



HAL
open science

Étude des traces de pas de vertébrés du Permien et du Trias d'Ardèche. Enjeux et perspectives.

Emmanuel Fara, Jean-David Moreau, Léo Szewczyk, Georges Gand, Laurent Mendras, Rolande Fayolle, Nicolas Klee, Suzanne Jiquel, Rémi Laffont, Lauriane Poloni, et al.

► To cite this version:

Emmanuel Fara, Jean-David Moreau, Léo Szewczyk, Georges Gand, Laurent Mendras, et al.. Étude des traces de pas de vertébrés du Permien et du Trias d'Ardèche. Enjeux et perspectives.. Bulletin de la Société géologique de l'Ardèche, 2022, 15, pp.43-50. hal-03621177

HAL Id: hal-03621177

<https://hal.science/hal-03621177>

Submitted on 26 Feb 2024

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

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

Titre :

Etudes des traces de pas de vertébrés du Permien et du Trias d'Ardèche : enjeux et perspectives

Auteurs :

Emmanuel FARA¹, Jean-David MOREAU¹, Leo SZEWCZYK², Georges GAND¹, Laurent MENDRAS³, Rolande FAYOLLE⁴, Nicolas KLEE⁵, Suzanne JIQUEL⁶, Rémi LAFFONT¹, Lauriane POLONI⁸, Michel VEROLET⁹, Emmanuelle VENNIN¹.

1 Biogéosciences, UMR CNRS 6282, Université de Bourgogne Franche-Comté, Dijon ; 2 MINES ParisTech, PSL Research University, Centre de Géosciences, Fontainebleau ; 3 Largentière ; 4 Thueyts ; 5 PNR des Monts d'Ardèche, Jaujac ; 6 ISEM, UMR5554, CNRS, UM, IRD, EPHE ; 7 Université de Montpellier ; 8 Biogéosciences, UMR CNRS 6282, EPHE PSL Research University, Université de Bourgogne Franche-Comté, Dijon ; 9 Saint Julien du Serre.

Résumé : Le département de l'Ardèche est remarquable car il offre un accès privilégié aux roches sédimentaires permienues et triasiques dans lesquelles abondent les traces de vertébrés fossiles. Une vingtaine de localités et plus de 1500 empreintes de pas ont déjà été recensées le long d'une succession sédimentaire affleurant entre Privas et Les Vans. Ce patrimoine ichnologique, reconnu internationalement, documente le passage de grands groupes de reptiles en terres ardéchoises, incluant essentiellement des représentants basaux de la lignée des crocodiles (pseudosuchiens) et de la lignée des oiseaux (dinosauriformes et dinosaures), ainsi que quelques membres de la lignée des lézards/serpents (lépidosauromorphes) et de la lignée des reptiles mammaliens/mammifères (synapsides). Ce patrimoine ichnologique exceptionnel ouvre des perspectives passionnantes de recherche, notamment en macroévolution, en taphonomie et pour la reconstruction des paléo-paysages. Il lance aussi de grands défis en termes de conservation et de valorisation, défis qui nécessitent la mobilisation coordonnée d'une multitude d'acteurs.

Mots-clés : Empreintes de pas fossiles, Reptiles, Permien, Trias, Géoparc mondial UNESCO des Monts d'Ardèche, Conservation, Valorisation.

Introduction

Les périodes géologiques du Permien (299-252 millions d'années) et du Trias (252-201 millions d'années) sont célèbres mondialement pour au moins trois raisons principales. D'abord parce que les continents sont alors regroupés en une seule masse émergée, la Pangée. Cette dernière est soumise à un climat caractérisé par une forte tendance à l'aridité. Ensuite parce que la limite Permien-Trias a été définie par la plus grande extinction biologique de tous les temps et durant laquelle près de 90% des espèces ont disparu. Cette extinction majeure fait l'objet de nombreuses recherches et permet de mettre en perspective l'érosion actuelle de la biodiversité. Enfin, parce que le Trias est un intervalle durant lequel le monde vivant se diversifie à nouveau et voit l'apparition de nombreux groupes de vertébrés. Deux d'entre eux sont emblématiques et connus de tous: les dinosaures et les mammifères. Ils sont accompagnés de nombreux autres clades qui auront soit une durée de vie géologique fugace (aéto-saures, phytosaures, rhynchosaures), soit au contraire une étendue temporelle plus longue (tortues, crocodiles, squamates, lissamphibiens). Ce profond renouvellement faunique est lui-même en partie associé à une crise d'extinction majeure affectant particulièrement les faunes terrestres au Trias Supérieur (passage Carnien-Norien, il y a 227 millions d'années) mais qui permettra aux dinosaures d'asseoir leur domination dans les écosystèmes terrestres.

Dans ce contexte, le département de l'Ardèche est remarquable car il offre un accès privilégié aux roches sédimentaires permo-triasiques dans lesquelles abondent les traces de vertébrés fossiles (Montenat 1968 ; Courel & Demathieu 1976, 2000 ; Gand 1994 ; Gand *et al.* 2005, 2007 ; Gand & Demathieu 2005). Plus largement, en préservant une diversité lithologique composée de roches plutoniques, métamorphiques, volcaniques et sédimentaires, l'Ardèche rassemble des structures géologiques remarquables et des témoignages de leur utilisation par l'homme (exploitations minières, constructions...). Cette situation exceptionnelle a notamment permis au Parc Naturel Régional (PNR) des Monts d'Ardèche d'obtenir le label Géoparc mondial de l'UNESCO en 2014. Ce label implique notamment de renforcer l'articulation avec la recherche scientifique et de promouvoir la diffusion des savoirs. Dans le domaine de la paléontologie (étude des traces fossiles), cette mission a été confiée à l'Université de Bourgogne (Laboratoire Biogéosciences, Dijon). En effet, depuis la fin des années 1960, cette institution académique a largement contribué à la description scientifique du patrimoine ichnologique ardéchois (Gand *et al.* 2005, 2007 ; Gand & Demathieu 2005 ; Szewczyk *et al.* 2020 ; Fara *et al.* 2021). Ce partenariat de longue date a été formellement concrétisé en novembre 2015 par une convention entre le PNR des Monts d'Ardèche et l'Université de Bourgogne. La convention s'articule autour de quatre volets : (1) la recherche scientifique, (2) la protection des sites ichnologiques, (3) la formation

des étudiants et des professionnels et (4) la vulgarisation scientifique. Les principaux objectifs sont de réaliser un inventaire détaillé et sédimentologiquement contextualisé des traces de vertébrés du Permien et du Trias au sein du Géoparc et de ses environs, d'établir des priorités de conservation et de protection, et de contribuer à mettre en place des géosites ichnologiques pour le public (Fara *et al.* 2021). Cette contribution a comme ambition de présenter brièvement le contexte, les enjeux et les perspectives de l'étude des traces fossiles de vertébrés du Permien et du Trias d'Ardèche.

Contexte géologique

Les roches sédimentaires permienues et triasiques ardéchoises affleurent principalement le long d'une bande NE-SW entre Privas et Les Vans. Dans la série stratigraphique de la bordure orientale du Massif Central, quatre unités majeures livrent l'essentiel des traces (ichnites) de vertébrés (Figure 1).

Figure 1

Pour le Permien, les ichnites proviennent de la Formation de la Lande décrite par Gand (1994), correspondant à l'unité IV de la Séquence III de Becq-Giraudon (1993). Cette unité est datée du Permien basal (« Autunien ») et correspond à des paléoenvironnements continentaux (Gand 1994).

Pour le Trias, les trois unités majeures sont la Formation des Grès du Roubreau datée du Trias Moyen (Anisien/Ladinien), et le duo formé par l'Ensemble grésodolomitique gris et la Formation Bariolée d'Ucel (*sensu* Gand *et al.* 2007) datée du Trias Supérieur (Carnien supérieur/Norien). La Formation des Grès du Roubreau est dominée par des conglomérats et des grès, tandis que des grès, des microconglomérats et des couches d'argilite occasionnelles forment l'essentiel de l'Ensemble grésodolomitique gris et de la Formation Bariolée d'Ucel. Ces unités continentales illustrent des environnements fluviaux et de plaines d'inondation. Elles ont été datées palynologiquement. Le patrimoine ichnologique livré par ces unités triasiques est connu mondialement et il est largement dominé par les empreintes de vertébrés, notamment les reptiles. Certaines d'entre elles ont fait l'objet d'une description scientifique et ont permis l'érection d'espèces nouvelles d'empreintes également appelées ichnoespèces, telles que *Isochirotherium felenci*, *Isochirotherium delicatum*, *Coelurosaurichnus grancieri*, *Coelurosaurichnus largentierensis* et *Dahutherium agilis* qui ont été laissées par des reptiles affiliés à la lignée des crocodiles et des dinosaures (Montenat 1968 ; Courel & Demathieu 1976, 2000). Bien que la validité de certaines de ces références ichnologiques internationales doive être réévaluée (Gand & Demathieu 2005), elles

démontrent elles aussi le remarquable potentiel ichnologique de la série permo-triasique ardéchoise.

Richesse ichnologique et auteurs présumés

À ce jour, plus de 20 localités et près de 1500 empreintes individuelles ont été inventoriées le long de la succession permo-triasique ardéchoise (figure 1). Il ne fait aucun doute qu'il reste encore d'innombrables ichnites à étudier et à découvrir en Ardèche, comme en témoigne la mise au jour de nouvelles empreintes lors de chaque mission de prospection. Nous dressons ici un bref état des lieux des types d'empreintes de vertébrés permo-triasiques identifiés dans ce département, ainsi qu'un panorama des auteurs présumés de ces ichnites. À cette occasion, il est utile de rappeler qu'en ichnologie, il est rarement possible de déterminer l'auteur précis d'une empreinte. En effet, des espèces différentes peuvent laisser des empreintes similaires, et une même espèce peut laisser divers types d'empreintes. L'identification de l'auteur revient donc à mener une enquête visant à déterminer une sorte de portrait-robot, ce qui consiste en pratique à déduire un ou plusieurs grands groupes d'organismes. Afin de faciliter la lecture et de mettre en avant des groupes de reptiles parfois méconnus, nous présentons ces derniers sur un arbre de parenté simplifié (Figure 2).

Figure 2

Formation de la Lande (Permien inférieur) :

Les premières traces de vertébrés ont été découvertes par Gand (1994) en plusieurs endroits du Bassin de Largentière. Elles signalent, dans les paléoenvironnements du Permien ardéchois, la présence d'amphibiens temnospondyles (empreintes de type *Batrachichnus salamandroides* et *Limnopus zeilleri*), de reptiles araeoscéliciens (empreintes de type *Dromopus lacertoides*) et de reptiles pélycosauriens (empreintes de types *Dimetropus nicolasi* et *D. leisnerianus* ; Figure 3). Ces traces sont associées à des restes de végétaux (*Walchia hypnoides* et cf. *Callipteris conferta*). Des sillons sinusoïdaux, formés lors du frottement de nageoires de « poissons » sur les sédiments, sont également présents. Les terriers d'invertébrés, nommés *Scoyenia*, abondent dans de multiples niveaux de cette série permienne et sont particulièrement denses dans les affleurements de Largentière, notamment au niveau du géosite des Fourniols.

Figure 3

Les Grès du Roubreau (Trias moyen)

La synthèse de Gand *et al.* (2007) signale que les Grès du Roubreau ont livré des empreintes de reptiles archosauriformes, notamment dans les secteurs de Largentière, Sanilhac, Aubenas et Privas. Celles de type *Chirotherium barthii*, *Isochirotherium felenci*, *Isochirotherium delicatum*, *Brachychirotherium circaparvum*, *Brachychirotherium tintanti*, *Brachychirotherium cf. gallicum*, et *Chirotherium mediterraneum* ont été laissées par des reptiles pseudosuchiens. Ces derniers appartiennent à la lignée qui mènera aux crocodiles actuels, mais la plupart d'entre eux étaient terrestres et avaient une position érigée. Le groupe des dinosauriformes (reptiles dans la lignée directe des dinosaures et cousins éloignés des oiseaux) est lui aussi documenté dans les Grès du Roubreau, notamment par les empreintes *Coelurosaurichnus largentierensis* et *Sphingopus ferox*. Enfin, les reptiles lépidosauromorphes (lignée des lézards et des serpents) et de probables et rares synapsides (reptiles inscrits dans la lignée menant aux mammifères) sont également documentés par des empreintes du type *Rynchosauroides cf. petri* et *Procolophonichnium* isp. pour les premiers, et par des empreintes théromorphoïdes indéterminées pour les seconds. Les empreintes de reptiles archosauriformes laissées dans les Grès du Roubreau sont de loin les traces de vertébrés les plus fréquentes en Ardèche (Figure 4).

Figure 4

L'Ensemble grésolo-dolomitique gris et la Formation Bariolée d'Ucel (Trias supérieur)

L'Ensemble grésolo-dolomitique gris est connu pour avoir livré les empreintes de dinosauriformes de type *Grallator* isp. et *Coelurosaurichnus grancieri* dans le secteur de Payzac (Figure 5A), notamment grâce au travail réalisé par Max Grancier (Courel & Demathieu 2000, Gand *et al.* 2007). Pour la Formation Bariolée d'Ucel, la localité ichnologique de référence est le géosite du Sartre situé sur la commune d'Ucel (Szewczyk *et al.* 2020, Fara *et al.* 2021). Gand *et al.* (2007) furent les premiers à y mentionner les ichnogènes *Grallator* (Figure 5B) et *Otozoum*. La présence de *Brachychirotherium* isp. a aussi été révélée plus récemment lors des travaux d'aménagement du géosite en 2019. Cet ichnoassemblage illustre l'abondance de dinosaures sur les terres ardéchoises au Trias supérieur, en particulier des formes coelophysoïdes et platéosaurides appartenant à la grande branche des dinosaures saurischiens.

Figure 5

Exemples de questions scientifiques soulevées par les traces fossiles d'Ardèche

Les empreintes fossiles, indices formés *in situ*, permettent de déduire de nombreuses caractéristiques paléobiologiques (diversité des auteurs, interactions biotiques, biomécanique de la locomotion, allure, vitesse de déplacement et comportements) et sont aussi d'excellents marqueurs des conditions de dépôt et des paléoenvironnements. Mais le patrimoine ichnologique ardéchois soulève d'autres problématiques passionnantes parmi lesquelles nous en retiendrons deux ici.

La première porte sur la macroévolution des reptiles archosauriformes. Deux groupes majeurs (ou clades) sont particulièrement concernés par les empreintes ardéchoises : les dinosauriformes et les pseudosuchiens. Comme le montre la Figure 1, les ichnoassemblages du Trias moyen illustrent des faunes largement dominées par les archosauriformes pseudosuchiens, alors que ceux du Trias supérieur sont composés majoritairement des traces de dinosauriformes et de dinosaures. Ce contraste est un motif macroévolutif documenté à l'échelle de l'Europe, de l'Amérique du Sud, de l'Amérique du Nord et de l'Afrique. Il illustre un profond bouleversement qui s'est produit au cours du Carnien (~234-232 millions d'années) chez les grands reptiles terrestres et qui s'est accentué à la limite Trias-Jurassique (Dal Corso *et al.* 2020). Certaines lignées ont subi des extinctions majeures (rhynchosaures et dicynodontes), tandis que d'autres sont apparues ou se sont diversifiées pour la première fois dans cet intervalle géologique (crocodylomorphes, dinosaures, phytosaures, ravisuchiens, rhynchocéphales). Bien que la lignée souche des dinosaures (Dinosauriformes) soit apparue au Trias précoce, cette lignée est restée relativement discrète jusqu'au Carnien, après quoi elle a augmenté en diversité et en disparité morphologique alors que les pseudosuchiens commençaient à... marquer le pas ! Les causes et la dynamique de cet important renouvellement faunique restent encore débattues, mais le Carnien est désormais identifié comme un intervalle témoin de changements paléoenvironnementaux majeurs à l'échelle mondiale, marqué par une recrudescence d'événements volcaniques dans la province de Wrangellia, par l'épisode pluvial du Carnien et par plusieurs perturbations du cycle du carbone (Dal Corso *et al.* 2020). La diversification des dinosaures sera accélérée au début du Jurassique, dans la foulée de la crise biologique marquant la limite Trias-Jurassique.

La seconde problématique notable concerne les processus contrôlant la formation et la préservation des empreintes en domaine continental. En effet, certaines empreintes reptiliennes trouvées en Ardèche sont exceptionnelles en raison de la grossièreté des grains composant les roches sédimentaires qui les préservent. Un exemple remarquable est donné par le géosite du Sartre au nord d'Aubenas. Plusieurs centaines d'empreintes reptiliennes

sont conservées dans une couche sédimentaire grossière correspondant à une arénite à grain moyen à grossier, localement micro-conglomératique (Figure 5B) et traduisant un paléo-paysage fluvial.

Un tel mode de préservation est rarissime car il s'écarte des modèles de préservation dominants qui impliquent des processus microbiens (Szewczyk *et al.* 2020). Il illustre également le potentiel de préservation contrasté des « vraies traces » (empreintes laissées sur la surface de marche réelle), des « sous-traces » (empreintes résultant de la déformation des couches sédimentaires sous la surface de marche) et des « sur-traces » (empreintes correspondant à une couverture sédimentaire peu profonde des vraies traces après leur formation).

Conservation et valorisation du patrimoine ichnologique ardéchois

Aménagement de sites

Le géosite du Sartre est le premier géosite ichnologique d'Ardèche. Découvert par l'un de nous (MV), et après quatre années d'investigations scientifiques et de travaux d'aménagement, ce site a été inauguré en octobre 2020 (Figure 6). Il s'agit du premier site public aménagé en France (et probablement en Europe) présentant des traces de dinosaures du Trias supérieur. Les visiteurs ont librement accès à des panneaux explicatifs illustrés, à des tubes de ciblage visuel et à des répliques 3D d'empreintes reptiliennes. Sous la coordination du PNR/Géoparc des Monts d'Ardèche, ce premier succès dans l'aménagement d'un ichnosite est le fruit d'une synergie remarquable entre une multitude d'acteurs locaux, d'associations, de collectivités territoriales, d'institutions académiques et de programmes de financements français et européens (Fara *et al.* 2021). Le site permien des Fourniols à Largentièrre et un parcours balisé dans le Trias de Tauriers s'inscrivent également dans un projet de valorisation. Ces aménagements, plus ou moins conséquents, ouvrent des perspectives enthousiasmantes de « circuits découvertes » ou « balades géologiques » en terres ardéchoises, notamment dans les secteurs de Sanilhac, de Tauriers et de Largentièrre.

Figure 6

Moulages et numérisation

Afin de communiquer plus amplement sur le patrimoine ichnologique ardéchois, des travaux de moulages en résine d'empreintes emblématiques ont été réalisés, tant sur le terrain que

dans certaines collections publiques et privées. À ces moulages physiques s'ajoutent désormais la modélisation 3D systématique des empreintes et des sites, en employant le plus souvent la photogrammétrie (Figure 4). Les modèles numériques qui en résultent répondent à un triple objectif : (1) permettre la valorisation *ex situ* de ce patrimoine, par exemple en employant les techniques de réalité virtuelle dans le cadre d'expositions ; (2) faciliter le partage universel des relevés d'empreintes à des fins culturelles et scientifiques ; et (3) assurer la conservation de cet héritage paléontologique en créant des copies virtuelles ou en réalisant des impressions 3D à partir des modèles numériques, sans perte de résolution. Cette démarche concerne tant les affleurements sur le terrain que les échantillons hébergés dans les collections. Ainsi, les moulages en résine et les modèles 3D numériques deviennent parfois les seuls vestiges de sites dégradés par l'érosion naturelle ou les activités anthropiques (constructions, vandalisme, ...).

Conclusion : Par leur diversité et leur abondance, les empreintes permo-triasiques d'Ardèche forment depuis plusieurs décennies un point de référence à l'échelle internationale. Si ce patrimoine ichnologique ouvre des perspectives passionnantes de recherches, notamment en macroévolution, en taphonomie et en sédimentologie, il lance aussi de grands défis en termes de conservation et de valorisation. La difficulté majeure est la multiplicité des paramètres à prendre en compte. Parmi eux, on pourra retenir l'évaluation de l'intérêt scientifique et touristique, la nature foncière, l'accessibilité, et le délicat équilibre à trouver entre l'extension et la protection des sites. Un tel défi territorial ne peut être relevé que par la coordination d'une multitude d'acteurs. Dans ce contexte, le label Géoparc UNESCO a stimulé l'articulation indispensable entre le PNR des Monts d'Ardèche, les scientifiques, les amateurs curieux, les associations locales et les sociétés savantes telles que la Société Géologique d'Ardèche, l'association Clapas et le CPIE (Centre Permanent d'Initiation l'Environnement) du Velay. Cette synergie salvatrice va permettre d'accroître la diffusion des savoirs vers les publics scolaires, touristiques et tous les habitants de la région. La communication, informelle ou formelle, a déjà permis de sensibiliser les habitants sur la valeur patrimoniale – et non marchande – de leur environnement géologique immédiat. Néanmoins tous ces efforts doivent être poursuivis car il est certain que les découvertes seront encore nombreuses !

Remerciements

Nous tenons à remercier la Société Géologique de l'Ardèche (notamment Nicolas Gignoux et Dominique Gasquet pour leur relecture du manuscrit), tous les habitants et bénévoles qui

nous aident à promouvoir le patrimoine ichnologique ardéchois, en particulier Maryse Aymes, Georges Naud, Suzy Meucci, Véronique Verolet et Max Grancier, ainsi que tous les membres du PNR des Monts d'Ardèche pour leur indéfectible soutien dans nos recherches. Nous remercions Pierrick Legobien dont les illustrations continuent d'être admirées par tous les collègues et visiteurs, ainsi que Pascal Taubaty pour la confection de lames minces de très grande qualité. Nous exprimons notre gratitude à la municipalité d'Ucel pour l'autorisation d'étudier et de promouvoir le géosite du Sartre et pour avoir rendu possibles les travaux d'extension. Nous remercions le programme européen Leader, la Région Auvergne-Rhône-Alpes, le Département de l'Ardèche et la communauté de communes du Bassin d'Aubenas, le CNRS et l'Université de Bourgogne pour leur soutien financier. La photogrammétrie et la modélisation 3D ont été essentiellement réalisées au sein du secteur MorphOptics de la plateforme GISMO (laboratoire Biogéosciences, Dijon) avec le soutien du programme Equipex+ « e-COL+ » (projet ANR-21-ESRE-0053). La présente contribution s'inscrit dans le cadre du partenariat entre le PNR du Géoparc mondial UNESCO des Monts d'Ardèche et le laboratoire Biogéosciences (Université de Bourgogne) pour l'étude des traces fossiles permio-triasiques en Ardèche.

Liste bibliographique

- Becq-Giraudon, J.F. 1993. Le Permien de Largentière (Ardèche), données lithostratigraphiques de surface. BRGM Public Report, Orléans, GEO/GSM/NT/93/02.
- Courel L. et al. 1984. Trias, *in* Debrand-Passard S. (éd.), Synthèse géologique du Sud-Est de la France, Mémoire du Bureau de Recherches géologiques et minières **125**, 61-118.
- Courel L. & Demathieu G. 1976. Une ichnofaune reptilienne remarquable dans les Grès triasiques de Largentière Ardèche, France. *Palaeontographica* **151**, 194-216.
- Courel L. & Demathieu G. 2000. Une nouvelle ichnoespèce *Coelurosaurichnus grancieri* du Trias supérieur de l'Ardèche, France. *Geodiversitas* **22(1)**, 35-45.
- Dal Corso J. et al. 2020. Extinction and dawn of the modern world in the Carnian (Late Triassic). *Science advances* **6(38)**, eaba0099. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aba0099>
- Ezcurra M.D. 2016. The phylogenetic relationships of basal archosauromorphs, with an emphasis on the systematics of proterosuchian archosauriforms. *PeerJ* 4:e1778 <https://doi.org/10.7717/peerj.1778>
- Fara E. et al. 2021. Inventory and conservation of Triassic vertebrate tracks in the Monts d'Ardèche UNESCO Global Geopark, France. *GeoConservation Research* 4(2). Doi:10.30486/gcr.2021.1912278.1045
- Gand G. 1994. Les empreintes animales et végétales du bassin permien de Largentière Ardèche, France. Conséquences stratigraphiques et paléoenvironnementales. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle d'Autun* **146**, 7-42.

- Gand G. & Demathieu G. 2005. Les pistes dinosauroïdes du Trias moyen français: interprétation et réévaluation de la nomenclature. *Geobios* **38**, 725-749.
- Gand G. et al. 2005. Les traces dinosauroïdes du Trias supérieur français : discrimination, interprétation et comparaison. *Bulletin de la Société géologique de France* **176(1)**, 69-79. <https://doi.org/10.2113/176.1.69>
- Gand G., Demathieu G. & Montenat C. 2007. Les traces de pas d'Amphibiens, de Dinosaures et autres Reptiles du Mésozoïque français : Inventaire et interprétations. *Palaeovertebrata* **35(1-4)**, 1-149.
- Kerrien Y., et al. 1989. Carte géologique de la France (1/50000), feuille Aubenas (865). Orléans : BRGM.
- Laurin M. & Reisz R. 1995. A reevaluation of early amniote phylogeny. *Zoological Journal of the Linnean Society* **113**, 165-223.
- Montenat C. 1968. Empreintes de pas de reptiles dans le Trias moyen du plateau du Daüs près d'Aubenas (Ardèche). *Bulletin Scientifique de Bourgogne* **25**, 369-389.
- Nesbitt S.J. 2011. The early evolution of Archosauria: relationships and the origin of major clades. *Bulletin of the American Museum of Natural History* **352**, 1-292. doi:10.1206/352.1
- Szewczyk L. et al. 2020. Tracking dinosaurs in coarse-grained sediments from the Upper Triassic of Ardèche (southeastern France). *Palaios* **35(11)**, 447-460. <https://doi.org/10.2110/palo.2020.025>

Liste et Légendes des figures

Figure 1 : Contexte géologique et principaux sites à empreintes de vertébrés en Ardèche pour le Permien et le Trias. Les ichnoassemblages du Trias documentent le changement de dominance entre les pseudosuchiens et les dinosaures. Carte géologique simplifiée modifiée d'après Kerrien *et al.* (1989) et Szewczyk *et al.* (2020).

Figure 2 : Arbre de parenté simplifié des vertébrés amniotes montrant les groupes auteurs des traces permo-triasiques d'Ardèche. Les relations de parenté sont basées sur les travaux de Laurin & Reisz (1995), Nesbitt (2011), et Ezcurra (2016). Les silhouettes ne sont pas représentées à l'échelle.

Figure 3 : Traces de vertébrés permien de la Formation de la Lande, au nord-est de Largentière. L'encart montre une empreinte de pied droit nommée *Dimetropus leisnerianus* et laissée par un pélycosaure (« reptile mammalien »). Tracé d'empreinte d'après Gand (1994).

Figure 4 : Empreintes de pas de reptiles pseudosuchiens laissées dans la Formation des Grès du Roubreau (Trias moyen) : *Isochirotherium felenci* (A et B) et *Isochirotherium*

delicatum (C et D). Les modèles d'élévation en fausses couleurs (B et D) ont été obtenus après numérisation par photogrammétrie.

Figure 5 : Dalle à *Coelurosaurichnus grancieri* trouvée par Max Grancier dans l'Ensemble grésodolomitique gris (Trias supérieur) près de Payzac (A) et empreinte de type *Grallator* isp. dans la Formation Bariolée d'Ucel au géosite du Sartre (commune d'Ucel) illustrant la granulométrie grossière des roches sédimentaires (B).

Figure 6 : Le géosite ichnologie du Sartre (commune d'Ucel) juste avant son inauguration en octobre 2020. Il s'agit du premier site public entièrement aménagé en Europe présentant des traces de dinosaures du Trias supérieur.

FIGURE 1

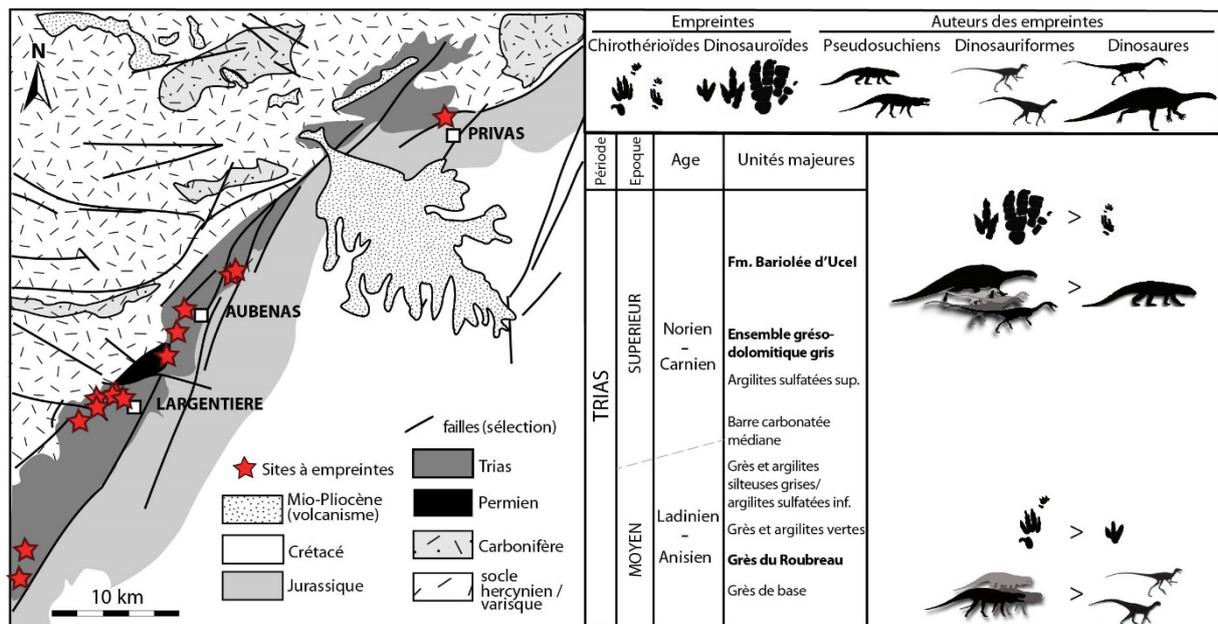


FIGURE 2

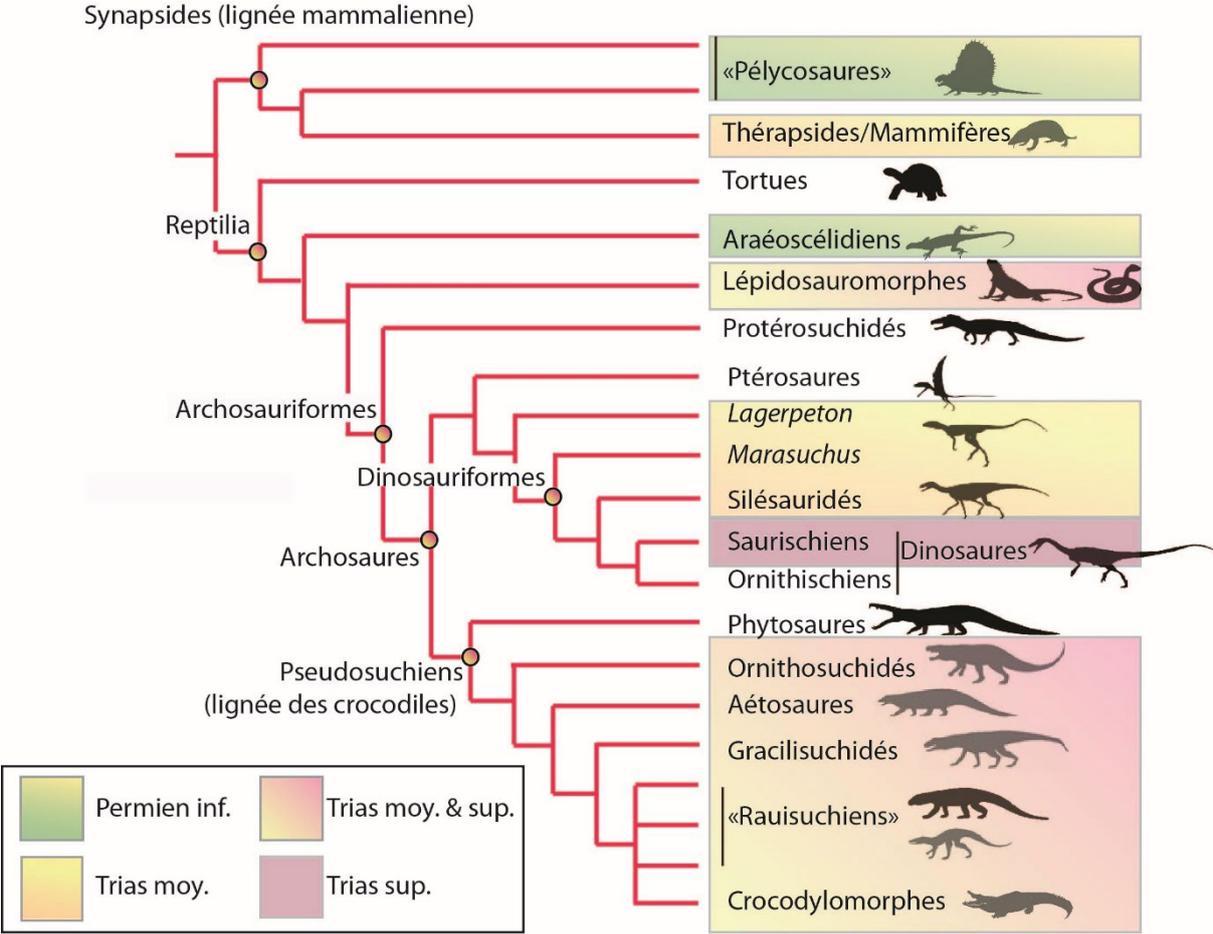


FIGURE 3

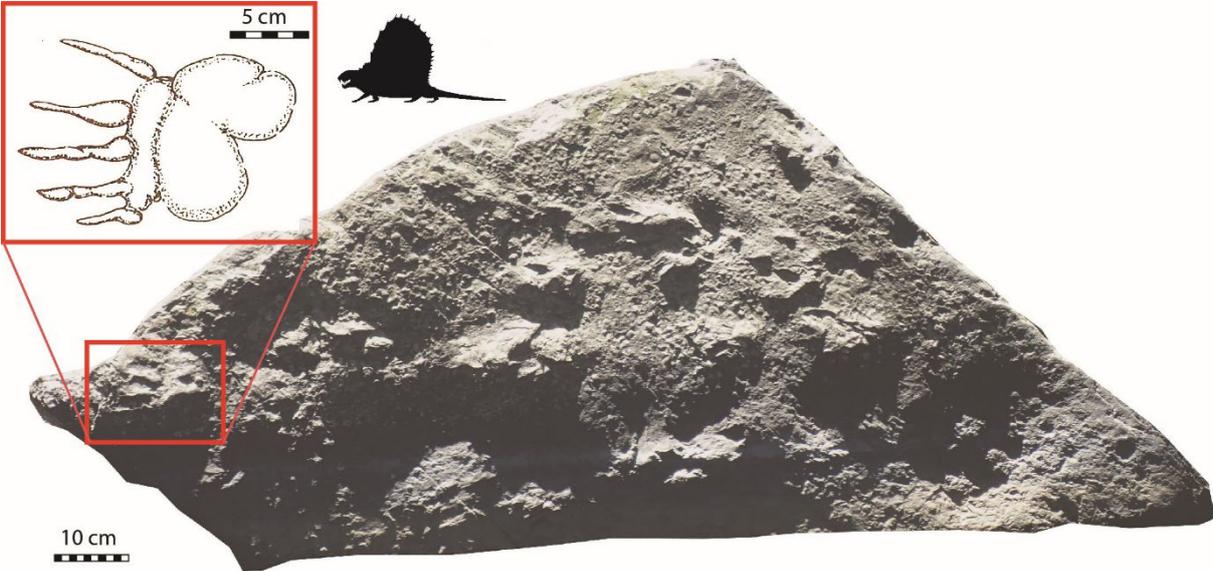


FIGURE 4

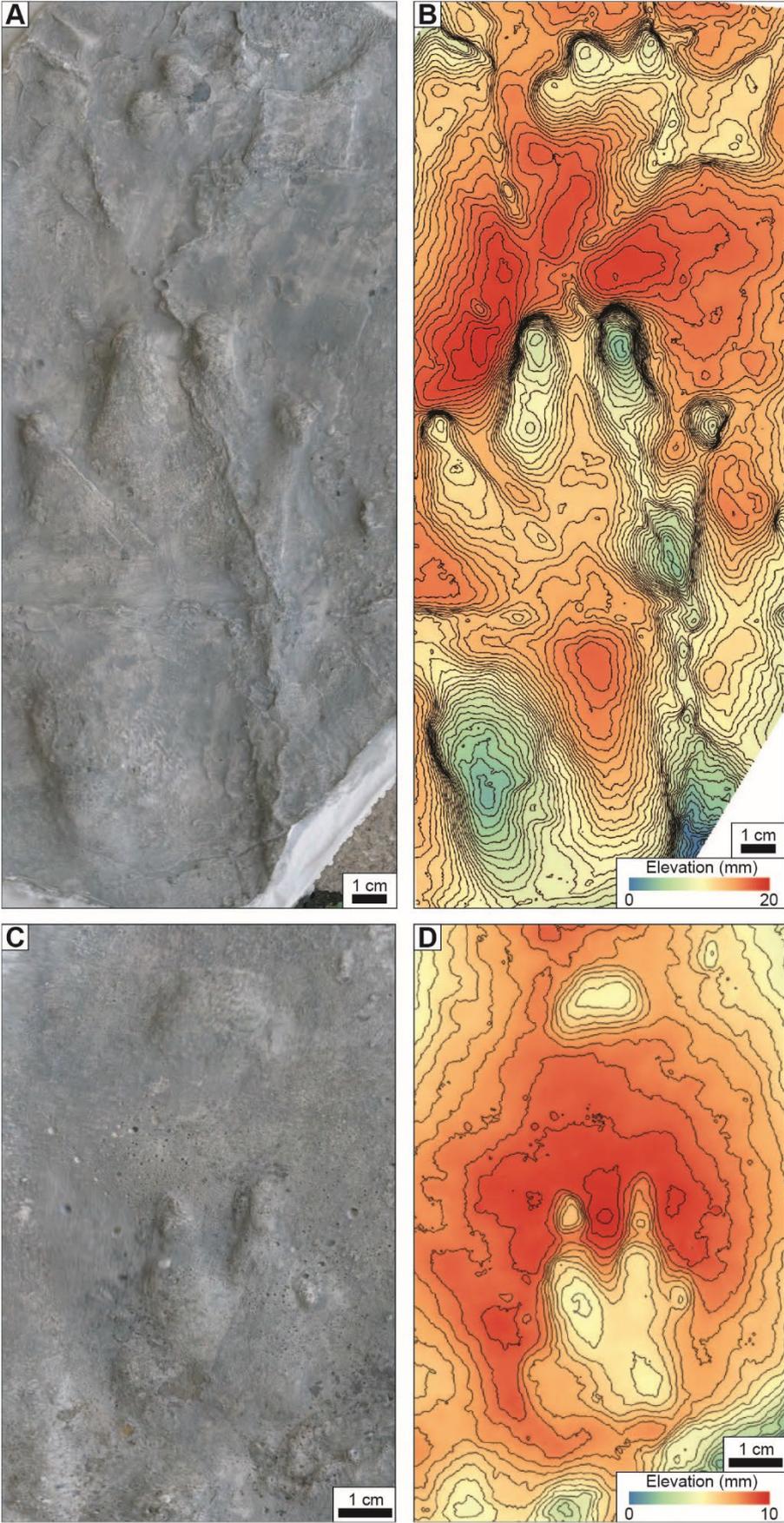


FIGURE 5

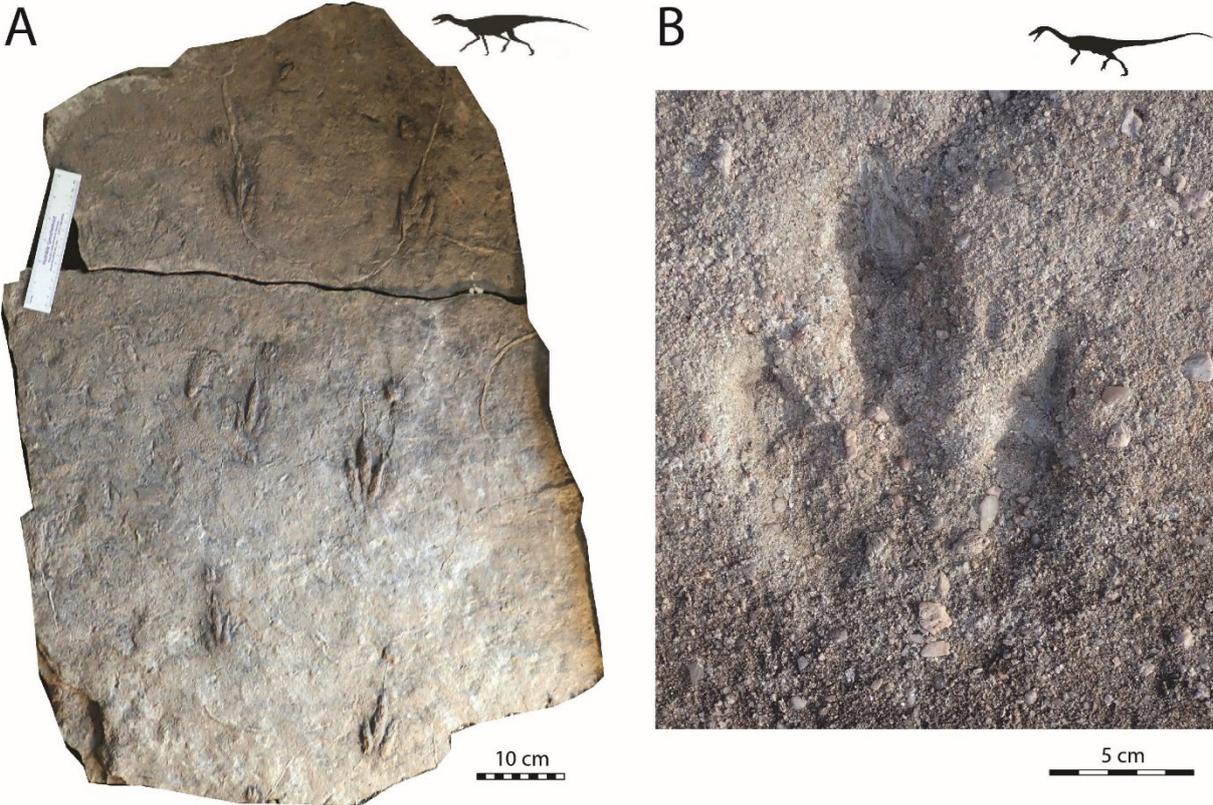


FIGURE 6

