

Available online at www.sciencedirect.com

C. R. Palevol ■■ (2006) ■■■

<http://france.elsevier.com/direct/PALEVO/>

Systematic Palaeontology (Vertebrate Palaeontology) / Paléontologie systématique

A Late Jurassic sauropod tracksite from Southern Jura (France)

Jean Le Lœuff^{a,*}, Christian Gourrat^{b,†}, Patrice Landry^b, Lionel Hautier^c,
Romain Liard^d, Christel Souillat^a, Eric Buffetaut^e, Raymond Enay^f

^a Musée des Dinosaures, 11260 Espéraza, France^b SDNO, maison des Sociétés, 34, rue Paradis, 01100 Oyonnax, France^c Laboratoire de paléontologie, institut des sciences de l'évolution (CNRS-UMR 5554),
université Montpellier-2, place Eugène-Bataillon, 34095 Montpellier cedex 05, France^d 4, rue Ruplinger, 69004 Lyon, France^e CNRS, 16, cour du Liébat, 75013 Paris, France^f Centre des sciences de la Terre, université Claude-Bernard-Lyon-1, 43, bd du 11-Novembre-1918, 69622 Villeurbanne, France

Received 14 May 2005; accepted after revision 11 January 2006

Présenté par Yves Coppens

Abstract

The discovery of sauropod trackways in the Late Jurassic (Tithonian) of the Jura department (eastern France) is reported. More than 170 footprints (pes and manus prints) comprise at least nine trackways. The footprints are referred to the ichnogenus *Parabrontopodus*, characterized by a narrow-gauge trackway. The locality of Coisia is the most important sauropod tracksite in France. **To cite this article:** J. Le Lœuff et al., *C. R. Palevol* 5 (2006).

© 2006 Académie des sciences. Published by Elsevier SAS. All rights reserved.

Résumé

Découverte d'un site à empreintes de pas de sauropodes dans le Jurassique supérieur du Jura méridional (France). La découverte de pistes de dinosaures sauropodes sur la commune de Coisia, dans le Jurassique supérieur (Tithonien) du Jura, est rapportée. Plus de 170 traces de mains et de pieds s'organisent en au moins neuf pistes. Les empreintes sont rapportées à l'ichnogenre *Parabrontopodus*, caractérisé par une voie étroite. Le gisement de Coisia constitue le plus important site à empreintes de pas de sauropodes de France. **Pour citer cet article :** J. Le Lœuff et al., *C. R. Palevol* 5 (2006).

© 2006 Académie des sciences. Published by Elsevier SAS. All rights reserved.

Keywords: Footprints; Dinosauria; Sauropoda; Tithonian; Jura; France**Mots clés :** Empreintes de pas ; Dinosauria ; Sauropoda ; Tithonien ; Jura ; France

* Corresponding author.

E-mail address: jean.leloeuiff@dinosauria.org (J. Le Lœuff).

† Christian Gourrat, discoverer of the Coisia site, deceased on 17 September 2005.

Version française abrégée

Des empreintes de pas de sauropodes du Jurassique supérieur ont été signalées dans plusieurs pays d'Europe depuis 1974 [1,11–14,16,19–23]. Toutes ces pistes sont désormais rapportées aux ichnogènes *Brontopodus* (sauropodes à voie large) et *Parabrontopodus* (sauropodes à voie étroite), les autres ichnotaxons utilisés précédemment (c'est-à-dire *Elephantopoides* Kaever & Lapparent, 1974 et *Gigantosauropus* Mensink & Mertmann, 1984) étant considérés comme des *nomina dubia* [16].

Les nouveaux sites ont été découverts par l'un d'entre nous (C. Gourrat) en avril 2004, à l'ouest du petit village de Coisia (Sud du département du Jura), à 10 km au nord-ouest d'Oyonnax. Les deux affleurements à empreintes de pas sont situés le long du chemin départemental 60, à la surface de dalles de calcaire sub-verticales de la formation des Couches du Chailley. Les Couches du Chailley sont datées de la fin du Kimméridgien et du Tithonien par un riche assemblage de *Gravesia* [18]. Les niveaux à empreintes de pas de dinosaures sont situés bien au-dessus des couches à *G. irius* du Kimméridgien supérieur et peuvent être rapportés avec certitude au Tithonien.

Les Couches du Chailley représentent un environnement subtidal très peu profond et protégé de vasière ou de plate-forme interne, séparée de la mer ouverte par une zone haute [18]. Les intercalations de laminites cryptalgaires, de dolomies laminées, ainsi que la découverte d'empreintes de pas de dinosaures témoignent de brèves périodes de sédimentation en milieu exondé. En 1984, Bernier [2] avait brièvement mentionné des dépressions circulaires dans les mêmes niveaux, suggérant qu'il pouvait s'agir d'empreintes de pas. Située à 1 km au sud-ouest des sites décrits ici, cette surface est fortement érodée, mais présente incontestablement des traces de sauropodes.

Analyse préliminaire des empreintes de dinosaures

La dalle qui porte les empreintes est orientée NE–SW, avec un pendage de 80 à 85° vers le sud. Nous décrivons ici la dalle principale ; une seconde dalle, plus petite, située à une trentaine de mètres au sud-ouest, porte également de nombreuses empreintes, sans qu'aucune piste soit reconnaissable. Plus de 170 empreintes de pieds et de mains ont été relevées sur la dalle principale, longue de 28 m et haute de 5 à 6 m (Fig. 2). Les pistes mesurent de 3 à 9 m de long. La plupart des traces sont des hyporeliefs concaves, avec

des bourrelets. Les pistes les mieux préservées (T1, T2) présentent des traces de pied ovales et de petites empreintes de mains en forme de croissant. Nous n'avons décelé aucune trace de griffe. Toutes les voies sont étroites, avec des traces de pied proches de l'axe central des voies. Ces pistes sont rapportées à l'ichnogène *Parabrontopodus*, généralement attribué à des sauropodes primitifs ou à des diplodocoïdes. Dans l'hypothèse où ces dinosaures auraient les mêmes proportions qu'un *Diplodocus*, leur taille est estimée entre 27 et 32 m, pour une hauteur au bassin variant de 338 à 408 cm.

Conclusions

Les empreintes de Coisia sont rapportées à l'ichnogène *Parabrontopodus*, attribué à des sauropodes primitifs ou à des diplodocoïdes. D'autres empreintes de pas de sauropodes sont connues dans les mêmes niveaux, environ 1 km au sud-ouest du site décrit dans cette note : de futures recherches dans le Jura français pourraient révéler un *megatracksite* comparable à ceux décrits par Meyer [21,22] dans le Jura suisse. D'un point de vue paléogéographique, la découverte d'empreintes de pas de dinosaures à Coisia confirme que des périodes d'émersion affectaient les environnements subtidaux de la région à la fin du Jurassique [3,5,18]. La localité de Coisia constitue le plus important site à empreintes de pas de sauropodes en France et l'enlèvement envisagé des niveaux sus-jacents pourrait révéler plusieurs milliers de mètres carrés de la surface « dino-turbée ».

1. Introduction – Late Jurassic sauropod footprints in Western Europe

The first sauropod footprints discovered in Europe were described by Kaever and Lapparent in 1974 [13] in the Kimmeridgian of Lower Saxony (Germany; see Lockley and Meyer, 2000 [16] for a reinterpretation of this tracksite); sauropod footprints were described later from Spain [11,16,20]. Since 1990 new discoveries were reported from the Late Jurassic of Portugal (see Lockley and Meyer [16] for a synthesis), Southern France [14], Spain [1,12] and Switzerland [19,21,22]. In 2003, Mezga et al. [23] reported narrow-gauge trackways from the Upper Tithonian of Croatia. Most of these trackways have been referred by Lockley and Meyer [16] to the ichnogenera *Brontopodus* (wide-gauge sauropods) and *Parabrontopodus* (narrow-gauge sauropods); other ichnotaxa have been used by former

authors (such as *Elephantopoides* Kaefer and Lapparent, 1974 or *Gigantosauropus* Mensink and Mertmann, 1984), but were shown by Lockley et al. (1994) [17] to be *nomina dubia*. It is thus convenient when dealing with Late Jurassic sauropod footprints to use the widely employed terms *Brontopodus* Farlow et al., 1989 and *Parabrontopodus* Lockley et al., 1994. In their 2000 review of European dinosaur footprints, Lockley and Meyer [10,16] noticed that Kimmeridgian sauropod footprints are abundant (Portugal, France, Switzerland, Germany) and show a mixture of wide-gauge (*Brontopodus* type) and narrow-gauge (*Parabrontopodus* type) animals, while in the Tithonian there is a dominance of wide-gauge types (although, as noted above, narrow-gauge trackways are now reported from the Tithonian of Croatia and France).

2. Geology – Stratigraphy

The tracksites are located near the village of Coisia, in the southern part of the Jura department, 10 km northwest of Oyonnax (Fig. 1). The two exposures occur along road CD 60 and they were discovered by one of us (C. Gourrat) in April 2004; both exposures are subvertical bedding planes showing sauropod footprints impressed in a limestone referred to the ‘Couches du Chailley’ Formation by geologists. The ‘Couches du

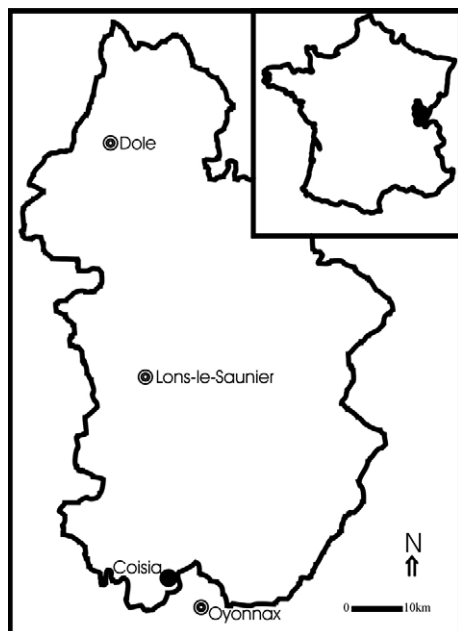


Fig. 1. Location map showing tracksite (black circle) near the southern border of the Jura department, France.

Fig. 1. Carte de situation montrant le gisement de Coisia (cercle noir) dans le Sud du département du Jura.

Chailley’ are dated from the Uppermost Kimmeridgian to the Tithonian by ammonites [18]. The track-bearing levels are situated well above the Late Kimmeridgian *G. irius* levels, and can safely be referred to the Tithonian. The Couches du Chailley are bioturbated by *Thalassinoides* burrows and have yielded, besides ammonites, gastropods (*Nerinea*, *Pterocera*), bivalves (*Pholadomya*, *Trigonia*), algae and foraminifers. They represent a subtidal environment such as a lagoon separated from the open sea by a coral reef. Laminites of algal origin and now dinosaur trackways indicate periods of emersion (supratidal environment). It is interesting to note that in 1984 Bernier [2] had reported circular depressions in the same levels, one kilometre to the southwest of the cliff we describe here; he briefly suggested a possible footprint site. This outcrop is now badly eroded but undoubtedly shows sauropod footprints.

3. Preliminary analysis of the dinosaur tracks

We mapped the site on 31 July and 1 August 2004 after the removal of overlying beds on the southwestern part of the slab. The track-bearing slab is orientated NE–SW (N 35°) with a dip of 80 to 85° southward. We describe here the main slab; a second slab, about 30 m to the southwest, also shows sauropod footprints, but no trackways can be recognized. More than 170 pes and manus prints are exposed on the main slab, which is 28-m long and 5- to 6-m high (Fig. 2); there are at least nine different sauropod trackways (Fig. 2) between 3- and 9-m long. Most of the tracks are preserved as imprints (concave hyporeliefs) with sediment displacement rims. Some, on the northeastern part of the slab, are more likely underprints. The best preserved trackways (Fig. 3, Table 1) show a large oval pes print and a

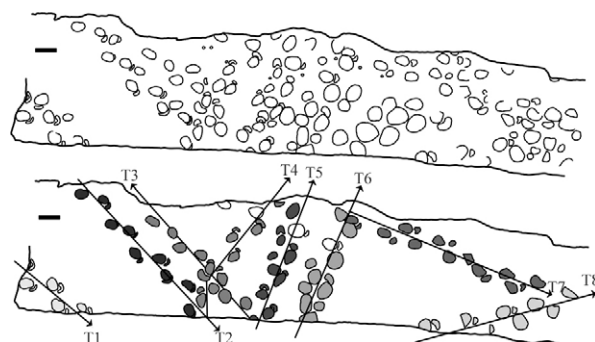


Fig. 2. Map of the Coisia site (top) and interpretative map without isolated footprints (bottom); Scale bar: 1 m.

Fig. 2. Carte du site de Coisia (en haut) et carte interprétative sans les empreintes isolées (en bas). Barre d'échelle : 1 m.

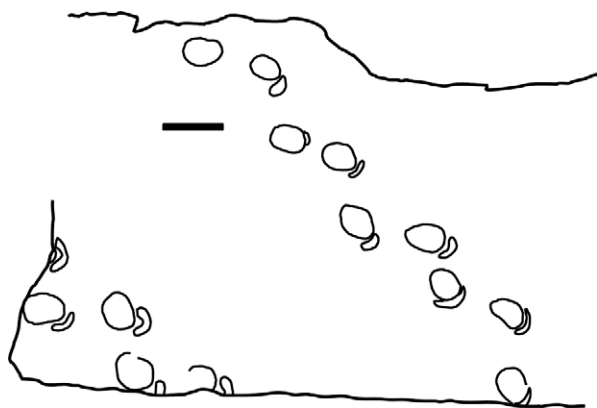


Fig. 3. Enlargement of trackways 1 and 2. Scale bar: 1 m.

Fig. 3. Agrandissement des pistes 1 et 2. Barre d'échelle : 1 m.

Table 1

Measurements (in centimetres) of the best preserved trackways; FL: foot length; FW: foot width; ML: manus length; MW: manus width; PLf: pace length (foot); PLm: pace length (manus); SLf: stride length (foot); SLm: stride length (manus); PAF: pace angulation (foot); Pam: pace angulation (manus)

Tableau 1. Mesures (en centimètres) des pistes les mieux préservées ; FL: longueur du pied ; FW: largeur du pied ; ML: longueur de la main ; MW: largeur de la main ; PLf: longueur du pas (postérieurs) ; PLm: longueur du pas (antérieurs) ; SLf : enjambée (postérieurs) ; SLm: enjambée (antérieurs) ; Paf : angle du pas (postérieurs) ; Pam : angle du pas (antérieurs).

	T1	T2	T3	T4	T5	T7
FL	64	61	69	59	57	59
FW	52	46	55	44	47	42
ML	29	25	26	25	29	28
MW	52	42	38	39	39	36
PLf	122	102	101	109	112	106
PLm	135	121		123	107	
SLf	189	193	172	181	147	162
SLm	193	191		173	151	
PAf	101°	126°	115°	112°	82°	94°
PAm	90°	103°			89°	

small crescentic manus print just in front of the pes print. There are no claw impressions.

Mean pes print lengths range from 57 (T5) to 69 cm (T3); mean pes widths range from 42 (T9) to 56 cm (T3). Mean manus print lengths range from 25 (T2) to 29 cm (T1); mean manus widths range from 36 (T9) to 52 cm (T1). All measurements were taken inside the rims (Table 1). The pes are thus longer than wide and the manus are wider than long.

Pace length ranges from 101 cm (T3) to 122 cm (T1); stride length ranges from 162 (T7) to 193 cm (T2). Pace angulation (pes) varies from 82° (T5) to 126° (T2).

All the trackways are narrow-gauge with footprints situated close to the central axis of the trackways. The

heteropody (manus-pes size ratio) is high for trackways 1 and 2 (about 1/6). The manus prints are outwardly rotated.

Three trackways (T1, T2, T7) are oriented between the southwestern top of the slab to the northeastern bottom; one is oriented in the opposite direction (T3). Three are oriented almost vertically from the bottom to the top of the slab (T4, T5, T6). Another (T8) is oriented from the southwestern bottom to the northeastern top. Many footprints and manus prints could not be resolved into trackways, even though some alignment of footprints suggests partial trackways.

4. Discussion

The narrow-gauge trackways are attributed to the ichnogenus *Parabrontopodus* Lockley et al., 1994. *Parabrontopodus* footprints are usually referred to basal sauropods or diplodocoids (which were narrow-hipped sauropods), while the wide gauge *Brontopodus* are commonly referred to brachiosaurids or titanosaurids. The dimensions of the track makers were estimated using Thulborn's [24] formula: hip height ($= 5.9 \times$ pes length) can be estimated between 338 and 408 cm; given that a 24-m-long *Diplodocus* is about 300-cm high at the hip, the total length of the Coisia track makers can be roughly estimated between 27 and 32 m.

Skeletal remains of sauropods are not abundant in the Late Jurassic of the French Jura. A notable exception is the partial brachiosaurid skeleton from the Oxfordian of Damparis (Jura). This skeleton was found in association with isolated theropod teeth, indicating scavenging in situ [5,7]. Both the Coisia footprints and the Damparis skeleton point to temporary emersion of the Late Jurassic carbonate platform in what is now the French Jura. The French Tithonian sauropod record is scanty, with a few camarasaurid teeth known as *Neosodon praecursor* in the Boulonnais [8], and a few camarasaurid caudal vertebrae from Haute-Marne [6]. A large caudal vertebra from Cherves, near Cognac, was referred by Le Lœuff et al. [15] to a camarasaurid, but this locality is now considered as Berriasian in age [9]. Outside France, the Late Jurassic European sauropod record comprises diplodocoids [4], brachiosaurids, and camarasaurids [25].

5. Conclusions

The sauropod footprints from Coisia are referred to the ichnogenus *Parabrontopodus*, attributed to basal sauropods or diplodocoids. Other footprints are known

in the same level about 1 km to the southwest of the site here reported: further investigations in the French Jura might reveal a potential megatracksite comparable to the Swiss megatracksite described by Meyer [22] in the northern Jura Mountains. From a palaeogeographical point of view, the discovery of the footprints confirms that periods of emersion affected these subtidal environments [3,5,18]. The Coisia tracksite represents the most important sauropod tracksite in France with a good potential for future studies. The removal of overlying beds could reveal several thousand square metres of the 'dinoturbated' surface.

Acknowledgements

We thank the 'Office national des forêts', the 'Conseil général du Jura', the 'Association des naturalistes d'Oyonnax' (ADNO), the 'Direction départementale de l'Équipement', the 'Musée des Dinosaures' (Espérazza, France) for their contributions to this preliminary study of the Coisia tracks. We thank R. Ezquerro (Lyon) for providing useful references.

References

- [1] L. Alcalá, C. Martín, Huellas de dinosaurios en el Jurásico superior de Ababuj (Teruel), *Geogaceta* 17 (1995) 19–22.
- [2] P. Bernier, Les formations carbonatées du Kimméridgien et du Portlandien dans le Jura méridional, *Stratigraphie, Micropaléontologie, Sédimentologie, Doc. Lyon* 92 (1984) 1–803.
- [3] P. Bernier, R. Enay, Figures d'émersion temporaire et indices de sédimentation à très faible profondeur dans le Portlandien et le Kimméridgien supérieur (calcaires en plaquettes) du Grand-Colombier-de-Culoz (Ain, France), *Bull. Soc. géol. France* 14 (7) (1980) 281–292.
- [4] J.F. Bonaparte, O. Mateus, A new diplodocid, *Dinheirosaurus lourinhanensis* gen. et sp. nov., from the Late Jurassic beds of Portugal, *Rev. Mus. Arg. Cienc. Nat.* 5 (2) (1999) 13–29.
- [5] E. Buffetaut, Les restes de dinosauriens de l'Oxfordien supérieur de Damparis (Jura) : preuves d'émersion sur place, *Rev. Paléobiol.* 7 (1988) 301–306.
- [6] E. Buffetaut, A sauropod dinosaur in the Portlandian of Haute-Marne (eastern France), *Geobios* 23 (1990) 755–760.
- [7] E. Buffetaut, Remarques sur les dinosauriens oxfordiens de Damparis (Jura) et leur signification paléogéographique, *Bull. Soc. géol. France* 163 (1992) 521–523.
- [8] E. Buffetaut, M. Martin, Late Jurassic Dinosaurs from the Boulonnais (northern France): a review, *Rev. Paléobiol.* 7 (special issue) (1993) 17–28.
- [9] J.-P. Colin, A. El Albani, F.T. Fürsich, C. Martin-Closas, J.-M. Mazin, J.-P. Billon-Bruyat, Le gisement « Purbeckien » de vétérés de Cherves-de-Cognac, Charente (SW France) : nouvelles données biostratigraphiques, *C. R. Palevol* 3 (2004) 9–16.
- [10] J.O. Farlow, J.G. Pittman, J.M. Hawthorne, *Brontopodus birdi*, Lower Cretaceous Sauropod footprints from the U.S. Coastal Plain, in: D.G. Gillette, M.G. Lockley (Eds.), *Dinosaur tracks and traces*, Cambridge University Press, Cambridge, 1989, pp. 367–394.
- [11] J.C. García-Ramos, M. Valenzuela, Estudio e interpretación de la icnofauna (Vertebrados e invertebrados) en el Jurásico de la Costa Asturiana, *Cuad. Geol.* 10 (1979) 13–22.
- [12] J.C. García-Ramos, J. Lires, L. Pinuela, *Dinosaurios. Rutas por el Jurásico de Asturias*, La voz de Asturias, Lugones, 2002 (204 p.).
- [13] M. Kaever, A.F. de Lapparent, Les traces de pas de Dinosauriens du Jurassique de Barkhausen (Basse Saxe, Allemagne), *Bull. Soc. géol. France* 16 (7) (1974) 516–525.
- [14] B. Lange-Badré, M. Dutrieux, J. Fejt, G. Maury, Découverte d'empreintes de pas de dinosauriens dans le Jurassique supérieur des Causses du Quercy (Lot, France), *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser., I* 323 (1996) 89–96.
- [15] J. Le Lœuff, E. Buffetaut, C. Merser, Découverte d'un dinosaurien tithonien dans la région de Cognac (Charente, France), *Géol. France* 2 (1996) 79–81.
- [16] M.G. Lockley, C.A. Meyer, *Dinosaur Tracks and other fossil footprints of Europe*, Columbia University Press, New York, 2000 (323 p.).
- [17] M.G. Lockley, J.O. Farlow, C.A. Meyer, *Brontopodus* and *Parabrontopodus* ichnogen. nov. and the significance of wide- and narrow-gauge sauropod trackways, *Gaia* 10 (1994) 135–146.
- [18] C. Mangold, R. Enay, Notice explicative de la feuille Nantua à 1/50 000, n° 652, Éditions du BRGM, 2004 (180 p.).
- [19] D. Marty, W.A. Hug, A. Iberg, L. Cavin, C.A. Meyer, M.G. Lockley, Preliminary report on the Courtedoux dinosaur tracksite from the Kimmeridgian of Switzerland, *Ichnos* 10 (2003) 209–219.
- [20] H. Mensink, D. Mertmann, *Dinosaurierfahrten (Gigantosaurus asturiensis* n. g. n. sp.; *Hispanosaurus hauboldi* n.g. n.sp.) im Jura Asturiens bei La Griega und Ribadasella (Spanien), *N. Jahrb. Geol. Paläontol. Monatsh.* 7 (1984) 405–415.
- [21] C.A. Meyer, A sauropod dinosaur megatracksite from the Late Jurassic of northern Switzerland, *Ichnos* 3 (1993) 29–38.
- [22] C.A. Meyer, B. Thüning, *Dinosaurs of Switzerland*, *C. R. Palevol* 2 (2003) 103–117.
- [23] R.F.K. Mezga, Z. Bajraktarevic, B.C. Tetovic, I. Gusic, First record of the dinosaurs in the Late Jurassic sediments of Istria, Croatia (preliminary report), in: *First Meeting of the European Association of Vertebrate Palaeontologists*, Basel, Switzerland, abstract volume, 2003 p. 30.
- [24] R.A. Thulborn, *Dinosaur Tracks*, Chapman and Hall, London, 1990 (410 p.).
- [25] D.B. Weishampel, P.M. Barrett, R.A. Coria, J. Le Lœuff, X. Xing, Z. Xijian, A. Sahni, E.M.P. Goman, C.R. Nott, *Dinosaur Distribution*, in: D.B. Weishampel, P. Dodson, H. Osmolska (Eds.), *The Dinosauria*, Second Edition, University of California Press, Berkeley, 2004, pp. 517–606.