téthys. 139 p.
- Vol. 2 – 1985*** Travaux du Laboratoire de Géologie Sédimentaire et Paléontologie de l'Université Paul-Sabatier. 8 communications, 121 p.
- Vol. 3 – 1987*** Travaux du Laboratoire de Géologie Sédimentaire et Paléontologie de l'Université Paul-Sabatier. 7 communications, 127 p.
- Vol. 4 – 1988** Phylogénèse des Protistes et autres organismes microscopiques : rôle du milieu dans les phénomènes évolutifs. 171 p.
- Vol. 5 – 1989** Stratigraphie séquentielle et corrélations eustatiques. Réunion spécialisée de la S.G.F. et du C.F.S., Toulouse, 1989. 155 p.
- Vol. 6 – 1994*** Acte du premier congrès français de stratigraphie, Toulouse 12, 13, 14 septembre 1994. 209 p.
- Vol. 6 – 1995*** Le Bassin Aquitain. Evolution, sédimentation et stratigraphie. Séance de la Société Géologique de France. 74 p.

- Vol. 8 – 1996*** PICG Participation au Bilan Perspective. Séance de la Société Géologique de France, Paris le 05/11/1996. 103 p.
- Vol. 9 – 1998*** La limite Paléocène Eocène en Europe. Evénements et corrélations. Séance de la Société Géologique de France, Paris le 19 et 20 janvier 1998. 134 p.
- Vol. 10 – 2000*** Les évènements du passage du Lias - Dogger. Séance de la Société Géologique de France, Toulouse. 140 p.
- Vol. 11 – 2001** Two hundred years of Pterosaurs. A symposium on the anatomy, évolution, palaeobiology and environment of Mesozoic Flying Reptiles. Toulouse 2001. 103 p.
- Vol. 12 – 2002*** Eight international conodont symposium held in Europe – ECOS VIII, Toulouse/Albi, Juin 2002. 110 p.
- Vol. 13 – 2006** 30 millions d'années de biodiversité dynamique dans le paléokarst du Quercy. 283 p.
- Vol. 14 – 2013*** Pre-Cenozoic climates international Workshop. When data and modeling meet. Programme & Abstracts, Toulouse, 17–19 juin 2013. Editeurs : Elise Nardin & Markus Aretz. 97 p.
- Vol. 15 – 2013#** Gisements fossile et ischnologique sur la marge nord-est du Bassin d'Aquitaine (Quercy). Livret-guide l'excursion. Congrès de l'Association paléontologique française. Toulouse 10-12 Avril 2013. 32 p.