



Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

THESE

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences de la Terre

Les empreintes de pas de dinosauriens de l'Atlas saharien (Rhétien à Cénomaniens): ichnosystématique et paléobiogéographie

Présentée et soutenue publiquement par :

MAMMERI Cheikh

Devant le jury composé de :

MAHBOUBI Mahammed	Professeur	Université d'Oran 2	Président
BESSEDIK Mostefa,	Professeur	Université d'Oran 2	Rapporteur
BELKEBIR Lahcene,	Professeur	Université d'Oran 2	Co-rapporteur
TAQUET Philippe,	Professeur	MNHN de Paris	Examineur
MEBROUK Fateh ,	Professeur	Université de Jijel	Examineur
LE LÉUEFF Jean,	Professeur	Musée des dinosaures d'Espéraza	Examineur

Dédicace :

C'est à la mémoire de mon père, à l'homme que j'ai le plus aimé et le plus respecté que je dédie ce travail ;

A ma chère et tendre mère.

REMERCIEMENTS

C'est sans doute la découverte des empreintes de dinosaures, près de chez moi et les retrouvailles avec mes enseignants qui m'ont donné l'impulsion de retrouver le plaisir et la satisfaction de réaliser ce travail de recherche. Au moment de son achèvement, il m'est un agréable devoir d'adresser mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont participé, de près ou de loin, à l'accomplissement de cette thèse et particulièrement à :

M. BESSEDIK Mostefa pour avoir pris en charge la direction de cette thèse. Aussi, je ne peux trouver les mots justes pour lui adresser tous les remerciements qu'il mérite, et lui dire combien sa rencontre a compté dans ma vie en tant qu'étudiant puis en tant que chercheur. Il a été le premier à guider mes pas sur le terrain. Je me souviens, comme si c'était aujourd'hui à Sahaouria, grâce à sa pédagogie impeccable, sa patience, son goût dans ce qu'il faisait, j'ai pu aimer à ses côtés la géologie et ne cesse d'apprendre davantage. Il m'avait inculqué la manière d'aborder un thème donné, la façon de collecter l'information nécessaire tout en insistant sur l'honnêteté de le faire. J'ai appris à ses côtés l'art de synthétiser et d'exploiter les données afin d'aboutir au résultat limpide escompté. Sa méthodologie m'a ainsi beaucoup marqué. Sa rencontre est, sans doute, un grand gain dans ma vie.

M. BELKEBIR Lahcene, tout d'abord, pour avoir accepté de co-diriger le présent travail. Sa rigueur dans le travail est un exemple à suivre. J'ai pu admirer en sa présence l'importance d'écrire peu pour dire beaucoup. Avec lui, les mots ont tous les sens qu'on veut bien leur donner sans toutefois en abuser. Sa justesse et sa rigueur dans le travail valent la justesse des phrases et la délicatesse de leurs sens.

M. MAHBOUBI Mahammed a été le meilleur appui qu'on puisse espérer rencontrer et avoir. Sa grande expérience de la géologie du domaine continental, son aide et ses nombreux conseils m'ont été d'un grand concours. C'est l'expérience de toute une vie, la sienne, que j'ai eu la chance et le plaisir d'en profiter. Sa détermination à résoudre les problèmes sur terrain, m'a beaucoup illuminé. Sa patience et ce pouvoir de supporter bien des obstacles de tout genre sont un exemple à suivre. C'est un privilège et un grand honneur de le voir présider ce jury ;

La rencontre de M. TAQUET Philippe à Laghouat en 2007 a été pour moi un grand tournant des plus extraordinaires qu'il soit. En effet, c'est en cette année là que je lui ai montré les premières empreintes d'El Bayadh ; il n'a cessé, depuis, de me conseiller et de me pousser vers cet amour de la recherche. Il m'a été d'un grand apport, par ses nombreux courriers en répondant à mes requêtes sur l'anatomie des dinosaures. Son avis sur mon mémoire de magister, ses félicitations, ses recommandations pour publier les résultats, m'ont donné une grande énergie à continuer. En acceptant de participer à ce jury, c'est un honneur pour moi.

M. LE LÆUFF Jean (Directeur du musée d'Esperaza) m'a apporté soutien et encouragement. Il a bien voulu répondre à mes nombreuses sollicitations et m'a doté d'une riche documentation. Quelques années plus tôt, Il a eu l'amabilité de lire mon mémoire de magister et m'a prodigué conseils. Ces félicitations fussent pour moi un élan extraordinaire. Le Dinoblog qu'on lui doit m'emmène loin dans mes pensées et me procure un réel plaisir à connaître les dinosaures comme il les aime. C'est un honneur de le voir juger ce travail.

M. Mabrouk Fateh, a accepté de juger le présent travail, qu'il trouve ici l'expression de mon respect et ma gratitude. Je me souviens, alors qu'il effectuait un prélèvement au niveau du site 1, de cette extraordinaire discussion que j'ai eu avec lui. Elle a porté sur les milieux de dépôts côtiers et lacustres pour s'étendre à l'intérêt du patrimoine géologique national et du rôle de chacun dans l'enrichissement et la protection des collections. Je partage et j'admire sa vision sur le sujet. Merci encore une fois.

M. Aït OUALI Rachid, que j'ai eu le plaisir de rencontrer à plusieurs reprises, a toujours été à l'écoute et a bien voulu répondre à mes nombreuses énigmes relatives à la paléogéographie de l'Atlas saharien. Sa modestie, sa gentillesse, sa grande connaissance de l'Atlas saharien, sa vision et ses interprétations des phénomènes naturels ont depuis longtemps été une source d'inspiration pour

moi. Il a bien accepté de m'honorer en jugeant ce travail, qu'il trouve ici l'expression de ma gratitude.

Les diverses rencontres que j'ai pu faire, en élaborant cette recherche m'ont été bénéfiques. Celle de L. HAUTIER, en 2008, fut l'une des plus importantes. C'est lui qui m'a initié aux mesures sur les empreintes des formes brontopoides mis en évidence dans le premier site, situé près d'El

Bayadh. Je tiens à le remercier de son aide mais aussi pour m'avoir mis en contact avec M. LE LÉUFF Jean.

Je dois remercier M. DEMATHIEU George et lui exprimer ici toute ma gratitude pour son concours précieux : ses lettres, écrites à la main, ses conseils et ses encouragements me laissent sans voix, sans mots.

M. FABRE Jean a trouvé le temps de lire mon mémoire de magister et a profité pour m'encourager et me prodiguer conseils. Qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

A El Kohol, j'ai pu travailler avec COSTER P., CHIKHI-AOUMEUR F., MAHBOUBI A. et S. et DANOUNI A. Ils m'ont continuellement encouragé et fourni de précieuses documentations.

C'est tout un honneur pour moi de remercier deux personnalités exceptionnelles qui ont donné toute l'importance qu'ils méritent aux sites à empreintes de pas de dinosaures d'El Bayadh : MM. BOUKARABILA Djelloul (Wali d'El Bayadh en 2004) et BIKARA Bachir (ancien Président de l'APW). Le premier pour nous avoir facilité la tâche en nous apportant toute l'aide matériel et administrative nécessaire lors des premières opérations de fouille ; le second était le premier à photographier et me signaler les premières empreintes de pas de dinosaures d'El Bayadh. C'est, également, à ces deux Messieurs que revient le mérite de la protection et la préservation de ces sites.

J'adresse mes vifs remerciements à Monsieur BOUZIANIMERAHI, Directeur du Centre Universitaire Nour El Bachir d'El Bayadh, pour ses encouragements et sa gentillesse.

Que dire de toutes ces personnes qui n'ont cessé de m'informer, de se déplacer avec moi pour me montrer de nouveaux sites. Je les remercie tous et leur exprime toute ma reconnaissance : MM. BOULARBAG O., BENZIADI M., BELASKRI A.; MAHBOUBI Ch., Abdel Kader, KHALDI Y., BOUROGAA M, mon frère Abdelhakem, ma mère, KHEDIM A., THAMER R, YOUSFI M., TAJ EDDINE H., KHADOUME O. et KHALDI L. (Président de l'Association Ghazel pour la protection du Patrimoine et la Culture), MAHBOUBI M., AMEUR M., ROUISSATE M., ABSI M., DJELLOULI M. et ARABI A. (Directeur des ressources en Eau à El Bayadh).

Au Laboratoire de Paléontologie Stratigraphique et Paléoenvironnements (Université d'Oran 2) dont je suis membre, tous les moyens disponibles ont été mis à ma disposition pour mener convenablement ma recherche. J'ai eu ici le privilège et le plaisir de côtoyer des collègues chercheurs dont les encouragements et les discussions scientifiques ont été toujours une source de motivation. Que son Directeur et son personnel trouvent ici, l'expression de ma gratitude.

Je ne remercierai jamais assez les membres de ma famille. Ma mère, mes frères, Abdelhakem, qui est plus qu'un frère, Chibani mon médecin, Mustapha dont l'aide morale et matérielle a été un facteur déterminant quand à la réalisation de ce travail. Mes sœurs, par leur amour. Ma femme qui m'a apporté réconfort et encouragement et qui m'a libéré de bien de mes obligations. Ce travail est sans doute le sien aussi. Le petit Younes qui aime poser les questions à papa sur les dinosaures, m'a apporté un repos moral. Je remercie Monsieur BOUAMRA Mohamed, mon maître d'école. C'est lui qui m'a appris les premières lettres et les premiers chiffres. Merci à tous ceux qui m'ont enseigné.

ملخص: تم جرد واحد وعشرون موقعاً لآثار بصمات أرجل ديناصورات بالأطلس الصحراوي، الممتد من جبال قصورغربا إلى جبال أولاد نايل شرقاً. ويتراوح عمر الطبقات المحتوية لهذه الآثار من العصر الرهيسي-إيتانجي إلى العصر السينوماني. تم تحليل و دراسة 862 أثارا لبصمات أرجل، مما سمح بالتعرف على ثمانية أشكال تابعة لأجناس مختلفة.

في مجموعة آثار بصمات الأرجل الثلاثية والرابعة الأصابع والتي تعود إلى ديناصورات لاحمة "تيروبود"، تم التعرف على جنس *أوتينيكنيوم* (نوبسكا، 1932)، ممثلاً ببصمات أرجل رباعية الأصابع كبيرة الحجم. كما قربت بصمات الأرجل الثلاثية الأصابع ذات الحجم الكبير (الجوراسي العلوى) من تلك العائدة إلى *ميغالوزوروبيس* (لسانتيسار، 1955)، أما تلك التي يعود عمرها إلى الحقب الطباشيري فنسبت إلى *ميغالوزوروبوس* (كولبار وميريليس، 1967).

أظهرت آثار بصمات الأرجل المتوسطة الحجم خصائص تقربها من "ثيرونقوسبوديس (لوكلي و آخرون، 1998). أما آثار بصمات الأرجل الصغيرة الحجم فقربت من *كولومبوزوروبيس* (ستانبارغ، 1932) و *قرلاتور* (إيتشكوك، 1948).

فيما يخص آثار البصمات الرباعية الأرجل، فقد تم التعرف على شكلين مختلفين كلية، متمثلين في بصمات زوجية، (رجل-يد)، تعود إلى ديناصورات عاشبة. صنف الشكل الأول على أنه *برونتوبوديس* والثاني *بارابرونطوبوديس*.

بشكل عام، تظهر آثار بصمات أرجل الديناصورات على سطوح إنقطاعات ترسيبية (عدم توافق) تحد متواليات فيضانات في بداية مراحل اكتساح بحري أو في مراحل استقرار. تواجدت هذه الآثار في بيئات شاطئية، في أماكن فاصلة بين النطاق البحري والقاري، تحت ظروف مناخية حارة. تلك مصبات الأنهار حيث تبدو المناطق اليابسة بعد تراجع البحر وتختفي عندما تغمرها المياه، أو مناطق داخلية للمصبات، المعرضة للفيضانات النهرية.

يرجح أن تكون هذه الظروف قد سادت في مراحل مختلفة من تاريخ حوض الأطلس الصحراوي، من بداية انفتاحه في العهد الترياسي إلى غاية السينوماني .

Abstract: Twenty-one (21) sites of dinosaur's footprints have been inventoried through the Saharan Atlas, from the Ksour Mountains in the West to the Ouled Nail Mountains in the East.

These sites appear, most often, in sandstone facies with an age ranging from the Rhetian-Hettangian to the Cenomanian. Generally, 862 footprints were subjected to a detailed morphological analysis allowing the recognition of eight (8) ichnogenra systematically different.

In the footprints of tri- and tetradactyl dinosauroid forms, whose authors are carnivorous theropod dinosaurs, the *Eutynichnium* ichnogenus Nopsca, 1932, represented by large tetradactyl footprints, is recognized. Large tridactyl footprints of the Upper Jurassic age are compared to those of *Megalosauripus* Lessertisseur, 1957, while those of the Cretaceous are attributed to the *Megalosauropus* Colbert and Merelees, 1967. Medium-sized footprints have affinities with those of the ichnogenus *Therangospodus* (Lockley *et al.*, 1998) while the small footprints are similar to those of *Columbosauripus* (Stenberg, 1932) and *Grallator* (Hitchcok, 1848).

The brontopoid forms present two distinct morphologies with hand-footprints, due to quadruped herbivorous dinosaurs; the first is attributed to the ichnogenus *Brontopodus* and the second to *Parabrontopodus*.

These dinosaurs' ichnites appear on sedimentary discontinuities that limit flood sequences, at the beginning of transgression or in a stabilization phase. So the footprints are found in coastal environments at the boundary of the marine and continental domains, under hot climate.

This is the case for estuaries, exuded plains and then covered by a marine advance or the supra-delta domains, which are domains river flooding.

Such conditions seem to have prevailed at different periods in the Atlasic sulcus, from the beginning of its opening in the Upper Triassic to the Cenomanian.

Key words: *Saharan Atlas, Dinosaurs, footprints, ichnogenera.*

Résumé : Vingt-et-un (21) sites à empreintes de pas de dinosaures ont été recensés dans l'Atlas saharien (Monts des Ksours et Monts des Ouled Nail). Ces sites apparaissent, le plus souvent, dans des faciès gréseux et dont l'âge s'étend du Rhétien-Hettangien jusqu'au Cénomaniens.

Dans l'ensemble, 862 empreintes ont été soumises à une analyse morphologique et quantitative détaillée ayant permis de différencier huit (08) ichnogenres.

Parmi les empreintes de formes dinosauroïdes (tri- et tétradactyles) dont les auteurs seraient des théropodes carnivores, se distingue l'ichnogenre *Eutynichnium* (Nopsca, 1932). Ce dernier est représenté par des empreintes tétradactyles de grande taille. Les empreintes tridactyles de grande taille, d'âge jurassique supérieur, sont rapprochées de celles de *Megalosauripus* (Lessertisseur, 1957) alors que celles du Crétacé sont attribuables à *Megalosauropus* (Colbert et Merelees, 1967). Les empreintes de taille moyenne ont des affinités avec *Therangospodus* (Lockley and *al.*, 1998) tandis que les formes de petite taille sont plus proches de *Columbosauripus* (Stenberg, 1932) et *Grallator* (Hitchcock, 1848).

Les formes brontopoïdes montrent deux morphologies bien distinctes avec des empreintes en couple main-pied, dues à des dinosaures herbivores quadrupèdes. La première est attribuée à l'ichnogenre *Brontopodus* et la deuxième à *Parabrontopodus*.

Sur le plan paléogéographique, ces ichnites de dinosaures apparaissent toujours sur des discontinuités sédimentaires limitant des séquences d'inondation, en début de transgression ou en phase de stabilisation. Elles se trouvent ainsi dans des environnements côtiers à la limite du domaine marin et continental, sous climat chaud. Tel des estuaires, des plaines exondées recouvertes ultérieurement suite à une avancée marine ou des domaines supra-deltaïques, sièges d'inondations fluviales. Pareilles conditions semblent avoir régné à différentes périodes dans le sillon atlasique, depuis le début de son ouverture au Trias supérieur jusqu'au Cénomaniens.

Mots clés : *Atlas saharien, Dinosaures, Empreintes, Ichnogenres.*

Dédicaces
Remerciements

ملخص

Abstract

Résumé

Table des matières

Premier chapitre : Généralités

I. Introduction.....	01
II. Généralités sur les dinosaures.....	01
II. A. Etymologie.....	01
II. B. Origine et définition.....	02
II. B. 1. Classification des dinosaures.....	05
II. B. 1. 1. Les Saurischiens.....	05
II. B. 1. 2. Les théropodes.....	05
II. B. 1. 3. Les sauropodomorphes.....	05
II. B. 1. 4. Les Ornithischiens.....	06
II. B. 2. Conquête du milieu aérien.....	06
II. B. 2. 1. Les Ptérosaures.....	06
II. B. 2. 2. Dinosaures-oiseaux.....	07
II. B. 2. 3. Les oiseaux.....	07
II. C. Dinosaures d'Algérie et de l'Afrique.....	08
III. Rappel sur la paléoichnologie.....	10
III. A. Définition.....	10
III. B. L'empreinte de pas de dinosaures.....	10
III. B. 1. Définition.....	10
III. B.2. qualité de préservation.....	10
III. B.3. Structures associées.....	11
III. B. 3. 1. Structures directes.....	11
III. B. 3. 2. Structures indirectes.....	12
III. B. 3. 3. Qualité de l'empreinte.....	12
III. C. Principales phases de la formation des empreintes.....	13
III. D. Catégories d'empreintes.....	15
III. E. Anatomie ostéologique comparative des mains et pieds des dinosaures et leurs empreintes.....	16
III. E. 1. Empreintes des théropodes.....	16
III. E. 2. Empreintes d'Ornithopodes.....	18
III. E. 3. Traces quadrupèdes (sauropodes).....	18
III. E. 4. Empreintes des Pterosaures.....	19
III. E. 5. Empreintes des oiseaux.....	20
III. E. 4. Empreintes d'autres Ornithischiens.....	20
III. F. des empreintes de pas de dinosaures en Algérie.....	22
IV. Cadre géologique.....	24
IV. A. Cadre géologique général de l'Atlas saharien.....	24
IV. B. Découpage lithostratigraphique des formations atlasiques.....	26
IV. B. 1. Dans les Monts des Ksours.....	26

IV. B. 2. Dans les Djebel Amour.....	26
IV. B. 3. Dans les Monts des Ouled Naïl.....	26
Deuxième chapitre :	
Inventaire, description des niveaux à empreintes et méthodes d'étude	
I. Localisation géographique.....	29
I.A. Nomenclature des sites.....	29
I. B. localisation géographique.....	30
I.C. Hauts Plateaux.....	31
I.D. Dans l'Atlas saharien.....	31
I.D.1. Djebel Amour.....	31
I. D. 1. 1. Les sites de la région d'El Bayadh.....	31
I. D. 1. 2. Les sites de la région d'Ouafeg.....	31
I. D. 1. 3. Les sites de Brézina.....	32
I. D. 1. 4. Le site de la région de Sfisifa.....	33
I. D. 1. 5. Le site de la région de Saguia.....	33
I.D.2. Dans les Monts des Ouled Naïl.....	34
II. lithologie des niveaux à ichnites.....	34
a. site de Tousmouline (Site 16).....	34
b. site d'El Bayadh-El Kheneg 3 (Site 08).....	34
c. site d'Ouafeg-Edaoura El Hamra (Site 09).....	35
d. site d'Ouafeg-Ethénia El Hamra (Site10).....	35
e. site d'Essaguia-Garet El Hefte (Site 21).....	35
f. site de Brezina-Garet Echiheb (Site 11).....	35
g. site de Brezina-Mouilah El Fougani (Site 12).....	37
h. Le site de Brezina-Hamiet Boulafea (Site 13).....	37
i. site de Brezina-Daïet Sid El Arbi (Site 14).....	37
j. site de Sfisifa-Harcha (Site 15).....	37
III. méthodes d'étude.....	39
III. A. Sur le terrain.....	39
III. B. Au laboratoire.....	39
III. C. Méthodes de mesures.....	40
III. C.1. Cas d'Empreinte individuelle.....	40
III. C. 1. 1. Méthode de Lull.....	40
III. C. 1. 2. Méthode de Farlow et Lockley.....	40
III. C. 2. Au niveau des pistes.....	40
III. C. 2. 1. Le pas oblique.....	41
III. C. 2. 2. L'enjambée.....	41
III. C. 2. 3. L'angle du pas.....	42
III. C. 2. 4. La largeur de la piste.....	42
III. C. 2. 5. L'angle du pas avec la piste.....	42
III. C. 2. 6. La longueur totale de la piste.....	43
III. C. 2. 7. L'angle de pas de déviation.....	43
III. D. Autres Méthodes de mesures.....	43
III. D. 1. Paramètres de Weems.....	43
III. D. 2. Variation des mesures selon la situation du point de référence (piste bipède).....	44
III. D. 3. Les mesures effectuées sur les pistes quadrupèdes.....	45

III. D. 4. Variations des paramètres mesurés suivant le mouvement.....	45
III. E. Paramètres estimables à partir des empreintes.....	46
III. E. 1. Reconstitutions de la hauteur de la hanche.....	47
III. E. 2. La vitesse de locomotion.....	47
III. E. 3. Autres paramètres mesurés sur les pistes quadrupèdes	49
III. E. 3. 1. Calcul de la distance gléno-acétabulaire et types de marches.....	49
III. E. 3. 2. les comportements des bipèdes.....	50
III. F. Classification ichnologique des empreintes.....	51
Troisième chapitre :	
Les ensembles Ichnologiques	
I. Introduction.....	53
II. Description des nouveaux sites à empreintes à empreintes de dinosaures	53
III. Morphologie.....	57
III. A. Formes dinosauroïdes.....	57
III.A. 1. <i>Ensemble A</i>	57
III.A. 1. <i>Ensemble B</i>	59
III. A. 3. <i>Ensemble C</i>	61
III. A. 4. <i>Ensemble D</i>	62
III. B. Formes brontopoïdes.....	63
III. B. 1. <i>Ensemble E</i>	64
III. B. 2. <i>Ensemble F</i>	65
III. B. 3. <i>Ensemble G</i>	65
III. B. 4. <i>Ensemble H</i>	65
III. B. 1. <i>Ensemble I</i>	65
IV. Paramètres statistiques et comparaison.....	67
IV. A. Taille des empreintes (L x l).....	67
IV. A.1. Comparaison régionale de la taille des <i>Ensembles A, B, C et D</i>	67
IV. A. 2. Comparaison régionale de la taille des empreintes.....	68
IV. A. 3. Comparaison de la taille des empreintes des <i>Ensembles A, B, C et D</i> avec celles des ichnogenres des Grands Causses français.....	70
IV. A. 4. Comparaison de la taille des empreintes des <i>Ensembles A, B, C et D</i> avec celles des ichnogenres connus à l'échelle mondiale.....	72
IV. A. 4. 1. <i>Ensemble A</i>	72
IV. A. 4. 2. <i>Ensemble B</i>	76
IV. A. 4. 3. <i>Ensemble C</i>	76
IV. A. 4. 4. <i>Ensemble D</i>	77
IV. A. 4. 5. Conclusion.....	77
IV. A. 5. Comparaison des empreintes des <i>Ensembles 1, 2, et 3</i> avec celles de grande taille de quelques ichnogenres connus mondialement.....	78
IV. A. 5. 1. <i>Ensemble 1</i>	78
a- Empreintes des pistes : a à g (Site 1), a , b et d (Site 4) et celles des Sites 2 et 3 ...	78
IV. A. 5. 2. <i>Ensemble 2</i>	80
b- Les empreintes des pistes : h et i (Site 1) et c (Site 4).....	80
IV. A. 5. 3. <i>Ensemble 3</i>	81
- Les empreintes des pistes : a , b , c , d , e , h , i , j , k , l et o (Site 2)	81

IV. A. 5. 4. Conclusion.....	82
IV. B. Angle de divarication (T).....	82
IV. B. 1. Paramètre de l'angle de divarication (T) des <i>Ensembles A, B, C</i> et <i>D</i> .. et leur comparaison avec les <i>Ensembles 1, 2</i> et <i>3</i>	83
IV. B. 2. Comparaison du paramètre T des <i>Ensembles A, B, C</i> et <i>D</i> avec celui des ichnogenres des Grands Causses français.....	88
IV. B. 3. Comparaison du paramètre T des <i>Ensembles (A, B, C, D, 1, 2</i> et <i>3)</i> avec celui des Ichnogenres connus mondialement.....	90
IV. C. Paramètre D.....	95
IV. C. 1. Comparaison du paramètre D en relation avec la longueur (L, D) des empreintes des <i>Ensembles A, B, C, D, 1, 2</i> et <i>3</i>	95
IV. C. 2. Comparaison du paramètre D en relation avec la longueur des empreintes des <i>Ensembles A, B, C, D, 1, 2, 3</i> et celles des ichnogenres des Grands Causses français ..	97
IV. C. 3. Paramètre D des empreintes des <i>Ensembles A, B, C, D</i> et des ichnogenres des Grands Causses français.....	98
IV. D. paramètres L/l et L/l des ensembles atlasiques en comparaison avec ceux des ichnogenres des Grands Causses français et ceux connus mondialement.....	100
V. Conclusions.....	102
IV. 1. Empreintes des formes dinosauroïdes.....	102
VI. 2. Empreintes des formes brontopoïdes.....	105
V. Âges et attributions (Tabl. 28 ; fig. 29).....	106
Quatrième chapitre :	
Conséquences paléoenvironnementales et paléogéographie	
A. Les environnements des sites à empreintes.....	109
B. Les milieux de fossilisation d'empreintes.....	109
C. Position des niveaux à empreintes par rapport à l'évolution séquentielle des formations atlasiques.....	109
D. Paléogéographie.....	114
E. Conclusion générale.....	118
Bibliographie.....	120
Liste des tableaux.....	132
Liste des figures.....	133
Liste des planches	
Planches	
Publications	

I. Introduction

Bien avant qu'elle ne soit prouvée par les premières données ostéologiques (Buffetaut *in* : *Pour la science*, 2005), l'existence des dinosaures en Algérie l'a été par la découverte d'empreintes de dinosauriens à Amoura (Peron et Le Mesle, 1880). Depuis, il a fallu attendre l'année 1971 pour que des contre-empreintes soient signalées, près de Tiout, dans les Monts des Ksours (Bassoullet, 1971).

Ce n'est qu'à partir de 2004 que des sites à empreintes de pas de dinosaures ont été découverts, pour la première fois, dans la région d'El Bayadh (Mahboubi *et al.*, 2004 ; 2007 ; Bensalah *et al.*, 2005 ; Regagba *et al.*, 2007, Bessedik *et al.*, 2008) dont les principaux résultats ont été couronnés par un mémoire de magister (Mammeri, 2008).

C'est dans ce contexte, et en continuité de ce qu'a été fait précédemment, que s'inscrit le présent travail. Ainsi, tous les sites à empreintes de pas de dinosauriens recensés (nouveaux et anciens), dans l'Atlas saharien et les Hautes Plaines, sont analysés qualitativement (description morphologique) et quantitativement (statistique descriptive). De cette analyse, découlera l'étude des ichnopathologies présentes et leur attribution ichnologique. De même, tous les niveaux lithologiques renfermant ces ichnites sont soigneusement étudiés et leur âge est rappelé, faute de nouvelle précision. La position des sites dans la série générale, par rapport aux limites des séquences individualisées, sera également examinée afin de souligner l'importance des surfaces à empreintes en tant que discontinuité. Aussi, les conditions paléogéographiques, qui y régnaient, seront abordées ainsi que les milieux de dépôts, pouvant permettre la fossilisation de ces empreintes.

Afin d'éviter une redondance de la localisation géographique et la description lithologique des niveaux des sites à ichnites, déjà connus et répertoriés dans les précédents travaux (Mammeri, 2008 ; Mammeri *et al.*, 2011a et b), seuls ceux, nouvellement, découverts seront abordés dans cette partie.

II. Généralités sur les dinosaures

Afin de tenter de faire le lien entre les empreintes de pas de dinosauroïdes et leurs auteurs, un rappel sur ce groupe paraît nécessaire.

II. A. Etymologie

Le Taxon *Dinosauria* fut introduit la première fois par Owen (1842), pour désigner un sous ordre de Reptiles. Le terme dérive du grecque *deinos* signifiant « effroyablement grand » et

sauros « reptile ». La première racine a été mal traduite par le mot « effrayant », bien qu'Owen ait fait la nette allusion à la taille gigantesque que devait avoir ces vertébrés.

II. B. Origine et définition

Leur origine remonte à la crise Permien-Trias (fig. 01), ayant permis aux groupes d'animaux et de végétaux de connaître par radiations évolutives, une diversification durant le Mésozoïque.

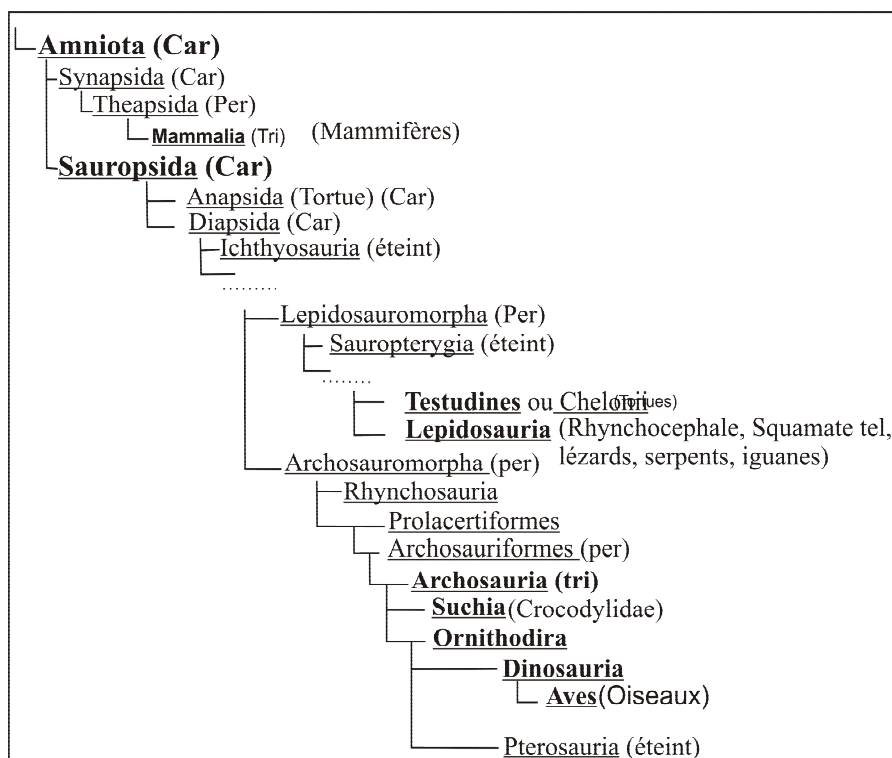


Fig. 01 : Arbre phylogénétique des Amniotes (Jalil et Janvier, 2005 ; Müller et Reisz, 2006 ; Ezcurra, 2006 ; Bickelmann *et al.*, 2009 ; Tyler *et al.*, 2011).

(Tri) : Trias ; (Per) : Permien ; (Car) : Carbonifère.

(Le cladogramme présenté n'est pas consensuel. Tout nœud de l'arbre portant plus de deux branches montre une indétermination de la phylogénie interne du groupe considéré).

Généralement, il y'a consensus sur la division des amniotes en deux groupes monophylétiques : Synapsida et Sauropsida. C'est à ces derniers que remonte l'origine des ancêtres des dinosaures.

Dans les amniotes (Amniota), les dinosaures font partie des archosaures. Ces derniers, faisant partie du clade Ornithodira (fig. 01), regroupent les crocodiliens, les oiseaux, les ptérosaures et les dinosaures (Cope, 1870). Ils sont inclus dans les *Diapsida* et appartiennent aux Sauropsida (fig. 02). Les dinosaures forment un clade diversifié représenté actuellement par les oiseaux. Ces archosaures ovipares ont, en commun, un certain nombre de caractères tel leur

posture, ainsi que certaines synapomorphies comme la présence d'une crête deltopectorale allongée au niveau de l'humérus et un acetabulum perforant le bassin.

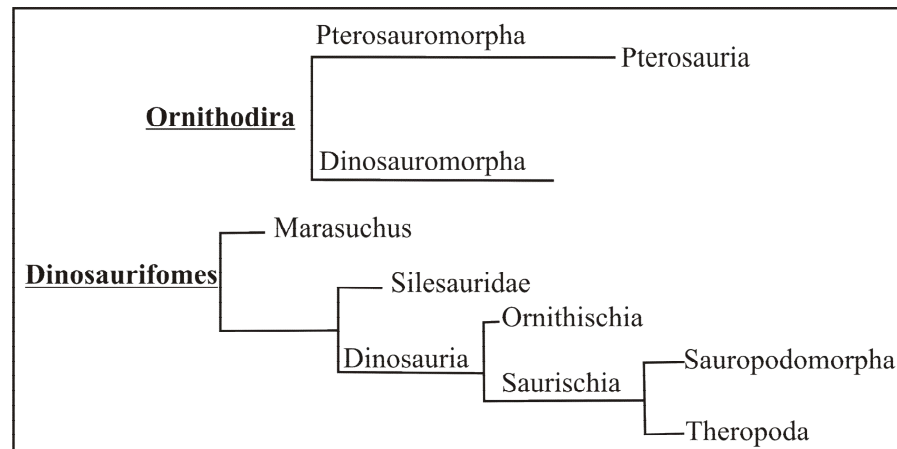


Fig. 02: Cladogramme des dinosauriformes (Ezcurra, 2006).

Les dinosaures sont des vertébrés ayant deux fosses préorbitaires (diapsides). Présents sur l'ensemble des continents dès le Carnien (fin du Trias), ils comprennent des formes très diverses ayant développées toute une série d'innovations squelettiques et tégumentaires.

Pour les différencier de leurs proches, les dinosauiromorphes (fig. 03), les dinosaures ont été définis comme étant les membres du clade le moins inclusif comprenant *Triceratops horridus* March, 1889 (*in* : Sereno, 2005) et *Passer domesticus* Linnaeus, 1758 (*in* : Sereno, 2005) (moineau domestique).

Un animal est un dinosaure s'il se positionne dans un cladogramme (fig. 04) qui comprend à la fois le *Triceratops*, le moineau et l'ensemble des descendants de leur ancêtre commun.

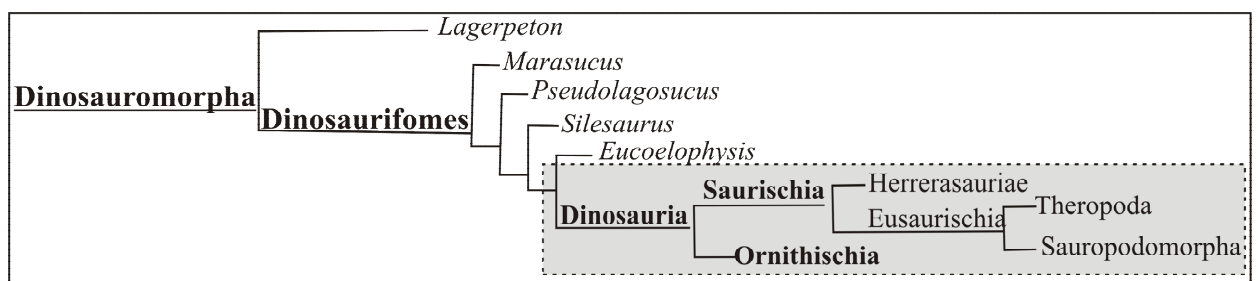


Fig. 03 : Cladogrammes simplifiés des Ornithodira et des Dinosauriformes (Nesbitt, 2010 ; Kammerer *et al.*, 2011).

Toute espèce descendant de cet ancêtre commun est un dinosaure (Novas, 1992 ; Padian et May, 1993 ; Sereno, 2005 ; Brusatte *et al.*, 2010).

Olshevsky (2000) définit un dinosaure comme étant le plus récent ancêtre commun de *Megalosaurus* Buckland, 1824 et *Iguanodon* Mantell, 1825 et l'ensemble de ses descendants.

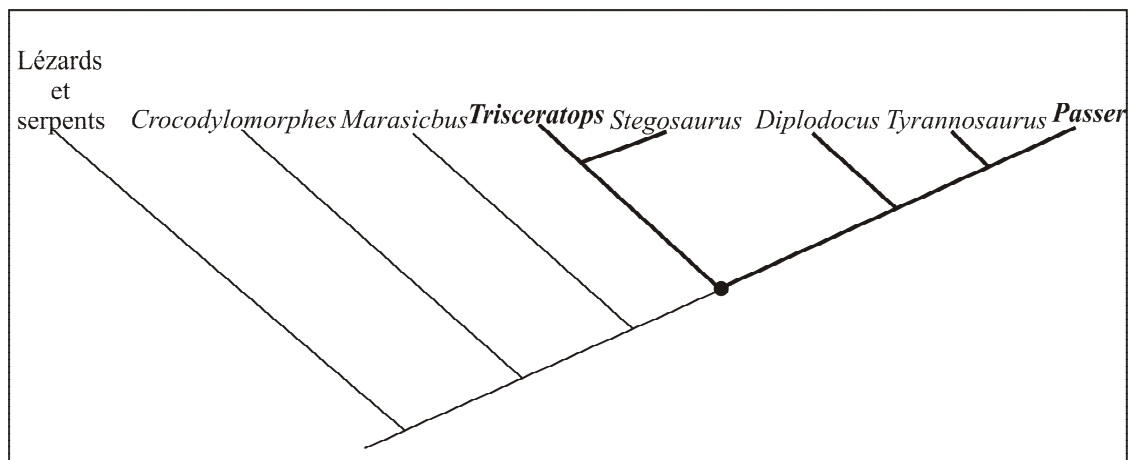


Fig. 04 : Schéma représentatif de la définition phylogénétique du clade des dinosaures (Hendickx, 2013).

Les dinosaures comptent, parmi eux, les plus grandes créatures qu'a connu la terre. Ils atteignent des tailles gigantesques à témoigner par leurs squelettes qui, par rapport à d'autres reptiles de leur époque, sont caractérisés par une posture "érigée en contrefort" (fig. 05). Celle semi-érigée des crocodiles, exige par rapport aux dinosaures une énergie supplémentaire pour pouvoir se soulever du sol (Lambert, 1988). Dans la posture semi-érigée, le premier os du membre est parallèle au sol (membre transversal), alors qu'il est perpendiculaire au sol dans le cas de la posture érigée en contre fort (membre parasagittal) comme chez les dinosaures. Cette posture dressée et des membres pourvus de muscles puissants permettent de caractériser l'ensemble des dinosaures qui furent de taille et de morphologie diverses. En effet, les dinosaures comprennent des animaux bipèdes et quadrupèdes, carnivores et herbivores.

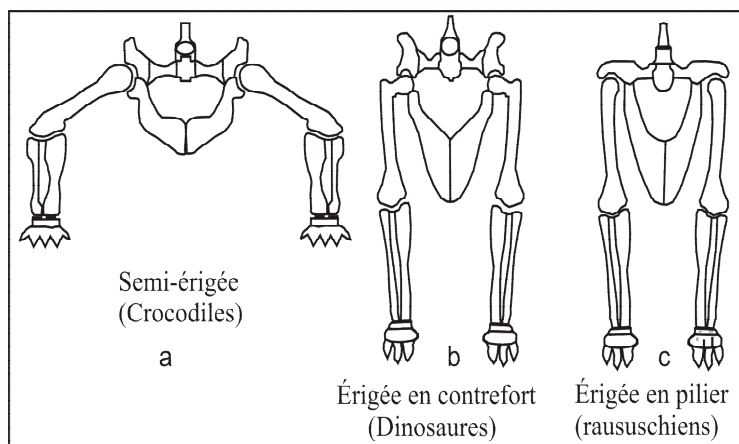


Fig. 05-: Posture des archosaures :
a : semi-érigée ; b : érigée en contrefort ;
c : érigée en pilier (Lambert, 1988).

Leurs machoires sont pourvues ou non de dents ; ils portent des écailles, des poils (des proto-plumes) ou des plumes.

Ils possèdent des membres antérieurs très développés ou très développés ou très courts, un cou démesurément long ou presque absent.

Certains dinosaures sont munis ou non de becs, collerettes, armures osseuses, plaques, cornes, épines, voiles, crêtes et dômes osseux.

Si le mot dinosaure évoque souvent des animaux de très grande taille, ces derniers englobent des espèces dont les individus ne dépassaient guère la taille des petits animaux domestique actuels.

II. B .1. Classification des dinosaures

À partir de l'anatomie de leurs bassins, Seeley (1887) identifie deux ordres de dinosaures: les Saurischiens et les Ornithischiens.

II. B. 1. 1. Les Saurischiens

Appelés aussi Sauripelviens (bassin de lézard), les Saurischiens ont un bassin composé de trois os : l'ilion situé au dessus de la cavité d'articulation du fémur, le pubis dirigé vers l'avant et l'ischion orienté vers l'arrière (fig. 06 a).

Suivant le mode d'alimentation, l'ordre des Saurischiens est lui-même subdivisé en deux sous-ordres :

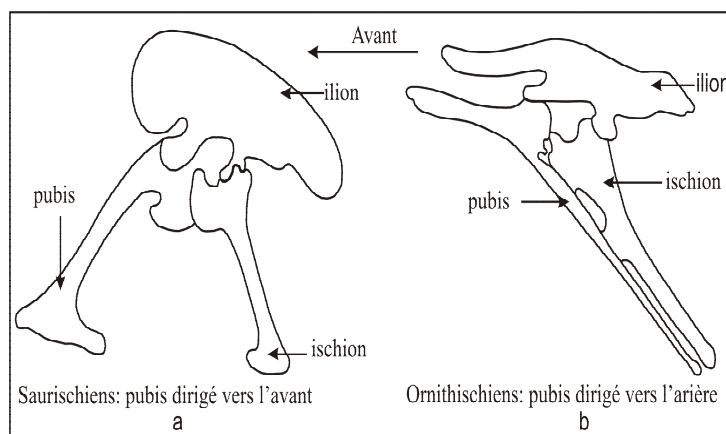


Fig. 06: Anatomie du bassin des dinosaures (Seeley, 1887).

II .B. 1. 2. Les théropodes

Ce sont quasiment tous des carnivores à l'exception de l'*Incisivosaurus* (Xu *et al.*, 2000) dont l'anatomie dentaire montre qu'il se nourrissait de végétaux. Ce sous-ordre est caractérisé par *Tyrannosaurus rex*, les *Raptors*, *Carcharodontosaurus* et *Spinosaurus*.

II. B. 1. 3. Les sauropodomorphes

Ils sont quadrupèdes herbivores. C'est à ce groupe qu'appartiennent les plus grands

dinosaures tels *Brachiosaurus* Riggs, 1903, et *Diplodocus* Marsch, 1878.

II. B. 1. 4. Les Ornithischiens

Ils sont également appelés Avipelviens, en raison de la ressemblance de leur bassin à celui des oiseaux (fig. 06 b). Chez ce deuxième ordre le pubis est dirigé vers l'arrière, parallèle à l'ischion et possède une branche antérieure (le pré-pubis).

Ce groupe se caractérise aussi par l'existence d'un os supplémentaire à l'avant de la mandibule (pré-dentaire).

À la différence des Saurischiens, les Ornithischiens sont tous herbivores, subdivisés en trois groupes (fig. 07).

- les Tyreophores Nopsca, 1915 qui renferment les Stégosaures (*Stegosaurus* Marsh, 1877) et les Ankylosaures (*Ankylosaurus* Brown, 1908). Les premiers sont caractérisés par de grandes plaques osseuses portées sur le dos alors que les seconds ont une queue terminée par une masse ;

- les Marginocéphales (*Marginocephalia* Sereno, 1986) regroupent les Cératopsiens (*Ceratopsia* Marsh, 1890) qui portent des cornes sur la tête, les Psittacosaures (*Psittacosaurus* Osborn, 1923) au museau en forme de bec de perroquet et les Pachycephalosaures (*Pachycephalosauria*, Maryanska et Osmoska, 1974) dont le sommet du crane est caractérisé par un os épais pouvant atteindre vingt centimètres (20 cm) d'épaisseur ;

- les Ornithopodes (*Ornithopoda* Marsh, 1871) sont des bipèdes ou des quadrupèdes dont les plus célèbres sont les *Iguanodon*.

II. B. 2. Conquête du milieu aérien

II. B. 2. 1. Les Ptérosaures

Avec les Ptérosaures (Kaup, 1834), débute la conquête du milieu aérien, au cours du Trias supérieur puis une grande diversité au Jurassique et leur disparition à la fin du Crétacé (crise Crétacé-Tertiaire).

Les ptérosaures (Pterosauria) sont des vertébrés volants rattachés aux diapsides archosaures ornithodiriens.

Ils ne sont ni des «reptiles» dans la définition actuelle du terme, ni des dinosaures et donc pas des oiseaux. Ils possédaient des ailes formées d'une série de membranes.

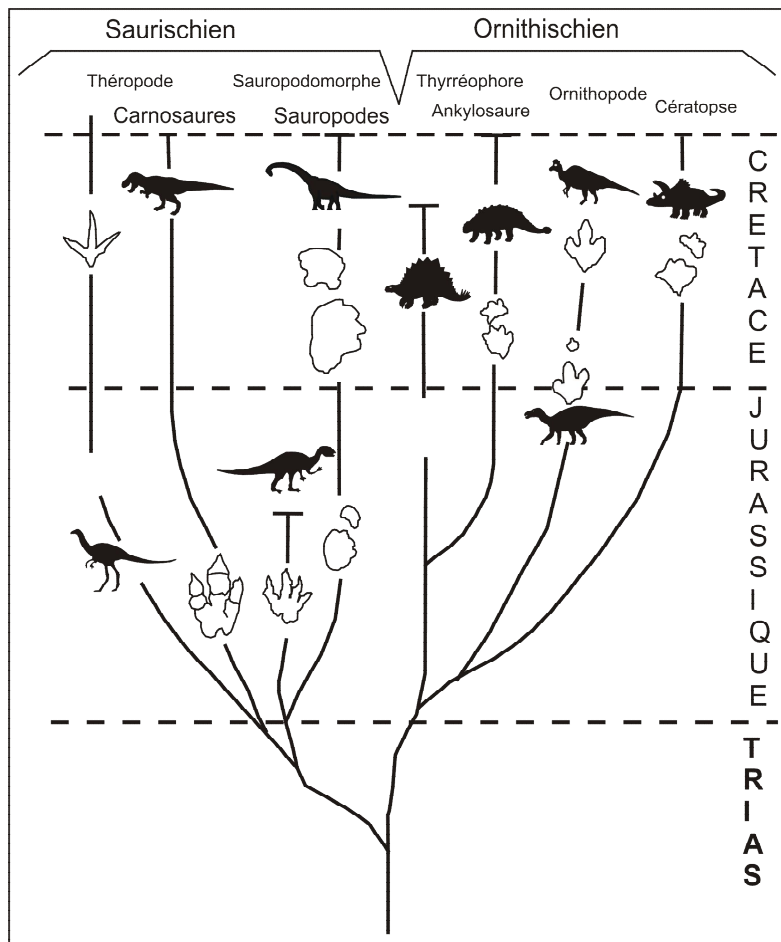


Fig. 07: Généalogie simplifiée des grands groupes de dinosauriens et leurs empreintes (Lockley, 1993 ; extrait de Nouri, 2007).

II. B. 2. 2. Dinosauriens-oiseaux

C'est l'*Archaeopteryx* Meyer, 1861 qui représente le mieux les dinosauriens-oiseaux. Il a été le tout premier fossile découvert avec des plumes et a été longtemps considéré comme le plus ancien oiseau fossile.

Les découvertes d'Archéoptéryx ont largement contribué à la construction de la théorie de l'histoire évolutive des oiseaux, à savoir que les oiseaux descendent des dinosauriens (de l'ordre des théropodes). Mi oiseau mi dinosaurien, ce genre présente des caractères appartenant aux deux groupes et d'autres indices intermédiaires.

II. B. 2. 3. Les oiseaux

Les oiseaux (ou classe des *Aves*) sont des vertébrés tétrapodes ailés appartenant au clade des dinosauriens. Paraves est un groupe de dinosauriens théropodes qui englobent les oiseaux et leurs plus proches parents (Fig. 08). Il a été défini par Sereno (1997) comme étant le groupe de tous les maniraptorins, plus proches des néornithes que de l'*Oviraptor*. C'est un clade appartenant à la super-famille des Coelurosauria, sous ordre des théropodes.

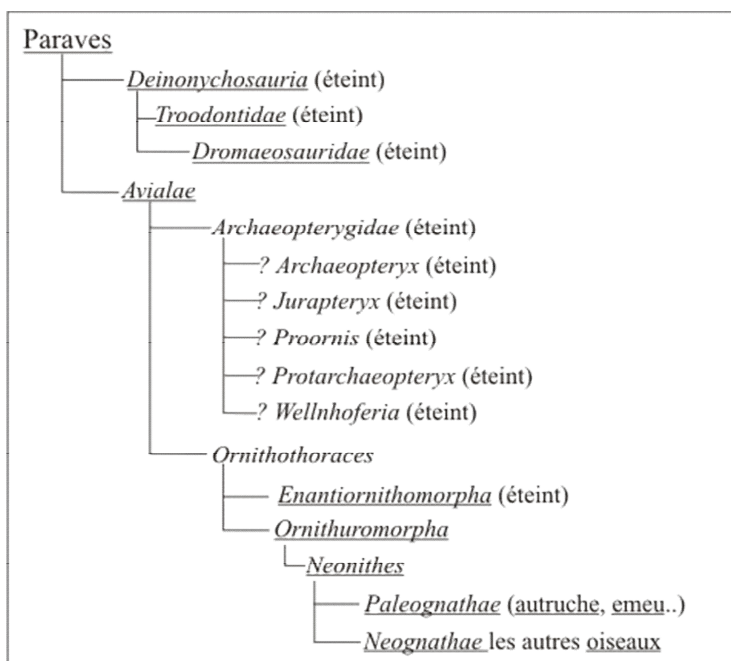


Fig. 08:
Cladogramme des
paraves (Norell *et al.*,
2006).

II. C. Dinosaures d'Algérie et d'Afrique

Actuellement, seul huit (08) espèces de dinosaures sont connues en Algérie (Depéret et Savornin, 1927 ; Lavocat, 1954 ; Lapparent, 1958 ; Bassoulet et Illiou, 1967 ; Mahboubi, 1983 ; Mahammed *et al.*, 2005 a ; Sereno *et al.*, 1996 ; Gabani, 2008 ; Gabani *et al.*, 2014 ; Tabl. 01 et 02)

Théropodes				
Genres	Famille	Super-famille	Sous ordre	Ordre
<i>Deltadromeus agilis</i> Sereno, Dutheil, Iarochene, Larsson, Lyon, Magwene, Sidor, Varricchio, et Wilson, 1996.	Neosauridae	Abelisauroida	Theropoda	Saurischia
<i>Baharijasaurus</i> Stromer, 1934.	Neosauridae	Abelisauroida	Theropoda	Saurischia
<i>Carcharodontosaurus</i> Stromer, 1931	Carcharodontosauridae	Carnosauria	Theropoda	Saurischia
<i>Spinosaurus</i> Stromer, 1915	Spinosauridae	Megalosauroida	Theropoda	Saurischia
Sauropodes				
<i>Rebbachisaurus</i> Lavocat, 1954	Rebbachisauridae	Diplocoidea	Sauropodomorpha	Saurischia
<i>Paralititan</i> Smith, J., B., Lamanna, Lacovara, Dodson, Smith, J., Poole, Giegengack et Attia, 2001.	Titanosauridae	Non attribuée	Sauropodomorpha	Saurischia
<i>Brachiosaurus</i> Lapparent, 1960	Brachiosauridae	Non attribuée	Sauropodomorpha	Saurischia
<i>Atlasosaurus chebsaurus</i> Mahammed, Lang, Mami, Mekahli, Benhamou, Bouterfa, Kacemi, Chérif, Chaouati et Taquet, 2005.				

Tabl. 01 : Classification des dinosaures d'Algérie.

Gisements Fossiles	Atlas saharien							Sahara algérien						
	Monts des Ksour					Dj. Amour		Nord du Hoggar						
	O. Boudjiane	Gour El Tin	Garet El Baaj	Garet El Taleb	Sfissifa	Nord de Brézina	El Kohl	Timimoun	Gara Samani	Aoulef	Hassi Mazoula	Sud d'Al.rar	In Akhamil	Oued Amaeregh
théropodes														
<i>Baharijasaurus</i> sp.										X				
<i>Carcharodontosaurus</i> (<i>Megalosaurus</i>) <i>saharicus</i> Depéret et Savornin, 1927 ; Bassoulet et Illiou, 1967 ; Mahboubi, 1983.	X		X	X		X	X	X	X					X
<i>Spinosaurus</i> sp. (Gabani, 2008)														X
<i>Deltadromeus agilis</i> Sereno et al., 1996														X
sauropodes														
<i>Rebbachisaurus garasbae</i> Lavocat, 1954										X				
<i>Brachiosaurus nougaredi</i> Lapparent, 1960										X				
<i>Paralititan</i> sp (Gabani, 2008) .														X
<i>Atlasosaurus chebsaurus</i> Mahammed , Lang, Mami, Mekahli, Benhamou, Bouterfa, Kacemi, Chérif, Chaouati et Taquet, 2005.					X									

Tabl.02: Répartition des espèces de dinosaures en Algérie (Gabani, 2008).

et 46 autres en Afrique (Nouri, 2007) dont 41 au Jurassique inférieur et cinq autres au Jurassique moyen. En Afrique du Nord, la présence de ces dinosaures est étayée par de nombreuses données ostéologiques dans l'Atlas saharien d'âges différents (Tabl. 03).

Gisements	Cartes Feuille topographiques 1/100 000	Matériel récolté et/ou observé	Références
Gisement d'El Abiod Sidi Cheikh (oued Bou Djihane)	Feuille d'El Abiod Sidi Cheikh	Débris d' Ossements, dents de dinosaurens (théropodes, sauropodes)	Bassoulet et Illiou (1967)
Gisement de Gour et Tine	Feuille d'el Abiod Sidi Cheikh	Ossements divers (dinosaurens ?)	Bassoulet (1973)
Gisement de la Garet el Baâj	Feuille d'el Abiod Sidi Cheikh	Dents de théropodes	Bassoulet (1973)
Gisement d'Aïn Sefra	Feuille d'Aïn Sefra	Ossements de dinosaurens (sauropodes), Débris d'os.	Mahammed <i>et al.</i> (2005)
Gisement de la Garet Toudjine	Feuille de Chellala Dahrana	Ossements de dinosaurens	Bassoulet (1973)
Gisement de la Garât et Taleb	Feuille de Chellala Dahrana	Ossements de dinosaurens	Bassoulet (1973)
Gisement de Brézina	Feuille de Brézina	dents de théropodes	Bassoulet (1973)
Gisement d'El Kohl	Feuille Oued Messala	os de dinosaurens (théropodes)	Mahboubi (1983)

Tabl. 03 : Les gisements des dinosaurens de l'Atlas saharien.

Par ailleurs, Lapparent et Lucas (1957) signalèrent la présence de vertèbres d'un sauropode dans les grès calcaires du Callovien moyen de Déglen (Ghar Rhouban). Par la suite, d'autres découvertes de vertébrés fossiles ont été faites au Sahara, dans la partie terminale du Crétacé inférieur (Broin *et al.*, 1971). Cette faune comporte, entre autres, des fragments d'ossements et de dents appartenant respectivement à un Sauropode et deux Théropodes.

Des restes fossiles sont connus également dans le Tinhert à Aïn Akhamin et Oued Amerigh (Gabani, 2008).

III. Rappel sur la paléoichnologie

III. A. Définition

La paléoichnologie se définit littéralement par la science des traces anciennes. Elle étudie exclusivement les traces d'activité biologique fossilisées (*ichnofossiles*) incluant l'étude des traces de déplacement, bioturbation, forage, trace de prédation, de repos, des coprolithes, des gastrolithes et autres activités ou comportements habituels ou occasionnels d'êtres vivants.

Ce domaine de la paléontologie ne se contente pas de la description des traces fossiles. L'association de ces dernières au sein des dépôts constitue, en effet, un moyen privilégié pour la reconstitution des paléoenvironnements. Elle permet aussi dans le cas d'étude des traces de dinosaures, d'estimer certains paramètres relatifs aux mensurations de l'animal, telle la hauteur à la hanche et la distance gléno-acétabulaire. La vitesse de déplacement et le type de marche peut être, respectivement, estimée et évaluée (marche efficace ou inefficace).

Les différents types de traces sont classés en *ichnogenres* et *ichnoespèces* selon la nomenclature binomiale habituelle en taxinomie. Ils sont également organisés en grands groupes, nommés d'après le mode supposé de formation des traces.

Les ichnofossiles peuvent être le seul témoin de l'existence d'organismes inconnus en tant que fossiles, tel *Helmentoïdes* dans les flysch des Alpes. Dans d'autres cas, ils sont la preuve d'existence d'organismes dont le fossile reste inconnu (cas de certaines empreintes d'Algérie).

III. B. L'empreinte de pas de dinosaures

III. B. 1. Définition

L'empreinte est la marque, laissée par un organe animal donné sur le sédiment. Elle concerne aussi bien la trace complète que partielle de l'organe. Comme toute trace d'activité d'un animal, elle se définit comme fossile ou une structure post sédimentaire.

III. B.2. qualité de préservation

Les phénomènes syn-sédimentaires ou post sédimentaires liés à la diagenèse influent sur la conservation de l'empreinte. Les dissolutions ou recristallisations dans les faciès carbonatés, par exemple, peuvent effacer des traits de l'empreinte. Les événements tectoniques, peuvent

détruire totalement ou partiellement l'empreinte comme ils peuvent également changer ses dimensions (étirement, compaction ou compression). La qualité de l'empreinte est fonction d'une part de la nature du sédiment, de sa granulométrie, sa texture et de l'hydratation plus au moins importante du sédiment. Elle dépend d'autre part, du poids de l'individu ou plus exactement de la pression par centimètre carré (cm^2) exercée sur le sédiment par l'organe supportant le poids. L'optimum est atteint quand le sédiment est fin, tout juste assez humide, pour qu'un organe (pied par exemple), supportant un poids donné, puisse s'enfoncer assez, sans que le sédiment ne vienne le recouvrir. Le même individu, mouvant sur des dépôts différents, laisse des empreintes différentes et deux individus de taille différente, laissent des empreintes également différentes.

En général, les meilleures empreintes sont obtenues quand les conditions sus-citées sont présentes et auxquelles succèdent les critères suivants :

- que le sédiment ait subi une lithification précoce, d'où l'impotence des conditions atmosphériques ;
- que l'enfouissement soit effectué par un recouvrement sédimentaire fin.
- que la sédimentation, reprise, soit fine.

Dans un tel cas, le remplissage fin de la trace, laissée, constitue un moulage de l'empreinte dont les fins détails peuvent rester visibles. Tout se passe, comme si le fond de la marque laissée et lithifié, jouait le rôle de discontinuité vis-à-vis du sédiment de recouvrement.

III. B.3. Structures associées

III. B. 3. 1. Structures directes

Ce sont les structures liées au contact entre la peau du pied ou la main de l'animal et la surface sédimentaire (Gatesy *et al.*, 1999; Gatesy, 2003) :

- stries "scrape-marks" : elles sont produites par le glissement ou le déplacement radial de la boue suivant le même sens de déplacement de l'organe de l'animal dans le niveau formant la surface du jour ;
- coupures : sillons produits par les griffes pendant la sortie du pied du sédiment. ;
- estampes : surface de contact directe avec le pied de l'animal s'introduisant à l'intérieur du niveau inférieur ;

- structures de glissement : Ce sont des structures montrant souvent des stries lors du glissement du pied ou main en totalité ou partiellement sur un sédiment glissant.

III. B. 3. 2. Structures indirectes

Ce sont des structures résultantes de l'écrasement ou l'aplanissement partiel d'autres structures n'ayant pas de relation directe avec l'organe de l'animal, tels les lamines, stromatolithes, ripples-marks, muds-cracks.

D'autres structures sont liées à la nature de la boue, particulièrement à sa viscosité tel les bourrelets ou talus de rejet (boue qui sort du creux occupé par le pied, en entourant l'empreinte (Pl. 12 : fig. 1), les chutes partielles ou totales de la boue. La formation des contre-empreintes (Pl. 12 : fig. 2), par remplissage postérieur de l'empreinte, peut être considérée comme structure indirecte (fig.09) y compris celle des sous-empreintes (Pl. 12 : fig. 3).

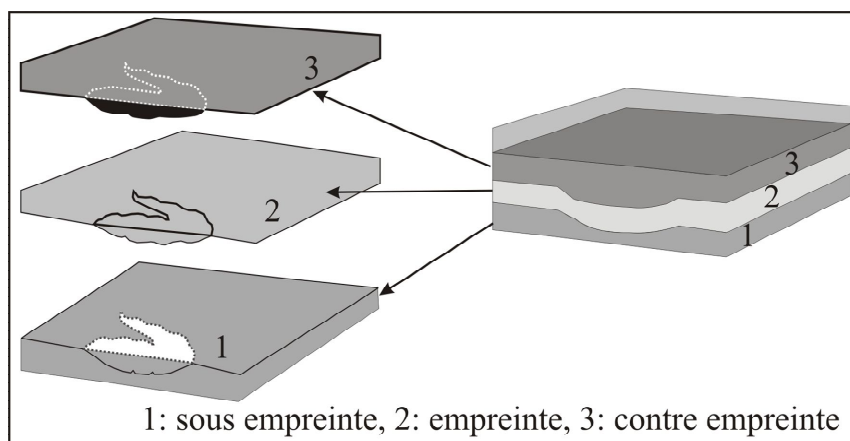


Fig. 09 : Dérivées d'une empreinte fossile (Lockley, 1993).

III. B. 3.3. Qualité de l'empreinte

Dans un précédent travail (Mammeri, 2008), le problème des qualificatifs utilisés par les auteurs (empreinte bien conservée, mal conservée, mauvaise, ..., etc.) a été évoqué.

En effet, une empreinte décrite comme mauvaise par un auteur peut être considérée comme moyenne par un autre. L'origine du problème est due essentiellement à la non classification des empreintes, suivant des critères bien définis. Dans ce contexte et dans le but d'unifier les critères de classification, l'on peut proposer une classification d'empreintes basée sur leurs états de conservation en cinq (05) catégories distinctes (fig.10; Tabl. 04).

Dans cette classification, ont été pris en considération des paramètres morphologiques et d'autres (formes, contours,...etc) mesurables en utilisant deux méthodes de mesure (formes dinosauroïdes) : celles de Lull (1953) et de Farlow et Lockley (1993). C'est une classification

basée sur la capacité d'un observateur à limiter et identifier les différents éléments d'une empreinte à savoir :

- l'existence de piste ;
- les limites de l'empreinte (contours) ;
- les limites des doigts ;
- les coussinets et griffes.

La détermination des ichnopathologies dépend de l'état de conservation des empreintes de pas.

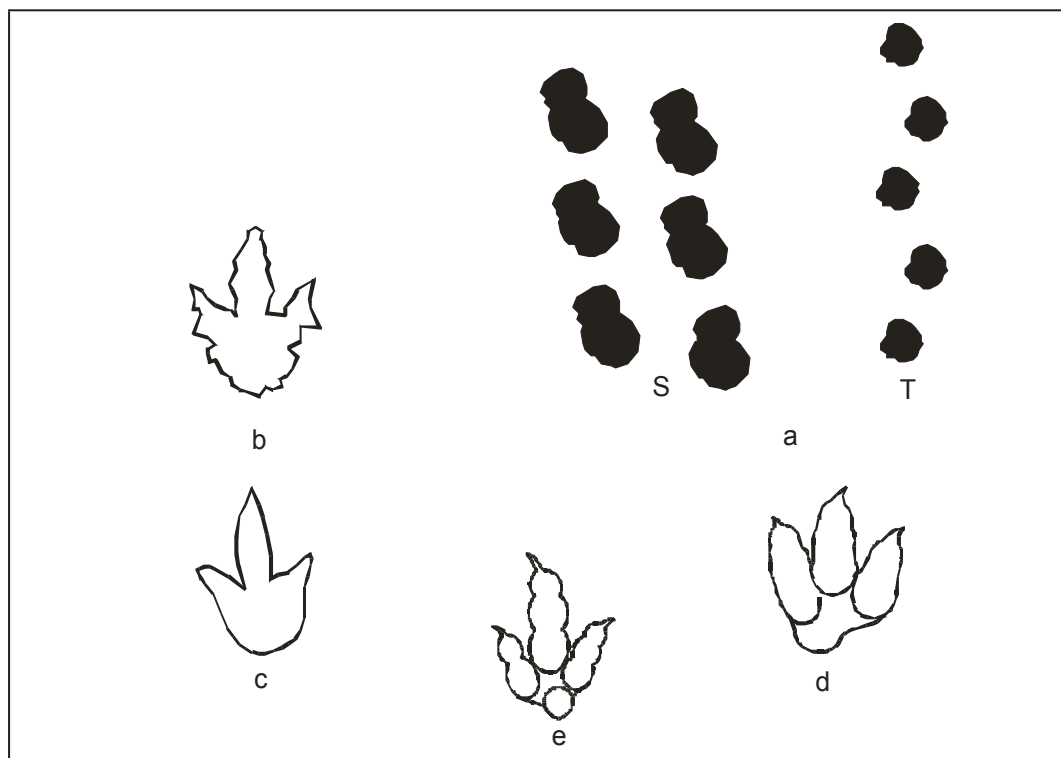


Fig.10. Classification des empreintes suivant leur état de conservation.

a : mauvaises empreintes ; b : empreinte mal conservée ; c : empreinte moyennement conservée ; d : empreinte bien conservée ; e : empreinte complète ; S. : sauropode ; T. : Théropode.

III. C. Principales phases de la formation des empreintes

En général, la formation des empreintes de pas de dinosauroïdes passe par une succession de phases (Thulborn et Wade, 1989 ; Perez-Lorente, 2003) se résumant comme suit (Tabl. 05) :

1. Première phase : premier contact d'appui exercé par le pied sur le sol. Deux sous phases sont à distinguer :

Qualité	Eléments de classification				Eléments pouvant être mesurés												
	Pistes	contours de l’empreinte	Limite des doigts	coussinets et griffes													
					P.o.	Enj.	A.p.	App.	l.p.	II	III	IV	D	T	L	l	
mauvaise	nécessaire	/	/	/	?	?	?	?	?	/	/	/	/	/	/	/	
mal conservée	pas nécessaire	flous	/	/	oui	oui	oui	oui	oui	/	/	/	/	/	/	/	
moyennement conservée	pas nécessaire	nets	/	/	oui	oui	oui	oui	oui	/	/	/	oui	/	oui	oui	
bien conservée	Pas nécessaire	nets	nette	/	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	
complète	pas nécessaire	nets	nette	nets	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	

Tab. 04. Classification qualitative des empreintes.

P.o. : Pas oblique ; Enj. : Enjambée ; A.p. : Angle du pas ; App. : Angle du pas avec la piste ; l.p. : largeur de la piste ; II : Doigt II ; III : Doigt III ; IV : Doigt IV ; D. : Dépassement de III par rapport à II et IV ; T. : Angle entre II et IV ; L. : Longueur de l’empreinte ; l. : largeur de la piste ; ? : mesures difficiles à effectuer.

1.1- Sous phase 1 : le pied glisse sur le sol avant l'appui de l'animal, en gravant des canaux et des stries en arrière de l'empreinte ;

1.2- Sous phase 2 : le pied pénètre dans le substrat, l'empreinte est alors caractérisée par des stries, qui sont marquées à l'intérieur et sur les parois latérales de l'empreinte. La boue déformée est poussée à l'avant du pied et à l'intérieur de l'empreinte marquant le début de la formation d'un bourrelet.

Temps	Propriété	structures	
Pénétration du pied	Résistance	Toit	Bourrelet. Cône d'extrusion. Ripples aplaties. Polygones déplacés. Changement de texture. Changement de couleur. Empreinte renversée.
		Intérieur	Couches pliées. Couches rompues.
		Base	Sous impression.
Levé du pied	Adhérence et résistance	Arrachement de la boue, en s'attachant au pied.	
		Ongles	Monotones derrière les stries. Marque des ongles en arrière.
Sortie du pied	Cohérence	Structures de collapsus	Chute partielle des parois. Oblitération des doigts. Coulée de la boue. Fluidité par thixotropie de l'argile.
Déposition de la couche supérieure	Changement de sédiment	Remplissage (contre moule)	

Tabl. 05: Propriétés de la couche et les structures dépendant des empreintes, (Romero-Molina *et al.*, 2001).

2- Deuxième phase : elle présente le plus long moment du contact, effectué entre le pied et le substrat ; elle est génératrice de plusieurs structures associées : stries de tirage du pied, les bourrelets, le changement de texture, les polygones, les sous impressions, les lamines déformées, ..., etc.

3- Troisième phase : elle se produit pendant la sortie du pied de la fange.

III. D. Catégories d'empreintes

L'impression d'un organe dépend des paramètres évoqués, mais aussi du comportement de l'animal. Ce dernier peut s'appuyer sur une partie du pied, sur le pied en totalité, sur le pied et

une partie du métapode ou encore sur le pied et le métapode en entier (fig : 11).

Entre le moment de contact du pied avec la frange et le temps où il marque la totalité de sa trace, tous les cas intermédiaires sont possibles. Suivant les cas, différentes catégories d'empreintes sont fossilisées :

- si l'animal s'appuie sur les doigts seuls, l'empreinte est dite digitigrade (fig : 11 ; 1) ;
- s'il s'appuie sur les doigts avec la partie distale du métapode, l'empreinte est dite semi-plantigrade (fig : 11 ; 2) ;
- s'il s'appuie sur les doigts et le métapode entier, l'empreinte est dite plantigrade (fig : 11 ; 3) .

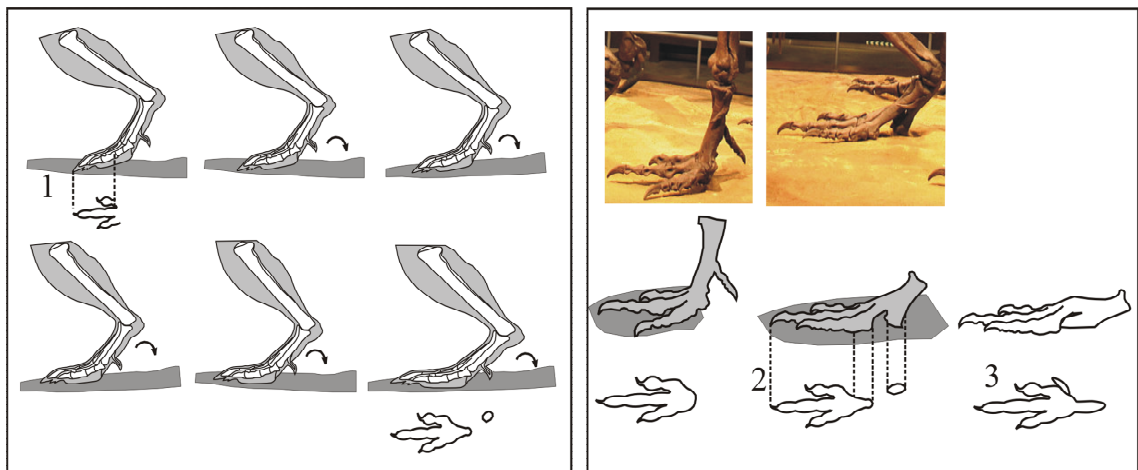


Fig.11. Catégories d'empreintes.

III.E. Anatomie ostéologique comparative des mains et pieds des dinosaures et leurs empreintes

L'étude des fossiles de dinosaures, particulièrement celles des os de leurs membres apporte beaucoup à la compréhension du mode de formation des empreintes et de leurs origines (fig. 12).

III. E. 1. Empreintes des théropodes

Ce sont des empreintes dactylifères que Thulborn (1990) et Perez-Lorente (2001) les distinguent par les caractères suivants :

- ichnites mésaxonienues tridactyles (**II**, **III**, **IV**) ou tétradactyles (+**I**) ;
- doigts individualisés et larges ;
- formule des phalanges allant entre (2)345(0) ;

- doigts pointus ;
- angle situé entre doigt **II** et **III** moins importante que l'angle entre **III** et **IV**.
- doigt **III** est le majeur du pied ;

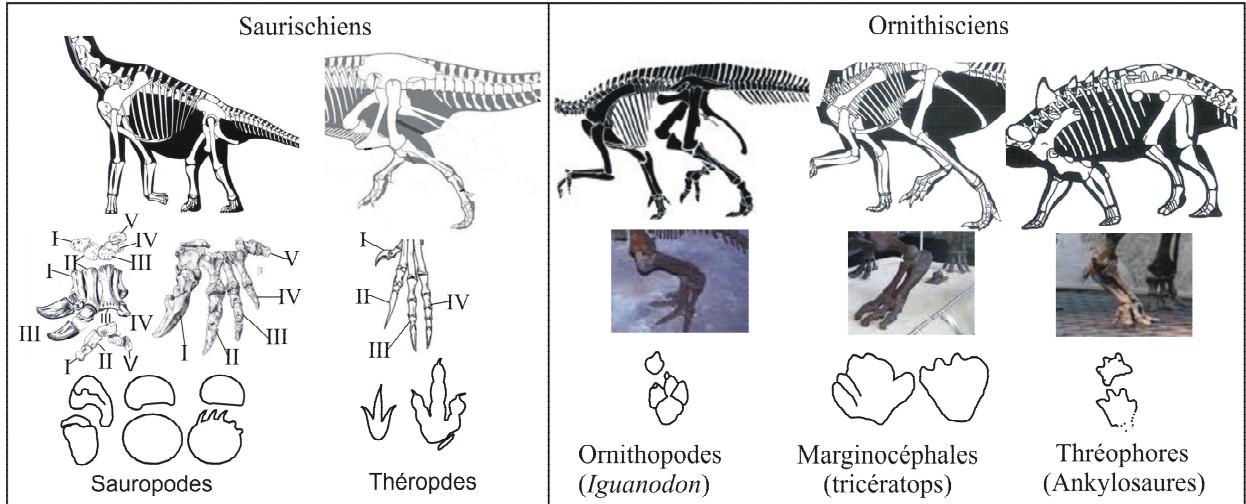


Fig. 12 : Anatomie des mains et pieds des grands groupes de dinosaures et leurs empreintes respectives.

- doigt **II** au niveau des hypex est plus large que le doigt **IV** ;
- union entre le doigt **III-IV** plus puissante (en forme de V) qu'entre **II-III**.
- talon saillant formé par le premier coussinet du doigt **IV**. il est parfois bilobulaire quand le coussinet du doigt **II** est net et qu'il rejoint celui du doigt **IV** pour le former ;
- hallux dirigé vers l'arrière ;
- pied en général plus long que large ;
- chacun des doigts présente plusieurs coussinets.

Le coussinet est l'enveloppe qui protège le doigt ; cette enveloppe doit être raide et assez épaisse pour permettre à l'animal de se déplacer sur différents sols. Deux cas de situation y peuvent être évoqués (fig.13) suivant que le coussinet protège la phalange (coussinet mésastral, Fig. 13 a) ou qu'il protège l'articulation entre les phalanges (coussinet artal, fig. 13 b).

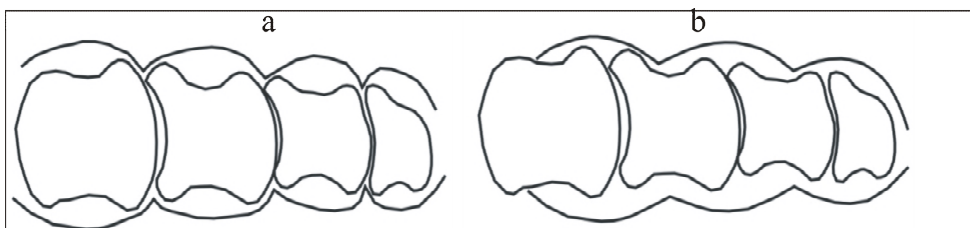


Fig. 13 : Les deux types de coussinets.

a : coussinet mésastral ;
b : coussinet artal.

Le doigt **II** est généralement plus large que le quatre. Il est suffisamment détaché du reste de l'empreinte que les doigts **III** et **IV**. Quand son empreinte est conservée, le doigt **I** est situé en

arrière, toujours dirigé vers l'intérieur à l'exception des empreintes d'*Ornithopus* où il est dirigé, complètement, à l'opposé du doigt III.

Les empreintes de théropodes peuvent être de grande taille et apparaissant massives. C'est le cas de celles laissées par les grands théropodes carnivores (*Spinosaurus*, *Allosaurus*, *Tyrannosaurus*).

Elles peuvent également être de petite taille, grêles aux doigts fins laissées par les théropodes de petite taille connus dès le Trias, tel est le cas du genre *Coelophysis*.

III. E. 2. Empreintes d'Ornithopodes

Thulborn (1990) différencie deux grands groupes d'empreintes : celles des grands *Ornithopodes* et celles des petits *Ornithopodes* (*Ornithopodes* coureurs) dont la taille est inférieure à 25 cm. Leurs caractéristiques étudiées par Perez-Lorente (2001), entre autres, se matérialisent par :

- des traces mésaxonniennes tridactyles (II, III, IV) ou tétradactyles (+I) ;
- des doigts relativement petits et épais ;
- des doigts présentant une terminaison ronde ;
- l'angle interdigital difficile de calculer. Si les axes des doigts sont bien établis, leur disposition reste la même que chez les Théropodes (angle entre **II** et **III** est plus petit que celui entre **III** et **IV**) ;
- aucune différence entre la longueur des impressions des doigts latéraux ;
- talon ample et rond, formé par un grand coussinet qui n'a aucune relation avec les doigts du pied ;
- hallux doit être dirigé vers l'avant (en cas de sa présence) ;
- pied en général plus large que long ;
- enveloppe du pied est presque subcirculaire ;

III. E. 3. Traces quadrupèdes (sauropodes)

Généralement, ce sont des empreintes, plus au moins rondes voire ovales s'organisant en deux séries, celle du pied et la main côté droit et celles du pied et la main côté gauche. La trace de la main arquée parfois marquée par la trace de la griffe du doigt I (dite « polle »). Elle précède toujours celle du pied dont la taille est largement supérieure. Celle-ci peut parfois masquer l'arrière de la main.

En fonction des grands groupes de sauropodes (fig. 14), les empreintes peuvent montrer la trace d'un doigt ou plusieurs (Wright, 2005). Elles peuvent également montrer les traces de griffes, ongles ou les deux ensemble.

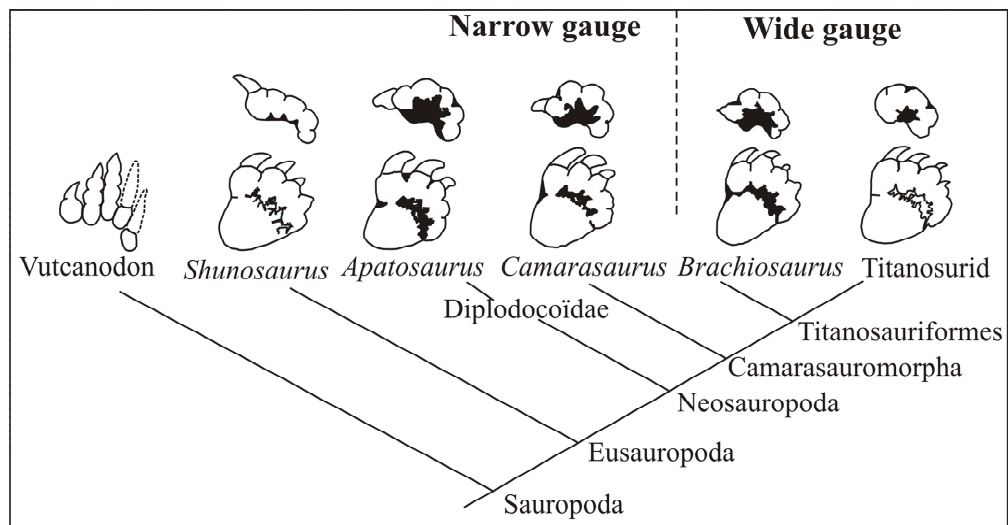


Fig.14 : Phylogénie des empreintes de sauropodes dans un contexte basé sur le squelette (Wright, 2005).

La classification ichnologique actuelle des traces des sauropodes tient compte de la largeur de la piste. Celle-ci permet de définir les deux ichnogenres *Parabrontopodus* (= *Breviparopus*) et *Brontopodus* (fig. 15).

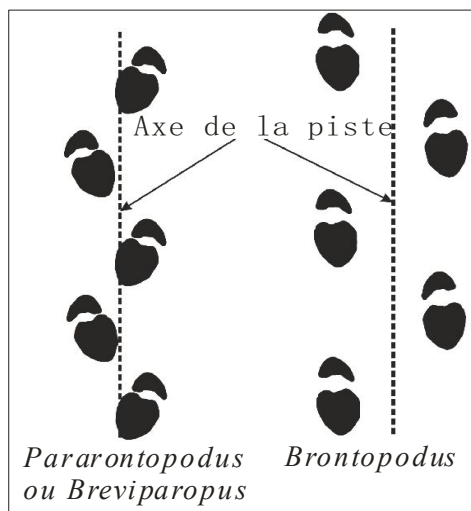
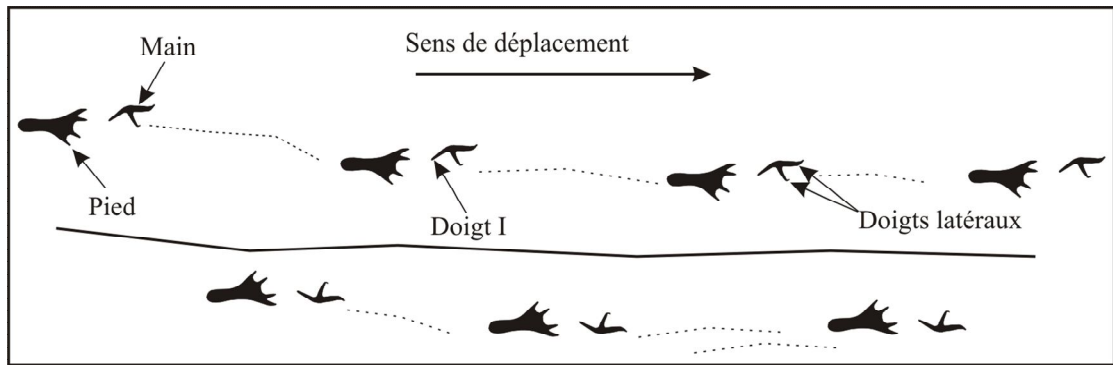


Fig.15 : Les deux ichnogenres des empreintes de sauropodes.

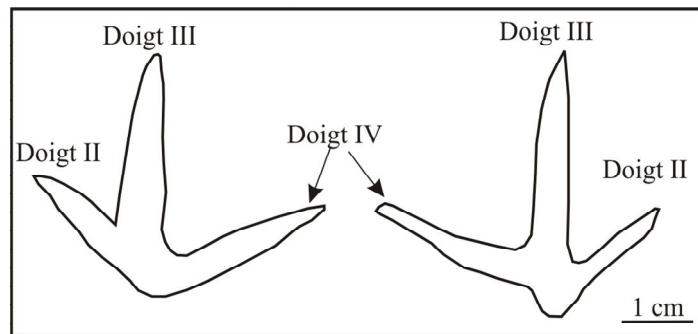
III. E. 4. Empreintes des Ptérosaures

Leurs empreintes se présentent en séries gauche et droite (fig. 16). Chacune des séries montre la trace du pied à quatre doigts griffus. La trace du pied est précédée par celle du membre antérieur ; celle-ci est composée de trois doigts griffus. Les doigts I et II sont dirigés vers l'avant ; courbé, le doigt III est dirigé vers l'arrière (Mazin *et al.*, 1997).

Fig. 16: Empreintes de ptérosaure (Mazin *et al.*, 1997).

III. E. 5. Empreintes des oiseaux

Leurs empreintes fossiles sont marquées par des doigts très fins (Azuma *et al.*, 2002 ; Lockley *et al.*, 2003) dont les deux latéraux sont largement écartés (fig. 17). Quand la trace du doigt I est présente, elle se positionne à l'opposé du doigt médian III.

Fig. 17: Empreintes de pieds d'oiseaux (Azuma *et al.*, 2002).

III. E. 6. Empreintes d'autres Ornithischiens

Les autres Ornithischiens, quadrupèdes, possèdent des empreintes moins connues que celles des sauropodes.

Currie (1989) a synthétisé les empreintes des grands groupes de dinosaures, bien individualisés sur la fig. 18.

À partir d'une synthèse d'études ostéologiques, ichnologiques et d'anatomie comparative, Gillette et Lockley (1989) identifient les grands groupes de dinosaures et leurs empreintes correspondantes (fig.19).

Des différentes recherches menées sur les empreintes, il en ressort que les auteurs des traces peuvent être connus à partir de leurs empreintes mais uniquement, à l'échelle de la superfamille voire le sous ordre et l'ordre (Romero-Molina *et al.*, 2003)

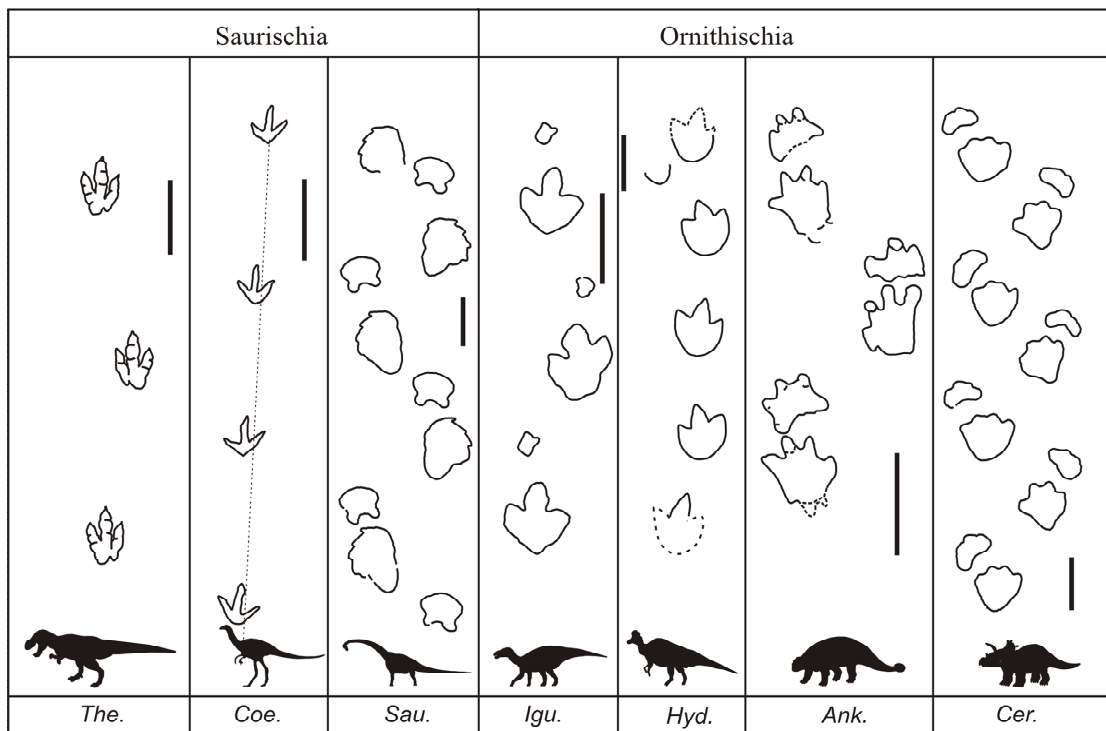


Fig.18: Les grands groupes de dinosaures et leurs empreintes distinctives (Currie, 1989).

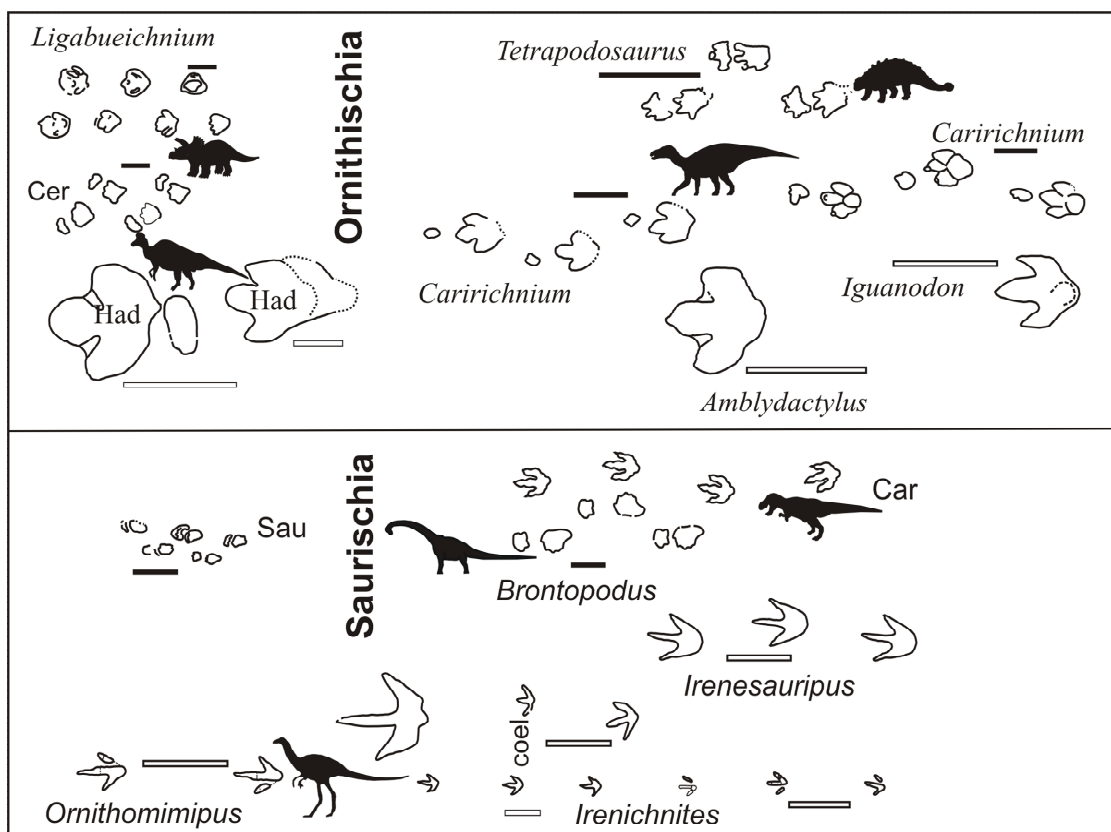


Fig. 19: Les grands groupes de dinosaures et leurs empreintes distinctives (Gillette et Lockley, 1989).

The. : théropode ; Coe. : Coelorozaure ; Sau. : Sauropode ; Igu. : Iguanodon ; Hyd. : Hydrosaure ; Ank. : Ankylosaure ; Cer. : Ceratopsien.

III. F. les empreintes de pas de dinosaures en Algérie

C'est en 1880 que Peron et Le Mesle signalèrent la présence d'empreintes de pas fossiles (Tabl. 06) dans la localité d'Amoura située dans l'Atlas saharien oriental (Mont des Ouleds Nail). Quelques années plus tard, Peron (1883) indique deux catégories d'empreintes dues à deux oiseaux ou à des ornithichnites. Dès 1890, Gaudry suggère des traces fossiles de pas de dinosauriens alors que Rolland (1890) note leur présence sans plus.

En 1948, Bellair et Lapparent recensent à Amoura, 140 empreintes sur la même dalle tout en différenciant trois catégories de traces dinosauroïdes attribuables au groupe *Coelurosauria* de von Huenne, s'approchant de *Struthiomimus*. Deux d'entre elles, sont imputables au pied et la troisième au membre antérieur.

En 1971, Haubold attribua les empreintes d'Amoura à *Columbosauripus Amourensis* Haubold, 1971, tout en précisant que *Struthiomimus* (= *Ornithomimus*) est un Ornithomidé du Crétacé supérieur de l'Amérique du Nord et que ce dernier reste inconnu en Afrique.

Au cours de la même année, Bassoullet signale dans l'Infra-Lias de la région d'Ain Sefra, treize contre-empreintes qu'il attribue à l'ichnogenre *Grallator* Hitchcock 1858 tout en les rapprochant de *Grallator variabilis* Lapparent et Montanat 1967, ichnoespèce connue dans l'Infra-Lias de Vendée.

Ce n'est qu'en 2004 et pour la première fois que des empreintes de pas de dinosauriens sont signalées dans la région d'El Bayadh (Mahboubi *et al.*, 2004 ; Bensalah *et al.*, 2005). Leurs premières analyses ont permis d'identifier cinq ichnotypes dont les auteurs seraient deux Sauropodes et trois Théropodes carnivores de grande taille.

À Amoura, Mammeri *et al.*, (2007) découvrent un nouveau site à empreintes de grande taille de dinosauriens, précédant stratigraphiquement d'une vingtaine de mètres celui de Peron et Le Mesle (1880). Au cours de la même année, Regagba *et al.* (2007) signalent les empreintes d'El Bayadh en les rattachant à des Théropodes et des Sauropodes. Parallèlement, une analyse biométrique de ces mêmes empreintes aux quelles s'ajoutent celles d'El Mezioued (région de Brezna) révèlent quatre ichnopopulations attribuables respectivement à trois Théropodes et un Sauropode (Mahboubi *et al.*, 2007).

Une année plus tard, Bessedik *et al.* (2008) donnent une analyse détaillée de ces mêmes empreintes en rapportant la piste brontopoïde (région d'El Bayadh) à l'ichnogenre *Brontopodus* et l'**Ensemble 1**, provisoirement, à *Eubrontes* alors que Mammeri (2008) confirme la présence

de *Grallator variabilis* Lapparent et Montenat, 1967. En se basant sur le travail de Bessedik *et al.*, (2008) et en gardant le même principe de discrimination pour les formes dinosauroïdes, Mammeri (2008) distingue quatre (04) ensembles où l'**Ensemble 4** est confirmé comme, *Grallator variabilis*, telle qu'elle a été décrite, par Bassoullet (1971). Le cinquième **Ensemble** étant l'ichnogre *Brontopodus* (Bessedik *et al.*, 2008).

D'autres sites ont été mis en évidence, ces dernières années, dans les localités d'Ouafeg (Mammeri *et al.*, 2009), Daïet Sid El Arbi (Mammeri *et al.*, 2011a) et à Amoura (Mammeri *et al.*, 2011b).

sites	Cartes topographiques (1/100 000)	Formes d'ichnites	Références
Site 18 Site 19 Site 20	Messaad	Empreintes de théropodes	Peron et Le Mesle (1880) ; Bellair et Lapparent (1948)
		Empreintes de théropodes	Mammeri <i>et al.</i> (2007) ; Mammeri <i>et al.</i> (2011b)
Site 17	d'Ain Sefra	Empreintes de théropodes	Bassoullet (1971)
Site 1	El Bayadh (ex. Geryville)	Empreintes de théropodes et Sauropodes	Mahboubi <i>et al.</i> , (2004) ; Bensalah <i>et al.</i> (2005) ; Mahboubi <i>et al.</i> (2007) ; Regagba <i>et al.</i> (2007) ; Bessedik <i>et al.</i> (2008) Mammeri (2008)
Site 2		Empreintes de théropodes	
Site 3		Empreintes de théropodes	Bessedik <i>et al.</i> (2008) Mammeri (2008)
Site 5 Site 6 Site 7		Empreintes de théropodes	Mammeri (2008)
Site 8		Empreintes de théropodes	Présent travail
Site 9	Ghassoul	Empreintes de théropodes et Sauropodes	Mammeri <i>et al.</i> (2011a et b)
Site 10			Présent travail.
Site 4	Brézina	Empreintes de théropodes	Mahboubi <i>et al.</i> (2007) Bessedik <i>et al.</i> (2008) Mammeri (2008)
Site 11 Site 12 Site 13			Présent travail
Site 14	Oued Messala	Empreintes de théropodes et sauropodes	Mammeri <i>et al.</i> (2011a ; 2016a)
Site 21	Chellala Dahrana	Empreintes de sauropodes	Mammeri <i>et al.</i> (2016b)
Site 15	Djebel Tendrara	Empreintes de sauropodes	Présent travail
Site 16	Tousmoulène	Empreintes de sauropodes	Présent travail

Tabl. 06 : inventaire et références des sites à ichnites de dinosauriens de l'Atlas saharien.

Les deux premiers sites sont matérialisés par des empreintes brontopoïdes (*Brontopodus*) et dinosauroïdes alors que le troisième avec seulement de grandes empreintes dinosauroïdes.

IV. Cadre géologique

IV. A. Cadre géologique général de l'Atlas saharien

L'Atlas saharien est constitué d'un alignement de reliefs orientés sensiblement NE-SW, depuis le Haut Atlas marocain jusqu'aux Aurès (fig. 20). C'est un édifice dont le style structural est particulier. En effet, Ritter (1902) décrit les structures plissées comme simples (reliefs en chenilles processionnaires). Delfaud *et al.* (1974) y mettent en évidence, une tectonique superposée. Kazi Tani (1986) considère que l'Atlas saharien s'organise suivant deux directions structurales : l'une longitudinale (NE-SW), l'autre transversale (N-S).

C'est une chaîne affectée par deux accidents majeurs : La faille bordière nord atlasique et sud atlasique, beaucoup plus nette.

Sur le plan géologique, l'Atlas saharien s'est formé à l'emplacement d'un sillon subsident où se sont accumulés durant le Mésozoïque et une partie du Cénozoïque de puissants dépôts marins et continentaux. Les mêmes assises sont de plus en plus continentales et anciennes de l'Est vers l'Ouest.

La phase distensive du Trias permettra à l'installation, au Lias, de plates formes carbonatées internes disloquées suivie par l'ouverture du bassin.

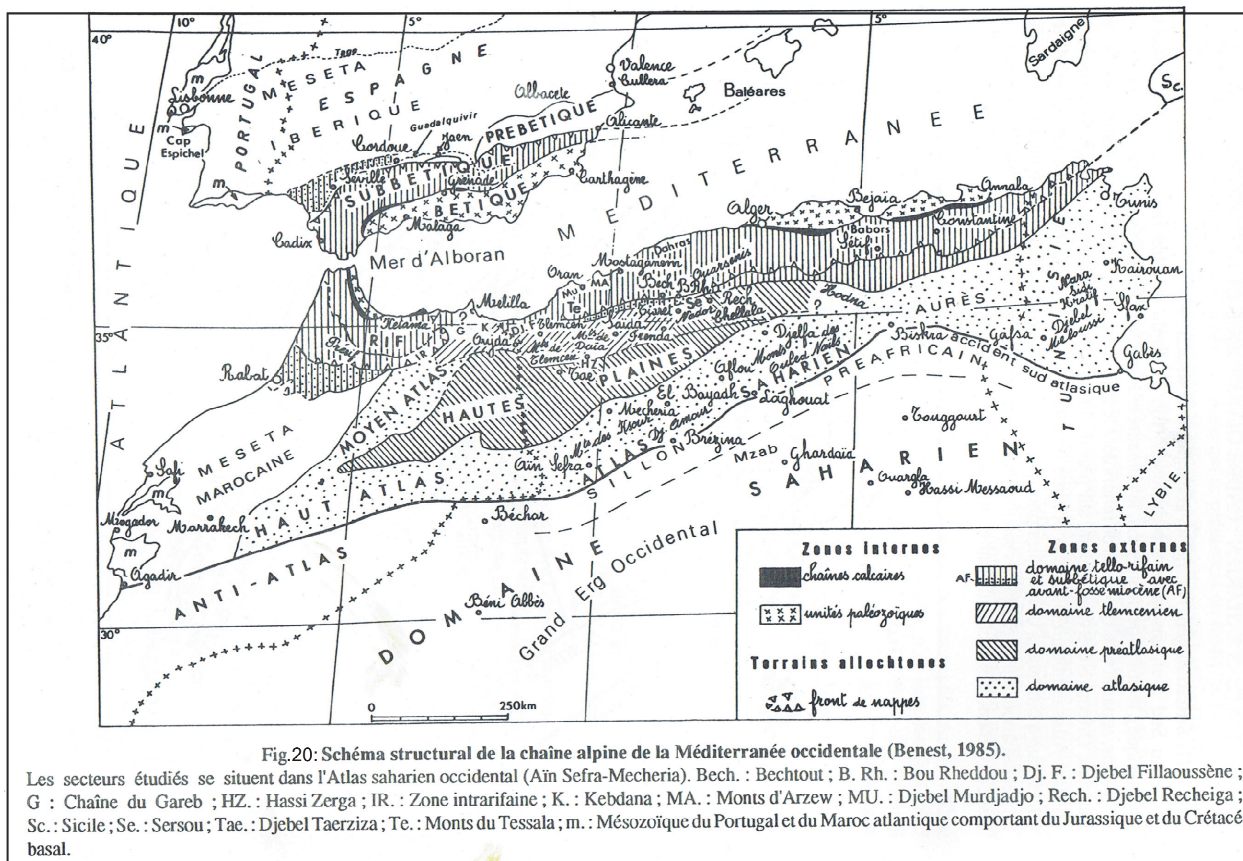
Le Trias, de type germanique, est représenté par des argiles bariolées versicolores, du sel et des roches vertes (Flamand, 1911). Il affleure, généralement, à la faveur d'accidents à Ain Ouarka (Monts de Ksour) et Kérakda (Djebel Amour). L'apparition de récifs et d'épandage de nappes détritiques annonce, dès le Bajocien, le début d'un grand et long cycle deltaïque (Delfaud, 1974b) progradant d'Ouest vers l'Est. Ce cadre dynamique préfigure les fluctuations des limites des domaines marins et continentaux et durera jusqu'au Crétacé supérieur (Albien supérieur).

Le Bathonien, formé par des grès et des dolomies à Aïn Ourka à l'Ouest, est représenté par des calcaires et des marnes à ammonites (Regagba, 2006) à El Bayadh.

Le Callovien, gréseux et dolomitique dans les Monts de Ksour, débute par des marnes et des marno-calcaire à ammonites du bassin à El Bayadh (Cornet, 1952).

Le Kimméridgien, essentiellement gréseux à l'Ouest jusqu'à Mécheria, ne l'est que

partiellement à El Bayadh. Dans cette dernière localité, il débute par des calcaires bleus fossilifères (Peron, 1883 ; Cornet, 1952) évoluant, dans sa partie supérieure, à des grès avec des intercalations de passages de marnes vertes. Celles-ci sont plus fréquentes et rougeâtres vers le sommet.



l'Infra-Crétacé, totalement gréseux depuis Aïn Ouarka à l'Ouest jusqu'à Mecheria, montre des niveaux marneux vers son sommet à El Bayadh.

Le Valanginien, transgressif, est matérialisé par des marnes à gypse, des dolomies et des calcaires argileux à El Bayadh. Son épaisseur diminue progressivement vers l'Ouest où les grès prennent de plus en plus d'importance. Vers l'Est, il devient plus marneux (Aflou) puis complètement calcaire (Laghout).

L'Hautérivien, complètement gréseux à l'Ouest, est représenté par des grès continentaux suivis de marnes et calcaires marins depuis El Bayadh jusqu'à Aflou et réapparaît gréseux, plus à l'Est (Laghout).

Au Barrémien-Aptien-Albien, la série est entièrement détritique et continentale aussi bien dans les Monts des Ksours que dans le Djebel Amour. En revanche, elle montre une incursion marine ayant déposé des calcaires et des marnes, plus à l'Est dans les Ouled Nail.

La phase orogénique alpine post-Lutétien met fin au cycle secondaire (Ritter, 1902).

V. B. Découpage lithostratigraphique des formations atlasiques

Les nombreux travaux géologiques effectués sur la l'Atlas saharien (Flammand, 1911 ; Cornet, 1952 ; Morizet, 1970 *in* : Bassoullet, 1973 ; Delfaud, 1974, entre autres) ont permis de dresser un important découpage lithostratigraphique. Cependant, les attributions stratigraphiques des différentes formations définies varient d'un auteur à un autre (fig. 21 et Tabl. 05).

Pour des raisons pratiques, il ne sera traité dans cette partie que des unités renfermant les empreintes de dinosaures, particulièrement celles découvertes après 2008. Au vu du problème de datation et comme le plus grand nombre de sites est cantonné dans la Wilaya d'El Bayadh, il ne sera précisé que leur position dans la série lithostratigraphique générale de Cornet (1952) qui paraît le mieux adapté, tout en tenant en compte les autres attributions.

V. B. 1. Dans les Monts des Ksours

Dans les Monts des Ksours, la série mésozoïque type (Bassoullet, 1973) montre une succession lithologique allant du Trias au Cénomanién supérieur-Turonien inférieur.

Dans cette région, le Rhétien-Hettangien est représenté par des marno-calcaires à fente de dessiccation appartenant à la plate forme carbonatée interne proximale.

V. B. 2. Dans Djebel Amour

Dans cette partie de l'Atlas saharien, Cornet (1952) décrit dans la série du Secondaire:

- le Kimméridgien, matérialisé par 100 m de calcaire récifal et des calcaires bleus riches en Brachiopodes. Ces dépôts sont surmontés par une alternance marno-calcaire et marno-gréseuse présentant des rides de courant;
- le Barrémien-Aptien-Albien, une série de 700 à 1500 m d'épaisseur ; cette unité est essentiellement gréseuse de type fluvio-deltaïque ;
- le Cénomanién-Turonien, particulièrement calcaire, montre parfois des structures fenestrées, à sa base, puis des niveaux à ammonites.

V.B. 3. Dans les Monts des Ouled Naïl

Les assises secondaire offrant les sites à ichnites (Sites 18, 19 et 20 d'Amoura) sont matérialisées par 220 m d'épaisseur de calcaires et de marnes attribuables au Cénomanién (Flandrin, 1952). La base des calcaires montre des surfaces condensées de bivalves et de fentes de dessiccation.

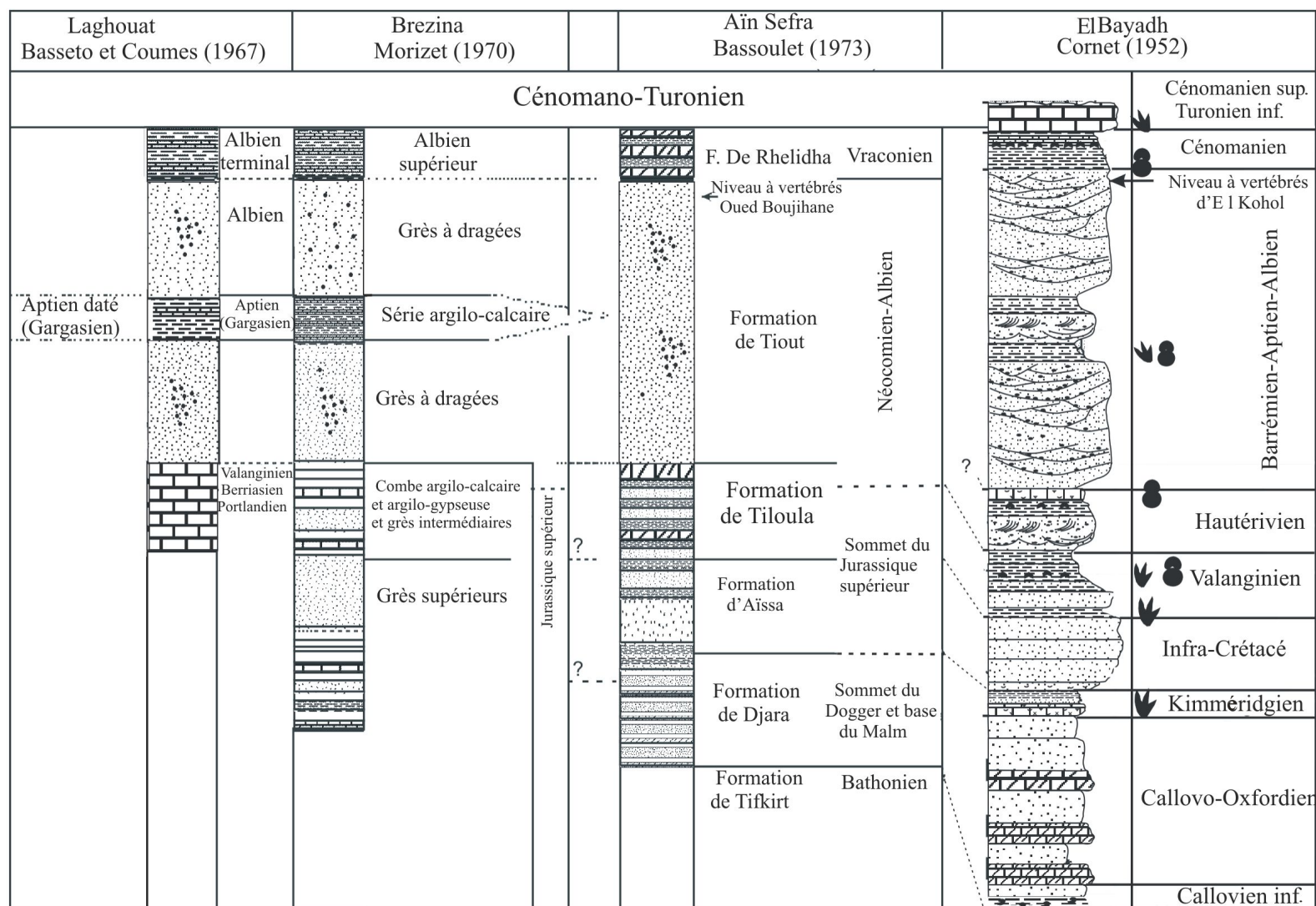


Fig. 21 : Comparaison et corrélations des différentes formations de l'Atlas saharien (Bassoulet, 1973 ; modifié).
Série d'El Bayadh ; position des sites à ichnites de dinosauriens.

Auteurs Lithologie	Flamand (1911)	Cornet (1952)	Bassoullet (1973)		Abed (1982)	
			Formations	Âge	Formations	Âge
Calcaires et dolomies	Cénomaniens-Turonien	Cénom sup - Turonien inf		Turonien inf. Cénomaniens sup.	/	/
Argiles et gypses		Cénomaniens inf.	Medaouar	Cénomaniens inf.	/	/
Argiles à dolomies	Vraconien (?)		El Rhelida	Vraconien	/	/
Grès à dragées, argilites gréseuses	Albien	Hautérivien à Albien	Tiout	Albien (pars) Aptien Néocomien	/	/
Argilites, grès, dolomie	Aptien	Valanginien	Tiloula	Portlandien Kimméridgien	-Calcaires oolithiques de Zerga -Marnes à gypses de Taouiala	Berriasien Portlandien
					-Grès à chenaux de Taouiala -Calcaires en plaquettes -Calcaires massifs -Marnes à gypse -Calcaires lumachelliques	Kimméridgien supérieur
					-Grès et argiles rouges de Kourdane -Grès massifs de Seklafa	Kimméridgien inférieur
Grès et argilites	Néocomien	Infra-Crétacé Kimméridgien	Aissa			
Alternance de grès, dolomies et d'argilites	Jurassique supérieur indifférencié	Oxfordien-Lusitanien Callovien	Djara	Sommet du Bathonien à Oxfordien ?	-Zone intermédiaire - calcaires à polypiers de l'Azreg	Oxfordien Callovien
Alternance de grès calcaires et argilites	Bathonien	Bathonien	Tifkirt	Bathonien (pars) Bajocien sup.-terminal	-Grès et dolomies de Kerakda - zone de passage	
Alternance d'argilites, de grès et de calcaires argileux noirs		Bajocien	Theniet.el Klakh	Bajocien supérieur (pars)	Argiles silteuses d'El Aoudja	Bathonien

Tabl. 07 : Série synthétique jurassique et crétacée des Monts des Ksours et Djebel Amour à partir des travaux de Bassoullet (1973) et Abed (1982).

I. Localisation géographique

I.A. Nomenclature des sites

Dans le souci d'harmoniser et simplifier la nomenclature des différents sites à empreintes de pas de dinosauroïdes et leurs contenus, la dénomination suivante a été adoptée (Tabl. 08) :

- chaque site est désigné par une double nomenclature mais équivalente ; la première, en lettre et en chiffre, basée sur l'ordre chronologique de la découverte du site. La deuxième, écrite en lettres, est liée au nom de la région ;

Nomenclature des sites		Références
En lettre et en chiffres	En lettre	
Site 01	El Bayadh-El Grarij	Mahboubi <i>et al.</i> (2004) ; Bensalah <i>et al.</i> (2005) ; Mahboubi <i>et al.</i> (2007) ; Regagba <i>et al.</i> (2007) ; Bessedik <i>et al.</i> (2008) Mammeri (2008)
Site 02	El Bayadh-El Mouilah	
Site 03	El Bayadh-les Abattoirs	Bessedik <i>et al.</i> (2008) Mammeri (2008)
Site 04	Brezina-El Mezioued	Mahboubi <i>et al.</i> (2007) Bessedik <i>et al.</i> (2008) Mammeri (2008)
Site 05	El Bayadh-El Kheneg 1	Mammeri (2008) Mammeri <i>et al.</i> (2011a)
Site 06	El Bayadh El Kheneg 2	
Site 07	El Bayadh-El Crapaud	
Site 08	El Bayadh-El Kheneg 3	Présent travail
Site 09	Ouafeg-Edaoura El Hamra	Mammeri <i>et al.</i> (2011b)
Site 10	Ouafeg-Ethenia El Hamra	Présent travail
Site 11	Brezina-Garet Echiheb	Nouveau site
Site 12	Brezina-Mouilah El Fougani	
Site 13	Brezina-Hamiet Boulafea	
Site 14	Brezina-Daiet Sid El Arbi	Mammeri <i>et al.</i> (2011b)
Site 15	Sfissifa-Harcha	Présent travail
Site 16	Tousmouline	
Site 17	Pont de Tiout	Bassoullet (1971)
Site 18	Amoura	Peron et Le Mesle (1880) ; Bellair et Lapparent (1948)
Site 19	Amoura-Gorge	
Site 20	Amoura-Gaada	Mammeri <i>et al.</i> (2007) ; Mammeri <i>et al.</i> (2011a)
Site 21	Essaguia-Garet El Hefte	Mammeri <i>et al.</i> (2016b)

Tabl.08. Nomenclature et inventaire des sites à étudier.

- quand le site, écrit en lettres, est situé dans une localité, celui-ci est indiqué par un terme composé du nom de l'agglomération la plus proche flanquée du nom de la localité du site ; les deux mots sont séparés par un tiret ;

- lorsque la localité renferme plus d'un site, ces derniers sont différenciés par des chiffres placés à la suite du nom de la localité ;
- les pistes sont mentionnées, chacune, par une lettre alphabétique écrite en minuscule et en gras.

I. B. localisation géographique

Dans leur grande majorité, les sites à empreintes de pas de dinosaures connus actuellement, sont répartis dans l'Atlas saharien à l'exception de celui de Tousmouline. Ce dernier est situé, plus au Nord, dans les Hautes Plaines (fig. 22).

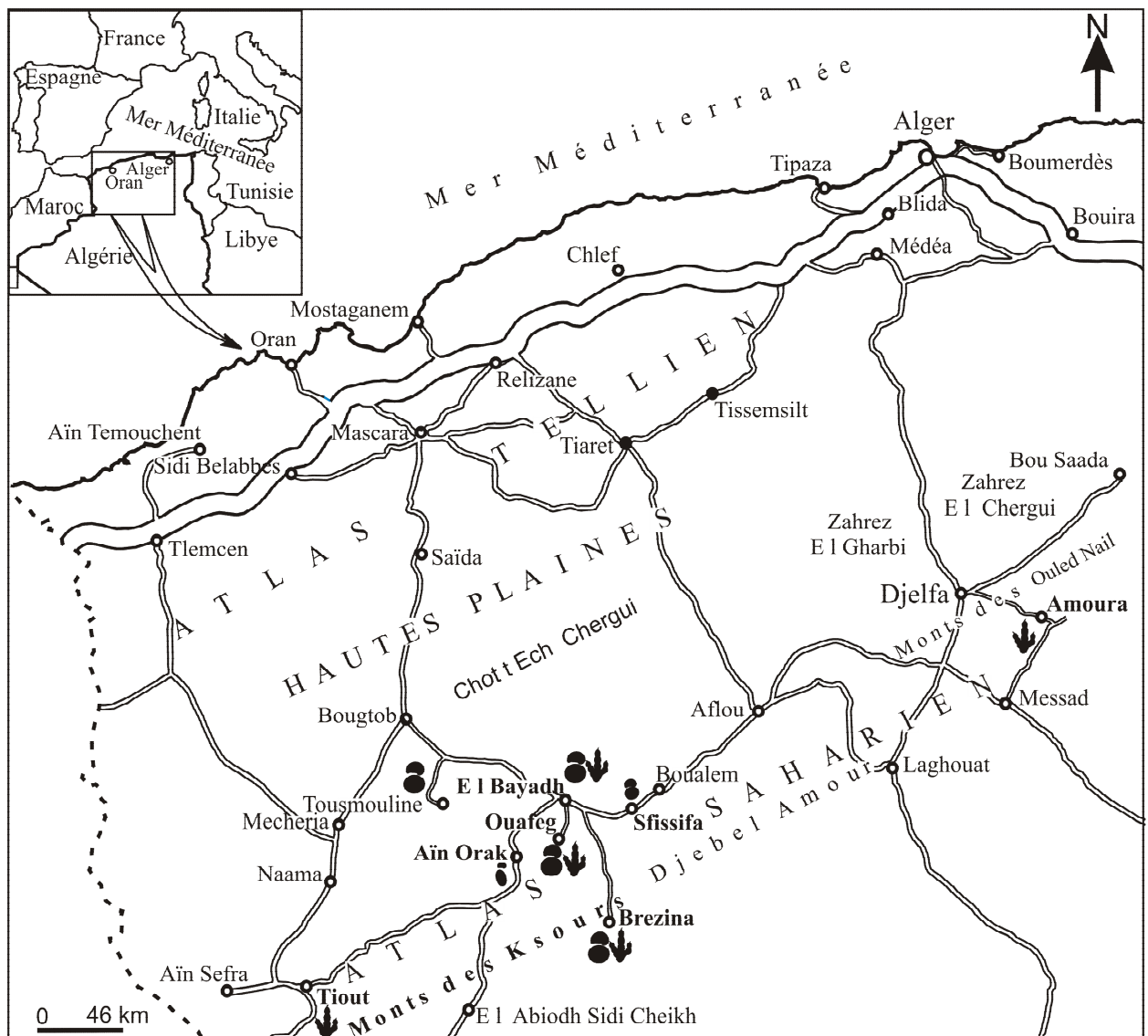


Fig. 22 : Localisation géographique des sites à ichnites de dinosauriens.

L'Atlas saharien est constituée, d'Ouest en Est, par une succession de trois grands ensembles de reliefs (fig. 22) : Monts des Ksour (région de Figuig-Ain Sefra) ; Djebel Amour (région d'El Bayadh-Aflou) et les Monts des Ouled Nail (région de Laghouat-Djelfa).

I.C. Hauts Plateaux

- Site 16 (Site de Tousmouline)

Découvert en 2014, ce site est le seul connu hors Atlas saharien. Il est situé, dans le domaine des Hautes plaines, au sud de la zone des Sebkhass, à 1,5 km au Nord-Ouest du village de Tousmouline (fig. 23).

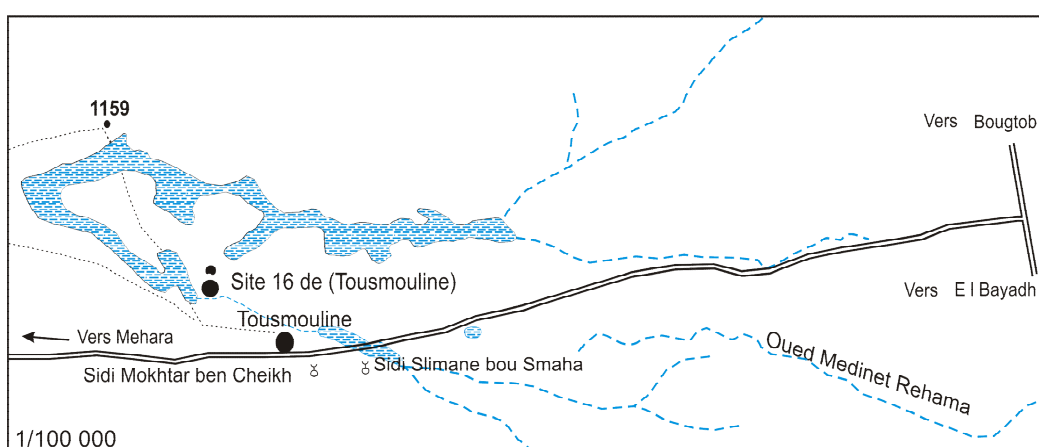


Fig. 23 : Localisation du Site 16.

I.D. Atlas saharien

I.D.1. Djebel Amour

C'est le domaine le plus riche en sites à ichnites et dont la wilaya d'El Bayadh renferme le plus grand nombre. Il s'agit de huit (08) sites découverts ces dernières années (Sites 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15 et 21).

I.D.1.1. Sites d'El Bayadh (Site 8 ou El Bayadh-El Kheneg 3)

Sept (07) sites sont recensés aux alentours de la ville d'El Bayadh (Mammeri, 2008).

Le Site 8 récemment découvert, est situé sur la rive gauche, d'Oued El Bayadh (aval) à la sortie de la ville du même nom et à 1,5 km avant le pont (fig. 24).

I.D.1.2. Sites d'Ouafeg

Située à 28 km au Sud Ouest de la ville d'El Bayadh (fig. 25), la localité d'Ouafeg renferme deux sites situés au Sud et au Nord du village.

Ces derniers ont été signalés par ailleurs (mammeri *et al.*, 2009).

- Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra) ce site (Mammeri *et al.*, 2009 ; 2011) affleure à 5,6 km au SSW du village d'Ouafeg, sur la rive gauche d'Oued Edaoura El Hamra ;
- Site 10 (Ouafeg-El Thenia El Hamra), situé à 3,7 km au NNE du même village, à proximité immédiate de la route communale reliant El Bayadh au village d'Ouafeg.

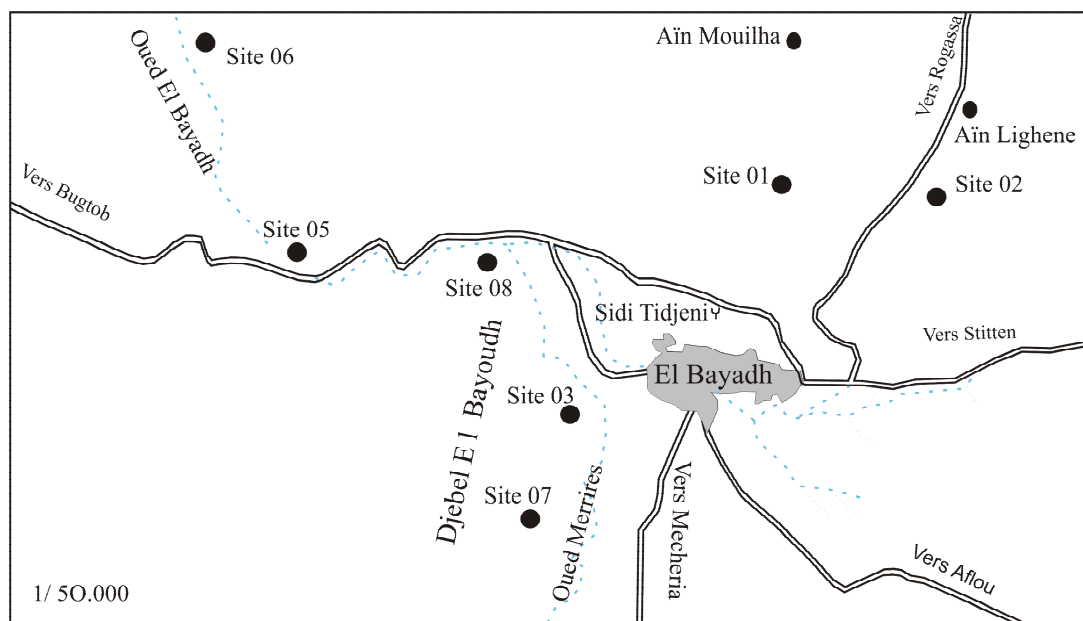


Fig. 24 : Localisation des sites à ichnites d'El Bayadh dont celui d'El Bayadh-El Kheneg 3.

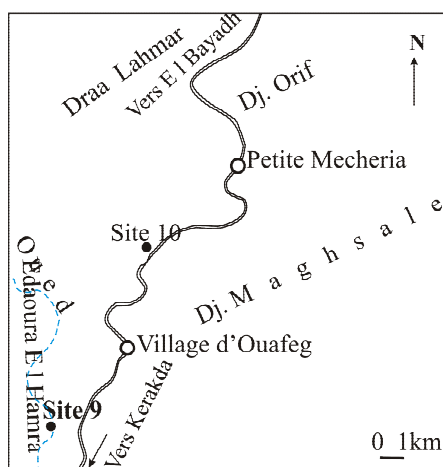


Fig. 25 : Localisation du Site 9 d'Ouafeg.

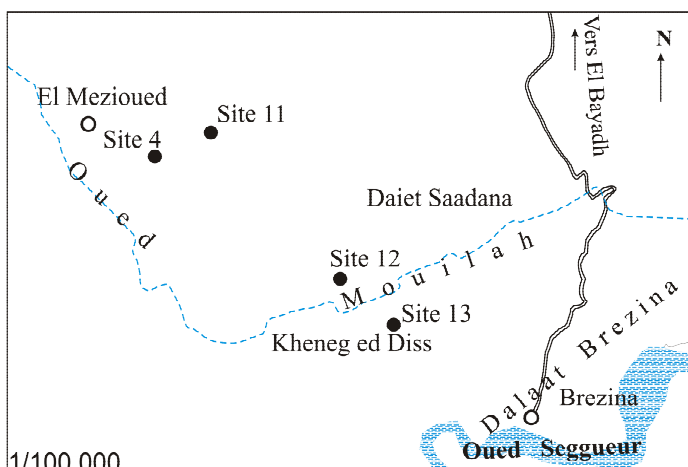


Fig. 26 : Localisation des Sites 4, 11, 12 et 13 de Brezina

I.D.1.3. Sites de Brézina

Plus au Sud de la ville d'El Bayadh, dans la commune de Brezina, cinq (05) sites à empreintes de pas de dinosauriens ont été dénombrés (fig. 26 et 27) :

- Site 4 (Brezina-El Mezioued), situé à 2.5 km, au Sud -Est de Douar El Mezioued ;
- Site 11 (Brezina-Garet Echiheb), situé à 600 m et à l'Est du précédent ;
- Site 12 (Brezina-Mouilah El Fougani), situé à environ 5 km au Nord-Nord-Est de Brézina, au niveau de la rive Est d'Oued Mouilah;
- Site 13 (Brezina-Hamiet Boulafea), situé à 4,2 km au Nord-Ouest de Brezina ;
- Site 14 (Brezina-Daiet Sid El Arbi), situé à 25 km au Sud-Est de la ville de Brézina dans la région d'El Kohol (fig. 27).

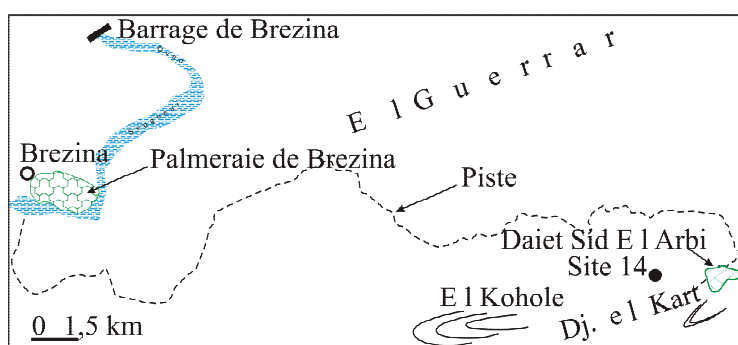


Fig. 27 : Localisation du Site 14 (Brezina Daiet Sid El Arbi).

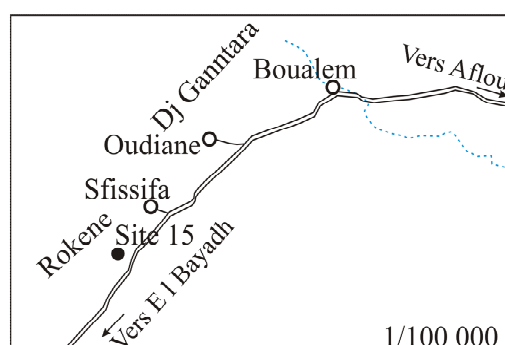


Fig. 28 : Localisation du Site 15 (Sfissifa-Harcha).

I.D.1.4. Site 15 (Sfissifa-Harcha)

Situé à 2 km au Sud-ouest de la localité de Sfissifa, le Site 15 de (Sfissifa-Harcha) est le seul connu actuellement dans cette localité (fig. 28).

I.D.1. 5. Site 21 (Sagua-Garet El Hefte)

Dénommé Site 21 (Essagua-Garet El Hefte), ce site est localisé à 40 km au Sud-Ouest de la ville d'El Bayadh et à 10 km du village d'Aïn El Orak (fig. 29).

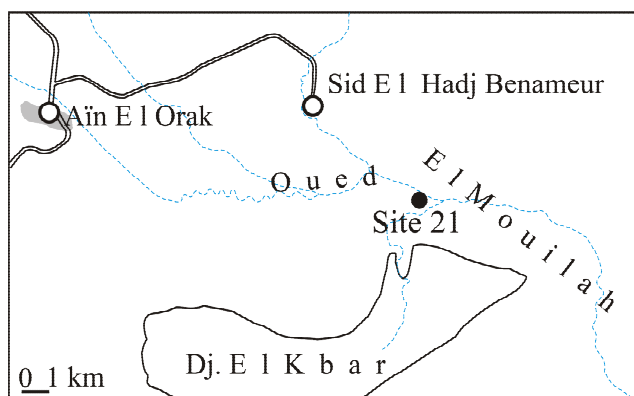


Fig. 29 : Localisation du Site 21 (Essagua-Garet El Hefte).

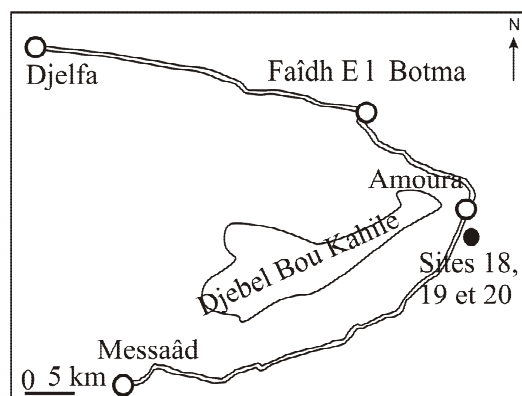


Fig. 30 : Localisation du village d'Amoura.

I.D.2. Monts des Ouled Naïl

- Les sites de la région d'Amoura : Il s'agit de trois sites, situés à 80 km au Sud-Est de l'agglomération de Djelfa (fig. 30) et circonscrits au niveau de Ksar d'Amoura (fig. 31) :

- Site 18 (Amoura), situé à l'intérieur du village ;
- Site 19 (Amoura-Gorge), situé à 650 m au Sud Ouest du précédent ;
- Site 20 (Amoura-Gaada), situé à 3,5 Km à l'Est du village.

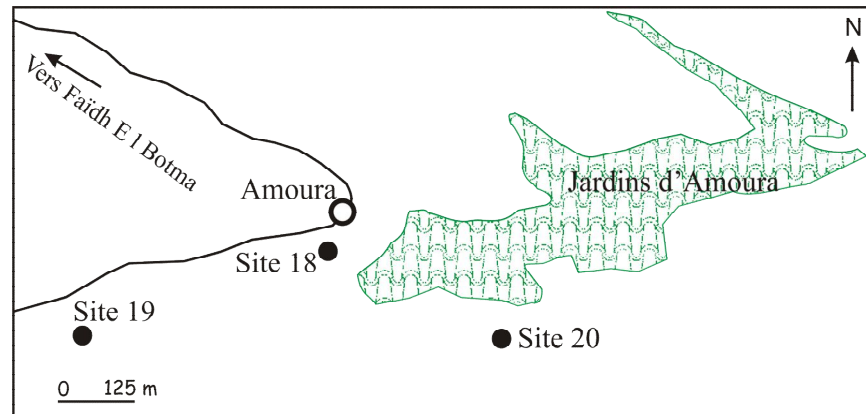


Fig. 31 : Localisation des Sites 18, 19 et 20 d'Amoura.

II. lithologie des niveaux à ichnites

a. Site 16 (Site de Tousmouline)

Il est localisé dans des grès appartenant à la série dite Continental Intercalaire d'âge Barrémien-Aptien-Albien. Localement, les conditions d'affleurement ne permettent pas de préciser, nettement, la position stratigraphique du Site de Tousmouline. Toutefois si l'on suit le niveau vers le Nord-Ouest, il semble correspondre à la fin de la première moitié Continental Intercalaire.

Les empreintes apparaissent au sommet d'un banc gréseux massif (2 m), à grains moyen, intercalé entre deux minces couches argilo-sableuses (0,10 m).

b. Site 08 (Site d'El Bayadh-El Kheneg 3)

Au niveau de cette localité, la sédimentation est matérialisée par la succession suivante du bas vers le haut (fig. 32) :

- des marnes vertes surmontées par des marnes rouges ;
- un ensemble gréseux (0.60 m) formé de grès moyens à fins et constitué de deux bancs

(0,30 m chacun). Le premier, à la base, montre des rides de courants fines parallèles et régulières alors que le deuxième, de même granulométrie et même couleur, est marqué à sa surface supérieure par des fentes de dessiccation et deux empreintes.

La surface à empreintes est surmontée par une succession de marnes rouges, marnes vertes puis des grès rouge brun à rides de courant.

Tous ces dépôts sont datés du sommet du Kimmeridgien (Cornet, 1952).

c. Site 09 (Site d'Ouafeg-Edaoura El Hamra)

Ce site est situé, stratigraphiquement, au sommet du premier tiers du « continental intercalaire ».

À l'affleurement, la succession suivante est observée (fig. 32) :

- une alternance centimétrique marno-sableuse rouge et marnes vertes, à la base, suivie de ;
- un mince niveau (0.05 m) de grès argileux rouge brunâtre dont la surface supérieure renferme, outre des empreintes, des ossements de crocodiliens (Pl. 12 : fig. 4).
- un deuxième niveau gréseux rougeâtre (0.30 m) à rides de courant (Pl. 12 : fig. 5) et ;
- une alternance centimétrique marno-sableuse et marnes vertes.

d. Site 10 (Site d'Ouafeg-Ethénia El Hamra)

Les empreintes sont conservées sur une surface rougeâtre durcie d'un mince banc de grès vert grisâtre (0.15 m), intercalé entre deux fines couches (0,10 m) marno-sableuses rougeâtres. Sa position stratigraphique est similaire à celle du Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra).

e. Site 21 (Site d'Essaguia-Garet El Helfe)

Les empreintes sont observables à la surface d'un banc gréseux rouge brunâtre (fig. 32) situé au sommet du premier tiers de la série géologique d'âge Barrémien-Aptien-Albien.

f. Site 11 (Site de Brezina-Garet Echiheb)

Il apparaît, sur une surface rougeâtre au sommet d'un ensemble (1,5 m) de bancs gréseux jaunâtres, décimétriques, à stratifications obliques.

Cette surface à empreintes est couverte d'une fine couche de marnes vertes (0,10 m).

Ces deux faciès sont attribués, respectivement, aux grès et calcaires de l'Hautérivien (Cornet, 1952).

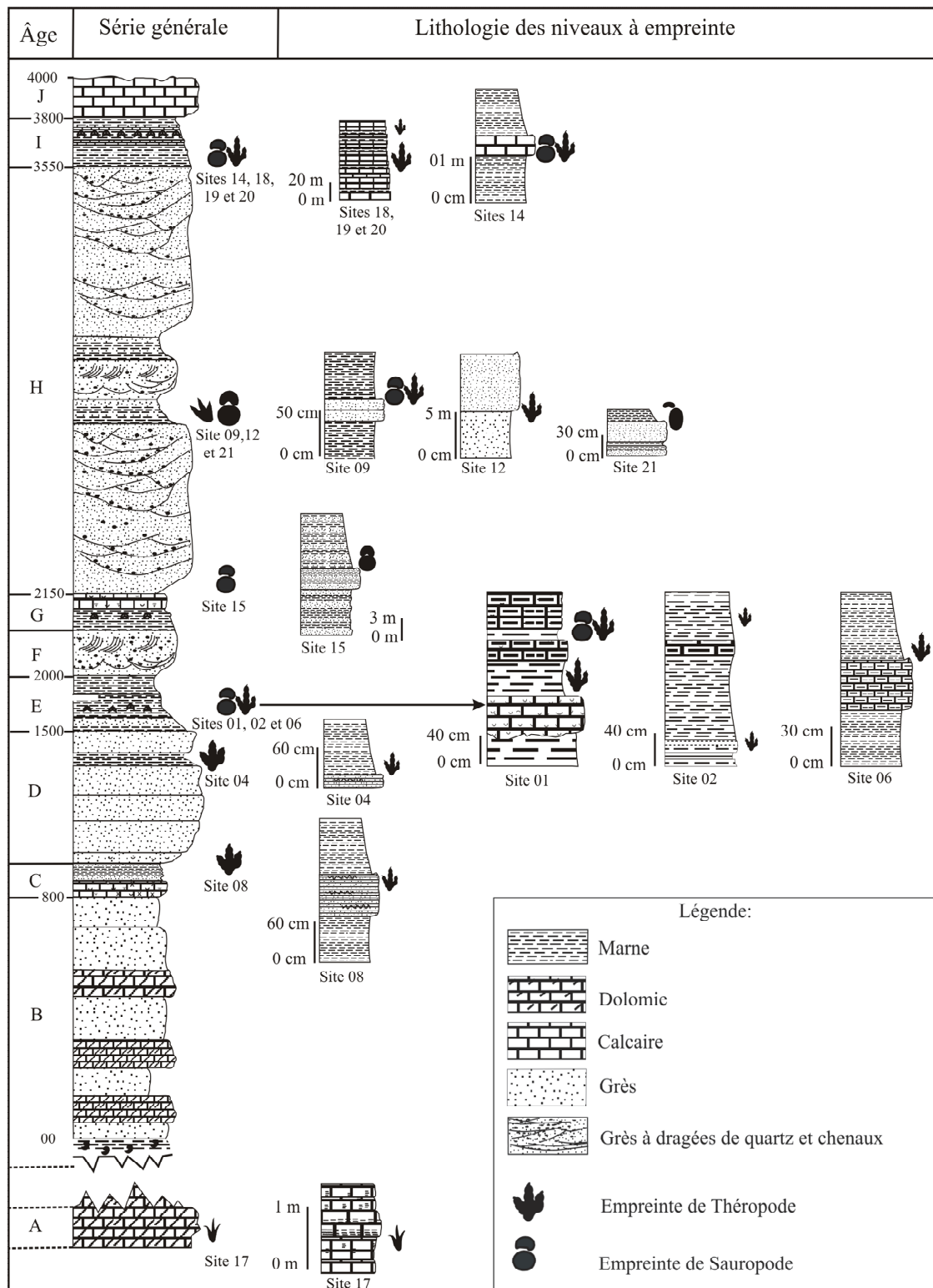


Fig. 32 : Position lithostratigraphique des principaux sites à empreintes de dinosauriens dans la coupe synthétique de l'Atlas saharien (Cornet, 1952 ; Bassoulet, 1973 ; modifiée).

A : Rhétien-Hettangien (Bassoulet, 1973) ; B : Callovien-Oxfordien -Lusitanien, C : Kimméridgien, D : Infra-Crétacé, E : Valanginien, F : Hautérivien gréseux, G : Hautérivien calcaire, H : Barrémien-Aptien-Albien, I : Cénomanien inférieur, J : Cénomanien supérieur-Turonien inférieur(Cornet, 1952).

g. Site 12 (Site de Brezina-Mouilah El Fougani)

Les empreintes sont conservées sur une surface rougeâtre du sommet d'un banc gréseux verdâtre (fig. 32). Il est surmonté d'un banc gréseux jaunâtre fin (0,05 m), suivi d'une succession de bancs gréseux à grains fins jaunâtre. Le niveau à empreinte est localisé vers le sommet du premier tiers de la série gréseuse d'âge Barrémien-Aptien-Albien.

h. Site 13 (Site de Brezina-Hamiet Boulafea)

Il est situé sur un banc (0,20 m) calcaire blanc micritique au début de la formation de Ghoundjaïa du Cénomanién supérieur-Turonien inférieur.

i. Site 14 (Site de Brezina-Daïet Sid El Arbi)

Les empreintes apparaissent sur une surface durcie, au sommet d'un banc (0,40 m) calcaire micritique à fentes de dessiccation (fig. 32). Ce banc est précédé, de bas en haut, par :

- une importante épaisseur de grès grossiers jaunes, blancs ou roses à dragées de quartz et quelques passées de marnes rouges sableuses ;
- des marnes vertes (2 m) ;
- des grès jaunes et blancs à stratifications obliques et à galets mous (7 m).

Le niveau à empreintes est suivi de marnes vertes et rouges (3 m) sur lesquelles reposent, des bancs gréseux blancs à chenaux (5 m), ayant livré des restes de crocodiliens et de dinosauriens (déterminés sur photos par P. Taquet).

C'est dans un faciès similaire, peu éloigné du Site 14 (2 km plus loin vers le Sud-Ouest), que Mahboubi (1983) a récolté une phalange d'un théropode. Stratigraphiquement, le site est situé au sommet du Continental Intercalaire et serait d'âge Albien supérieur-Cénomanién.

j. Site 15 (Site de Sfisifa-Harcha)

Les empreintes sont conservées sur un niveau gréseux, à dix mètres, au dessus du dernier banc de calcaire lumachélique de l'Hautérivién calcaire. Ce dernier est surmonté, de bas en haut, par (fig. 32) :

- une alternance grés-marneuse (7 m) constituée de bancs gréseux blanchâtres (0,20 m) et de marnes vertes (0,35 à 0,90 m) ;
- une succession de deux bancs gréseux à grains moyens à fins différenciables par leur couleur, le premier (0,15 m) blanchâtre, le deuxième (0,20 m) verdâtre.

Domaines et régions		Sites	Superficie (m ²)	Nombre de pistes	Nombre empreinte isolée	Nombre total empreintes	Nombre empreintes mesurées	Nombre Total d'empreintes	Autre traces	Matériel paléontologique	Structures sédimentaires
Monts des Ksours		Site 17	05	01	32	36	05	862	/	/	Mud-cracks
Hautes Plaines	Tousmouline	Site 16	10	01	05	11	03		/	/	Surface rougeâtre
Dj Amour	El Bayadh	Site 1	873,62	10	06	141	104		Empreinte caudale de crocodiliens	Crocodiliens, poissons, bivalves	Surface rougeâtre
		Site 2	173,66	15	15	94	69		Pégadas de mulas, griffes,	Crocodiliens et bivalves	Mud-cracks
		Site 3	25	01	/	13	05		/	Crocodiliens et bivalves	/
		Site 5	90	04	04	12	/		Empreinte caudale de crocodiliens	Crocodiliens et bivalves	/
		Site 6	622,78	07	65	138	43		Empreinte caudale de crocodiliens, rares Pégadas de mulas	Crocodiliens et bivalves	Surface rougeâtre
		Site 8	05	01	/	02	02		/	Bivalves	Mud-cracks
		Site 7	07	/	25	25	09		/	Crocodiliens	Surface rougeâtre
	Ouafeg	Site 9	40	05	/	57	11		/	/	
		Site 10	02	01	06	09	/		/	/	
	Brézina	Site 4	727,83	07	10	65	43		Empreinte caudale de crocodiliens	/	Surface érodée et durcie
		Site 11	05	/	07	07	01		/	Crocodiliens Silacien	Surface rougeâtre
		Site 13	10	/	03	03	/		/	/	/
		Site 12	15	05	05	21	14		/	/	/
		Site 14	60	01	39	42	03		/	/	Mud-cracks
	Sfissifa	Site 15	20	/	50	50	10		/	Débris de bois fossile	Surface rougeâtre
	Saguia	Site 21	40	01	08	17	17				
Ouled Nail	Amoura	Site 18	30	01	34	48	43		Bivalves	Mud-cracks	Bivalves
		Site 19	20	01	38	41	05		/	Bivalves	Mud-cracks et traces de pluie.
		Site 20	45	/	30	30	06		/	Bivalves	Mud-cracks

Tabl. 09 : Inventaire des sites à ichnites et matériels associés de l'Atlas saharien et Hautes Plaines

- une succession de deux bancs gréseux à grains moyens à fins différenciables par leur couleur, le premier (0,15 m) blanchâtre, le deuxième (0,20 m) verdâtre. C'est sur la surface rouge de ce deuxième banc qu'apparaissent les empreintes associées à des débris de bois fossiles ;

- une fine couche (0,10 m) de marnes vertes surmontée par un grès vert (0,20 m) puis une alternance marno-gréseuse rougeâtre, parfois discontinus.

Cornet (1952) considère que ce niveau à empreintes correspond à la base du Continental Intercalaire dont l'âge a été attribué au Barrémien-Aptien-Albien.

L'inventaire de tous les sites recensés dans l'Atlas saharien et les hautes plaines est résumé dans le tableau ci-dessous (Tabl. 09).

III. méthodes d'étude

III. A. Sur le terrain

Pour chaque secteur étudié, une coupe géologique locale est levée afin de placer les niveaux à ichnites dans leur contexte. Les faciès lithologiques et leur contenu paléontologique sont décrits ; des prélèvements de sédiments y sont effectués pour rechercher d'éventuelle microfaune ou microflore. Les empreintes sont mises à jour, bien dégagée, photographiées et mesurées (mesures sur les empreintes et sur les pistes lorsqu'elles sont présentes).

III. B. Au laboratoire

L'étude des empreintes, porte sur deux aspects :

- le premier concerne la mise en forme des données descriptives effectuées sur le terrain, en prenant en compte les différents éléments (orteils, coussinets,...), leur position et les liens organiques existants entre eux. Les contours de chaque forme illustrée en photographie, sont dessinés et finalisés (leurs contours) à l'aide du logiciel Corel DRAW et ce afin de procéder à de meilleures comparaisons ;

- le deuxième aspect est axé sur le traitement des mensurations biométriques des éléments cités et des différentes pistes. L'ensemble de ces mesures est traité par des méthodes appropriées (logiciel Statistica).

Les descriptions morphologiques sont effectuées suivant les méthodes utilisées par nombreux auteurs : (Lapparent et Montenat, 1967 ; Lockley et Jennings, 1987 ; Lockley *et al.*, 1994 ; Dalla Vecchia et Fabio *et al.*, 1998 ; Courel et Demathieu, 2000 ; Demathieu *et al.*, 2002 ; Le

Loeuff *et al.*, 2002 ; Mateus Octavio et Antenes Miguel, 2003 ; Kappus et Cornell, 2003 ; Lockley *et al.*, 2003 ; Phillipe *et al.*, 2003 ; Morino et Benton, 2005 ; Bessedik *et al.*, 2008).

III. C. Méthodes de mesures

III. C.1. Cas d'empreinte individuelle

Une empreinte individuelle peut être gauche ou droite. Elle est dite droite lorsque la griffe du doigt médian (III) est dirigée vers l'intérieur (vers la gauche). La griffe du doigt II est dirigée vers l'intérieur, à l'inverse de celle du doigt IV (Mammeri, 2008).

A l'inverse, une empreinte dite gauche présente la griffe du doigt médian (III) dirigée toujours vers l'intérieur mais vers la droite. Celle du doigt IV montre une griffe dirigée vers l'extérieur mais vers la gauche. En fonction de l'état de conservation et la présence ou non de coussinet digito-métatarsien, deux méthodes de mesures sont utilisées.

Quand elles sont bien conservées, les empreintes tridactyles montrent, respectivement, du doigt II vers le doigt IV (ou de l'intérieur vers l'extérieur) : 2, 3 et 3 ou 4 coussinets digito-métatarsiens. Les formes tétradactyles montrent un quatrième doigt (= doigt I) appelé également hallux. Sa trace s'observe en arrière de l'empreinte vers le côté interne. Deux méthodes sont largement utilisées dans les mesures effectuées sur les empreintes. Méthode de Lull (1953) et celle de Farlow et Lockley (1993).

III. C. 1. 1. Méthode de Lull

Elle a été utilisée par Lull (1953) sur les empreintes de l'Hettangien du Connecticut et du Massachusetts. La mesure considère la totalité de l'empreinte du doigt, prise entre le bout de la griffe et la base de la trace du coussinet de départ du doigt. Dans le cas, de mauvaise conservation de coussinets, la mesure du quatrième (coussinet) est prise sur la totalité de la longueur du doigt IV. (fig. 33 a).

III. C. 1. 2. Méthode de Farlow et Lockley

Elle consiste à mesurer une partie de la trace digitale. Dans ce cas, la longueur du doigt IV correspond à celle des cinq (5) phalanges. Celles des doigts III et II, successivement, aux trois et deux premières (fig. 33 b).

III. C. 2. Au niveau des pistes

Une piste correspond à l'ensemble des empreintes successives laissées par un même individu. Les paramètres mesurés sur une piste (fig. 34) sont : le pas oblique, l'enjambée,

l'angle du pas, l'angle du pas avec la piste, la largeur et la longueur totales de la piste (Mammeri, 2008).

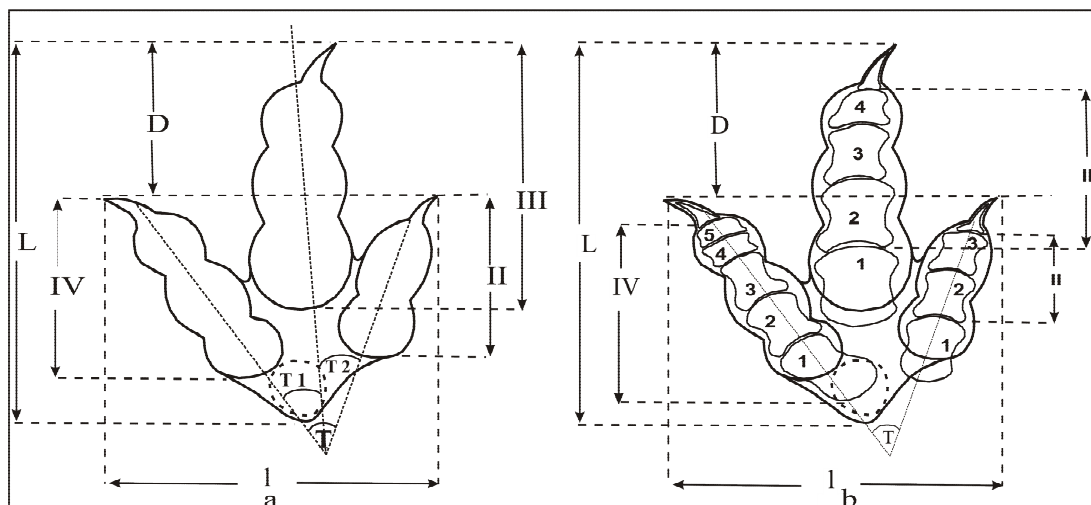


Fig. 33 : Eléments de mesure d'une empreinte.

a : Méthode de Lull (1953) ; **b** : Méthode de Farlow et Lockley (1993).

II, III, IV : Doigts ; D : Distance de dépassement du doigt III par rapport aux doigts II et IV ; T : Angle entre les doigts II et IV ; T1 : angle entre III et IV ; T2 : angle entre III et II ; L : Longueur ; l : Largeur ; 1, 2, 3, 4, 5 : Phalanges.

Dans le présent travail la méthode de Lull (1953) a été adoptée pour l'ensemble des mesures effectuées.

III. C. 2. 1. Le pas oblique

Il correspond à la distance mesurée entre le bout de la griffe du doigt III d'une empreinte et l'arrière de l'empreinte suivante dans une même piste. La valeur du pas oblique n'est pas toujours constante dans une même piste. Elle dépend de la vitesse de déplacement de l'animal. Plus ce dernier va vite, plus grand est le pas. Le maximum est atteint à la vitesse maximale. Le minimum correspond à la position debout de l'animal quand ce dernier s'arrête, un pied avant l'autre (fig. 34 a).

III. C. 2. 2. L'enjambée

Elle correspond à la distance mesurée entre les centres de deux empreintes identiques et successives ; c'est-à-dire que si la mesure est prise à partir d'une gauche, elle se termine par l'empreinte gauche suivante.

Comme pour le pas, la valeur de l'enjambée dépend de la vitesse de déplacement de l'animal. Son maximum est atteint à la plus grande vitesse. Son minimum au repos, correspond à un pas oblique, suivi d'un seul autre avec arrêt (fig. 34 a).

III. C. 2. 3. L'angle du pas

Il est matérialisé par l'angle mesuré sur trois empreintes successives d'une même piste, à l'intersection formée de deux lignes droites. La première droite, passant par l'axe du doigt III, est tracée entre le bout de la griffe du doigt III de la première empreinte et la base (talon) de la suivante. La deuxième droite est tracée entre le bout de la griffe du doigt III de la deuxième empreinte et la base de la troisième (fig.34 a et b).

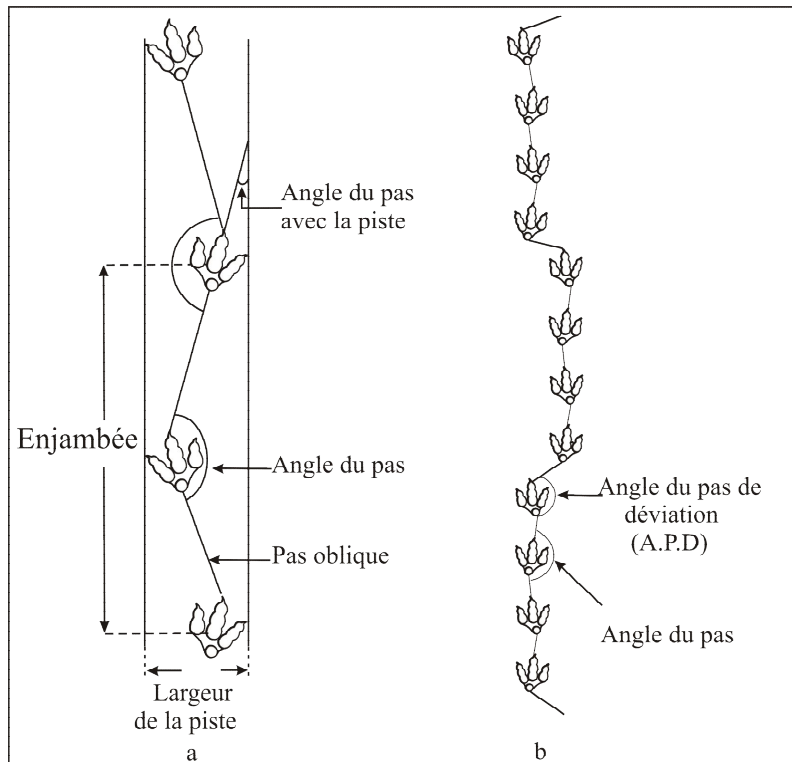


Fig. 34 : Eléments mesurés sur une piste.

a : (selon Demathieu *et al*, 2002) ;
b : (selon Mammeri, 2008).

Enjambée ; Angle du pas avec la piste ; Angle du pas ; Pas oblique ; Angle du pas de déviation (A.P.D) ; largeur de la piste.

III. C. 2. 4. La largeur de la piste

C'est la distance mesurée, sur la même piste, entre l'alignement des empreintes gauches et celui des empreintes droites (deux droites et deux gauches), alignement qui est effectué par rapport à l'extrémité de la griffe du doigt IV., fig. 34 a).

III. C. 2. 5. L'angle du pas avec la piste

Il est mesuré, sur une même piste, à l'intersection de deux droites. La première, passe par l'axe du doigt III et sert dans la mesure de l'angle du pas, la deuxième est tracée par rapport aux limites externes des doigts IV de deux empreintes successives (deux droites et deux gauches). (fig. 34 a). Cette deuxième droite désigne l'alignement des limites des bouts des griffes des

doigts IV de deux empreintes semblables. L'angle du pas avec la piste correspond à la valeur exprimée par l'angle formé entre l'axe de l'empreinte et la direction de déplacement de l'animal.

III. C. 2. 6. La longueur totale de la piste

Elle correspond à la distance totale mesurée entre la première (talon) et la dernière empreinte (griffe du doigt III) de la même piste, dans la direction du déplacement.

III. C. 2. 7. L'angle de pas de déviation

Il est déterminé, sur une même piste, par l'angle du pas mesuré au niveau du changement brusque (fig.34 b) de celui-ci (Mammeri, 2008). Cet angle diminue rapidement suite à un décalage de l'axe de déplacement (balancement de l'animal) et non de la direction générale.

Cette diminution se fait toujours d'une façon régulière et alternée (vers la gauche puis vers la droite ou vice versa) après deux enjambées, en moyenne. Ce paramètre, relatif au déplacement des dinosauriens à empreintes tridactyles ou tétradactyles, a été observé, la première fois, au niveau du Site 1 (Mammeri, 2008). Ce phénomène est observable (fig. 34 b) à chaque fois que la piste est assez longue (Sites 3, 5, 6 et 4).

III. D. Autres Méthodes de mesures

III. D. 1. Paramètres de Weems

Weems (1992) a introduit d'autres paramètres liés à la longueur des doigts en relation avec la longueur du pied et le talon (fig. 35).

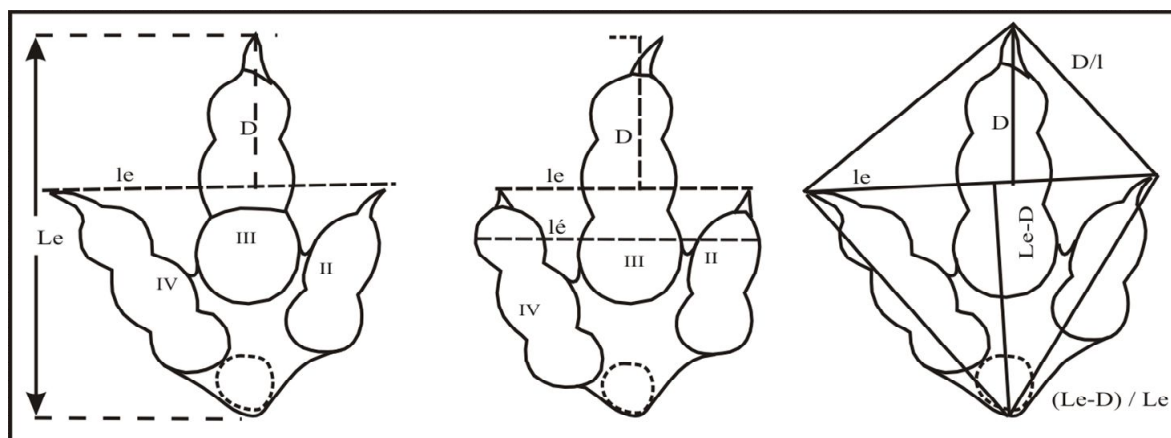


Fig. 35 : Paramètres de Weems (1992, adaptés).

Le : Longueur de l'empreinte ; le : largeur de l'empreinte tracée entre les extrémités distales (griffes) des doigts latéraux ; lé : largeur extrême de l'empreinte ; D : dépassement du doigt III par rapport aux doigts II et IV (griffes comprises) ; Le-D : Longueur de l'empreinte – le dépassement du doigt III par rapport aux doigts II et IV (griffes comprises) ; (Le-D)/Le, D/l : rapports.

III. D. 2. Variation des mesures selon la situation du point de référence (piste bipède)

L'emplacement du centre du pied est généralement en relation directe avec l'affaissement du pied. Il est défini sur les trois éléments suivant : l'axe du pied, hypex des doigts III-IV et le talon.

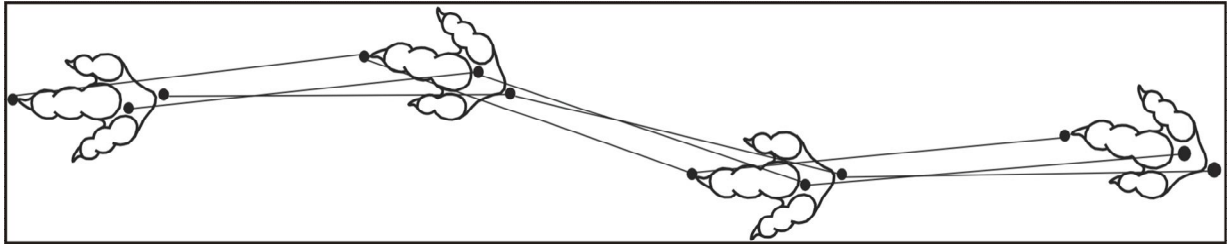


Fig. 36 : Variation des mesures selon la situation du point de référence (Pérez-Lorente, 2001; extrait de Nouri, 2007).

Le meilleur axe de la trace est celui qui forme un angle avec la direction de la piste, c'est-à-dire l'angle formé entre les axes des deux pieds (droit, gauche, fig. 36, 37, 38).

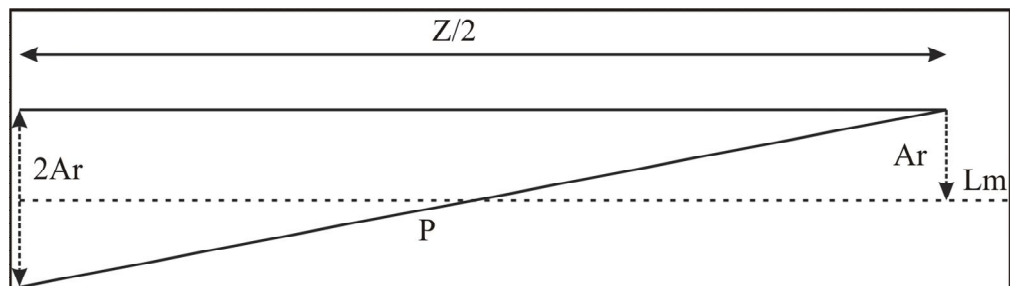


Fig. 37 : Représentation schématique des différentes variables du pas (P)
Selon les formules de Pérez-Lorente (2001 ; extrait de Nouri, 2007) :

Z : enjambée, en centimètre = le double du pas ; P : Pas, distance séparant le centre de deux marques de même pas ; Ar : amplitude de la piste, en centimètre = distance située entre le centre de l'empreinte et la ligne médiane de la piste (Lm).

La mesure du pas sur une piste bipède est donnée suivant la formule : $P^2 = (Z/2)^2 + (2Ar)^2$.

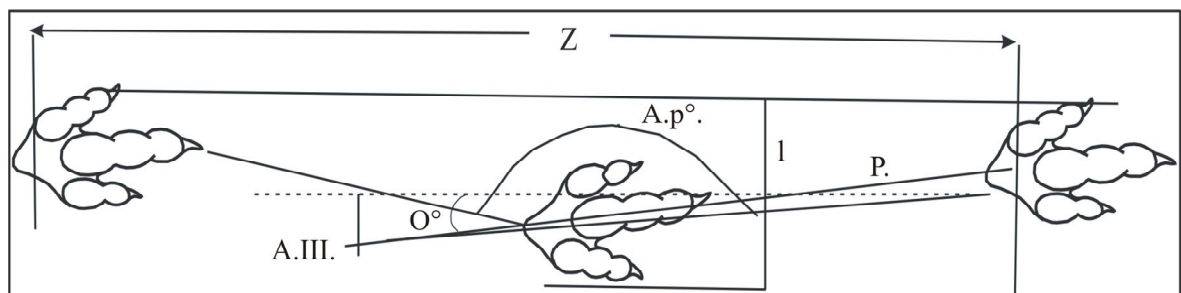


Fig. 38 : Différentes mesures sur une piste bipède (Nouri, 2007).

L'angle de pas ($A. p^\circ$; fig. 38), en degrés, est l'angle formé par deux lignes qui unissent le centre de trois empreintes ininterrompues.

La lumière de la piste (l), en centimètres, est la largeur maximale de la piste. Cette distance est donnée par l'extrémité externe de deux marques du même pied et la perpendiculaire sur cette ligne par rapport à la partie externe de l'empreinte intermédiaire, de l'autopode opposé.

L'orientation (O°), en degrés, est l'intersection entre la ligne médiane (ligne joignant les 2 moitiés de deux pas successifs) et l'axe du pied (A.III.), coïncidant généralement avec le doigt III. Z : enjambée.

III. D. 3. Les mesures effectuées sur les pistes quadrupèdes

Les paramètres mesurables sur les pistes d'empreintes quadrupèdes se résument selon la figure 39.

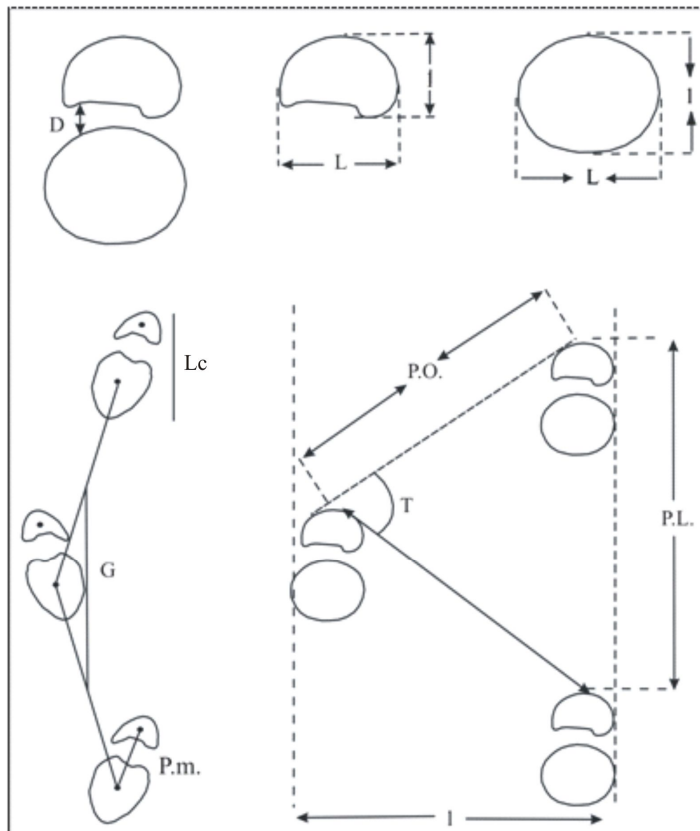


Fig. 39 : Paramètres mesurés sur une piste quadrupède (Bessedik *et al.*, 2008, modifié).

P.L. : pas latéral ; P.O. : pas oblique ; l : largeur ; L. : Longueur ; Lc : allure du couple main-pied ; G : distance gléno-acétabulaire ; P.m. : distance entre main et pied (par rapport aux centre des deux traces) ; D : distance entre main et pied (arrière de la main et devant du pied) ; T : angle entre les tangentes passant par l'avant des mains des deux côtés (gauche et droit)

III. D. 4. Variations des paramètres mesurés suivant le mouvement

Diverses méthodes et plusieurs paramètres sont utilisés et mesurés par différents auteurs suivant l'importance des paramètres considérés, en fonction des possibilités offertes, par l'état de conservation de l'empreinte.

Comme observées et étudiées, les empreintes atlasiques ont permis de mettre en évidence deux catégories de paramètres selon leur stabilité ou non quand l'animal est en mouvement (fig. 40).

-les paramètres variables (fig. 40 ; a) suivant le mouvement (paramètres dynamiques) :

Ce sont la largeur de l'empreinte (l), l'angle de divarication (T) et la distance (D) de dépassement du doigt III par rapport aux doigts latéraux (II et IV).

Ces trois paramètres sont tous liés les uns aux autres. Ainsi, une augmentation de l'angle de divarication entraîne, à la fois, une augmentation de la largeur et de la distance (D) de dépassement du doigt III par rapport aux doigts latéraux (II et IV).

L'angle de divarication varie avec la vitesse de déplacement de l'animal, la nature du sédiment et le degré d'humidité du substrat (Thulborn, 1990). Plus l'individu va plus vite, plus les doigts latéraux s'écartent. Dans ces conditions, il est très difficile alors d'utiliser ce paramètre, comme discriminant, suite à sa grande variabilité.

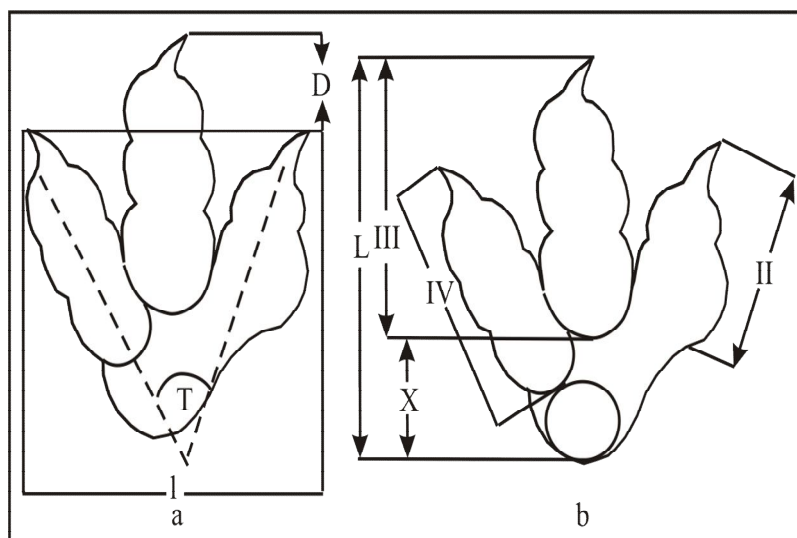


Fig. 40 : Variations des paramètres mesurés sur les empreintes.

a : paramètres non variables suivant le mouvement ;

b : paramètres variables suivant le mouvement.
X : L-Longueur du doigt III,
D = distance de dépassement du doigt III par rapport aux doigts latéraux (II et IV).
L, l : Longueur et largeur,
II, III, IV : doigts.

La nette différence entre les valeurs de ce paramètre est bien perceptible chez les *Ornithopus* et les théropodes. Quant à la largeur de l'empreinte, quoi qu'obligatoirement changeante, sa mesure est moins entachée d'erreur que l'angle de divarication.

- Les paramètres non variables (paramètres statiques) : ce sont la longueur de chaque doigt, la longueur totale de l'empreinte et la distance (X) prise entre la base de l'empreinte et celle du doigt III (fig. 40 ; b).

III. E. Paramètres estimables à partir des empreintes

III. E. 1. Reconstitutions de la hauteur de la hanche

La hauteur de l'animal à la hanche est définie à partir des empreintes (Thulborn, 1990) correspondrait à celle de l'acétabule qui comprend le fémur, le tibia et le métatarse (Fig: 41).

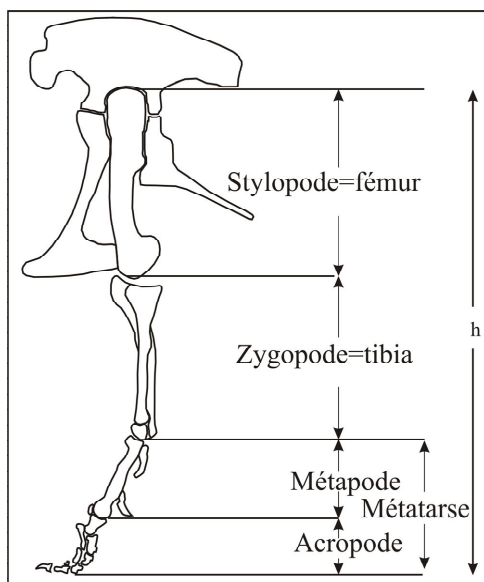


Fig. 41 : Différentes parties d'une extrémité postérieure sans la présentation du basipode qui comprend les os du tarse (Pérez-Lorente, 2001 ; extrait de Nouri, 2007), h : hauteur de l'animal à la hanche.

Différentes formules ont été établies pour calculer la hauteur de l'animal à la hanche (Tabl. 10). De même, divers groupes sont pris en considération, selon les auteurs, dans pour l'établissement de ces règles de calcul.

Petit théropode (Coelurosaure).	L<25 cm	$h=3,06 \times L^{1,14}$	Estimation d'après
Grand théropode (Carnosaure).	L<25 cm	$h=8,06 \times L^{0,85}$	Thulborn (1990).
Ornitomimidos.		$h=5,28 \times L^{1,02}$	
Théropode en général		$h=3,14 \times L^{1,14}$	
Petit Ornithopode.	L<25cm	$h=3,97 \times L^{1,08}$	
Grand Ornithopode.	L<25cm	$h=5,06 \times L^{1,07}$	
Ornithopode en général.		$h=3,76 \times L^{1,16}$	
Sauropode.		$h=4 \times a$	Lockley (1986).
Sauropode.		$h=4 \times L$	Alexander (1976).
Sauropode.		$h=3,6 \times L$	Ishigaki (1988).
Sauropode.		$h=5,9 \times L$	Thulborn (1990).

Tab.10 : Formules de calcul relatives à l'estimation de la hauteur à la hanche (Nouri, 2007).

III. E. 2. La vitesse de locomotion

En général, le déplacement des bipèdes s'effectue selon quatre modes différents (pas, trot, course et saltation) alors que celui des quadrupèdes suivant trois modes (marche, trot et galop).

Le mode de déplacement de l'animal, est apprécié suivant le rapport de la longueur de l'enjambée sur la longueur de l'empreinte. Quand il est supérieur à 2,9 l'animal est en mode de course. Quand il est inférieur à 2 l'animal est en mode de marche.

À partir d'une étude effectuée sur les empreintes d'animaux actuels (cheval, éléphant, antilopes, ...), Alexander (1976) estime que la vitesse de déplacement des dinosaures est de l'ordre de 1.0 à 3.6 m/sec. Aussi, d'autres calculs, utilisant des variantes de la formule, indiquent que les dinosaures se déplaceraient à des vitesses avoisinant 3 m/sec, avec un maximum de 8 m/sec chez *Tyrannosaurus* (Alexandre, 1996).

Deux méthodes de calcul sont utilisées :

-Méthode d'Alexander (1976 ; 1983), elle permet de calculer la vitesse de déplacement suivant la formule ci-dessous : $V = 2,81736 h^{-1,17} * Z^{1,67}$, où **V** : vitesse, de marche ou de course de l'animal en Km/h ; **E** : enjambée (mètre) ; **h** : hauteur de la hanche (mètre).

- Méthode de Demathieu (1984) :

Dans cette deuxième méthode (fig. 42), le déplacement de l'animal est assimilé à celui d'un corps soumis à la pesanteur dans un plan vertical (plan des axes X et Y). Afin de faciliter les calculs, Demathieu assimile le membre à un cône de révolution renversé et donne la formule de calcul suivante : $Vd = 0,280263 \times Z/h^{0,5}$. Vd étant la vitesse de marche ou de course de l'animal en Km/h ; Z : enjambée en centimètres ; h : hauteur de l'animal à la hanche (centimètre).

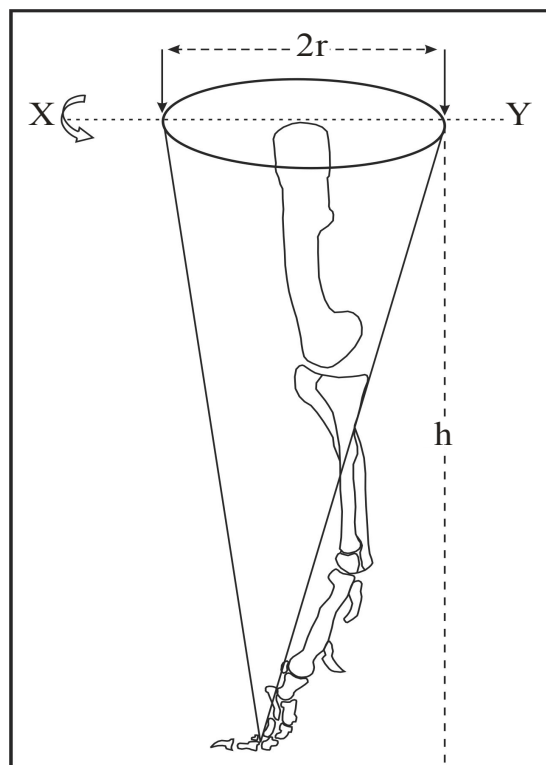


Fig. 42 : Schéma du cône renversé auquel est assimilé le membre (extrait de Nouri, 2007).

2r : diamètre (exagéré pour la clarté du dessin) ; XY : axe de rotation ; h : la hauteur du cône, c'est-à-dire la longueur du membre situé au-dessus du sol (Demathieu, 1984).

III. E. 3. Autres paramètres mesurés sur les pistes quadrupèdes

III. E. 3. 1. Calcul de la distance gléno-acétabulaire et types de marches.

Ce paramètre mesuré sur des pistes permet l'estimation de la taille de l'animal, entre l'épaule et la hanche (fig. 43).

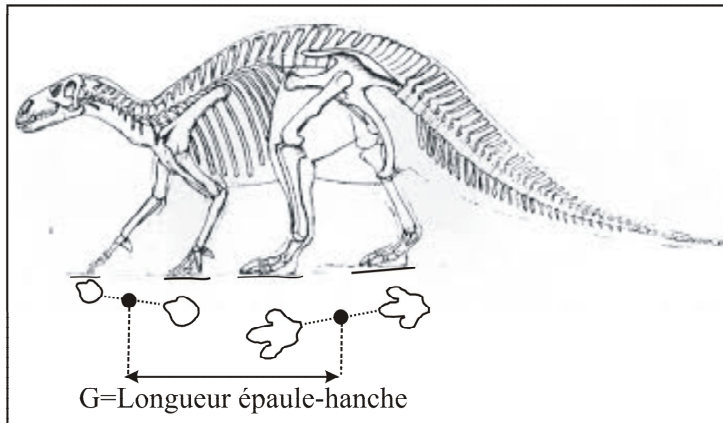


Fig. 43 : Pistes d'animaux quadrupèdes pouvant être employées pour estimer la longueur épaule-hanche ou G (distance gléno-acétabulaire ; Lockley, 1993 ; extrait de Nouri, 2007).

Selon trois types de marches, il peut être calculé comme suit :

- Marche alternée :

C'est le cas des équidés. Ce type de marche (fig. 44) est très efficace et permet un déplacement à des vitesses importantes. La valeur **G** est estimée comme suit :

G = pm + Z/2 (Farlow *et al.* 1989) ; pm = distance entre les empreintes du pied et de la main.

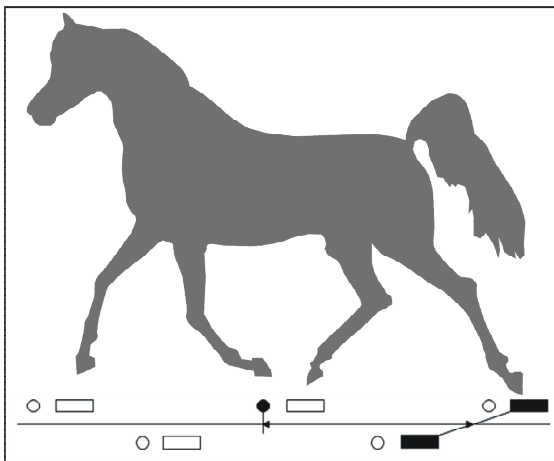


Fig. Fig. 44 : Marche alternée : la distance gléno-acétabulaire est située entre les points des flèches (Pérez- Lorente, 1999 in : Nouri, 2007 modifié).

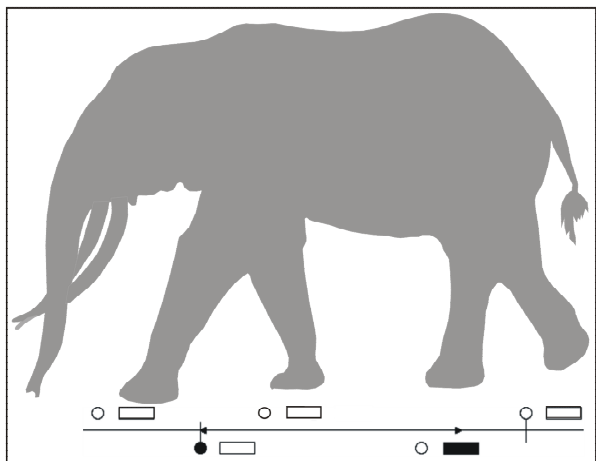


Fig. 45 : Marche amble : la distance gléno-acétabulaire est située entre les points des flèches (Pérez- Lorente, 1999 in Nouri, 2007 modifié)

- **Marche amble :**

Le cas typique étant celui des proboscidiens (fig. 45) qui se déplacent en mouvant en même temps les deux jambes du même côté. Dans ce cas, la valeur **G** est estimée comme suit : $G = pm + Z$ (Farlow *et al.*, 1989).

- **Marche alternée primitive :**

C'est le cas pris chez les lézards où est calculée la distance gléno-acétabulaire (**pm**), soit la distance (fig. 46) entre le point médian du pied et de la main du même pas. Selon Farlow *et al.* (1989), $G = pm + Z/3$.

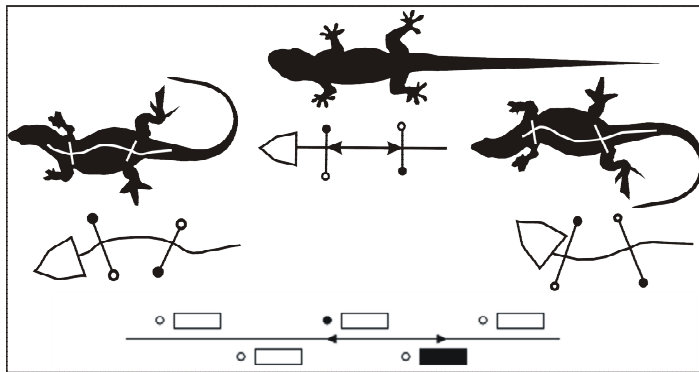


Fig. 46 : Marche alternée primitive (extrait de Nouri, 2007 modifié).

La distance gléno-acétabulaire est située entre les points des flèches (Pérez-Lorente, 1999).

III. E. 3. 2. les comportements des bipèdes

Mossman *et al.* (1983) considèrent qu'une marche efficace, conduisant à un moins d'effort et une plus grande vitesse, est une marche dont la piste est étroite et dont l'enjambé est importante (longue).

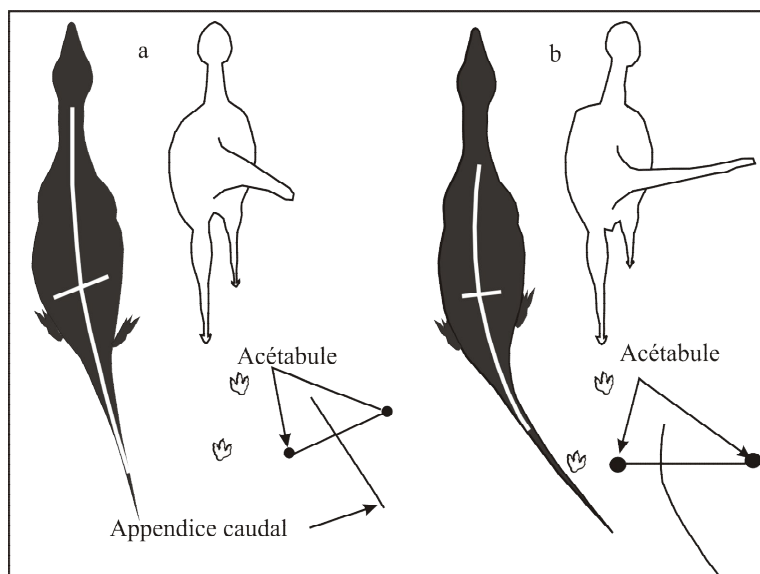


Fig. 47 : Disposition de la queue rigide dans une marche (extrait de Nouri, 2017).

a : sauriforme ;

b : aviforme (Casanovas *et al.* 1993a :

À l'inverse, une piste large et une courte enjambée indiquent une marche inefficace. Deux types de marche, dépendant du rôle de l'appendice caudal sont connus :

- marche sauriforme (fig. 47 a) : la queue reste alignée avec la colonne vertébrale ;
- marche aviforme (fig. 47 b) : la queue sert à l'équilibre de l'animal en mouvement. Elle est dirigée vers la droite ou la gauche suivant que l'animal s'appuie sur sa patte droite ou gauche.

III. F. Classification ichnologique des empreintes

La classification de base (Tabl. 11) est celle de Haubold (1971). Ultérieurement, Carrano et Wilson (2001) établissent une autre classification en se basant sur trois types de corrélations relatives à :

- identification de caractères cohérents entre les empreintes et les données ostéologique (reconstitution squelettiques) établies par Thulborn (1990) ;
- comparaison suivant l'âge, la province des gisements et sites à empreintes et contenu faunistique ;
- identification de critères particuliers typiques de l'ichnotaxe (critères synapomorphiques).

Dans ce cadre, les spécialistes utilisent des critères propres à des Ornithopodes, des Prosauropodes et des Sauropodes, en résumant les données relatives aux descriptions ostéologiques, aux potentialités ichnologiques et l'état de conservation (Tabl.12).

Sub-Classe	Ordre	Sub-Ordre	Infra-Ordre	Super-famille
Archosauria	Thecodontia			
	Crocodylia			
	Saurischia.....	Theropoda.....	Coelurosauria	
			Carnosauria	Tyrannosauroida
				Mégalosauroida
		Prosauropoda		
		Sauropoda		
	Ornithischia..... Pterosauria	Ornithopoda		

Tabl. 11 : Classification des empreintes (Haubold, 1971 ; extrait de Nouri, 2007).

Description ostéologique	potentialité ichnologique	Etat de conservation
<i>Barapasaurus</i> + <i>Omeisaurus</i> + Neosauropode : Le long de l'axe des ongles est latéralement orienté par rapport aux doigts.	Les empreintes des ongles du pied ont été déviées.	Mauvaise
<i>Omeisaurus</i> + Neosauropode : Le transverse minimum du diamètre du métatarse III , IV est moins des 65% par rapport aux métatarses I et II .	Les empreintes des doigts I et II sont plus profondes et plus larges que celles du III et IV .	Modérée
Neosauropode : La limite du métacarpe est subparallèle à la longue surface d'articulation. L'articulation du métacarpe est formée d'un angle de 270°. La vue proximale fait un arc en forme de U.	Les limites des empreintes du métacarpe n'impriment pas la divergence des doigts. L'empreinte de la main est en forme de U.	Modérée Mauvaise
<i>Camarasaurus</i> + <i>Titanosauriformes</i> . Titanosauriformes : La flèche fémorale représente un troisième moyen de déflexion. L'ongle du doigt I de la main est petit ou absent.	Large piste. absence de l'empreinte de l'ongle de la main.	Piste Modérée
<i>Saltasauridae</i> : Condyle fémoral distal s'est relativement, dévié de 10% de l'axis de la main.	Large piste.	Piste Modérée
théropode : Griffe à la dernière phalange du pied. Fonctionnalité tridactyle, pied mésaxonien.	Empreintes des griffes du pied. Empreinte du pied est tridactyle.	Mauvaise Mauvaise
Neotheropoda : Le contact moyen du pied du pubis est large. Le métatarse I est long de plus de 50% que celui, du doigt II . Métatarse V est relativement très peu signalé. Phalange I-1 du pied est subégale à la phalange III-1 .	Empreinte du bout du pubis quand l'animal est appuyé sur le sol. Empreinte du métatarse est courte quand l'animal est appuyé sur le sol. Quand l'animal est appuyé sur le substrat, l'empreinte du métatarse V est très peu signalée. Empreinte de la phalange 1 du doigt I du pied est courte en la comparant avec III-1 pendant l'appui de l'animal.	Présence de quelques traces Présence de quelques traces Présence de quelques traces Présence de quelques traces
<i>Ceratosauria</i> . <i>Coelurosauria</i> : Plumes/filament semblable au filament de la plume.	Empreintes des plumes	Présence de quelques traces

Tabl. 12 : Ostéologie et potentialité de conservation des empreintes des dinosaures (Nouri, 2007). Critères utilisés par Carrano et Wilson (2001) sur quelques théropodes et sauropodes.

I. Introduction

Dans cette partie sera traitée l'analyse des empreintes de pas de dinosaures de l'Atlas saharien algérien. Elle visera, en une première phase, la description des empreintes nouvellement mises à jour, car celles déjà étudiées (Mahboubi *et al.*, 2007 ; Bessedik *et al.*, 2008 ; Mammeri, 2008 ; Mammeri *et al.*, 2011) ne seront reprises que partiellement et, en une deuxième phase, l'étude statistique des mesures effectuées sur l'ensemble des empreintes décrites dans l'Atlas saharien.

A la lumière de ces deux premières phases, les comparaisons des empreintes de l'Atlas saharien avec celles connues à travers le monde seront abordées. Cette troisième partie permet de définir, au mieux, les caractéristiques propres des ichnites de l'Atlas et d'en proposer leur attribution ichnologique.

D'après leurs formes et leurs dispositions, les empreintes étudiées peuvent être rassemblées en deux grandes formes : brontopoïdes appartenant à des dinosaures quadrupèdes et dinosauroïdes bipèdes.

Dans une précédente étude (Bessedik *et al.*, 2008), les ichnites de l'Atlas saharien ont été définies sous l'appellation d'« *Ensembles* » à partir de critères morphologiques spécifiques. Ainsi, en se basant sur les mensurations, des bornes des longueurs et des largeurs des formes dinosauroïdes, trois ensembles dinosauroïdes ont été identifiés comme suit :

-*Ensemble 1* (Pl. 01 : fig. 1 à 6) : L (78 cm à 54 cm) x l (48 à 38 cm),

-*Ensemble 2* (Pl. 02 : fig. 1 et 2) : L (30 cm à 24 cm) x l (23 cm à 19 cm)

-*Ensemble 3* (Pl. 02 : fig. 3 à 5) : L (23 cm à 15 cm) x l (19 à 12 cm),

L'*Ensemble 04* (Pl. 06 : fig. 1 et 2) a été attribué à une forme brontopoïde.

Dans ce sens, l'*Ensemble*, tel qu'il a été défini, représente une entité ichnologique (ichnotaxon). Cependant, cette définition morphologique, conforté par une étude statistique, ne doit pas être confondue avec l'entité zoologique.

Dans la présente étude, le même principe descriptif a été adopté pour définir de nouveaux ensembles. Toutefois, et afin de les différencier de ceux décrits précédemment (Bessedik *et al.*, 2008), le terme « *Ensemble* » sera suivi d'une lettre alphabétique (écrite en majuscule italique). Les résultats obtenus seront corrélés aux *Ensembles* (1, 2, 3, 4) déjà connus dans la région puis aux ichnogenres des grands Causses français, d'Amérique (Nord et Sud), d'Europe, d'Asie et de l'Australie.

II. Description des nouveaux ensembles d'empreintes de dinosaures

Ces ensembles sont définis dans les nouveaux sites et dans d'autres déjà étudiés. En effet, dix nouveaux sites ont été découverts ces dernières années ; ils viennent s'ajouter à ceux (11) déjà connus et étudiés dans les travaux antérieurs (Mahboubi *et al.*, 2004 ; Mahboubi *et al.*, 2007 ; Mammeri, 2008 ; Bessedik *et al.*, 2008, entre autres). Le total des sites connus en Algérie s'élève donc à 21 dont 17 dans la Wilaya d'El Bayadh, 03 dans la Wilaya de Djelfa (Amoura) et 01 dans la Wilaya de Naama (Tiout).

Sont désignés par « nouveaux ensembles » toutes les empreintes non décrites dans les travaux de Bessedik *et al.* (2008). Ils regroupent les empreintes des sites déjà connus (Amoura et Pont de Tiout) et celles des autres découverts après 2004. Les nouveaux ensembles sont définis dans quinze sites dans la wilaya d'El Bayadh., auxquels s'ajoutent ceux des sites d'Amoura (03) et du Pont de Tiout.

Déjà signalées (Mammeri, 2008) dans le site 2 (El Bayadh-El Mouilah ; Tab. 13 ; Bessedik *et al.*, 2008), deux nouvelles pistes (**f** et **g**) sont décrites ici. D'une longueur de 107 cm, la piste **f** montre deux empreintes ($L = 27,5 \text{ cm} \times l = 19,5 \text{ cm}$ en moyenne) ; la piste **g**, longue de 108 cm, en présente deux ($L = 26,5 \times l = 19 \text{ cm}$ en moyenne).

Les empreintes de deux pistes **f** et **g** sont signalées dans le Site 4 (Brezina-El Mezioued). La piste **f**, longue de 27 m, comporte 10 empreintes dont la moyenne de longueur et largeur est de 22 cm x 19 cm. D'une longueur de 07 m, la piste **g** montre des empreintes en mauvais état de conservation, ne permettant pas de prendre des mesures correctes. Les empreintes de ces deux pistes sont tridactyles aux doigts griffus.

Une piste est inventoriée dans le Site 5 (El Bayadh-El Kheneg 1), formée par 27 empreintes successives et 05 empreintes isolées. Ce sont des empreintes de grande taille, tridactyles en mauvais état de conservation, ne permettant pas de les mesurer.

Cinq pistes sont reconnues dans le Site 6 (El Bayadh-El Kheneg 2) ; les pistes **a**, **c** et **d** montrent des empreintes tridactyles aux mensurations proches ($L = 59 \text{ cm} \times l = 50 \text{ cm}$; $L = 59 \text{ cm} \times l = 49 \text{ cm}$) ; elles sont légèrement plus grandes que celles des pistes **b** et **e** ($L = 54 \text{ cm} \times l = 43 \text{ cm}$; $L = 57 \text{ cm} \times l = 46 \text{ cm}$).

Des empreintes tridactyles isolées sont signalées dans le Site 7 (El Bayadh-le Crapaud) dont la moyenne des longueurs et largeurs est de 19 cm X 12 cm.

Sites	Pistes	Déplacement (sens)	Pas (cm)	Enjambée (m)	Apa (°)	lp (cm)	Lp (m)	Ichnites (Effectif)	Ichnites Lxl (cm)
Site 2 (El Bayadh-El Mouilah)	f	N105	77	/	/		1,07	02	27,5 x 19, 5
	g	N310	65	/	/		1,08	02	26,5 x 19
Site 4 (Brezina-El Mezoued)	f	N245	58	1,63	170°	31	27	10	23 x 19
	g	N240	45	1,40	168	30	07	04	/
Site 5 (El Bayadh-El Kheneg 1)	a	N285	75	2,46	154	/	16,4	12	/
Site 6 (El Bayadh-El Kheneg 2)	a	N325	095	3,00	156	89	31,30	19	59 x 49
	b	N265	088	2,75	164	53	11,40	09	57 x 46
	c	N015	092	2,83	144	/	03,49	03	59 x 50
	d	N240	097	2,91	140	96	04,78	04	59 x 50
	e	N055	110	3,20	173	55	11,20	08	54 x 43
Site 7 (El Bayadh-El Crapaud)	/	/	/	/	/	/	/	09	19 x 12
Site 8 (El Bayadh-El Kheneg 3)	/	N50	83	/	/	/	02,10	02	58x51
Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra)	a	N300	90	2,65	165	45	04,35	03	35x26
	b	N310	94	2,74	170	/	02,10	03	37x28
	c	N325	55	1,58	159	21	03,10	05	17x15
	Plusieurs pistes brontopœides (M : 48x33 cm, P : 65x62 cm)								
Site 10 (Ouafeg-Ethenia El Hamra)	/	N330	67	1,40	158	/	02,15	06	/
	Une empreinte brontopœide (42x36 cm)								
Site 11 (Brezina-Garet Echiheb)	/	/	/	/	/	/	/	01	46x36
Site 12 (Brezina-Moulah El Fougani)	a	N35	85	2,40	169	45	04,92	04	38x32
	b	N80	85	2,35	160	/	3,75	03	40x30
	c	N260	74	/	/	/	1,45	02	35x25
	d	N85	92	/	/	/	1,60	02	33x26
	e	N20	88	2,54	165	/	03,80	03	40x39
Site 13 (Brezina-Hamiet Boulaea)	/	/	/	/	/	/	/	03	/
Site 14 (Brezina-Daiet Sid El Arbi)	/	N30	80	240	150	/	03	03	60x52
	Plusieurs pistes brontopœides (M : 75x75 cm. P : 120x110 cm)								
Site 15 (Sfissifa-Harcha)	Plusieurs pistes brontopœides (M : 16x17 cm. P : 24x20 cm)								
Site16 (Tousmouline-le village)	Une piste et 05 empreintes isolées brontopœides (P : 60 x 40 cm)								
Site 17 (Pont de Tiout)	a	N35	17	47	/	/	0,60	05	12 x 7
Site 18 (Amoura)	/	/	/	/	/	/	/	43	23 x 15
Site 19 (Amoura-la Gorge)	a	N80	70	1,69	/	/	/	05	23 x 15
Site20 (Amoura-El Gaada)	/	/	/	/	/	/	/	06	61 x 49
Site 21 (Essaguaia-Garet El Hefte)	Une piste et 08 empreintes isolées brontopœides (M : 39 x 26 cm. P : 80x65 cm)								

Tabl. 13: Effectifs et biométrie des pistes et empreintes de dinosaures (théropœides et sauropœides) étudiées.

Apa : angle du pas ; lp : largeur de la piste ; Lp : longueur de la piste.

Une piste (**a**) à deux empreintes, tridactyles de grande taille ($L = 58 \text{ cm} \times l = 51 \text{ cm}$) a été dégagée dans le site 8 (El Bayadh-El Kheneg 3).

Trois (03) pistes dinosauroïdes (**a**, **b** et **c**) à empreintes tridactyles griffues et plusieurs pistes brontopoïdes enchevêtrées ont été notées dans le Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra). Les empreintes des pistes dinosauroïdes (**a** et **b**) ont des tailles très proches (piste **a** : $L = 35 \text{ cm} \times l = 25 \text{ cm}$; piste **b** : $L = 37 \text{ cm} \times l = 28 \text{ cm}$). La piste **c** montre des empreintes plus petites ($L = 25 \text{ cm} \times l = 14 \text{ cm}$). La forme brontopoïde présente des empreintes en couple (pied-main) plus au moins circulaires à ovales particulièrement celles des pieds. La taille de la trace des pieds est de : $L = 68 \text{ cm} \times l = 62 \text{ cm}$; celle de la main est de : $L = 48 \text{ cm} \times l = 33 \text{ cm}$.

Longue de 2,15 m, une piste à trois empreintes est décrite dans le Site 10 d'Ouafeg-Ethenia El Hamra. Trois empreintes tridactyles, isolées y sont également répertoriées ; elles sont en mauvais état de conservation, ne permettant pas de prendre de mesure correcte. La présence d'une empreinte de pied appartenant à une forme brontopoïde ($L = 42 \text{ cm} \times l = 36 \text{ cm}$) est également signalée.

Le Site 11 (Brezina-Garet Echiheb) présente une seule empreinte de grande taille ($L = 46 \text{ cm} \times l = 36 \text{ cm}$), bien conservée, tridactyle aux doigts griffus. Vu la qualité de conservation de l'unique empreinte, ce site nécessite une fouille approfondie pour mettre à jour de nouvelles empreintes.

Cinq (05) pistes (**a**, **b**, **c**, **d**, **e**) sont recensées dans le Site 12 (Brezina-Mouilah El Fougani) dont les empreintes appartiennent à des formes dinosauroïdes. Ces pistes montrent respectivement 04, 03, 02, 02 et 03 empreintes. Elles sont tridactyles et griffues. Les empreintes des pistes **a**, **b** et **e** ont des longueurs et largeurs très proches (respectivement : $38 \text{ cm} \times 32 \text{ cm}$; $40 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ et $40 \text{ cm} \times 34 \text{ cm}$). Celles des pistes **c** et **d** sont plus petites (respectivement : $35 \text{ cm} \times 26 \text{ cm}$ et $33 \text{ cm} \times 26 \text{ cm}$).

Des empreintes tridactyles de grande taille (dépassant 40 cm de longueurs) sont observées dans le Site 13 (Brezina-Hamiet Boulafea), en mauvais état de conservation, ne permettant pas de prendre de mesure fiable.

Une piste à 03 empreintes tridactyles griffues de grande taille ($L = 60 \text{ cm} \times l = 54 \text{ cm}$) et deux autres empreintes isolées ($L = 60 \text{ cm} \times l = 52 \text{ cm}$) sont relevées dans le Site 14 (Brezina-Daiet Sid El Arbi) ; en outre, des empreintes appartenant à des formes brontopoïdes y sont notées, en couple main ($L = 1 = 75 \text{ cm}$)-pied ($L = 1,20 \text{ m} \times l = 1,10 \text{ m}$).

Plusieurs pistes entre-mêlées appartiennent à des formes brontopoïdes sont reconnues dans le Site 15 (Sfissifa-Harcha) ; ce sont les plus petites empreintes connues jusqu'à ce jour dans l'Atlas saharien (pied = $L = 24 \text{ cm} \times l = 20 \text{ cm}$; main = $L = 16 \text{ cm} \times l = 17 \text{ cm}$).

Les empreintes des formes brontopoïdes du Site 16 (Tousmouline) sont différentes par rapport à celles décrites dans ce secteur ; elles sont allongées (pied : $L = 60 \text{ cm} \times l = 40 \text{ cm}$), préfigurant la trace de griffes des cinq doigts. Une piste et 08 empreintes isolées sont enregistrées dans le Site 21 (Essaguia-Garet El Hefte) ; elles appartiennent à la forme brontopoïde dont la trace du pied est de : $L = 80 \text{ cm} \times l = 65 \text{ cm}$ et celle de la main est de : $L = 39 \text{ cm} \times l = 26 \text{ cm}$.

Une piste (**a**), des contre-empreintes et des empreintes isolées de petite taille, ($L = 12 \text{ cm}$; $l = 7 \text{ cm}$), tridactyles et griffues sont observées dans le Site 17 (Pont de Tiout).

Par ailleurs, plusieurs pistes et empreintes sont repérées dans les Sites 18 (Amoura : empreintes tridactyles avec $L = 23 \text{ cm} \times l = 15 \text{ cm}$) et 19 (Amoura-Gorge : une piste **a** à 03 empreintes et deux empreintes isolées, tridactyles et griffues de même taille que celles des Sites 18 et 20 (Amoura-Gaada : empreintes tridactyles et griffues de grande taille avec $L = 60 \text{ cm} \times l = 49 \text{ cm}$).

III. Morphologie

D'après leur forme et leur disposition, les empreintes étudiées se distinguent par des formes bipèdes appartenant à des dinosauroïdes et des empreintes quadrupèdes appartenant à des dinosaures brontopoïdes. En raison de leur nombre et leur diversité, ces empreintes sont décrites sous forme d'ensembles morphologiques ayant des caractéristiques qualitatives (formes) et quantitatives (biométriques) différentes. Ceci peut s'agir de la définition paléontologique d'un ichnotaxon, pouvant rassembler des populations d'ichnogenres et d'ichnoespèces différentes, notion qui peut contenir en son sein des ichnoespèces créées généralement par leurs auteurs sur la base d'un seul individu, c'est-à-dire sur une seule empreinte.

En plus des quatre ensembles déjà décrits (Bessedik *et al.*, 2008), quatre (04) ensembles de formes (bipèdes) dinosauroïdes sont individualisés dans cette étude et cinq (05) ensembles de formes (quadrupèdes) dinosaures brontopoïdes.

III. A. Formes dinosauroïdes

III.A.1. Ensemble A (Pl. 03 : fig. 1 à 8)

Cet ensemble regroupe toutes les formes tridactyles de grande taille observables au niveau des Sites : 5, 6, 8, 11, 13, 14 et 20. Ce sont des empreintes tridactyles, se singularisant par les critères suivants :

- bornes comprises, respectivement, entre 46 cm (Site 11) et 61 cm (Site 20) pour les longueurs et 36 cm (Site 11) à 52 cm (Site 14) pour les largeurs ;

- pas variant entre 75 cm (Site 5) et 110 cm (Site 6 : piste **e**) ;
- enjambée oscillant entre 240 cm (Site 14) et 320 cm (Site 6 : piste **e**) ;
- largeur de la piste la plus faible (55 cm) enregistrée au niveau de la piste **e** dans le Site 6. La valeur maximale 96 cm est relevée au niveau de la piste **d** du même site ;
- angle de pas variant entre 140 ° (piste **d**) et 173°(piste **e**). Ces deux pistes sont observables dans le Site 6 (Tabl. 13 et 14) ;
- doigts bien écartés et griffus. Leur longueur moyenne respective (Tabl. 14 et 15) est de 29,81 cm (doigt II), 39,42 cm (doigt III) et 32,97 cm (doigt IV).

Ensemble	sites	pistes	Npmbre d'empreintes mesurées	Doigts (cm)			D (cm)	T (degrés)
				II	III	IV		
A	Site 5 (El Bayadh-El Kheneg1)	a	12	/	/	/	/	/
	Site 6 (El Bayadh El Kheneg 2)	a	19	32,85	42,35	36,60	16,55	66,44
		b	09	25,50	37,13	28,63	13,88	66,25
		c	03	32,67	42,33	36,67	16,67	66,67
		d	04	25,50	36,75	28,25	14,25	56,75
		e	08	30,00	40,38	33,63	15,50	59,00
	Site 8 (El Bayadh-El Kheneg 3)	/	02	31,50	35,00	34,00	12,50	48,50
	Site 11 (Brezina-Garet Echiheb)	/	01	29,00	33,00	29,00	13,00	55,00
	Site 14 (Brezina-Daiet Sid El Arbi)	/	03	30,00	34,00	29,50	19,80	46,50
	Site20 (Amoura-Gaada)	/	06	30,00	42,17	33,67	11,83	49,63

Tabl. 14 : Effectifs et biométrie (moyenne) des pistes et empreintes de l'Ensemble A.

D : Distance de dépassement des doigts III par rapport aux doigts II et IV ; T : Angle de divarication (doigts II et IV).

Bornes de l'Ensemble A	Paramètres mesurés							Paramètres calculés						
	II	III	IV	D	T	L	I	L/I	III/II	III/IV	IV/II	III/D	L/III	L/D
B1	25,00	33,00	28,00	1100	45,00	46,00	36,00	1,13	1,03	1,00	0,97	2,33	1,28	2,46
B2	34,00	43,00	37,00	24,00	67,00	61,00	52,00	1,32	1,52	1,36	1,24	3,91	1,68	5,45
Moy	29,81	39,42	32,97	15,18	56,57	56,35	46,55	1,21	1,33	1,20	1,11	2,76	1,43	3,84

Tabl. 15 : Paramètres biométriques de l'Ensemble A.

B1 : Borne 1 (minimum) ; **B2** : Borne 2 (Maximum) ; **Moy** : Moyenne ; II, III, III, IV, IV : Doigts ; D : Distance de dépassement des doigts III par rapport aux doigts II et IV ; T : Angle de divarication (doigts II et IV) ; L : Longueur de l'empreinte, l : Largeur de l'empreinte ; L/I, III/II, III/IV, IV/II, III/D, L/III, L/D : Rapports.

Certaines empreintes de ce groupe peuvent avoir quelques traits morphologiques propres comme :

- doigts larges, griffes recourbées et larges à leur base (Site 6) ;

-empreintes moyennement conservées, de grande envergure avec un angle de divarication avoisinant 50° (Site 8).

Cet écart morphologique est lié aux dimensions peu éloignées des empreintes (longueur = 58 cm ; largeur = 51 cm ; doigt II = 31,5 cm ; doigt III = 35 cm et doigt IV = 34 cm).

A l'inverse, les empreintes du Site 14 (Brezina-Daïet Sid El Arbi) sont plus allongées, peu marquées sur le substrat et ne présentent aucun coussinet. Elles sont à ranger dans la catégorie de conservation moyenne (Mammeri, 2008).

Les empreintes du Site 13 sont de grande taille, tridactyles et mal conservées. L'empreinte du Site 11 est bien conservée ; elle montre un doigt II très net, à coussinets bien visibles dont la griffe est recourbée et bien marquée (fig. 48).

Les empreintes du Site 20 montre une position centrale du coussinet digito-métatarsien (départ du doigt IV). Aussi, elles se distinguent de celles des Sites 6 et 14 par la position externe de leur coussinet digito-métatarsien.

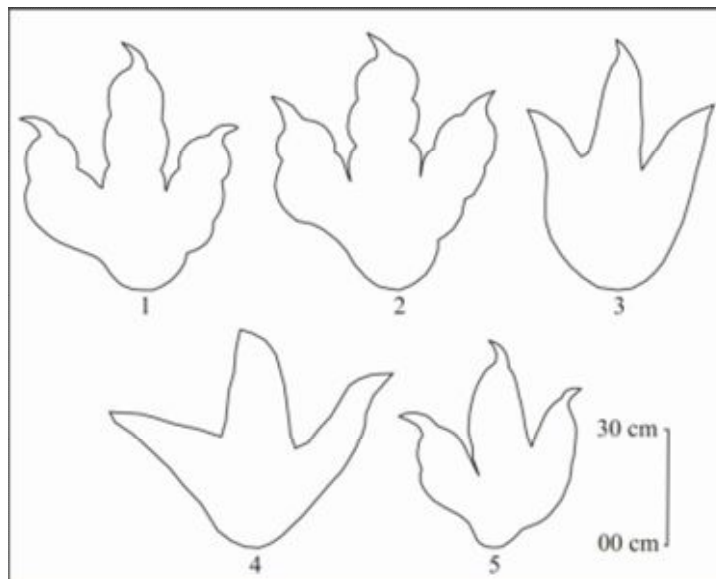


Fig. 48 : Empreintes de l'*Ensemble A*.

1 : Site 6 (El Bayadh-El Kheneg 2) ; 2 Site 20 (Amoura-Gaada) ; 3 : Site 14 de (Brezina- Daïet Sid El Arbi) ; 4 : Site 8 (El Bayadh-El Kheneg 3) ; 5 : Site 11 (Brezina-Garet Echiheb).

III.A.2. Ensemble B (Pl. 04 : fig. 1 à 3)

Il est représenté par les empreintes des pistes **a** et **b** du Site 9 et celles des pistes **a**, **b**, **c**, **d** et **e** du Site 12. La longueur de l'empreinte est comprise entre 40 cm (piste **e** : Site 12) et 33 cm (dans le même site: piste **d**). Sa largeur varie entre 34 cm (Site 12 : piste **e**) et 25 cm (Site 12 : pistes **c** et **d** ; Site 9 : piste **a**). Le pas oscille entre 94 cm (Site 9 : piste **b**) et 74 cm (Site 12 : piste **c**). L'enjambée

varie entre 274 cm (Site 9 : piste **b**) et 235 cm (Site 12 : piste **b**). La largeur de la piste varie entre 45 cm (Site 9 : piste **a**) et 41 cm (Site 12 : piste **a**). L'angle du pas varie entre 170° (Site 9 : piste **b**) et 160° (Site 12 : piste **b** ; Tabl. 13).

Les empreintes de l'*Ensemble B* appartiennent à des formes dinosauroïdes à doigts griffus et bien écartés (Tabl. 16). Le doigt II (18,25 cm de longueur, en moyenne) montre deux coussinets. Par rapport au doigt IV, il est nettement avancé vers l'avant et plus détaché du reste de l'empreinte. Avec ses trois coussinets, le doigt III (23,33 cm de longueur en moyenne ; Tabl. 17) est le plus long et le plus avancé. Le doigt IV (18,85 cm de longueur en moyenne) est pourvu également de trois coussinets.

<i>Ensemble</i>	sites	pistes	Nb d'empreintes mesurées	Doigts (cm)			D (cm)	T (degrés)
				II	III	IV		
<i>B</i>	Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra)	a	03	16	22,5	16	06	46,5
		b	03	17,5	19	18	07	53
	Site 12 (Brezina-Moulah El Fougani)	a	03	20	25	20	09	43
		b	01	20	27	25	08	40
		c	01	20	25	20	09	39
		d	01	19	24	20	07,5	40
		e	02	22	27	23,5	09,5	35

Tabl. 16 : Effectifs et biométrie (moyenne) des pites et empreintes de l'*Ensemble B*.

D : Distance de dépassement des doigts III par rapport aux doigts II et IV ; **T** : Angle de divarication (doigts II et IV).

Les empreintes appartenant à cet ensemble sont, au niveau du Site 12, plus ramassées et leurs doigts moins séparés (fig. 49). En fonction de leur dimension (taille, forme) et leur état de conservation, deux formes d'empreintes sont décrites dans ce Site 9 : la première, plus grande (L = 37 x l = 28 cm en moyenne), la deuxième, plus petite (L = 27 cm x l = 15 cm en moyenne). Les empreintes de cette dernière forme montrent un doigt II plus large et plus écarté qu'il ne l'est chez la première forme.

Bornes de l' <i>Ensemble B</i>	Paramètres mesurés							Paramètres calculés						
	II	III	IV	D	T	L	I	L/I	III/II	III/IV	IV/II	III/D	L/III	L/D
B1	16,00	19,00	16,00	06,00	35,00	33,00	25,00	1,18	1,06	1,08	0,89	2,38	1,38	3,89
B2	20,00	27,00	25,00	09,00	53,00	40,00	34,00	1,42	1,50	1,38	1,25	3,67	1,95	5,67
Moy	18,25	23,33	18,85	07,58	43,50	36,00	27,38	1,32	1,28	1,23	1,04	3,11	1,55	4,81

Tabl. 17 : Paramètres biométriques de l'*Ensemble B*.

B1 : Borne 1 (minimum) ; **B2** : Borne 2 (Maximum) ; **Moy** : Moyenne ; **D** : Distance de dépassement des doigts III par rapport aux doigts II et IV ; **T** : Angle de divarication (doigts II et IV) ; **L** : Longueur de l'empreinte, **l** : Largeur de l'empreinte ; **L/I**, **III/II**, **III/IV**, **IV/II**, **III/D**, **L/III**, **L/D** : Rapports.

D'un site à l'autre, les empreintes de l'*Ensemble B* présentent une légère différence morphologique, tel est le cas des empreintes des pistes **a**, **b**, **c**, **d** et **e** (Site 12) et **a** et **b** (Site 9). En effet sur les empreintes de ces pistes, le doigt II est plus large et plus écarté par rapport aux autres doigts constatés dans le Site 12 qu'il ne l'est dans les pistes **a** et **b** (Site 9).

À souligner que l'état de conservation (moyen) de ces empreintes fait que certaines, bien que semblables, présentent de légères différences (fig. 49). A noter que les empreintes des Sites 9 et 12 sont localisées sur la surface d'un même banc gréseux.

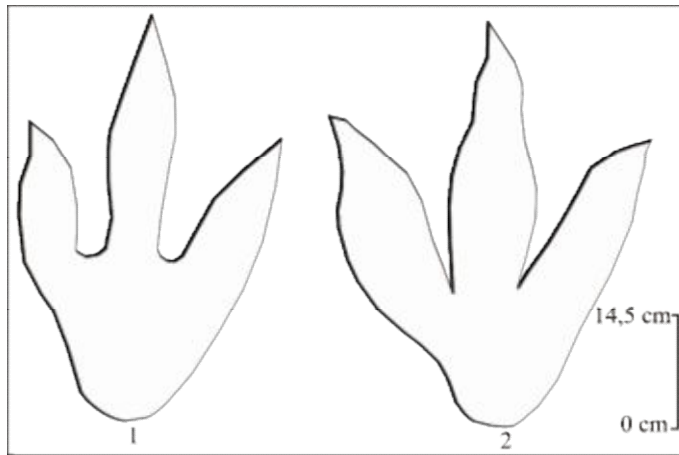


Fig. 49 : Exemple d'empreintes très proches de l'*Ensemble B*.

1: Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra),
2 : Site 12 (Brézina-Mouilah El Fougani).

III. A. 3. Ensemble C (Pl. 04 : fig. 4 à 9)

Il est constitué des empreintes des pistes **f**, **g** (Sites 2 et 4), **c** (Sites 7 et 8) et toutes les pistes des Sites 18 et 19 (Tabl. 13). La longueur de l'empreinte est comprise entre 25,5 cm (piste **f** : Site 2) et 19 cm (piste **c** : Site 7). La largeur s'étend entre 19,5 cm (piste **f** : Site 2) et 12 cm (piste **c** : Site 7).

Ensemble	sites	pistes	Nbre d'empreintes mesurées	Doigts (cm)			D (cm)	T (degrés)
				II	III	IV		
C	Site 2 (El Bayadh-El Mouilah)	f	02	14,00	20,50	17,75	10,50	56,00
		g	02	14,25	19,50	17,25	10,25	53,50
	Site 4 (Brézina-El Mezioued)	f	05	11	15	12	08,5	51,00
	Site 7 (El Bayadh-le Crapaud)	/	09	8,72	12,44	9,00	8,44	45,50
	Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra)	c	03	14	16,5	13,5	05,5	45,00
	Site 18 (Amoura)	/	29	9,77	15,98	12,12	8,65	50,00
	Site 19 (Amoura-Gorge)	a	05	9,60	16,40	13,40	8,60	50,40

Tabl. 18 : Effectifs et biométrie (moyenne) des pistes et empreintes de l'*Ensemble C*.

D : Distance de dépassement des doigts III par rapport aux doigts II et IV ; T : Angle de divarication (doigts II et IV).

Le pas varie entre 77 cm (piste **f** : Site 2) et 45 cm (piste **g** : Site 4). L'enjambée est comprise entre 170 cm (piste **a** : Site 12) et 140 cm (piste **g** : Site 4). La largeur de la piste est de 21 cm (piste

c : Site 9) et peut atteindre 31 cm (piste **f** : Site 4). L'angle du pas oscille entre 170° (piste **f** : Site 4) et 159° (piste **c** : Site 9). Il s'agit de formes tridactyles, assez grêles, aux doigts écartés et griffus (Tabl. 18).

Le doigt II (10,11 cm de longueur en moyenne), plus avancé que le doigt IV, est le plus court des trois. Long de 15,71 cm (en moyenne), le doigt III est plus long et plus large des trois. Le doigt IV, avec une longueur moyenne de 12,19 cm, est bien décalé vers l'arrière par rapport aux autres doigts (Tabl. 19).

Les empreintes de la piste **c** (Site 9) rattachées à cet ensemble sont bien conservées voire moyennement conservées (fig. 50) ; l'une d'entre elles, montre un talon légèrement étroit à bourrelet net, le doigt II complet avec coussinets et trace de la griffe. Les empreintes de la piste **a** (Site 19) sont complètes. Leur doigt II présente un coussinet de départ plus petit que le deuxième portant la griffe. C'est un caractère propre aux empreintes des Sites 18 et 19, non observé par ailleurs.

Borne Ensemble C	Paramètres mesurés						Paramètres calculés							
	II	III	IV	D	T	L	I	L/I	III/II	III/IV	IV/II	III/D	L/III	L/D
B1	8,00	11,50	8,00	05,50	42,00	18,00	11,00	1,16	1,07	1,09	0,90	1,33	1,32	2,11
B2	15,00	20,50	18,00	10,50	57,00	27,50	19,50	1,88	1,89	1,63	1,47	3,09	1,64	04,36
Moy	10,11	15,71	12,19	8,61	49,38	22,92	15,03	1,54	1,56	1,30	1,21	1,84	1,47	2,70

Tabl. 19 : Paramètres biométriques de l'Ensemble C

B1 : Borne 1 (minimum) ; B2 : Borne 2 (Maximum) ; Moy : Moyenne. II : Doigt II ; III : Doigt III ; IV : Doigt IV ; D : Distance de dépassement des doigts III par rapport aux doigts II et IV ; T : Angle de divarication (doigts II et IV) ; L : Longueur de l'empreinte, l : Largeur de l'empreinte ; L/I, III/II, III/IV, IV/II, III/D, L/III, L/D : Rapports.

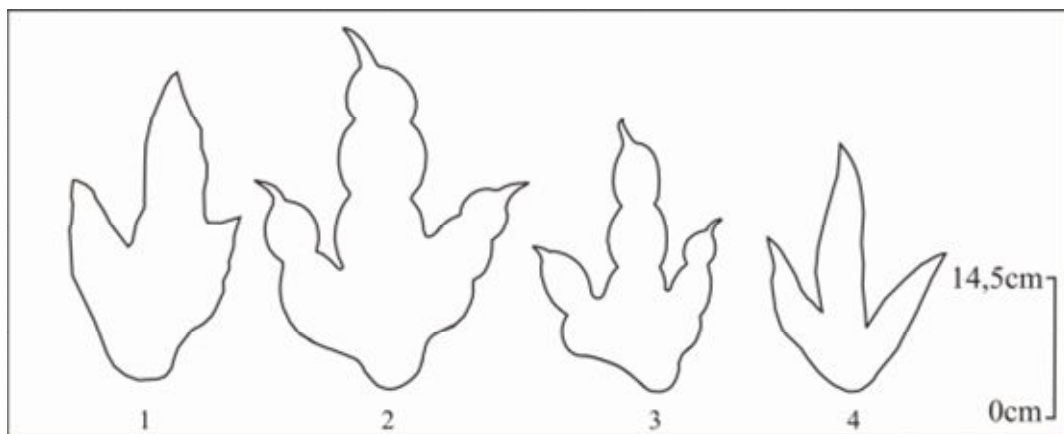


Fig. 50 : Principales empreintes de l'Ensemble C.

1 : Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra) ; 2 : Site 2 (El Bayadh-El Mouilah) ; 3 : Site 19 (Amoura-Gorge) ; 4 : Site 7 (El Bayadh-le Crapaud).

III. A. 4. Ensemble D (Pl. 05 : fig. 1 à 7)

Il représente les empreintes et contre-empreintes du Site 17 (Pont de Tiout). La longueur de l'empreinte est comprise entre 10 et 13 cm, sa largeur entre 6 et 7,5 cm (Tabl. 20 et 21).

Ensemble	sites	piste	Nbre d'empreintes mesurées	Doigts (cm)			D (cm)	T (degrés)
				II	III	IV		
D	Site 17 (Pont de Tiout)	a	05	5,40	8,30	6,30	5,10	35,80

Tabl.20 : Effectifs et biométrie (moyenne) des pistes et empreintes de l'*Ensemble D*.

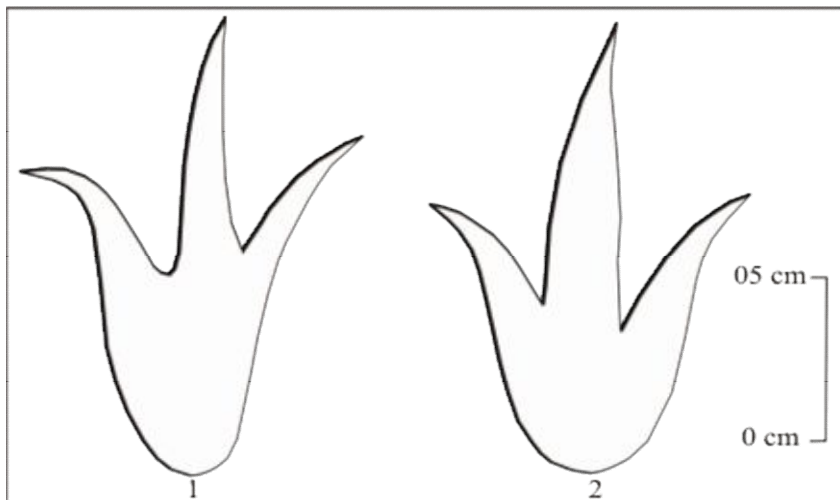
D : Distance de dépassement des doigts III par rapport aux doigts II et IV ; T : Angle de divarication (doigts II et IV).

Bornes Ensemble D	Paramètres mesurés							Paramètres calculés						
	II	III	IV	D	T	L	I	L/I	III/II	III/IV	IV/II	III/D	L/III	L/D
B1	4,5	7,5	5,0	04,5	33,0	10,0	6,0	1,50	1,45	1,23	1,11	1,45	1,33	2,18
B2	6,0	9,5	7,0	5,5	38,0	13,0	7,5	1,73	1,67	1,50	1,20	1,73	1,50	02,44
Moy	5,4	8,3	6,3	5,10	35,8	11,70	7,2	1,63	1,54	1,32	1,17	1,63	1,41	2,30

Tabl. 21 : Paramètres biométriques de l'*Ensemble D*.

B1 : Borne 1 (minimum) ; **B2** : Borne 2 (Maximum) ; **Moy** : Moyenne ; D : Distance de dépassement des doigts III par rapport aux doigts II et IV ; T : Angle de divarication (doigts II et IV) ; L : Longueur de l'empreinte, l : Largeur de l'empreinte ; L/I, III/II, III/IV, IV/II, III/D, L/III, L/D : Rapports.

La valeur (taille) du pas mesurée *in-situ* est de 17 cm (Tabl.13). L'enjambée est de 47 cm. Ce sont les plus petites et les plus anciennes (stratigraphiquement) empreintes observées dans l'Atlas saharien. Elles sont tridactyles, grêles aux doigts fins et peu écartés (fig. 51-2). L'une des empreintes de ce site (fig. 51-1) se singularise par un doigt II nettement plus recourbé vers l'extérieur que les autres (fig. 51).

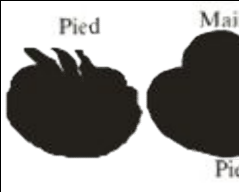
Fig. 51 : Empreintes de l'*Ensemble D* du Site 17 (Pont de Tiout).

III. B. Formes brontopoides

Sous le terme de « brontopoides » sont regroupées (Tabl. 22) toutes les empreintes morphologiquement rondes à ovales dont l'arrangement se fait, généralement, par paire (pied et main). Il s'agit de celles déjà décrites dans le Site 1, *Ensemble 4* (Bessedik *et al.*, 2008) et les formes des Sites 9, 14, 15, 16 et 21. Il faut y ajouter la seule empreinte de pied (sans piste) du Site 10, difficilement déterminable.

III. B. 1. Ensemble E (Pl. 07 : fig. 1 à 3)

Représenté au niveau du Site 9 (fig. 52), l'*Ensemble E* présente une trace de la main (L=48 cm x l= 33 cm), de forme plus au moins ovale, creuse en arrière. Certaine empreinte de la main dévoile la trace d'un ongle et d'un pôle légèrement visible voire floue, devant correspondre probablement à la trace du doigt I.

Sites	<i>Ensembles</i>	Taille (L et l en cm)		Ratio surfaces main /pied	Morphologie	Observations
		Main	Pied			
1	4	30 X 22	41 X 30	0,53 (1 : 2)		Trace d'ongle non visible
9	E	48X33	68X62	0,40 (1 : 2,5)		Trace d'ongle et de griffe non visible
14	F		60X40			Traces d'ongles et de griffe
15	G	16X17	24X20	0,56 (1 : 2)		Trace d'ongle non visible
16	H	75X75	120x110	0,43 (1 : 2,5)		Traces de griffes
21	I	39X26	80X65	0,19 (1 : 5)		Traces d'ongles et de griffes

Tabl. 22: Caractéristiques biométriques des formes brontopoïdes (*Ensembles E, F, G, H, I* et 4).

Ensemble E (Site 9 : Ouafeg-Edaoura El Hamra) ; *Ensemble F* (Site 14 : Brezina-Daiet Sid El Arbi) ; *Ensemble G* (Site 15 : Sfissifa- Harcha) ; *Ensemble H* (Site 16 : Tousmouline) ; *Ensemble I* (Site 21 : Essaguia-Garet El Helfe) ; *Ensemble 4* (Site 1 : El Bayadh-El Grarij).

La trace du pied (L = 68 cm x l = 62 cm) est presque circulaire et se place tout juste en arrière de celle de la main, sans la toucher. Bien que riche en empreintes, ce site ne présente aucune piste décelable ou mesurable. En effet, il s'agit de plusieurs dizaines d'empreintes de grande et petite taille,

toutes entremêlées, montrant toutefois un même sens d'orientation (N 330 E ; Pl. 9 et 10 ; 1 et 2). Le ratio main : pied est de 0,40 (1 : 2,5).

III. B. 2. Ensemble F (Pl. 08 : fig. 1 et 2)

Il représente des traces observées dans le Site 16 (Tousmouline), l'unique site localisé en dehors de l'Atlas saharien. D'une manière générale, les empreintes sont mal conservées. Une seule piste a été décelée, floue et discontinue ; elle semble large d'envergure (distance entre les empreintes droites et gauches). Quelques empreintes montrent des détails de traces de doigts, traces concernant notamment les griffes des cinq doigts sur l'empreinte allongée ($L = 60 \text{ cm}$ x $l = 40 \text{ cm}$; fig. 52, Tabl. 13 et 22).

III. B. 3. Ensemble G (Pl. 08 : fig. 3 à 5)

Il s'agit des empreintes décrites dans le Site 15 (Tabl. 13 et 22). Comparées aux empreintes de l'ensemble des sites, celles-ci sont de très petite taille et mal conservée, état qui est accentué par l'érosion, en raison de leur localisation dans le lit d'une chaabat (fig. 52). La trace du pied ($L = 24 \text{ cm}$ x $l = 20 \text{ cm}$) est plus au moins ovale ; celle de la main est pratiquement ronde (16 cm x 17 cm) et se place à 05 cm devant celle du pied.

La position des couples main-pied indique des déplacements dans de nombreux et différents sens. L'un des couples main-pied, laisse entrevoir des traces d'ongles en avant de l'empreinte du pied, légèrement érodées voire floues. Le ratio main/pied est de 0,56 (1 : 2).

III. B. 4. Ensemble H (Pl. 09 et 10 : fig. 1 à 6)

Il regroupe des empreintes de grande taille du Site 14 (Tabl. 13 et 22 ; fig. 52 a et b.). La trace de la main est presque circulaire ($L = l = 75 \text{ cm}$). Celle-ci est recouverte partiellement (côté arrière) par celle du pied. L'empreinte du pied est plus au moins circulaire ($L = 1,20 \text{ m}$ x $l = 1,10 \text{ m}$) où l'on peut constater, sur un exemplaire, la présence de traces de griffes et deux ongles.

III. B. 5. Ensemble I (Pl. 11 : fig. 1 à 6)

Il comporte une piste formée par une suite de neuf empreintes et de huit autres isolées. Le pas mesuré entre l'avant de la trace de la main et l'arrière de la trace suivante du pied est de 1,5 m. L'enjambée est de 2,90 m ; l'angle de pas (T) est évalué à 85° ; la largeur de la piste (r) est de 1,40 m. La distance entre la droite reliant les centres de deux traces successives de la main (Ar main) et l'axe de la piste est de 46 cm (fig. 53). Celle décrite par la droite reliant les centres de deux traces successives du pied (Ar pied) et l'axe de la piste est de 30 cm.

Le rapport Ar_{main}/r est égal à 0,65, celui relatif au pied Ar_{pied}/r est de 0,42. Ces valeurs de ratio, telles qu'elles ont été définies par Lockley *et al.* (1994), indiquent une piste de type étroit.

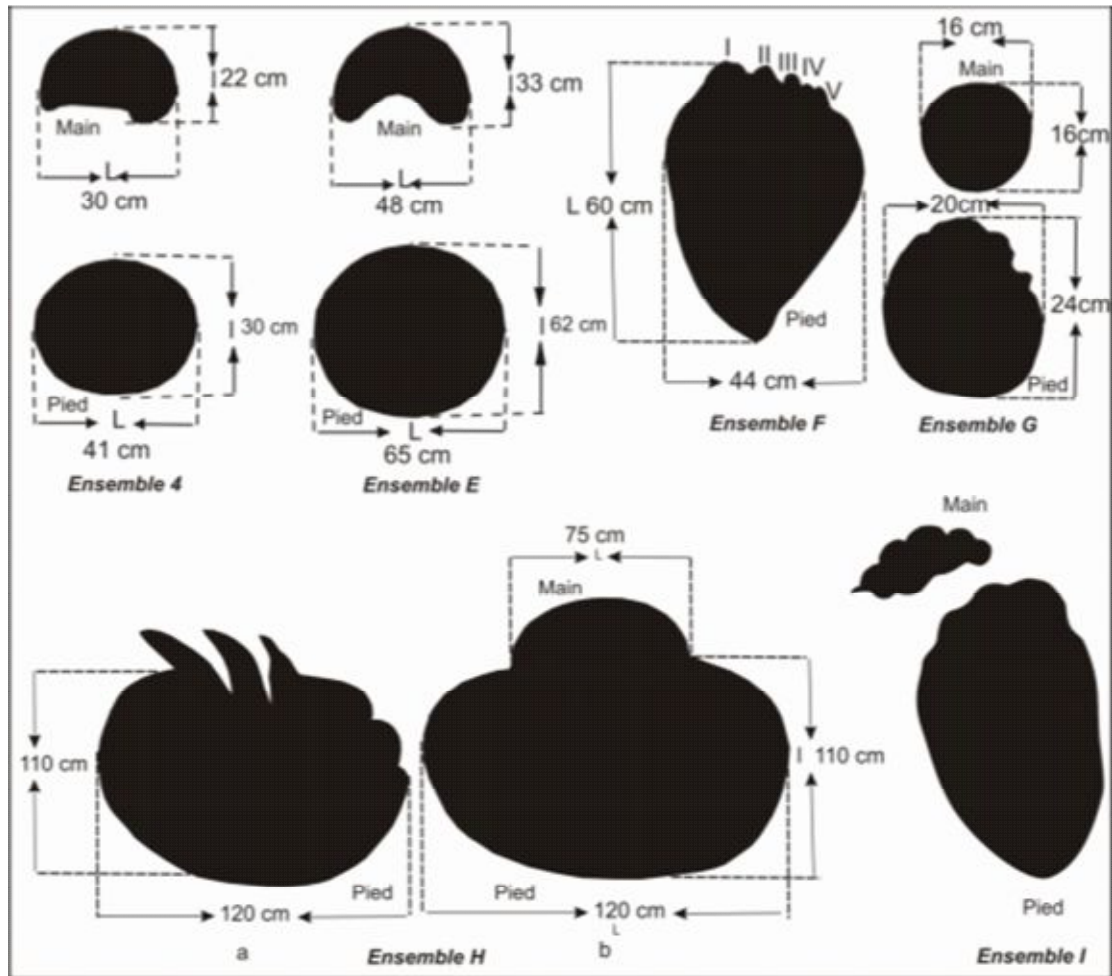


Fig.52 : Caractéristiques biométriques des formes brontopoïdes (Ensembles E, F, G, H, I)

Ensemble E (Site 9 : Ouafeg-Edaoura El Hamra) ; *Ensemble F* (Site 16: Tousmouline) ; *Ensemble G* (Site 15 : Sfissifa-Harcha) ; *Ensemble H* (a: empreinte de pied; b: couple d'empreintes pied-main dans le Site 14 : Brezina-Daiet Sid El Arbi) ; *Ensemble I* (Site 21: Essaguia-Garet El Hefle).

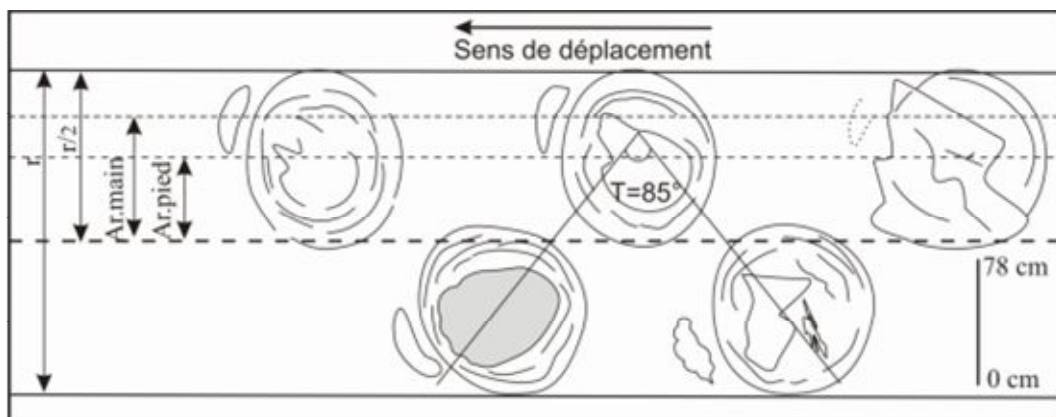


Fig .53 : Paramètres des empreintes brontopoïdes du Site 21 (Essaguia-Garet-El Hefle).

r : largeur de la piste ; $r/2$: moitié de la largeur de la piste ; Ar_{pied} : distance entre la droite reliant les centres de deux traces de pieds successives et l'axe de la piste ; Ar_{main} : distance entre la droite reliant les centres de deux traces de mains successives et l'axe de la piste ; T : angle du pas.

L'empreinte du pied ($L = 80 \text{ cm} \times l = 65 \text{ cm}$) est allongée ; l'une d'elles porte les traces de griffes et d'ongles. La trace de la main ($L = 39 \text{ cm} \times l = 26 \text{ cm}$) est en demi lune, creuse dans sa partie arrière. Elle est décalée vers la droite ou vers la gauche par rapport à la trace du pied qui la précède. Une des traces d'empreinte de la main montre la trace d'un pôle (doigt I). Le ratio main : pied est de 0,19 (1 : 5).

IV. Paramètres statistiques et comparaison

Dans cette partie seront analysés les paramètres mesurés sur les empreintes des sites atlasiques puis comparés à d'autres et ce afin de situer les ichnites de l'Atlas saharien et Hautes plaines par rapport aux autres à travers le monde.

IV. A. Taille des empreintes ($L \times l$)

IV. A.1. Comparaison de la taille des *Ensembles A, B, C et D*

Chez certains auteurs, la taille des empreintes est un paramètre prépondérant dans la discrimination des ichnogenres (Barco *et al.*, 2005, entre autres). De la projection graphique des paramètres (longueurs et largeurs) d'empreintes des formes dinosauroïdes, se différencient nettement quatre nuages de points (fig. 54). Le premier, en haut à droite du graphe, constitue *l'Ensemble A*. Il englobe les valeurs des empreintes des Sites 6, 8, 11, 14 et 20 et se détache totalement des autres. Au sein de ce premier groupe, les empreintes des pistes **a, b, c et d** (Site 6) et celles des Sites 8 et 20 forment un premier sous groupe (voire *sous-ensemble*), le plus excentré vers la droite étant composé par les plus grandes valeurs d'empreintes mesurées. Il est représenté par les intervalles suivants : 61 cm à 58 cm (longueurs) et 48 cm à 51 cm (largeurs). Un deuxième sous-groupe s'individualise, au milieu (graphe), dans l'intervalle des longueurs 56 cm à 51 cm et des largeurs 45 cm 43 cm. Il renferme les valeurs des empreintes de la piste **e** (Site 6) et une valeur du site 14. La plus petite valeur du site 11 apparaît isolée à l'extrémité opposée de celles du premier sous-groupe.

Les empreintes de *l'Ensemble A* appartiennent à des auteurs de très grande taille (Barco *et al.*, 2005). L'empreinte du Site 11 est rattachée à ce même champ d'empreintes (entre 30 et 50 cm), en raison de leur morphologie, très proche.

Au centre de la figure, le deuxième nuage (ou *Ensemble B*) est caractérisé par les empreintes des Sites 9 (pistes **a et b**) et 12 (pistes : **a, b, c, d et e**). Dans ce champ, les empreintes du site 12 (pistes : **a, b et e**) se situent légèrement plus haut à droite, dans l'intervalle suivant : longueurs (40 cm à 38 cm) et largeurs (30 cm à 39 cm). Les empreintes des Sites 9 (pistes **a et b**) et 12 (pistes **c et d**) y occupent une position plus basse, à gauche dans l'intervalle des longueurs comprises entre 37 cm et 33 cm et des largeurs entre 28 cm et 25 cm.

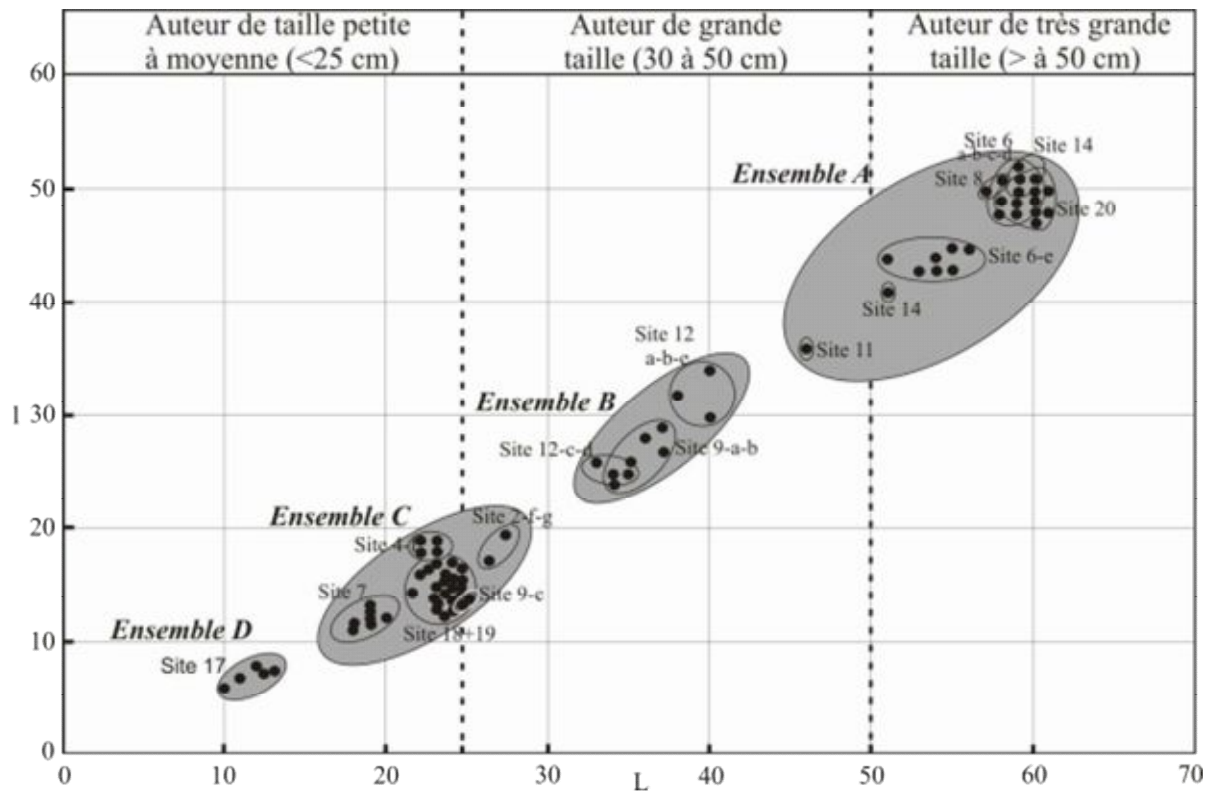


Fig. 54 : Caractéristiques biométriques des empreintes des formes dinosauroïdes des *Ensembles A, B, C et D*.

Site 4 : Brezina-El Mezioued ; Site 6 : El Bayadh-El Kheneg 2 ; Site 7 : El Bayadh-le Crapaud ; Site 8 : El Bayadh-El Kheneg 3 ; Site 9 : Ouafeg-Edaoura El Hamra ; Site 11 : Brézina-Garet Echiheb ; Site 12 : Brezina-Mouilah El Fougani ; Site 14 : Brezina-Daïet Sid El Arb ; Site 17 : Pont de Tiout ; Site 18 : Amoura ; Site 19 : Amoura (Gorge) ; Site 20 : Amoura (Gaada).

Les valeurs de taille des empreintes des pistes de ces deux sites constituent l'*Ensemble B* ; elles appartiennent à des auteurs de grande taille (fig. 54).

Le troisième nuage (ou *Ensemble C*) est bien individualisé du reste, situé à gauche et plus bas des deux premiers (fig. 54). Il est marqué par un noyau central constitué par les empreintes des pistes **f** (Site 4), **c** (Site 9) et celles des Sites 18 et 19 avec toutefois quelques points qui s'écartent vers le haut à droite (pistes **f** et **g** : Site 2) et en bas à gauche (Site 7). L'ensemble de ces points confirment bien leur regroupement dans l'*Ensemble C* dont les auteurs sont de petite taille (Barco *et al.*, 2005), exception faite pour les empreintes des pistes **f** et **g** (Site 2) qui se situent dans l'intervalle des auteurs de grandes taille (fig ; 54).

Bien distinct, à la base du graphe, l'*Ensemble D* est celui des valeurs (L, l) des plus petites empreintes de l'Atlas saharien. Il est rangé dans l'intervalle des longueurs 10 à 12 cm et celui des largeurs 6 à 7,5 cm. Il s'agit d'un ensemble dont les auteurs seraient de petite taille.

IV. A.2. Comparaison régionale de la taille des empreintes

La comparaison de la taille des empreintes de ces nouveaux *Ensembles* (*A, B, C, D*) avec ceux étudiés (*Ensembles 1, 2, 3*) dans la même région (Bessedik *et al.*, 2008) permet de souligner quelques observations (fig. 55). En effet, certaines empreintes de l'*Ensemble A* des pistes **a, b, c** et **d** (Site 6) et celles des Sites 8, 11, 14 et 20 montrent des valeurs plus grandes que celles de l'*Ensemble 1*. En revanche, les empreintes de la piste **e** (Site 6) se confondent avec celles des pistes **a à f** du Site 1 (El Bayadh-El Grarij). Exceptionnellement, une valeur de l'*Ensemble A* (Site 14) semble être conforme avec celles de l'*Ensemble 1* (piste **g** : Site 1).

Comparées aux bornes inférieures de l'*Ensemble 1* (pistes **m** et **n** : Site 2), les petites valeurs (L,l) d'empreintes de l'*Ensemble A* sont légèrement décalées vers le bas à gauche. Seules, deux valeurs des Sites 1 et 3 de l'*Ensemble 1* se détachent à droite sur le graphe par leur longueur, tandis que leurs largeurs se confondent pleinement avec celles de l'*Ensemble A*.

Les empreintes des pistes (**a** et **b**) du Site 9 et celles (**a, b, c, d** et **e**) du Site 12 de l'*Ensemble B* se trouvent intermédiaires entre les *Ensembles 1* et 2.

L'*Ensemble C* est représenté par les valeurs d'empreintes des pistes **f** (Site 4), **c** (Sites 7 et 9) et celles des Sites 18 et 19. Les valeurs relevées par Bellair et Lapparent (1948) sont utilisées dans ce travail. Les données biométriques de cet ensemble correspondent à celles de l'*Ensemble 3* (pistes **a** à **e, h** à **l** et **o** : Site 2).

A remarquer qu'une seule valeur de L'*Ensemble C* (piste **f** : Site 2) est confondue avec celles de l'*Ensemble 2* (Site 4 : piste **c**) ; tandis qu'une autre valeur de l'*Ensemble C* (piste **g** : Site 2) occupe une position intermédiaire entre les *Ensembles 2* et 3. Notons qu'une valeur appartenant à la piste **f** du Site 2 (*Ensemble C*) se confond avec les valeurs de l'*Ensemble 2* (piste **c** : Site 4) et qu'une autre appartenant à la piste **g** du Site 2 (*Ensemble C*) se place entre les *Ensembles 2* et 3.

Avec ses valeurs d'empreintes de petite taille, l'*Ensemble D* est bien détaché vers le bas par rapport à l'*Ensemble 3*, ce qui fait de ces valeurs les plus petites mesurées dans l'Atlas saharien.

En conclusion, les empreintes de grande taille de l'*Ensemble A* des Sites 6, 8, 11, 14 et 20 peuvent être rassemblées avec celles de l'*Ensemble 1*. Celles des pistes **a** et **b** (Site 9), **a, b, c, d** et **e** (Site 12) se retrouvent dans une position intermédiaire entre les *Ensembles 1* et 2. Les empreintes des pistes **f** (Site 4), **c** (site 7 et 9) et celles des Sites 18 et 19 se confondent assez bien avec celles de l'*Ensemble 3*. Les empreintes du Site 17 (*Ensemble D*) se détachent très nettement de la totalité des sites, à la base du graphe. Il est à préciser que Bellair et Lapparent (*ibid.*) ont décrit deux catégories d'empreintes tridactyles, très rare d'après ces auteurs, l'une de grande taille (L = 25 cm x l = 15 cm en moyenne) et l'autre plus petite (L = 10 cm x l = 7,5 cm).

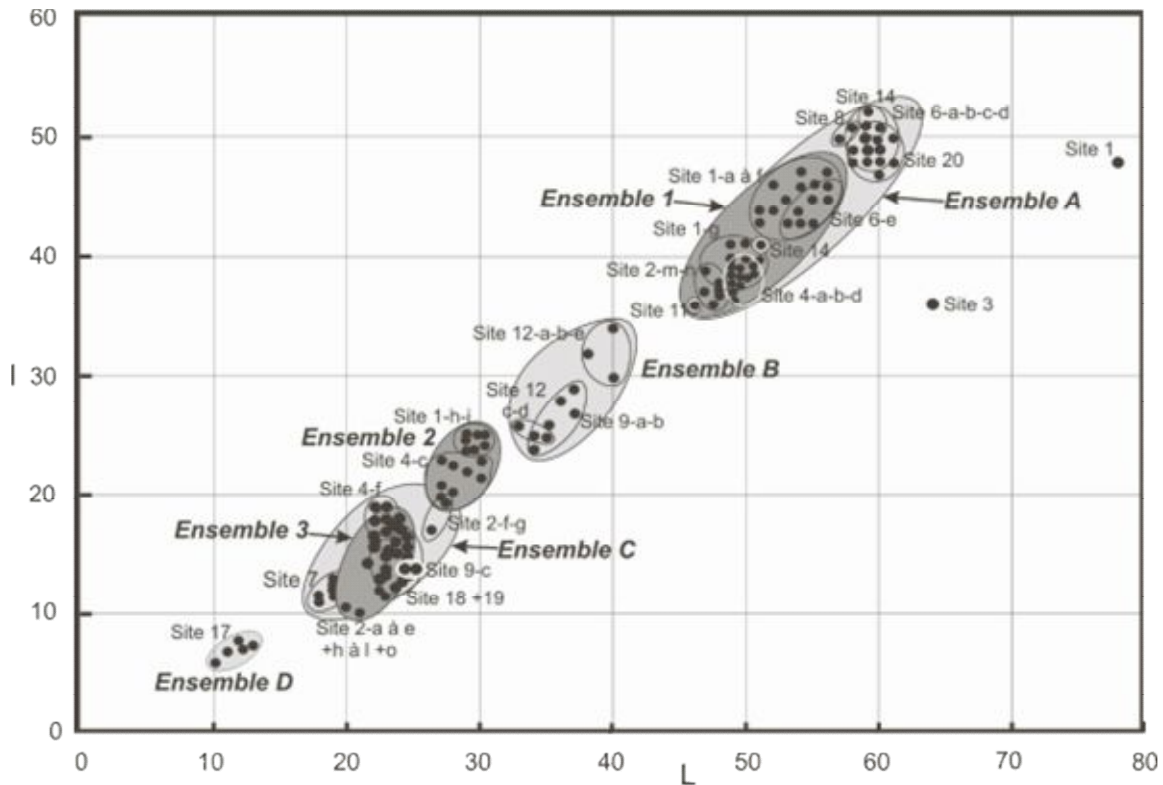


Fig. 55: Analyse comparative des empreintes des ensembles de l'Atlas saharien.

Site 1 : El Bayadh-El Grarj ; Site 2 : El Bayadh-El Mouilah ; Site 3 : El Baydh-les Abattoirs ; Site 4 : Brezina-El Mezioued. Site 6 : El Bayadh-El Kheneg 2 ; Site 7 : El Bayadh-leCrapaud ; Site 8 : El Bayadh El Kheneg 3 ; Site 9 : Ouafeg-Edaoura El Hamra ; Site 11 : Brézina-GaretEchiheb ; Site 12 : Brezina-Mouilah El Fougani, Site 14 : Brezina-Daiet Sid El Arbi ; Site 17 : Pont de Tiout ; Site 18 : Amoura ; Site 19 : Amoura (Gorge) ; Site 20 : Amoura (Gaada).

Les valeurs (taille) d'empreintes mesurées dans le Site 4 (piste **f**) correspondent aux plus grandes longueurs et largeurs des empreintes des Sites 18 et 19 mesurées par Bellair et Lapparent (*ibid.*) ; celles du Site 9 (piste : **c**) appartenant à l'*Ensemble C* sont comparables aux plus grandes valeurs moyennes des longueurs et largeurs des empreintes mesurées par Bellair et Lapparent (*ibid.* ; Sites 18 et 19 : fig. 55).

IV. A.3. Comparaison de la taille des empreintes des *Ensembles A, B, C et D* avec celles des ichnogenres des Grands Causses français

La comparaison des longueurs et largeurs des empreintes des Grands Causses français avec celles des Sites 6, 8, 11, 14 et 20 (*Ensemble A*) montre une nette différence biométrique. En effet, les empreintes de l'*Ensemble A* sont plus grandes ; elles se détachent clairement, en haut à droite sur le graphe (fig. 56). Certaines valeurs d'empreintes de l'*Ensemble B*, comme celles du Site 12 (piste : **a**), coïncident avec les plus petites longueurs ($L = 39 \text{ cm}$ à 37 cm) et les largeurs moyennes ($l = 33 \text{ cm}$ à 31 cm) d'*Eubrontes giganteus* Hitchcock, 1845. Celles des pistes **b** et **e** (Site 12) se confondent avec les plus grandes valeurs des empreintes de la même ichnoespèce par leurs longueurs ($L = 39 \text{ cm}$

à 40 cm). Cependant, par rapport aux largeurs du même ichnotaxon, elles affichent, dans certains cas (piste **e**), des valeurs de largeur légèrement supérieures et dans d'autres (piste **b**) légèrement inférieures.

Les empreintes de l'*Ensemble B* (Site 12) se placent en haut à droite des champs (graphe) de la quasitotalité des ichnoespèces des Grands Causses français, exceptées celles de *E. giganteus*. Les empreintes de la piste **g** (Site 2) ont des valeurs comparables avec celles de *Grallator lescurei* Demathieu, 1990 et *Grallator minisculus* Hitchcock, 1858. Les empreintes des pistes **c** (Site 9), **f** (Site 4) et celles des Sites 18 et 19 sont plus petites que celles de *G. minisculus*, *G. lescurei*, *Dilophosauripus williamsi* Welles, 1971 et *Ornithopus* sp. En revanche, les valeurs d'empreintes de ces sites sont plus grandes que celles de *Grallator variabilis* Lapparent et Montenat, 1967, *O. fabrei* Demathieu *et al.*, 2002 et *Grallator sauclierensis* Demathieu et Sciau, 1992.

Les empreintes du Site 7 (*Ensemble C*) ont des largeurs ($l = 11$ cm à 13 cm) comparables à celles de *G. sauclierensis* ($l = 9,8$ cm à 12,6 cm) mais sont plus longues ($L = 18$ cm à 20 cm) que celles de cette dernière ($L = 11$ cm à 17 cm).

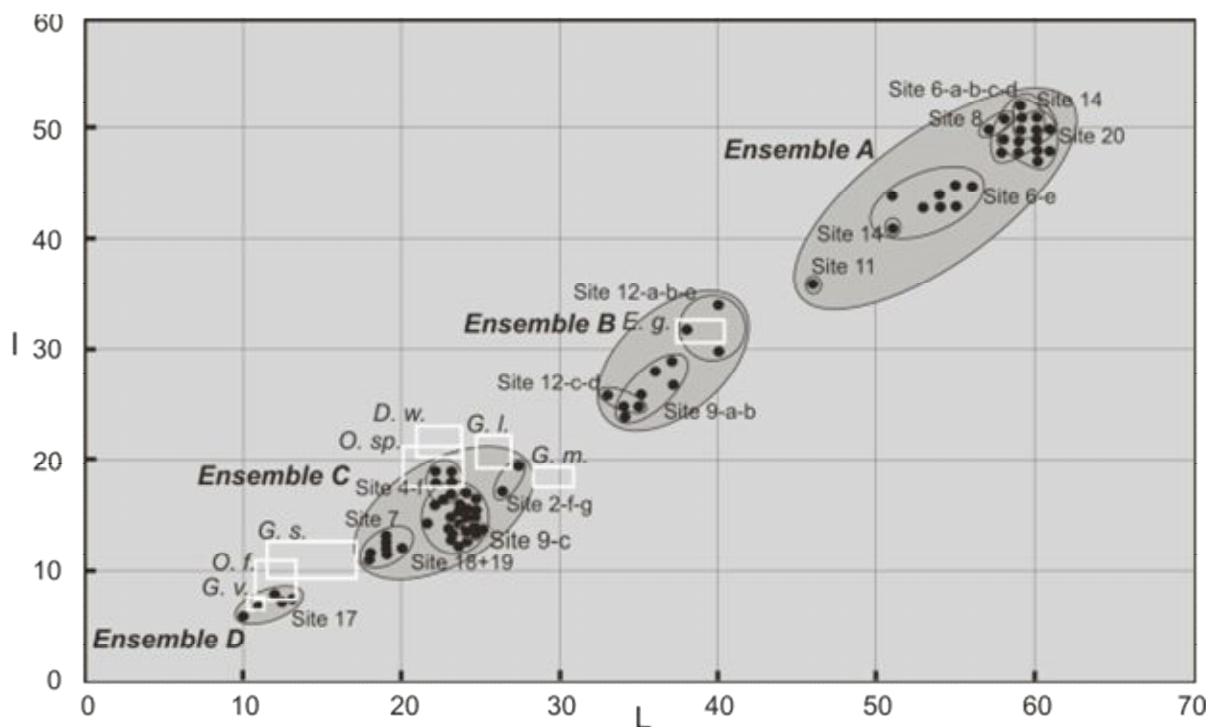


Fig. 56 : Comparaison des *Ensembles A, B, C et D* avec les principales ichnoespèces des Grands Causses français (carré et rectangle blancs).

Site 2 : El Bayadh-El Mouilah ; Site 4 : Brezina-El Mezioued. Site 6 : El Bayadh-El Kheneg 2 ; Site 7 : El Bayadh-le Crapaud ; Site 8 : El Bayadh El Kheneg 3 ; Site 9 : Ouafeg-Edaoura El Hamra ; Site 11 : Brézina-Garet Echiheb ; Site 12 : Brezina-Mouilah El Fougani, Site 14 : Brezina-Daïet Sid El Arbi.

E. g. : *Eubrontes giganteus* ; *G. m.* : *Grallator minisculus* ; *G. l.* : *Grallator lescurei* ; *D. w.* : *Dilophosauripus williamsi* ; *O. sp.* : *Ornithopus* sp. ; *G. s.* : *Grallator sauclierensis* ; *G. v.* : *Grallator variabilis*.

Seules les valeurs (L, l) des contre-empreintes et empreintes du Site 17 (*Ensemble D*) admettent totalement celles de *G. variabilis*.

En conclusion, Les valeurs des empreintes des pistes **a** et **b** (Site 12, *Ensemble B*) sont comparables à celles d'*E. giganteus* avec toutefois quelques différences morphologiques notamment celles relatives à l'échancrure basale d'*E. giganteus*, à sa forme plus ramassée et à l'âge Jurassique inférieur à moyen des ichnites des Grands Causses français et Jurassique supérieur-Crétacé pour celles de l'Atlas. Aussi et parmi toutes les empreintes des nouveaux ensembles étudiés, seules celles du Site 17 (*Ensemble D*) sont très proches de *Grallator variabilis*.

IV. A.4. Comparaison de la taille des empreintes des Ensembles A, B, C et D avec celles des ichnogenres connus à l'échelle mondiale

IV. A.4.1. Ensemble A

Par rapprochement aux grandes empreintes (L, l) d'Amérique (Lockley *et al.*, 1998a), d'Europe, d'Asie et d'Australie (Colbert et Merrilees, 1967), les empreintes des pistes **a**, **b**, **c** et **d** (Sites 6), **a** (site 8, 14) et celles du Site 20 se confondent avec les plus grandes valeurs de *Megalosauropus uzbekistanicus* Gabunia et Kurbatov, 1982 d'Asie et celles de *Megalosauripus sensu* Lockley *et al.* (1998a). Ces empreintes (fig. 57) apparaissent dans l'intervalle des bornes suivantes : longueur (L= 62 cm à 58 cm), largeur (l=41 cm à 52 cm). La taille de l'empreinte du Site 11 (L= 46 cm ; l= 36 cm) est conforme à celles moyennes de *Megalosauripus* de Lockley *et al.* (1998a) d'Amérique du Nord. Certaines empreintes de la piste **a** (Site 14) montrent des tailles comparables à celles de *Megalosauripus* dans l'intervalle compris entre 53 cm et 47 cm pour les longueurs et 46 cm et 36 cm pour les largeurs.

Les bornes d'empreintes d'*Hispanosauropus hauboldi* Mensink et Mertmann, 1984 (Europe) et *Eutynichnium atlasicus* Nouri, 2007 (Maroc) sont situées légèrement au dessous par rapport à celles des bornes inférieures de l'*Ensemble A*.

Par ailleurs, les valeurs (L = 40 cm à 39 cm ; l = 27 cm à 26 cm) d'*Eutynichnium lusitanicum* Nopsca, 1923 d'Europe et de *Megalosauropus broomensis* Colbert et Merrilees, 1967 d'Australie (L= 32,5 cm ; l= 27 cm) sont très éloignées par rapport à celles des grandes empreintes de l'*Ensemble A*. Par sa longueur (53,5 cm) et sa largeur (41,5 cm), l'*Irenosauripus acutus* Sternberg, 1932 s'intègre bien dans l'*Ensemble A* dont les valeurs sont bien marquées dans les Sites 6 (piste : **e**) et 14. En revanche, cette comparaison marque une nette différence d'empreintes entre l'*Ensemble A* et les ichnoespèces *Eutynichnium lusitanicum* et *E. atlasicus*.

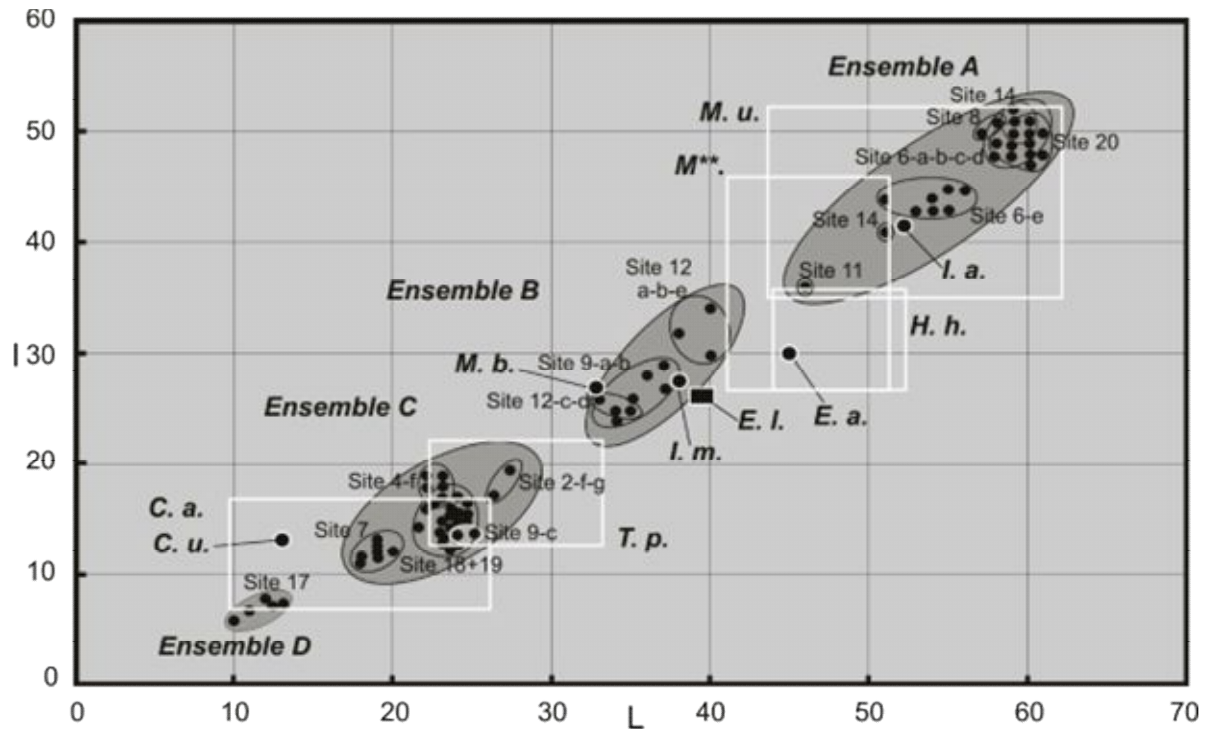


Fig. 57 : Comparaison des empreintes des *Ensembles A, B, C et D* de l'Atlas saharien avec les ichnogénères mondialement connus (carré et rectangle blancs).

Site 2 : El Bayadh-El Mouilah ; Site 4 : Brezina-El Mezioued. Site 6 : El Bayadh-El Kheneg 2 ; Site 7 : El Bayadh-le Crapaud ; Site 8 : El Bayadh El Kheneg 3 ; Site 9 : Ouafeg-Edaoura El Hamra ; Site 11 : Brézina-Garet Echiheb ; Site 12 : Brezina-Mouilah El Fougani, Site 14 : Brezina-Daïet Sid El Arbi.

M. b. : *Megalosauropus broomensis* (Australie) ; *M**.* : *Megalosauropus* d'Amérique du Nord ; *M. u.* : *M. uzbekistanicus* (Ouzbékistan, Turkménistan) ; *H. h.* : *Hispanosaurus hauboldi* (Espagne) ; *I. a.* : *Irenesauropus acutus* (Canada) ; *I. m.* : *Irenesauropus mclearni* (Canada) ; *E. l.* : *Eutynichnium lusitanicum* (Portugal) ; *E. a.* : *Eutynichnium atlasicus* (Maroc) ; *T. p.* : *Therangospodus pandemicus* (Amérique du Nord, Europe, Asie) ; *C. a.* : *Columbosauropus amourensis* (Algérie), *C. u.* : *Columbosauropus ungulatus* (Canada).

Certaines empreintes de *Megalosauropus* d'Europe rapportées par Lockley *et al.* (1998a) montrent une projection des paramètres de taille (L, I) très éloignée, vers le haut du graphe (fig. 58), de l'*Ensemble A*. Il est à noter que des empreintes d'Europe et d'Asie, attribuées à *Megalosauropus*, ont été amendées (Lockley *et al.*, 1998a ; Tabl. 23).

Ichnoespèces	Synonymie (Lockley <i>et al.</i> , 1998a)	Localité
<i>Megalosauropus uzbekistanicus</i> (Gabunia et Kurbatov, 1982)	<i>Megalosauropus uzbekistanicus</i>	Ouzbékistan, Turkménistan (Jurassique Sup)
<i>Eutynichnium lusitanicum</i> (Nopsca, 1923)	<i>Megalosauropus lusitanicum</i>	Portugal (Jurassique Sup)
<i>Megalosauropus teutonicus</i> (Keyver et Lapparent, 1974)	<i>Megalosauropus teutonicus</i>	Allemagne (Crétacé Inf)

Tabl.23: Synonymie des ichnogénères discutés dans le texte (Lockley *et al.*, 1998a).

Enfin, la valeur de taille moyenne des empreintes de *Megalosauropus broomensis* est complètement détachée, plus bas à gauche dans le graphe (fig. 57), par rapport à celles des Sites 6, 8, 11, 14 et 20.

D'une manière générale, les valeurs de longueurs et de largeurs des grandes empreintes observées dans l'*Ensemble A* (Sites : 6, 8, 11, 14 et 20) sont comparables à celles de *Megalosauripus* Lessertisseur, 1955 et de *Megalosauropus broomensis* Colbert et Merriless, 1967, tout en sachant que ce dernier ichnogenre est utilisé pour nommer les grandes empreintes d'Europe et d'Asie.

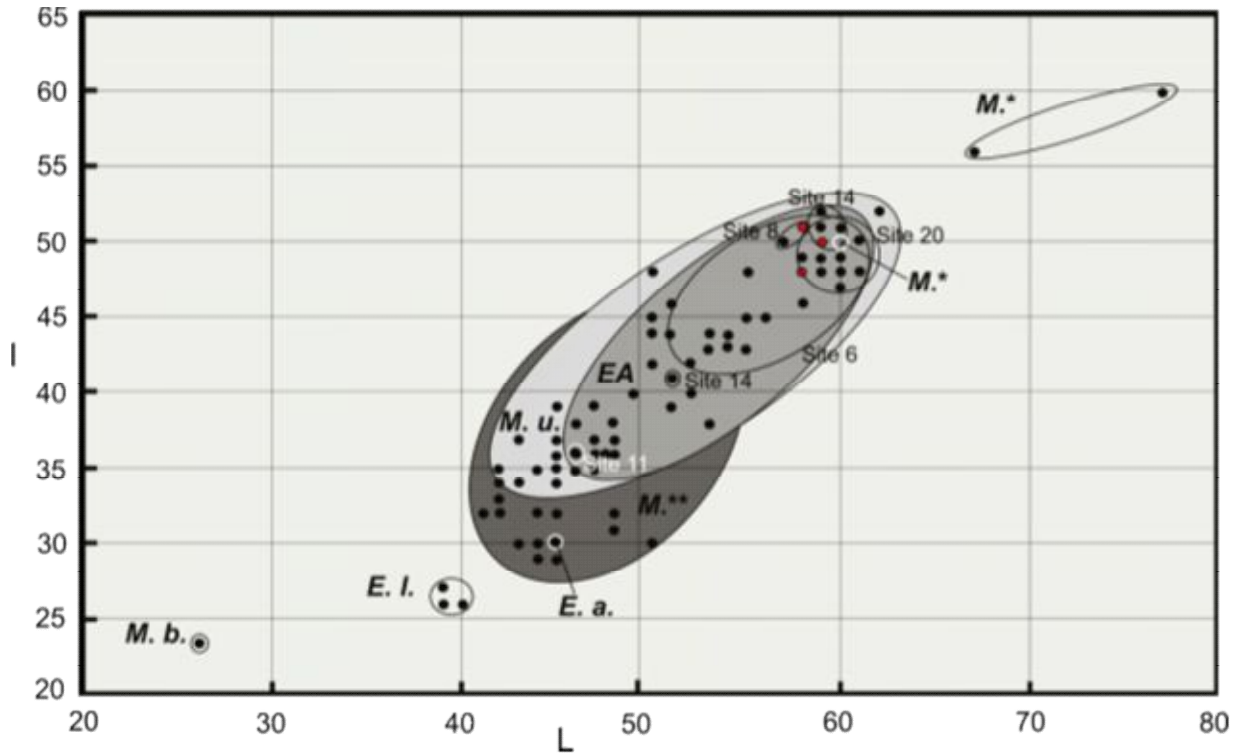


Fig. 58 : Comparaison des valeurs des empreintes de l'*Ensemble A* de l'Atlas saharien avec les grandes empreintes d'Asie, d'Amérique du Nord, d'Australie et d'Europe.

Site 6 : El Bayadh-El Kheneg 2 ; Site 8 : El Bayadh-El Kheneg 3 ; Site 11 : Brezina-Garet Echiheb ; Site 14 : Brezina-Daiet Sid El Arbi ; Site 20 : Amoura (Gaada).

M. u. : *Megalosauropus uzbekistanicus* ; *M. sp.* : *Megalosauripus* species ; *E. l.* : *Eutynichnium lusitanicum* ; *E. a.* : *Eutynichnium atlasicus* ; *M. b.* : *Megalosauropus broomensis*. *M. ** : *Megalosauripus* d'Europe ; *M. *** : *Megalosauripus* d'Amérique du Nord.

Morphologiquement, les mêmes empreintes diffèrent de celles d'*Irenesauripus acutus* (fig. 57, 58). Les empreintes de grande taille se distinguent nettement de celles de *Megalosauropus broomensis*, *M. uzbekistanicus*, *Megalosauripus sp.*, *Irenesauripus acutus*, *Hispanosauropus hauboldi*, *Eutynichnium lusitanicum* et *E. atlasicus* (figs. 59 et 60) bien que certaines empreintes d'entre elles (Site 8) présentent quelques similitudes avec celles de *Megalosauripus glenrosensis* du Crétacé.

D'autres rapprochements sont à établir également (figs. 59 et 60) avec les ichnoespèces *Megalosauropus teutonicus* Kaevert et Lapparent, 1974 et *M. briosis* Haubold, 1971.

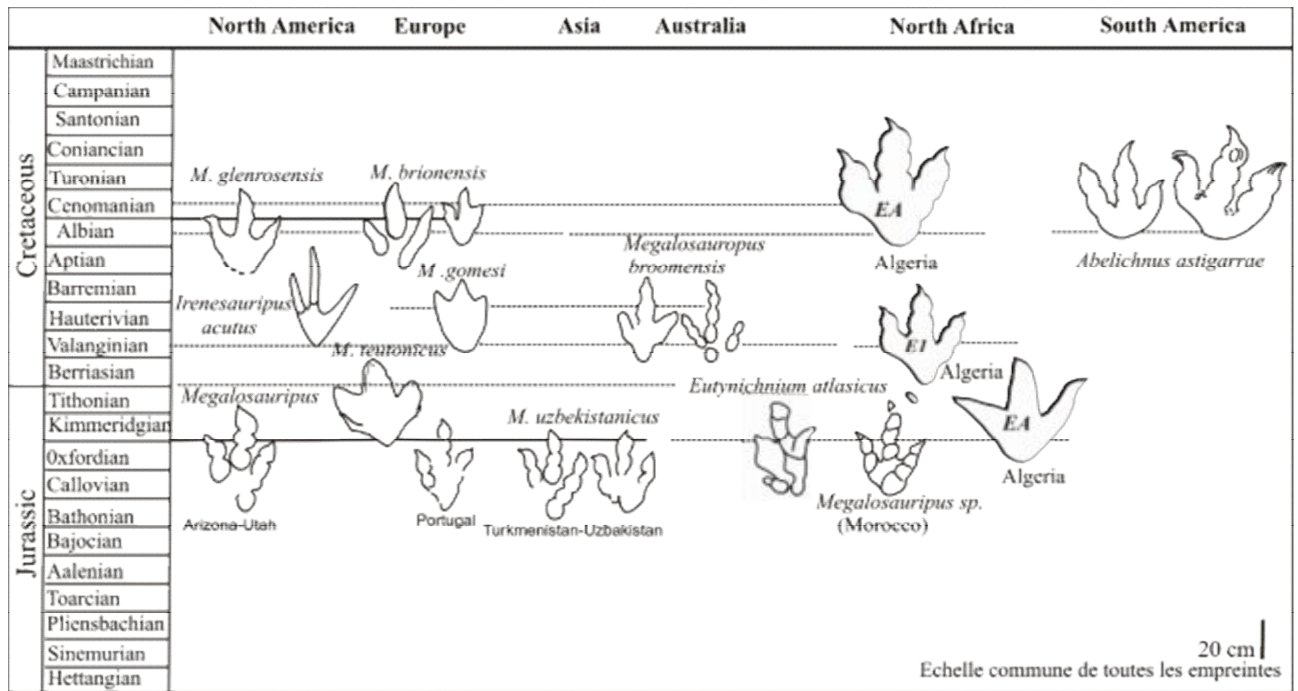


Fig. 59 : Comparaison du contour des empreintes de *Megalosaurus* (Buckland, 1824), en fonction de leurs positions stratigraphiques et géographiques (d'après Lockley *et al.*, 1998a, modifié) avec les contours des ensembles atlasiques (Algérie).

Contours de l'Ensemble 1 (E1); Ensemble A (EA); contours d'*Abelichnus astigarrae* (Calvo, 1991) ; d'*Eutynichnium atlasicus* (Nouri, 2007) ; d'*Irenesauripus acutus* (Sternberg, 1932) et de *Megalosauropus sp.* (Belvédère *et al.*, 2010).

---- : Age de chaque ichnotaxon ; ——— : corrélation ichnostratigraphique.

Certaines empreintes relevées dans le Site 6, imposantes par leur largeur, leur talon plus arrondi, leurs doigts plus larges et par la trace de leurs griffes (plus recoubées), présentent quelques similitudes avec celles d'*Abelichnus astigarrae* Calvo, 1991 d'Argentine d'âge albien, ichnoespèce dont les empreintes sont beaucoup plus petites ($L = 43 \times l = 35$ cm) par rapport à celles du Site 20.

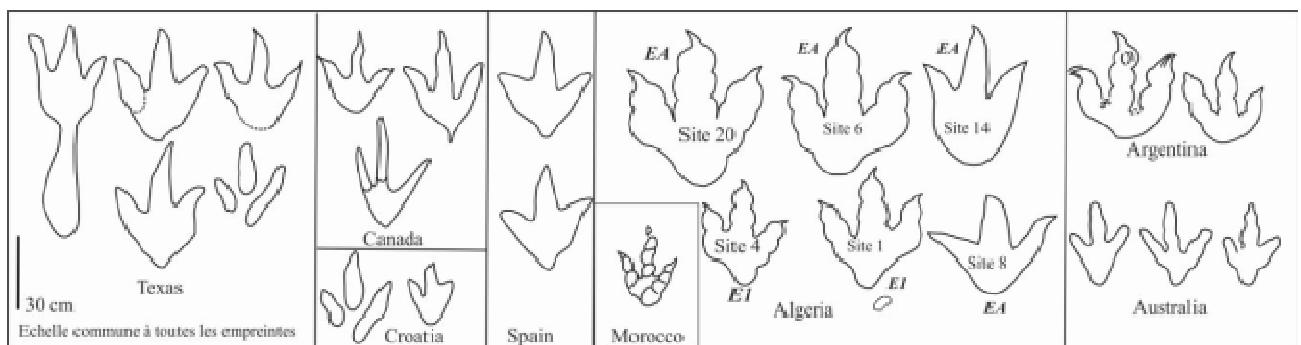


Fig. 60 : Morphologie et taille des empreintes en fonction de leur répartition statigraphique et géographique (d'après Lockley *et al.*, 1998a, modifié).

Texas (Albien) ; Canada (Aptien et Crétacé inférieur) ; Argentine (Albien) ; Croatie et Espagne (Jurassique supérieur) ; Australie (Crétacé inférieur) ; Maroc (Jurassique supérieur) ; Algérie (Kimméridgien-Cénomannien). E1 : Ensemble 1 (Valanginien - Infra-Crétacé) ; EA : Ensemble A : (Kimméridgien-Cénomannien).

Les empreintes d'*Irenosauripus acutus* Stenberg, 1932 (Crétacé inférieur) sont comparables, du point de vue taille, à celles de l'Ensemble A (s.l.), mais elles en diffèrent par leur morphologie :

les doigts sont beaucoup plus fins et le doigt IV beaucoup plus écarté qu'il ne l'est chez les formes atlasiques.

IV. A. 4. 2. Ensemble B

Comparées aux valeurs de taille des empreintes de *Megalosauripus* (Amérique du Nord), de *Megalosauropus uzbekistanicus* et d'*Hispanosaurus hauboldi*, celles des empreintes des pistes **a** et **b** (Sites 9 et 12) et piste **e** (Site 12) sont nettement plus petites (fig. 57). Les empreintes de grande taille de cet ensemble, représentées par celles décrites dans les pistes **a**, **b** et **e** (Site 12) sont comparables par leur largeur à celles de *Megalosauripus* (Amérique du Nord), de *Megalosauropus broomensis* et d'*Hispanosaurus hauboldi*. Elles en diffèrent néanmoins par leur longueur de petite taille.

Par ailleurs, certaines valeurs des largeurs (fig. 57 et 61) de petite taille (Lockley *et al.*, 1998b) sont à rapprocher des bornes de *Therangospodus pandemicus*.

Les bornes d'*Eutynichnium lusitanicum* touchent les valeurs inférieures des empreintes des pistes **c** et **d** (Site 12). La valeur d'empreinte d'*Irenesauripus mclearnii* Stenberg, 1932 s'intègre bien dans le champ des valeurs de taille (L, l) des empreintes des pistes **a** et **b** (Site 9 et 12) et la piste **e** (Site 12). La valeur de *Megalosauropus broomensis* se place légèrement au dessus, sur le graphe (fig. 57), des empreintes des pistes **a** (Site 9) et **d** (Site 12).

À noter que l'ensemble de ces ichnoespèces démontrent clairement une évolution allométrique (fig. 61).

Au point de vue morphologique, les empreintes d'*Irenesauripus mclearnii* (Stenberg, 1932) d'âge Hautérivien à Barrémien sont à comparer avec celles des pistes **a**, **b** et **e** (Site 12), néanmoins la présence de la trace du métapode, située en arrière de l'empreinte rapportée par Stenberg (*ibid.*), l'exclut de cette comparaison. Par ailleurs, par leur petite taille, les empreintes des Sites 9 et 12 et celles de *Therangospodus pandemicus* (Lockley *et al.*, 1998b) sont partiellement comparables (fig. 57).

À noter que *Therangospodus* est largement décrit au Jurassique (moyen et supérieur) et au Crétacé (Lockley *et al.*, 1998b).

IV. A. 4. 3. Ensemble C

Les empreintes de la piste **c** (Site 9) présentent des similitudes avec celles des bornes inférieures (largeur) de *Therangospodus pandemicus*. Certaines autres sont à rapprocher des bornes supérieures (Longueur) de *Columbosauripus amourensis* Haubold, 1971.

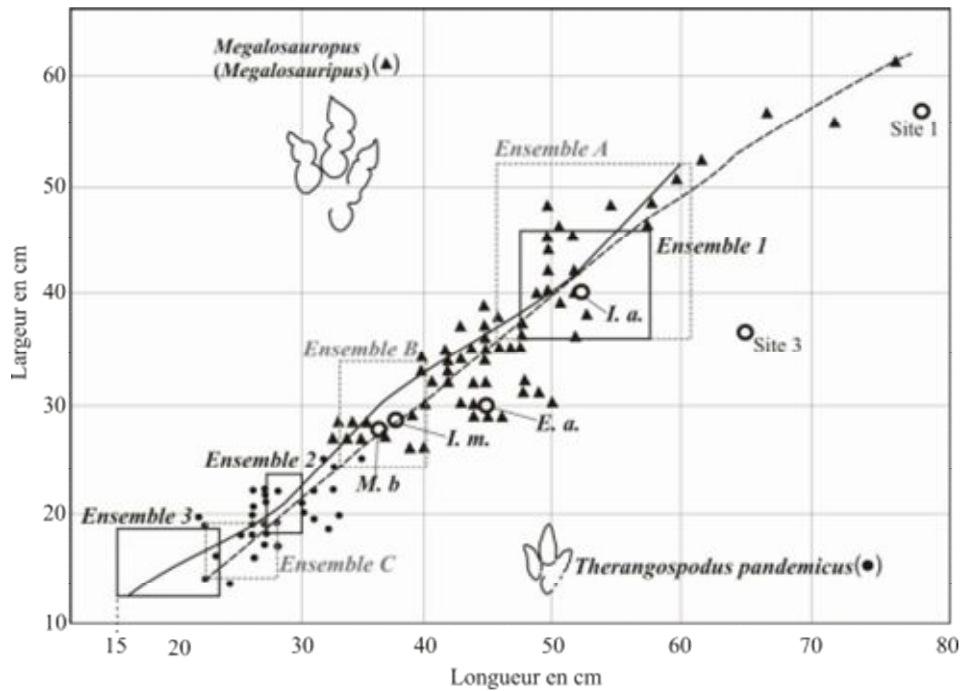


Fig. 61 : Comparaison de la taille des empreintes et allométrie des *Ensembles* (1, 2, 3, A, B et C) de l'Atlas saharien (traits continus et discontinus) avec celles des ichnogènes de Lockley *et al.* (1998a, modifiée)

I. a. = *Irenesauripus acutus* ; *I. m.* = *Irenesauripus mclearni* ; *M. b.* = *Megalosauropus broomensis* ; *E. a.* = *Eutynichium atlasicus*.

Les valeurs de la piste **f** (Site 4) sont proches de celles des plus petites valeurs de longueur (bornes inférieures) de *Therangospodus pandemicus*. Leur valeur moyenne d'empreintes (largeur) est comprise dans les bornes supérieures de *Columbosauripus amourensis*.

Morphologiquement (fig. 64), les empreintes des Sites 18 et 19 se caractérisent par un coussinet de départ du doigt II. Ce dernier est plus petit que celui portant la trace de la griffe. Les empreintes des Sites 18, 19 et 7 sont proches de celles de *Columbosauripus unguatus*, rapprochement également valable avec *Columbosauripus amourensis* (Haubold, 1971), exception faite pour la trace des griffes. En effet, les contours de l'empreinte de *Columbosauripus amourensis*, tels que dessinés par l'auteur, montrent des extrémités de doigts plus arrondies que celles décrites dans les empreintes atlasiques, caractères observables chez *Columbosauripus unguatus*.

IV. A. 4. 4. Ensemble D

Par leur taille et leur morphologie, les empreintes du Site 17 de l'*Ensemble D* sont comparables à celles de *Grallator variabilis*.

IV. A.4.5. Conclusion

D'après la description des empreintes de l'*Ensemble A* (Sites 6, 8, 11, 14 et 20) et leur comparaison avec celles de grande taille connues mondialement (fig. 57 et 58), il ressort un

rapprochement à établir entre l'*Ensemble A* et l'ichnoespèce *Megalosauropus uzbekistanicus*, décrite en Asie, et à un degré moindre avec *Megalosauripus* d'Amérique du Nord. Cette comparaison peut être également faite avec les ichnoespèces *Eutynichnium lusitanicum* et *E. atlasicus* au vu de la présence du doigt I, tel qu'il est figuré dans les pistes **a** à **g** du Site 1 (El Bayadh-El Grarij).

Par la taille, les empreintes des pistes **a**, **b** (Site 9), **c** et **d** (Site 12) de l'*Ensemble B* peuvent être rapprochées de celles de l'ichnogenre *Therangospodus*. Présentant des longueurs et largeurs plus grandes que celles de *Therangospodus s.l.*, les empreintes des pistes **a**, **b** et **e** (Site 12 : fig.57) peuvent être assimilées à celles de *Megalosauripus* (Amérique du Nord), et de *Megalosauropus broomensis*. Ces empreintes admettent des valeurs de longueurs pouvant aller jusqu'à 36 cm (Lessertisseur, 1955 ; Colbert et Meerilees, 1967 ; Lockley *et al.*, 1998a ; Nouri *et al.*, 2001 ; 2007). La taille (L, l) des empreintes des pistes **a**, **b** et **e** (Site 12) peut être également comparée à celle d'*Eutynichnium lusitanicum*, exception faite pour la trace nette du doigt I chez cette ichnoespèce. Les empreintes des pistes **c** (Site 9) et **f** (Site 4) de l'*Ensemble C* présentent, par leurs valeurs moyennes de taille, des ressemblances avec celles de *Therangospodus* (bornes supérieures) et de *Columbosauripus*.

IV. A.5. Comparaison des empreintes des Ensembles 1, 2, et 3 avec celles de grande taille de quelques ichnogenres connus mondialement.

IV. A.5.1. Ensemble 1

a-Empreintes des pistes a à g (Site 1), pistes a, b et d (Site 4) et celles des Sites 2 et 3

Les ensembles atlasiques ont été largement comparés aux ichnogenres des Grands Causses français (Bessedik *et al.*, 2008). La présente comparaison est faite essentiellement par rapport aux ichnogenres recensés en d'autres localités géographiques (Amérique du Nord, Asie, Europe et Australie).

Les valeurs de taille des empreintes de l'*Ensemble 1*, des pistes **a**, **b**, **c**, **d**, **e**, **f** (Site 1) sont comprises dans l'intervalle de taille moyennes de *Megalosauropus uzbekistanicus* (fig. 62 et 63). Celles des valeurs inférieures sont, quant à elles, proches des plus grandes de *Megalosauripus* (Amérique du Nord), alors que la taille des pistes **m** et **n** (Site 2) sont voisines des plus petites valeurs d'empreintes de *Megalosauropus uzbekistanicus* et de *Megalosauripus* (Amérique du Nord).

La taille d'empreintes de l'*Ensemble 1* demeure plus grande que celle d'*Hispanosaurus hauboldi*, d'*Eutynichnium lusitanicum* et *E. atlasicus* ainsi que de celle de *Megalosauropus broomensis*. Enfin, la valeur de taille d'empreinte d'*Irenesauripus acutus* se situe à l'intérieur du champ des valeurs des empreintes de l'*Ensemble 1* (Site 1).

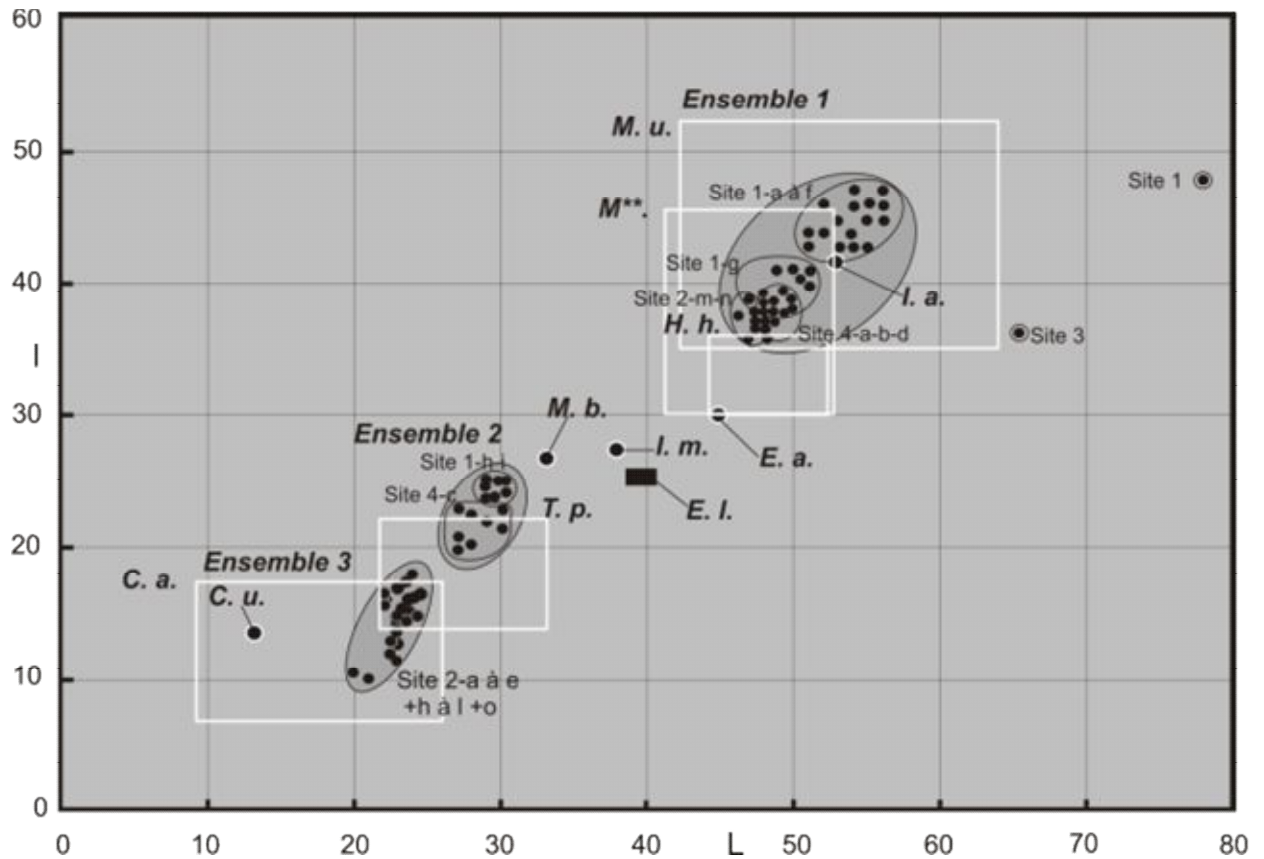


Fig. 62 : Comparaison des *Ensembles* (1, 2, 3) atlasiques avec certains ichnogénres connus mondialement (carré et rectangle blancs).

Site 1 : El Bayadh-El Grarij ; Site 2 : El Bayadh-El Mouilah ; Site 3 : El Bayadh-les Abattoirs ; Site 4 : Brezina-El Mezioued.

M. b. (*Megalosauropus broomensis*, Australie) ; *M*** (*Megalosauripus*, Amérique du Nord) ; *M. u.* (*Megalosauropus uzbekisticus*, Ouzbékistan, Turkménistan) ; *H. h.* (*Hispanosaurus hauboldi*, Espagne) ; *I. a.* (*Irenesauripus acutus*, Canada) ; *I. m.* (*Irenesauripus mcleani*, Canada) ; *E. l.* (*Eutynichnium lusitanicum*, Portugal) ; *E. a.* (*Eutynichnium atlasicus*, Maroc) ; *T. p.* (*Therangospodus*, Amérique du Nord, Europe, Asie) ; *C. a.* (*Columbosauripus amourensis*, Algérie) ; *C. u.* (*Columbosauripus unguatus*, Canada).

Au niveau des pistes, les empreintes atlasiques se distinguent manifestement par leur déviation régulière et alternée (vers la gauche puis vers la droite). Ce caractère observé au niveau des Sites 1 (*Ensemble 1*) et 6 (*Ensemble A*) a permis d'introduire une nouvelle mesure sur les pistes : angle de pas de déviation (A.P.D.).

Au point de vue morphologique (fig. 59 et 60), les empreintes de l'*Ensemble 1* semblent différentes de celles connues par ailleurs (Europe, Asie, Argentine et Canada). Une certaine ressemblance semble se dessiner entre les empreintes de grande taille de l'*Ensemble 1* (pistes **a**, **b** et **d** du Site 4) et celles de *Megalosauropus broomensis* d'Australie du Néocomien (Berriasien, Valanginien, Hautérivien). Néanmoins, les premières (empreintes de l'*Ensemble 1*) sont légèrement plus larges, avec le doigt II, plus avancé qu'il ne l'est chez la forme australienne. De même, l'âge des empreintes de Brezina-El Mezioued (Site 4) est nettement plus ancien (infra-crétacé : Cornet, 1952).

La forme d'*Irenosauripus acutus* Stenberg, 1932 du Crétacé inférieur présente des empreintes de taille comparables à celles de l'*Ensemble 1*, mais elle en est différente par sa morphologie.

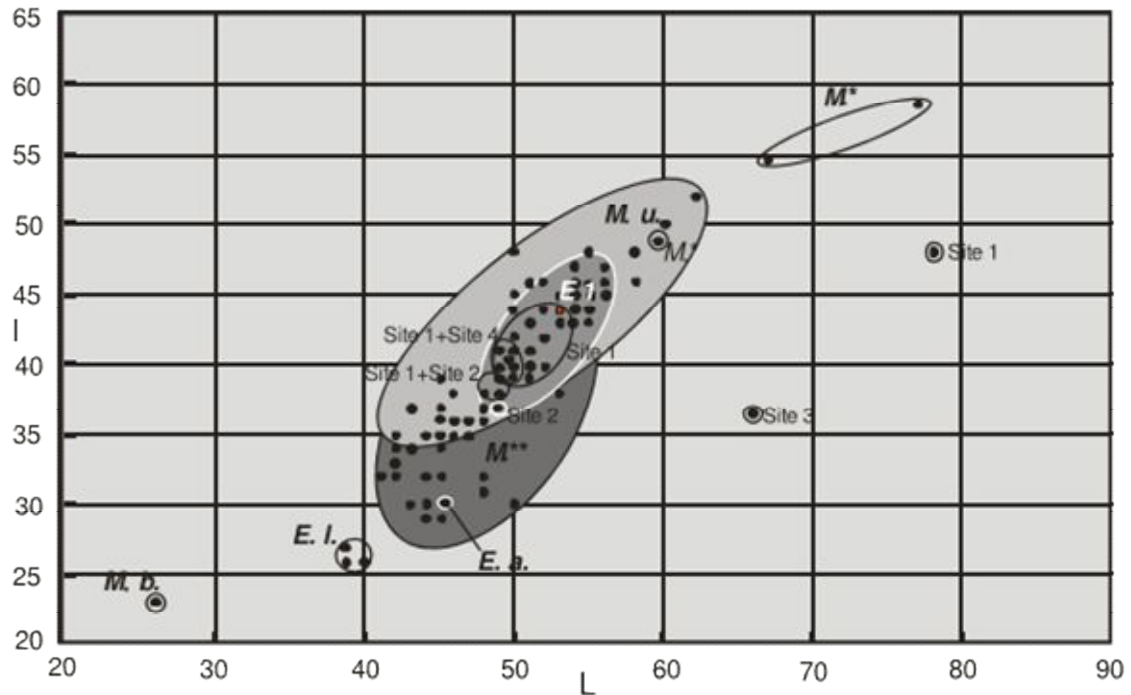


Fig. 63 : Comparaison des valeurs des empreintes de l'*Ensemble 1* de l'Atlas saharien avec les grandes empreintes d'Asie, d'Amérique du Nord, d'Australie et d'Europe.

Site 1 : El Bayadh-El Grarij ; Site 2 : El Bayadh-El Mouilah ; Site 3 : El Bayadh-les Abattoirs ; Site 4 : Brezina-El Mezoued.
M. b. : *Megalosauropus broomensis* (Australie) ; *M. u.* : *Megalosauripus uzbekistanicus* (Uzbekistan, Turkmenistan) ; *M.** : *Megalosauripus* d'Europe ; *M.*** : *Megalosauripus* d'Amérique du Nord ; *E. l.* : *Eutynichium lusitanicum* (Portugal) ; *E. a.* : *Eutynichium atlasicus* (Maroc).

En effet, les doigts chez *I. acutus* sont beaucoup plus fins avec un doigt IV beaucoup plus écarté. Les empreintes tétradactyles de l'*Ensemble 1* (Site 1) se distinguent aussi bien par leur morphologie que par la position de l'hallux par rapport à celles tétradactyles d'*Eutynichium lusitanicum* (Fig. 59) dont la taille de l'empreinte (globale) est plus petite. La trace de l'hallux chez l'*Ensemble 1* observée au niveau du Site 1 est plus petite et bien écartée du doigt IV qu'elle ne l'est chez *E. lusitanicum*. La taille des empreintes de *Megalosauripus* sp. décrites au Maroc (Belvedere *et al.*, 2010) sont plus petites et moins larges que celles de l'*Ensemble 1*. Cette différence est notée également avec *E. atlasicus*, pourvue de doigts plus larges et notamment le coussinet portant une griffe au niveau du doigt médian.

IV. A.5.2. Ensemble 2

b- Empreintes des pistes h, i (Sites 1) et c (Sites 4)

Ces empreintes (fig. 62) présentent des valeurs de taille beaucoup plus petites que celles de *Megalosauripus* (Amérique du Nord), *Megalosauropus uzbekistanicus* et *Irenosauripus acutus*. En

revanche, *Megalosauropus broomensis* est connue par des valeurs de taille (bornes inférieures) relativement proches de l'*Ensemble 2* (bornes supérieures), tout en restant légèrement plus haut sur le graphe.

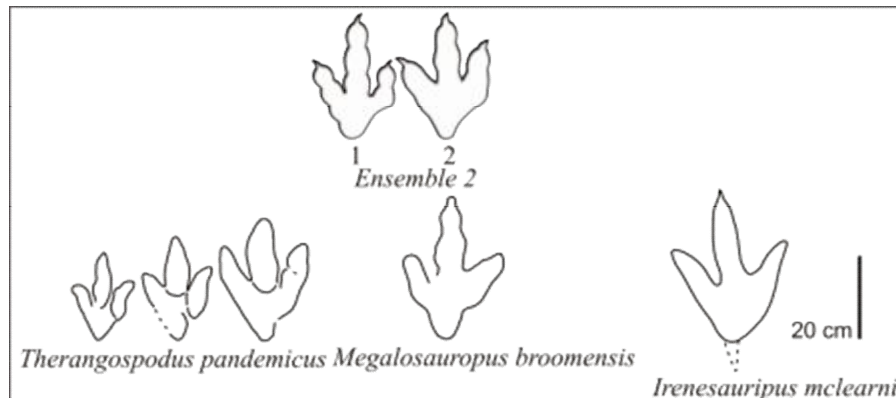


Fig. 64 : Comparaison des empreintes atlasiques de l'*Ensemble 2* avec les Ichnogenres *Therangospodus* (Lockley *et al.*, 1998b), *Megalosauropus* (Colbert et Meerilees, 1967) et *Irenesauripus mclearni* (Sternberg, 1932).

1 : Site 1 d'El Bayadh-El Grarij ; 2 : Site 4 de Brezina-El Mezioued.

Par leur largeur, les empreintes de *Therangospodus pandemicus* (bornes supérieures) et celles de l'*Ensemble 2* (bornes inférieures ; piste **c** : Site 4) sont comparables. Morphologiquement (fig. 64), les empreintes de la piste **c** (Site 4) sont proches, par la largeur de leurs doigts et leur talon fin, de celles de *Therangospodus pandemicus*.

Par ailleurs, la forme des pistes **h** et **i** (Site 1) présente un angle (II/III) plus faible que celui enregistré chez *Therangospodus pandemicus*. Des différences sont également notées entre les empreintes de l'*Ensemble 2* et celles d'*Irenesauripus mclearni* dont les doigts sont plus fins et la présence de la trace du méthapode.

Il ressort que l'*Ensemble 2* présente des similitudes avec *Therangospodus* (bornes supérieures).

IV. A.5.3. Ensemble 3

-Empreintes des pistes a, b, c, d, e, h, i, j, k, l et o (Site 2)

La valeur de la taille (L, l) de ces empreintes (fig. 65) sont comparables aux plus grandes valeurs de taille de *Columbosauripus amourensis*. Par ailleurs, les valeurs, pour la plupart d'entre elles, sont comprises dans le quart inférieur et gauche (fig. 62) des valeurs de taille de *Therangospodus*, exceptées celles des pistes **d**, **l** et **o**.

Par leur doigt II, bien avancé, les empreintes du Site 2 sont morphologiquement différentes de celles de *Columbosauripus amourensis* et *Columbosauripus unguatus*. Cependant, d'après leur

taille, la plupart des empreintes de l'*Ensemble 3* sont comparables à celles de *Columbosauripus amourensis*.

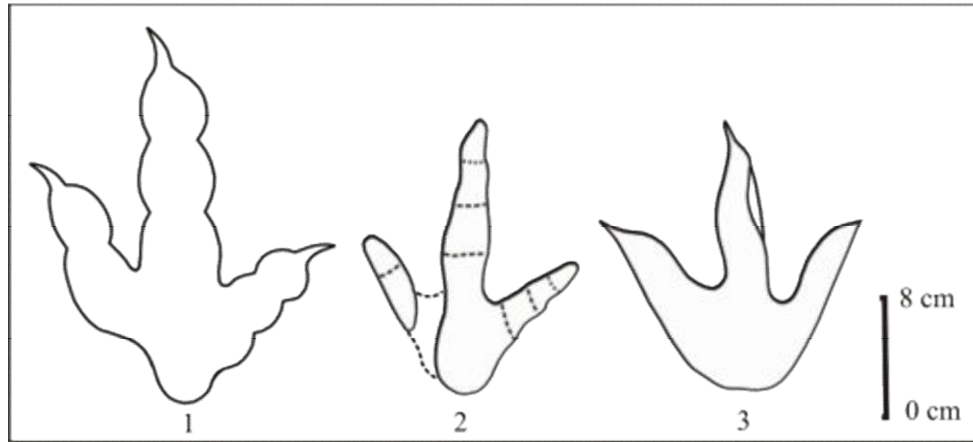


Fig. 65 : Comparaison des contours des empreintes de l'*Ensemble 3* (1 : Site 2) avec ceux de *Columbosauripus* (2 : *C. amourensis* ; 3 : *C. acutus*).

IV. A. 5. 4. Conclusion

Les empreintes de l'*Ensemble 1* (fig. 63) se rapprochent plus de *Megalosauropus uzbekistanicus* (*Megalosauripus sensu* Lockley *et al.*, 1998a), puis à *Megalosauripus* (Amérique du Nord), et à un degré moindre d'*Hispanosaurus hauboldi*. Par leur caractère tétradactyle, une certaine affinité se dégage entre l'*Ensemble 1* (Site 1) et *Eutynichnium* (*Boutakioutichnium*) *atlasicus* (Nouri, 2007, 2011) bien que la taille de leurs empreintes soit différente, celle de cette dernière étant plus petite et différente morphologiquement. Par la taille de ses empreintes, *Megalosauripus sp.* du Maroc peut être également rapproché des bornes inférieures de l'*Ensemble 1*.

Par ailleurs, il ressort que les empreintes de *Therangospodus pandemicus* (largeur : bornes supérieures) présentent des similitudes avec celles des bornes inférieures de la piste **c** (Site 4) de l'*Ensemble 2*.

D'après leur taille, la plupart des empreintes de l'*Ensemble 3* sont comparables à celles de *Columbosauripus amourensis*.

IV. B. Angle de divarication (T)

La valeur de l'angle de divarication (*sensu* Lull, 1953 ; Demathieu *et al.*, 2002) mesurée entre le deuxième et le quatrième doigts peut être variable en fonction de la vitesse de déplacement, de la nature du substrat, en relation avec l'envergure de l'auteur des empreintes (Thulborn, 1990) et de ses caractéristiques biologiques, tel est le cas des *ornithoïdes* (Bessedik *et al.*, 2008). Ce paramètre reste délicat à utiliser en discrimination spécifique. Pour Demathieu (*in litteris*) : « *comme j'ai tenté de le*

montrer plusieurs fois, leur mesure (angles interdigitaux) est entachée d'erreurs, difficiles souvent à évaluer. L'angle *T* n'est pas un critère de pourcentage parce que trop variable, ...».

Des différences de mesures de *T* sont relevées sur des empreintes de même pied (piste **a** : Site 2). En effet, l'angle de divarication mesuré au niveau de la première empreinte gauche est de 55° et la neuvième gauche de 50°. Par conséquent, la mesure de ce paramètre ne peut être retenue comme valeur absolue. Ne pouvant pas se fier totalement à ce paramètre en matière de discrimination spécifique, les valeurs moyennes mesurées (*T*), par rapport à la taille des empreintes, peuvent être prises en considération. Ainsi, l'angle *T* reste lié à la largeur de l'empreinte et vice versa.

Cet angle montre des différences importantes entre les empreintes des Thérotopodes et celles des Ornithopodes. Les valeurs de ces derniers sont très élevées (plus que 80° : Bessedik *et al.*, 2008). Ainsi, l'analyse des figures 66 et 67 permet de distinguer des regroupements différents pouvant être comparés aux grands ichnogénres connus.

IV.B.1. Paramètre de l'angle de divarication (*T*) des Ensembles A, B, C et D et leur comparaison avec les Ensembles 1, 2 et 3

A partir des corrélations des valeurs de l'angle de divarication et des différentes empreintes des Ensembles A, B, C et D, plusieurs regroupements sont individualisés (TAa, TAb, ..., TD). Ces derniers sont matérialisés par les intervalles de bornes d'empreintes et leur angle de divarication (fig. 66 ; Tabl. 24).

- TBa p.p. et TD : dans l'intervalle 33° à 38° ;
- TBa p.p. : dans l'intervalle 35° à 44° ;
- TAa, TBb, TBa p.p. et TCa : dans l'intervalle 42° à 53° ;
- TAa, TAb p.p., TBb, TCa et TCb : dans l'intervalle 45° à 57° ;
- TAb p.p. et TCb : dans l'intervalle 53° à 57° ;
- TAb et TCb p.p. : dans l'intervalle 55° à 67° ;

Ensembles	Bornes de (<i>T</i>) par pistes					
	33° à 38°	35° à 44°	42° à 53°	45° à 57	53° à 57	55° à 67°
A	/	/	TAa	TAa, TAb p.p.	TAa p.p.	T Ab
B	TBa p.p.	TBa p.p.	TBb, TBa p.p.	TBb	/	/
C	/	/	TCa	TCa, TCb	TCb	TCb p.p.
D	TD	/	/	/	/	/

Tabl.24 : Comparaison de l'angle de divarication (*T*) par pistes des Ensembles A, B, C et D.

TAa : Bornes **T** des empreintes des Sites 8, 14 et 20 de l'Ensemble A. TAb : Bornes **T** des empreintes des Sites 6 (pistes : **a** à **e**) et 11 de l'Ensemble A. TBa : Bornes **T** des empreintes du Site 12 (pistes : **a** à **e**) de l'Ensemble B. TBb : Bornes **T** des empreintes du Site 9 (pistes : **a** et **b**) de l'Ensemble B. TCa : Bornes **T** des des empreintes des Sites 4 (piste : **f**), 7, 9 (piste : **c**), 18 et 19 de l'Ensemble C. TBb : Bornes **T** des empreintes du Site 2 (pistes : **f** et **g**) de l'Ensemble C. TD : Bornes **T** des empreintes du Site 17 de l'Ensemble D.

Des valeurs (**T**) d'empreintes très faibles (35 à 43, **TBa**) sont notées dans les pistes **a** à **e** (Site 12) de l'*Ensemble B*. Celles (**T**) des pistes **a** à **e** (Site 6) sont comprises entre 55° et 67° (**TAa**). Au sein de l'intervalle 42° à 53°, les empreintes des Sites 14, 8 et 20 enregistrent des valeurs successivement plus grandes (45°, 48°, 52°).

Les empreintes de la piste **f** (Site 4) de l'*Ensemble C* et celles des Sites 8 et 14 (**TAa**) de l'*Ensemble A* ont un angle de divarication (**T**) compris entre 45° et 51° ; ces valeurs contiennent également celles des pistes **a** et **b** de l'*Ensemble B* (Site 9 : **TBb**, intervalle 44° à 53°).

Les empreintes de la piste **f** (Site 4) de l'*Ensemble C* dont les mesures de l'angle **T** sont comprises dans l'intervalle 45° à 51° (**TCa**) englobent les valeurs de l'angle **T** des empreintes du Site 8 (**TAa**) appartenant à l'*Ensemble A* et la moitié supérieure des valeurs de l'angle de divarication des empreintes du Site 14 du même ensemble.

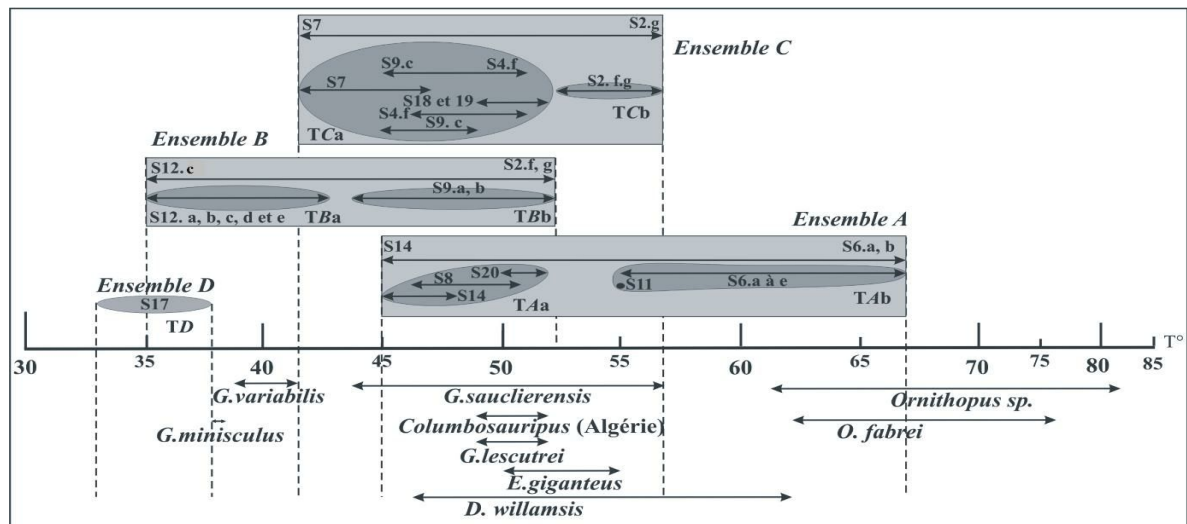


Fig. 66 : Comparaison des valeurs de l'angle de divarication **T** des *Ensembles A, B, C et D*.

S4 : Site 4 (Brezina-El Mezoued) ; S6 : Site 6 (El Bayadh-El Kheneg 2) ; S7 : Site 7 (El Bayadh-le Crapaud) ; S8 : Site 8 (El Bayadh-El Kheneg 3) ; S9 : Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra) ; S11 : Site 11 (Brézina-Garet Echiheb) ; S12 : Site 12 (Brezina-Mouilah El Fougani) ; S14 : Site 14 (Brezina-Daiet Sid El Arbi) ; S17 : Site 17 du Pont de Tiout ; S18 : Site 18 (Amoura) ; S19 : Site 19 (Amoura-Gorge) ; S20 : Site 20 (Amoura-Gaada).

Elles sont contenues dans celles des pistes **a** et **b** (Site 9 : **TBb**) de l'*Ensemble B* qui renferment, dans leur intervalle (44° à 53°), la totalité des valeurs d'empreintes des Sites 8 et 14 (*Ensemble A* : **TAa**).

Seules les plus grandes valeurs de l'angle **T** des pistes **a** et **b** (Site 9) de l'*Ensemble B* (**TBb**) restent légèrement supérieures à celles de la piste **f** (Site 4) de l'*Ensemble C* et partiellement à celles des empreintes des Sites 8 et 14 de l'*Ensemble A*. De même, elles incluent la totalité des valeurs d'empreintes des pistes **c** (Site 9), **f** (Site 4) et celles des Sites 18 et 19 appartenant toutes à l'*Ensemble C*.

Les plus petites valeurs (**T**) des empreintes des pistes **a** et **b** (Site 9) de l'*Ensemble B* sont légèrement inférieures à celles des empreintes des pistes **f**, **c** (Site 4) de l'*Ensemble C* et partiellement à celles des empreintes des Sites 8 et 14 de l'*Ensemble A*. Les valeurs de l'Angle **T** des empreintes des pistes **a** à **e** (Site 12) de l'*Ensemble B* (**TBa**) incluent, dans les plus faibles d'entre elles, celles supérieures des empreintes du Site 17 (**TD**) de l'*Ensemble D*. Les empreintes de ce dernier présentent ainsi les valeurs les plus faibles de tous les ensembles atlasiques.

La comparaison de ces ensembles (*A, B, C, D*) avec ceux décrits dans l'Atlas saharien (1, 2, 3 : Bessedik *et al.*, 2008) révèle ce qui suit :

-Ensemble A

-Empreintes des Sites 6 et 11

Les empreintes de ces sites montrent les plus grandes valeurs de l'angle de divarication de l'Atlas saharien (**TA_b**, 55° à 67°). Les valeurs de la première moitié de cet angle (fig. 67 ; Tabl. 22 et 25) renferment celles (55° à 59°) des pistes **a**, **b** et **d** (Site 4) de l'*Ensemble 1* (**T1b**).

Ensembles	Bornes de (T) empreintes par pistes					
	33° à 38°	35° à 44°	42° à 53°	45 à 57	53° à 57	55° à 67°
1	/	/	T1a p.p.	T1a	T1a p.p., T1b p.p.	T1b
2	/	T2a	T2a p.p. T2b p.p.	T2b	T2b p.p.	/
3	/	/	/	T3	/	/

Tabl.25 : Comparaison de l'angle de divarication (**T**) des empreintes des *Ensembles 1, 2 et 3*.

T1a : Bornes **T** des empreintes des pistes **a** à **g** (Site 1) de l'*Ensemble 1* ; **T1b** : Bornes **T** des empreintes des pistes **a**, **b** et **d** (Site 4) de l'*Ensemble 1* ; **T2a** : Bornes **T** des empreintes des pistes **h** et **i** (Site 1) de l'*Ensemble 2* ; **T2b** : Bornes **T** des empreintes de la piste **c** (Site 4) de l'*Ensemble 2* ; **T3** : Bornes **T** des pistes **a** à **e**, **h** à **l** et **o** (Site 2) de l'*Ensemble 3*.

Par ailleurs, elles sont nettement supérieures aux valeurs de l'angle **T** des empreintes des pistes **a** à **g** (Site 1 : **T1a** ; **T1a** : 49° à 55°), **m** et **n** (Site 2 : **T1a**) appartenant à l'*Ensemble 1*.

Aussi, leur borne inférieure (55°) est la même que celle (supérieure) des empreintes de la piste **g** (Site 1 : **T1a**).

-Empreintes des Sites 8, 14 et 20

L'angle **T** des empreintes du site 14 est le plus faible des empreintes de l'*Ensemble A*. Il est inférieur à toutes les mesures effectuées sur les empreintes de l'*Ensemble 1*. De même, les valeurs de **T** d'empreintes du Site 8 (*Ensemble A*) correspondent aux plus faibles valeurs de la piste **g** (Site 1) de l'*Ensemble 1*. Celles (**T**) des empreintes du Site 20 (*Ensemble A*) sont comprises dans la première moitié des valeurs d'empreintes de l'*Ensemble 1* (Site 1 : **T1a**), intervalle allant de 47° à 52° du même ensemble.

-Ensemble B

-Empreintes des pistes a et b (Site 9)

Les empreintes des pistes **a** et **b** (Site 9) de l'*Ensemble B* (T_{Bb} : 44° à 53°) montrent des valeurs supérieures de **T**, comparables à celles (inférieures) de l'*Ensemble 1* (T_{1a} p.p.), notamment celles des pistes **a** à **g** (Sites 1), **m** et **n** (Site 2). Elles sont comprises dans les deux premiers tiers des valeurs de la piste **c** (site 4 : T_{2b}) de l'*Ensemble 2* et celles des pistes **a** à **e**, **h** à **i** et **o** (Site 2 : T_3) de l'*Ensemble 3*.

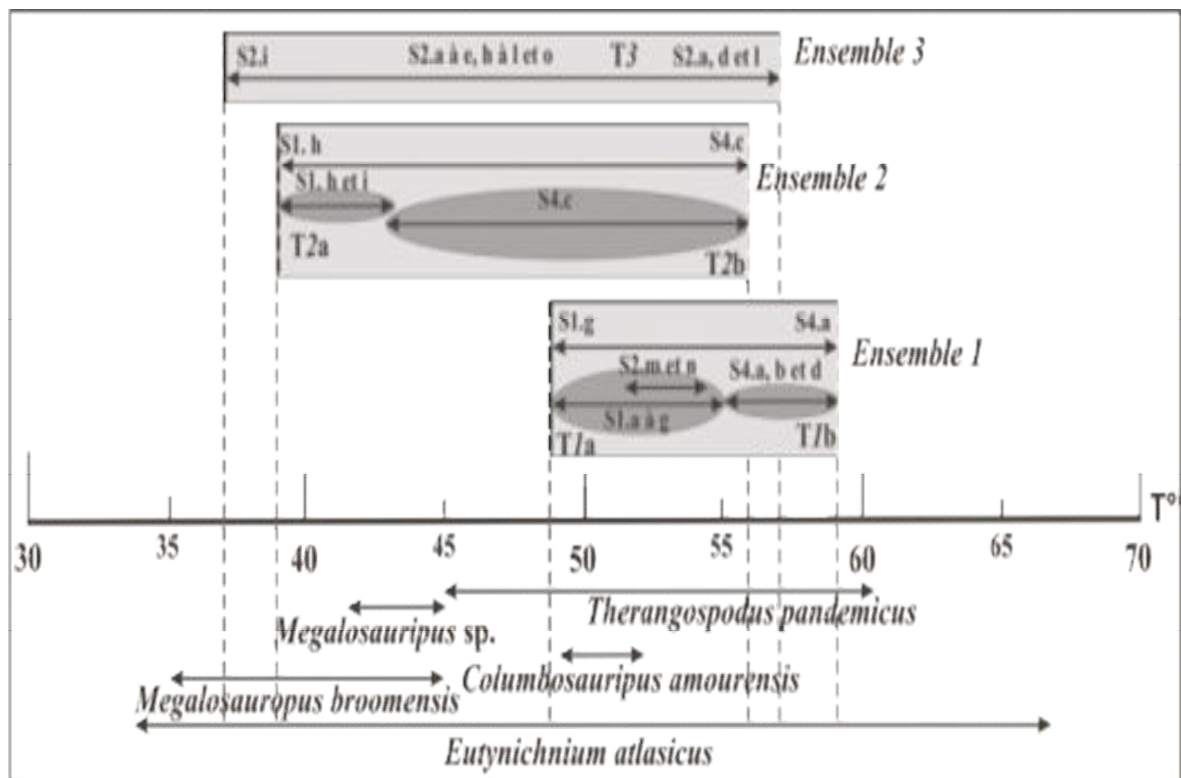


Fig.67 : Comparaison des valeurs de l'angle de divarication **T** des *Ensembles A, B, C et D* et des *Ensembles 1, 2 et 3*.

Site 1 : El Bayadh-El Grarij ; Site 2 : El Bayadh-El Mouilah ; Site 3 : El Bayadh-les Abattoirs ; Site 4 : Brezina-El Mezioued ; Site 6 : El Bayadh-El Kheneg 2 ; Site 7 : El Bayadh-le Crapaud ; Site 8 : El Bayadh-El Kheneg 3 ; Site 9 : Ouafeg-Edaoura El Hamra ; Site 11 : Brézina-Garet Echiheb ; Site 12 : Brezina-Mouilah El Fougani ; Site 14 : Brezina-Daiet Sid El Arbi ; Site 17 : Pont de Tiout ; Site 18 : Amoura ; Site 19 : Amoura (Gorge) ; Site 20 : Amoura (Gaada).

Elles correspondent, par leur borne inférieure, aux plus grandes valeurs d'empreintes de la piste **c** (Site 4 : T_{2b}) de l'*Ensemble 2* et des pistes **a**, **d** et **i** (Site 2 : T_3) de l'*Ensemble 3*.

Enfin, les mesures (**T**) des empreintes des pistes **a** et **b** (Site 9) de l'*Ensemble B* sont plus grandes que celles des pistes **h** et **i** du Site 1 (T_{2a} : 39° à 44°) appartenant à l'*Ensemble 2*.

-Empreintes des pistes a à d (Site 12)

Les valeurs de **T** des empreintes des pistes **a** à **d** (Site 12) de l'*Ensemble B* (T_{Ba} : 35° à 43°) comprennent celles des pistes **h** et **i** (Site 1) de l'*Ensemble 2* (T_{2a}) avec des valeurs encore plus

faibles. Celles-ci sont inférieures à celles des empreintes de la piste **c** (site 4 : **T2b**) appartenant au même *Ensemble 2*.

-Ensemble C

-Empreintes des pistes f et g (Site 2)

Les valeurs de **T** des pistes **f** et **g** du Site 2 (**TCb** : 53° à 57°) de l'*Ensemble C*, correspondent à celles supérieures des empreintes des pistes **a** à **g** (Site 1), **m** et **n** (Site 2) de l'*Ensemble 1* (**T1a**). Ces valeurs intègrent la première moitié des pistes **a**, **b** et **d** (Site 4) de l'*Ensemble 1* (**T1b**). La borne inférieure (53°) de **T** des pistes **f** et **g** de ce site est supérieure à celle de la piste **g** (Site 1) de l'*Ensemble 1*. De même, leur borne supérieure (57°) est légèrement décalée, vers le bas, par rapport à la plus grande valeur (**T** : 59°) des empreintes des pistes **a**, **b** et **e** (Site 4) de l'*Ensemble 1*.

-Empreintes des pistes f (Site 4), c (Site 9) et celles des Sites (18 et 19)

La piste **f** (Site 4) de l'*Ensemble C* révèle de grandes valeurs d'empreintes de **T** (**TCa p.p.**) comparables aux plus petites valeurs d'empreintes de l'*Ensemble 1* (Site 1 : **T1a p.p.**). Les empreintes des Sites 1 et 9 (piste: **c**) ont des valeurs de **T** comprises dans celles de la piste **c** du Site 4 de l'*Ensemble 2* (**T2b** : 43° à 56°) ; elles sont supérieures à celles (**T**) des empreintes du Site 1 (pistes : **h** et **i**) du même *Ensemble 2* (**T2a**). Les valeurs de **T** d'empreintes des Sites 18 et 19 appartenant à l'*Ensemble C* (**TCa** : 47° à 52°) sont comparables à celles des pistes : **a** à **g** (Site 1 : **T1a**) de l'*Ensemble 1*, **c** (Site 4 : **T2a**) de l'*Ensemble 2* et à celles du Site 2 de l'*Ensemble 3*.

-Empreintes du Site 7

Les valeurs des empreintes du Site 7 de l'*Ensemble C* ont un intervalle compris entre 42° et 47° (**TCa p.p.**). Cet intervalle inclut partiellement les valeurs inférieures de **T** des empreintes du Site 4 (piste : **c** ; **T2b p.p.**) et supérieures du Site 1 (pistes : **h** et **i** ; **T2a p.p.**) de l'*Ensemble 2*. Enfin, les valeurs de **T** des empreintes du Site 7 sont incluses dans celles des pistes : **a** à **e**, **h** à **l** et **o** (Site 2) de l'*Ensemble 3*, valeurs qui sont plus faibles que celles de l'*Ensemble 1*.

En conclusion, d'après les valeurs de l'angle de divarication (**T**), les empreintes du Site 7 appartenant à l'*Ensemble C* sont comparables successivement à celles des *Ensembles 3, 2* et à un degré moindre à celles de l'*Ensemble 1*. Les valeurs des empreintes des Sites 8, 11 et 14 appartenant à l'*Ensemble A* sont respectivement comparables à celles des *Ensembles 2, 3* et *1* et ce en dépit de la taille de leurs empreintes, très proche de l'*Ensemble 1*. Les empreintes des pistes **a** et **b** (Site 9), **a** à **d** (Site 12) de l'*Ensemble B* ont des valeurs de **T** comparables à celles de l'*Ensemble 2*, puis à celles de l'*Ensemble 3*.

Les valeurs de **T** des empreintes des pistes **f** (Site 4), **c** (Site 9) et celles des Sites 18 et 19 de l'*Ensemble C* sont proches de celles des empreintes des *Ensembles 3* et *2* et, à un degré moindre, de celles de l'*Ensemble 1*.

Par leurs valeurs de **T**, seules les empreintes du Site 17 appartenant à l'*Ensemble D* se distinguent de tous les autres, bien que leurs plus grandes valeurs sont comparables à celles, plus faibles, des pistes **a** à **d** (Site 12).

IV. B.2. Comparaison du paramètre T des Ensembles A, B, C et D avec celui des Ichnogenres des Grands Causses français

-Ensemble A

-Empreintes du Site 6 et 11

Comparées aux valeurs de **T** des principales ichnoespèces des Grands Causses français, celles des empreintes des pistes **a** à **e** (Site 6) et celles du Site 11 de l'*Ensemble A* (**TA_b**) sont partiellement comparables, par leurs petites valeurs, à celles de *Dilophosauripus williamsi* (46 ° à 62° : Demathieu *et al.*, 2002) et, à un degré moindre, à celles de *Grallator saucierensis* (44° à 57°). Elles sont également comparables, par leurs grandes valeurs de **T** (fig. 68), à celles plus petites d'*Ornithopus sp.* (61° à 81°) et *O. fabrei* (64° à 76°).

-Empreintes des Sites 8, 14 et 20

Les valeurs de **T** des empreintes des trois Sites (8, 14 et 20 : **TA_a**) de l'*Ensemble A* sont totalement comprises dans celles de *G. saucierensis* comme le sont les valeurs de **T** des Sites 8 et 20 avec celles de *D. williamsi*. Aussi, les empreintes du Site 20 ont des valeurs (**T**) comprises dans celles de *G. lescurei* (49° à 52°) et celles d'*Eubrontes giganteus* (50° à 55°).

Les valeurs de **T** du Site 8 de l'*Ensemble A* sont partiellement comparables à celles de *G. lescurei*, de *C. amourensis* et, à un degré moindre, à celles (petites) d'*E. giganteus*. Les empreintes du Site 14 appartenant à l'*Ensemble A* montre des valeurs (**T**) partiellement comparables à celles (petites) de *D. williamsi*, tout en montrant une borne inférieure (45°) légèrement faible appartenant à cette dernière ichnoespèce.

-Ensemble B

-Empreintes du Site 9 (pistes : a et b)

Les valeurs de **T** des empreintes des pistes **a** et **b** (Site 9) de l'*Ensemble B* (**TBb**) sont comprises dans celles de *G. sauclierensis*. Elles incluent totalement celles de *G. lescurei* et partiellement celles de *D. williamsi* et d'*E. giganteus*.

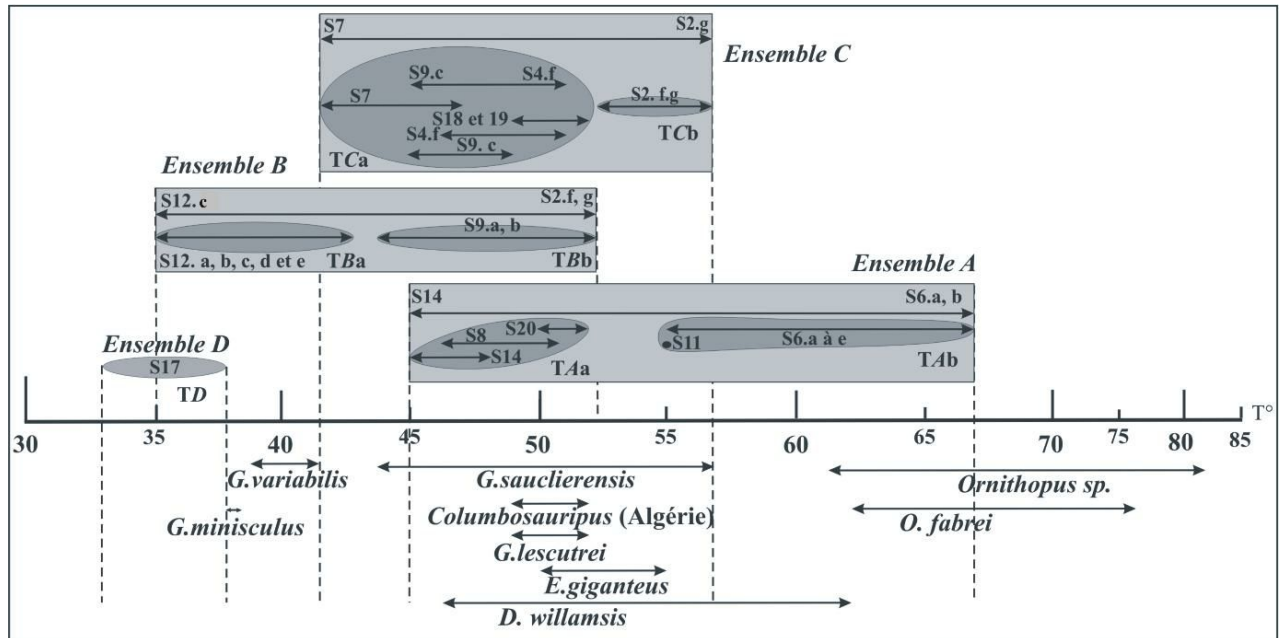


Fig. 68 : Comparaison du paramètre **T** des *Ensembles A, B, C* et *D* de l'Atlas saharien avec celui des principales ichnoespèces des Grands Causses français.

Site 2 : El Bayadh-El Mouilah ; Site 4 : Brezina-El Mezioued. Site 6 : El Bayadh-El Kheneg 2 ; Site 7 : El Bayadh-le Crapaud ; Site 8 : El Bayadh El Kheneg 3 ; Site 9 : Ouafeg-Edaoura El Hamra ; Site 11 : Brézina-Garet Echiheb ; Site 12 : Brezina-Mouilah El Fougani, Site 14 : Brezina-Daiet Sid El Arbi.

E. : *Eubrontes* ; *G.* : *Grallator* ; *D.* : *Dilophosauripus* ; *O.* : *Ornithopus*.

-Empreintes du Site 12 (pistes a à d)

Les valeurs de **T** des empreintes des pistes **a** à **d** (Site 12) de l'*Ensemble B* (**TBa**) incluent celles de *G. variabilis* et *G. minisculus* (38° à 41°).

-Ensemble C

-Empreintes du Site 2 (pistes f et g)

Les valeurs de **T** des empreintes des pistes **f** et **g** (Site 2) de l'*Ensemble B* (**TBb**) s'inscrivent dans celles de *G. sauclierensis* et *D. williamsi*. Elles sont partiellement comparables à celles d'*E. giganteus*. Leurs valeurs sont inférieures à celles d'*Ornithopus sp.* et *O. fabrei* et supérieures à celles des autres ichnoespèces des Grands Causses français.

-Empreintes des Sites 4 (piste f), 9 (piste : c), 18 et 19

Les valeurs de **T** des empreintes des pistes **f** (Site 4), **c** (Site 9) et celles des Sites 18 et 19 appartenant à l'*Ensemble C* (**TCa**) sont comprises dans celles de *G. saucierensis*. Aussi, ces valeurs (piste : **f**) sont comprises dans celles de *D. williamsi* et incluent celles de *G. lescurei*. Les valeurs de **T** des empreintes de la piste **c** (Site 9) sont partiellement comparables à celles de *D. williamsi* par les petites valeurs de cette ichnoespèce et sont inférieures à celles de *G. lescurei*.

Empreintes du Site 7

Les valeurs de **T** des empreintes de ce site de l'*Ensemble C* (**TCa**) sont en partie comparables par leurs petites valeurs à celles de *G. saucierensis* et de *D. williamsi*. Elles sont inférieures aux valeurs de toutes les autres ichnoespèces des Grands Causses français, exceptées celles de *G. variabilis* (39° à 42°) qui révèle des valeurs de **T** plus petites que celles des empreintes du Site 7.

Empreintes du Site 17

La valeur de **T** des empreintes de l'*Ensemble D* (Site 17) est comparable à celle de *G. variabilis* et d'*O. fabrei*.

En conclusion, la comparaison de l'angle de divarication (**T**) des *Ensembles A, B, C* et *D* avec celui des principales ichnoespèces des Grands Causses français, fait ressortir ce qui suit:

Par le paramètre **T**, l'*Ensemble A* semble avoir des éléments de comparaison (Site 6 pistes : **a** à **e p.p.** et 11) avec *Ornithopus sp. p.p.*, *O. fabrei p.p.*, *E. giganteus* et *G. saucierensis*. Ces ressemblances sont également notées (Sites: 8, 14 et 20) avec *G. lescurei*, *G. saucierensis*, *E. giganteus* et *D. williamsi*. Le paramètre **T** de l'*Ensemble B* (Site 12, pistes : **a** à **d**) est à corréliser avec celui de *G. variabilis* et de *G. minisculus*, voire avec celui de *G. lescurei*, de *G. saucierensis* et de *D. williamsi p.p.* et, à un degré moindre (Site 9 pistes : **a** et **b**), avec celui d'*E. giganteus*. Par ce même paramètre, l'*Ensemble C*, *G. lescurei*, *G. saucierensis*, *E. giganteus* et *D. williamsi p.p.* sont comparables.

Ensemble D

En ce qui concerne l'*Ensemble D*, le paramètre **T** le rapproche de *G. variabilis* et *G. minisculus*.

IV. B.3. Comparaison de l'angle T des Ensembles atlasiques (A, B, C, D, 1, 2 et 3) avec les ichnogenres connus mondialement

-Ensemble A

-Empreintes des Sites 6 et 11

Les valeurs des empreintes des pistes **a** à **e** (Site 6) et celles du Site 11 de l'*Ensemble A* (**T1b**) sont partiellement comparables à celles supérieures de *Therangospodus pandemicus* (45° à 60°) et totalement comprises dans celles d'*Eutynichnium atlasicus*.

-Empreintes des Sites 8, 14 et 20

Les valeurs de **T** des empreintes du Site 20 de l'*Ensemble A* (**T1a**) sont comprises dans celles de *Therangospodus pandemicus*, d'*Eutynichnium atlasicus* et celles de *Columbosauripus amourensis* (fig. 69).

Les empreintes du Site 8 de l'*Ensemble A* (**T1a**) ont des valeurs de **T** comprises dans l'intervalle des mesures de **T** de *Columbosauripus amourensis* (49° à 52°).

Les empreintes des Sites 8, 11 et 14 (*Ensemble A* : **T1a**) dévoilent des valeurs comprises dans celles de l'icnoespèce *Therangospodus pandemicus* et celles d'*Eutynichnium atlasicus*; cette dernière ichnoespèce expose un champ très large de valeurs de **T** (33° à 67°) dans lequel peuvent être intégrées les valeurs de l'angle de divarication des empreintes de tous les ensembles de l'Atlas saharien (fig. 69).

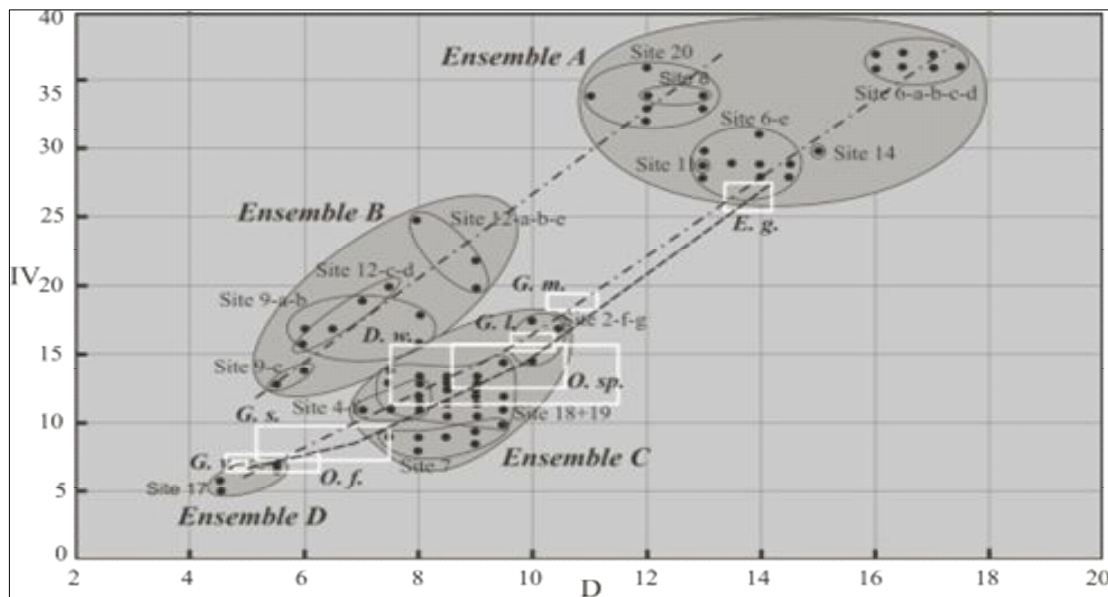


Fig. 69 : Comparaison des valeurs de l'angle de divarication **T** des *Ensembles A, B, C et D* de l'Atlas avec celles des ichnogénres *Megalosauripus sp.* (Maroc), *Megalosauropus* (Australie) et *Therangospodus*.

Site 4 : Brezina-El Mezioued ; Site 6 : El Bayadh-El Kheneg 2 ; Site 7 : El Bayadh-le Crapaud ; Site 8 : El Bayadh-El Kheneg 3 ; Site 9 : Ouafeg-Edaopura El Hamra ; Site 11 : Brezina-Garet Echiheb ; Site 12 : Brezina-Mouilah El Fougani ; Site 14 : Brezina-Daïet Sid El Arbi ; Site 17 : Pont de Tiout ; Site 18 : Amoura ; Site 19 : Amoura (Gorge) ; Site 20 : Amoura (Gaada).

-Ensemble B

-Empreintes du Site 9 (pistes : a et b)

Les valeurs de l'angle **T** des empreintes pistes : **a** et **b** (Site 9) de l'*Ensemble B (TBb)* sont comparables à celles de la première moitié de *Therangospodus pandemicus* et celles supérieures de *Megalosauripus sp.* et de *Megalosauropus broomensis*. Leur tiers supérieur inclut les valeurs de *Columbosauripus amourensis* (fig. 69).

-Empreintes du Site 12 (pistes : a à d)

Les pistes **a** à **d** du Site 12 de l'*Ensemble B (TBa)* présentent des valeurs (**T**) totalement comparables à celles de *Megalosauropus broomensis*. Elles sont, proches de celles (inférieures) de *Megalosauripus sp.* voire de celles du premier tiers des valeurs d'*Eutynichnium atlasicus*.

-Ensemble C

-Empreintes du Site 2 (pistes : f et g)

Les valeurs **T** d'empreintes des pistes **f** et **g** (Site 2) sont comprises dans celles de *Therangospodus pandemicus* et dans celles d'*Eutynichnium atlasicus*.

Empreintes des Sites 4 (piste : f), 9 (piste : c), 18 et 19

Les pistes **f** (Site 4) et **c** (Site 9) de l'*Ensemble C (TCa)* présentent des valeurs de **T** totalement comprises dans celles de *Therangospodus pandemicus*. Elles semblent plus grandes que celles de *Megalosauripus sp.* et celles de *Megalosauropus broomensis*.

Les valeurs (**T**) des empreintes de la piste **f** (Site 4) renferment partiellement celles de *Columbosauripus amourensis*. Celles des Sites 18 et 19 correspondent à *Columbosauripus amourensis*.

-Empreintes du Site 7

L'*Ensemble C* (Site 7) illustrent certaines valeurs (**T**) d'empreintes (**TCa**) comprises dans celles (faibles) de *Therangospodus pandemicus*. Les valeurs inférieures (Site 7) correspondent à celles de *Megalosauripus sp.* (42° à 45°) et à celles (plus grandes) de *Megalosauropus broomensis* (35° à 45°). L'intervalle de valeurs (**T**) des empreintes de l'*Ensemble C* (Site 7) est compris dans celui d'*Eutynichnium atlasicus*.

-Ensemble D

Les empreintes de l'*Ensemble D* (Site 17) expriment les plus petites valeurs de **T** (**TD**) connues dans l'Atlas saharien. Elles ont des valeurs (**T**) comparables partiellement à celles (plus petites) de *Megalosauropus broomensis*. Elles précèdent (33° à 38°) nettement celles de *Grallator variabilis* dont les bornes sont 39° et 42°.

En conclusion, l'*Ensemble A* (Sites 6, 8, 11, 14 et 20) est proche, par l'angle de divarication, de *Columbosauripus amourensis*, *Therangospodus pandemicus* et d'*Eutynichnium atlasicus*. Les valeurs (**T**) des empreintes des pistes **a, b** (Site 9) et **a à d** (Site 12) de l'*Ensemble B* sont comparables à celles de *Columbosauripus amourensis*, de *Megalosauripus sp.*, de *Megalosauropus broomensis* et d'*Eutynichnium atlasicus*. Les pistes **f** (Site 4) et **c** (Site 9) de l'*Ensemble C* présentent des valeurs d'empreinte (**T**) comparables (**TCa**) à celles de *Megalosauripus sp.*, de *Megalosauropus broomensis* et d'*Eutynichnium atlasicus*. Si certaines valeurs (**T**) de piste (**f**) (**TCa** ; Site 4) de l'*Ensemble C* sont partiellement comparables à celle de *Columbosauripus amourensis*, d'autres le sont également entre l'*Ensemble C* (Sites 18 et 19) et celles de *Columbosauripus amourensis*.

En ce qui concerne la comparaison (paramètre T) des *Ensembles 1, 2 et 3* avec les principaux ichnogènes connus mondialement, il ressort ce qui suit :

-Ensemble 1

-Empreintes des Sites 1 (pistes : a à g), 2 (pistes : m et n), 3 et 4 (pistes : a, b et e)

Les valeurs de l'angle **T** des empreintes du Site 1 (**T1a**) de l'*Ensemble 1* sont complètement comprises dans celles de *Therangospodus pandemicus* et dans celles d'*Eutynichnium atlasicus*. Les valeurs inférieures des empreintes de cet ensemble comprennent celles de *Columbosauripus amourensis*. L'angle **T** mesuré au niveau des pistes **a, b et d** (Site 4 ; **T1b** : 55° à 59°), **m et n** (Site 2 ; **T1a** : 52° à 54°) dévoile des valeurs comprises dans celles de *Therangospodus pandemicus* et d'*Eutynichnium atlasicus* (fig. 70).

Enfin, les valeurs des bornes des empreintes des pistes **m et n** (Site 2 ; **T1a** : 49° à 55°) se situent dans la moitié de celles de *Therangospodus*. Elles sont supérieures à celles appartenant à *Megalosauripus sp.* (Maroc) ainsi qu'à celles de *Megalosauropus* (Australie) ; de même qu'elles sont comprises dans celles d'*Eutynichnium* (Maroc) qui montrent un champ d'intervalle plus large, englobant les valeurs des trois ensembles atlasiques.

En conclusion, par ses valeurs (**T**), l'*Ensemble 1* se rapproche de *Columbosauripus amourensis*, *Therangospodus pandemicus* et nettement d'*Eutynichnium*. Les bornes (**T**) de l'*Ensemble 2* comprennent celles de *Megalosauripus sp.*, de *Columbosauripus amourensis* et de *Megalosauripus broomensis* (Tabl. 26 et fig. 70).

En effet, les valeurs des empreintes des pistes **h et i** (Site 1 ; **T2a** : 39° à 44°) de cet ensemble sont comparables partiellement à celles supérieures de *Megalosauripus sp.* (Maroc). En revanche, elles sont totalement incluses dans celles de *Megalosauropus broomensis*.

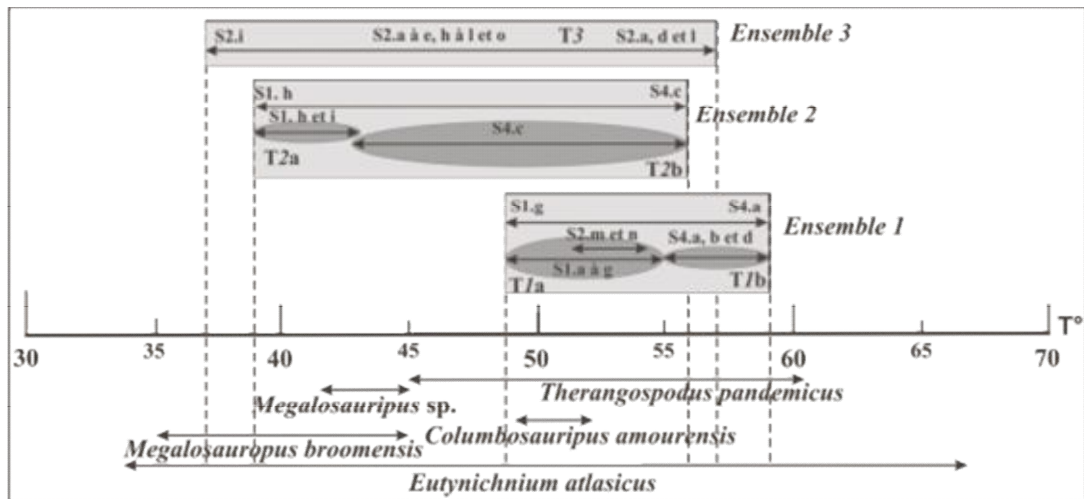


Fig.70 : Comparaison de l'angle **T** des **Ensembles 1, 2 et 3** avec les principaux ichnogenres connus.

Site 1 : El Bayadh-El Grarij ; site 2 : El Bayadh-El Mouilah ; Site 4 : Brezina-El Mezioued.

-Ensemble 2

-Empreintes des pistes h, i (Sites 1) et c (Site 4)

Les valeurs (**T**) d'empreintes de la piste **c** du (Site 4 ; **T2b** : 43° à 56°) correspondent à celles de *Therangospodus pandemicus* et à celles de la moitié supérieure de *Megalosauripus sp.* Elles sont partiellement comparables à celles de la moitié supérieure de *Megalosauropus broomensis*. Elles contiennent la totalité des valeurs de *Colombosauripus amourensis*.

En conclusion de ces comparaisons, l'**Ensemble 2** se rapproche respectivement, par ses valeurs de **T**, de : *Colombosauripus amourensis*, *Therangospodus pandemicus*, *Megalosauripus sp.* (p.p.) et *Megalosauropus broomensis* (p.p.). Ces valeurs intègrent largement celles d'*Eutynichnium atlasticus*.

-Ensemble 3

-Empreintes des pistes a à e, h à l et o (Site 2)

Les empreintes des pistes **a à e, h à l et o** (Site 2) de l'**Ensemble 3** montrent des valeurs de **T** comparables (**T3**) à celles de *Therangospodus pandemicus* et d'*Eutynichnium atlasticus*.

Ces valeurs de **T** (Site 2) incluent complètement celles de *Colombosauripus amourensis* et *Megalosauripus sp.* Par ailleurs, elles renferment partiellement celles de *Therangospodus pandemicus* et de *Megalosauropus broomensis*. Enfin, elles sont comprises totalement dans le (large) champ des valeurs (**T**) d'*Eutynichnium atlasticus*.

En conclusion, l'**Ensemble 3**, par ses valeurs de l'angle de divarication **T**, est comparable respectivement à *Colombosauripus amourensis*, *Megalosauropus sp.*, *Therangospodus pandemicus*

et, à un degré moindre, à *Eutynichium atlasicus*.

IV. C. Paramètre D

Le paramètre **D** représente la distance de dépassement du doigt médian (III) par rapport à la droite reliant les bouts des doigts latéraux II et IV (fig. 33). L'écartement des deux doigts latéraux peut être lié à l'ouverture plus au moins importante de l'angle de divarication **T**. Sur des empreintes de même taille, la valeur de ce paramètre (D) peut être différente en fonction de la longueur des doigts latéraux (II et IV).

IV. C.1. Comparaison du paramètre D en relation avec la longueur des empreintes (L, D) des Ensembles A, B, C, D, 1, 2 et 3

L'analyse de la figure 71 révèle, en fonction de la longueur des empreintes et le paramètre D, une individualisation de quatre groupes d'empreintes : **G1(L, D)**, **G2(L, D)**, **G3(L, D)** et **G4(L, D)**.

Bornes (L, D) Ensembles	G4 (L, D) D (4,5 - 5,5 cm) ; L (10 - 13 cm)	G3 (L, D) D (05,5-10,5 cm) ; L (15 - 30 cm)	G2 (L, D) D (06-09 cm) ; L (33 - 40 cm)	G1 (L, D) D (11 - 24 cm) ; L (46 - 61 cm)
A 1				Pistes a à g (Site1), m , n (Site 2) et empreintes des Sites 6, 8, 11, 14 et 20
B			Pistes a , b (Site 9) et a à e (Site 12)	
C 2 3		Pistes h et i (Site 1), a à l et o (Site 2), c et f (Site 4), c (Site 9) et empreintes des Sites 7, 18 et 19		
D	Site 17			

Tabl. 26 : Bornes du paramètre **D** des empreintes des ensembles atlasiques en relation avec leur longueur.

Site 1 : El Bayadh-El Grarij ; Site 2 : El Bayadh-El Mouilah ; Site 3 : El Bayadh-les Abattoirs ; Site 4 : Brezina-El Mezioued ; Site 6 : El Bayadh-El Kheneg 2 ; Site 7 : El Bayadh-le Crapaud ; Site 8 : El Bayadh-El Kheneg 3 ; Site 9 : Ouafeg-Edaoura El Hamra ; Site 11 : Brezina-Garet Echiheb ; Site 12 : Brezina-Mouilah El Fougani ; Site 14 : Brezina Daiet Sid El Arbi ; Site 17 : Pont de Tiout ; Site 18 : Amoura ; Site 19 : Amoura (gorge) ; Site 20 : Amoura (Gaada).

Les empreintes des Sites 6, 8, 11, 14 et 20 de l'*Ensemble A* (**G1(L, D)** : Tabl. 26) se distinguent aussi bien par leurs longueurs que par leurs valeurs de **D**. En effet, certaines empreintes de grande taille des Sites 8 (*p.p.*) et 20 (*p.p.*) enregistrent des valeurs de **D** moindres. D'autres, de taille moins importante (Sites 6 : piste **e**, 11 et 14), ont des valeurs de **D** appréciables. Les pistes des Sites 9 (pistes : **a** et **b**), 12 (pistes : **a** à **d**) de l'*Ensemble B* (**G2(L, D)** ; Tabl. 26), 4 (pistes **f** et **c**) et 9 de l'*Ensemble C* (**G2(L, D)** ; Tabl. 26) livrent des valeurs de **D** comparables pour des longueurs différentes.

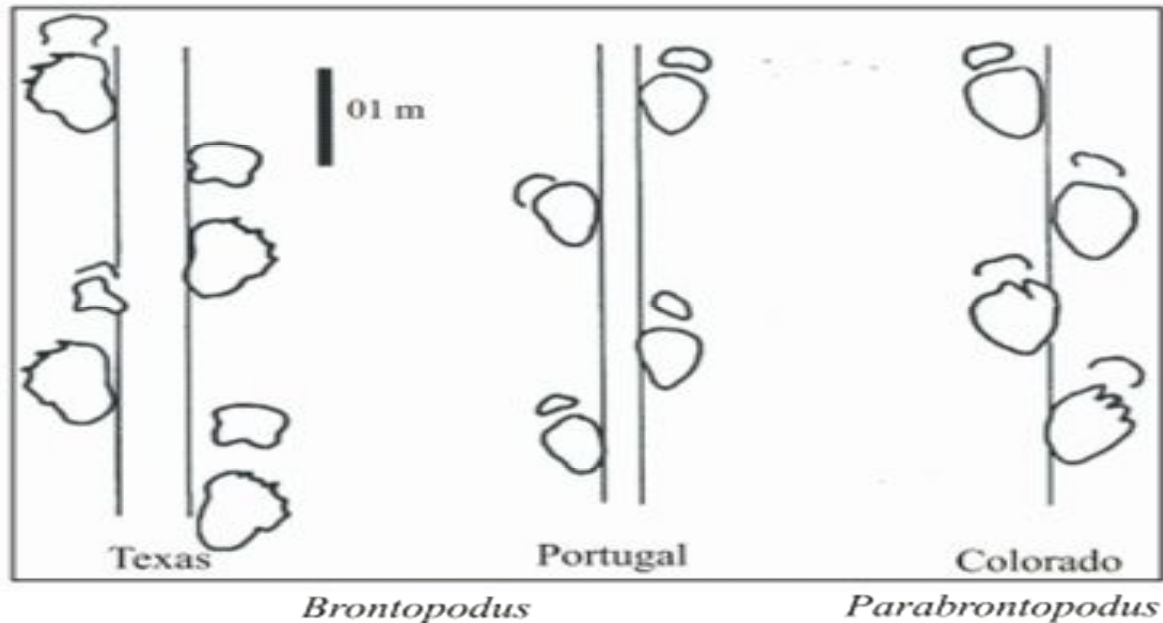


Fig. 71 : Discrimination à partir du paramètre **D** des empreintes des *Ensembles* théropoïdes de l'Atlas saharien

G1 (L, D) : Ensemble 1 + Ensemble A ; **G2 (L, D)** : Ensemble B ; **G3 (L, D)** : Ensemble 2 + Ensemble 3 + Ensemble C ; **G4 (L, D)** : Ensemble D.

Site 1 : El Bayadh-El Grarij ; Site 2 : El Bayadh-El Mouilah ; Site 3 : El Bayadh-les Abattoirs ; Site 4 : Brezina-El Mezioued ; Site 6 : El Bayadh-El Kheneg 2 ; Site 7 : El Bayadh-le Crapaud ; Site 8 : El Bayadh-El Kheneg 3 ; Site 9 : Ouafeg-Edaoura El Hamra ; Site 11 : Brézina-Garet Echiheb ; Site 12 : Brezina-Mouilah El Fougani ; Site 14 : Brezina-Daiet Sid El Arbi ; Site 17 : Pont de Tiout ; Site 18 : Amoura ; Site 19 : Amoura (Gorge) ; Site 20 : Amoura (Gaada).

Les empreintes des pistes **a** et **b** (Site 9) de l'*Ensemble B* présentent des valeurs de **D** modestes ; celles des empreintes des pistes **a**, **b** et **d** (Site 12) sont légèrement plus grandes (6 cm à 8 cm), bien que leurs longueurs d'empreintes soient proches, voire de même taille (**G2(L, D)** ; fig. 71). Les valeurs des empreintes des Sites 7, 18 et 19 de l'*Ensemble C* (**G2(L, D)** ; fig. 71) sont comparables. Les empreintes de la piste **c** (Site 9) de ce dernier ensemble (**G3(L, D)** ; fig. 71) ont des valeurs de **D** plus petites par rapport à celles des empreintes de la piste **f** (Site 4). Celles-ci sont comparables à celles des empreintes du Site 7.

Les empreintes du Site 17 (*Ensemble D* ; **G4(L, D)** ; fig. 71) ont les plus petites valeurs de **D** et se distinguent en bas, à gauche de la figure 71.

La comparaison de tous les ensembles entre eux par rapport au paramètre **D** permet de constater ce qui suit :

Exceptées les deux valeurs (**D, L**) du Site 14 (voir fig. 17, en haut de la figure), les empreintes des Sites 6, 8, 11, 14 *p.p.* et 20 attribuées à l'*Ensemble A* (fig. 71) s'intègrent assez bien dans les valeurs projetées (**D, L**) de l'*Ensemble 1* (intervalle : 11 - 16 cm). Les valeurs de l'*Ensemble A* (Site 14) sont comprises dans celles de la piste **g** appartenant à l'*Ensemble 1* (Site 1). Il faut noter par

ailleurs que seule la valeur de **D** projetée du Site 11 se retrouve, par sa longueur, en dehors des limites des bornes de l'*Ensemble 1*.

Les valeurs (**D**) projetées en fonction de la longueur des pistes **a** et **b** (Site 9) et **a** à **d** (Site 12) de l'*Ensemble B* n'intègrent aucun champ de points des autres sites et restent détachées, en bas et au centre de la figure 71. Les valeurs de **D** des empreintes du Site 12 de cet ensemble sont comparables à celles inférieures et moyennes de l'*Ensemble 2* et inférieures de l'*Ensemble 3*. Les empreintes des pistes **f**, **g** (Site 2), **f** (Site 4) et celles du Site 7 de l'*Ensemble C* ont des valeurs de **D** comparables à celles de l'*Ensemble 2*. Il montre (piste **c** : Site 9) des valeurs de **D** légèrement plus faibles que celles de ce dernier (*Ensemble 2*). Les valeurs de **D** des pistes **f** et **g** (Site 2) et celles supérieures des Sites 7, 18 et 19 appartenant à l'*Ensemble C* sont contenues dans celles de l'*Ensemble 3*.

En conclusion, par rapport au paramètre **D** en relation avec la longueur, les empreintes de grande taille de l'*Ensemble A* et celles de l'*Ensemble 1* sont superposables.

Les empreintes de l'*Ensemble B* ont une position intermédiaire entre les *Ensembles 1* et *2*. Les empreintes de l'*Ensemble C*, de l'*Ensemble 2* et de l'*Ensemble 3* sont comparables par leurs valeurs (**D**, **L**). Certaines valeurs de la piste **c** de l'*Ensemble C* (Site 9) semblent se séparer du reste. Enfin les valeurs de **D** du Site 17 se détachent de tout le reste et n'est comparable à aucun ensemble.

IV.C.2. Comparaison du paramètre D en relation avec la longueur des empreintes des Ensembles A, B, C, D, 1, 2, 3 et celles des ichnogenres des Grands Causses français

Les empreintes des ichnogenres des Grands Causses français dessinent une courbe allométrique de croissance qui s'aligne sensiblement au dessus de celles illustrées par les ensembles atlasiques (fig. 72, 73). Ces constatations confirment celles notées par Bessedik *et al.*, (2008).

Pour les mêmes valeurs de longueur, certaines ichnoespèces des Grands Causses français ont des valeurs de **D** plus grandes par rapport aux empreintes atlasiques (*Eubrontes giganteus* et *Grallator minisculus* : fig. 72). Par leurs valeurs (**D**, **L**), *G. lescurei*, *Ornithopus sp.* et à un degré moindre *Dilophosauripus williamsi* sont comparables à celles de l'*Ensemble C*. *G. saulierensis* est bien détaché, en bas à gauche de la figure 72. Il montre toutefois des valeurs de **D** (faibles) comparables d'une part à celles (maximales) du Site 17 appartenant à l'*Ensemble D* et d'autre part à celles (faibles) du Site 9 (piste : **c**) de l'*Ensemble C*. Certaines de ses valeurs (grandes) sont comparables à celles du Site 4 (piste : **f**) de l'*Ensemble C*. *Ornithopus fabrei* est comparable, par ses valeurs faibles de **D**, à celles des empreintes de l'*Ensemble D* (Site 17). Ce dernier renferme bien les valeurs de **D** de *G. variabilis*. Cette disposition graphique (fig. 72) des ichnoespèces des Grands Causses français suivant

une courbe d'allométrie de croissance est aussi constatée sur les figures 74 et 75 obtenues à partir de la projection des valeurs de **D** en relation avec les doigts II et IV.

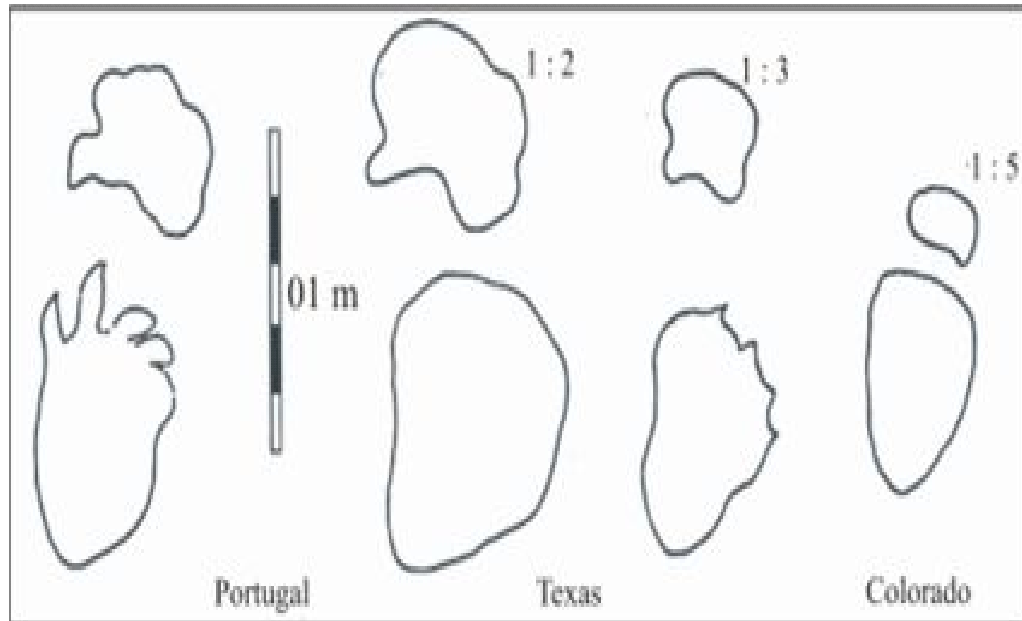


Fig. 72 : Comparaison de **D** par rapport à la longueur des *Ensembles A, B, C et D* aux Ichnogènes des Grands Causses français.

Site 6 : El Bayadh-El Kheneg 2 ; Site 7 : El Bayadh-le Crapaud ; Site 8 : El Bayadh-El Kheneg 3 ; Site 9 : Ouafeg-Edaoura El Hamra ; Site 11 : Brézina-Garet Echiheb ; Site 12 : Brézina-Mouilah El Fougani ; Site 14 : Brézina-Daiet Sid El Arbi ; Site 17 : Pont de Tiout ; Site 18 : Amoura ; Site 19 : Amoura (Gorge) ; Site 20 : Amoura (Gaada).

----- : courbe d'allométrie de croissance des ichnoespèces des Grands Causses français ;
 - - - - - : courbe d'allométrie des empreintes atlasiques.

E. g. : *Eubrontes giganteus* ; *G. m.* : *Grallator minisculus* ; *G. l.* : *Grallator lescurei* ; *D. w.* : *Dilophosauripus williamsi* ; *O. sp.* : *Ornithopus sp.* ; *G. s.* : *Grallator sauclierensis* ; *G. v.* : *Grallator variabilis*.

De même, les empreintes atlasiques dessinent par leurs valeurs (**D**, II, IV) deux courbes allométriques de croissance parallèles. Une première (en haut) est formée par les empreintes des Sites 9 et 12 (*Ensemble B*) et celles des Sites 6, 8, 11, 14 et 20 (*Ensemble A*). La deuxième (en bas) est constituée par les empreintes de l'*Ensemble C*.

Notons qu'*Eubrontes giganteus* et *Grallator minisculus* se détachent du reste (fig. 74 et 75). Par ses valeurs (**D**, II, IV), *G. sauclierensis* est intermédiaire entre les *Ensembles C* et *D*. Comme sur la figure 72 (L, D), les empreintes d'*Ornithopus fabrei* sont comparables par leurs valeurs (faibles) de **D** à celles de l'*Ensemble D* (Site 17). Ce dernier ensemble renferme les valeurs de **D** de *G. variabilis*.

Par la valeur **D** projetée en fonction de la longueur des empreintes et en fonction des longueurs des deux doigts latéraux (II et IV), les empreintes des *Ensembles A* et *B* ne sont comparables à aucune

ichnoespèce des Grands Causses français. Par ces mêmes paramètres, l'*Ensemble C* est partiellement comparable à *G. lescurei*, *O. sp.* et, à un degré moindre, à *D. williamsi*.

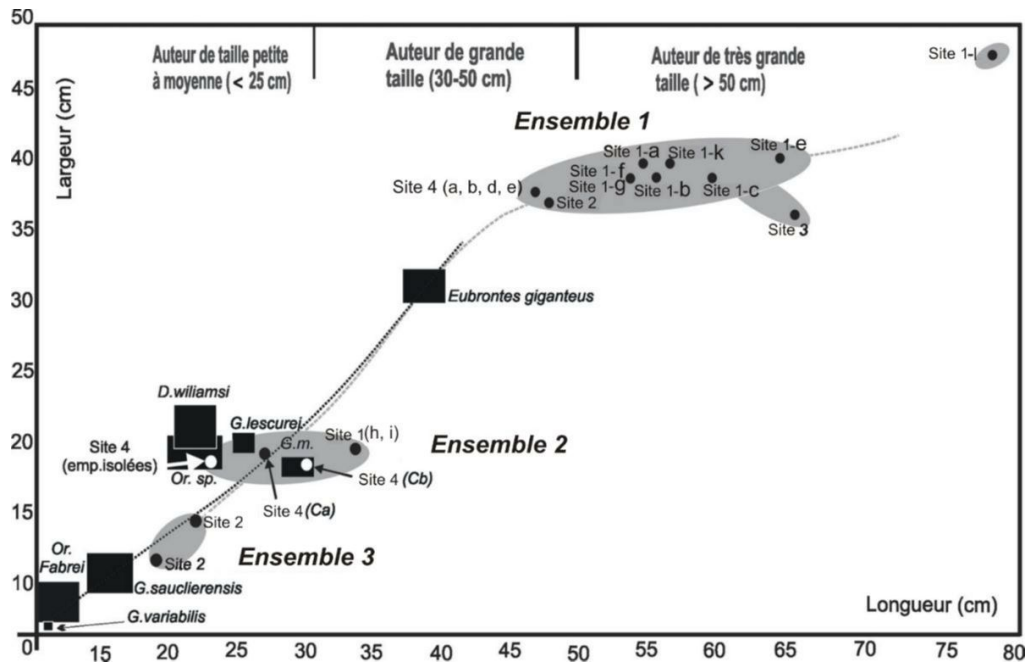


Fig.73: Caractère (longueur, largeur) des empreintes (par sites et pistes) de pas des dinosaures de la région d'El Bayadh (Sites 1, 2, 3 et 4) et comparaisons avec quelques ichnoespèces liasiques des Grands Causses français (Bessedik *et al.*, 2008).

G. = *Grallator* ; *Or.* = *Ornithopus* ; *D.* = *Dilophosauripus* ; *m.* = *Grallator minisculus* ; a, b, c, ..., Ca, Cb, ... = pistes ;
- - - = Courbe d'allométrie de croissance des *Grallator-Eubrontes* et *Ensembles 1-3*.

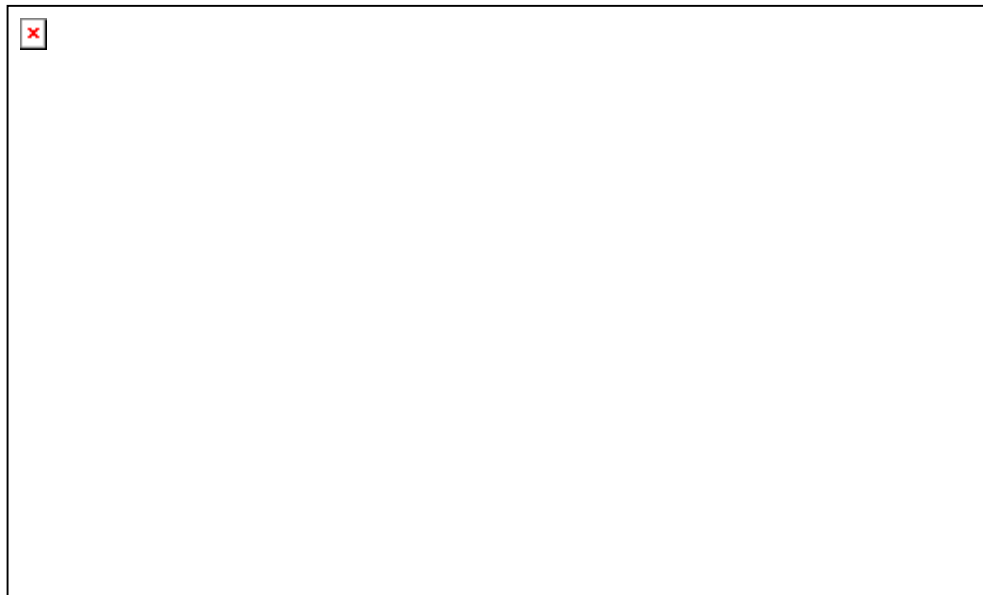


Fig.74 : Comparaison du paramètre **D** en relation avec la longueur du doigt II des *Ensembles A, B, C, D* avec celui des ichnogénres des Grands Causses français.

Site 6 : El Bayadh-El Kheneg 2 ; Site 7 : El Bayadh-le Crapaud ; Site 8 : El Bayadh-El Kheneg 3 ; Site 9 : Ouafeg-Edaoura El Hamra ; Site 11 : Brézina-Garet Echiheb ; Site 12 : Brézina-Mouilah El Fougani ; Site 14 : Brézina-Daïet Sid El Arbi ; Site 17 : Pont de Tiout ; Site 18 : Amoura ; Site 19 : Amoura (Gorge) ; Site 20 : Amoura (Gaada).

- - - : courbe d'allométrie de croissance des ichnoespèces des Grands Causses français ; - - - : courbe d'allométrie de croissance des empreintes atlasiques. *E.g.* : *Eubrontes giganteus* ; *G.m.* : *Grallator minisculus* ; *G.l.* : *Grallator lescurei* ; *D.w.* : *Dilophosauripus williamsi* ; *O. sp.* : *Ornithopus sp.* ; *G.s.* : *Grallator saucierensis* ; *G.v.* : *Grallator variabilis*.

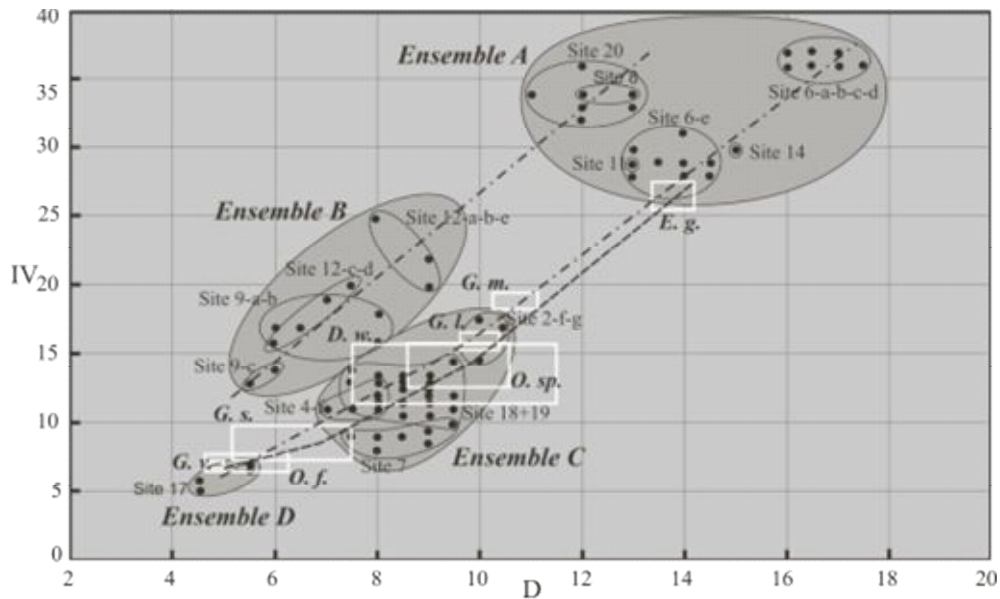


Fig. 75 : Comparaison du paramètre **D** (fonction de la longueur du doigt IV) des **Ensembles A, B, C et D** avec celui des ichnogenres des Grands Causses français.

Site 6 : El Bayadh-El Kheneg 2 ; Site 7 : El Bayadh-le Crapaud ; Site 8 : El Bayadh-El Kheneg 3 ; Site 9 : Ouafeg-Edaoura El Hamra ; Site 11 : Brézina-Garet Echiheb ; Site 12 : Brézina-Mouilah El Fougani ; Site 14 : Brézina-Daiet Sid El Arbi ; Site 17 : Pont de Tiout ; Site 18 : Amoura ; Site 19 : Amoura (Gorge) ; Site 20 : Amoura (Gaada).

--- : courbe d'allométrie de croissance des ichnoespèces des Grands Causses français ;

- - - : courbe d'allométrie des empreintes atlasiques.

E.g. : *Eubrontes giganteus* ; G.m. : *Grallator minisculus* ; G.l. : *Grallator lescurei* ; D.w. : *Dilophosauripus williamsi* ; O. sp. : *Ornithopus sp.* ; G.s. : *Grallator saucierensis* ; G.v. : *Grallator variabilis*.

Ce rapprochement peut être rejeté à cause de l'ancienneté de l'âge des ichnoespèces des Grands Causses français (Trias terminal à Jurassique inférieur) par rapport à celui plus récent de l'**Ensemble C** (Crétacé inférieur à Crétacé supérieur). Seules les empreintes du Site 17 de l'**Ensemble D** sont comparables, par ces paramètres, à *Grallator variabilis* et, à un moindre degré, à *Ornithopus fabrei*.

Par conséquent, les rapprochements provisoires des **Ensembles 1** d'*Eubrontes giganteus*, **2** et **3** de *Grallator* (Bessedik *et al.*, 2008) sont reconsidérés.

IV. D. paramètres L/l et LxL/l des ensembles atlasiques en comparaison avec ceux des ichnogenres des Grands Causses français et ceux connus mondialement

Le rapport Longueur/largeur est utilisé pour comparer l'é étroitesse des empreintes (Belvedere *et al.*, 2010 ; Nouri, 2007, 2011, Demathieu *et al.*, 2002), les unes par rapport aux autres. Plus ce rapport est grand (supérieur à 1,3 ; 1,5 ; 1,7 ; ...), plus l'empreinte est étroite. Aussi, des empreintes de même longueur, présentant des rapports (L/l) différents, sont morphologiquement différentes. Plus petit, le rapport L/l indique une surface plantaire du pied plus grande, ce qui pourrait présager éventuellement de l'envergure et de l'agilité des auteurs et vis-versa. Les empreintes de petite taille présentent souvent des rapports L/l plus grands que celles de grande taille. Ceux-ci seraient à mettre

en relation avec l'âge des individus, phénomènes qui ont été observés chez les mammifères et les crocodiliens (Demathieu, *in litteris*).

Ce constat étant fait, la projection des valeurs du rapport L/l en fonction de la taille des ensembles atlasiques et des ichnogenres connus mondialement (*Megalosauropus*, *Therangospodus*, *Megalosauripus* et *Eutynichnium*) montre l'existence d'une relation inversement proportionnelle du rapport L/l en fonction de la longueur (fig. 76). En effet, plus le rapport L/l est grand, plus la longueur de l'empreinte est plus petite et inversement.

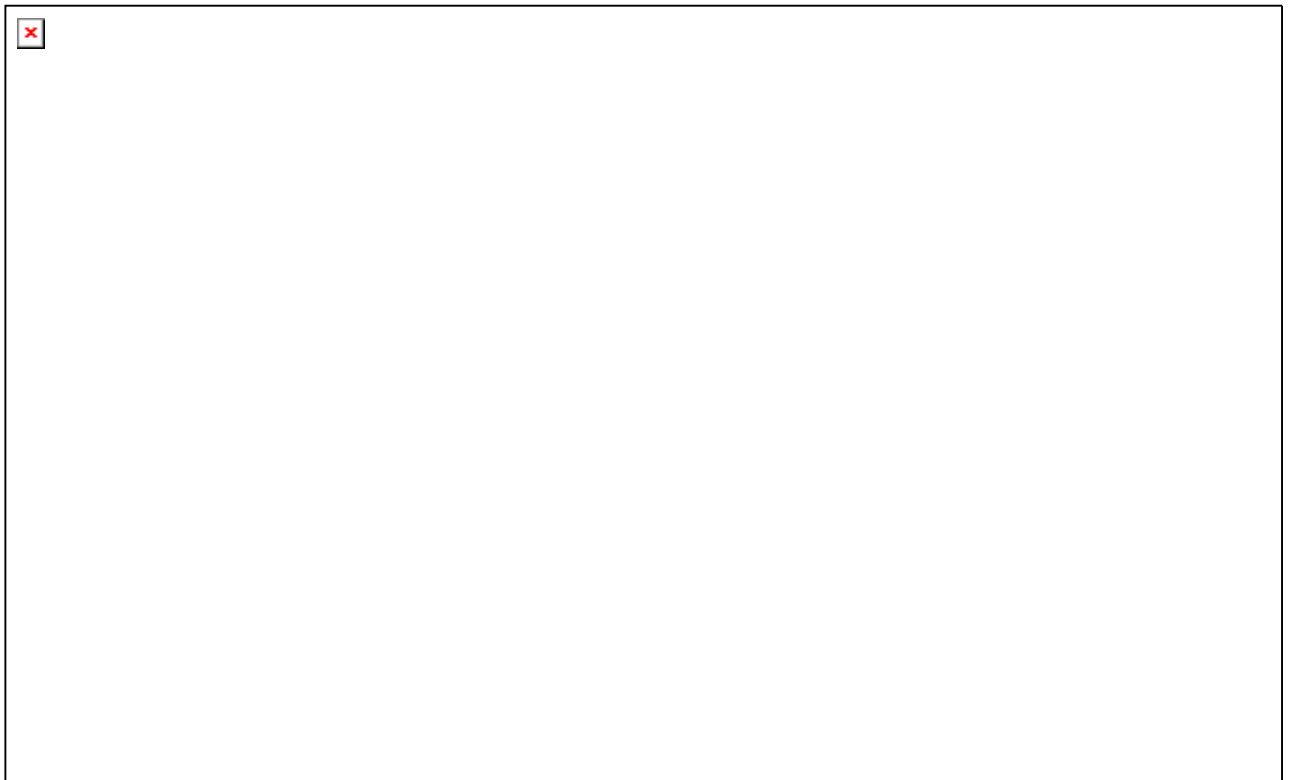


Fig. 76 : Comparaison de la longueur L en relation avec le rapport (L/l) des ensembles atlasiques et des ichnogenres *Megalosauripus*, *Eutynichnium* et *Therangospodus*.

E1 : Ensemble 1 ; *EA* : Ensemble A ; *E2* : Ensemble 2 ; *EB* : Ensemble B ; *E3* : Ensemble 3 ; *EC* : Ensemble C ; *ED* : Ensemble D. *M.** : *Megalosauripus* d'Europe ; *M.*** : *Megalosauripus* d'Amérique du Nord ; *M. u* : *Megalosauripus uzbekisticus* ; *E. l.* : *Eutynichnium lusitanicum* ; *T. p.* : *Therangospodus pandemicus*.

À noter que les empreintes de *Megalosauropus uzbekisticus* (*Megalosauripus sensu* Lockley *et al.*, 1998a; Asie), de *Megalosauripus* (Amérique du Nord), *Megalosauripus* (Europe) et celles (grande taille) des *Ensembles A* (Sites 6, 8, 11, 12 et 14) et *1* (Sites 1 et 4) sont comparables (fig. 76). Néanmoins, le rapport L/l exclut *Megalosauripus* (Amérique du Nord) de cette comparaison.

Les valeurs de taille (L , l), des *Ensembles A et 1* se fondent mieux dans les valeurs de *Megalosauripus uzbekisticus*. En revanche, celles d'*Eutynichnium lusitanicum* se détachent nettement dans le graphe (en bas à droite).

Les valeurs de L et L/l de l'*Ensemble 2* et partiellement celles de l'*Ensemble B* se confondent avec celles de *Therangospodus pandemicus* (fig. 76).

Par ses grandes valeurs de longueur (L= 38 cm à 40 cm ; pistes : **a**, **b** et **e** du Site 12), l'*Ensemble B* est proche de *Megalosauripus* (Amérique du Nord) et englobe, par ses petites valeurs, celles de *Therangospodus*. Les grandes valeurs des empreintes des *Ensembles 3* et *C* sont comparables partiellement à celles de *Therangospodus pandemicus* (fig. 76). Cette dernière ichnoespèce est intermédiaire entre les *Ensembles 2* et *B* d'une part et les *Ensembles C* et *3*, d'autre part.

Les valeurs de l'*Ensemble D* (Site 17) se détachent nettement des autres groupes par leur plus grands rapports (L/l) et leurs empreintes de petites taille (fig. 76).

En résumé, les valeurs des empreintes de grande taille (*Ensemble A* et *1*) se confondent avec celles de *Megalosauropus* dont certaines formes ont été mises en synonymie avec *Megalosauripus* (Lockley *et al.*, 1998a). Les empreintes des *Ensembles 2* et *C* sont comparables à celles de *Columbosauripus* (fig. 76) bien que certaines formes de l'*Ensemble C* ont des traits de ressemblance avec *Therangospodus*. Les valeurs d'empreintes de l'*Ensemble B* sont intermédiaires entre celles des *Ensembles A* et *1* d'une part et celles des *Ensembles 3* et *C* d'autre part.

V. Conclusions

En général, les empreintes des ensembles atlasiques des formes brontopoides (*Ensembles E*, *F*, *G*, *H* : Tabl. 22) sont comparables à celles de *Brontopodus* alors que celles de l'*Ensemble I* sont à rapprocher de *Parabrontopodus*. Les formes dinosauroïdes (*Ensembles 1*, *2*, *3*, *A*, *B*, *C*, *D* : fig. 77) présentent beaucoup d'affinités avec certains ichnogenres connus comme *Megalosauropus*, *Megalosauripus*, *Eutynichnium*, *Therangospodus*, *Columbosauripus* et *Grallator* (Tabl. 27, 28 et 29).

V.1. Empreintes des formes dinosauroïdes

Suite à la description et aux comparaisons des ensembles atlasiques (*Ensembles A*, *B*, *C*, *D*, *1*, *2* et *3*) les uns par rapport aux autres (fig. 77), mais aussi par rapport aux ichnogenres mondialement connus, il ressort que les *Ensembles 1* et *A* appartiennent au même groupe morphologique. De même, les *Ensembles 3* et *C* peuvent être rassemblés dans un autre groupe morphologique différent. Par conséquent, cette analyse suggère d'élargir les bornes paramétriques (taille) afin de rassembler ces quatre ensembles en deux groupes différents (*Ensembles 1* et *A* ; *Ensembles 3* et *C*). Etant intermédiaire entre les *Ensembles 1* et *2*, l'*Ensemble B* s'en distingue clairement par ses propres paramètres biométriques, constituant une entité à part entière. Il en est de même pour l'*Ensemble D*. Les paramètres utilisés dans la comparaison des empreintes peuvent être plus au moins pris en compte en matière d'ichnosystématique.

Ensembles	Paramètres					
	Taille (L x l)		Angle de divarication (T)		D (Equart Longueur doigt III/doigts II-IV)	
	Localités	Affinités ichnosystématiques	Localités	Affinités ichnosystématiques	Localités	Affinités ichnosystématiques
<i>Ensemble1</i>	Site 2 (pistes : m, n) ; Site 4 (pistes : a, b, d)	1. <i>Megalosauropus uzbekistanicus</i> , 2. <i>Megalosauripus</i> , 3. <i>Megalosauropus teutonicus</i> 4. <i>Eutynichnium atlasicus</i>	Sites 1, 2, 4	<i>Therangospodus pandemicus</i> , <i>E. atlasicus</i> , <i>Grallator lescurei</i> , <i>G. saulierensis</i> , <i>Dilophosaripus williamsi</i> , <i>Eubrontes giganteus</i> .	Sites 1, 2, 4	<i>Grallator lescurei</i> , <i>G. minusculus</i> , <i>Eubrontes giganteus</i>
<i>EnsembleA</i>	Sites 6 (pistes : a à e), 8, 11, 14, 20		Sites 6 (pistes : a à e), 8, 11, 14, 20	<i>Therangospodus pandemicus</i> , <i>Eutynichnium atlasicus</i> , <i>Eubrontes giganteus</i> , <i>Grallator saulierensis</i>	Sites 6 (pistes : a à e), 8, 11, 14, 20	<i>Dilophosaripus williamsi</i> , <i>Grallator lescurei</i> , <i>G. minusculus</i> , <i>Eubrontes giganteus</i> , <i>Columbosaripus amourensis</i>
<i>Ensemble3</i>	Site 2 (pistes : a à e, h à l, o)		Site 2 (pistes : a à e, h à l, o)	<i>Columbosaripus amourensis</i> , <i>Therangospodus pandemicus</i>	Site 2 (pistes : a à e, h à l, o)	<i>Grallator saulierensis</i> , <i>G. minusculus</i>
<i>EnsembleC</i>	Sites 2 (pistes : f, g), 4 (piste : f), 9 (piste : c), 7, 18, 19	1. <i>Columbosaripus amourensis</i> , 2. <i>Therangospodus</i>	Sites 2 (pistes : f, g), 4 (piste : f), 9 (piste : c), 7, 18, 19	<i>Megalosauripus</i> , <i>Megalosauropus</i> , <i>Eutynichnium atlasicus</i> , <i>C. amourensis</i> , <i>Grallator saulierensis</i> , <i>G. lescurei</i> , <i>Dilophosaripus williamsi</i> , <i>Eubrontes giganteus</i>	Sites 2 (pistes : f, g), 4 (piste : f), 9 (piste : c), 7, 18, 19	<i>Dilophosaripus williamsi</i> , <i>Grallator lescurei</i> , <i>G. minusculus</i> , <i>Eubrontes giganteus</i>
<i>Ensemble2</i>	Site 1 (pistes : h, i) Site 4 (piste : c)	<i>Therangospodus pandemicus</i>	Site 1 (pistes : h, i), site 4 (piste : c)	<i>C. amourensis</i> , <i>Eutynichnium atlasicus</i> , <i>Therangospodus pandemicus</i> , <i>Megalosauripus</i> , <i>Megalosauropus</i>	Sites 1 (pistes : h, i), 4 (piste : c)	<i>Grallator saulierensis</i> , <i>Dilophosaripus williamsi</i>
<i>EnsembleB</i>	Sites 9 (pistes : a et b), 12 (pistes : a à e)	1. <i>Therangospodus pandemicus</i> , 2. <i>Megalosauripus</i> , 3. <i>Megalosauropus broomensis</i>	Sites 9 (piste : a, b), 12 (pistes : a à e)	<i>Grallator variabilis</i> , <i>G. minusculus</i> , <i>G. saulierensis</i> , <i>Dilophosaripus williamsi</i> , <i>C. amourensis</i> , <i>Eubrontes giganteus</i> , <i>Therangospodus pandemicus</i> , <i>Megalosauripus</i> , <i>Megalosauropus</i>	Sites 9 (pistes : a, b), 12 (pistes : a à e)	
<i>Ensemble D</i>	Site 17	<i>Grallator variabilis</i>	Site 17	<i>Grallator variabilis</i> , <i>Grallator minusculus</i> , <i>Megalosauropus</i>	Site 17	<i>Grallator variabilis</i> , <i>G. saulierensis</i> , <i>Ornithopus fabrei</i>

Tabl. 27 : Paramètres de taille (L x l), T et D communs entre les ensembles atlasiques et Hautes plaines, les ichnogènes des Grands Causses français et d'autres ichnogènes connus dans le monde.

Site 2 : El Bayadh-El Mouilah ; Site 4 : Brezina-El Mezioued. Site 6 : El Bayadh-El Kheneg 2 ; Site 7 : El Bayadh-le Crapaud ; Site 8 : El Bayadh El Kheneg 3 ; Site 9 : Ouafeg-Edaoura El Hamra ; Site 11 : Brézina-GaretEchiheb ; Site 12 : Brezina-Mouilah El Fougani, Site 14 : Brezina-Daiet Sid El Arbi ; Site 17 : du Pont de Tiout ; Site 18 : Amoura ; Site 19 : Amoura (Gorge) ; Site 20 : Amoura (Gaada).

Néanmoins, la taille semble être, pour de nombreux auteurs (Barco *et al.*, 2005, entre autres), le caractère prépondérant dans toute dénomination ichnosystématique. Les ichnoespèces des Grands Causses français (excepté *Grallator variabilis*) sont à écarter pour tout rapprochement et ce en dépit de l'existence de certaines similitudes relatives aux paramètres **T** et **D**, observations qui ont été notées par ailleurs (Bessedik *et al.*, 2008).

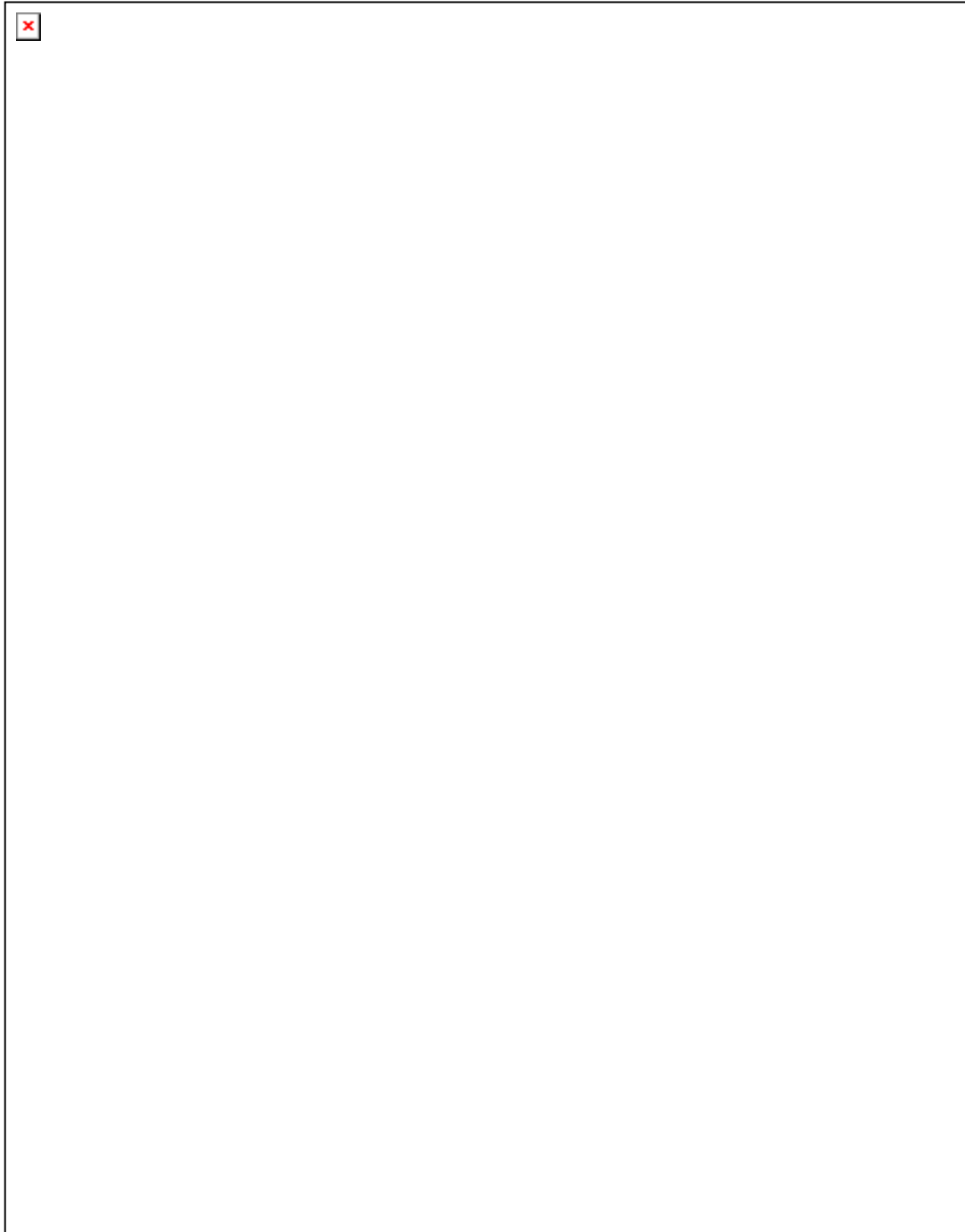


Fig. 77 : Morphologie des empreintes dinosauroïdes de l'Atlas saharien.

Il ressort de cette analyse que les rapprochements des ensembles atlasiques sont possibles avec certains ichnogenres connus en Asie, Europe, Afrique et Amérique du Nord (Tabl. 28) :

-Groupe 1 (Ensembles A et 1) : empreintes de très grande taille, à rapprocher des ichnogenres *Megalosauropus* et *Megalosauripus* (*sensu* Lockley *et al.*, 1998a). Des ressemblances sont à établir aussi entre certaines empreintes de l'*Ensemble 1* et celles d'*Eutynichnium*.

-Groupe 2 (Ensemble B) : empreintes présentant des affinités avec celles des ichnogenres *Megalosauropus* et *Therangospodus*.

-Groupe 3 (Ensembles 2) : empreintes comparables à celles de l'ichnogenre *Therangospodus*.

-Groupe 4 (Ensembles 3 et C) : empreintes comparables à celles des ichnogenres *Columbosauripus* et *Therangospodus*.

-Groupe 5 (Ensemble D) : empreintes comparables à celles de *Grallator variabilis*.

Ensembles atlasiques	Groupes	Caractéristiques et désignation		Âges considérés	Attributions ichnosystématiques
		Nbre de doigts	Sites et pistes		
Ensemble 1	Groupe 1	Tétradactyles	Site1 (El Bayadh- El Grarij ; pistes : a à g).	Valanginien - Kimméridgien	1. <i>Eutynichnium</i> ; 2. <i>Megalosauripus</i>
		Tridactyles	Site 2 (El Bayadh- El Mouilah ; pistes : m, n), Site 3 (El Bayadh-les Abattoirs), Site 4 (Brezina-El Mezioued ; pistes : ab, d).	Valanginien - Kimméridgien	1. <i>Megalosauripus</i> ; 2. <i>Megalosauropus</i>
Site 14(Brezina-Daiet Sid El Arbi), Site 13 (Brezina-Hamiet Boulafea) etSite 20 (Amoura-Gaada).			Cénomanien- Albien terminal	1. <i>Megalosauropus</i> ; 2. <i>Megalosauripus</i>	
Site 8 (El Bayadh-El Kheneg 3), Site 6 (El Bayadh-El Kheneg 2 ; pistes : a à e) et site 11 (Brezina-Garet Echiheb).			Valanginien - Kimméridgien	1. <i>Megalosauripus</i> ; 2. <i>Megalosauropus</i>	
Ensemble B	Groupe 2		Site 9 (Ouafeg- Edaoura El Hamra ; pistes : a, b) et Site 12 (Brezina- Mouilah El Fougani ; pistes : a, b, c, d).	Albien - Barrémien	1. <i>Megalosauropus</i> ; 2. <i>Therangospodus</i>
Ensemble 2	Groupe 3		Site 1 (El Bayadh-ElGrarij ; pistes : h, i), Site 4 (Brezina-El Mezioued: (piste : c)).	Valanginien - Kimméridgien	<i>Therangospodus</i>
Ensemble C	Groupe 4	Site 18 (Amoura), Site 19 (Amoura-Gaada) et Site 7 (El Bayadh-le Crapaud).	Cénomanien- Valanginien	1. <i>Columbosauripus</i> ; 2. <i>Therangospodus</i>	
		Site2 (El Bayadh-ElMouilah; p: f, g), Site4 (Brezina-El Mezioued ; piste : f), Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra ; piste : c).	Albien - Kimméridgien	1. <i>Therangospodus</i> ; 2. <i>Columbosauripus</i>	
Ensemble 3	Groupe 5	Site 2 (El Bayadh- El Mouilah ; pistes : a à e + h à l et o).	Valanginien - Kimméridgien	<i>Columbosauripus</i>	
Ensemble D		Site 17 (Pont de Tiout).	Rhétien- Hettangien	<i>Grallator</i>	

Tabl. 28 : Attribution des empreintes tétra- et tridactyles des ensembles dinosauroïdes atlasiques.

V. 2. Empreintes des formes brontopoïdes

La description des empreintes des formes brontopoïdes a permis d'individualiser deux groupes de formes brontopoïdes. Leur comparaison avec celles des ichnogenres connus ont permis de rapprocher la plupart des empreintes atlasiques à l'ichnogenre *Brontopodus* (Groupe 1). L'étude du seul Site 21 (Essaguia-Garet El Hefle ; groupe 2) a permis de reconnaître des caractéristiques d'empreintes et de piste comparables à celles de l'ichnogenre *Parabrontopodus*.

Ensembles atlasiques	Groupes	Caractéristiques et désignation			Âges considérés	Attribution ichnosystématique
		Piste	Ratio surface Main : pied	Sites et pistes		
<i>Ensemble 4</i>	Groupe 1	Large	0,53 (1 : 2)	Site 1 (El Bayadh-El Grarij ; piste : j)	Valanginien	<i>Brontopodus</i>
<i>Ensemble E</i>			0,40 (1 : 2,5)	Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra ; pistes : a, b)	Albien Aptien Barrémien	
<i>Ensemble F</i>			/	Site 16 (Tousmouline)		
<i>Ensemble G</i>			0,56 (1 : 2)	Site 14 (Brezina-Daïet Sid El Arbi)	Cénomanién Albien terminal	
<i>Ensemble H</i>			0,43 (1 : 2,5)	Site 15 (Sfissifa-Harcha)	Albien Aptien Barrémien	
<i>Ensemble I</i>	Groupe 2	Etroite	0,19 (1 : 5)	Site 21 (Essaguia-Garet El Helfe)		<i>Parabrontopodus</i> (= <i>Breviparopus</i>)

Tabl. 29 : Attribution des empreintes des ensembles brontopoides atlasiques (Algérie).

VI. Âges et attributions (tabl. 28 ; fig. 78)

-En ce qui concerne les formes dinosauroïdes, : les empreintes : tétradactyles (*Ensemble 1 p.p*) sont d'âge Kimméridgien à Cénomanién (Cornet, 1952 ; Basseto et Coumes, 1967 ; Abed, 1982). Cette population d'empreintes est attribuée à l'ichnogenre *Eutynichnium*, sur la base de la présence de la trace du doigt I. En revanche, les formes à empreintes tridactyles (*Ensemble 1 p.p* et *Ensemble A*), d'âge s'étendant du Kimméridgien au Cénomanién (Cornet, 1952 ; Basseto et Coumes, 1967 ; Abed, 1982), ont des affinités avec les ichnogenres *Megalosauropus*, *M. usbekistanus*, *M. teutonicus*, *M. glenrosensis*, *M. brionensis*). Lockley *et al.* (1998a) ont révisé l'ichnogenre *Megalosauropus*, en désignant les formes d'âge oxfordien-Kimméridgien de *Megalosauripus*. Cette dernière forme peut être rapprochée de celle, de même âge, du Site 8 (El Bayadh-El Kheneg 3).

Les formes d'empreintes de l'*Ensemble B*, d'âge Barrémien-Albien, présentent des affinités avec celles de *Megalosauropus*. Celles de l'*Ensemble 2* dont l'âge est Kimméridgien-Valanginien sont comparables à celles de l'ichnogenre *Therangospodus*.

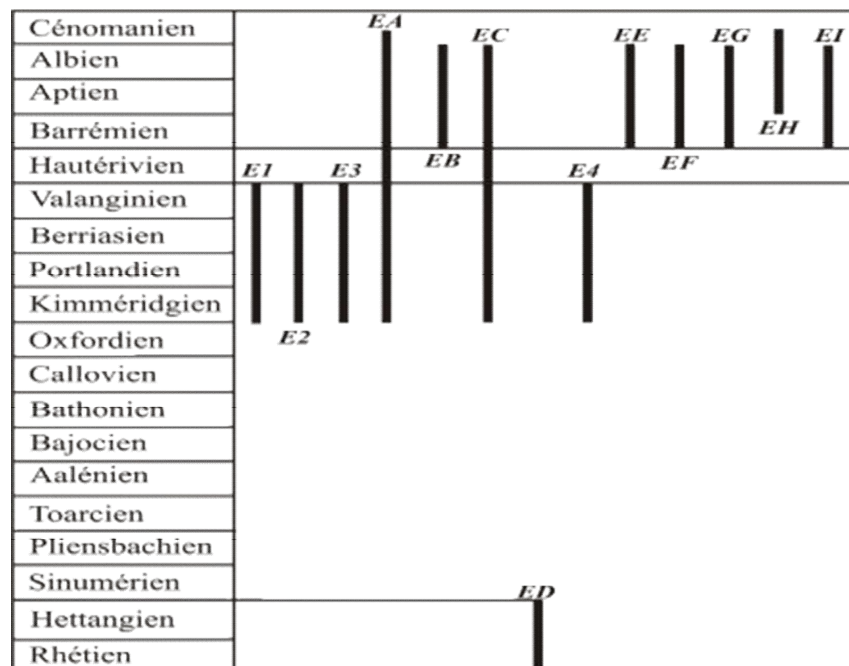
D'âge Kimméridgien-Cénomanién, les formes d'empreintes des *Ensembles C* (Tabl. 18) sont comparables aux ichnogenres *Therangospodus* et *Columbosauripus*. Celles de l'*Ensemble 3*, attribuées au Kimméridgien-Valanginien, sont rapprochées de l'ichnogenre *Columbosauripus*.

Les formes d'empreintes de l'*Ensemble D* (Tabl. 28), d'âge Rhétien à Hettangien, sont attribuées à l'ichnogenre *Grallator* (Hitchcock, 1858) voire *Grallator variabilis* Lapparent et Montenat, 1967. (Bassoullet, 1971 ; Mammeri, 2008 ; Bessedik *et al.*, 2008).

En ce qui concerne les formes brontopoïdes atlasiques, 06 ensembles (Tabl. 29) y ont été décrits : **Ensembles 4, E, F, G, H et I**. Leurs empreintes sont disposées en couple main-pied dues à des dinosaures quadrupèdes appartenant à des Sauropodes. Cette disposition de la piste des empreintes peut revêtir chez les Sauropodes un intérêt particulier sur le plan systématique.

En effet, certains auteurs (Lockley *et al.*, 1994 ; Farlow *et al.*, 1989, Farlow, 1993) distinguent des pistes larges « *wide-gauge* » qu'ils attribuent à l'ichnogenre *Brontopodus* et des pistes étroites « *narrow-gauge* » à l'ichnogenre *Parabrontopodus* (fig. 79, 80). Ce critère permet d'individualiser deux « *groupes* » de brontopoïdes mais ne semble pas suffisant pour traiter sérieusement leur systématique. A défaut, cette nomenclature est ici adoptée.

-*Brontopodus* est caractérisé par des pistes (type Texas) décrites au Texas et au Portugal (Farlow, 1992 ; Farlow et Meyer, 1994) ; elles sont constituées d'empreintes (pieds et mains) latérales très espacées par rapport à l'axe de mouvement de l'auteur. Dans ce cas, l'amplitude de la piste pour la main et le pied est la même ; le ratio de surface main-pied est égal à 1 : 2 (empreintes du Portugal : Santos *et al.*, 1992 ; Santos *et al.*, 1994). L'angle de pas chez cet ichnogenre est de 100 à 120°, le pas étant trois fois plus long que l'empreinte du pied, normes décrites par Farlow (1992).



A la lumière de ce qui a précédé, les empreintes brontopoïdes de l'*Ensemble 4*, d'âge valanginien, sont attribuées à *Brontopodus* par Bessedik *et al.* (2008). Les ensembles brontopoïdes (*E*, *F*, *G* et *H*) présentent une disposition nette des couples main-pied dont les ratios de surface sont compris entre 0,40 et 0,53 (Tabl. 22, fig. 80) ; ils caractérisent bien l'ichnogenre *Brontopodus* dont l'âge va du Barrémien à l'Albien voire Albien terminal à Cénomanién. L'*Ensemble I*, attribué à *Parabrontopodus* présente une piste nettement étroite avec un ratio de surface (pied-main) équivalent à 0,19 (Tabl. 22 ; fig. 80). Il est daté du Barrémien à Albien.

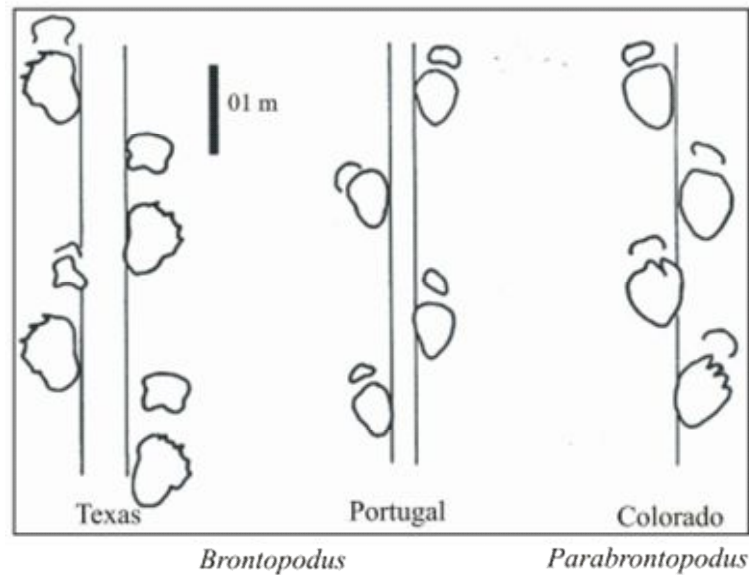


Fig. 79 : Dispositions des empreintes de pas des Sauropodes par rapport à leur piste (Lockley *et al.*, 1994). Pistes large (Texas : Crétacé ; Portugal : Jurassique supérieur) et étroite (Colorado : Jurassique supérieur).

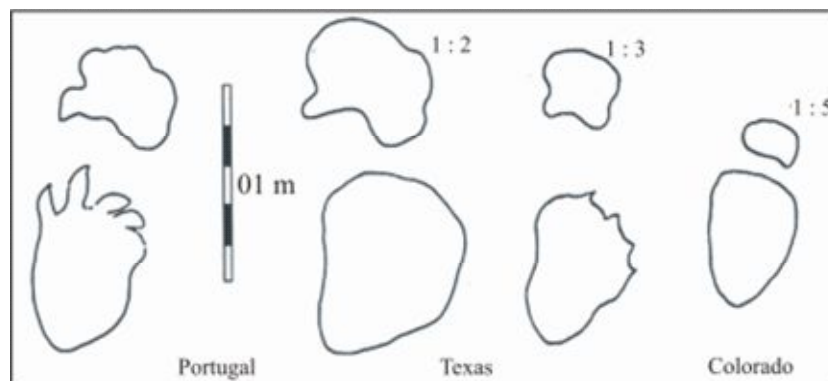


Fig. 80 : Ratio de surface main : pied chez les Sauropodes (d'après Lockley *et al.*, 1994). 1 : 2 à 1 : 3 = *Brontopodus* ; 1 : 5 = *Parabrontopodus*.

A. Les environnements des sites à empreintes

Les bancs à empreintes de dinosaures présentent généralement des surfaces supérieures rubéfiées (Site 1, Site 4) ou condensées (Sites 1, 2, 6, 18, 19 et 20 ; Pl. 12 : fig. 6) voire à fentes de dessiccation (Sites 2, 18, 19 et 20 : Pl. 12 : fig. 7 et 8). Ces surfaces sont parfois perforées montrant des traces de gouttes de pluie (Bellaire et Lapparent, 1948 ; Mammeri *et al.*, 2011). Ce type de surfaces peuvent être considérées comme des surfaces de discontinuités sédimentaires (Bassoullet, 1973 ; Mekahli, 1998).

Les faciès minéralogiques (détritiques ou carbonatés) et les structures qui leur sont associées (fentes de dessiccation, condensation, ..., etc.), composant des séquences fluviales, fluvio-deltaïques et côtières (supra tidales voire d'estuaire), laissent envisager des milieux particuliers, pouvant favoriser la conservation des empreintes. Cette conservation ne semble être possible que dans un dynamisme sédimentaire spécifique.

Les empreintes des Sites 9, 10, 11, 12, 14, 15, et 16 sont situées dans une série essentiellement gréseuse attribuée au Continental intercalaire. Ces dépôts semblent avoir été effectués pendant une période chaude dans un milieu fluvio-deltaïque (Delfaud, 1974a).

B. Les milieux de fossilisation d'empreintes

L'emplacement des empreintes bien conservées est celui situé en limites des domaines marin et continental. En effet, les secteurs de l'Atlas saharien des Monts de Ksour, au Trias (*p. p.*) et ceux des Ouled Nail au Cénomaniens, connaissent une plateforme carbonatée interne proximale [Site 17 (Bassoullet, 1973) ; Sites 18, 19 et 20 (Bellair et Lapparent, 1948 ; Mammeri *et al.*, 2011)].

Des empreintes sont également localisées dans des milieux côtiers où le domaine marin pénètre dans le domaine continental suite à un épisode transgressif (Cornet, 1952 ; Delfaud, 1974b) : Sites 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8). D'autres sites à empreintes sont situés dans le domaine supra-deltaïque en zone de plaines inondées lors des crues (Delfaud, 1974a).

C. Position des niveaux à empreintes par rapport à l'évolution séquentielle des formations atlasiques

L'évolution de la série générale sédimentaire atlasique (fig. 81) débute par des faciès carbonatés déposés en plateforme interne à partir de Rhétien-Hettangien (Flammand, 1911 ; Cornet, 1952 ; Bassoullet, 1973 ; Mekahli, 1998). Ces dépôts évoluent progressivement vers des

faciès calcaires à bélemnites de plateforme externe, des marno-calcaires à *Zoophycus* et des marnes à ammonites de milieu ouvert au Bathonien (Delfaud, 1974b ; Mekahli, 1998).

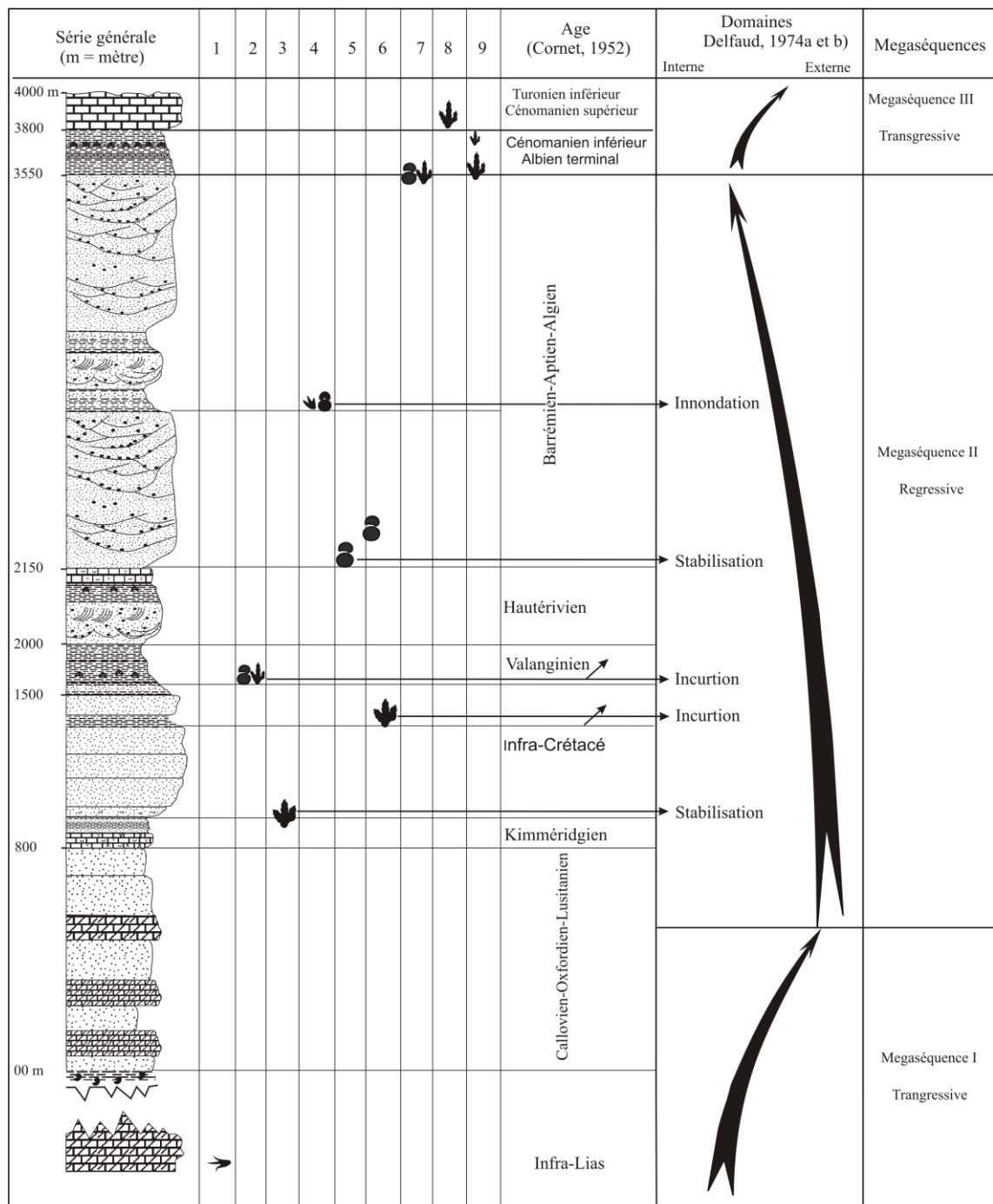


Fig. 81 : Évolution géodynamique de la série atlasique (Cornet, 1952 ; Bassoullet, 1973 ; Delfaud, 1974a et b) et position des niveaux à empreintes de dinosaures.

1 : Site 17 (Pont de Tiout) ; 2 : Site 1 (El Bayadh-El Grarij) ; 3 : Site 8 (El Baydh El Kheneg 3) ; 4 : Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra), Sites 10 (Ouafeg-Thénia El Hamra), Site 12 (Brezina-Mouilah El Fougani), Site 21 (Essaguaia-Garet El Hefte) ; 5 : Site (Sfissifa-Harcha); 6 : Site 4 (Brezina-El Mezioued); 7: Site 14 (Brézina-Daïet Sid El Arbi); 8 : Site 13 (Brezina-Hamiet Boulafea) ; 9 : Sites d'Amoura.

Cette évolution montre une subsidence basculante (Mekahli, *ibid*), en ce sens qu'il existait une certaine ségrégation entre zones plus au moins subsidentes. En effet, le milieu

semble être totalement ouvert dès l'Hettangien supérieur-Sinémurien à Aïn Ourka (faciès à ammonites). En revanche, il est calcaire et dolomitique de plateforme interne dans la dorsale septentrionale (Djebel Hafid-Boughnissa) et ce jusqu'au Carrixien (Bassoullet, 1973 ; Mekahli, *ibid*). L'ouverture vers le bassin s'effectue, à partir du Domérien, avec des calcaires bleus à bélemnites de plateforme carbonatée externe suivis au Toarcien par des marnes à ammonites. Durant l'Aalénien-Bajocien, un retour aux conditions de plateforme avec des faciès carbonatés annonce l'inversion de la tendance transgressive (Mekahli, *ibid*).

De même, plus au Sud dans la région d'Aïn Ouarka se développent, à partir du Bajocien, les premières décharges terrigènes indiquant l'inversion de la tendance transgressive par l'installation d'un régime deltaïque (Delfaud, 1974a et b).

Les faciès deltaïques (grès des Ksour) montrent, d'Ouest en Est (fig. 82), une évolution paléogéographique et stratigraphique progressive, des faciès de mer ouverte vers des faciès continentaux (Delfaud, 1975).

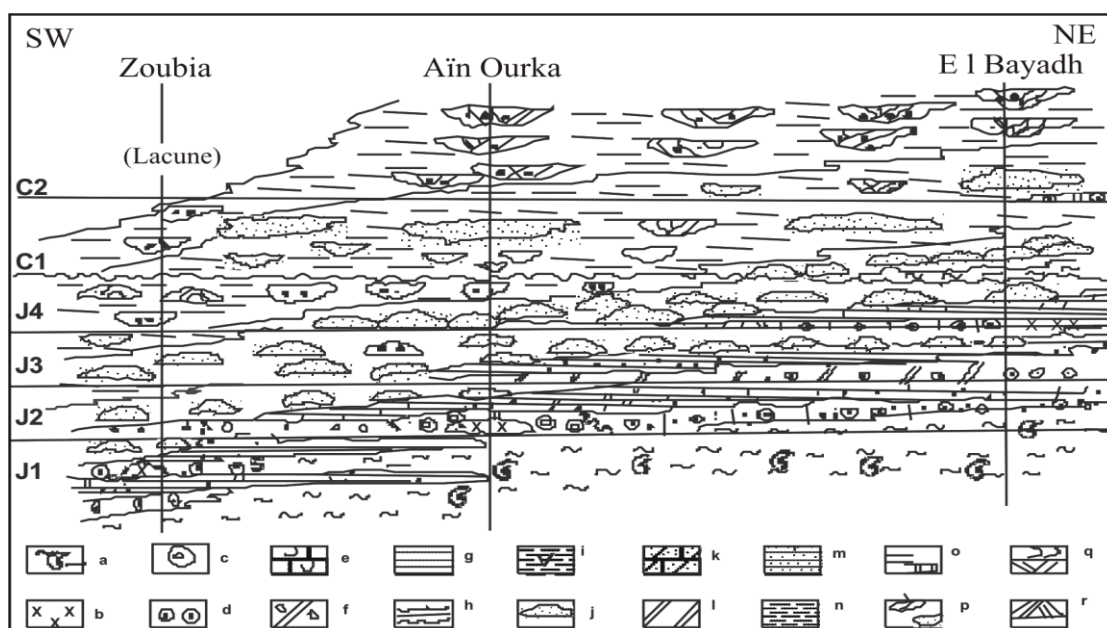


Fig. 82 : Répartition des dépôts dans les Monts des Ksour (Delfaud, 1974a).

J1 : Bajocien pp, J2 : Bajocien-Bathonien (+Callovien pp. ?), J3 : Callovien et Oxfordien, J4 : Kimméridgien-Portlandien, C1 : Néocomien-Barrémien ?, C2 : Aptien+Albien ?

a : marnes à ammonites, b : récif, c : micrite à oncolithes, d : sparite à oolites, e : lumachelle, f : dolomie à fantômes, g : grès verts à laminites, h : grès verts en séquences atlasienne, i : argile violette à faune saumâtre, j : cordon de sable blanc, k : grès blanc à stratification oblique, l : dolomie primaire, m : grès blanc lité, n : argile rouge, o : lignite et traces de racines, p : chenal et dragées, q : grès à stratifications obliques ou contournées, r : dune éolienne.

En effet, le cycle deltaïque débute avec des faciès pro-deltaïques (calcaires oolithiques, dolomies et marnes alternant avec des grès). Ces dépôts évoluent vers des termes essentiellement détritiques (alternances de grès grossiers parfois à dragées de quartz et de marnes sableuses) de

milieu médio à supra-deltaïques (Delfaud, *ibid*). Cette évolution révèle la présence, au Bajocien, des dépôts deltaïques dans le secteur occidental des Monts de Ksour (fig. 82). Au même moment, se développe une sédimentation marine depuis la région d'Aïn Ouarka jusqu'aux secteurs de la région d'El Bayadh et au-delà.

Ceci explique la mise en place d'une sédimentation qui commence à partir du Bajocien-Bathonien dans la région d'Aïn Ourka et n'atteint la région d'El Bayadh qu'au Callovo-Oxfordien.

Cette dernière période est caractérisée par une alternance de dolomie, de grès et marnes (Cornet, 1952). Cet auteur, met en évidence un agencement complexe (évolution verticale et horizontale) des formations atlasiques (fig. 83). Il montre la superposition des formations marines à côtières et continentales ainsi que des passages latéraux s'opérant à différentes périodes géologiques depuis Mecheria à l'Ouest jusqu'à Laghouat à l'Est.

Cette dynamique est liée au développement du delta des Ksour qui se met en place à partir du Jurassique moyen jusqu'au Crétacé supérieur (Albien à Cénomaniens : Delfaud, 1974a).

A partir de cette dernière phase, les faciès sont marqués par des marno-calcaires suivis de marnes à gypse auxquelles succèdent des calcaires blancs de plateforme interne évoluant vers des faciès carbonatés de type bassin (Cornet, 1952 ; Bassoulet, 1973 ; Delfaud, 1975). Il s'agit d'un retour d'une sédimentation marine transgressive (transgression cénomaniens).

En résumé, la série atlasique générale évolue suivant trois mégaséquences (Delfaud, 1975 ; Kazi Tani, 1986) :

- la première, transgressive, se met en place à partir du Rhétien-Hettangien et jusqu'au Bajocien avec l'arrivée des premières décharges détritiques ;

- la deuxième, régressive, lui succède depuis le Bajocien jusqu'à l'Albien terminal, représentant la mise en place et le développement du delta des Monts de Ksour.

- la troisième cénomaniens est transgressive.

A cours de ce long cycle deltaïque culminant avec la grande transgression cénomaniens, le delta a connu des périodes de progradation (Bajocien-Kimméridgien, infra-Crétacé, Hautérivien gréseux, Barrémien, Albien) et des périodes de rétrogradation (Kimméridgien supérieur, Valanginien à Berriasien, Hautérivien «calcaire», Aptien). Par ailleurs, des phases de stabilisation (Tithonique supérieur : Delfaud, 1975) sont observables et pendant lesquelles les limites entre le domaine marin et deltaïque sont immobiles.

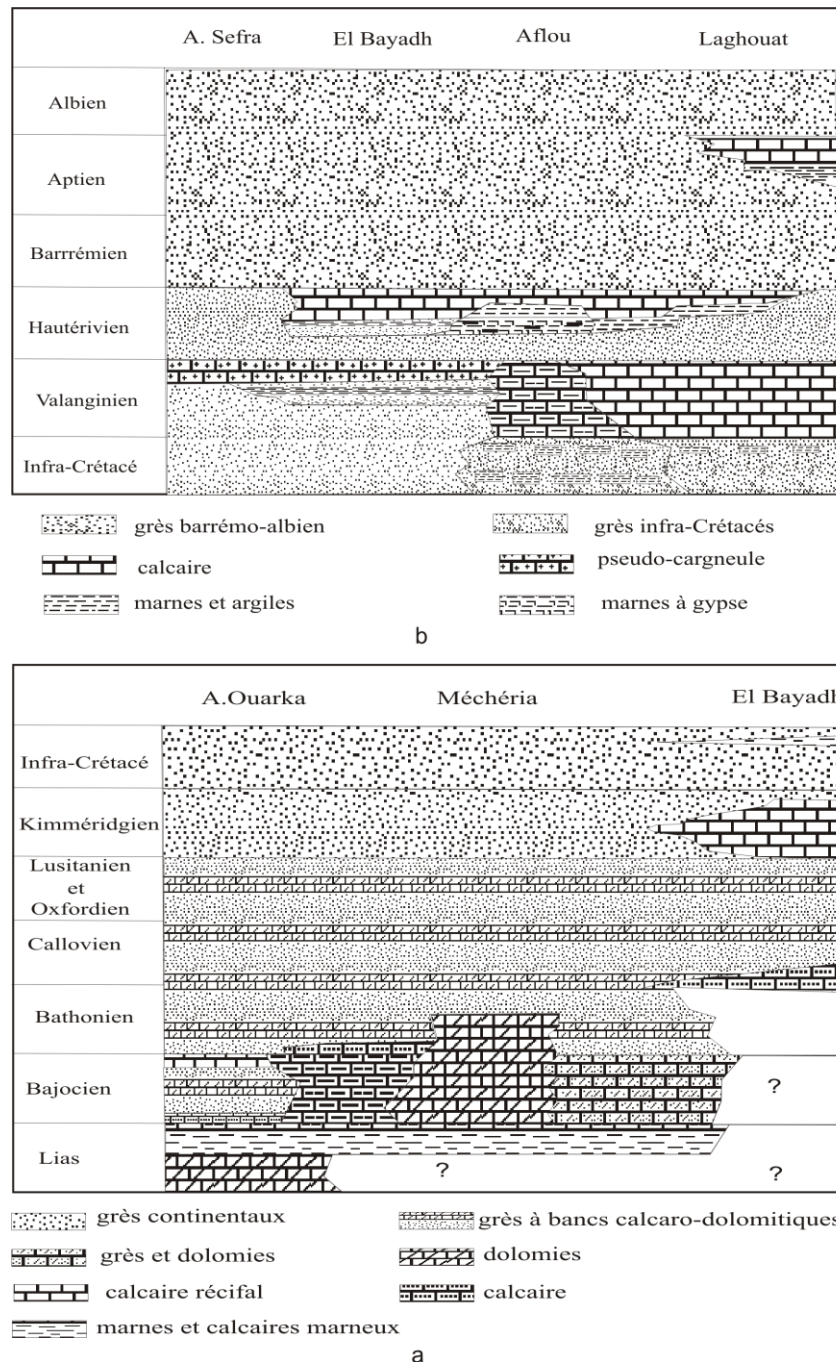


Fig. 83. Evolution de la sédimentation des Monts des Ksours au Jurassique (a) et Crétacé inférieur (b) d'après Cornet (1952)

Cette dynamique offre des fluctuations des limites des domaines marins et continentaux, sièges privilégiés pour la conservation d'empreintes de dinosaures. En effet, les limites des séquences érigées par Cornet (1952), Bassoullet, (1973) et Delfaud (1974a, 1975), relatives à l'évolution géodynamique du bassin atlasique, coïncident assez bien avec l'emplacement des niveaux à empreintes (discontinuités) :

-les surfaces à empreintes apparaissent en périodes transgressives au Rhétien-Hettangien (Site 17), au Valanginien (Sites 1, 2, 3, 6, 7) et au Cénomani (Site 13, 18, 19, 20) ;

-d'autres surfaces à empreintes apparaissent en phase de stabilisation au Kimméridgien à Tithonique supérieur (Site 8) et à la fin de l'Hautérivien (Site 15).

En conclusion, l'emplacement des empreintes de pas de dinosaures au sein de la série atlasique semble coïncider avec des phases d'inondation ou de stabilisation. Ces périodes correspondent aux avancées marines (recul du delta des Ksours) ou encore à des phases de stabilisation des domaines marins et fluvio-deltaïques. Ces zones constitueraient un lieu de prédilection pour la recherche de nouveaux sites à empreintes.

D. Paléogéographie

Cette partie relate la paléogéographie des dinosaures en fonction de leur présence attestée par leurs empreintes et/ou par leurs ossements dont l'âge est rapporté des travaux correspondants aux secteurs fossilifères étudiés.

Durant le Trias-Lias inférieur, la paléogéographie globale (fig. 84) semble permettre le libre passage des faunes de dinosaures entre l'Amérique du Nord, l'Europe et l'Asie (Hartenberger *in* : Buffetaut et Le Loeuff, 1989).

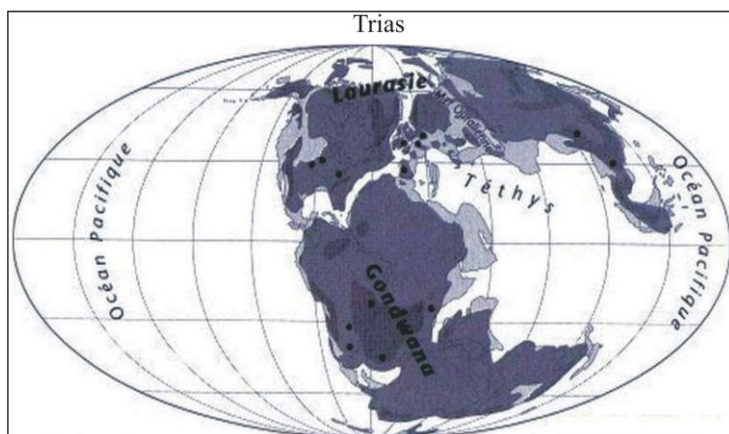


Fig. 84 : Paléogéographie du Trias d'après Buffetaut et Le Loeuff (1989).

L'existence de *Grallator* dans le Site 17 d'âge Rhétien-Hettangien (Bassoulet, 1971 ; Mammeri, 2008) laisse envisager des échanges fauniques entre l'Afrique, l'Europe et l'Amérique, régions où l'ichnogenre *Grallator* est très répandu (Demathieu *et al.*, 2003). D'autres empreintes plus récentes (Carrixien) sont signalées au Maroc (Perez-Laurent *et al.*, 2006 ; Nouri, 2007).

Au Jurassique moyen, de vastes aires paléogéographiques émergées pourraient permettre la circulation des faunes continentales au sein du continent africain (fig. 85). Ceci explique la présence d'empreintes de pas dinosaures durant le Bathonien, notamment au Maroc (Boutakiout *et al.*, 2006) et les restes osseux de même âge au Maroc (Nouri, 2007) et en Algérie (Mahammed

et al., 2005). Cette paléogéographie semble cependant ne pas permettre des échanges fauniques entre l'Amérique du Nord-Europe et l'Afrique.

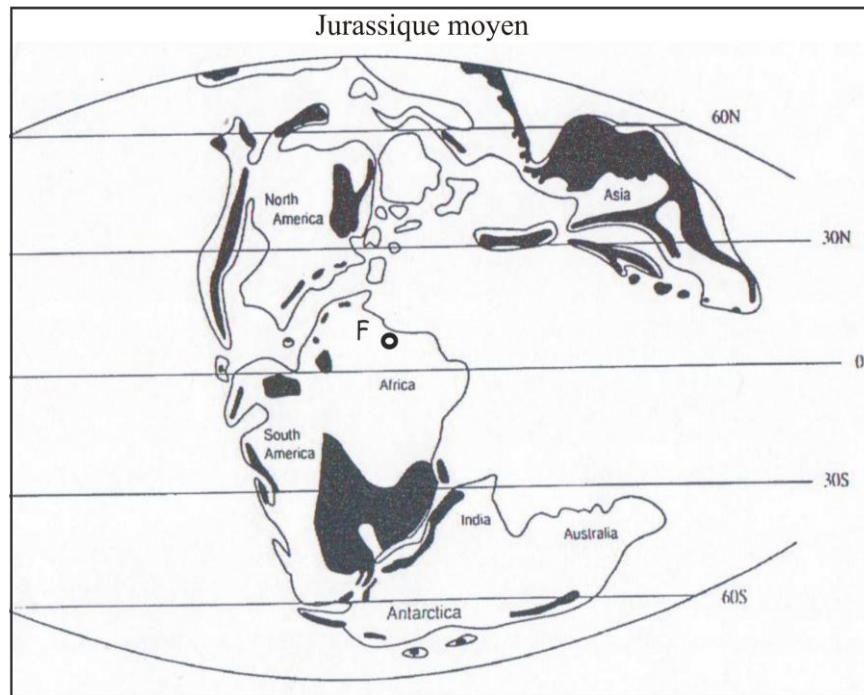


Fig. 85 : Paléogéographie du Jurassique moyen (d'après Farlow, 1992, redessinée de Scotese et Golonka 1992).

En noir : régions montagneuses ; en Blanc : limite des terres émergées ; F : Fossile de dinosaures ; cercle noir : empreintes.

Durant le Jurassique supérieur (Oxfordien-Kimméridgien, fig. 86), l'épisode transgressif est marqué par l'existence de niveaux à empreintes en Amérique, Europe, Asie (Lockley *et al.*, 1998a) et en Afrique du nord (Maroc : Nouri, 2007 ; Algérie : Mammeri *et al.*, 2016).

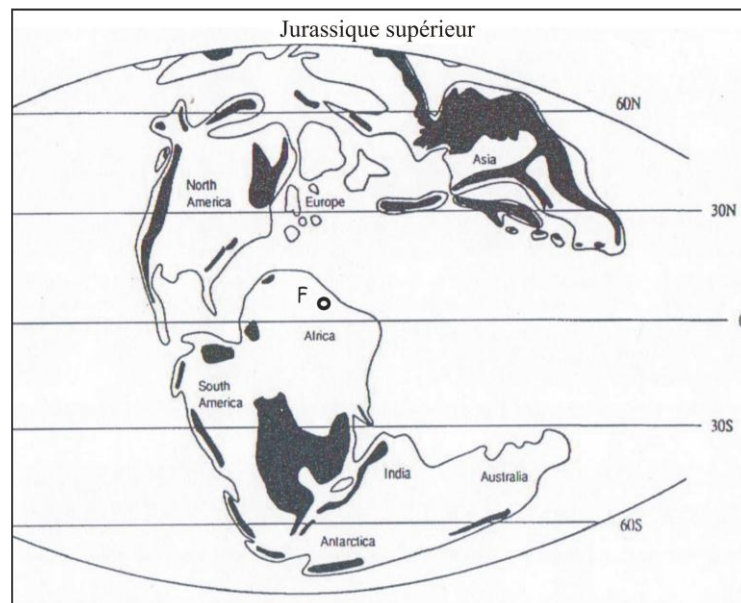


Fig. 86 : Paléogéographie du Jurassique supérieur (d'après Farlow, 1992, redessinée de Scotese et Golonka 1992).

En noir : régions montagneuses ; en Blanc : limite des terres émergées ; F : Fossile de dinosaures ; cercle noir : empreintes.

Il semble que l'épisode transgressif ayant conduit à l'inondation des terres sur ces continents a permis la mise en place de ces empreintes. En effet, de vastes terres en Afrique du Nord ont été tantôt exondées tantôt immergées depuis le Haut Atlas (Maroc) jusqu'à l'Atlas saharien central.

La paléogéographie du Crétacé inférieur paraît ne pas permettre de contact terrestre entre l'Amérique du nord, l'Europe et l'Asie (Laurasie) d'un côté et l'Afrique et l'Amérique du Sud (Gondwana) de l'autre (fig. 87).

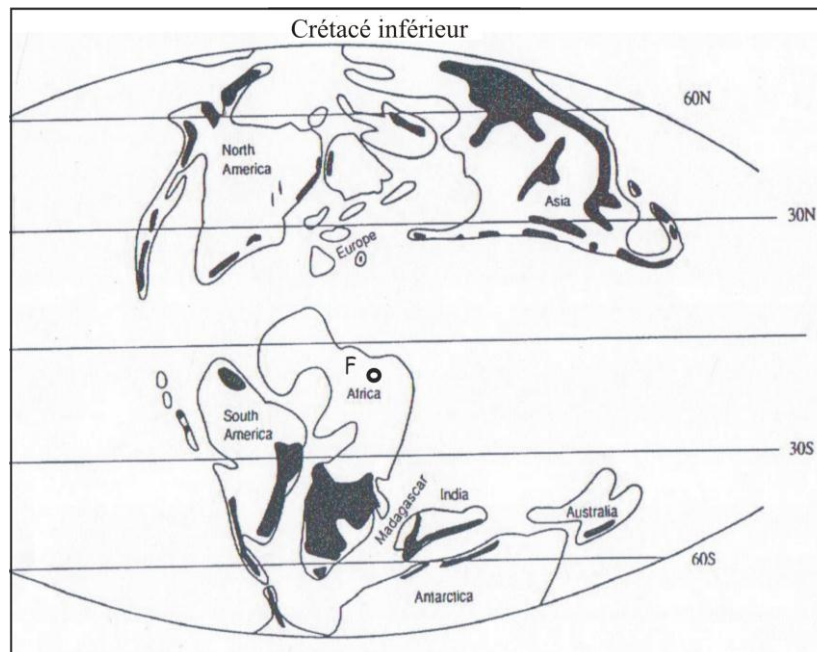


Fig. 87 : Paléogéographie du Crétacé inférieur (d'après Farlow, 1992, redessinée de Scotese et Golonka 1992).

En noir : régions montagneuses ; en Blanc : limite des terres émergées ; F : Fossile de dinosaures ; cercle noir : empreintes.

Au niveau de la région d'El Bayadh (Sites 1, 2, entre autres), les empreintes apparaissent dans des faciès datés du Valanginien et du Barrémien-Aptien-Albien (Sites : 9, 10, 12 et 21 : Cornet, 1952).

Les ossements de dinosaures sont nombreux en Algérie, aussi bien au Sahara [Garet Samani (Broin *et al.*, 1971), Timimoune (Depret et Savorin, 1927), Tiherte (Gabani, 2008)] que dans l'Atlas saharien [Boussemghoune (Bassoullet et Illiou, 1971), Chellala (Bassoullet, 1973), Brezina (Mahboubi, 1983)].

Le fait nouveau dans la région est la découverte d'empreintes de pas de dinosaures près de Brezina (Site 14), au sommet du Continental intercalaire dont l'âge est Albien terminal

(Vraconnien) selon Bassoulet (1973) ; cette région (El Kohol) a livré *Charcarodontosaurus* (Mahboubi, 1983).

Les dépôts des Sites 13, 18, 19 et 20 sont datés du Crétacé supérieur (Cénomanién). C'est au cours de cette même période que des empreintes et des ossements sont cités au Maroc (Dutel, 2000 ; Lavocat, 1954) et en Italie (Cristiano Dal Sasso, 2003). A cette époque (fig. 88), les continents américains (Nord et Sud), européen et asiatique étaient déjà séparés de l'Afrique, ce qui suggère que les ichnopopulations dinosauroïdes de l'Atlas saharien semblent être typiquement africaine

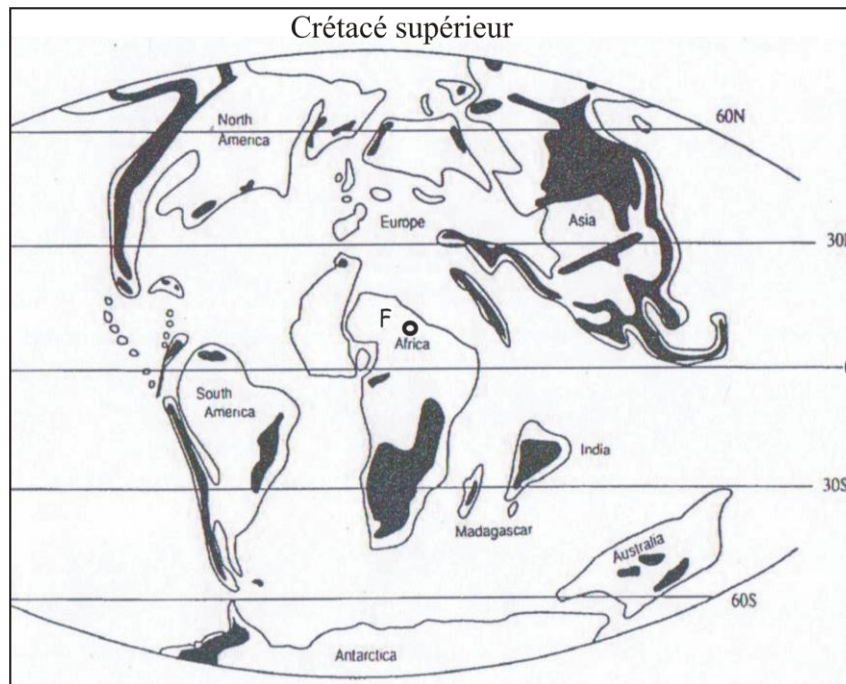


Fig. 88 : Paléogéographie du Crétacé supérieur (d'après Farlow, 1992, redessinée de Scotese et Golonka 1992).

En noir : régions montagneuses ; en Blanc : limite des terres émergées ; F : Fossile de dinosaures ; cercle noir : empreintes.

E. Conclusion générale

Ving et sites (21) à ichnites de pas de dinosaures (862 empreintes) ont été recensés dans l'Atlas saharien et les Hautes plaines. Toutes ces empreintes et leur contenu lithologique ont fait l'objet d'une description morphologique détaillée puis d'une analyse biométrique où plusieurs paramètres ont été traités. À partir de critères morphologiques et des bornes de longueur et largeur, ont été individualisés neuf « **Ensembles** » de populations ichnotaxonomiques dont quatre formes dinosauroïdes (**Ensemble A**, **Ensemble B**, **Ensemble C**, **Ensemble D**) et six brontopoïdes (**Ensemble E**, **Ensemble F**, **Ensemble G**, **Ensemble H**, **Ensemble I**) :

La comparaison des quatre entités dinosauroïdes avec ceux définis auparavant dans la même région (Bessedik *et al.*, 2008 ; Mammeri, 2008) ont abouti aux regroupements suivants :

-les **Ensembles A** et **1** ont été rassemblés en un seul groupe (groupe 1). Les **Ensembles C** et **3** forment un autre groupe (groupe 4). Les autres **Ensembles B**, **D** et **2** demeurent des entités propres bien distinctes et forment, respectivement, les groupes 2, 5 et 3.

Cette approche a été effectuée également pour ces ensembles avec les ichnotaxons connus mondialement (Amérique Nord et Sud, Europe, Asie, Australie) :

Dans le groupe 1, d'âge Kimméridgien-Valanginien, les empreintes tétradactyles semblent affines par leur taille de celles de l'ichnogenre *Eutynichnium* alors que les formes tridactyles paraissent proches de l'ichnogenre *Megalosauripus* (Lessertisseur, 1955 ; *sensu* Lockley *et al.*, 1998a). Les auteurs de ce premier groupe seraient des théropodes de très grande taille. Les autres empreintes tridactyles de grande taille, d'âge crétacé, sont rapprochées de celles de l'ichnogenre *Megalosauropus* (Colbert et Merrilees, 1967).

Les empreintes du groupe 2 présentent des affinités avec celles des ichnogenres *Megalosauropus* et *Therangospodus* (Lockley, 1998 b). Ceux du groupe 3 présentent des ressemblances étroites avec celles de l'ichnogenre *Therangospodus*. Les auteurs de ces groupes d'empreintes seraient, également, des théropodes de grande taille.

Les empreintes du groupe 4 (**Ensembles 3** et **C**) sont rapprochées de celles des ichnogenres *Therangospodus* et *Columbosauripus*. Leurs auteurs sont des théropodes de petite taille. Enfin, le groupe 5 (**Ensemble D**) présente des caractéristiques comparables à celles de l'ichnogenre *Grallator* voire *G. variabilis* (Bassoulet, 1971, 1973 ; Mammeri, 2008). Les auteurs de ces empreintes sont des théropodes de petite taille.

Les groupes 4 et 5, dont les auteurs seraient des théropodes de petite taille, sont rapprochées, respectivement, aux ichnogenres *Therangospodus* et *Columbosauripus* pour le groupe 4 et à

l'ichnogenre *Grallator* voire *G. variabilis* (Bassoulet, 1971 ; Bassoulet, 1973 ; Mammeri, 2008) pour le groupe 5.

Les empreintes des ensembles brontopoïdes sont rapportées, pour certains (***Ensemble 4***, ***Ensemble E***, ***Ensemble F***, ***Ensemble G***, ***Ensemble H***), à *Brontopodus* et à *Parabrontopodus* pour d'autre (***Ensemble I***)

Paléogéographiquement, la position des empreintes semble coïncider avec des discontinuités sédimentaires délimitant des séquences et mégaséquences bien définies dans l'Atlas saharien (Delfaud, 1974a, 1975 ; Kazi Tani, 1986) ; celles-ci correspondent à des phases d'inondation ou de stabilisation, régies par un environnement chaud (Delfaud, 1974b).

- ABED S. (1982) - Lithostratigraphie et sédimentologie du Jurassique moyen et supérieur du Djebel Amour (Atlas saharien central, Algérie). *Thèse 3^{ème} cycle*, Université de Pau, 242 p.
- ALEXANDER R. M. (1976) - Estimates of speed of dinosaurs. *Nature*, 261, 129-130.
- ALEXANDER R. M. (1983) - Animal Mechanics. *Blackwell Scientific Publications*, Oxford, 2nd Edn. 301 p.
- ALEXANDER R. M. (1996) - *Tyrannosaurus* on the run. *Nature*, Vol. 379, p.121.
- AZUMA Y., YOHEI A., YUKIMITSU T. & CURRIE P. J. (2002) - Early Cretaceous bird tracks from the Tetori group, Fukui Prefecture, Japan. *Mem. Fukui Prefectural Dinosaur*, 1, 1-6.
- BARCO J. L., CANUDO J. I., RUIZ-OMENACA J. I. & RUBIO J. L. (2005) - Evidencia icnologia de un dinosaurio teropodo gigante en el Berriasiense (Cretacico inferior) de Laurasia (Las villasecos, Soria, Espana). *Rev. Esp. Paleont.*, 59-71.
- BASSETTO D. & COUMES F. (1967) - Série lithologique du Djebel Azreg de Laghouat, étude stratigraphique de la zone de passage Jurassique-Crétacé. *Publ. Serv. Carte géol. Algérie*, ns, 35, 13-20.
- BASSOULLET J. P. (1971) - Découverte d'empreintes de pas de reptiles dans l'infra-Lias de la région d'Aïn Sefra (Atlas saharien, Algérie). *C. R. Som. Soc. Géol. Fr.*, 7, 358-359.
- BASSOULLET J. P. (1973) - Contribution à l'étude stratigraphique du Mésozoïque de l'Atlas saharien occidental (Algérie). *Thèse Es Sciences Naturelles*. Université de Paris VI, 497 p.
- BASSOULLET J. P. & ILLOU J. (1967) - Découverte de dinosauriens associés à des crocodiliens et des poissons dans le Crétacé inférieur de l'Atlas saharien. *C. R. som. Soc. Géol. Fr.*, 7, 294-295.
- BELLAIR P. & LAPPARENT A. F. DE (1948) - Le Crétacé et les empreintes de pas de dinosauriens d'Amoura (Algérie). *Bull. Soc. Hist Nat. Afri. Nord*, 39, 168-175.
- BELVEDERE M., MIETTO P. & ISHIGAKI S. (2010) - A Late Jurassic diverse ichnocoenosis from the siliciclastic Iouaridène Formation (Central High Atlas, Morocco). *Geological Quarterly* 54 (3), 367-380.
- BENEST M. (1985) - Evolution de la plate forme de l'Ouest algérien et du Nord-Est marocain au cours du Jurassique supérieur et du début du Crétacé: stratigraphie, milieu de dépôt et dynamique sédimentaire. *Thèse Es Siences, Doc. Lab. Géol. Lyon*, 95, 1-2, 581 p.
- BENSALAH M., ADACI M., HEBIB H., BESSEDIK M., BELKEBIR L., MAHBOUBI M., MANSOURI M. H., MAMMERI C. & MANSOUR B. (2005) - Présence d'empreintes de pas de Dinosauriens dans le Crétacé au Nord d'El Bayadh (Djebel Amour Algérie). *Sci. Techn.*, 23, 107-109.
- BESSEDIK M., MAMMERI C., BELKEBIR L., MAHBOUBI M., ADACI M., HEBIB H., BENSALAH M.,

- MANSOUR B. & MANSOURI M. H. (2008) - Nouvelles données sur les ichnites de dinosaures de la région d'El Bayadh (Crétace inférieur, Algérie). *Palaeovertebrata*, 36, 7–35.
- BICKELMANN C., MÜLLER J. & REISZ R. R. (2009) - The enigmatic diapsid *Acerosodontosaurus piveteaui* (Reptilia: Neodiapsida) from the Upper Permian of Madagascar and the paraphyly of “younginiiform” reptiles. *Canadian J. Earth Sci.* 46: 651-661.
- BOUTAKIOUT M., HADRI M., NOURI J., CARO S. & PÉREZ-LORENTE F. (2006) - The Syngenetic Structure Suite of Dinosaur Footprints in Finely Laminated Sandstones : Dite n°1 of Bin el Ouidane (1BO. Central Atlas, Morocco). *Ichnos*, 13: 69-79.
- BROIN F. DE., GRENOT C. & VERNET R. (1971) - Sur la découverte d'un nouveau gisement de vertébrés dans le Continental Intercalaire saharien: le Gara Samani (Algérie). *C. R. Acad. Sci.*, 272, 1219 - 1221.
- BROWN B. (1908) - The Ankylosauridae a new family of armored dinosaurs from the Upper Cretaceous. *Bull. Amer. Mus. Nat. Hist*, 24, 187–201.
- BRUSATTE S. L., NESBITT S. J., IRMIS R. B., BUTLER R. J., BENTON M. J. & NORELL M. A. (2010) - The origin and early radiation of dinosaurs. *Earth-Sci. Rev.*, 101, 68-100.
- Buckland D. (1824) - Notice on the Megalosaurus, or great fossil lizard of Stonesfield. *Trans. Geol. London*, 1 : 390-396.
- BUFFETAUT E. (2005) - Les premiers dinosaures sahariens. *Pour la Science*, n° 331, 8-11.
- BUFFETAUT E. & LE LOEUFF J. (1989) - Les mondes disparus. Atlas de la dérive des continents. *Berg. International*, Paris, 272, 158 p.
- CALVO J. O. (1991) - Huellas Fósiles de dinosaurios en la Formación Río Limay (Albiano-Cenomaniano), Picún Leufú, provincia del Neuquén, Argentina. (Ornithischia-Saurischia: Saurópoda-Terópoda). *Ameghiniana*, 28 (3-4), 241-258.
- CARRANO M. T. & WILSON J. A. (2001) -Taxon distributions and the tetrapod track record. *Paleobiology*, 27 (3), 564-582.
- CASANOVAS M. L., EZQUERRA R., FERNANDEZ A., PÉREZ-LORENTE F., SANTAFE J. V. & TORCIDA F. (1993a) - Icnitas de dinosaurios. Yacimientos de Navalsaz, Las Mortajeras, Peñaportillo, Malvaciervo y La Era del Peladillo 2 (La Rioja. España). *Zubía monográfico*, (5), 9-13.
- CASANOVAS M. L., EZQUERRA A., FERNANDEZ A., PÉREZ -LORENTE F., SANTAFE J. V. & TORCIDA F. (1993b) -Icnitas digitigradas y plantigradas en el afloramiento de El Villar-Poyales (La Rioja. España). *Zubía monográfico*, (5), 135-163.
- COLBERT O. H. & MERRILEES D. (1967) - Cretaceous dinosaur footprints from Western Australia. *J. R. Soc. Western Australia*, 50, 21-25.

- COPE E. D. (1870) - Synopsis of the extinct Batrachia, Reptilia and Aves of North America. *Amer. J. Sci.*, 2, 50, 268-269.
- CORNET A. (1952) - L'Atlas saharien Sud-Oranais. *Publ. XIX^e Congr. géol. inter. Alger*, monographie régionale, 1^{ère} Sér., 12, 51 p.
- COUREL L. & DEMATHIEU G. R. (2000) - Une nouvelle ichnoespèce *Coelurosaurichnus grancieri* du Trias supérieur de l'Ardèche, France. *Geodiversitas*, 21, 1-35.
- CURRIE P. J. (1989) - Dinosaur Footprints of Western in Dinosaur Tracks and Traces. *David D. Gillette and Martin G. Lockley Eds.* Cambridge University Press, New York, xviii, 454 p.
- DAL SASSO C. (2003) - Dinosaurs of Italy. *C. R. Palevol*, 2 (1), 45-66.
- DELFAUD J., DOUIHASNI M. & ROLET J. (1974) - Mise en évidence de tectoniques superposées dans la région d'Aïn Ourka (Monts des Ksour, Algérie). *C. R. Acad. Sci.*, 278, 1817-1820.
- DELFAUD J. (1974a) - Les grands traits de la paléogéographie de l'Algérie septentrionale durant le Jurassique supérieur et le Crétacé inférieur. *C. R. Soc. Géol. France.* suppl. au t. XVI, 6, pp. 167-168.
- DELFAUD J. (1974b) -La sédimentation deltaïque ancienne: exemples nord sahariens. *Bull. Centre Recherche Pau, S.N.P.A.*, 8 (1), 241-263.
- DELFAUD J. (1975) - Les grès des Ksour (Algérie). Un delta de plate forme stable. *IX^e Congr. Inter. Sedim.*, Nice, 151-162.
- DEMATHIEU G. R. (1984) -Utilisation de lois de la mécanique pour l'estimation de la vitesse de locomotion des vertébrés tétrapodes du passé. *Geobios*, 17, 439-446.
- DEMATHIEU G. R. (1990) - Problems in discrimination of tridactyl dinosaur footprints, exemplified by the Hettangian tackways, the Causses, France. *Ichnos*, 1, 97-110.
- DEMATHIEU G. R. & SCIAU J. (1992) - Des pistes de dinosaures et de crocodiliens dans les dolomies de l'Hettangien du Causse du Larzac. *C. R. Acad. Sci.* 315, 1561-1566.
- DEMATHIEU G. R., GAND G., SCIAU J. & FREYTET P. (2002) - Les Traces de pas de Dinosauriens et autres Archosaures du Lias inférieur des Grands Causses, Sud de la France. *Palaeovertebrata*, 31, 1-4, 143 p.
- DÉPERET C. H. & SAVORNIN J. (1927) - La faune de reptiles et de poissons albiens de Timimoun (Sahara algérien). *Bull. Soc. Géol. France*, 27, 257-265.
- Dutheil D. B. (2000) - Les Cladistia du Cénomanién continental du Sud-est marocain et les ichthyofaunes

- associées. Implications biostratigraphiques, taphonomiques, paléoécologiques et paléobiogéographiques. *Mémoire de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, Sciences de la Vie et de la Terre*, Montpellier, France, 146 p.
- EZCURRA M. D. (2006) - A review of the systematic position of the dinosauriform archosaur *Eucoelophysis baldwini* Sullivan & Lucas, 1999 from the Upper Triassic of New Mexico, USA. *Geodiversitas*, 28 (4), 649-684.
- FABIO M. & DALLA V. (1998) - Theropod footprints in the Cretaceous Adriatic-Dinaric carbonate platform (Italy and Croatia). *G.A.I.*, Lisboa. 15, 355-367.
- FARLOW J. O. (1992) - Sauropod tracks and trackmakers: integrating ichnological and skeletal records. *Zubia*, 10, 89-138.
- FARLOW J. O., PITTMAN J. G. & HAWTHORNE J. M. (1989) - *Brontopodus birdi*, Lower Cretaceous Sauropod footprints from the U.S. Gulf coastal plain. In *Gillette D. D. et Lockley M. G. eds*, *Dinosaur Tracks and traces*, Cambridge University Press, 371-394.
- FARLOW J. O. & LOCKLEY M. G. (1993) - An osteometric approach to the identification of the markers of Early Mesozoic tridactyl dinosaur footprints. In *G. Lucas and Morales M. eds*, 3, 123-131.
- FLAMAND G. B. M. (1911) - Recherches géologiques et géographique sur le Haut-Pays de l'Oranie et sur le Sahara. *Thèse Es Sciences*, Lyon, 47, 1001 p.
- FLANDRIN J. (1952) - Les chaînes atlasiques et la bordure Nord du Sahara. Publ. XIX^e Congr. Géol. inter. d'Alger, monographie régionale, 1^{ère} sér., 14, 82 p.
- GABANI A. (2008) - Le Crétacé continental de la bordure sud du Plateau du Tihert (Djoua, In Akhamil et Oued Ameregh). *Mém. Magistère*, Université d'Oran, 58 p. , (inédit).
- GABANI A., MAMMERI C., ADACI M., BENSALAH M. & MAHBOUBI M. (2014) - Le Crétacé Continental à vertébrés de la bordure sud du plateau de Tihert : découvertes paléontologiques et considérations stratigraphiques. *Mém. Serv. Géol. Alger*, 19, 1–23.
- GABUNIA L. K. & KURBATOV V. (1982) - Jurassic dinosaur tracks in the South of central Asia, in *Bogdanova, T. N. ; Khosatsky, L. I. et Istchenko, A. A. (Eds.)*, Fossil traces of vital activity and dynamics of the environment in ancient biotopes, *Trans.XXX Session Union paleontol. Soc. And VII session Ukranian Paleontol . Soc.*, 202 p.
- GATESY S. M. (2003) - Direct and indirect track features: what sediment did a dinosaur touch. *Ichnos*, 10, 91-98.
- GATESY S. M., MIDDLETON K. M., JENKINS F. A. & SHUBIN N. H. (1999) - Three dimensional preservation of foot movements in Triassic theropod dinosaur. *Nature*, 399, 141-144.
- GAUDRY A. (1890) - Les enchainements du monde animal dans les temps géologiques. Fossiles

- secondaires. *Masson édit*, Paris, 523 p.
- GILLETTE D. & LOCKLEY M. G. (1989) - Dinosaur Tracks and Traces. *Cambridge University Press eds*, New York, 454 p.
- HAUBOLD H. (1971) - Ichnia amphibiorum et reptiliorum fossilium. *G. Fischer édit*, Ser. Handbuch der Paläoherpetologie, 18, 123 p.
- HENDICKX C. (2013) - Dinsaures. *Encyclopædia Universalis* [en ligne], consulté le 4 déc. 2016, <http://www.universalis.fr/encyclopedie/dinsaures/>.
- HITCHCOCK E. (1845) - An attempt to name, classify, and describe, the animals that made the fossil footmarks of New England. *Proc. 6th Ann. Meeting, Assoc. Amer. Geol. Nat.*, New Haven, Connecticut, 23-25.
- HITCHCOCK E. (1858) - Ichnology of New England. A report on the sandstone of Connecticut Valley, especially its fossil footmarks. *White eds*, Boston, 220 p.
- ISHIGAKI S. (1988) - Les empreintes de dinosaures du Jurassique inférieur du Haut-Atlas central marocain. *Notes Serv. Géol. Maroc*, 44, 79-86.
- JALIL N. E. & JANVIER P. (2005) - Les pareiasaures (Amniota, Parareptilia) du Permien supérieur du Bassin d'Argana, Maroc. *Geodiversitas*, 27 (1), 35-132.
- KAMMERER C. F., NESBITT S. J. & SHUBIN N. H. (2011) - The first silesaurid dinosauriform from the Late Triassic of Morocco. *Acta Palaeontologica Polonica*, 57 (2), 277-284.
- KAPPUS E. & CORNELL C. W. C. (2003) - A New Dinosaur Tracksite in Southern New Mexic *Palaéontdogia Electronica*, 6 (3), 1-6.
- KAUP J. J. (1834) - Versuch einer Eintheilung der Saugethiere. *in* 6 Stamme und der Amphibien in Ordnungen. *Isis*, 311-324.
- KAZI TANI N. (1986) - Evolution géodynamique de la bordure nord-africaine : le domaine intraplaque nord-algérien. Approche mégaséquentielle. *Thèse Doctorat d'Etat*, Pau, 784 p. (inédit).
- KEYVER M. & LAPPARENT A. F. DE. (1974) - Dinosaur footprints of Jurassique age from Barkhausen. *Bull. Soc. Géol. Fr.* 16, 516-525.
- LAMBERT D. (1988) - Guia de campo de los dinosaurios. *EDAF S. A.*, 255 p.
- LAPPARENT A. F. DE. & LUCAS G. (1957) - Vertèbres de Dinosauriens sauropodes dans le Callovien moyen de Rhar Rouban (frontière algéro-marocaine du Nord). *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, Alger, 48, 234-236.
- LAPPARENT A. F. DE. (1958) - Sur les dinosauriens du continental intercalaire du Sahara Central. *C. R. Ac. Sc. Paris*, 246, 8, 1237-1240.

- LAPPARENT A. F. DE. (1960) - Les dinosauriens du "continental intercalaire" du Sahara central (The dinosaurs of the "continental intercalaire" of the central Sahara). *Mém. Soc. Géol. Fr.*, n.s., 88A, 39, 1-57.
- LAPPARENT A. F. DE. & MONTENAT C. (1967) - Les empreintes de pas de reptiles de l'Infralias du Veillon (Vendée). *Mém. Soc. Géol. Fr.*, 2, 46, 43 p.
- LAVOCAT R. (1954) - Sur les dinosauriens du Continental Intercalaire des Kem-Kem de la Daoura [On the dinosaurs from the Continental Intercalaire of the Kem Kem of the Doura]. *C. R. 19th Inter. Geol. Congress*, Alger, 1952, 21, 389 p.
- LE LOEUFF J., KHANSUBHA S., BUFFETAUT E., SUTEETHORN V., TONG H. & SOUILLAT C. (2002) – Dinosaur footprints from the Phra Wihan Formation (Early Cretaceous of Thailand). *C. R. Palevol*, 1, 287–292.
- LESSERTISSEUR J. (1955) - Traces fossiles d'activité animale et leur signification paleobiologique. *Mém. Soc. Géol. Fr.*, 74, 1-150.
- LOCKLEY M. G. (1986) - The paleobiological and paleoenvironmental importance of dinosaurs footprints. *Palaios*, 1, 34-47.
- LOCKLEY M. G. & JENNINGS C. (1987) - Late Cretaceous coal mine tracks. reprint from paleontology and geology of the dinosaur triangle, *Walter R. Averett Edit.*, The Museum of Western Colorado, 3 p.
- LOCKLEY M. G. (1993) : Siguindo las huellas de los dinosaurios. *Brage, A. G. éditeur. Serie McGraw-Hill de divulgation scientifique*. Madrid. 307 p.
- LOCKLEY M. G., FARLOW J. O. & MEYER C. A. (1994) - *Brontopodus* and *Parabrontopodus* ichnogen.nov. and the significance of wide-and narrow-gauge sauropod trackways. *Gaia*, 10, 143-147.
- LOCKLEY M. G., MEYER C. A. & SANTOS V. F. D. (1998a) - *Megalosauripus* and the problematic concept of *Megalaosaur* footprints. *Gaia*, 15, 313-337.
- LOCKLEY M. G., MEYER C. A. & MORATALLA J. J. (1998b) - *Therangospodus*: Trackway evidence for the widespread distribution of a late Jurassic theropod with well-padded feet. *Gaia*, 15, pp. 339-353.
- LOCKLEY M. G., GREGORY N. & PHILIP J. C. (2003) - A diverse dinosaur-bird footprint assemblage from the Lance Formation, Upper Cretaceous, Eastern Wyoming: Implications for Ichnotaxonomy. *Ichnos*, 11, 229-249.
- LULL R. S. (1953) - Triassic life of the Connecticut Valley. *State Geol. Nat. Hist. Surv.*, Hartford, 24, 331 p.

- MAHAMMED F., MAMI L., MEKAHLI L., BENHAMOU M., BOUTERFA B., KACEMI A. & CHERIEF A. (2005a) -Le géant du Ksour: un dinosaure sauropode du Jurassique moyen de l'Ouest d'Algerie. *Bull. Serv. Géol. Algérie*, 13, 3-19.
- MAHAMMED F., LÄNG E., MAMI L., MEKAHLI L., BENHAMOU M., BOUTERFA B., KACEMI A., CHÉRIEF S. A., CHAOUATI H. & TAQUET P. (2005b) -Le 'Géant des Ksour', un sauropode du Jurassique Moyen (En Algérie). *C. R. Palevol*, 4, 707-714.
- MAHBOUBI M. (1983) - L'étude géologique et paléontologique du Crétacé post-aptien et du Tertiaire continental de la bordure méridionale du Djebel Amour (Atlas saharien central, Algérie). *Thèse 3^{ème} cycle*, Université d'Oran, 116 p. (inédit).
- MAHBOUBI M., BESSEDIK M., BELKEBIR L., BENSALAH M. & ADACI M. (2004) - Découverte des premières empreintes digitales de dinosauriens crétacés dans la région d'El Bayadh. *Coll. Inter. «Terre et eau»*, Annaba, 92-95.
- MAHBOUBI M., BESSEDIK M., BELKEBIR L., ADACI M., HEBIB H., BENSALAH M., MAMMERI C., MANSOUR B. & MANSOURI M. E. H. (2007) - Première découverte d'empreintes de pas de dinosaures dans le Crétacé inférieur de la région d'El Bayadh (Algérie). *Mém. Bull. Serv. Géol. Nat.*, Algérie, 18, 127-139.
- MAMMERI C., BELKEBIR L., BESSEDIK M. & MAHBOUBI M. (2007) - Nouvelles ichnites de pas de Dinosauriens dans le Crétacé supérieur d'Amoura (Atlas saharien Oriental, Algérie). *3^{ème} Sémin. Nat. Strat.*, Laghouat. p. 45, Résumé.
- MAMMERI C. (2008) - Les sites mésozoïques à empreintes de dinosauriens de l'Atlas saharien : ichnosystématique et paléogéographie. *Mém. Magistère*, Université d'Oran, 75 p (inédit).
- MAMMERI C., MAHBOUBI M., BESSEDIK M., BELKEBIR L., MANSOUR B. & GABANI A (2009) - Deux nouveaux sites à ichnites de dinosaures dans le Continental Intercalaire (El Bayadh, Algérie). *2^{èmes} Journées d'études sur la Géologie Algérienne*, Oran, p 22, résumé.
- MAMMERI C., BESSEDIK M., BELKEBIR L. & MAHBOUBI M. (2011a) - Découverte des premières empreintes de pas de Dinosaures dans le Continental intercalaire (Atlas saharien central, Algérie). *4^{ème} Sémin. Nat. Strat.*, Khenchela, 49-50, Résumé.
- MAMMERI C., BELKEBIR L., BESSEDIK M. & MAHBOUBI M. (2011b) - Nouvelles traces de pas de dinosaures dans le Crétacé supérieur d'Amoura (Atlas saharien oriental, Algérie). *Mém. Serv. Géol. Algérie*, 17, 85-99.
- MAMMERI C., BESSEDIK M., BELKEBIR L. & MAHBOUBI M (2016) - Les grandes empreintes de Théropodes de l'Atlas saharien (Algérie). *3^{èmes} Journées d'études sur la géologie algérienne*, Oran, 85-86, résumé.

- MAMMERI C., BESSEDIK M., BELKEBIR L., GABANI A. & MAHBOUBI M. (2016) - Première découverte de l'ichnogenre *Parabrontopodus* en Algérie. 5^{ème} Sem. Nat. Strat., Timimoune, 71-72, résumé.
- MANTELL G. A. (1825) - Notice on the Iguanodon, a newly discovered fossil reptile, from the sandstone of Tilgate Forest, in *Sussex Philosophical Transactions Royal Society London*, 115, 179-186.
- MARSH O. C. (1871) - On the geology of the eastern Uintah Mountains. *American. J. Sci. Arts*, 3, 1.1-6, 191-198.
- MARSH O. C. (1877) - A new order of extinct Reptilia (Stegosauria) from the Jurassic of the Rocky Mountains, *Amer. J. Sci.*, .3, 14, 513-514.
- MARSH O. C. (1878) - Principal characters of American Jurassic dinosaurs. Part I. *Amer. J. Sci.*, Ser.3, 16 411-416.
- MARSH O. C. (1890) - Additional characters of the Ceratopsidae, with notice of new Cretaceous dinosaurs. *Amer. J. Sci.*, Ser.3, 39, 418-429.
- MARYONSKA T. & OSMOSKA H. (1974) - Pachycephalosauria a new suborder of ornithischian dinosaurs. In Results of the Polish-Mangolian Palaontological Expeditions. Part V. *Palacontologia Polonica*, 30, 45-102.
- MAZIN J. M., HANTZPERGUE P., BASSOULLET J. P., LAFAURIE G. & PATRICK V. (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.*, 325, 9, 733-739.
- MEKAHLI L. (1998) - Evolution des Monts de Ksour (Algérie) de l'Hettangien au Bajocien. Biostratigraphie, sédimentologie, paléogéographie et stratigraphie séquentielle. *Doc. Lab. Géol. Lyon*, 174, 319 p.
- MENSINK H. & MERTMANN D. (1984) - Dinosaurier-Fährten (*Gigantosauropus asturiensis* n. g. n. sp.; *Hispanosauropus hauboldi* n. g. n. sp.) im Jura Asturiens bei La Griega und Ribadesella (Spanien). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Monatshefte*, 7, 405-415.
- MEYER H. von. (1861) - *Archaeopteryx lithographica* (Vogel-Feder) und *Pterodactylus* von Solenhofen. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrifakten-Kunde*. 678-679.
- MORINO M. & BENTON M. J. (2005) - Occurrence of sauropod dinosaur tracks in the Upper Jurassic of Chile (redescription of *Iguanodonichnus frenki*). *J. South American Earth Sci.* 20, 253–257.
- MOSSMAN D. J. & SARJEANT W. A. S. (1983) -The footprints of extinct animals. *Sci Amer. J.*, 248, 74-85.
- Müller J. & REISZ R. R. (2006) - The Phylogeny of Early Eureptiles : Comparing Parsimony and Bayesian Approaches in the Investigation of a Basal Fossil Clade, *Systematic Biology*, 55, 3, 503-511.

- NESBITT S. J., SIDOR C. A., IRMIS R. B., ANGIELCZYK K. D., SMITH R. M. H. & TSUJI L. A. (2010) – Ecologically distinct dinosaurian sister group shows early diversification of Ornithodira. *Nature*, 464, 95–98.
- NOPCSA B. F. (1915) - Die dinosaurier der Siebenbürgischen landesteile Ungarns . Mitteilungen aus dem Jahrbuche der Kgl. *Ungarischen Geologischen Reichsanstalt*, 23, 1-24.
- NOPCSA B. F. (1923) - Die fossilien der reptilien *Forch. Geol. Palaont.* (21), 210 landesteile Ungarns. Mitteilungen aus dem Jahrbuche der Kgl. *Ungarischen Geologischen Reichsanstalt*, 23, 1-24.
- NORELL M. A., CLARK J. M., TURNER A., H. MAKOVICKY P., J. BARSBOLD R. & ROWE T. (2006) - A new dromaeosaurid theropod from Ukhaa Tolgod (Omnogov, Mongolia). *Amer. Mus. Nov.*, vol. 3545, 1-51.
- NOURI J., PÉREZ-LORENTE F. & BOUTAKIOUT M. (2001) - A new dinosaur semiplantigrade piste from Tirika paleoichnological site (Demnat. Hight Atlas. Morocco). *Geogaceta*, 29, 83-86.
- NOURI J. (2007) - La paleoichnologie des empreintes de pas des dinosauriens, imprimées dans les couches du Jurassique, du Haut Atlas central du Maroc. *Thèse Doctorat*, Univ. Mohammed V, Rabat, 250 p.
- NOURI J., DÍAZ-MARTÍNEZ I. & PÉREZ-LORENTE F. (2011) - Tetradactyl Footprints of an Unknown Affinity Theropod Dinosaur from the Upper Jurassic of Morocco. *PLoS One*, 6 (12), 1-7.
- NOVAS F. E. (1992) - Phylogenetic relationships of the basal dinosaurs, the Herrerasauridae. *Palaeontology*, 16, 51–62.
- OCTAVIO M. & ANTUNES M. T. (2003) - A New Dinosaur Tracksite in the Lower Cretaceous of Portugal. *Ciências da Terra*, 15, 253-262.
- OLSHEVSKY G. (2000) - An annotated checklist of dinosaur species by continent. *Mesozoic Meanderings*, 3, 1-157.
- OSBORN H. F. (1923) - Two Lower Cretaceous dinosaurs of Mongolia. *American Museum Novitates*, 95, 1–10.
- OWEN R. (1842) - Report on British Fossil Reptiles. Part II. *Report of the British Association for the Advancement of Science*, Plymouth, England, 11, 60-204.
- PADIAN K. & MAY C. L. (1993) - The earliest dinosaurs. In: *Lucas S. G., Morales M. (Eds.), The Nonmarine Triassic: New Mexico Mus. Nat. Hist. Sci. Bull.*, vol. 3, 379 -380.
- PÉREZ-LORENTE F. (2001): Paléoicnología. Los dinosaurios y sus huellas en la Rioja. Apuntes para los cursos y campos de trabajo de verano. *Fundacion Patrimonio Paleontologico de La Rioja Eds.* 227 p.

- PÉREZ-LORENTE F., ROMERO-MOLINA M. M., REQUETA E., BLANCO M. & CARO S. (2001) –
Dinosaurios. Introducción y análisis de algunos yacimientos de sus huellas en La Rioja. *Ciencias de la Tierra*, 24, p. 102.
- PÉREZ-LORENTE F. (2003) - Aportaciones de los yacimientos de la Barguilla, Santisol y Santa Juliana (Hornillos de Cameros, La Rioja, España) in PÉREZ-LORENTE F., ROMERO-MOLINA M. M. & CARRERA P. R. “Dinosaurios y otros reptiles mesozoicos en España“. Congreso Internacional sobre Dinosaurios y otros Reptiles Mesozoicos en España (1. 2002. Logroño), *Universidad de La Rioja : Instituto de Estudios Riojanos edit.*, 161-194, ISBN: 84-95747-64-2.
- PÉRON A. (1883) - Essai d'une description géologique de l'Algérie. *Ann. Sci. Géol.*, 14, 202 p.
- PÉRON A. & LE MESLE G. (1880) - Sur des empreintes de pas d'oiseaux observées par M. Le Mesle dans le Sud de l'Algérie. *A.F. A. S., Reims*, p. 528.
- PHILLIP J. C., DEMCHIG B. & KOPPELHUS E. B. (2003) - The First Late Cretaceous Footprints from the Nemegt Locality in the Gobi of Mongolia. *Ichnos*, 10, 1-12.
- REGAGBA A. (2006) - Etude sédimentaologique et stratigraphique de la série du Jurassique moyen et supérieur de la région d'El Bayadh (Atlas saharien central). *Mém. Magistère*, Université. d'Oran, 90 p., (inédit).
- REGAGBA A., MEKAHLI L., BENHAMOU M., HAMMADI N. & ZEKRI A. (2007) - Découverte d'empreintes de pas de dinosauriens (théropodes et sauropodes) dans les « grès des Ksours » du Crétacé inférieur de la région d'El Bayadh (Atlas saharien central, Algérie). *Mém. Bull. Serv. Geol.*, 18 (2), 141-159.
- RIGGS E. S. (1903) - *Brachiosaurus altithorax*, the largest known dinosaur. *Scientific American J.*, series 4 (15), 299-306.
- RITTER E. (1902) - Le Djebel Amour et les monts des Ouled Nail. *Bull. Ser. Géol. Algérie*, 2^{ème} Série, 3, 1- 100.
- ROLLAND M. G. (1890) - Géologie du Sahara algérien et aperçu géologique sur le Sahara de l'Océan Atlantique à la Mer Rouge. *Imprimerie Nationale édit.*, Paris, 275 p.
- ROMERO-MOLINA M. M., PÉREZ-LORENTE F. & RIVAS P. (2001) - Estructuras asociadas con huellas de dinosaurio en la Rioja (España). *Zubia*, 19, 61-96.
- ROMERO-MOLINA M. M., SARJEANT W. A. S., PÉREZ-LORENTE F., LOPEZ A. & REQUETA E. (2003) –
Orientation and characteristics of theropod trackways from the las losas, Palaeoichnological site (La Rioja. Spain). *Ichnos*, 10, 241-254.
- SANTOS V. F., LOCKLEY M. G., MORATALLA J. J. & GALOPIM DE CARVALHO A. M. (1992) - The longest

- dinosaur trackway in the world? Interpretations of Cretaceous footprints from Carenque, near Lisbon, Portugal. *Gaia*, 5, 18-27.
- SANTOS V. F., LOCKLEY M. G., MEYER C. A., CARVALHO J., GALOPIM DE CARVALHO A. M. & MORATALLA J. J. (1994) - A new sauropod tracksite from the Middle Jurassic of Portugal, *Gaia*, 10, 5-14.
- SCOTese C. R. & GOLONKA J. (1992) - PALEOMAP Paleogeographic Atlas, *PALEOMAP Progress Report No. 20*, Department of Geology, University of Texas at Arlington, Arlington, Texas, 34 p.
- SEELEY H. G. (1887) - On the Classification of the Fossil Animals Commonly Named Dinosauria, *Proceedings Royal Soc. London*, vol. 43., 165-171.
- SERENO P. C. (1986) - Phylogeny of the bird-hipped dinosaurs (Ordre Ornithischia). *Nat. Geogr. Research*, 2, 234-256.
- SERENO P. C., DUTHEIL D. B., IAROCHE M., LARSSON H. C. E., LYON G. H., MAGWENE P. M., SIDOR, C. A., VARRICCHIO D. J. & WILSON J. A. (1996) - Predatory dinosaurs from the Sahara and Late Cretaceous faunal differentiation. *Science*, 272, 986-991.
- SERENO P. C. (1997) - The origin and evolution of dinosaurs, *Ann. Rev. Earth. Planet. Sci.*, 25, 435-489.
- SERENO P. C. (2005) -The logical basis of phylogenetic taxonomy. *Systems Biology*, 54, 595–619.
- SMITH J. B., LAMANNA M. C., LACOVARA K. J., DODSON P., SMITH J. R., POOLE J. C., GIEGENGACK R. & ATTIA Y. (2001) - A Giant sauropod dinosaur from an Upper Cretaceous mangrove deposit in Egypt. *Science*, 292 (5522), 1704–1706.
- STERNBERG C. M. (1932) - Dinosaur tracks from Peace River, British Columbia. *Nati. Mus. of Canada Bull*, 68, 59-85.
- STROMER E. (1915) - Ergebnisse der Forschungsreisen Prof. E. Stromers in den Wüsten Ägyptens. II. Wirbeltier-Reste der Baharije-Stufe (unterstes Cenoman). 3. Das Original des Theropoden *Spinosaurus aegyptiacus* nov. gen., nov. Spec. *Abhandlungen der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften*, 28 (3), 1–32.
- STROMER E. (1931) - Ergebnisse der Forschungsreisen Prof. E. Stromers in den Wüsten Ägyptens. II. Wirbeltier-Reste der Baharijstufe (unterstes Cenoman). 10. Ein Skelett-Rest von *Carcharodontosaurus* nov. gen. *Abhandlungen der Bayerischen Akademie der Wissenschaften Mathematisch-naturwissenschaftliche Abteilung*, Neue Folge 9, 1-23.
- STROMER E. (1934) - Ergebnisse der Forschungsreisen Prof. E. Stromers in den Wüsten Ägyptens. II. Wirbeltierreste der Baharije-Stufe (unterstes Cenoman). 13. Dinosauria [Results of the expeditions of Professor E. Stromer in the Egyptian deserts. II. Vertebrate animal remains from the Baharije bed (lowest Cenomanian). 13. Dinosauria]. *Abhandlungen der Bayerischen*

- Akademie der Wissenschaften Mathematisch-naturwissenschaftliche Abteilung*, Neue Folge 22, 1-79.
- TYLER R. L., ERIK A., SPERLING A., M. HEIMBERG J. A., GAUTHIER B. L., KING KEVIN J., PETERSON K. J & PETERSON. K (2011) - MicroRNAs support a turtle + lizard clade. *Biology Letters*, 8 (1), 104–107. doi: 10.1098/rsbl.2011.0477.
- THULBORN R. A. & WADE M. (1989) - A footprint as a history of movement. In *Dinosaur tracks and tracs*. D. D. Gillette and M. G. Lockley eds. Cambridge University Press. 51-56.
- THULBORN R. A. (1990) - Dinosaur tracks. *Chapman and Hall edis.*, London, 410 p.
- WEEMS R. E. (1992) - A re-evaluation of the taxonomy of Newark Supergroup Saurischian dinosaur tracks, using extensive statistical data from a recently exposed tracksite near Culpeper, Virginia. *Proceeding 26th Forum on the Geology Industrial Minerals*, 113-127.
- WELLES S. P. (1971) - Dinosaur footprints from the Kayeneta formation of Northen Arizona. *Plateau*, 44, 27-39.
- WRIGHT J. L. (2005) - Steps in understanding sauropod biology ; the importance of sauropod tracks in KRISTINA A., CURRY R. & JEFFREY A. W. “The Sauropods: Evolution and Paleobiology“. *University of California Press eds*, Berkeley and Los Angeles, 254-284.
- XU X., CHENG Y. -N., WANG X. -L. & CHANG C. H. (2002) - An unusual oviraptorosaurian dinosaur from China. *Nature*, 419, 291-293.

- Tableau 01 : Classification des dinosaures d'Algérie.
- Tableau 02 : Répartition des espèces de dinosaures en Algérie (Gabani, 2008).
- Tableau 03 : Les gisements des dinosauriens de l'Atlas saharien.
- Tableau 04 : Classification qualitative des empreintes.
- Tableau 05 : Propriétés de la couche et les structures dépendant des empreintes.
- Tableau 06 : inventaire et références des sites à ichnites de dinosaures de l'Atlas saharien.
- Tableau 07 : Série synthétique jurassique et crétacée des Monts des Ksour et Djebel Amour.
- Tableau 08 : Nomenclature et inventaire des sites à étudier.
- Tableau 09 : Inventaire des sites à ichnites et matériels associés de l'Atlas saharien et Hautes Plaines.
- Tableau 10 : Formules de calcul relatives à l'estimation de la hauteur à la hanche.
- Tableau 11 : Classification des empreintes.
- Tableau 12 : Comparaison des données ostéologiques, potentiel et état de conservation.
- Tableau 13 : Données biométriques des pistes de dinosaures théropoïdes et sauropoïdes des nouveaux **Ensembles**.
- Tableau 14 : Effectifs et biométrie (moyenne) des pistes et empreintes de l'**Ensemble A**.
- Tableau 15 : Paramètres biométriques de l'**Ensemble A**.
- Tableau 16 : Effectifs et biométrie (moyenne) des pistes et empreintes de l'**Ensemble B**.
- Tableau 17 : Paramètres biométriques de l'**Ensemble B**.
- Tableau 18 : Effectifs et biométrie (moyenne) des pistes et empreintes de l'**Ensemble C**.
- Tableau 19 : Paramètres de l'**Ensemble C**.
- Tableau 20 : Caractères biométriques moyens des empreintes de l'**Ensemble D**.
- Tableau 21 : Paramètres biométriques de l'**Ensemble D**.
- Tableau 22 : Caractéristiques biométriques des formes brontopoïdes.
- Tableau 23 : Synonymie des ichnogenres discutés dans le texte (Lockley *et al.*, 1998).
- Tableau 24 : Comparaison de l'angle de divarication (**T**) par pistes des **Ensembles A, B, C et D**.
- Tableau 25 : Comparaison de l'angle de divarication (**T**) par pistes des **Ensembles 1, 2 et 3**.
- Tableau 26 : Bornes du paramètre **D** des empreintes en relation avec leur longueur.
- Tableau 27 : Paramètres de taille (L X l), **T** et **D** communs entre les ensembles atlasiques et Hautes plaines, les ichnogenres des Grands Causses français et d'autres ichnogenres connus dans le monde.
- Tableau 28 : Attribution des empreintes tri- et tétradactyles des ensembles dinosauroïdes atlasiques (Algérie).
- Tableau 29 : Attribution des empreintes des ensembles brontopoïdes atlasiques (Algérie).

- Figure 01 : Arbre phylogénétique des Amniotes.
- Figure 02 : Cladogramme des dinosauriformes.
- Figure 03 : Cladogrammes simplifiés des Ornithodira et des Dinosauriformes.
- Figure 04 : Schéma représentatif de la définition phylogénétique du clade des dinosaures.
- Figure 05 : Posture des archosaures.
- Figure 06 : Anatomie du bassin des dinosaures
- Figure 07 : Généalogie simplifiée des grands groupes de dinosauriens et leurs empreintes.
- Figure 08 : Cladogramme des paraves.
- Figure 09 : Dérivées d'une empreinte fossile.
- Figure 10 : Classification des empreintes suivant leur état de conservation.
- Figure 11 : Catégories d'empreintes.
- Figure 12 : Anatomie des mains et pieds des grands groupes de dinosaures et leurs empreintes respectives.
- Figure 13 : Les deux types de coussinets.
- Figure 14 : Phylogénie des empreintes de sauropodes dans un contexte basé sur le squelette.
- Figure 15 : Les deux ichnogenres des empreintes de sauropodes.
- Figure 16 : Empreintes de ptérosaure.
- Figure 17 : Empreintes de pieds d'oiseaux.
- Figure 18 : Les grands groupes de dinosaures et leurs empreintes distinctives (Currie, 1989).
- Figure 19 Les grands groupes de dinosaures et leurs empreintes distinctives (Gillette et Lockley, 1989).
- Figure 20 : Schéma structural de la chaîne alpine de la méditerranée occidentale.
- Figure 21 : Comparaison et corrélations des différentes formations de l'Atlas saharien.
- Figure 22 : Localisation géographique des sites à ichnites de dinosauriens.
- Figure 23 : Localisation du site 16.
- Figure 24 : Localisation des sites à ichnites d'El Bayadh dont celui d'El Bayadh-El Kheneg 3.
- Figure 25 : Localisation des sites 9 et 10 de la région d'Ouafeg.
- Figure 26 : Localisation des sites 4, 11, 12, 13 de la région de Brezina.
- Figure 27 : Localisation du site 14 (Brezina Daïet Sid El Arbi).
- Figure 28 : Localisation du site 15 (Sfissifa-Harcha).

Figure 29 : Localisation du site 21 (Essaguia-Garet El Hefé).

Figure 30 : Localisation du village d'Amoura.

Figure 31 : Localisation des sites (18, 19, 20) d'Amoura.

Figure 32 : Position lithostratigraphique des principaux sites à empreintes de dinosauriens dans la coupe synthétique de l'Atlas saharien.

Figure 33 : Eléments de mesure d'une empreinte.

Figure 34 : Eléments mesurés sur une piste.

Figure 35 : Paramètres de Weems.

Figure 36 : Variation des mesures selon la situation du point de référence

Figure 37 : Représentation schématisée des différentes variables du pas (P) mesurés sur une piste bipède selon les formules de Pérez-Lorente (2001).

Figure 38 : Différentes mesures sur une piste bipède.

Figure 39 : Paramètres mesurés sur une piste quadrupède.

Figure 40 : Variations des paramètres mesurés sur les empreintes.

Figure 41 : Différentes parties d'une extrémité postérieure sans la présentation du basipode qui comprend les os du tarse.

Figure 42 : Schéma du cône renversé auquel est assimilé le membre

Figure 43 : Pistes d'animaux quadrupèdes pouvant être employées pour estimer la dimension épaule-hanche (distance gléno-acétabulaire), avec une bonne approximation de la taille de l'animal.

Figure 44 : Marche alternée.

Figure 45 : Marche amble.

Figure 46 : Marche alternée primitive.

Figure 47 : Disposition de la queue rigide dans une marche.

Figure 48 : Empreintes de l'*Ensemble A*.

Figure 49 : Exemple d'empreintes très proches de l'*Ensemble B*.

Figure 50 : Principales empreintes de l'*Ensemble C*.

Figure 51 : Empreintes de l'*Ensemble D* du site 17 (Pont de Tiout).

Figure 52 : Caractéristiques biométriques des formes brontopœïdes (*Ensembles E, F, G, H, I*) de l'Atlas saharien et des Hautes plaines.

Figure 53 : paramètres des empreintes du site 21 d'Essaguia-Garet-El Hefte.

Figure 54 : Caractéristiques biométriques des empreintes des formes dinosauroïdes des **Ensembles (A, B, C, D)**.

Figure 55 : Analyse comparative des empreintes des ensembles de l'Atlas saharien.

Figure 56 : Comparaison des **Ensembles A, B, C et D** de l'Atlas saharien avec les principales ichnoespèces des grands Causses français.

Figure 57 : Comparaison des empreintes des **Ensembles A, B, C et D** de l'Atlas saharien avec les ichnogenres mondialement connus.

Figure 58 : Comparaison des valeurs des empreintes de l'**Ensemble A** de l'Atlas saharien avec les grandes empreintes d'Asie, d'Amérique du Nord, d'Australie et d'Europe.

Figure 59 : Comparaison du contour des empreintes de *Megalosaurus* (Buckland, 1824), en fonction de leurs positions stratigraphiques et géographiques.

Figure 60 : Morphologie et taille des empreintes en fonction de leur répartition stratigraphique et géographique.

Figure 61 : Comparaison de la taille (L x l) des empreintes ou allométrie des **Ensembles 1, 2, 3, A, B et C** de l'Atlas saharien avec celles des Ichnogenres de Lockley *et al* (1998a, modifiée)

Figure 62 : Comparaison de la taille des **Ensembles (1, 2, 3)** atlasiques avec certains ichnogenres connus mondialement.

Figure 63 : Comparaison des valeurs des empreintes de l'**Ensemble A** de l'Atlas saharien avec les grandes empreintes d'Asie, d'Amérique du Nord, d'Australie et d'Europe.

Figure 64 : Comparaison des empreintes atlasiques de l'**Ensemble 2** avec les Ichnogenres *Therangospodus* (Lockley *et al.*, 1998), *Megalosauropus* (Colbert et Meerilees, 1967) et *Irenesauripus mclearnii* (Stenberg, 1932).

Figure 65 : Comparaison des contours des empreintes de l'**Ensemble 3** (Site 2) avec ceux de *Columbosauripus* (1 : *C. amourensis* et 3 : *C. acutus*).

Figure 66 : Comparaison des valeurs de l'angle de divarication **T** des **Ensembles A, B, C et D**.

Figure 67 : Comparaison des valeurs de l'angle de divarication **T** des **Ensembles A, B, C et D** et des **Ensembles 1, 2 et 3**.

Figure 68 : Comparaison du paramètre **T** des **Ensembles A, B, C et D** de l'Atlas saharien avec celui des principales ichnoespèces des grands Causses français.

Figure 69 : Comparaison des valeurs de l'angle de divarication **T** des **Ensembles A, B, C et D** de l'Atlas avec celles des ichnogenres *Megalosauripus* (Maroc), *Megalosauropus* (Australie) et *Therangospodus*.

Figure 70 : Comparaison de l'angle **T** des **Ensembles 1, 2, 3 et 4** avec les principaux ichnogenres connus.

Figure 71 : Discrimination à partir du paramètre **D** des empreintes des **Ensembles** théropoïdes de l'Atlas saharien.

Figure 72 : Comparaison de **D** par rapport à la longueur des **Ensembles A, B, C et D** aux Ichnogenres des Grands Causses français.

Figure 73 : Caractère (longueur, largeur) des empreintes (par site et piste) de pas des dinosaures de la région d'El Bayadh (Sites 1, 2, 3 et 4) et comparaisons avec quelques ichnoespèces liasiques des Causses français. (Bessedik *et al.*, 2008).

Figure 74 : Comparaison du paramètre **D** en relation avec la longueur du doigt II des **Ensembles A, B, C** et **D** aux Ichnogenres des Grands Causses français.

Figure 75 : Comparaison du paramètre **D** en fonction de la longueur du doigt IV, des **Ensembles A, B, C** et **D** aux Ichnogenres des grands Causses français.

Figure 76 : Comparaison de la longueur **L** en relation avec le rapport (**L/l**) des ensembles atlasiques et des ichnogenres *Megalosauripus*, *Eutynichnium* et *Therangospodus*.

Figure 77 : Morphologie des empreintes dinosauroïdes de l'Atlas saharien.

Figure 78 : Répartition stratigraphique des empreintes atlasiques dinosauroïdes et brontopoïdes.

Figure 79 : Dispositions des empreintes de pas des sauropodes par rapport à leur piste (Lockley *et al.*, 1994).

Figure 80 : Ratio de surface main : pied chez les Sauropodes (d'après Lockley *et al.*, 1994).

Figure 81 : Evolution géodynamique de la série atlasique (Cornet, 1952 ; Bassoullet, 1973 ; Delfaud, 1974) et position des niveaux à empreintes de dinosaures.

Figure 82 : Répartition des dépôts dans les Grès des Ksour (Delfaud, 1974a).

Figure 83 : Evolution de la sédimentation des Monts des Ksour au Jurassique (a) et Crétacé inférieur (b) d'après Cornet, 1952).

Figure 84 : Paléogéographie du Trias.

Figure 85 : Paléogéographie du Jurassique moyen.

Figure 86 : Paléogéographie du Jurassique supérieur.

Figure 87 : Paléogéographie du Crétacé inférieur.

Figure 88 : Paléogéographie du Crétacé supérieur.

Planche 01

Fig. 1 : piste **b** d'empreintes (tétradactyles) de pieds de l'**Ensemble 1** : Site 1 (El Bayadh-El Grarij), rapproché d'*Eutynichnium* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Fig. 2 : empreinte tétradactyle du pied gauche de l'**Ensemble 1** : Site 1 (El Bayadh-El Grarij) rapprochée d'*Eutynichnium* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur) ; présence du halux.

Fig. 3 : empreinte tétradactyle du pied droit de l'**Ensemble 1** : Site 1 (El Bayadh-El Grarij) rapproché d'*Eutynichnium* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur) ; présence du halux.

Fig. 4 : pistes **a** et **b** d'empreintes (tridactyles) de pieds de l'**Ensemble 1** : Site 4 (Brezina-El Mezioued), rapproché de *Megalosauripus* (Jurassique supérieur).

Fig. 5 : empreinte tridactyle du pied gauche de l'**Ensemble 1** : Site 4 (Brezina-El Mezioued), rapproché de *Megalosauripus* (Jurassique supérieur).

Fig. 6 : piste d'empreintes (tridactyles) de pieds de l'**Ensemble 1** : Site 3 (El Bayadh-les Abattoirs), rapproché de *Megalosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Planche 02

Fig. 1 : empreinte tridactyle du pied gauche de l'**Ensemble 2** : Site 1 (El Bayadh-El Grarij), rapproché de *Therangospodus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Fig. 2 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble 2** : Site 4 (Brezina-El Mezioued), rapproché de *Therangospodus* (Jurassique supérieur).

Fig. 3 : piste **a** d'empreintes (tridactyles) de l'**Ensemble 3** : Site 2 (El Bayadh-El Mouilah), rapproché de *Columbosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Fig. 4 : empreinte tridactyle du pied gauche de l'**Ensemble 3** : Site 2 (El Bayadh-El Mouilah), rapproché de *Columbosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Fig. 5 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble 3** : Site 2 (El Bayadh-El Mouilah), rapproché de *Columbosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Planche 03

Fig. 1 : piste **a** d'empreintes (tridactyles) de l'**Ensemble A** : Site 6 (El Bayadh-El Kheneg 2), rapproché de *Megalosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Fig. 2 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble A** : Site 6 (El Bayadh-El Kheneg 2), rapproché de *Megalosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Fig. 3 : empreinte tridactyle du pied gauche de l'**Ensemble A** : Site 8 (El Bayadh-El Kheneg 3), rapproché de *Megalosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Fig. 4 : empreinte tridactyle de l'**Ensemble A** : Site 5 (El Bayadh-El Kheneg 1), rapproché de *Megalosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur) ; difficile de distinguer le pied (gauche ou droit).

Fig. 5 : empreinte tridactyle du pied gauche de l'**Ensemble A** : Site 11 (Brezina-GaretEchiheb), rapproché de *Megalosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Fig. 6 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble A** : Site 14 (Brezina-Daiet Sid El Arbi), rapproché de *Megalosauropus* (Crétacé).

Fig. 7 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble A** : Site 21 (Amoura-Gaada), rapproché de *Megalosauropus* (Crétacé).

Fig. 8 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble A** : Site 13 (Brezina-HamietBoulafea), rapproché de *Megalosauropus* (Crétacé).

Planche 04

Fig. 1 : Piste **a** d'empreintes (tridactyles) de l'**Ensemble B** : Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra), rapproché de *Megalosauropus* (Crétacé).

Fig. 2 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble B** : Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra), rapproché de *Megalosauropus* (Crétacé).

Fig. 3 : empreinte tridactyle du pied gauche de l'**Ensemble B** : Site 12 (Brezina-Mouilah El Fougani), rapproché de *Megalosauropus* (Crétacé).

Fig. 4 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble C** : Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra), rapproché de *Columbosauripus* (Crétacé).

Fig. 5 : surface à empreintes tridactyles de l'**Ensemble C** : Site 7 (El Bayadh-El Crapaud), rapproché de *Columbosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Fig. 6 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble C** : Site 7 (El Bayadh-El Crapaud), rapproché de *Columbosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Fig. 7 : surface à empreintes tridactyles de l'**Ensemble C** : Site 18 (Amoura), rapproché de *Columbosauripus* (Crétacé).

Fig. 8 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble C** : Site 19 (Amoura-Gorge), rapproché de *Columbosauripus* (Crétacé).

Fig. 9 : détail du doigt II d'une empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble C** : Site 19 (Amoura-Gorge), rapproché de *Columbosauripus* (Crétacé). C.d. : coussinet de départ ; C.p. : coussinet portant la trace de la griffe ; G. : trace de la griffe.

Planche 05

Fig. 1 : surface à contre-empreintes tridactyles de l'**Ensemble D** : Site 17 (Pont de Tiout), rapproché de *Grallator cf. variabilis* (Rhétien-Hettangien).

Fig. 2 : surface (détail) à contre-empreintes tridactyles de l'**Ensemble D** : Site 17 (Pont de Tiout), rapproché de *Grallator cf. variabilis* (Rhétien-Hettangien).

Fig. 3 à 6 : contre-empreintes tridactyles de l'**Ensemble D** : Site 17 (Pont de Tiout), rapproché de *Grallator cf. variabilis* (Rhétien-Hettangien). Notez la trace bien retournée de la griffe du doigt II (fig. 3).

Fig. 7 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble D** : Site 17 (Pont de Tiout), rapproché de *Grallator cf. variabilis* (Rhétien-Hettangien).

Planche 06

Fig. 1 : Piste quadrupède à empreintes du couple main-pied de l'**Ensemble 4** : Site 1 (El Bayadh-El Grarij), rapproché de *Brontopodus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur) ; constat du sens de déplacement.

Fig. 2 : Détail d'empreintes du couple main-pied de la même piste : Site 1 (El Bayadh-El Grarij), rapproché de *Brontopodus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur)

Planche 07

Fig. 1 : surface à pistes d'empreintes quadrupèdes de l'**Ensemble E** : Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra), rapproché de *Brontopodus* (Crétacé). Constat : sens de déplacement.

Fig. 2 : détail de l'empreinte du couple main-pied (quadrupède) de l'**Ensemble E** : Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra), rapproché de *Brontopodus* (Crétacé).

Fig. 3 : vue rapprochée de pistes d'empreintes quadrupèdes de l'**Ensemble E** : Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra), rapproché de *Brontopodus* (Crétacé).

Planche 08

Fig.1 : piste d'empreintes quadrupèdes de l'**Ensemble F** : Site 16 (Tousmouline), rapprochée de *Brontopodus* (Crétacé).

Fig. 2 : empreinte de pied quadrupède de l'**Ensemble F** : Site 16 (Tousmouline), rapprochée de *Brontopodus* ;

Fig. 3 : surface à empreintes quadrupèdes de l'**Ensemble G** : Site 15 (Sfissifa-Harcha), rapproché de *Brontopodus* (Crétacé).

Fig. 4 et 5 : empreintes quadrupèdes de couple main-pied de l'**Ensemble G** : Site 15 (Sfissifa-Harcha), rapproché de *Brontopodus* (Crétacé).

Planche 09

Empreintes quadrupèdes de l'**Ensemble H** : Site 14 (Brezina-Daiet Sid El Arbi), rapproché de *Brontopodus* (Crétacé).

Notez la grande taille des empreintes (main : 75 cm x 75 cm ; pied : 120 cm x 120 cm).

Planche 10

Fig.1, 2 et 4 : empreintes quadrupèdes de couples main-pied de l'**Ensemble H** : Site 14 (Brezina-Daiet Sid El Arbi), rapproché de *Brontopodus* (Crétacé).

Fig. 3, 5 et 6 : détails d'une empreinte quadrupède de pied (trace d'ongles et de griffes) de l'**Ensemble H** : Site 14 (Brezina-Daiet Sid El Arbi), rapproché de *Brontopodus*(Crétacé).

Planche 11

Fig. 1 à 4 : Piste d'empreintes quadrupèdes de couple pied-main de l'**Ensemble I** : Site 21 (Essaguia-Garet El Helfe), rapproché de *Parabrontopodus*(Crétacé).

Fig. 5 et 6 : détail de la piste d'empreintes quadrupèdes de couple main-pied de l'**Ensemble I** : Site 21 (Essaguia-Garet El Helfe), rapproché de *Parabrontopodus*(Crétacé).

En fig. 5 :

a : limite externe droite de la piste ;

b : droite alignée par rapport aux centres de deux traces successives de deux mains ;

c : droite alignée par rapport aux centres de deux traces successives de deux pieds.

En fig. 6 : sens de déplacement.

Planche 12

Fig. 1 : bourrelet ou talus de rejet dans une empreinte de l'**Ensemble H** : Site 14 (Brezina-Daiet Sid El Arbi) : Crétacé.

Fig. 2 : contre-empreinte tridactyle (éboulis), trouvée près du Site 11 (Brezina-GaretEchiheb).

Fig. 3 : sous-empreinte tridactyle de l'**Ensemble 3** : Site 2 (El Bayadh-El Mouilah).

Fig. 4 : débris d'os à la surface à empreintes de l'**Ensemble E** : Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra).

Fig. 5 : ride de courant à la surface rougeâtre du banc au dessous du niveau à empreintes de l'**Ensemble E** : Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra).

Fig. 6 : condensation de (micro)bivalves à la surface du banc à empreintes : Site 6 (El Bayadh-El Kheneg 2).

Fig. 7 : fentes de dessiccation et trace de pluie : Site 19 (Amoura-Gorge).

Fig. 8 : fentes de dessiccation : Site 21 (Amoura-Gaada).

Planche 01

Fig. 1 : piste **b** d'empreintes (tétradactyles) de pieds de l'**Ensemble 1** : Site 1 (El Bayadh-El Grarij), rapproché d'*Eutynichnium* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Fig. 2 : empreinte tétradactyle du pied gauche de l'**Ensemble 1** : Site 1 (El Bayadh-El Grarij) rapprochée d'*Eutynichnium* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur) ; présence du halux.

Fig. 3 : empreinte tétradactyle du pied droit de l'**Ensemble 1** : Site 1 (El Bayadh-El Grarij) rapproché d'*Eutynichnium* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur) ; présence du halux.

Fig. 4 : pistes **a** et **b** d'empreintes (tridactyles) de pieds de l'**Ensemble 1** : Site 4 (Brezina-El Mezioued), rapproché de *Megalosauripus* (Jurassique supérieur).

Fig. 5 : empreinte tridactyle du pied gauche de l'**Ensemble 1** : Site 4 (Brezina-El Mezioued), rapproché de *Megalosauripus* (Jurassique supérieur).

Fig. 6 : piste d'empreintes (tridactyles) de pieds de l'**Ensemble 1** : Site 3 (El Bayadh-les Abattoirs), rapproché de *Megalosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Planche 01

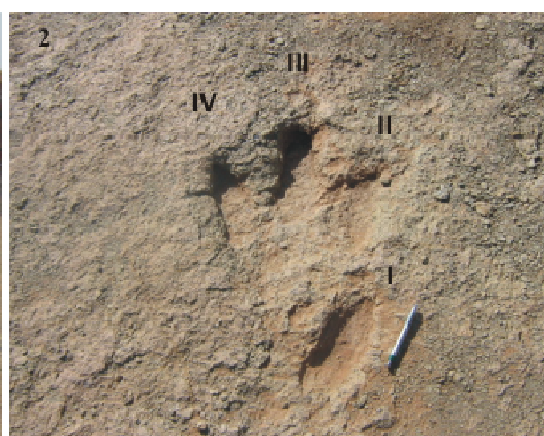
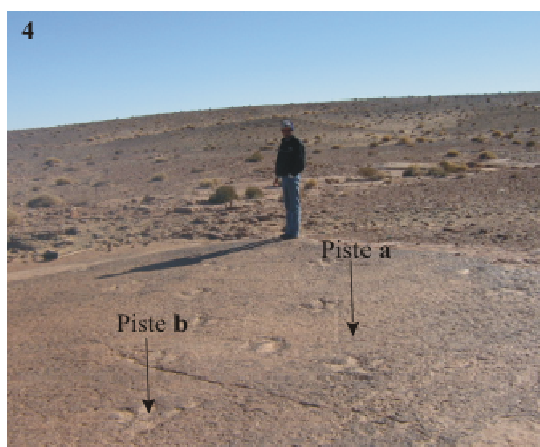


Planche 02

Fig. 1 : empreinte tridactyle du pied gauche de l'**Ensemble 2** : Site 1 (El Bayadh-El Grarij), rapproché de *Therangospodus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Fig. 2 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble 2** : Site 4 (Brezina-El Mezioued), rapproché de *Therangospodus* (Jurassique supérieur).

Fig. 3 : piste **a** d'empreintes (tridactyles) de l'**Ensemble 3** : Site 2 (El Bayadh-El Mouilah), rapproché de *Columbosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Fig. 4 : empreinte tridactyle du pied gauche de l'**Ensemble 3** : Site 2 (El Bayadh-El Mouilah), rapproché de *Columbosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Fig. 5 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble 3** : Site 2 (El Bayadh-El Mouilah), rapproché de *Columbosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Planche 02

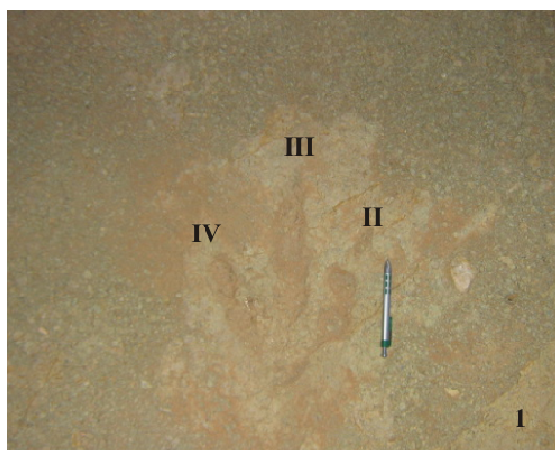
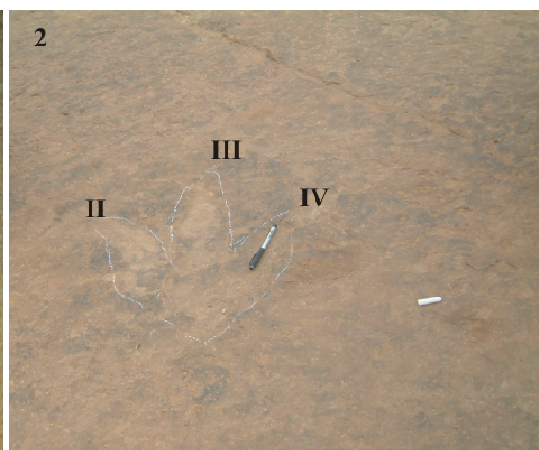


Planche 03

Fig. 1 : piste **a** d'empreintes (tridactyles) de l'**Ensemble A** : Site 6 (El Bayadh-El Kheneg 2), rapproché de *Megalosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Fig. 2 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble A** : Site 6 (El Bayadh-El Kheneg 2), rapproché de *Megalosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Fig. 3 : empreinte tridactyle du pied gauche de l'**Ensemble A** : Site 8 (El Bayadh-El Kheneg 3), rapproché de *Megalosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Fig. 4 : empreinte tridactyle de l'**Ensemble A** : Site 5 (El Bayadh-El Kheneg 1), rapproché de *Megalosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur) ; difficile de distinguer le pied (gauche ou droit).

Fig. 5 : empreinte tridactyle du pied gauche de l'**Ensemble A** : Site 11 (Brezina-Garet Echiheb), rapproché de *Megalosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Fig. 6 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble A** : Site 14 (Brezina-Daiet Sid El Arbi), rapproché de *Megalosauropus* (Crétacé).

Fig. 7 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble A** : Site 21 (Amoura-Gaada), rapproché de *Megalosauropus* (Crétacé).

Fig. 8 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble A** : Site 13 (Brezina-Hamiet Boulafea), rapproché de *Megalosauropus* (Crétacé).

Planche 03

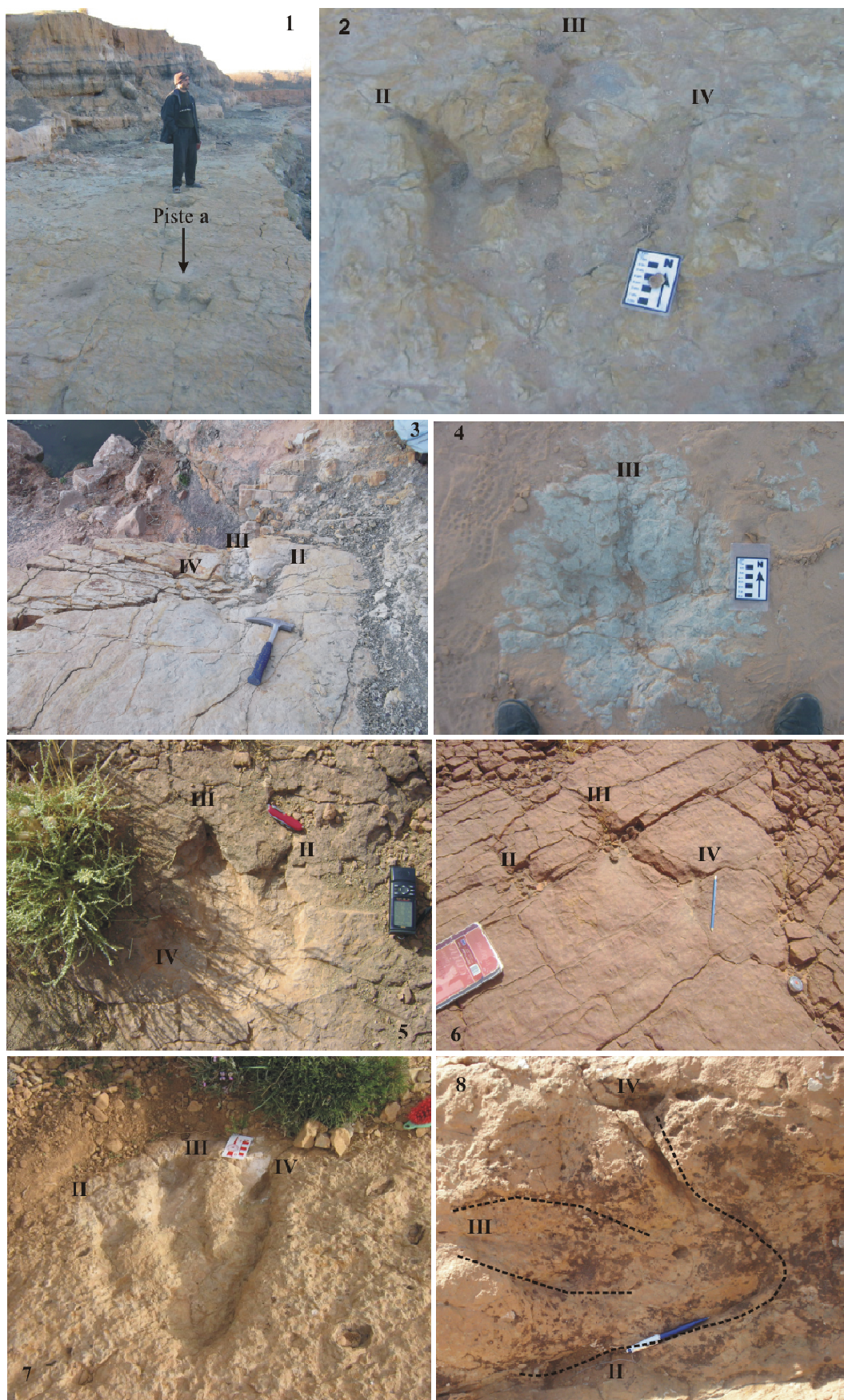


Planche 04

Fig. 1 : Piste **a** d'empreintes (tridactyles) de l'**Ensemble B** : Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra), rapproché de *Megalosauropus* (Crétacé).

Fig. 2 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble B** : Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra), rapproché de *Megalosauropus* (Crétacé).

Fig. 3 : empreinte tridactyle du pied gauche de l'**Ensemble B** : Site 12 (Brezina-Mouilah El Fougani), rapproché de *Megalosauropus* (Crétacé).

Fig. 4 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble C** : Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra), rapproché de *Columbosauripus* (Crétacé).

Fig. 5 : surface à empreintes tridactyles de l'**Ensemble C** : Site 7 (El Bayadh-El Crapaud), rapproché de *Columbosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Fig. 6 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble C** : Site 7 (El Bayadh-El Crapaud), rapproché de *Columbosauripus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Fig. 7 : surface à empreintes tridactyles de l'**Ensemble C** : Site 18 (Amoura), rapproché de *Columbosauripus* (Crétacé).

Fig. 8 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble C** : Site 19 (Amoura-Gorge), rapproché de *Columbosauripus* (Crétacé).

Fig. 9 : détail du doigt II d'une empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble C** : Site 19 (Amoura-Gorge), rapproché de *Columbosauripus* (Crétacé). C.d. : coussinet de départ ; C.p. : coussinet portant la trace de la griffe ; G. : trace de la griffe.

Planche 04



Planche 05

Fig. 1 : surface à contre-empreintes tridactyles de l'**Ensemble D** : Site 17 (Pont de Tiout), rapproché de *Grallator* cf. *variabilis* (Rhétien-Hettangien).

Fig. 2 : surface (détail) à contre-empreintes tridactyles de l'**Ensemble D** : Site 17 (Pont de Tiout), rapproché de *Grallator* cf. *variabilis* (Rhétien-Hettangien).

Fig. 3 à 6 : contre-empreintes tridactyles de l'**Ensemble D** : Site 17 (Pont de Tiout), rapproché de *Grallator* cf. *variabilis* (Rhétien-Hettangien). Notez la trace bien retournée de la griffe du doigt II (fig. 3).

Fig. 7 : empreinte tridactyle du pied droit de l'**Ensemble D** : Site 17 (Pont de Tiout), rapproché de *Grallator* cf. *variabilis* (Rhétien-Hettangien).

Planche 05

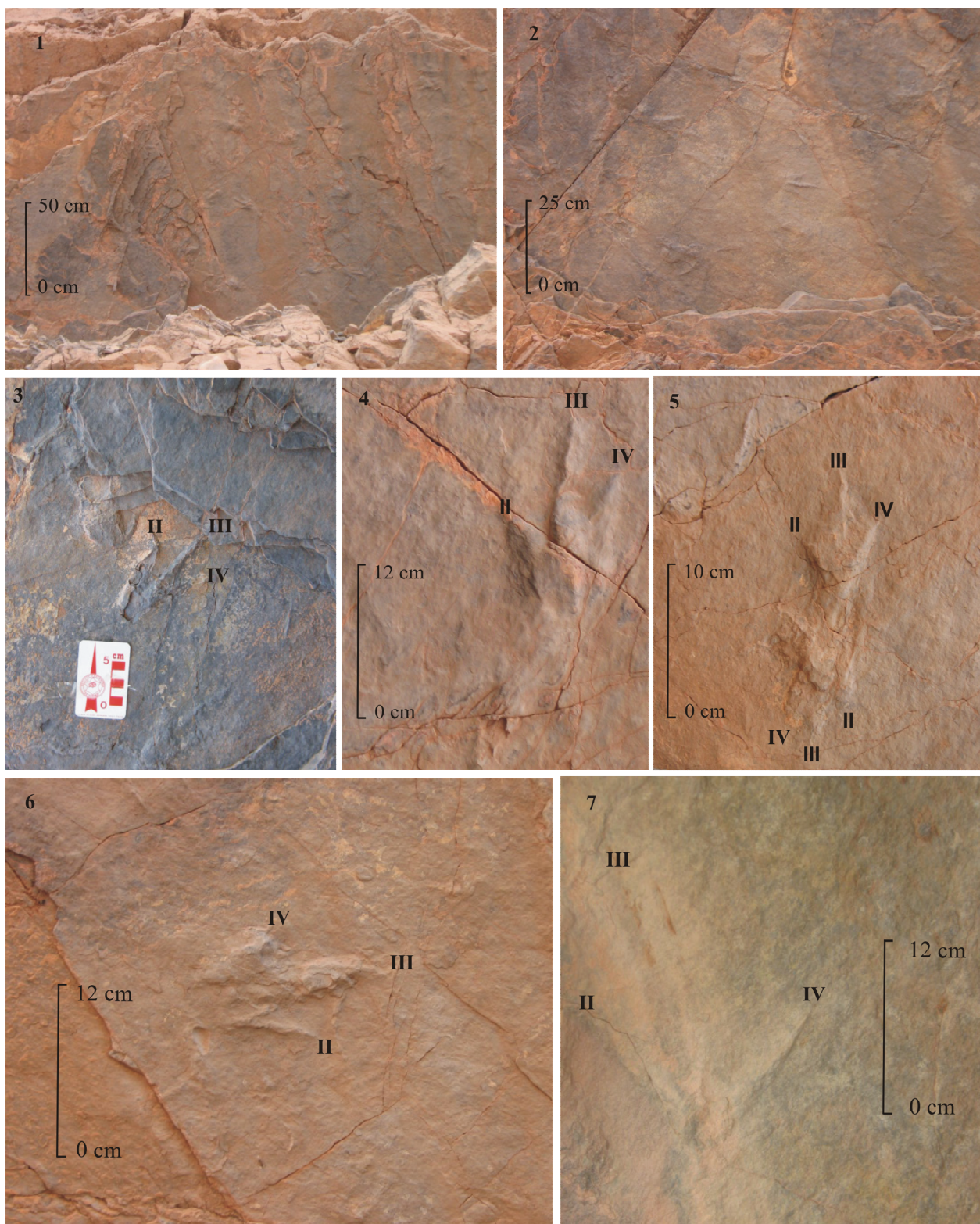


Planche 06

Fig. 1 : Piste quadrupède à empreintes du couple main-pied de l'***Ensemble 4*** : Site 1 (El Bayadh-El Grarij), rapproché de *Brontopodus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur) ; constat du sens de déplacement.

Fig. 2 : Détail d'empreintes du couple main-pied de la même piste : Site 1 (El Bayadh-El Grarij), rapproché de *Brontopodus* (Jurassique supérieur – Crétacé inférieur).

Planche 06



Planche 07

Fig. 1 : surface à pistes d'empreintes quadrupèdes de l'**Ensemble E** : Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra), rapproché de *Brontopodus* (Crétacé). Constat : sens de déplacement.

Fig. 2 : détail de l'empreinte du couple main-pied (quadrupède) de l'**Ensemble E** : Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra), rapproché de *Brontopodus* (Crétacé).

Fig. 3 : vue rapprochée de pistes d'empreintes quadrupèdes de l'**Ensemble E** : Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra), rapproché de *Brontopodus* (Crétacé).

Planche 07



Planche 08

Fig.1 : piste d'empreintes quadrupèdes de l'**Ensemble F** : Site 16 (Tousmouline), rapprochée de *Brontopodus* (Crétacé).

Fig. 2 : empreinte de pied quadrupède de l'**Ensemble F** : Site 16 (Tousmouline), rapprochée de *Brontopodus* ;

Fig. 3 : surface à empreintes quadrupèdes de l'**Ensemble G** : Site 15 (Sfissifa-Harcha), rapproché de *Brontopodus* (Crétacé).

Fig. 4 et 5 : empreintes quadrupèdes de couple main-pied de l'**Ensemble G** : Site 15 (Sfissifa-Harcha), rapproché de *Brontopodus* (Crétacé).

Planche 8

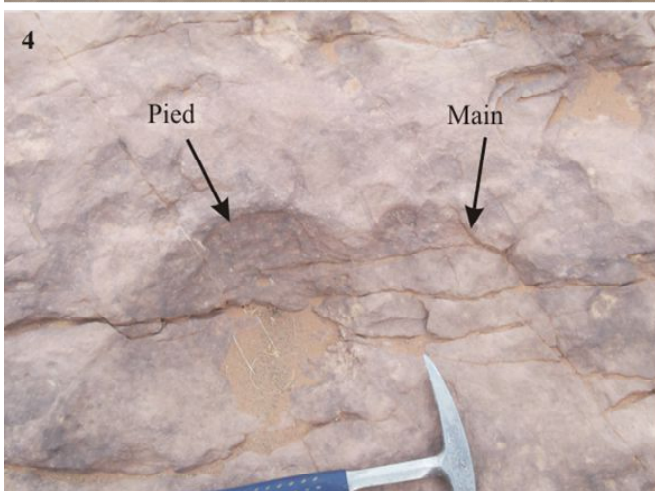
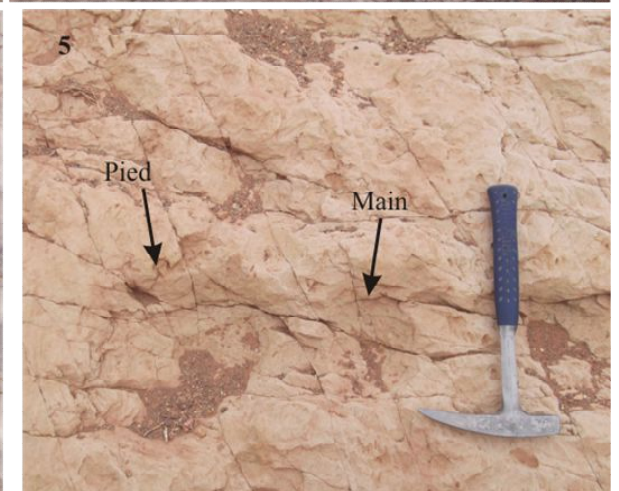


Planche 09

Empreintes quadrupèdes de l'***Ensemble H*** : Site 14 (Brezina-Daiet Sid El Arbi), rapproché de *Brontopodus* (Crétacé).

Notez la grande taille des empreintes (main : 75 cm x 75 cm ; pied : 120 cm x 120 cm).

Planche 09



Planche 10

Fig.1, 2 et 4 : empreintes quadrupèdes de couples main-pied de l'**Ensemble H** : Site 14 (Brezina-Daiet Sid El Arbi), rapproché de *Brontopodus* (Crétacé).

Fig. 3, 5 et 6 : détails d'une empreinte quadrupède de pied (trace d'ongles et de griffes) de l'**Ensemble H** : Site 14 (Brezina-Daiet Sid El Arbi), rapproché de *Brontopodus* (Crétacé).

Planche 10

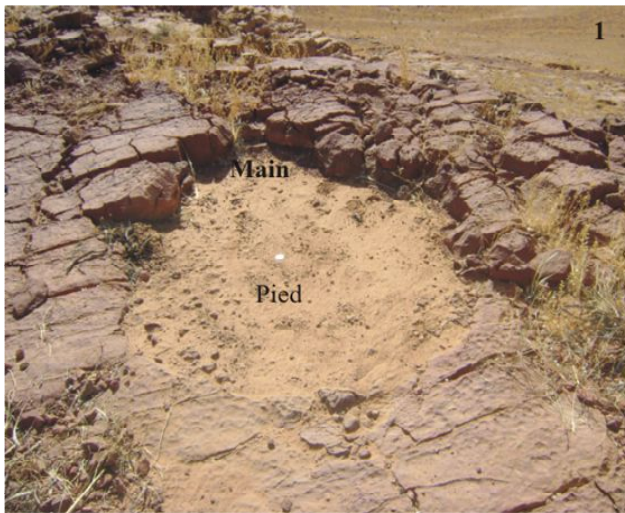
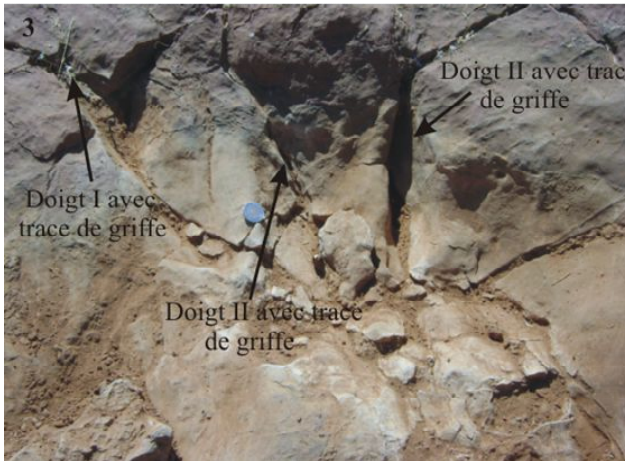
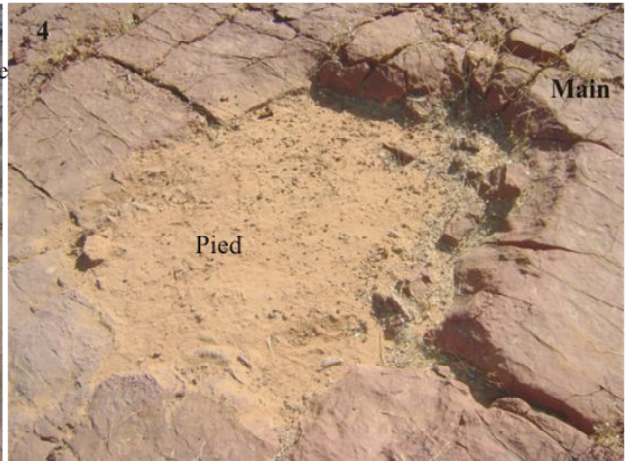
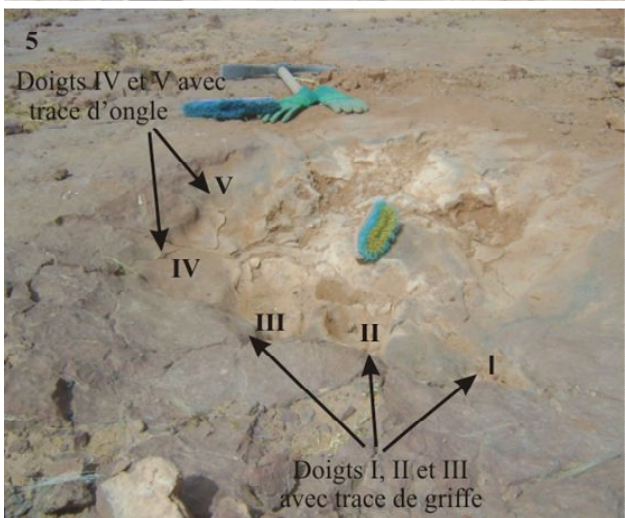


Planche 11

Fig. 1 à 4 : Piste d'empreintes quadrupèdes de couple pied-main de l'**Ensemble I** : Site 21 (Essaguia-Garet El Hefte), rapproché de *Parabrontopodus* (Crétacé).

Fig. 5 et 6 : détail de la piste d'empreintes quadrupèdes de couple main-pied de l'**Ensemble I** : Site 21 (Essaguia-Garet El Hefte), rapproché de *Parabrontopodus* (Crétacé).

En fig. 5 :

a : limite externe droite de la piste ;

b : droite alignée par rapport aux centres de deux traces successives de deux mains ;

c : droite alignée par rapport aux centres de deux traces successives de deux pieds.

En fig. 6 : sens de déplacement.

Planche 11

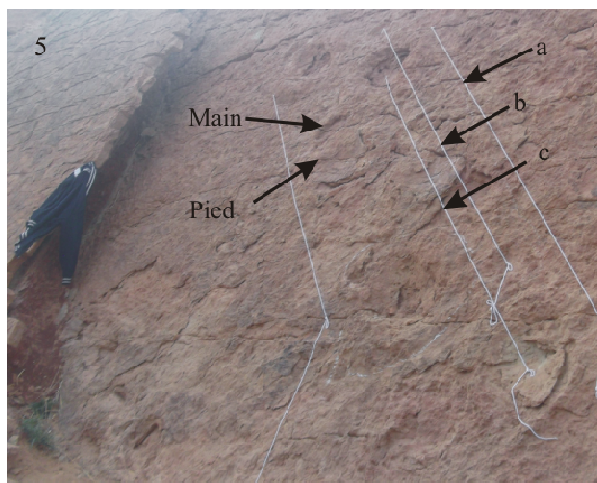
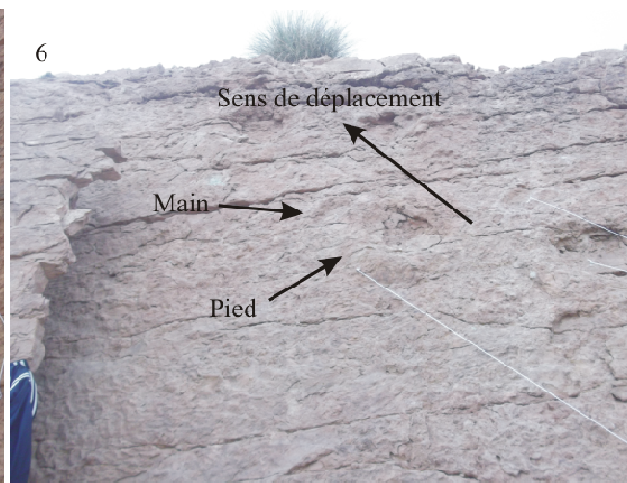


Planche 12

Fig. 1 : bourrelet ou talus de rejet dans une empreinte de l'*Ensemble H* : Site 14 (Brezina-Daiet Sid El Arbi) : Crétacé.

Fig. 2 : contre-empreinte tridactyle (éboulis), trouvée près du Site 11 (Brezina-Garet Echiheb).

Fig. 3 : sous-empreinte tridactyle de l'*Ensemble 3* : Site 2 (El Bayadh-El Mouilah).

Fig. 4 : débris d'os à la surface à empreintes de l'*Ensemble E* : Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra).

Fig. 5 : ride de courant à la surface rougeâtre du banc au dessous du niveau à empreintes de l'*Ensemble E* : Site 9 (Ouafeg-Edaoura El Hamra).

Fig. 6 : condensation de (micro)bivalves à la surface du banc à empreintes : Site 6 (El Bayadh-El Kheneg 2).

Fig. 7 : fentes de dessiccation et trace de pluie : Site 19 (Amoura-Gorge).

8 : fentes de dessiccation : Site 21 (Amoura-Gaada).

Planche 12



PRESENCE D'EMPREINTES DE PAS DE DINOSAURIENS DANS LE CRETACE AU NORD D'EL BAYADH (Djebel Amour, Algérie)

Reçu le 10/10/2004 – Accepté le 30/04/2005

Résumé

La présence de nombreuses empreintes de pas de dinosaures d'âge crétacé inférieur (Valanginien) a été mise en évidence au nord de la ville d'El Bayadh. Étendues sur une superficie plus de 1 km² et se trouvant sur des dalles de calcaires argileux lumachelles, ces empreintes se répartissent sur deux sites, *site 1* et *site 2*, distants de 500 m environ l'un de l'autre. Vu l'état d'avancement des travaux de fouilles paléontologiques, seul le Site 1 fait l'objet de la présente note. L'analyse des empreintes de pistes révèle la présence, dans ce site, de trois ichnotypes. Ces derniers présentent deux formes bipèdes tridactyles et griffus à tailles différentes et une troisième quadrupède à empreintes arrondies en demi-lune. Les études biométriques et systématiques détaillées, actuellement en cours, permettront de préciser leur appartenance paléoichnologique. Les données préliminaires permettent d'attribuer l'ensemble de ces pistes à deux formes de dinosauriens représentées par deux Théropodes carnivores et un Sauropode herbivore.

Mots clés: empreintes de pas, ichnotypes, Crétacé inférieur (Valanginien), Théropodes, Sauropodes, El Bayadh, Algérie.

Abstract

In the northern part of El Bayadh, localised about 3 km from this town, many prints of dinosaurians are present in the lower age of cretaceous (Valanginien). The prints were highlighted spread out over 1 km² on the lumachellic clay-limestone pavement, and being distributed on two sites, *site 1* and *site 2*, that are approximately distant each other from 500 m. In sight of state in advanced works, at look paleontological excavations progress, only *site 1* was studied in this note. The ichnofossil analysis of the tracks reveals the presence, in-situ, of three ichnotypes. These latest prints are presented in the form of two tridactyl bipeds and griffus having two different sizes and the third quadruped was shaped in rounded prints, like half-moon. The detailed biometric and systematic studies, in progress, will make it possible to specify their paleoichnologic appearance. The preliminary data allowed to assign that the whole of these tracks at two dinosaurians forms, where represented by two Théropodes carnivores and herbivorous Sauropode.

Keywords: footprints, ichnotypes, Lower Cretaceous (Valanginien), Théropods, Sauropods, El Bayadh, Algeria.

BENSALAH M. ^(**),
ADACI M. ^(**),
HEBIB H. ^(**),
BESSEDIK M. ^(*),
BELKEBIR L. ^(*),
MAHBOUBI M. ^(*),
MANSOURI M.E.H. ^(*),
MAMMERI C. ^(**),
MANSOUR B. ^(*).

^(*)Laboratoire de
Paléontologie Stratigraphique
& Paléoenvironnement,
Université d'Oran. Algérie.

^(**)Laboratoire de Géologie
n°25 (P.R.H.M.P.),
Université Abou Bekr
Belkaïd - Tlemcen (Algérie).

^(***)DHW, El Bayadh.
Algérie.

ملخص

تم العثور على عدد كبير من بصمات أرجل تنتسب إلى ديناصورات العصر الطباشيري السفلي في منطقة تبعد بثلاثة كيلومترات شمال البيض. تتواجد هذه البصمات على مساحة تفوق 1 كلم² مرسومة على أسطح كلسية طينية صدفية في موقعين: موقع 1 و موقع 2 يبعدان بـ 500 م الأول عن الآخر. نركز في هذا المقال على الموقع الأول و هذا نظرا لتطور أشغال التنقيب الحفري في عين المكان. إن الدراسة التحليلية لبصمات عدة مسالك توجي بوجود ثلاثة نماذج تنتمي إلى نوعين من الحيوانات قائمة، ثلاثية الأصابع، مخلبية. أما النوع الثالث فهو رباعي الأرجل ذو بصمات دائرية إلى نصف دائرية. ستكشف الدراسة التصنيفية في المستقبل عن انتمائها النموذجي الحقيقي. تمكننا المعطيات الأولية من نسب هذه البصمات إلى نوعين من الديناصورات المتمثلة في التروبودا الأكلة للحوم و الصوروبودا العشبية.

الكلمات المفتاحية: بصمات أرجل، نماذج، الطباشيري السفلي، التروبودا، الصوروبودا، البيض، الجزائر.

La découverte récente d'empreintes de pas de dinosauriens dans les séries marno-calcaires du Valanginien (Crétacé inférieur : [1]) dans la région d'El Bayadh (Djebel Amour : fig. 1) est un fait tout à fait nouveau. En effet, cette localité à empreintes de pas ont été observées pour la première fois par les Citoyens de la région et qui en ont informé M. Mahboubi dès le mois de mai 2004. Les travaux de prospection et de fouilles paléontologiques engagés sur ce site dès le mois de juillet ont permis d'étendre la surface à empreintes, initialement de quelques dizaine de m², à plus de 1000 m². Ainsi, le nombre d'empreintes est passé d'une vingtaine d'empreintes à plus de 300 (12 pistes différentes), ce qui confère à cette localité d'être la plus importance en Afrique.

ASPECTS GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE

Géographiquement et géologiquement, la région d'El Bayadh forme une structure synclinale orientée N.E-SO (fig. 1) appartenant à l'Atlas saharien central (Djebel Amour). Cette structure est occupée par d'épaisses séries géologiques marines ou continentales du Secondaire [1]. La partie inférieure du Crétacé fait apparaître une sédimentation assez monotone caractérisée par l'existence de dalles calcaires parfois fossilifères. Ces bancs appartiennent à une épaisse série marno-calcaire (550 m) attribuée par le même auteur au Valanginien.

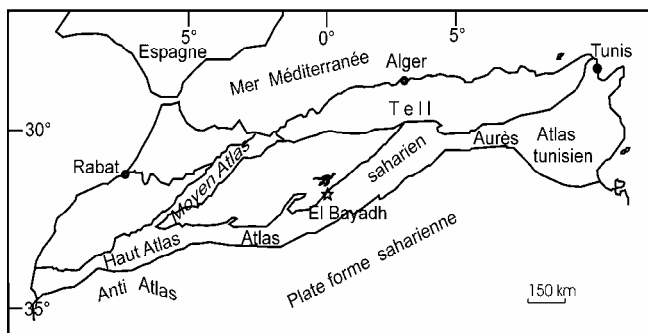


Figure 1 : Localisation du site à empreintes de pas de Dinosaures d'El Bayadh

Les levés géologiques à proximité du site paléoichnologie ont permis de dresser une coupe détaillée de ce site, montrant une alternance de marnes verdâtres et de calcaires fins à surface parfois incrustée de bivalves (fig. 2). Les empreintes de pas sont réparties verticalement sur deux niveaux (niveau inférieur et supérieur) différents séparés par 40 cm de marnes vertes. Le niveau supérieur formé par calcaire lumachellique constitue la partie amont du Site. le niveau inférieur est formé par une dalle de calcaire marneux fin et constituant l'aval de ce site.

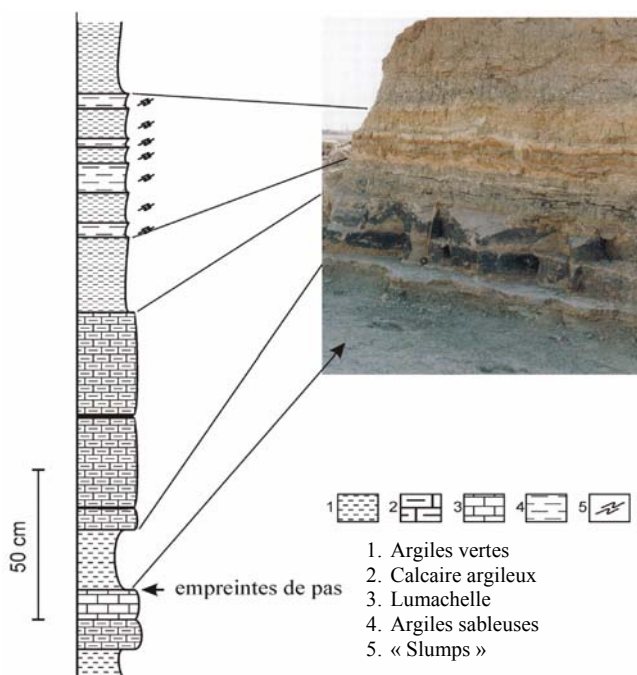


Figure 2 : Levé lithologique au niveau du site

DESCRIPTION ET DIAGNOSE DES EMPREINTES

1. Description du site

Située sur une chabot au niveau de douar Grarij, la dalle comportant les empreintes est organisée en parties amont et aval (planche, photos 1, 2, 3, 5 et 6). Les traces les plus abondantes et les mieux conservées se situent en amont.

- Partie-amont : le niveau inférieur appelé « fauteuil » (selon la description de Ellenberger, [3]) est constitué d'une dalle de 20 cm d'épaisseur de calcaire lumachellique

reposant sur des marnes verdâtres. Les empreintes de pas ont été préservées grâce aux apports argileux fins verdâtres les ayant rapidement recouvertes. Cette partie comporte neuf pistes.

- Partie-aval : ce niveau supérieur ne dépasse pas les 7 cm d'épaisseur. Il est constitué par une dalle de calcaire marneux séparée du niveau précédent par 30 cm de marnes verdâtres. Cette mince dalle s'étend sur plusieurs dizaines de mètres vers le SW, le long de ce talweg et comporte trois pistes.

2. Diagnose des empreintes

La description paléoichnologie est adaptée à partir des travaux de Gand *et al.* [2], Ellenberger [3], Bassoullet [4] et Bellair et Lapparent [5]. L'examen minutieux des empreintes révèle la présence de trois ichnotypes (planche photo) deux tridactyles à doigts griffus, à stature bipède et un troisième quadrupède à empreintes arrondies.

1. Les mesures prises sur les empreintes de la première forme (planche, photos 1, 2, 5 et 6) sont de l'ordre de (Lxl) 540-780 mm x 390-480 mm, les doigts sont en générale bien écartés griffus. Ces empreintes sont attribuées à l'ichnotype 1. L'empreinte du doigt arrière est bien visible. La distance entre les doigts latéraux (gauche et droit) est de 480 à 380 mm, ce qui suggère que l'animal est en position de marche ou de course ; les enjambées sont de l'ordre de 2,50 m à empreintes rectilignes ou parfois régulièrement déviées. Les dimensions moyennes du doigt médian (390 x 11 mm) et son enfoncement (entre 50 et 70 mm) sont mesurées.

2. Les mesures prises sur les empreintes de la deuxième forme (planche, photo 3) sont de l'ordre de (Lxl) 330 mm x 220 mm, l'enfoncement du doigt médian étant de 10 mm. C'est une forme bipède tridactyle à doigts griffus. La distance entre les doigts latéraux est de 180 mm. Son enjambée est de 2,20 m. Nous attribuons cette deuxième forme à l'ichnotype 2.

Les ichnotypes 1 et 2 présentent des caractéristiques assez semblables mais le dernier en diffère par sa petite taille.

3. Les empreintes (planche, photo 4) de cette troisième forme sont différentes par leur forme relativement circulaire en demi lune à ovale (L = 220 x l = 250). Il s'agit d'une forme tétrapode qui semble avoir une grande envergure si l'on tient compte de son enjambée (2,60 m). L'écart entre les pattes gauche et droite est de l'ordre de 992 mm. Les pattes latérales antérieures et postérieures sont à empreintes très rapprochées voire superposées, ce qui suggère que l'animal est en position de course. Cette forme est attribuée au troisième ichnotype.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Deux localités à empreintes de pas de Dinosaures ou de reptiliens sont connues en Algérie. La première localité d'âge cénoomanien fut découverte en 1880 par Le Mesle et Péron (*in* Bellair *et al.*, [5] à Amoura dont les traces ont été d'abord attribuées à des oiseaux par ces auteurs puis à un Théropode par Bellair *et al.* [5]. La seconde localité à empreintes de reptiliens est rapportée par Bassoullet *et al.*

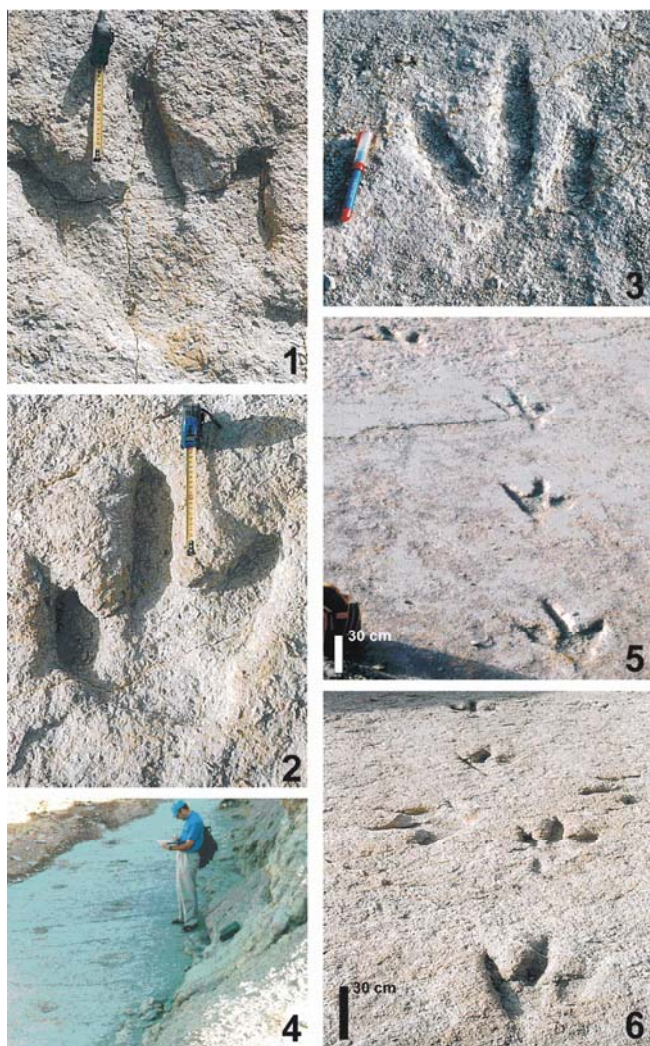
[4] au Jurassique inférieur des Monts des Ksour. La nouvelle localité d'El Bayadh récemment découverte a livré de nombreuses pistes de pas digitales de dinosauriens [6]. Ces empreintes sont associées à des ossements (poissons, crocodiliens, et chéloniens) et des débris végétaux d'âge crétacé inférieur (Valanginien). Les mensurations effectuées sur ces traces révèlent la présence d'au moins trois ichnotypes. Ces ichnofaciès, pour certains bipèdes tridactyles à doigts griffus, sont rapportés à des dinosauriens théropodes. Pour d'autres, quadrupèdes, à empreintes arrondies en demi lune sont rattachés à des

sauropodes. Les études biométriques et systématiques détaillées, actuellement en cours, permettront de préciser leur appartenance paléoichnologique.

A partir de cette étude trois ichnotypes sont mis en évidence, deux tridactyles (un de petite taille et un de grande taille), correspondant à des animaux à stature bipède, véloces et de grande envergure qui sont rapportés à des dinosauriens théropodes. Le troisième ichnotype représenté par des empreintes circulaires est rattaché à un Sauropode.

REFERENCES

- [1] Cornet A., "L'Atlas saharien sud-oranais". 19^e Congr. géol. intern., Alger, Monogr. région., 1^e sér., n° 12, (1952), 51 p., 1 pl. h.t.
- [2] Gand G., Vianey-Liaud M., Demathieu G. et Garric J., "Deux nouvelles traces de pas de Dinosaures du Trias supérieur de la bordure cénévole (La Grande-Combe, Sud-Est de la France)." *Geobios*, 33, 5, (2000), pp. 599-624.
- [3] Ellenberger P., "Contribution à la classification des Pistes de vertébrés du Trias : Les types Stormberg d'Afrique du Sud (II^{ème} Partie :Le Stormberg supérieur -I. Le biome de la zone B/1 ou niveau de moyeni : ses biocénoses)". *Palaeovertebrata*, (1974), 141 p., 57 pl.h.t.
- [4] Bassoullet J.-P., "Découvertes d'empreintes de pas de Reptiles dans l'Infra-Lias de la région d'Ain Sefra (Atlas saharien, Algérie)". *C. R. Somm. Soc. géol. France*, Paris, (7), (1971), pp. 358-359, 1 fig.
- [5] Bellair P et Lapparent A-F., "Le Crétacé et les empreintes de pas de Dinosauriens d'Amoura (Algérie). *Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique Nord*, 39, (1948), p.168-175.
- [6] Mahboubi M., Bessedik M., Belkebir L., Bensalah M., Mansour M., Adaci M., Hebib H., Mammeri C., Ameer M.A., Mahboubi M. & Hamitou A. (sous presse), "Découverte des premières empreintes digitales de dinosauriens crétacés dans la région d'El Bayadh". *Colloque international « Terre et eau »*, Annaba, (2004), 4-6 décembre, 1 p.



Légendes des photos

1. Empreinte de la patte gauche de l'ichnotype 1 (Théropode de grande taille)
2. Empreinte de la patte droite de l'ichnotype 1 (Théropode de grande taille)
3. Empreinte de la patte droite de l'ichnotype 2 (Théropode de petite taille)
4. Empreintes de pas de l'ichnotype 3 (Sauropode de grande taille)
5. Série d'empreintes de pas de l'ichnotype 1, piste n°4 (Sauropode de grande taille)
6. Recoupement de série d'empreintes de pas de l'ichnotype 1 : de bas en haut, piste n°6 et de droite à gauche, piste n°4 (Théropode de grande taille)

PREMIÈRE DÉCOUVERTE D'EMPREINTES DE PAS DE DINOSAURES DANS LE CRÉTACÉ INFÉRIEUR DE LA RÉGION D'EL BAYADH (ALGÉRIE)

Mohamed MAHBOUBI*, Mostefa BESSEDIK *, Lahcène BELKEBIR*, Mohamed ADACI, Hakim HEBIB**, Mustapha BENSALAH**, Cheikh MAMMERI***, Bouhameur MANSOUR* et Mohamed El Habib MANSOURI***

Avertissement de l'Editeur : Les Editions du Service Géologique National ont reçu en même temps deux notes séparées, rédigées par deux équipes distinctes, essentiellement rattachées à la Faculté des Sciences de la Terre de l'Université d'Oran Es Senia, qui traitaient de la découverte d'empreintes de pas de dinosaures dans les grès crétacés inférieurs de l'Atlas saharien central (*).

Considérant qu'il s'agit d'un même lieu géographique et d'une 1^{ère} découverte et, au regard de l'importance du site, de la richesse des empreintes, et de la proximité des équipes, il a immédiatement été suggéré aux auteurs d'étudier la possibilité de fondre leurs écrits en un seul. Ceci n'a pu être concrétisé, et enlève quelque peu au caractère fédérateur de ce genre de publication. Mais, c'est connu, la science avance à la faveur d'approches différentes.

Aussi, après leur relecture par les mêmes reviewers et les corrections qui s'en sont suivies, les deux notes sont proposées simultanément dans cette livraison, laissant tout un chacun libre de son appréciation.

(*) La présente note (pages 127 - 139) et celle (pages 141 - 159) de A. REGAGBA, L. MEKHALI, M. BENJAMOU, N. HAMMADI ET A. ZEKRI intitulée "Découverte d'empreintes de pas de dinosaures (Théropodes et Sauropodes) dans les « grès des Ksour » du Crétacé inférieur de la région d'El Bayadh (Atlas saharien central, Algérie)."

RÉSUMÉ

Plus de 350 empreintes de pas de dinosaures associées à des ossements de poissons, de crocodiliens, de chéloniens, de mollusques et des débris végétaux d'âge crétacé inférieur ont été mises en évidence dans plusieurs localités, dont les plus importantes sont celles situées au nord de la ville d'El Bayadh et au Nord-Ouest de Brézina.

Étalées sur une superficie de 1,250 km² environ et se trouvant sur des dalles de calcaires argileux lumachelliques, les empreintes de la première localité se répartissent sur deux sites (site 1 et site 2) distants de 500 m environ l'un de l'autre. De même, le site 3, situé au NW de Brézina (au niveau de la localité d'El Mezioued), présente deux dalles gréseuses.

L'analyse de plusieurs pistes révèle la présence de deux ichnotypes sur les sites 1 et 3, l'un bipède tétradactyle et griffu présentant deux formes identiques mais de taille différente et l'autre quadrupède à empreintes arrondies en demi-lune. Le site 2 en présente trois (deux bipèdes tridactyles de petite et grande taille et un quadrupède à empreintes arrondies en demi lune, de petite taille). Les empreintes du site 3 de Brézina sont comparables à celles du site 1 d'El Bayadh. Les études biométriques et systématiques détaillées, actuellement en cours, permettront de préciser leur appartenance paléoichnologique.

Les données préliminaires permettent d'attribuer l'ensemble de ces pistes à deux lignées de dinosaures représentées par trois Théropodes et deux Sauropodes appartenant toutes au groupe des Sauripélviens.

Mots-clés - Empreintes de pas - Ichnotypes - Théropodes - Sauropodes - Crétacé inférieur - El Bayadh - Algérie.

*Laboratoire de Paléontologie Stratigraphique et Paléoenvironnement (C016/2000), Université d'Oran (Algérie).

**Laboratoire de Géologie (P.R.H.M.P. n° 25), Université de Tlemcen (Algérie).

***DHW, El Bayadh (Algérie).

- Manuscrit déposé le 27 Septembre 2004, accepté après révision le 16 Juin 2006.

M. MAHBOUBI, M. BESSÉDIK, L. BELKEBIR, M. ADACI, H. HEBIB, M. BENSALAH, C. MAMMERI,
B. MANSOUR ET M.E. H. MANSOURI

FIRST DISCOVERY OF DINOSAURS FOOTPRINTS IN THE LOWER CRETACEOUS OF EL BAYADH REGION (ALGERIA)

ABSTRACT

An evidence of more than 350 footprints of dinosaurs associated to fish, chelonian, crocodilian bones, molluscs and vegetal remain from the Lower Cretaceous. It is pointed out from many localities which are situated at the North of El Bayadh city and in the Northwest of Brezina Oasis. Over than 1,250 km², the area of footprints is constituted by flags of clayey and lumachellic limestones, arranged into two sites (Site 1 and Site 2) which are distant of 500 m one from other. So, the site 3 is located in the Northwest of Brezina at the El Mezioued vicinity.

The analysis of many trackways reveals the occurrence of two ichnotypes located in the *site 1* and *3*. The first one is of bipedal and strong clawed tetradactylous Form represented by two identical forms with different sizes. The other one is quadrupedal with rounded in half-moon-like footprints. Likewise, the site 2 shows three ichnotypes (two bipedal tridactylous of big and small sizes and one quadrupedal of small size with rounded in half-moon-like form). The Brezina (site 3) footprints are comparable with those described in the site 1 of El Bayadh. The biometric and systematic studies in progress will specify their paleoichnologic attributions.

The preliminar data enable to attribute these footprints to two dinosaur lineages represented by three Theropods and two Sauropods, both belonging to the Sauripelvian group.

Key-words - Footprints - Ichnotypes - Théropods - Sauropods - Lower Cretaceous - El Bayadh-Algeria.

INTRODUCTION

De par leur nature détritique, leur environnement marin littoral voire laguno-saumâtre, les séries mésozoïques de la bordure sud du sillon atlasique ont connu depuis longtemps plusieurs découvertes de restes fossiles en Algérie. Ces derniers sont rapportés à des reptiliens sous forme d'ossements ou d'empreintes (Lavocat, 1949; Bassoullet et Iliou, 1967, entre autres), ce qui témoigne de la proximité du continent.

La présence de ces dinosauriens au Crétacé est appuyée par de nombreuses données ostéologiques et d'empreintes d'âges différents citées ici et là en Afrique du Nord. En effet, les restes fossiles de dinosauriens ont été signalés déjà en 1949 puis en 1951 par Lavocat dans les confins algéro-marocains. Ces fossiles composés de débris d'os et de dents proviennent des grès de la partie sommitale du Crétacé inférieur. Lapparent et Lucas (1957) signalèrent

la présence de vertèbres disposées en série, d'un dinosaurien sauropode dans les grès calcaires du Callovien moyen de Déglen (Ghar Rhouban). Par la suite, d'autres découvertes de ces vertébrés ont été signalés dans le continental intercalaire du Sahara (Lapparent, 1959). La partie sommitale de ce complexe continental (Crétacé inférieur) a livré à Gara Samani (De Broin et *al.*, 1971) une riche faune comportant, entre autres, trois dinosauriens (un Sauropode et deux Théropodes). Dans l'Atlas saharien occidental et central, d'autres localités à dinosauriens avaient été également découvertes. Ainsi, Bassoullet et Iliou (1967) ont signalé des restes de vertébrés d'âge albien à Tiout (Aïn Séfra), Chellala Dahrana, Gour Tin (El Abiodh Sid Cheikh) et près de Brézina. Plus tard, Mahboubi (1983) a signalé, en plus de la faune citée, la présence à El Kohol d'une phalange rapportée à un Théropode de grande taille attribué au genre *Carcharodontosaurus*. Ce

PREMIÈRE DÉCOUVERTE D'EMPREINTES DE PAS DE DINOSAURES DANS LE CRÉTACÉ INFÉRIEUR
DE LA RÉGION D' EL BAYADH (ALGÉRIE)

ernier a également été signalé plus tard au Maroc par Sereno et *al.* (1996) dans le Valanginien de la région de Kem Kem. Plus à l'Ouest, dans la région de Aïn Séfra, Mahammed et *al.* (2002) ont mis à jour de nombreux restes fossiles appartenant à un grand Sauropode d'âge jurassique moyen (Bathonien).

Concernant les empreintes de pas de dinosaures ou de reptiliens, seules deux localités ont été connues en Algérie. La première d'âge Valanginien fut découverte en 1880 par Leclercq et Péron (*in* Bellair et Lapparent, 1948).

Amoura (Monts des Ouled Naïl) dont les empreintes ont été d'abord attribuées à des oiseaux par ces auteurs puis à un Théropode par Bellair et Lapparent (1948). La seconde localité à des empreintes de reptiliens a été décrite par Basset (1971) dans le Jurassique inférieur des Monts des Ksour.

La découverte récente d'empreintes de pas de dinosaures dans les séries marno-calcaires à argilo-gréseuses, d'âge crétacé inférieur, dans les localités d'El Bayadh et de Brézina (fig. 1) est un fait tout à fait nouveau (Mahboubi et *al.*, 2004). En effet, des sites à empreintes de pas ont été observés pour la première fois par les riverains de deux localités qui nous en ont informé. Les travaux de prospection et de fouilles paléontologiques engagés sur les sites dès le mois de juillet 2004 ont permis d'étendre la surface à empreintes, initialement de quelques dizaines de m², à plus de 1000 m². Ainsi, le nombre d'empreintes est passé de 21 à plus de 350, ce qui confère à cette région d'être la plus importante en Afrique.

SITUATION GÉOGRAPHIQUE, GÉOLOGIQUE ET ÂGE DES SITES FOSSILIFÈRES

La région d'El Bayadh (fig. 1) couvre une partie importante de l'Atlas saharien central (Djebel Amour), constituant une structure synclinale occupée par d'épaisses séries

géologiques rapportées au Crétacé inférieur par Cornet (1950, 1952). Cet auteur, signala la présence de deux termes marins dans cette région attribués au Valanginien et à l'Hauteriviien et un terme continental (Barrémien et Aptien) sans argument paléontologique. Ces attributions «...proviennent du raccordement avec les niveaux mieux datés connus à l'Est vers Bou-Saâda et dont certains bancs se prolongent jusqu'au méridien de Laghouat » (Cornet, 1952). En effet, ces dépôts montrent localement une diversité de faciès allant du marin franc vers le margino-littoral voire nettement continental.



Fig. 1 - Localisation des sites à empreintes de pas de Dinosaures de la région d'El Bayadh.

*Location of Dinosaur footprint
sites of El Bayadh region.*

La partie inférieure marine fait apparaître une sédimentation assez monotone caractérisée par l'existence de dalles parfois fossilifères, pouvant constituer localement des niveaux stratigraphiques repères : lumachelle (Cornet, *op.cit.*).

Le présent travail porte essentiellement sur trois principaux sites (El Bayadh : sites 1 et 2 ; Brézina : site 3) parmi les nombreuses localités à ichnites inventoriées dans la région.

Au nord d'El Bayadh, les empreintes de pas de dinosauriens sont conservées sur des dalles calcaires argileux ou lumachelliques situées stratigraphiquement au dessous du premier niveau lumachellique de Cornet (*op.cit.*). Ces bancs appartiennent à une épaisse série marno-calcaire (550 m) attribuée par le même auteur au Valanginien - Hautérivien. Ils occupent la

base du premier tiers de cette série. Les levés géologiques à proximité des sites paléo-ichnologiques ont permis de dresser une coupe détaillée, pour chaque site, montrant une alternance irrégulière de marnes verdâtres, d'argiles rouge brique (ou brun chocolat) et de calcaires fins à surface parfois incrustée de bivalves (fig. 2 A et B).

Les empreintes de pas d'El Bayadh sont recensées dans deux localités différentes, dénommées site 1 (fig. 2 A) et site 2 (fig. 2 B), ce dernier étant situé à 500m à l'Est du premier. Ces traces sont réparties verticalement sur quatre niveaux différents (deux niveaux relevés pour chaque site). La position stratigraphique exacte de ces sites sera précisée ultérieurement en raison des nombreux passages latéraux de faciès observés sur le terrain.

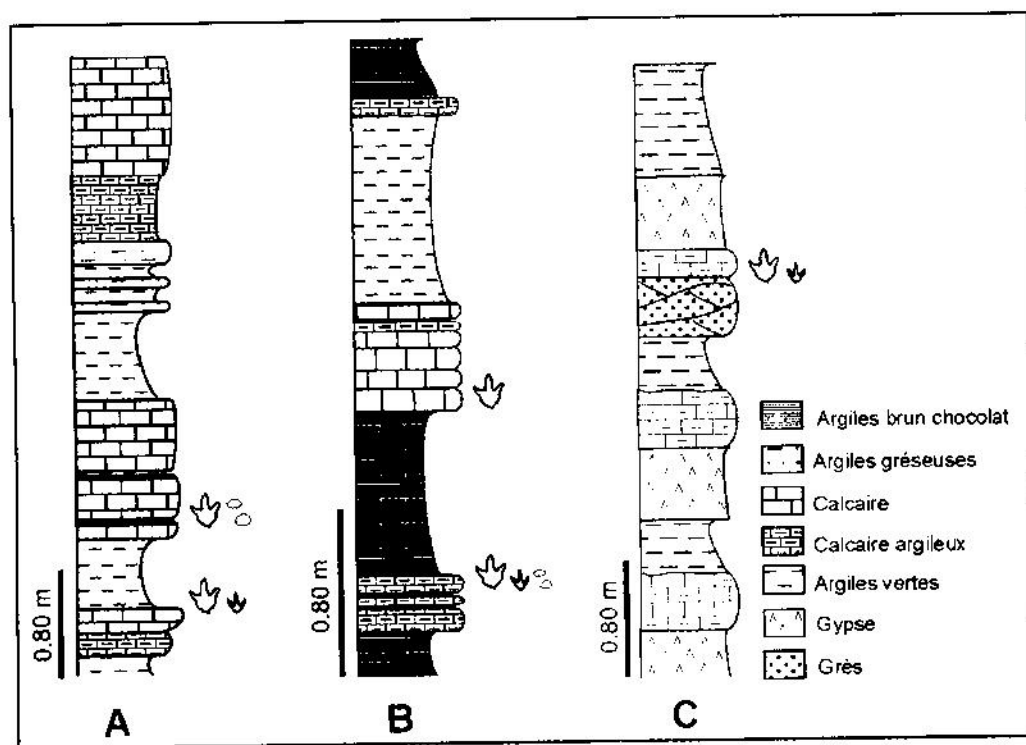


Fig. 2 - Lithologie des sites à empreintes : A et B (El Bayadh); C (Brézina).

Lithology of footprint sites: A and B (El Bayadh); C (Brézina).

PREMIÈRE DÉCOUVERTE D'EMPREINTES DE PAS DE DINOSAURES DANS LE CRÉTACÉ INFÉRIEUR
DE LA RÉGION D' EL BAYADH (ALGÉRIE)

La majorité des empreintes sont réparties sur le site 1. Ce dernier présente deux niveaux d'ichnites (fig. 2 A) accusant un léger pendage de 5 à 10° vers le NW) et sont séparés par 40 cm de marnes vertes. Constituant la partie amont du site, le niveau inférieur est formé par une dalle de calcaire lumachelique (20 cm), riche en tests d'huîtres de petite taille à caractère laguno-saumâtre. Cette dalle renferme le plus grand nombre d'empreintes et les mieux conservées. Par sa nature lithologique, le niveau supérieur (7 cm) rappelle le premier. Il est formé de calcaire fin dont l'extension est bien visible en aval de ce site.

Pour le site 2 (fig. 2 B), les deux niveaux calcaires présentent des empreintes sur leur surface supérieure et sont séparés par 80 cm d'argiles rouges à passées verdâtres. Le niveau inférieur (à empreintes abondantes) est formé d'un calcaire argileux fin, l'autre d'un calcaire gréseux gris.

D'une surface globale de 300 m² environ, le site 3 (Brézina) est constitué de deux dalles gréseuses renfermant une quarantaine d'ichnites. La grande dalle, en aval par rapport à la petite, porte trois pistes; la petite en compte deux et quelques empreintes de pas isolées. Ces dalles, à surface durcie, sont formées par un banc (40 cm) de grès fin à moyen chenalisé. Ce niveau gréseux s'intercale dans une succession de bancs de calcaire argileux, de marne et de gypse (fig. 2 C).

DESCRIPTION DES SITES ET DIAGNOSE SOMMAIRE DES EMPREINTES

1 - Description des sites

Site 1 : Situé sur chabet Grarj, les deux dalles comportant les empreintes sont organisées en parties amont et aval (fig. 3). Les traces les plus abondantes et les mieux conservées se situent en amont.

- Partie amont (dalle inférieure):

Le « fauteuil » (Ellenberger, 1974) est constitué d'une dalle calcaire lumachelique (20 cm) reposant sur des marnes verdâtres. Il présente un pendage de 5° à 10° vers le SW ; sa surface supérieure est parcourue par deux familles de diaclases N60° et N120°. Peu consistante, cette première dalle est composée d'éléments biodétritiques faiblement colmatés ; sa nature lumachelique, plutôt friable, accroît sa fragilité, empêchant parfois la délimitation exacte des empreintes. Ces dernières ont été préservées grâce aux apports argileux fins, verdâtres les ayant rapidement recouvertes. Cette partie comporte les pistes A, B, C, D, E, F, G, H et I (fig. 3).

En plus des fragments d'huîtres qui tapissent la partie supérieure de cette dalle, notons la présence, ici et là, de restes osseux minéralisés, fragmentaires, bien cimentés au « sol ». Ils ont été rapportés à des tortues, des crocodiliens et des poissons (étude systématique en cours).

La nature détritique de ce dépôt, la présence d'ostréidés, de restes fauniques et traces paléo-ichnologiques plaident en faveur d'un environnement laguno-saumâtre (oligohalin).

-Partie aval (dalle supérieure) :

Ne dépassant pas les 7 cm d'épaisseur, ce niveau est séparé de la dalle inférieure par 30 cm de marnes claires verdâtres. Moins riche en empreintes (fig.3), il s'étend sur plusieurs dizaines de mètres vers le SW et comporte trois pistes (J, K et L).

Ce niveau présente des rides de courant, des traînées de pas et des traces d'éclaboussures qui semblent évoquer des milieux marécageux à sol boueux.

Site 2 : Situé sur chabet Mouileh et constituant son lit, ce site est composé de deux dalles séparées stratigraphiquement par 80 cm d'argiles

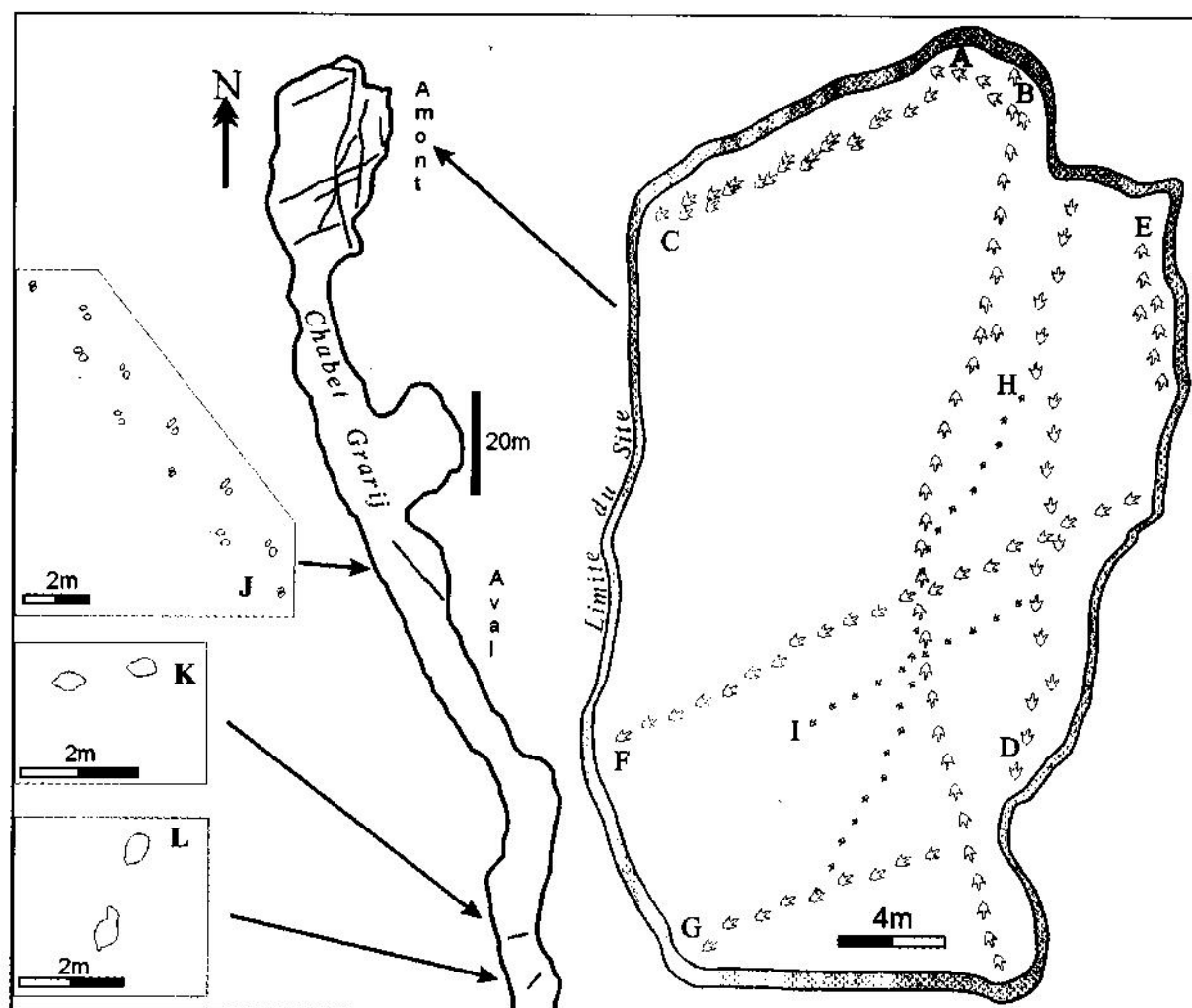


Fig.3 - Pistes d'empreintes du site 1 (A à I, K et L: Théropodes, J: Sauropodes).

Footprint tracks of the site 1 (A to I, K and L: Theropoda; J: Sauropoda).

rougeâtres (fig. 2 B). Les empreintes sont bien marquées sur les dalles avec la présence de quelques éclaboussures de pas de grande taille. En général, les ichnites sont de petite taille, exceptée la présence de deux ou trois de grande taille qui ressemblent fortement à celles enregistrées dans le site 1.

Par leur nature sédimentologique, les deux niveaux à ichnites sont assez semblables et rappellent fortement la dalle supérieure (de 7 cm) du site 1. Il s'agit d'un faciès argileux gris

clair voire rougeâtre, évoquant un milieu mm tendance continentale. L'ensemble de la série C, D plonge de 5 à 10° vers le Sud.

Ce site, complexe par rapport au précédent a livré de nombreuses empreintes réparties sur plusieurs directions ce qui empêche l'orientation et le dénombrement des pistes. Ces empreintes sont en général de forme tridactyle griffue de petite taille, ne permettant pas de distinguer l'hallux, sauf dans certains rares cas où l'on peut supposer la présence de l'hallux. Leur nombre dépasse la trentaine. D'après

petite taille, les formes circulaires en demi-lune sont également nombreuses (une quarantaine) et semblent dessiner quelques pistes. Par ailleurs, il faut noter la présence d'autres traces qui sont restées indéterminées.

Site 3 : Ce site est situé au Nord Ouest de l'oasis de Brézina au niveau de la localité d'El Mezoued et comporte une quarantaine d'empreintes. Celles-ci sont réparties sur deux falles gréseuses (fig. 2 C). La première compte trois pistes (A, B et C; tableau II) avec 30 empreintes de grande et petite taille. La seconde comporte également de grandes empreintes (pistes D et E) et quatre petites empreintes isolées. Ces ichnites sont tétradactyles, à hallux bien visible. Elles ressemblent étroitement à celles du Site 1.

2 - Diagnose des empreintes

La description paléoichnologique est adaptée à partir des travaux de Gand et *al.* (2000), Gillette et Lockley (1989), Ellenberger (1974), Bassoullet (1971) et Bellair et Lapparent (1948). L'examen minutieux des empreintes révèle la présence de plusieurs ichnotypes (pl. I). Les données biométriques et descriptives permettent d'identifier cinq (5) ichnotypes : trois tridactyles à doigts griffus et deux quadrupèdes à forme arrondie en demi lune (tabl. I et II).

- Ichnotype 1 (L x l : 480-780 mm x 3890-480 mm): il est identifié dans le site 1 (pistes A, B, C, D, E, F, G, K et L; fig. 3 et tableau I), Site 2 (03 empreintes non mentionnées sur le tableau II) et Site 3 (pistes A, B, D, E : tableau II).

Les doigts de cet ichnotype sont en général bien écartés griffus (pl. I, ph. 1, 2 et 4; ph. 3c). L'empreinte du doigt arrière est bien visible. La distance entre les doigts latéraux (gauche et droit) est de 480 à 380 mm, ce qui suggère que l'auteur de cette empreinte est en position de marche ou de course; les enjambées sont de

l'ordre de 2,50 m à empreintes rectilignes ou parfois régulièrement déviées (fig. 3, pistes B, D et F). Notons que les phalanges et les coussinets sont parfois visibles.

- Ichnotype 2 (L x l : 330 mm x 220 mm : tabl. I): il est décrit dans le Site 1 (fig. 3; pistes H et I), Site 3 (piste C et empreintes isolées), l'enfoncement du doigt médian étant de 10 mm. L'empreinte de l'hallux est bien visible. On peut observer aisément l'empreinte des phalanges et des coussinets. La distance entre les doigts latéraux est de 180 mm environ. Son enjambée est de 2,20 m en moyenne. Dans cette catégorie d'ichnopopulation, on constate la présence de deux formes, l'une tétradactyle et l'autre tridactyle.

Les ichnotypes 1 et 2 présentent des caractéristiques assez semblables mais le dernier en diffère par sa petite taille.

- Ichnotype 3 (L x l : 190-220 mm x 120-150 mm). Il correspond à la forme de petite taille dont les mensurations relevées sur le site 2 (tabl. I) permettent de décrire un troisième ichnotype bipède et tridactyle à doigts griffus, différent de l'ichnotype 2 (pl. I : ph. 5). L'écartement entre ses doigts latéraux est de 120 mm. L'empreinte de l'hallux n'est pas visible sauf dans certains rares cas (02 ou 03 empreintes) où l'on peut observer l'ombre d'un éventuel hallux. Son enjambée moyenne est de 1,48 m.

- Ichnotype 4 (L x l : 220 mm x 250 mm): il est identifié dans le Site 1. Les empreintes de ce quatrième ichnotype sont différentes par leur forme relativement circulaire en demi-lune à ovale. Il s'agit d'une forme tétrapode (fig. 3, piste J; pl. I, ph. 7) qui semble avoir une grande envergure si l'on tient compte de son enjambée (2,60 m). L'écart entre les pattes gauche et droite est de l'ordre de 992 mm. Les empreintes latérales antérieures et postérieures sont très rapprochées voire superposées, ce qui suggère que l'animal est en position de course.

- **Ichnotype 5** (L x l : 110 mm x 60 mm) : il est reconnu dans le Site 2, les nombreuses empreintes de ce cinquième ichnotype sont plus ou moins circulaires en demi-lune (pl. I, ph. 6) voire ovales. Il s'agit probablement d'une forme quadrupède qui semble s'appuyer davantage sur la partie avant de son pied.

CARACTÉRISTIQUES ET ATTRIBUTION PALEONTOLOGIQUE

A partir de ces observations, cinq ichnotypes sont mis en évidence, trois tridactyles (deux de petite taille et un de grande taille), correspondant à des sujets à stature bipède, véloces et de grande envergure qui sont rapportés à des dinosauriens Théropodes. Les autres, à forme relativement circulaire, sont rattachés à des Sauropodes.

D'âge crétacé inférieur, ces reptiles associés à une faune de chéloniens, de poissons, et de crocodiliens semblent traduire un environnement de type laguno-saumâtre. Ceci est en accord avec la présence des restes végétaux et la faune de mollusques (de petite taille) qui témoignent d'un milieu de vie vraisemblablement défavorable à forte dessalure, oligohalin.

CONCLUSION

Plus de 350 empreintes de pas réparties sur trois sites dont deux localisés au Nord de la ville d'El Bayadh et le troisième au NW de Brézina ont été mis en évidence. Douze (12) pistes y ont été inventoriées pour le site 1 d'El Bayadh et cinq (5) pour le site 3 de Brézina. Pour la première localité, les dalles à empreintes renferment

Tableau I.- Biométrie des empreintes de pas de dinosauriens d'El Bayadh (L = longueur, l = largeur)

Biometry of El Bayadh dinosaur footprints (L = length, l = width)

Pistes Site 1		Empreintes (effectif)	Empreintes (mesures : Lxlmm)	Enjambée (mm)	Sens de Déplacement	Longueur de piste (m)	Ecartement (mm)	Observations
A m o n t	A	04	550 x 400	3,10	W	3,10	300	Bipèdes, titradactyles à doigts griffus
	B	32	560 x 390	2,60	S	37,80	520	
	C	21	600 x 390	2,30	NE	13,20	320	
	D	18	700 x 480	3,00	SW	25,70	Xx	
	E	7	650 x 420	2,05	S	07,50	600	
	F	20	540 x 390	2,40	NE	24	320	
	G	09	540 x 390	2,50	NE	10,70	350	
	H	21	33 x 22	2,20	SW	21,60	190	
	I	10	33 x 22	2,20	NE	14,80	192	
A V	K	2	570 x 400	2,50	SW	2,50	Xx	Quadrupèdes, forme arrondie en demi-lune
A I	L	2	780 x 480	3,46	SW	1,78	Xx	
	J	22	220 x 250	2,60	NW	13,50	992	

PREMIÈRE DÉCOUVERTE D'EMPREINTES DE PAS DE DINOSAURES DANS LE CRÉTACÉ INFÉRIEUR
DE LA RÉGION D' EL BAYADH (ALGÉRIE)

Tableau II - Biométrie des empreintes de pas de dinosaures des sites 2 (El Bayadh) et 3 (Brézina).

Biometry of dinosaurs footprints of the site 2 (El Bayadh) and site 3 (Brézina)

Sites	N° et Longueur de piste (m)	Empreintes (nbre)	L x l (en mm)	Orientation des pistes	Enjambée (m)	Enfoncement (mm)
Site 2 (El Bayadh)	isolées /	30	190 x 120 220 x 150	Tous les sens	1,48	10
Site 3 (Brézina)	Grande dalle	A 13,40	470 x 380	N-S	2,42	10
		B 9,70	470 x 380	N-S	3,40	10
		C 9,10	270 x 195 300 x 190	N-S	2,02	10
	Petite dalle	D 8,20	470 x 380	N-S	2,52	8 à 10 mm
		E 2,53	470 x 380	N-S	2,53	8 à 10 mm
		isolées /	230 x 190	N-S	/	10

hement en plus des ossements de poissons, de crocodiliens, de chéloniens, de mollusques et de débris végétaux.

Les mensurations effectuées sur ces ichnites révèlent la présence d'au moins cinq ichnotypes. Pour ces ichnopopulations, les formes bipèdes tridactyles et tétradactyles à doigts griffus sont rapportées à des Théropodes. Pour d'autres, quadrupèdes, à empreintes arrondies en demi-lune sont rattachées à des Sauropodes. Les études biométriques et systématiques détaillées, actuellement en cours, permettront de préciser davantage leur appartenance paléoichnologique. La présence d'empreintes de pas de dinosaures Théropodes et Sauropodes, au Crétacé inférieur de cette partie de l'Atlas saharien (région d'El Bayadh), constitue un jalon important pour une meilleure connaissance de la faune reptilienne ayant colonisé une vaste aire paléogéographique située sur la bordure méridionale de la Téthys et ce depuis le début de l'ère secondaire.

Remerciements : Les auteurs remercient vivement Messieurs B. Bekkara (P/Association GEO), M. Bouchareb (P/APC de Brézina) et M. Saâdelli (V.P./APC de Brézina) pour leur avoir signalé les sites d'El Bayadh et de Brézina. Ils remercient également les nombreux habitants de la ville d'El Bayadh pour leur avoir facilité le travail durant la campagne de fouille (juillet-septembre

2004). Ils sont redevables aux autorités civiles et militaires d'El Bayadh qui ont mis tous les moyens humains et matériels pour la réussite de leur mission. C'est également le cas du bureau d'études B.A.T.A.U. et de l'entreprise E.T.R.A.F.O.R. La campagne de fouille n'aurait jamais pu avoir lieu sans l'aide précieuse et généreuse de Monsieur Boukarabila Djelloul, ancien wali d'El Bayadh.

L'autorisation de fouille est confiée à l'équipe du Laboratoire de Paléontologie de l'Université d'Oran. Des arrêtés wilayales portant protection des sites ont été délivrés.

BIBLIOGRAPHIE

- BASSOULLET, J.P., 1971.** Découvertes d'empreintes de pas de Reptiles dans l'Infra-Lias de la région d'Ain Séfra (Atlas saharien, Algérie). *C. R. Somm. Soc. géol. France*, Paris, (7), pp. 358-359, 1 fig.
- BASSOULLET, J.P. ET ILLIOU, J., 1967.** Découverte de Dinosaures associés à des Crocodiliens et des Poissons dans le Crétacé inférieur de l'Atlas saharien (Algérie). *C. R. Somm. Soc. géol. Fr.*, Paris, (7), p. 294.
- BELLAIR, P. ET LAPPARENT, A. F., 1948.** Le Crétacé et les empreintes de pas de Dinosaures d'Amoura (Algérie). *Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique Nord*, 39, p. 168-175.
- BROIN, F. DE, GRENOT, C. ET VERNET, R., 1971.** Sur la découverte d'un nouveau gisement de vertébrés dans le continental intercalaire saharien : le Gara Samani (Algérie). *C. R. Acad. Sc.*, Paris, t. 272, pp. 1219-1221, 1 fig.

- CORNET, A., 1952. L'Atlas saharien sud-orançais. 19^e Congr. géol. intern., Alger, Monogr. région., 1^e sér., n° 12, 51 p., 1 pl. h.t.
- CORNET, A., 1950. Carte géologique au 1/200 000 : de Géryville. *Serv. Carte. géol., Algérie*.
- GAND, G., VIANEY-LIAUD, M., DEMATHIEU, G. ET GARRIC, J., 2000. Deux nouvelles traces de pas de Dinosaures du Trias supérieur de la bordure cénévole (La Grande-Combe, Sud-Est de la France). *Geobios*, 33, 5, pp. 599-624.
- GILLETTE, D. D. AND LOCKLEY, M. G., 1989. Dinosaur Tracks and Traces. *Cambridge University Press (edit)*. 447 p.
- ELLENBERGER, P., 1974. Contribution à la classification des Pistes de vertébrés du Trias : Les types Stormberg d'Afrique du Sud (II^{ème} Partie : Le Stormberg supérieur -I. Le biome de la zone B/1 ou niveau de moyeni : ses biocénoses). *Palaeovertebrata*, 141 p., 57 pl.h.t.
- LAPPARENT, A. F. DE, ET LUCAS, G., 1957. Vertèbres de Dinosaures sauropodes dans le Callovien moyen de Rhar Rouban (frontière algéro-marocaine du Nord). *Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord*. Alger, t. 48, pp. 234-236.
- LAPPARENT, A. F. DE, 1959. Les Dinosaures du « continental intercalaire » du Sahara central. *Mém. Soc. géol. France*, nouv. sér., n° 88, 56 p. 11 pl.
- LAVOCAT, R., 1949. Les gisements de vertébrés crétacés du Sud marocain. *C. R. Somm. Soc. géol. France*, 5^e sér., 19, p. 125.
- LAVOCAT, R., 1951. Découverte de restes d'un grand Dinosaurien sauropode dans le Crétacé du Sud marocain. *C. R. Acad. Sci., Paris*, 233, pp. 169-170.
- MAHBOUBI, M., 1983. Etude géologique et paléontologique du Crétacé post-aptien et du Tertiaire continental de la bordure méridionale du Djebel Amour (Atlas Saharien central, Algérie). *Thèse de 3^e cycle*, Université d'Oran, 116 p.
- MAHBOUBI, M., BESSEDIK, M., BELKEBIR, L., BENSALAH, M. ET ADACI, M., 2004. Découverte des premières empreintes digitales de dinosaures crétacés dans la région d'El Bayadh. *Actes du Colloque international « Terre et eau »*, Annaba, pp. 92-95.
- MAHAMMED, F., MAMI, L., MEKAHLI, L., BENHAMOU, M., BOUTERFA, B., KACEMI, A. ET CHERIEF, A., 2000. Le géant du Ksour : un Dinosaur Sauropode dans le Jurassique moyen de l'Ouest de l'Algérie. *Bull. Ser. géol. Algérie*. (13), n° 1, pp. 3-19, 3 fig. 4 pl.
- SERENO, C., DUTHEIL, D. B., IAROCHENE, M., LARSSON, H. C. E., LYON, G. H., MAGWENE, M., SIDOR, C. A., VARRICCHIO, D. L. AND WILSON, J. A., 1996. Predatory dinosaurs from the Sahara and Late Cretaceous faunal differentiation. *Science*, 272, pp. 921-1068.

nd
uc
2

o
re
e
st

re
te
le
E
a

1.
2.
le
e.
o

4.
e.
o.
e
o
o

Planche

PLANCHE

Ph. 1 : Empreintes de l'ichnotype 1, piste D (site 1)
footprints of the ichnotype 1, track D (site 1)

Ph. 2 : Empreintes de l'ichnotype 1, piste F (site 1)
footprints of the ichnotype 1, track F (site 1)

Ph. 3 : Empreintes de l'ichnotype 1 (c) et 3 (a et b) du site 2
footprints of the ichnotype 1 (c) and 3 (a and b) of site 2

Ph. 4 : Empreinte de la patte droite de l'ichnotype 1 (site 1)
right footprint of the ichnotype 1 (site 1)

Ph. 5 : Empreinte de l'ichnotype 3 (site 2)
footprint of the ichnotype 3 (site 2)

Ph. 6 : Empreintes de l'ichnotype 5 (site 2)
footprints of the ichnotype 5 (site 2)

Ph. 7 : Empreintes de l'ichnotype 4, piste J (site 1)
footprints of the ichnotype 4, track J (site 1)

PREMIÈRE DÉCOUVERTE D'EMPREINTES DE PAS DE DINOSAURES DANS LE CRÉTACÉ INFÉRIEUR
DE LA RÉGION D' EL BAYADH (ALGÉRIE)



NOUVELLES DONNEES SUR LES ICHNITES DE DINOSAURES DE LA REGION D'EL BAYADH (CRETACE INFERIEUR, ALGERIE)

par

Mostefa BESSEDIK *, Cheikh MAMMERI **, Lahcene BELKEBIR **,
Mahammed MAHBOUBI **, Mohamed ADACI ***, Hakim HEBIB ***,
Mustapha BENSALAH ***, Bouhameur MANSOUR ** et Mohamed El Habib MANSOURI **

SOMMAIRE

	Page
Résumé, Abstract	8
Introduction	9
Situation et âge des sites à empreintes	9
Description des ichnites	13
A. Formes dinosauroïdes	13
B. Formes brontopoïdes	15
Nomenclature et attribution paléontologique	16
A. Traces dinosauroïdes	16
B. Formes sauropoïdes	22
Conclusion générale	24
Remerciements	25
Bibliographie	25
Légendes des planches	29

* Laboratoire de Paléontologie stratigraphique & Paléoenvironnement, Université d'Oran (Algérie) et Université Hassiba Benbouali de Chlef: mostefa_bessedik2001@yahoo.fr. ** Laboratoire de Paléontologie stratigraphique & Paléoenvironnement, Université d'Oran, (Algérie). *** Laboratoire de Géologie (P.R.H.M.P.), Université de Tlemcen (Algérie). **** Laboratoire de Paléontologie stratigraphique & Paléoenvironnement, Université d'Oran, (Algérie) et Département des Sciences de la Terre, Université de Tlemcen (Algérie).

Mots-clés: Ichnites, Théropoïdes, Sauropoïdes, Crétacé inférieur, El Bayadh, Brézina, Algérie.

Key-words: Ichnites, Theropoids, Sauropoids, Lower Cretaceous, El Bayadh, Brezina, Algeria.

RESUME

Près de 350 empreintes de pas de dinosaures d'âge Crétacé inférieur sont mises en évidence dans la région d'El Bayadh. Leur étude préliminaire a permis de distinguer quatre ensembles d'empreintes de pas. Elles révèlent la présence de formes de vertébrés tri-et tétradactyles bipèdes dinosauroïdes (Ensembles 1-3) et quadrupède sauropoïde (Ensemble 4).

L'analyse biométrique de leurs caractères permet d'attribuer la forme quadrupède sauropoïde à l'ichnogenre *Brontopodus*, bien connu au Jurassique et au Crétacé. En revanche et en dépit de leur âge, les formes dinosauroïdes sont rapprochées, provisoirement, aux types *Grallator* et *Eubrontes*.

La présence de ces traces de dinosaures (théroïdes et sauropoïdes) constitue, au Crétacé inférieur, un jalon important dans la connaissance des faunes reptiliennes marécageuses ayant colonisé une vaste aire paléogéographique située sur la bordure méridionale de la Téthys et ce, depuis le début de l'Ere Secondaire.

ABSTRACT

Evidence of 350 Lower Cretaceous Dinosaur footprints is pointed out in El Bayadh area. Their preliminary study allow to distinguish four trackway assemblages which reveal vertebrate bipedal presence forms of tri-and tetradactylous Dinosauroids (Assemblages 1-3) and quadrupidal Sauropoid (Assemblage 4).

The analysis of their footprint biometric features will attribute the quadrupidal Sauropoid form to *Brontopodus* ichnogenus which is well known in the Jurassic and Cretaceous periods. In return and despite their age, the dinosauroid forms were approached, temporarily, to *Grallator* and *Eubrontes* types.

The occurrence of the dinosaur traces (Theropoid and Sauropoid) constitutes, in the Lower Cretaceous, an important first step of the knowledge of the marshy Reptilian fauna which takes over, from the beginning of the Secondary Era, a wide paleogeographic area on the Southern Tethyan margin.

INTRODUCTION

Par leur nature détritique et leur environnement marin, les séries géologiques secondaires de l'Atlas saharien ont fourni depuis longtemps des restes fossiles rapportés, en Algérie, à des ossements de Reptiles (Bassoullet et Iliou, 1967; Bassoullet, 1973; Mahammed *et al.*, 2002) et à des empreintes de pas (Bellair et de Lapparent, 1948; Bassoullet, 1971). La découverte récente d'ichnites de dinosaures (Mahboubi *et al.*, 2004; Mahboubi *et al.*, 2007) dans les séries marno-calcaires à argilo-gréseuses d'âge Valanginien (Cornet, 1950) dans la région d'El Bayadh (Djebel Amour: fig. 1) est un fait nouveau. En effet, plusieurs localités à ichnites ont été signalées dans la région dont trois ont été décrites récemment (Mahboubi *et al.*, 2007). La qualité d'affleurement de ces empreintes et leur fréquence numérique confèrent à cette découverte une place particulière à l'échelle du continent africain et ce grâce aux fouilles paléontologiques de certains gisements qui ont permis d'étendre la surface initiale, de quelques dizaines de m² (site 1) à plus de 1000 m². Ainsi, le nombre d'empreintes est passé de 21 à plus de 350.

L'objectif de cette note est de compléter la description des sites à empreintes de pas de la région d'El Bayadh et d'achever leurs analyses biométriques augmentées de quelques comparaisons avec d'autres ichnites bien connues par ailleurs (Demathieu *et al.*, 2002).

En Afrique du Nord, la présence de ces dinosaures au Valanginien est étayée par de nombreuses données ostéologiques d'âge différent. Ils sont constitués d'os et de dents qui proviennent des couches gréseuses de la partie sommitale du Crétacé inférieur. De Lapparent et Lucas (1957) signalèrent la présence de vertèbres d'un dinosaure sauropode dans les grès calcaires du Callovien moyen de Déglen (Ghar Rhouban). Par la suite, d'autres découvertes de vertébrés fossiles, ont été faites dans la partie sommitale du Crétacé inférieur, à Gara Samani, entre Timimoun et El Goléa, par de Broin *et al.* (1971). Cette faune comporte, entre autres, des fragments d'os et de dents appartenant à trois dinosaures (un sauropode et deux théropodes). Dans l'Atlas saharien occidental et central, d'autres localités à dinosaures ont été également découvertes. Ainsi, Bassoullet et Iliou (1967) ont signalé des vertébrés d'âge Albien à Tiout, près de Ain Séfra, à Chellala Dahrana, à Gour Tin (El Abiodh Sid Cheikh) et dans une localité près de Brézina. Plus tard, Mahboubi (1983) a signalé, en plus de la faune citée de même âge, la présence à El Kohol (au Sud-Est de Brézina) de phalange appartenant à un théropode attribué au genre *Carcharodontosaurus* (Serenio *et al.*, 1996). Plus à l'Ouest, dans la région d'Ain Séfra (Monts des Ksour), Mahammed *et al.* (2002; 2005) ont mis à jour de nombreux restes osseux rapportés à un grand sauropode (*Chebsaurus algeriensis* Mahammed *et al.*, 2005) d'âge Bathonien.

SITUATION ET AGE DES SITES A EMPREINTES

Associées à des restes de chéloniens, de crocodiliens, de poissons, de bivalves et

de débris végétaux, les empreintes de pas de dinosaures ont été conservées, au Nord d'El Bayadh, sur des bancs calcaires argileux, parfois lumachelliques. Ces bancs sont situés stratigraphiquement au-dessous du premier niveau à lumachelle signalé par Cornet (1952). Ces dépôts appartiennent à une épaisse série marno-calcaire (550 m) attribuée, par le même auteur, au Valanginien. Ils sont situés au sommet du premier tiers, de cette série. Les leviers géologiques ont permis de dresser une coupe détaillée de chaque site. Ils montrent une alternance irrégulière de marnes verdâtres, d'argiles rouge brique (ou brun chocolat) et de calcaires fins à surface parfois incrustée de bivalves (fig. 2 A et B).

Le présent travail porte essentiellement sur quatre sites. Trois sont situés à El Bayadh (site 1: El Grarij, site 2: El Mouilah et site 3: Abattoirs) et le quatrième à Brézina (site 4: El Mezioued).



Figure 1.— Localisation des sites à empreintes de pas de dinosaures de la région d'El Bayadh.

Le site 1 est localisé sur un talweg (chabet El Grarij) au Nord d'El Bayadh (pl. 1.1) comportant le maximum d'empreintes (tabl. 1): 12 pistes avec deux à trois orientations différentes (fig. 3); le deuxième site (pl. 1. 2) est situé à 500 m, à l'Est, du premier. Sur les deux premiers sites (fig. 2), les empreintes ont été relevées sur deux bancs superposés.

A chabet El Mouilah (El Bayadh), le site 2, d'accès difficile, est situé au fond de l'oued où l'on dénombre 4 pistes (tabl. 2) constituant 34 empreintes de petite taille (230 mm x 150 mm et 190 mm x 120 mm). Les pistes, formées de deux ou trois (voire plus) empreintes consécutives, sont orientées dans toutes les directions. 12 grandes empreintes (47 à 49 mm de longueur et 36 à 39 mm de largeur) mal conservées et isolées y ont été également observées. D'autres traces sont restées indéterminées.

Le site 3 dit les «Abattoirs» est situé à la limite occidentale de la ville d'El Bayadh, sur des parois argilo-gréseuses (pl. 1.3). Il s'agit d'une douzaine d'empreintes comparables avec celles observées sur le site 1 (tabl. 2).

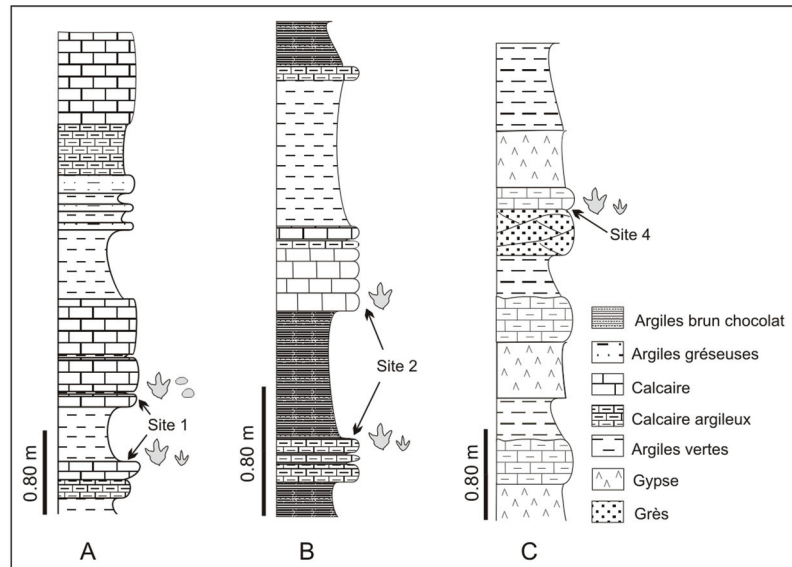


Figure 2. — Lithologie des sites à empreintes: A (site 1: El Bayadh, El Grarij), B (site 2: El Bayadh, El Mouilah) et C (site 4 (Brezina, El Mezioued).

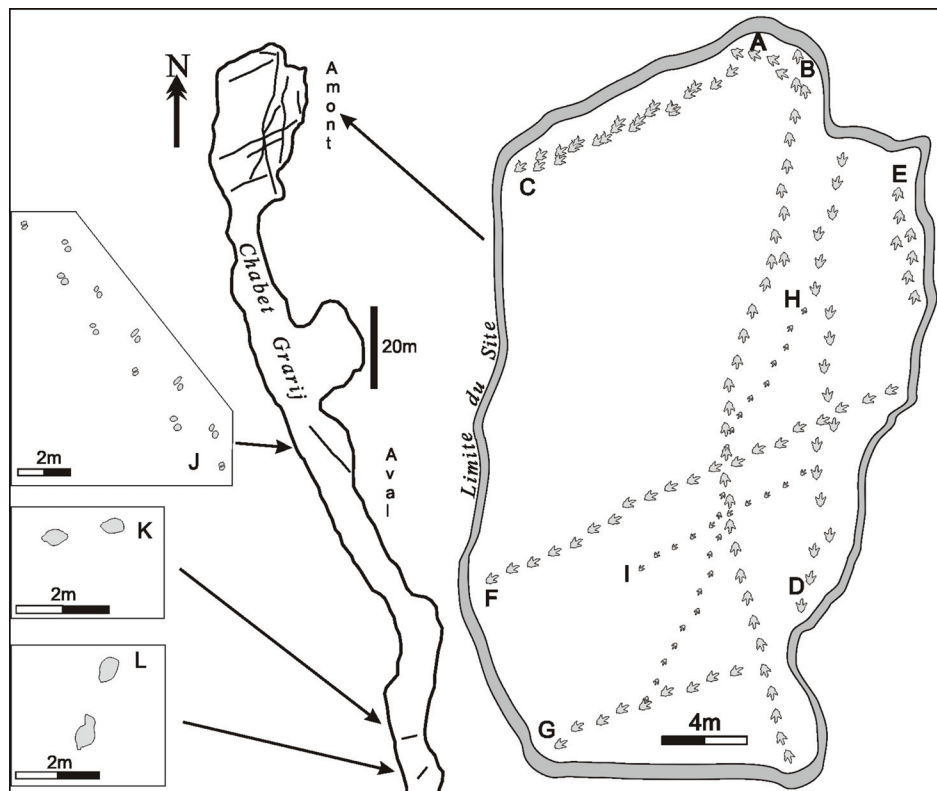


Figure 3. — Pistes à empreintes du site 1 El Bayadh, El Grarij (A à I, K et L: traces de Théropodes ; J: ichnites de Sauropodes).

Site 1 El Bayadh (El Grarij) Pistes		Ichnites (effectif)	Ichnites Lxl (mm)	L/l	Enjambée (m)	Déplacement (Sens)	Longueur piste (m)	Largeur piste (mm)	Observations
A M O N T	A	04	541,70x443,70	1,22	3,10	W	03,10	300	Dinosauroïdes : tri et tétra- dactyles à doigts griffus et bipèdes
	B	22	544,00x401,80	1,24	2,60	S	37,80	520	
	C	11	544,00x443,00	1,23	2,30	NE	13,20	320	
	D	13	543,80x453,10	1,20	3,00	SW	25,70	xx	
	E	06	532,50x434,00	1,23	2,05	S	07,50	600	
	F	20	546,50x456,00	1,20	2,40	NE	24,00	320	
	G	05	503,90x440,40	1,14	2,50	NE	10,70	350	
	H	16	295,40x246,80	1,20	2,20	SW	21,60	190	
	I	07	300,00x245,00	1,22	2,20	NE	14,80	192	
A V A L	K	02	570,00x400,00	1,42	2,50	SW	02,50	Xx	Brontopoïdes : quadrupèdes à ichnites arrondies, en forme de demi lune
	L	02	780,00x480,00	1,62	3,46	SW	01,78	Xx	
	J	22	P: 410,00x300,00 M: 300,00x220		2,60	NW	13,50	1400	

Tabl. 1: Données biométriques des pistes de dinosaures théropoïdes et sauropoïdes du site 1 d'El Bayadh (El Grarij).
P: pied; M: main.

Sites		N° et Longueur de piste (m)		Emp ^{tes} (nbre)	L x l (mm)	L / l	Orientation des pistes	Enjambée (m)	Enfoncement (mm)
Site 2 El Bayadh (El Mouilah)		/	/	12 34	480 x 375 230 x 150 190 x 120	1,28 1,53 1,58	Tous les sens	/ 1,48 /	10 10
Site 3 El Bayadh (Abattoirs)		/	11,70	12	660 x 365	1,80	N-S	2,91	10
Site 4 Brézina (El Mezioued)	grande dalle	A	13,40	12	470 x 380	1,23	N-S	2,42	10
		B	09,70	7	470 x 380	1,23	N-S	3,40	10
		C	09,10	11	a- 270 x 195 b- 300 x 190	1,38 1,57	N-S	2,02	10
	petite dalle	D	08,50	6	470 x 380	1,23	N-S	3,10	8 à 10
		E	10,70	5	470 x 380	1,23	N-S	4,20	8 à 10
		/	/	4 (isolées)	230 x 190	1,21	N-S	/	10

Tabl. 2: Données biométriques des pistes de dinosaures théropoïdes des sites 2 d'El Bayadh (El Mouilah), 3 d'El Bayadh (Abattoirs) et 4 de Brézina (El Mezioued).

Le site 4 de Brézina est situé au Nord-Ouest de l'oasis de Brézina, près de la localité d'El Mezioued. Il s'agit de plusieurs surfaces formant un banc de grès fin à moyen chenalisé (pl. 1.4). Epais de 40 cm, ce dernier s'intercale dans une succession de bancs de calcaire argileux, de marne et de gypse. Une quarantaine d'empreintes a été observée sur une surface de 300 m², environ (tabl. 2). Les ichnites y sont réparties sur deux niveaux gréseux (fig. 2 C). Le premier comporte trois pistes: A, B et C (tabl. 2) totalisant 30 empreintes de grande et de petite taille. Le second montre également de grandes empreintes (pistes D et E) et quatre petites isolées. Ces ichnites sont tridactyles et ressemblent à celles du Site 1 d'El Bayadh (El Grarij).

DESCRIPTION DES ICHNITES

La description a été faite en suivant la méthode utilisée par Bellair et de Lapparent (1948), Bassoullet (1971), Ellenberger (1974), Gand *et al.* (2000a et b) et Romero Molina *et al.* (2003). L'examen préliminaire des empreintes révèle la présence de quatre ensembles, constitués de formes dinosauroïdes (tabl. 1 et 2, pl.1 et 2) et brontopoïdes (Fig. 5, pl. 2).

A - Formes dinosauroïdes

Ce sont des traces de pied tridactyles (marques des orteils II, III et IV avec $II < IV < III$) ou tétradactyles lorsqu'il y a l'empreinte de la griffe de l'orteil I (hallux).

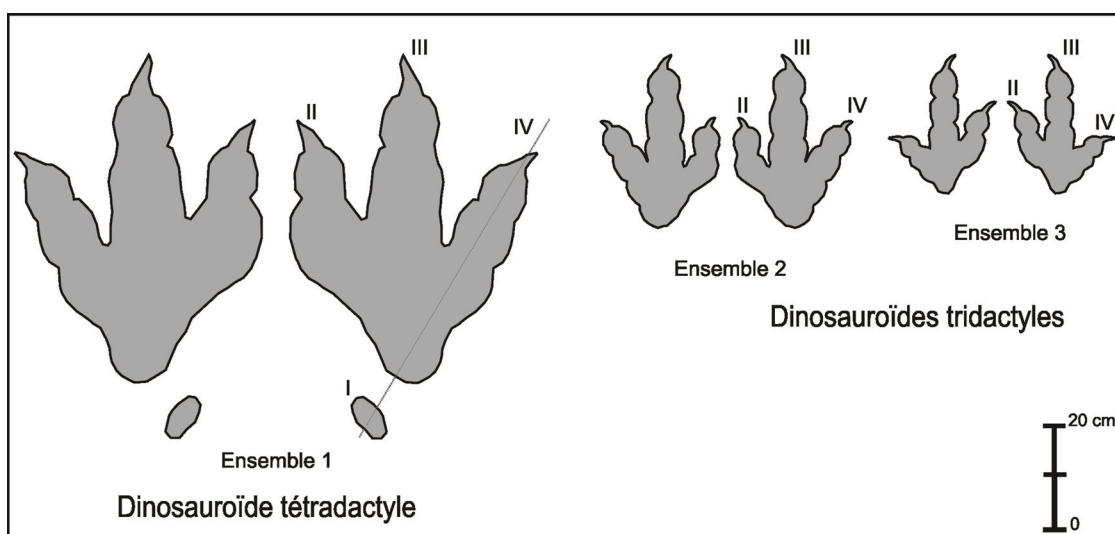


Figure 4. — Schémas d'empreintes de pas dinosauroïdes de la région d'El Bayadh: Ensembles 1, 2 et 3 (pieds gauche et droit; doigts I, II, III et IV).

Les traces tétradactyles (II - IV + hallux)

Ensemble 1 - pistes A à G, K et L (site 1 d'El Bayadh-El Grarij; fig. 3; pl. 2. 1-3; pl. 3.1). Les empreintes de pas (fig. 4) ont des longueurs (L) et largeurs (l) comprises entre 540 à 780 mm et 380 à 480 mm (tabl. 1 et 3). Les doigts sont bien écartés (de valeur moyenne de 52°) et griffus (pl. 2.1-3 et pl. 3.1). L'hallux est bien visible (pl. 2.1-3) et ne laisse suggérer la présence d'aucune trace de griffe. La distance entre les doigts latéraux II-IV se situe entre 480 et 380 mm. Les enjambées atteignent 2,50 m. Les pistes sont rectilignes ou parfois régulièrement déviées (fig. 3). Le doigt médian (III) a une longueur de 390 mm. Il est enfoncé de 50 à 70 mm. Les coussinets sont parfois visibles. Il s'agit de forme dont les auteurs de très grande envergure, à stature bipède, ont des pieds aux orteils gracieux et griffus. Aucune trace de queue n'a été observée.

Sur le plan biométrique (formes affines), on peut rattacher à ce type, les empreintes appartenant au site 4 de Brézina (El Mezoued: pistes A, B, D, E avec 27

traces; pl. 2. 6 et pl. 3. 4), au site 3 d'El Bayadh (Abattoirs) avec 12 empreintes (pl. 2.5) et au site 2 d'El Bayadh (El Mouilah) avec 12 empreintes mal conservées (pl. 2.4). Néanmoins, les empreintes de ces trois sites diffèrent de celle de l'Ensemble 1 par la «*non impression*» (absence ?) du hallux; elles présentent en effet des formes tridactyles. Ce cas de situation (*non impression*) peut être lié uniquement à l'état et à la nature du sédiment ou à la taille et au poids du sujet. Par ailleurs, il faut noter la forte variation des enjambées dans certaines pistes (A, B, C, D, E du site 1 d'El Bayadh-El Grarij), ce qui dénoterait une variation de la vitesse de déplacement de leurs auteurs. La vitesse de déplacement peut influencer sur l'impression du hallux (Pérez-Lorente F., com. pers.).

Ensemble	Sites	Pistes	Nbre d'empreintes mesurées	Doigts (mm)			D (mm)	T (degrés)
				II	III	IV		
Ensemble 1	El Grarij (amont)	A	04	292,10	376,30	290,70	145,90	53,59
		B	22	278,00	314,20	280,00	143,40	50,54
		C	11	292,70	348,20	292,00	146,10	53,60
		D	13	293,10	348,50	288,50	143,80	53,62
		E	06	288,30	350,00	288,00	145,00	53,00
		F	20	297,00	357,50	297,40	149,70	53,50
		G	05	281,70	336,30	280,70	142,90	52,71
	El Mouilah	/	12	212,90	366,00	300,00	135,00	53,33
	El Mezioued	A	03	268,30	313,30	245,00	156,70	59,33
		B	08	252,50	303,80	240,60	157,70	59,13
		D	05	231,00	294,00	253,00	162,00	59,40
		E	05	245,00	297,50	251,30	157,50	59,10

Tabl. 3: Caractères moyens des pistes d'empreintes de pas de l'Ensemble 1 des sites 1 d'El Bayadh (El Grarij), 2 d'El Bayadh (El Mouilah) et 4 de Brézina (El Mezioued). D: Distance de dépassement des doigts III par rapport à II et IV, T: Angle de divarication compris entre les doigts II et IV.

Les traces tridactyles aux orteils II - IV

Ensemble 2 - pistes H, I du site 1 d'El Bayadh-El Grarij (tabl. 1), empreintes isolées et piste C du site 4 de Brézina-El Mezioued (tabl. 2; fig. 4): Les dimensions (L x l) sont situées entre 300 mm x 240 mm et 230 mm x 190 mm (respectivement); l'enfoncement du doigt médian (III) est de 10 mm. L'empreinte des phalanges et des coussinets est bien visible (pl. 2. 7-8). La distance entre les doigts latéraux III-IV atteint 180 mm. L'enjambée est de 2,20 m. Les Ensembles 1 et 2 présentent des caractéristiques assez semblables entre eux mais le deuxième diffère du premier par des empreintes plus petites (L= 300 mm à 240 mm; l= 230 mm à 190 mm) et par des enjambées plus courtes (tabl. 1). L'Ensemble 2 a été laissé par un animal de grande envergure, ayant des pieds aux orteils graciles et griffus. Ces ichnites ont été également observées dans le site 4 de Brézina-El Mezioued: piste C avec 11 empreintes de pas et 4 isolées (tabl. 2 et 4).

Ensemble	Sites	Pistes	Nbre d'empreintes mesurées	Doigts (mm)			D (mm)	T (degrés)
				II	III	IV		
Ensemble 2	El Grarij (amont)	H	16	162,30	223,00	182,50	87,90	40,93
		I	07	164,20	225,00	188,00	88,00	42,60
	El Mezioued	C	10	137,50	185,80	149,20	09,00	42,90

Tabl. 4: Caractères moyens des pistes d'empreintes de pas de l'Ensemble 2 des sites 1 d'El Bayadh (El Grarij) et 4 de Brézina (El Mezioued).

Ensemble 3 - Il s'agit d'empreintes avec des dimensions (Longueur x largeur) situées entre 230 mm x 150 mm et 190 mm x 120 mm (tabl. 2; fig. 4), relevées sur le site 2 d'El Bayadh (El Mouilah: pl. 2. 9-10 et pl. 3.3). L'écartement des doigts latéraux est de 120 mm ($T = 52^\circ$). L'empreinte de l'hallux n'est pas visible dans la majorité des cas, exception faite pour une ou deux empreintes où l'on remarque une légère trace de l'hallux (s'agit-il d'un problème d'enfoncement, lié à la nature du substrat ? c'est-à-dire: quand les auteurs ont les orteils I et V courts peuvent s'enfoncer lorsque le sédiment est très mou). L'enjambée moyenne est égale à 1,48 m. Cet ensemble 3 diffère des précédents du site 1 (tabl. 5). Les auteurs seraient d'envergure moyenne, ont la stature bipède et possèdent des orteils griffus (site 2) si l'on tient compte des dimensions de leur enjambée et de la taille de leurs traces de pied.

Ensemble	Site	Pistes	Nbre d'empreintes mesurées	Doigts (mm)			D (mm)	T (degrés)
				II	III	IV		
Ensemble 3	El Bayadh (El Mouilah)	A	20	109,30	169,70	132,10	099,70	51,33
		B	09	108,90	166,90	130,00	099,30	51,00
		D	02	107,50	/	137,50	100,00	55,00
		E	03	113,30	162,30	143,30	090,00	50,00

Tabl. 5: Caractères moyens des pistes d'empreintes de pas de l'Ensemble 3 du site 2 d'El Bayadh (El Mouilah).

B - Formes brontopoides

Ces formes sont définies par des traces de pas ovales de quadrupèdes (fig. 5). Les traces de la main (en surface) sont presque deux fois plus petites que celles du pied, montrant souvent la forme d'un croissant lunaire.

Ensemble 4 - (Site 1: fig. 2 A; fig. 3, piste J; pl.3. 2; pl.2. 11-12): Les dimensions du pied (P) atteignent (L x l) 410 mm x 300 mm, celles de la main (M) étant de 300 mm x 220 mm (fig. 5). La distance située entre les traces de la main et du pied atteint 140 mm. De forme ovale, l'empreinte du pied est presque deux fois plus grande que celle de la main. Aucune trace de griffe n'a été relevée. L'écartement entre empreintes latérales du côté externe est de 1400 mm. Les traces de pied et de main sont bien couplées avec celles du pied recouvrant, parfois, l'empreinte de la main. L'angle situé entre le sommet des empreintes de la main gauche et ceux des deux empreintes successives de la main droite atteint 100° . Les auteurs sont des quadrupèdes très grands puisqu'ils ont laissé des enjambées longues de 2,60 m.

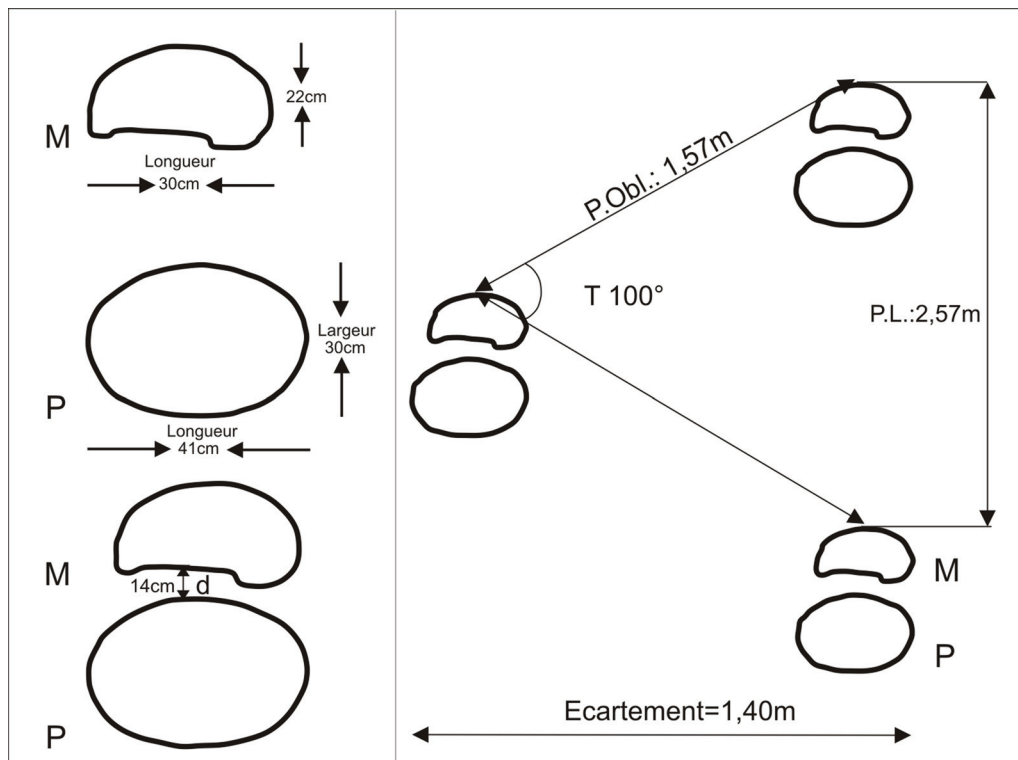


Figure 5.— Schéma des caractères des empreintes de pas de l'Ensemble 4 sauropoïde du site 1 d'El Bayadh (El Grarij).

M.: Main, P.: Pied, T° = angle du pas latéral, d = distance entre les empreintes du pied et de la main, P. obl. = Pas oblique, P.L. = Pas latéral.

NOMENCLATURE ET ATTRIBUTION PALEONTOLOGIQUE

A - Traces dinosauroïdes

Des empreintes tridactyles furent décrites pour la première fois dans l'Hettangien de la Vallée du Connecticut aux USA (Hitchcock, 1858; Lull, 1904, 1915 et 1953; Olsen, 1980). Elles sont décrites dans le Lias en France (Vendée, de Lapparent et Montenat, 1967), en Afrique du Sud (Ellenberger *et al.*, 1970; Ellenberger, 1974) et dans le Crétacé du Canada (Osborn, 1917; Sternberg, 1930). Plusieurs ichnogenres (*Grallator* Hitchcock, 1845, *Anchisauripus* Lull, 1904, *Eubrontes* Hitchcock, 1845) ont été définis (Olsen *et al.*, 1998; Demathieu *et al.*, 2002; Gand *et al.*, 2000a et b).

Un seul ichnogenre (*Grallator*) est reconnu en Algérie. En effet, deux localités comportant des traces dinosauroïdes tridactyles sont déterminées: la première (Ain Séfra) d'âge Hettangien voire Rhétien a été décrite par Bassoullet (1971) avec une dizaine d'empreintes, la seconde d'âge Cénomaniens fut découverte, en 1880, par Le Mesle et Péron à Amoura avec 140 empreintes.

Les empreintes tridactyles ont été rapportées, selon Bassoullet (*op.cit.*), au genre dinosauroïde *Grallator* (Hitchcock, 1858) Lull (1904) connu depuis le Trias. Les

mensurations (doigt médian: 90 à 130 mm) ont permis, à cet auteur, de rapprocher l'ichnopopulation de Ain Séfra à *G. variabilis* Lapparent et Montenat, 1967, décrite dans l'Hettangien de Vendée (de Lapparent et Montenat, 1967).

L'analyse de certains caractères des empreintes (taille, angle de divarication, longueur D) nous permettra de discriminer les précédents ensembles dinosauroïdes et sauropoïdes trouvés dans le Crétacé inférieur de la région d'El Bayadh.

A1 - Taille des empreintes

1 - Analyse de la figure 6

Les empreintes isolées (tabl. 2) décrites dans le site 4 de Brézina (El Mezioued) ressemblent par leur longueur et leur largeur à celles de l'ichnogenre *Ornithopus* (Demathieu *et al.*, 2002). Dans le site 2 d'El Bayadh (El Mouilah), la largeur des empreintes (fig. 6) est comprise dans l'intervalle de celles de *Grallator saucierensis* Demathieu et Sciau, 1992. Par ces mêmes caractères, les empreintes de la piste C du site 4 de Brézina (El Mezioued), semblent être intermédiaires entre *Grallator lescurei* Demathieu, 1990 et *G. minusculus* (Hitchcock, 1858) de l'Hettangien des Causses (France). Les pistes H et I du site 1 (tabl. 1) présentent des largeurs et des longueurs d'empreintes se rapprochant de celles de *Grallator minusculus* et *G. lescurei*.

Bien que la présence (ou non) de trace est souvent inhérente aux conditions spécifiques du milieu, elle peut être déterminante sur le plan ichnosystématique. En effet, l'absence de trace d'orteils (hallux notamment) au niveau des empreintes appartenant aux ensembles 2 et 3 (El Bayadh-El Grarij amont, El Bayadh-El Mouilah et Brézina-El Mezioued) rend difficile, tout rapprochement avec les *Ornithopus* (Demathieu *et al.*, 2002; Gand, *com. pers.*). La courbe allométrique de croissance de ces deux ensembles 2 et 3 semble traduire une certaines similitudes avec celle de l'ichnogenre *Grallator*.

Les traces de pas de grande taille décrites dans les sites de Brézina (El Mezioued), d'El Bayadh (El Grarij) et d'El Bayadh (Abattoirs) sont nettement plus grandes et plus larges que celles appartenant à *Eubrontes giganteus sensu* Demathieu *et al.* (2002) et s'en détachent nettement avec deux formes d'empreintes distinctes :

- une première forme à empreintes plus larges (360 à 410 mm) réparties en trois groupes :

- a - Brézina site 4 (El Mezioued: pistes A, B, D, E) ;

- b - El Bayadh site 1 (El Grarij amont: pistes A, B, C, F, G, K) ;

- c - El Bayadh site 3 (Abattoirs) et El Bayadh Site 1 (El Grarij amont: piste E).

- une deuxième forme à empreintes plus larges et plus longues. Il s'agit de la piste L à grandes traces (L x l: 780 x 480 mm). Il faut noter que les mesures prises sur les empreintes de cette piste peuvent être exagérées et ce en raison de l'état même des empreintes qui montrent une figure sédimentaire de type «éclaboussure».

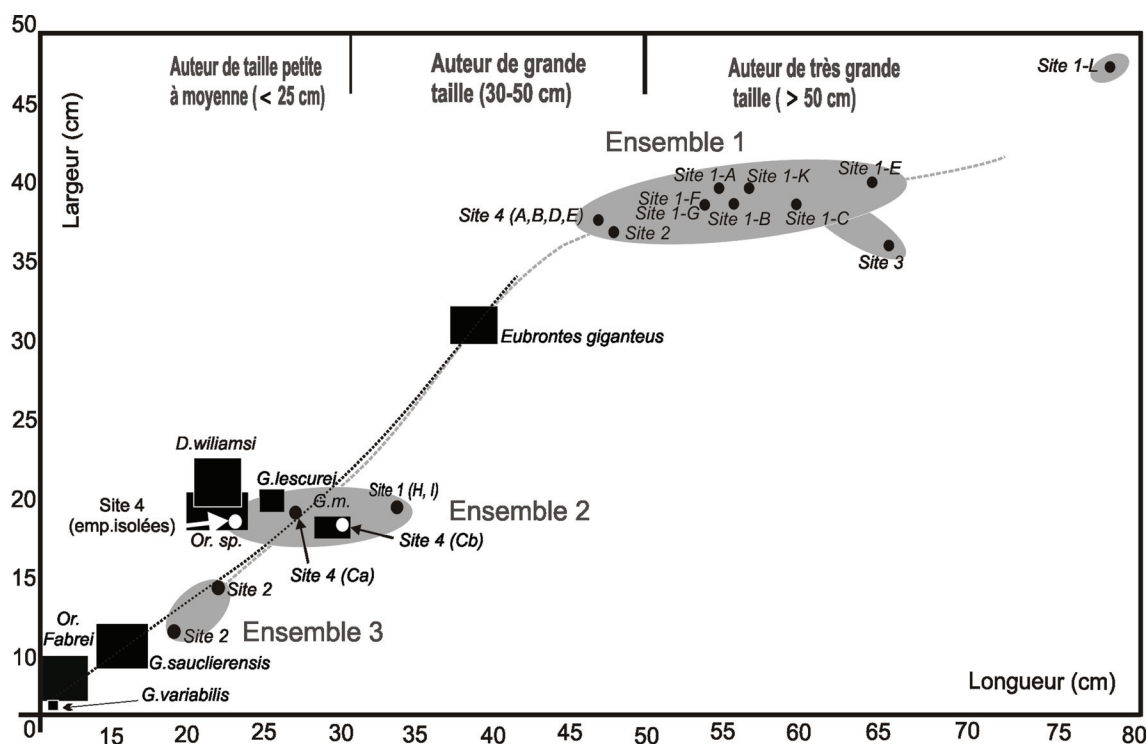


Figure 6. — Caractères (Longueur, Largeur) des empreintes de pas des dinosaures de la région d'El Bayadh (Sites 1, 2 et 3) et comparaisons avec quelques ichnoespèces liasiques des Causses français.

G.= *Grallator*; Or.=*Ornithopus*; D. *Dilophosauripus*; m.=*Grallator minusculus*; A, B, C, Ca, Cb, ... = pistes ;

- - - = Courbes d'allométrie de croissance des *Grallator-Eubrontes* et Ensembles 1-3.

2 - Conclusion

Il semble généralement admis que le caractère de la taille des empreintes de pas est prépondérant dans la détermination des ichnogènes (Barco *et al.*, 2005), en ce sens que les *Grallator* sont de petites formes théropoïdes dont la longueur du pied est inférieure à 25 cm (fig. 7). Les *Eubrontes* sont des formes théropoïdes dont les longueurs d'ichnites sont situées entre 30 et 50 cm. En revanche, les grands théropodes sont marqués par des longueurs supérieures (Barco *et al.*, 2005).

En conclusion, l'analyse de la taille (longueur, largeur) des empreintes permet de mettre en évidence deux formes de traces dinosauroïdes (fig. 7) :

- La première forme (Ensemble 1) regroupe des traces nettement plus grandes que celles décrites chez *Eubrontes giganteus sensu* Demathieu *et al.*, 2002 (fig. 6). La présence au niveau de l'empreinte du pied de cette dernière ichnoespèce d'une échancrure basale (fig. 7) et la présence de l'hallux chez l'Ensemble 1 tendent à éloigner ces taxons l'un de l'autre. Nous suggérons néanmoins et à titre provisoire de rapprocher cet ensemble au type-*Eubrontes*. Le provisoire de cette attribution est aussi liée au fait que les ichnogènes *Grallator* et *Eubrontes* ne dépassent guère le Jurassique inférieur (Hichkok, 1845; Romeo Molina *et al.*, 2003). Par ailleurs, la comparaison des ichnites d'El Bayadh avec celles du Crétacé décrites au Maroc et au Portugal (Lockley *et al.*,

1998) ne semble pas évidente non plus. Une étude statistique (analyse discriminante) permettra ultérieurement de proposer des interprétations plus étayées.

- La deuxième forme, correspondant aux Ensembles 2 et 3, observée à Brézina (site 4: El Mezioued) et à El Bayadh (site 1: El Grarij amont, site 2: El Mouilah) s'apparente avec les représentants de l'ichnogenre *Grallator* et un peu moins avec ceux de *Dilophosauripus* Welles, 1971 (Demathieu *et al.*, 2002). Par conséquent, les Ensembles 2 et 3 peuvent être rattachés provisoirement, à l'ichnogenre *Grallator* avec deux formes distinctes: une première forme localisée au niveau du site 1 d'El Bayadh (El Grarij) et du site 4 de Brézina (El Mezioued), elle correspond à l'Ensemble 2. La deuxième forme présente au site 2 d'El Bayadh (El Mouilah), correspond à l'Ensemble 3. Les ichnoespèces d'*Ornithopus* sp. peuvent être écartées en raison du fait que les empreintes isolées du site 4 de Brézina (El Mezioued) semblent être dépourvues d'hallux.

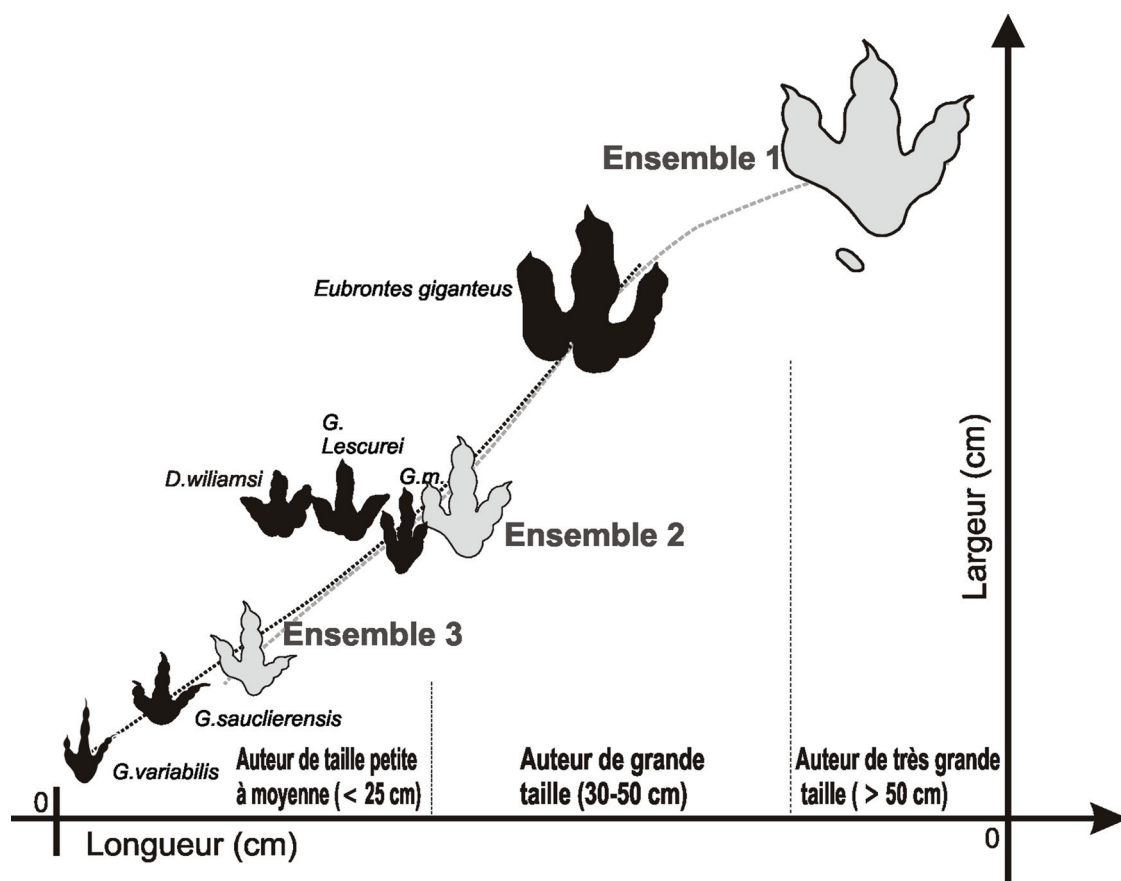


Figure 7. — Morphologie des traces de pas des Ensembles 1-3 comparées avec celles des ichnoespèces liasiques des Causses français.

A2 - Angle de divarication (II - IV)

1 - Analyse de la figure 8

Tout en sachant que la valeur de l'angle de divarication (*sensu* Lull, 1953; Demathieu *et al.*, 2002) mesurée entre le deuxième et le quatrième doigts peut être variable en fonction de la profondeur des empreintes et de la réponse physique du substrat en relation avec l'envergure de l'auteur des empreintes (Thulborn, 1990) et de ses caractéristiques biologiques (cas des ornithomides: G. Gand, *in litteris*), l'analyse de cet angle permet de distinguer quatre (04) valeurs (fig. 8):

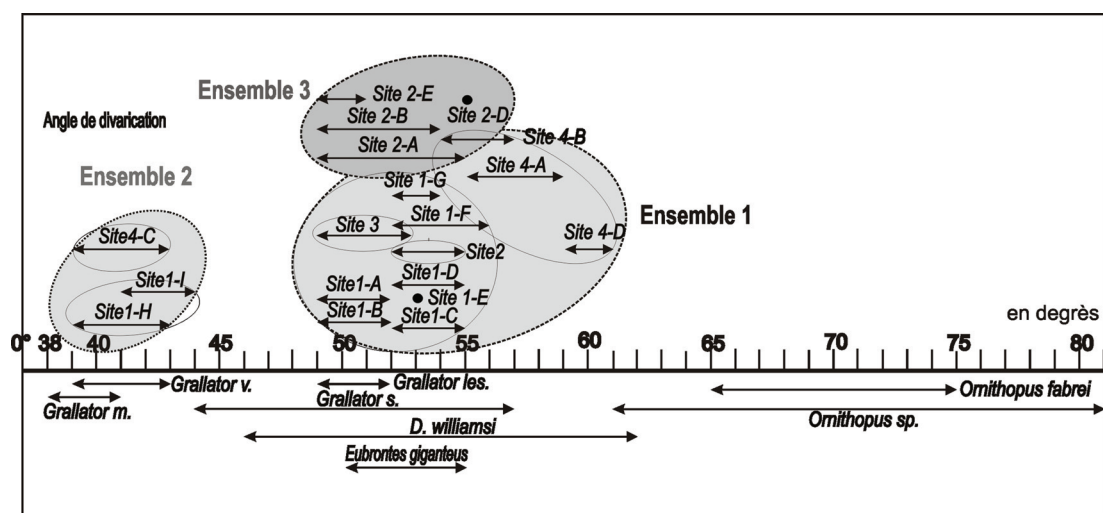


Figure 8. — L'amplitude de l'angle de divarication des empreintes de pas de dinosaures de la région d'El Bayadh en comparaison avec celui mesuré chez quelques ichnoespèces du Lias inférieur des Causses français.

Grallator v. = *Grallator variabilis*; *Grallator les.* = *Grallator lescurei*; *Grallator m.* = *Grallator minusculus*; *Grallator s.* = *Grallator sauclerensis*. Les cercles correspondent aux sites 1-4 et aux Ensembles 1-3.

Site 1 El Bayadh (El Grarij amont)

1. **Pistes H et I**: les mensurations sont comparables, en partie, (limite des bornes 1 et 2 au seuil de 5% In Demathieu *et al.*, 2002) à celles de *Grallator variabilis* de Lapparent & Monténat, 1967 et de *G. minusculus* Demathieu, Gand, Sciau et Freytet, 2002.

2. **Pistes A, B**: ces empreintes ont un angle de divarication exactement comparable à celui noté chez *Grallator lescurei* Demathieu, 1990. Il s'inscrit à l'intérieur des bornes de *G. sauclerensis* Demathieu et Sciau, 1992, de *Dilophosauripus williamsi* Welles, 1971 et atteint la borne inférieure d'*Eubrontes giganteus* (Hitchcock, 1845).

3. **Pistes C, D, E, F, G**: l'angle de divarication est proche de celui de *G. sauclerensis* (limite supérieure de la borne 2). Il s'inscrit à l'intérieur des bornes de *Dilophosauripus williamsi* et de *Eubrontes giganteus*.

Les mesures effectuées sur les empreintes des autres sites 2, 3 et 4 sont les suivantes:

Site 2 d'El Bayadh (El Mouilah): les valeurs de l'angle de divarication (pistes A, B, E, D) sont contenues à l'intérieur des bornes de *Grallator lescurei*, *Eubrontes giganteus*, *G. sauclierensis*, et *Dilophosauripus williamsi*.

Site 3 d'El Bayadh (Abattoirs): l'angle est situé dans l'intervalle de valeurs de *Grallator lescurei*, de *G. sauclierensis*, de *Dilophosauripus williamsi* et la partie inférieure de la borne 1 appartenant à *Eubrontes giganteus*.

Site 4 de Brézina (El Mezoued): trois groupes d'angle de divarication d'empreintes sont individualisés: il s'agit des pistes C (premier groupe), A et B (deuxième groupe) et D (troisième groupe). Le premier est identique à celui du site 1 d'El Bayadh (El Grarij amont: pistes H et I) dont les mesures se confondent avec celles des ichnoespèces *Grallator variabilis* et *G. minusculus*. Le deuxième groupe présente des angles contenus dans l'intervalle de *Dilophosauripus williamsi* ainsi que les parties supérieures de la borne 2 d'*Eubrontes giganteus* et de *Grallator sauclierensis*. Le troisième groupe possède un angle de divarication situé dans la partie supérieure de la borne 2 de *Dilophosauripus williamsi*.

2 - Conclusion

Il ressort de cette analyse que l'on peut parler de trois ensembles distincts. L'un a un angle de divarication situé à l'intérieur des bornes 1 et 2 de l'ichnogenre *Grallator* (*G. variabilis*, *G. minusculus*), comparable à celui des pistes H et I du site 1 d'El Bayadh (El Grarij). Ce groupe vérifie la dénomination de l'Ensemble 2. En revanche, le deuxième groupe possède des mesures d'angle centrées autour de *Grallator* et *Eubrontes*, tout en intégrant les valeurs de *Dilophosauripus williamsi*. Décrit dans le site 2 d'El Bayadh (El Mouilah), ce groupe correspond à l'Ensemble 3. Il possède des bornes comparables, du point de vue angle, à celles enregistrées dans le site 3 d'El Bayadh (Abattoirs) et le site 1 d'El Bayadh (El Grarij) appartenant à l'Ensemble 1. Le troisième groupe (pistes A, B, D du site 4) vérifie les mesures d'angles notées dans les ichnogenres *Grallator* (*G. sauclierensis*), *Eubrontes* (*E. giganteus*) et *Dilophosauripus* (*D. williamsi*). Il correspond aux limites de l'Ensemble 1.

En conclusion, la comparaison des données de l'angle de divarication des Ensembles 1, 2 et 3 de la région d'El Bayadh et des ichnoespèces liasiques des Causses français, permet d'envisager un rapprochement avec les ichnogenres *Grallator* et *Eubrontes*; *Dilophosauripus* peut être exclu en raison du fait qu'il possède des bornes d'angle très larges.

A3 - Le caractère D

Ce caractère représente la longueur de la partie distale de l'orteil III déterminée à sa base par la droite joignant les extrémités des orteils II et IV.

Les mesures de ce caractère sont exprimées dans le tableau 6 qui montre des

comparaisons avec des ichnoespèces d'âge liasique des Causses français (Demathieu *et al.*, 2002).

Pour les empreintes de grande taille, les pistes du site 1 d'El Bayadh (El Grarij amont: A, B, C, D, E, F, G, K, L), du site 2 de Brézina (El Mezioued: A, B, D, E) et du site 3 d'El Bayadh (Abattoirs), appartenant à l'ensemble 1, présentent une tendance nette à l'allongement du doigt médian par rapport aux doigts latéraux (II et IV). Cette dernière est perceptible chez *Grallator minusculus* (sites 1, 3, 4) et *Eubrontes giganteus* (site 1).

Les empreintes de petite taille de la piste C du site 4 de Brézina (El Mezioued) présentent quelques traits de comparaison avec celles des ichnoespèces *Or. fabrei* et *G. sauclierensis*, pouvant atteindre *Or. sp.* et *D. williamsi* pour le site 1 d'El Bayadh (El Grarij amont) ou *G. lescurei* et *G. minusculus* pour le site 2 d'El Bayadh (El Mouilah).

En conclusion, l'analyse du caractère D suggère un rapprochement des Ensembles 1, 2 et 3 avec les *Grallator* et les *Eubrontes*. Cette comparaison n'exclue pas les ichnogénres *Ornithopus* et *Dilophosauripus* pour les empreintes de grande taille notamment.

Sites de la région d'El Bayadh	Taille des empreintes	Ensembles	Bornes du Caractère D (mm) chez les Ensembles fossiles	Bornes au seuil 5% des ichnoespèces de référence (Demathieu <i>et al.</i> , 2002).
Site 4, Brézina (El Mezioued) : piste C	Forme de petite taille	Ensemble 2	60-70	<i>Or. fabrei</i> (47-62), <i>G. sauclierensis</i> (52-75)
Site 1, El Bayadh (El Grarij amont) : pistes H et I			70-110	<i>Or. sp.</i> (86-106), <i>D. williamsi</i> (75-117)
Site 2, El Bayadh (El Mouilah)		Ensemble 3	90-110	<i>G. lescurei</i> (97-103), <i>G. minusculus</i> (102-111)
Site 4, Brézina (El Mezioued) : pistes A, B, D et E	Forme de grande taille	Ensemble 1	100-120	<i>G. minusculus</i> (102-111)
Site 3, El Bayadh (Abattoirs)			110-120	<i>G. minusculus</i> (102-111)
Site 1, El Bayadh (El Grarij amont) : pistes A, B, C, D, E, F, G, K et L			110-170	<i>G. minusculus</i> (102-111), <i>E. giganteus</i> (133-141)

Tabl. 6: Caractère D des ichnites des sites de la région d'El Bayadh et comparaisons avec les ichnoespèces des Grands-Causses de France.

B. Formes sauropoïdes

Les ichnites dont les caractéristiques sont précisées partiellement dans le tableau 1, correspondent à l'Ensemble 4 d'âge Valanginien (site 1 d'El Bayadh-El Grarij aval: fig. 3, piste J; pl. 2.11-12; pl. 3.2). Il s'agit d'une population qui évoque, par ses caractéristiques biométriques, des auteurs quadrupèdes assez grands dont l'enjambée atteint 2,60 m avec un écartement très large (1,40 m) des empreintes latérales par rapport à l'axe de déplacement. Des formes d'empreintes comparables ont été décrites par Lockley *et al.* (1994) qui, sur la base de l'écartement des empreintes latérales, distinguent des écartements étroit (*narrow-gauge*: type du Colorado et du Portugal) et

large (*wide-gauge*: type du Texas); ils les rapportent, respectivement, aux ichnogenres *Parabrontopodus* Lockley, Farlow et Meyer, 1994 et *Brontopodus* Lockley, Farlow et Meyer, 1994. La forme de la demi lune et la présence d'ongles sont autant de caractères qui permettent de distinguer ces grands groupes (Carrano et Wilson, 2001; Farlow, 1992; Wilson, 2005; Whright, 2005). Par conséquent, l'Ensemble 4 d'El Grarij peut être rangé dans la catégorie à large écartement d'empreintes (*wide-gauge*) décrite au Texas et rattaché à l'ichnogenre *Brontopodus*. L'Ensemble 4 est marqué par un ratio de surface main-pied égal à 1: 2 (identique à celui calculé pour les empreintes du Portugal: Santos *et al.*, 1992; Santos *et al.*, 1994), un angle de pas atteignant 100° (100-120° chez *Brontopodus*: Farlow, 1992), des empreintes de pas longues de 41 cm (bornes des longueurs notées chez *Brontopodus*: 40-50 cm selon Farlow *et al.*, 1989; Farlow, 1992; Lockley, 1991) et un pas (1,57 m) trois fois plus long que l'empreinte du pied (normes décrites par Farlow, 1992).

Il ressort de cette analyse que l'Ensemble 4 (site 1 d'El Bayadh-El Grarij aval) est ainsi classé dans le groupe à large écartement d'empreintes (*wide-gauge*) décrite au Texas. Nous le rattachons donc à l'ichnogenre *Brontopodus*. Par ailleurs, l'absence de trace d'ongle sur les empreintes (pied, main) permet de constater que l'Ensemble 4 de la région d'El Bayadh est nettement différent de l'ichnoespèce *B. birdi* (Farlow *et al.*, 1989) du Texas. Cette forme algérienne peut être considérée comme une ichnopolypopulation propre à la localité d'El Bayadh El Grarij aval.

3 - Conclusion

L' étude morphométrique de quatre caractères pédieux: la taille (Longueur x largeur), dimension de la partie distale de l'orteil III (D) et de l'angle II-IV ont permis de mettre en évidence quatre ensembles de traces dinosauroïdes (théropoïde, sauropoïde).

En effet, l'Ensemble 1 d'El Bayadh (El Grarij amont) regroupe des traces de pas morphologiquement comparables, mais plus grandes, par rapport à celles décrites chez *Eubrontes giganteus sensu* Demathieu *et al.*, 2002 (fig. 4 et 6; tabl. 3). Nous suggérons, à titre provisoire, de rapprocher cet Ensemble au type-*Eubrontes*. Cette attribution provisoire est aussi liée à l'âge de l'ichnogenre *Eubrontes*, en sachant que cette forme n'est pas connue postérieurement au Jurassique inférieur (Hichckok, 1845; Romeo Molina *et al.*, 2003).

L' Ensemble 2 contient les pistes H et I du site 1 d'El Bayadh (El Grarij amont), la piste C du site 4 de Brézina (El Mouilah) et les ichnites isolées de ce dernier site. Il présente quelques caractères (fig. 4 et 6 et tabl. 4) en commun avec les *Grallator*, les *Dilophosauripus* et les *Ornithopus* (*G. sauclieriensis*, *D. williamsi* et *Or. sp.* du Lias français: Demathieu *et al.*, 2002). Le fait que la trace du hallux ne soit pas visible dans les deux sites écarte, au moins provisoirement, tout rapprochement avec l'ichnogenre *Ornithopus*. La longueur des empreintes de cet ensemble permet de le rapprocher beaucoup plus de l'ichnogenre *Grallator* (*G. lescurei* et *G. minusculus* des Grands Causses français).

L' Ensemble 3 appartenant au site 2 d'El Bayadh (El Mouilah) présente, comme l'ensemble précédent, des empreintes pédieuses où la trace de l'hallux n'est pas visible. Ceci exclue, au moins provisoirement, son rapprochement avec l'ichnogenre

Ornithopus. En revanche, il montre morphologiquement (caractères L x l et T: fig. 4 et 6) des traces intermédiaires entre les ichnoespèces liasiques *Grallator sauclerensis* et *Dilophosauripus williamsi sensu* Demathieu *et al.* (2002). Ce dernier ichnogenre ne peut être retenu si l'on tient compte du caractère D des ichnites (tabl. 6) qui rapproche davantage l'Ensemble 3 à l'ichnogenre *Grallator*.

Par conséquent, les Ensembles 2 (site 1 d'El Bayadh-El Grarij amont et site 4 de Brézina-El Mezioued) et 3 (site 2 El Bayadh-El Mouilah) sont rattachés provisoirement à l'ichnogenre *Grallator*.

L' Ensemble 4 (site 1 d'El Bayadh-El Grarij aval) est représenté par des empreintes à large écartement comparables à celles décrites au Texas (Lockley *et al.*, 1994). L'importance primordiale de ce caractère permet de rattacher cet ensemble à l'ichnogenre *Brontopodus*. D'autres caractères morphologiques (taille des empreintes, l'enjambée et l'angle du pas) permettent d'appuyer cette attribution.

Les auteurs des Ensembles 1, 2 et 3 sont attribués à des Dinosaures théropodes; le groupe brontopodes (*Brontopodus*) l'étant à des sauropodes.

Cette faune est associée à des chéloniens, des crocodiliens et des poissons qui ont vécu au Crétacé inférieur (Valanginien), dans un milieu peu profond de type laguno-saumâtre avec des zones marécageuses. Sa nature est attestée par les données sédimentologiques: dépôts salins, présence de rides de courant, de bivalves de petite taille et de débris végétaux.

CONCLUSION GENERALE

Près de 350 empreintes de pas de dinosaures associées à des ossements de poissons, de crocodiliens, de chéloniens, de mollusques et de débris végétaux, d'âge Crétacé inférieur, ont été mises en évidence dans quatre localités à proximité de la ville d'El Bayadh et au Nord de Brézina. Ces traces de pas sont observées sur des dalles gréseuses ou de calcaires argileux.

Répartis sur plusieurs sites, quatre ensembles d'empreintes de pas sont mis en évidence dans la région d'El Bayadh; Ensemble 1 (sites 1, 2, 3 et 4), Ensemble 2 (sites 1 et 4), Ensemble 3 (site 2) et Ensemble 4 (site 1) qui révèlent la présence de formes vertébrées tri-et téradactyles bipèdes dinosauroïdes (Ensembles 1-3) et quadrupède sauropode (Ensemble 4).

L'analyse biométrique préliminaire de ces traces (longueur, largeur, T, et D) permet de rapprocher, provisoirement, les formes dinosauroïdes de la région d'El Bayadh aux ichnogenres liasiques *Grallator* et *Eubrontes* (type-*Grallator*, type-*Eubrontes*) décrits dans les Grands Causses français, tout en sachant que ces formes ne dépassent guère le Jurassique inférieur. La forme sauropoïde est attribuée à l'ichnogenre *Brontopodus* connu au Jurassique et au Crétacé.

En Afrique du Nord, la présence de ces dinosaures sauropodes et théropodes au Crétacé est étayée par de nombreuses données ostéologiques signalées notamment en

Algérie dans le continental intercalaire du Sahara et de l'Atlas saharien (de Lapparent, 1959). Les ichnites de dinosaures, connues et celles décrites dans ce travail, se localisent toutes dans ce dernier domaine géologique.

La présence de ces théropoïdes et sauropoïdes Crétacés constitue un jalon important dans la connaissance des faunes reptiliennes vivant en lisière de milieu laguno-saumâtre et ayant colonisé une vaste aire paléogéographique située sur la bordure méridionale de la Téthys et ce, depuis le début de l'Ere Secondaire.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement Messieurs Gand G. et Pérez-Lorente F. pour leurs critiques constructives du manuscrit, Demathieu G., Le Loeuff J., Hauthier L., Taquet Ph., Tabuce R. et Madame Vianey-Liaud M. pour leurs conseils et soutiens bibliographiques. Monsieur B. Bekkara est également remercié pour nous avoir signalé (mai 2004) le site 1 d'El Grarij ainsi que les nombreux habitants de la ville d'El Bayadh qui nous ont facilité le travail durant les campagnes de fouille. Les auteurs sont redevables envers les autorités locales d'El Bayadh et le bureau d'études B.A.T.A.U. qui ont mis tous les moyens humains et matériels pour la réussite de leur mission. Les travaux de terrain n'auraient pas pu avoir lieu sans l'aide précieuse et généreuse de Monsieur Boukarabila D. (ancien Wali d'El Bayadh).

BIBLIOGRAPHIE

- BASSOULLET, J. -P. (1971). — Découverte d'empreintes de pas de Reptiles dans l'Infra-Lias de la région d'Ain Séfra (Atlas saharien, Algérie). *C. R. Somm. Soc. géol. France*, Paris, (7), pp. 358-359, 1 fig.
- BASSOULLET, J. P. (1973). — Contribution à l'étude stratigraphique du Mésozoïque de l'Atlas saharien occidental (Algérie). *Thèse d'état*, Paris, 497 p.
- BARCO, J. L. CANUDO, J. I., RUIZ-OMENACA, J. I. & RUBIO, J. L. (2005). — Evidencia icnologia de un dinosaurio teropodo gigante en el Berriasiense (Cretacico inferior) de Laurasia (Las villasecos, Soria, Espana). *Revista Espanola de Paleontologia*, pp. 59-71.
- BASSOULLET, J. P. & ILIOU, J. (1967). — Découverte de Dinosauriens associés à des Crocodiliens et des Poissons dans le Crétacé inférieur de l'Atlas saharien (Algérie). *C. R. Somm. Soc. géol. France*, Paris, (7), p. 294.
- BELLAIR, P. & LAPPARENT, A. F. DE (1948). — Le Crétacé et les empreintes de pas de Dinosauriens d'Amoura (Algérie). *Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique Nord*, **39**, p. 168-175.
- BROIN, F. DE, GRENOT, C. & VERNET, R. (1971). — Sur la découverte d'un nouveau gisement de vertébrés dans le continental intercalaire saharien: le Gara Samani (Algérie). *C. R. Acad. Sc.*, Paris, **272**, pp. 1219-1221, 1 fig.
- CORNET, A. (1950). — Carte géologique au 1/200 000 de Géryville. *Serv. Carte . géol., Algérie*.
- CORNET, A. (1952). — L'Atlas saharien sud-oranais. *19e Congr. géol. intern.*, Alger, *Monogr. région.*, 1ère sér., n° 12, 51 p., 1 pl. h.t.
- CARRANO, M. T. & WILSON, J. A. (2001). — Taxon distributions and the Tetrapod track record. *Paleobiology*, **27**, 3, pp. 564-582.
- DEMATHIEU, G. (1990). — Problems in discrimination of tridactyl dinosaur footprints, exemplified by

- the Hettangian trackways, The Causses, France. *Ichnos*, **1**, pp. 97-110, 9 figs., 2 tabl.
- DEMATHIEU, G., GAND, G., SCIAU, J. & FREYTET, P. (2002). — Les traces de pas de dinosaures et autres archosaures du Lias inférieur des Grands Causses, Sud de la France. *Palaeovertebrata*, Montpellier, **31** (1-4), pp. 1-143.
- DEMATHIEU, G. & SCIAU, J. (1992). — Des pistes de dinosaures et de crocodiliens dans les dolomies de l'Hettangien du Causse du Larzac. *C.R.Acad.Sci.*, Paris, **315**, 2, pp. 1561-1566.
- ELLENBERGER, F., ELLENBERGER, P. & GINSBURG, L. (1970). — Les dinosaures du Trias et du Lias en France et en Afrique du Sud, d'après les pistes qu'ils ont laissées. *Bull.Soc.Géol.France*, **7**, 22, pp. 151-159.
- ELLENBERGER, P. (1974). — Contribution à la classification des pistes de vertébrés du Trias: Les types Stormberg d'Afrique du Sud (IIème Partie: Le Stormberg supérieur -I. Le biome de la zone B/1 ou niveau de moyeni: ses biocénoses). *Palaeovertebrata*, 141 p., 57 pl.h.t.
- FARLOW, J. O. (1992). — Sauropod tracks and trackmakers: integrating ichnological and skeletal records. *Zubia*, **10**, pp. 89-138.
- FARLOW, J. O., PITTMAN, J. G. & HAWTHORNE, J. M. (1989). — *Brontopodus birdi*, Lower Cretaceous Sauropod footprints from the U.S. Gulf coastal plain In Gillette D. D. et Lockley M. G. Eds, Dinosaur Tracks and traces, *Cambridge University Press*, pp. 371-394.
- GAND, G., GARRIC, J., DEMATHIEU, G. & ELLENBERGER, P. (2000). — La palichnofaune de vertébrés tétrapodes du Permien supérieur du bassin de Lodève (Languedoc, France). *Palaeovertebrata*, **29**, 1, p. 1-82.
- GAND, G., VIANEY-LIAUD, M., DEMATHIEU, G. & GARRIC, J. (2000). — Deux nouvelles traces de pas de Dinosaures du Trias supérieur de la bordure cénévole (La Grande-Combe, Sud-Est de la France). *Geobios*, **33**, 5, pp. 599-624.
- HITCHCOCK, E. (1845). — An attempt to name, classify, and describe, the animals that made the fossil footmarks of New England. *Proc. 6th Ann. Meeting, Assoc. Amer. Geolog. and Natural.*, New Haven, Connecticut, pp. 23-25.
- HITCHCOCK, E. (1858). — Ichnology of New England. A report on the sandstone of Connecticut Valley, especially its fossil footmarks. *White Edit.*, Boston, 220 p.
- LAPPARENT, A. F. DE (1959). — Les Dinosauriens du « continental intercalaire » du Sahara central. *Mém. Soc. Géol. France*, nouv. sér., n° 88, 56 p., 11 pl.
- LAPPARENT, A. F. DE & LUCAS, G. (1957). — Vertèbres de Dinosauriens sauropodes dans le Callovien moyen de Rhar Rouban (frontière algéro-marocaine du Nord). *Bull. Soc. Hist. Natur. Afrique du Nord*, Alger, **48**, pp. 234-236.
- LAPPARENT, A. F. DE & MONTENAT, C. (1967). — Les empreintes de pas de reptiles de l'Infralias du Veillon (Vendée). *Mém.Soc.Géol.France*, **46**, 2, 43 p.
- LOCKLEY, M. G. (1991). — Tracking dinosaurs: a new look at an ancient world. *Cambridge University Press*, Cambridge, 238 p.
- LOCKLEY, M. G., FARLOW, J. O. & MEYER, C. A. (1994). — *Brontopodus* and *Parabrontopodus* ichnogen.nov. and the significance of wide-and narrow-gauge sauropod trackways. *Gaia*, **10**, pp. 143-147.
- LOCKLEY, M. G., MEYER, C. A. & SANTOS, V. F. DOS (1998). — *Megalosauripus* and the problematic concept of Megalosaur footprints. *Gaia*, **15**, pp. 313-337.
- LULL, R. S. (1904). — Fossil footprint of the Jura-Trias of North America. *Mém.Boston Soc.Nat.Hist.*, **5**, pp. 461-557.
- LULL, R. S. (1915). — Triassic life of the Connecticut Valley. *Com.State Geol. and Nat. Hist. Surv. Bull.*, **24**, pp. 1-285.

- LULL, R. S. (1953). — Triassic life of the Connecticut Valley (revised). *Com. State Geol. and Nat. Hist. Surv. Bull.*, **81**, pp. 1-336.
- MAHAMMED, F., LANG, E., MAMI, L., MEKAHLI, L., BENHAMOU, M., BOUTERFA, B., KACEMI, A., CHERIEF, A., CHAOUATI, H. & TAQUET, Ph. (2005). — The "giant of Ksour", a Middle Jurassic sauropod dinosaur from Algeria. *C.R. Palevol*, **4**, pp. 707-714.
- MAHAMMED, F., MAMI, L., MEKAHLI, L., BENHAMOU, M., BOUTERFA, B., KACEMI, A. & CHERIEF, A. (2002). — Le géant du Ksour: un Dinosaur Sauropode dans le Jurassique moyen de l'Ouest de l'Algérie. *Bull. Ser. géol. Algérie.*, **13**, 1, pp. 3-19, 3 fig., 4 pl.
- MAHBOUBI, M. (1983). — L'étude géologique et paléontologique du Crétacé post-aptien et du Tertiaire continental de la bordure méridionale du Djebel Amour (Atlas saharien central, Algérie). *Thèse de 3ème cycle*, Université d'Oran, 116 p.
- MAHBOUBI, M., BESSEDIK, M., BELKEBIR, L., BENSALAH, M. & ADACI, M. (2004). — Découverte des premières empreintes digitales de dinosauriens crétacés dans la région d'El Bayadh. Colloque international «Terre et eau», Annaba, pp. 92-95, 3 fig.
- MAHBOUBI, M., BESSEDIK, M., BELKEBIR, L., ADACI, M., HEBIB, H., BENSALAH, M., MAMMERI, C., MANSOUR, B. & MANSOURI M.-H. (2007). — Première découverte d'empreintes de pas de dinosaures dans le Crétacé inférieur de la région d'El Bayadh (Algérie). *Mém. Bull. Serv. Géol., National*, Algérie, **18**, 2, pp. 127-139.
- MESLE, G. LE & PERON, A. (1880). — Sur les empreintes de pas d'oiseaux observés par M. Mesle dans le Sud de l'Algérie. *C.R. Congrès Association Française pour l'Avancement des Sciences*, Reims, pp. 428-533.
- OSBORN, H. F. (1917). — Skeletal adaptations of *Ornitholestes*, *Struthiomimus*, *Tyrannosaurus*. *Bull. Amer. Mus. Nat. Hist.* **35**, 733 p.
- OLSEN, P. E. (1980). — Triassic and Jurassic Formations of the Newark basin. In: Field studies of New Jersey Geology and Guide to Field Trips, *Manspeizer Warren (edit.)*, Yale University, New Haven, Connecticut, pp. 1-39.
- OLSEN, P. E., SMITH, J. B. & McDONALD, N. G. (1998). — Type material of the type species of the classic theropod footprint genera *Eubrontes*, *Anchisauripus*, and *Grallator* (Early Jurassic, Hartford and Deerfield basins, Connecticut and Massachusetts, USA). *Journal of Vertebrate Paleontology*, **18**, n° 3, p. 586-601.
- ROMERO MOLINA, M. M., PEREZ-LORENTE, F. & RIVAS CARRERA, P. (2003). — Analisis de la parataxonia utilizada con las huellas de dinosaurio. In: Dinosaurios y otros reptiles mesozoicos en Espana. Ciencias de la Terra, **26**, pp. 13-32.
- SANTOS, V. F., LOCKLEY, M. G., MORATALLA, J. J. & GALOPIM DE CARVALHO, A. M. (1992). — The longest dinosaur trackway in the world? Interpretations of Cretaceous footprints from Carenque, near Lisbon, Portugal. *Gaia*, **5**, pp. 18-27.
- SANTOS, V. F., LOCKLEY, M. G., MEYER, C. A., CARVALHO, J., GALOPIM DE CARVALHO, A. M. & MORATALLA, J. J. (1994). — A new sauropod tracksite from the Middle Jurassic of Portugal. *Gaia*, **10**, pp. 5-14.
- SERENO, P. C., DUTHEIL, D. B., IAROCHENE, M., LARSSON, H. C. E., LYON, G. H., MAGWERE, M., SIDOR, C. A., VARRICCHIO, D. J. & WILSON, J. A. (1996). — Predatory dinosaurs from the Sahara and Late Cretaceous faunal differentiation. *Science*, **272**, pp. 921-1068.
- STERNBERG, M. (1930). — Dinosaur tracks from Peace River, British Comobia. *Ann. Rep. Nat. Mus. Canada*, p. 59.
- THULBORN, R. A. (1990). — Dinosaur tracks. Chapman Hall (*edit.*), London, 410 p.
- WILSON, J. A. (2005). — Integrating ichnofossil and body fossil record to estimate locomotor posture and spatiotemporal distribution of early sauropod dinosaurs: a stratocladistic approach. *Paleobiology*,

31, 3, pp. 400-423.

WHRIGHT, J. (2005). — Importance of Sauropod tracks *In* Steps in understanding sauropod biology.
pp. 253-294.

LEGENDES DES PLANCHES

PLANCHE 1

Fig. 1-3: Surfaces à empreintes de pas de dinosaures des sites 1-3 d'El Bayadh; 1= El Grarij (amont); 2 = El Mouilah; 3 = Abattoirs.

Fig. 4: Dalle à ichnites de dinosaures du site 4 de Brézina (El Mezioued).



PLANCHE 2

Fig. 1-3: traces de pas de l'Ensemble 1 avec hallux (*Type-Eubrontes*) du site 1 d'El Bayadh (El Grarij-amont).

Fig. 4-6: ichnites de l'Ensemble 1 sans hallux (*Type-Eubrontes*) des sites 2 d'El Bayadh (El Mouilah) et 4 de Brézina (El Mezioued).

Fig. 7 et 8: empreintes de pas de l'Ensemble 2 (*Type-Grallator*) des sites 1 d'El Bayadh (El Grarij-amont) et 4 de Brézina (El Mezioued).

Fig. 9 et 10: traces de pas de l'Ensemble 3 (*Type-Grallator*) du site 2 d'El Bayadh (El Mouilah).

Fig. 11 et 12: empreintes de pas de l'Ensemble 4 (*Brontopodus*) du site 1 d'El Bayadh (El Grarij-aval): P = pied; M = main.

PLANCHE 2

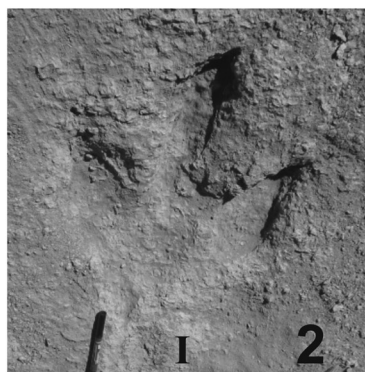
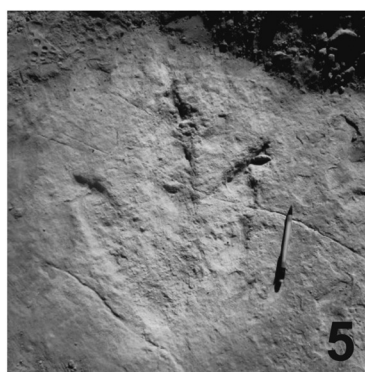
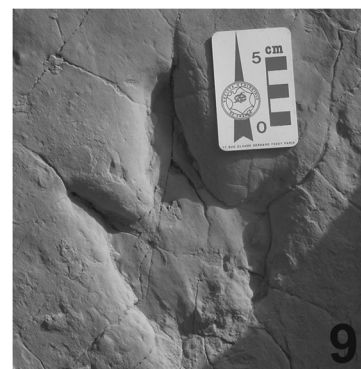
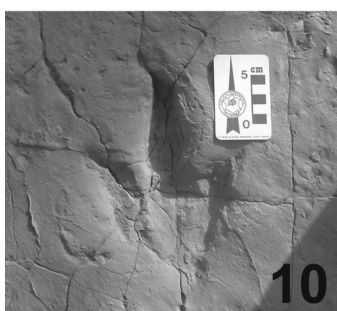
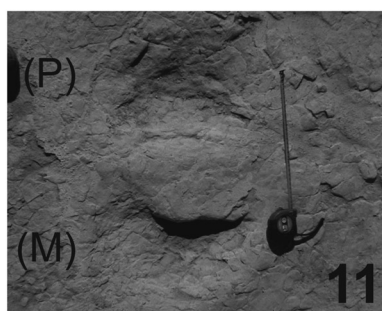
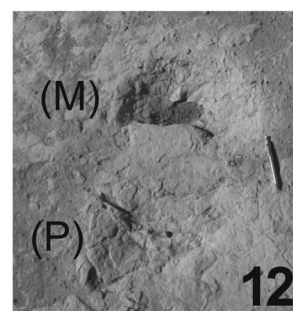


PLANCHE 3

Fig. 1: surfaces montrant les pistes d'empreintes de pas de dinosaures :

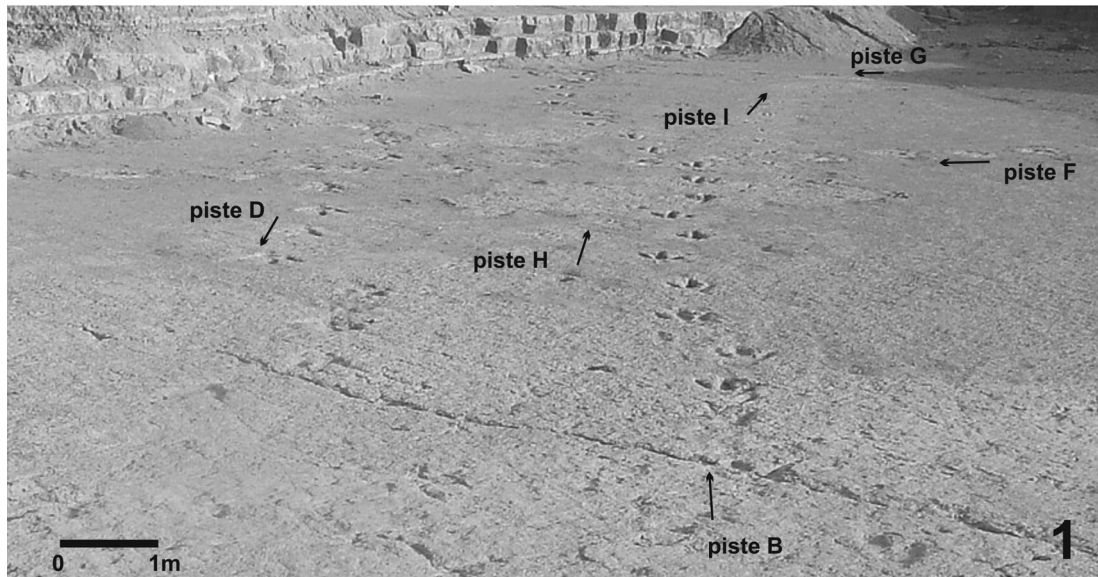
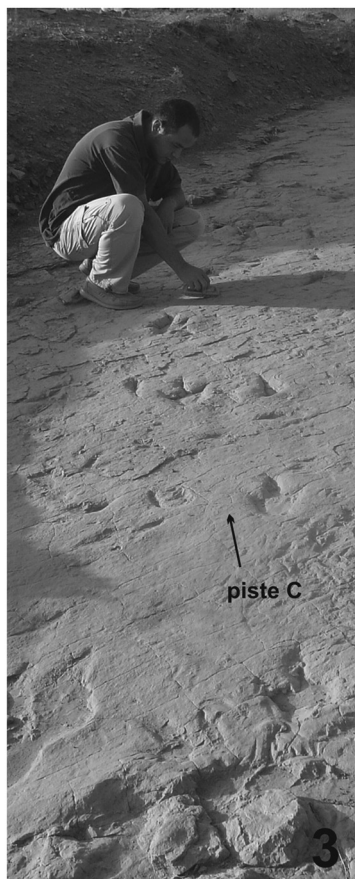
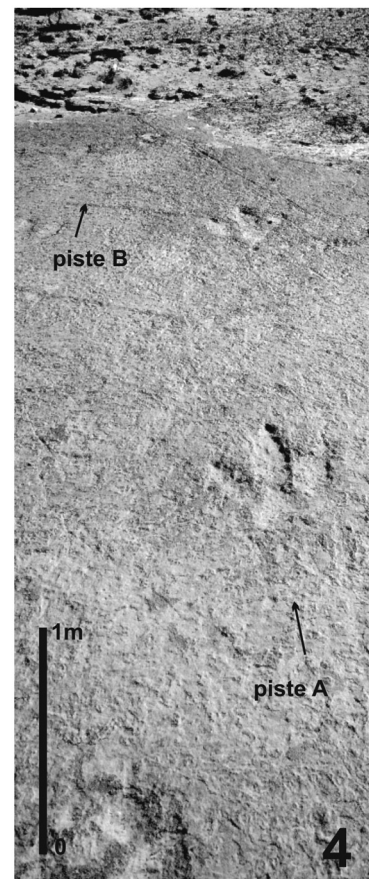
-pistes B, D, F et G appartenant à l'Ensemble 1 (*Type-Eubrontes*) du site 1 d'El Bayadh (El Grarij - amont).

-pistes H et I appartenant à l'Ensemble 2 (*Type-Grallator*) du site 1 d'El Bayadh (El Grarij amont).

Fig. 2: piste J de pas quadrupède (*Brontopodus*) du site 1 d'El Bayadh (El Grarij - aval).

Fig. 3: piste C de l'Ensemble 3 (*Type-Grallator*) du site 2 d'El Bayadh (El Mouilah).

Fig. 4: pistes A et B de l'Ensemble 1 (*Type-Eubrontes*) du site 4 de Brézina (El Mezioued).



NOUVELLES TRACES DE PAS DE DINOSAURES DANS LE CRÉTACÉ SUPÉRIEUR D'AMOURA (ATLAS SAHARIEN ORIENTAL, ALGÉRIE).

Cheikh MAMMERI *, Lahcène BELKEBIR*, Mostefa BESSEDIK
et Mahammed MAHBOUBI***

RÉSUMÉ

Le pittoresque Ksar d'Amoura est célèbre non seulement par la beauté de ses paysages et de ses jardins, mais aussi, par ses traces de pas de dinosauriens et par la coupe du Cénomanien qu'on peut lever sans aucune absence de visibilité.

La découverte de nouvelles traces de pas de dinosauriens, toujours, dans le Cénomanien, à vingt mètres plus bas que celles déjà connues depuis 1880, confère à cette localité une place de choix parmi les rares sites connus en Afrique.

Ces nouvelles traces sont comparables à certaines de la région d'El Bayadh (Crétacé inférieur) avec lesquelles elles peuvent être regroupées provisoirement dans un même ensemble. L'auteur de ces traces est attribué à un Théropode de grande taille.

Mots clés - Empreintes - Dinosaures - Cénomanien - Amoura - Atlas saharien.

NEW DINOSAUR TRACES FROM THE UPPER CRETACEOUS OF AMOURA (EASTERN SAHARAN ATLAS, ALGERIA).

ABSTRACT

The ancient village of Amoura is famous not only by the beauty of its gardens, but also by its dinosaur footprints and by the Cenomanian cross section which can be realized without any gap.

In addition to the dinosaur footprints well known since 1880, the discovery of new footprints also in the Cenomanian, twenty meters down in the series gives to the locality, an important and special position among the rare localities known in Africa.

These new footprints are comparable to some of El Bayadh area (Lower Cretaceous) which can be presently gathered in a same group.

These footprints are attributed to a large Theropode.

Key words - Footprints - Dinosaurs - Cenomanian - Amoura - Saharan Atlas.

*Laboratoire de Paléontologie Stratigraphique et Paléoenvironnement, Département des Sciences de la Terre, Université d'Oran, BP. 1524, Oran-El M'Naouer (Algérie).

**Université Hassiba Benbouali de Chlef, Hay Es Salem, BP. 151, 02000 Ech Chlef (Algérie) et Laboratoire de Paléontologie Stratigraphique et Paléoenvironnement, Département des Sciences de la Terre, Université d'Oran, BP. 1524, Oran-El M'Naouer (Algérie).

- Manuscrit déposé le 26 Janvier 2008, accepté après révision le 01 Juin 2009.

I. INTRODUCTION

C'est en 1880 que Peron et Le Mesle signalèrent la présence d'empreintes de pas fossiles dans la localité d'Amoura. Le Mesle les attribua avec doute à un gigantesque oiseau. Gaudry suggéra (*in* : Bellair et de Lapparent, 1948) qu'il fallait plutôt voir là des traces fossiles de pas de dinosauriens. En 1948, Bellair et de Lapparent revoient les traces avec plus d'attention. Ces auteurs comptent un total de 140 empreintes sur la même dalle et décrivent trois catégories d'empreintes dont deux appartiendraient à un même groupe et la troisième étant interprétée comme celle de traces de mains.

Plus tard, Bassoulet (1971) signale des contre-empreintes de dinosauriens dans l'infra-Lias de la région d'Aïn Sefra. Il s'agit de treize contre-empreintes que l'auteur attribue au genre *Grallator* Hitchcock, 1858, se rapprochant de l'espèce *Grallator variabilis* (de Lapparent et Montenat, 1967) de l'infra-Lias de Vendée.

En 2004, Mahboubi et *al.*, décrivent des empreintes dans les régions d'El Bayadh où ils notent

l'existence de cinq (05) ichnotypes et attribuent deux d'entre eux à des Sauropodes et trois (03) à des Théropodes de grande taille. Dans cette même localité, Bensalah et *al.* (2005) décrivent certaines d'entre elles et confirment la présence de trois ichnotypes, dont deux Théropodes et un Sauropode.

En 2007, Mahboubi et *al.*, reprennent l'étude des empreintes d'El Bayadh et y ajoutent celles, nouvelles, de Brézina El Mezioued en effectuant les mesures biométriques nécessaires. Ils distinguent quatre ensembles dont trois (03) sont attribués à des Théropodes et le quatrième à un Sauropode. Le signalement de ces empreintes (Théropodes et Sauropodes) a été également donné par Régagba et *al.* (2007), tout en livrant un aperçu géologique (lithostratigraphie) général sur les Monts des Ksour et le Djebel Amour.

En Afrique du Nord, la présence d'empreintes de dinosaures est étayée par de nombreuses données ostéologiques et par des empreintes d'âges différents (tabl. I). C'est dans le cadre d'une étude portant sur les traces des dinosauriens de l'Atlas saharien que nous nous sommes rendus dans la localité d'Amoura en Mars 2006.

Tableau I - Gisements des dinosauriens et des sites à ichnites de l'Atlas saharien

The bone and trace sites of Saharan Atlas Dinosaurs

Gisements		Cartes topographiques	Matériel récolté et/ou observé	Références
Gisement d'El Abiod Sidi Cheikh (oued Bou Djihane)		Feuille d'El Abiod Sidi Cheikh X = 261,20; y = 261,70	débris d'os, plaques dermiques, écailles de poissons, dents de crocodiliens et de dinosauriens (Théropodes, Sauropodes).	Bassoulet et Illiou (1967)
Gisement de Gour Et Tine		Feuille d'El Abiod Sidi Cheikh X = 247,60; y = 230,20	os divers, écailles de poissons, dents de crocodiliens	Bassoulet (1973)
Gisement de Garet El Baâj		Feuille d'El Abiod Sidi Cheikh X = 248,80; y = 235,60	dents de crocodiliens et de Théropodes, écailles de poissons,	Bassoulet (1973)
Gisement d'Ain Sefra		Feuille d'Ain Sefra X = 219,60; y = 248,10	débris d'os	Mahammed et <i>al.</i> (2002)
Gisement de Garet Toudjine		Feuille de Chellala Dahrana X = 275,80; y = 298,50	dents de crocodiliens et os de dinosauriens	Bassoulet (1973)
Gisement de Garet Et Taleb		Feuille de Chellala Dahrana X = 283,10; y = 283,60	dents de crocodiliens et os de dinosauriens	Bassoulet (1973)
Gisement de Brézina		Feuille de Brézina X = 365,10; y = 279,30	dents de crocodiliens et de Théropodes	Bassoulet (1973)
Gisement d'El Kohl		Feuille de Oued Messala	dents de crocodiliens, poissons et os de dinosauriens	Mahboubi (1983)
Amoura	Site du Village	Feuille de Messaad	ichnites de Théropodes	Bellair et de Lapparent (1948)
	Site de la Gorge		ichnites de Théropodes	Mammeri et <i>al.</i> (2007)
	Site d'El Gaada		ichnites de Théropodes	Bassoulet (1973)
Tiout	Site du Pont de Tiout	Feuille d'Ain Sefra	ichnites de Théropodes et Sauropodes	Mahboubi et <i>al.</i> (2004); Bensalah et <i>al.</i> (2005); Mahboubi et <i>al.</i> (2007); Régagba et <i>al.</i> (2007).
El Bayadh	El Grarij	Feuille de Geryville	ichnites de Théropodes	
	EL Moulah Abattoirs		ichnites de Théropodes	
	Kheneg 1 Kheneg 2 Crapaud		ichnites de Théropodes	Mammeri (2008)
Site d'El Mezioued		Feuille de Brézina	ichnites de Théropodes	Mahboubi et <i>al.</i> (2006)

Des 140 empreintes signalées, il n'en reste malheureusement qu'une cinquantaine.

Les habitants de la région demeurent fidèles à la légende racontant comment l'Ouali Essalah (marabout) Sidi Ali Ben Allouche a ordonné à sa «Naama» (autruche) de sauter sur la dalle pour laisser ses traces comme preuve de son pouvoir. Cette légende encore vivace nous a été racontée par un vieux du village et c'est en terminant son récit que M. Rébia Thamere nous a parlé de la présence d'autres traces non loin du Ksar, mais plus grandes que celles de la «Naama». Il nous guida vers l'endroit où l'on a observé des empreintes de pas de dinosaures très grandes par rapport à celles qui étaient connues jusqu'alors.

II. DESCRIPTION DES NOUVELLES EMPREINTES

A. Localisation.

Le village d'Amoura est situé à 36 km à vol d'oiseau au nord-est de la ville de Messaad sur le flanc sud du Djebel El Kahil de l'Atlas saharien oriental (Mont des Ouled Nail) de l'Algérie (fig. 1).

Afin d'être précis, les sites ont été numérotés comme suit :

site 1 : le site déjà connu se trouve actuellement au niveau même du village;

site 2 : Il est situé à 650 m au sud-ouest du site n°1 sur la même dalle;

site 3 : C'est le site des grandes et nouvelles empreintes, il est situé à 500 m du sud du site 1 et à l'est de l'ancien Ksar.

B. Description des niveaux à ichnites

La coupe géologique du Ksar d'Amoura, à partir de la limite nord de ses plaines montre comme l'avaient noté Bellair et de Lapparent (1948) : le Barrémien (500 à 600 m) gréseux (grès grossier à dragées de quartz et bois fossile); l'Aptien (40 à 50 m) marin est représenté par des marnes et des calcaires noirâtres et gris verdâtre à mollusques ayant livré des Orbitolines à Bousaâda (Flandrin, 1952); l'Albien (80 à 100 m) représenté par des grès continentaux rouges suivi par le Cénomani

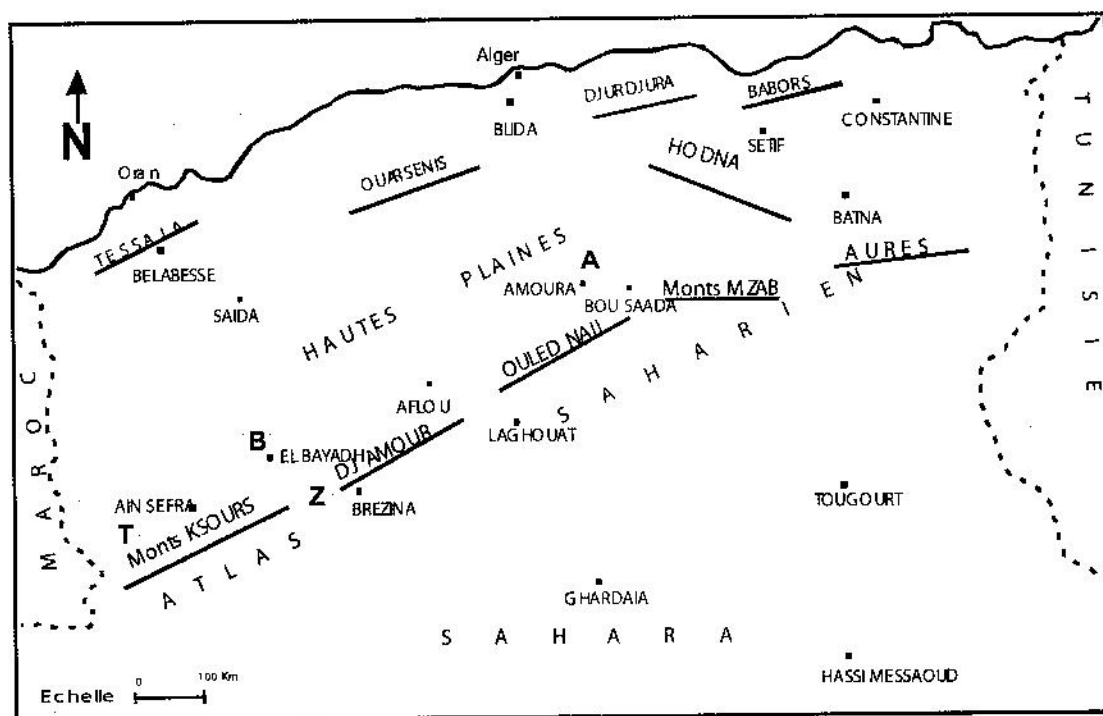


Fig. 1 - Localisation des sites à ichnites de dinosauriens de l'Atlas saharien

Sites of The Saharan Atlas Dinosaur ichnites

T : site du Pont de Tiout (*the Tiout Bridge site*), B : sites d'El Bayadh (*El Bayadh sites*); Z : site d'El Mezioued (*El Mezioued site*); A : sites d'Amoura (*Amoura sites*).

à ichnites. Ce dernier montre un premier terme (100 à 120 m) formé par des bancs de calcaires blancs décimétriques, lités, fins (mudstone) à rares intercalations de niveaux centimétriques de marnes vertes et des bancs de calcaire décimétriques, avec quelques passages de lumachelles à bivalves qui constituent sur certains bancs, des surfaces de condensation, où l'on observe de magnifiques figures de dessiccation accompagnant des surfaces rubéfiées rougeâtres. Ces faciès appartiennent au domaine de la plate forme carbonatée interne proximale en milieu supratidal.

Les deux niveaux à ichnites d'Amoura sont situés vers le sommet du premier terme du Céno-manien et à 20 m verticalement l'un de l'autre, le nouveau (à grandes empreintes) étant plus bas stratigraphiquement. La série secondaire est clôturée par le Turonien marin (25 à 250 m suivant l'affleurement) formé par des calcaires à ammonites.

C. Inventaire et description des empreintes.

Site 1 :

Le nombre total des empreintes retrouvé sur la dalle signalée par Péron et Le Mesle en 1880 est de quarante huit (48). Notons qu'en 1948, Bellair et de Lapparent revoient ces traces avec plus d'attention et en dénombrent un total de 140 sur la même dalle. Ils décrivent trois catégories d'empreintes dont deux appartiendraient à un même groupe d'empreintes de pied et la troisième étant interprétée comme celles de traces de mains.

Vingt et une (21) de ces empreintes de pas sont assez bien conservées pour permettre de prendre des mesures (tabl. II). Ces dernières concernent aussi bien ce premier site que les deux autres (voir infra) : les longueurs des doigts II, III, et IV; la valeur (D) correspondant au dépassement du doigt III par rapport à la droite liant les bouts des doigts II et IV; l'angle (T) entre les médianes des doigts II et IV; la longueur totale (L) de la trace prise entre l'arrière du talon et le bout du doigt III et enfin la largeur (l) prise entre les bouts des doigts II et IV. La méthode utilisée et les descriptions ont été réalisées suivant les travaux de : Lockley et Jennings (1987); Dalla Vecchia (1998);

Demathieu et *al.* (2002); Le Loeuf et *al.* (2002); Kappus et Cornell (2003); Courel et Demathieu (2006); Mammeri (2008); Bessedik et *al.* (Sous presse). Elle servira aux futures études ichnosystématiques.

Ce sont des empreintes tridactyles bien allongées aux doigts assez fins (fig. 2). Le doigt II montre deux coussinets, dont celui de départ le reliant au reste de l'empreinte est plus petit et plus large que celui portant la griffe. Ce dernier montre une courbure plus prononcée que le coussinet portant la griffe du doigt IV. Le doigt II est également plus large et plus court que le doigt IV et il est plus écarté que le doigt IV du doigt III. Le coussinet de départ du doigt II est plus en avant que celui du doigt IV. Celui du doigt III, le plus long des trois, est en avant par rapport aux doigts II et IV.

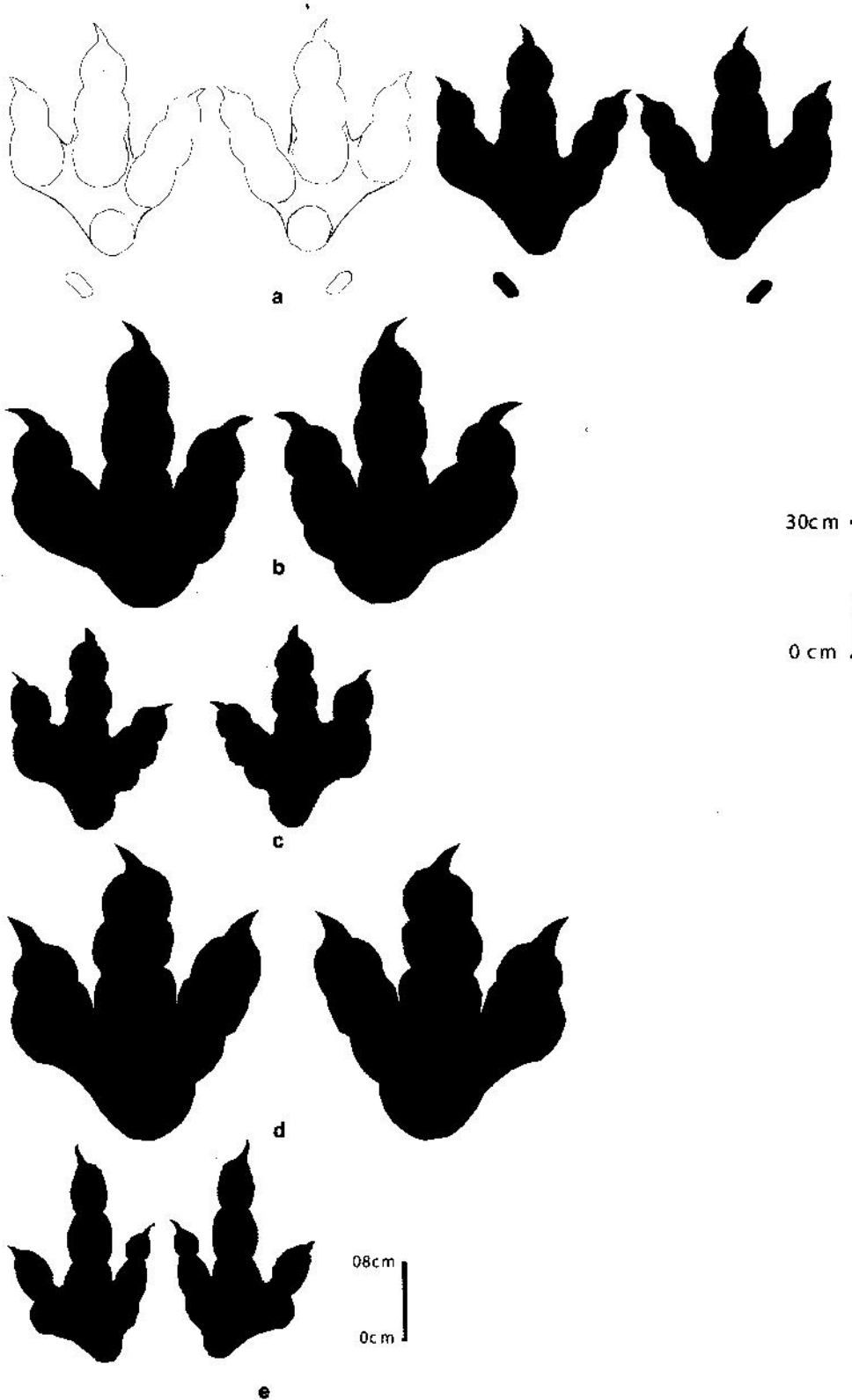
A côté des empreintes décrites, il existe également les traces signalées par les deux auteurs et interprétées comme dues à des traces de mains que l'animal aurait laissées en s'arrêtant.

Celles que nous avons retrouvées et qui correspondent à la description des auteurs sont au nombre de trois. L'empreinte, plus large que longue, montre trois marques pratiquement de même longueur (6 cm), disposées en éventail et se présente sous forme de trois (3) marques séparées les unes des autres, ne montrant aucune indication d'un quelconque lien (talon) entre elles. Pour l'une des traces, la marque gauche est plus écartée que les deux autres. Pour la seconde, la marque du milieu est pratiquement perpendiculaire à celle de droite. Pour la troisième, les trois marques toujours disposées en éventail, sont rapprochées les unes aux autres. Ces empreintes nous paraissent dues à des traces de griffes plutôt qu'à un organe entier (main ou pied).

Site 2 :

Au niveau du site 2, quarante et une (41) empreintes ont été répertoriées, dont quatorze (14) se sont prêtées à des mesures (tabl. III). Elles présentent les mêmes caractères descriptifs morphologiques que celles du site 1, même si les moyennes des doigts III et IV sont légèrement supérieures.

NOUVELLES TRACES DE PAS DE DINOSAURES DANS LE CRÉTACÉ SUPÉRIEUR D'AMOURA
(ATLAS SAHARIEN ORIENTAL, ALGÉRIE)



Dinosaurian footprints of the Algerian Saharan Atlas

a et b : empreintes de la région d'El Bayadh (*El Bayadh area footprints*); **c :** empreinte de la région de Mezioued (Brézina) (*Brezina area footprints*); **d :** nouvelles empreintes d'Amoura (présente note) (*Amoura new ichnites (this paper)*); **e :** empreintes d'Amoura (Bellair et de Lapparent, 1880) (*Amoura footprints (described by Bellair and de Lapparent, 1880)*).

Tableau II - Moyennes et bornes (cm) des paramètres biométriques (site 1 Amoura). Nb : Nombre. T : degré**Biometric parameter averages and their limits (cm) (Amoura site 1). Nb : Number. T : degree.**

Eléments	Nb actif	Moyenne	Bornes	
			Minimum	Maximum
Doigt II	21	9,76	9	11
Doigt III	21	15,73	14	17
Doigt IV	21	11,5	10,5	12,5
D	21	8,76	7,5	9,5
T	21	50	49	52
L	21	23,31	21,5	24,5
I	20	14,9	12,5	16,5

Tableau III - Moyennes et bornes (cm) des paramètres biométriques (site 2 Amoura), T : degré**Biometric parameter averages and their limits (cm) (Amoura site 2), T : degree.**

Eléments	Nb actif	Moyenne	Bornes	
			Minimum	Maximum
Doigt II	14	9,71	9	10,5
Doigt III	14	16,5	15	18
Doigt IV	14	13,5	13	14,5
D	14	8,46	7,5	9,5
T	14	50,14	49	52
L	13	23,76	23	24,5
I	13	14,96	13	17

Tableau IV - Moyennes et bornes (cm) des paramètres biométriques (site 3 Amoura), T : degré**Biometric parameter averages and their limits (cm) (Amoura site 3), T : degree.**

Eléments	Nb actif	Moyenne	Bornes	
			Minimum	Maximum
Doigt II	06	30,00	29,00	31,00
Doigt III	06	42,16	41,00	43,00
Doigt IV	06	33,66	32,00	36,00
D	06	11,83	11,00	13,00
T	06	50,66	50,00	52,00
L	06	60,83	58,00	61,00
I	06	48,66	47,00	51,00

Site 3 :

C'est celui des nouvelles empreintes non signalées dans la bibliographie. Un total de 30 empreintes a été répertorié, dont six (06) sont bien conservées et se prêtent à des mesures fiables (tabl. IV).

Ce sont des traces tridactyles (fig. 2), montrant successivement les doigts : interne (II); médian (III) et externe (IV). L'empreinte est plus longue que large et les doigts sont assez fins par rapport à leur taille. Les doigts présentent tous des traces de griffes. Celles des doigts II et IV sont toujours dirigées vers l'extérieur, celle du doigt médian (III)

est dirigée vers le doigt II et vers la gauche quand il s'agit d'une droite et vers le doigt II mais vers la droite quand il s'agit d'une gauche. Quand l'empreinte est bien conservée, les doigts III et IV montrent trois (03) coussinets, le doigt II en montre deux (02). Le doigt II est bien séparé du III, le doigt IV est au contraire bien lié au doigt III et paraît en dépassement par rapport à celui-ci vers l'arrière. Par ailleurs, le doigt II forme un angle assez net avec le talon alors que le doigt IV est en continuité presque parfaite avec ce dernier. La médiane du doigt III passe toujours à droite du talon quand il s'agit d'une droite et à gauche de celui-ci quand il s'agit d'une gauche.

Le tableau IV résume les valeurs des moyennes des paramètres pris en considération. Il montre entre autres la grande différence de taille (L= 60,83 cm, I= 48,66 cm) entre les nouvelles traces et celles déjà connues, la longueur moyenne de l'empreinte étant de 24 cm, celle de sa largeur étant de 17 cm pour les plus grandes.

D. Comparaisons des ichnites d'Amoura avec celles de l'Atlas saharien algérien et avec quelques espèces de référence des Grands Causses français.

a. Taille.

Par leur taille, les nouvelles empreintes d'Amoura sont comparables à certaines empreintes des sites de la région d'El Bayadh (El Mouilah et El Grarij : ensemble 1 : Mammeri, 2008 ; Bessedik et al., sous presse). En effet, sur le graphe L/I (fig.3), elles apparaissent dans un même sous-ensemble englobant des empreintes qui ont des longueurs avoisinant 60 cm et des largeurs proches de 40 cm. Elles restent cependant décalées en haut et à droite par rapport aux autres empreintes de grande taille (plus de 45 cm de longueur et 32 cm de largeur) de l'Atlas saharien. Elles se différencient également très bien d'*Eubrontes giganteus* (Demathieu et al., 2002) qui est la plus grande forme des Causses français.

Les empreintes déjà décrites, celles des sites 1 et 2, apparaissent dans le même nuage de points avec celles du site 2 d'El Bayadh El Mouilah (pistes a, b, c, d, e, k, l et o : ensemble 3; Mammeri, 2008; Bessedik et al., sous presse) de la région d'El Bayadh et sont plus petites que d'autres de la

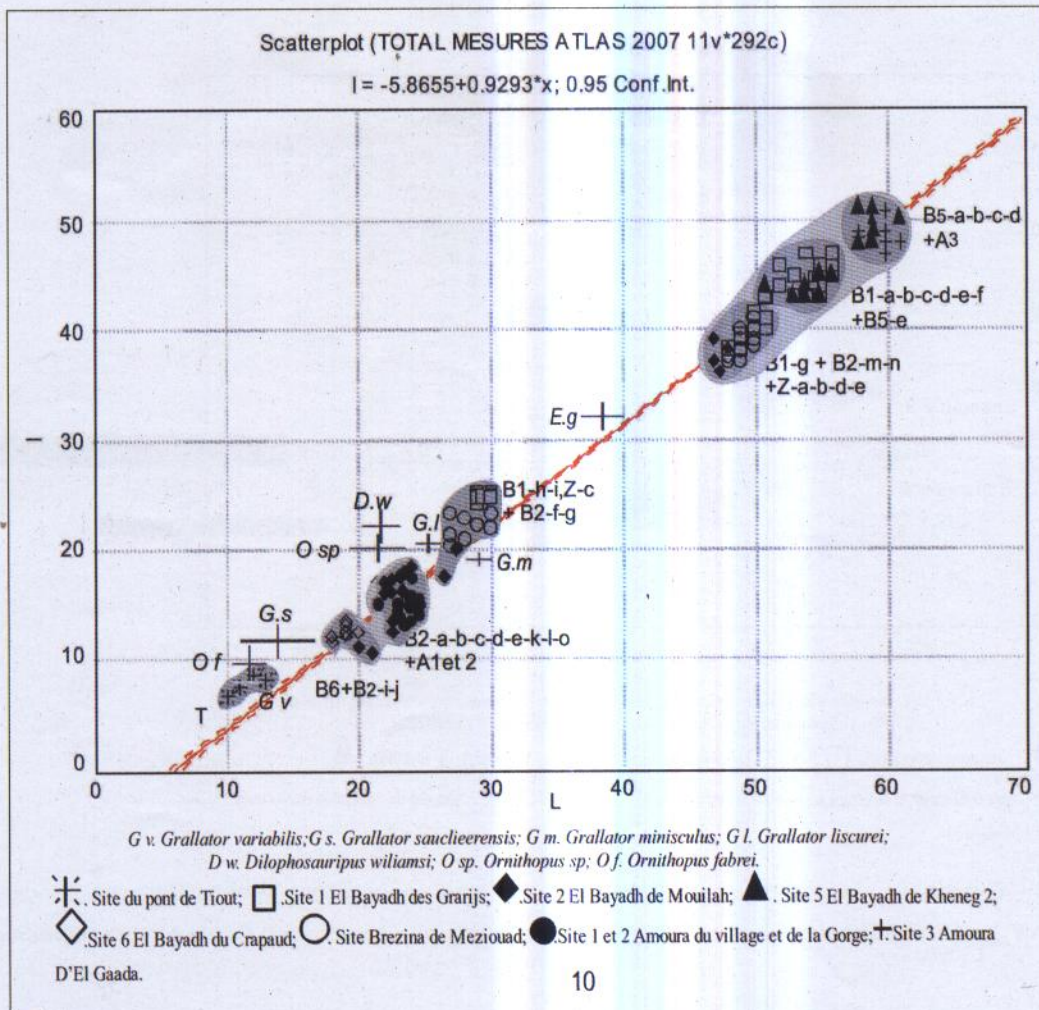


Fig. 3 - Comparaison des paramètres L-l des ensembles atlasiques et de quelques ichnoespèces des Grands Causses français

Length-width (L-l) parameters in comparison between the Saharan Atlas ichnotypic assemblages and some French Causses ichnospecies

même région (site 1 d'El Bayadh El Grarij) et de celles du site de Brézina El Mézioued. Elles apparaissent également bien distinctes de *Grallator minusculus*, *Grallator liscurei* et *Dilophosauripus williamsi* des grands Causses français (Demathieu et al., 2002).

b. Le paramètre T.

Par le paramètre T, les nouvelles (grandes) empreintes d'Amoura se détachent de l'ensemble des traces atlasiques et de celles des Grands Causses français. Sur le graphe T/L (fig. 4), elles apparaissent en haut et à gauche des empreintes d'El Bayadh avec lesquelles elles étaient contenues dans un même nuage de points sur le graphe L/l (ensemble 1 : Mammeri, 2008; Bessedik et al., sous presse). Ces dernières montrent des valeurs de T supérieures à 55° et pou-

vant dépasser les 60° alors que celles d'Amoura ne dépassent guère 50°.

Par ailleurs, si l'angle T des nouvelles empreintes d'Amoura peut être comparable à celui de certaines ichnoespèces des Causses français, la différence (grande) de la taille laisse ces dernières en position plus basse sur le graphe T/L.

Les empreintes des sites 1 d'Amoura village et 2 d'Amoura la Gorge apparaissent dans le même nuage de points que celles du site 2 d'El Bayadh El Mouilah (pistes a, b, c, d, e, k, l et o) mais décalées vers la gauche par leur angle T ayant des valeurs sensiblement faibles par rapport à celles du site 2 d'El Bayadh El Mouilah (Mammeri, 2008; Bessedik et al., sous presse). De ce fait, elles prennent une position intermédiaire entre les ensembles 2 et 3 des sites d'El Bayadh (El Grarij, El Mouilah).

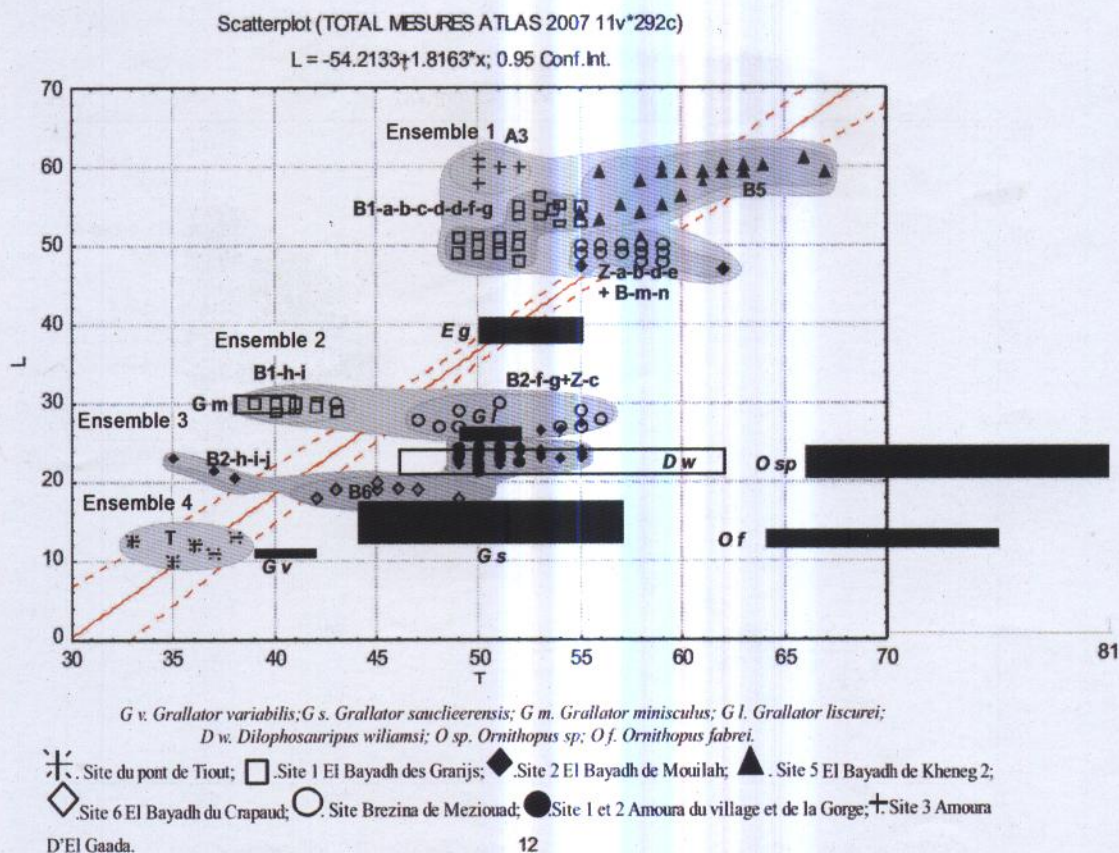


Fig. 4 - Graphe T-L des ensembles atlasiques et des ichnoespèces des Grands Causses français
Graph T-L of the Saharan Atlas ichnotypic assemblages and the French Causses ichnospecies

c. Le paramètre D.

Par ce paramètre, les empreintes de grande taille d'Amoura se distinguent nettement de toutes celles de l'Atlas saharien et des Causses français. Sur le graphe L/D (fig. 5), elles apparaissent plus bas et à droite que la plupart des empreintes de grande taille de l'Atlas saharien et plus bas et à droite qu'*Eubrontes giganteus* des Causses français; cette ichnoespèce peut présenter des valeurs de D plus grandes que celles des grandes empreintes d'Amoura.

Les empreintes des sites 1 d'Amoura village et 2 d'Amoura la Gorge apparaissent dans le même nuage de points de l'ensemble 3 du site 2 d'El Bayadh El Mouilah (Mammeri, 2008; Bessedik et al., sous presse) où elles se confondent avec certaines de ses empreintes (pistes a, b, c, d, e, k, l et o).

Par conséquent, l'on peut conclure que les empreintes de pas d'Amoura village (site 1) et d'Amoura la Gorge (site 2) sont proches, par leurs caractères (taille, T et D), de celles reconnues

(ensemble 3) dans le site 2 d'El Bayadh El Mouilah (Mammeri, 2008; Bessedik et al., sous presse) avec toutefois des différences en ce qui concerne l'angle de divarication (T) dont les mesures montrent des valeurs de T supérieures à 50°, pouvant atteindre 55° (ensemble 3), l'angle (T) des empreintes d'Amoura (sites 1 et 2) étant légèrement inférieur (45 à 50°).

Bellair et de Lapparent (1948) avaient décrit ces traces d'Amoura village (site 1) et d'Amoura la Gorge (site 2) sous le nom d'*Ornithomimus* (= *Struthiomimus*), empreintes qui ont été réétudiées par Haubold (1971) et auxquelles il a attribué le nom de *Columbosauripus amourensis* (page 71). Le genre *Columbosauripus* et l'espèce *C. unguatus* ont été créés par Sternberg (Lockley et al., 2006) sur des empreintes tridactyles du Canada (Crétacé inférieur). Ces conclusions permettent d'étendre au moins provisoirement (?) cette dénomination générique sur l'ensemble 3 d'El Bayadh El Mouilah; les caractéristiques spécifiques de cette dernière forme, restent néanmoins distinctes par rapport à celles de l'ichnoespèce *Columbosauripus amourensis*.

NOUVELLES TRACES DE PAS DE DINOSAURES DANS LE CRÉTACÉ SUPÉRIEUR D'AMOURA
(ATLAS SAHARIEN ORIENTAL, ALGÉRIE)

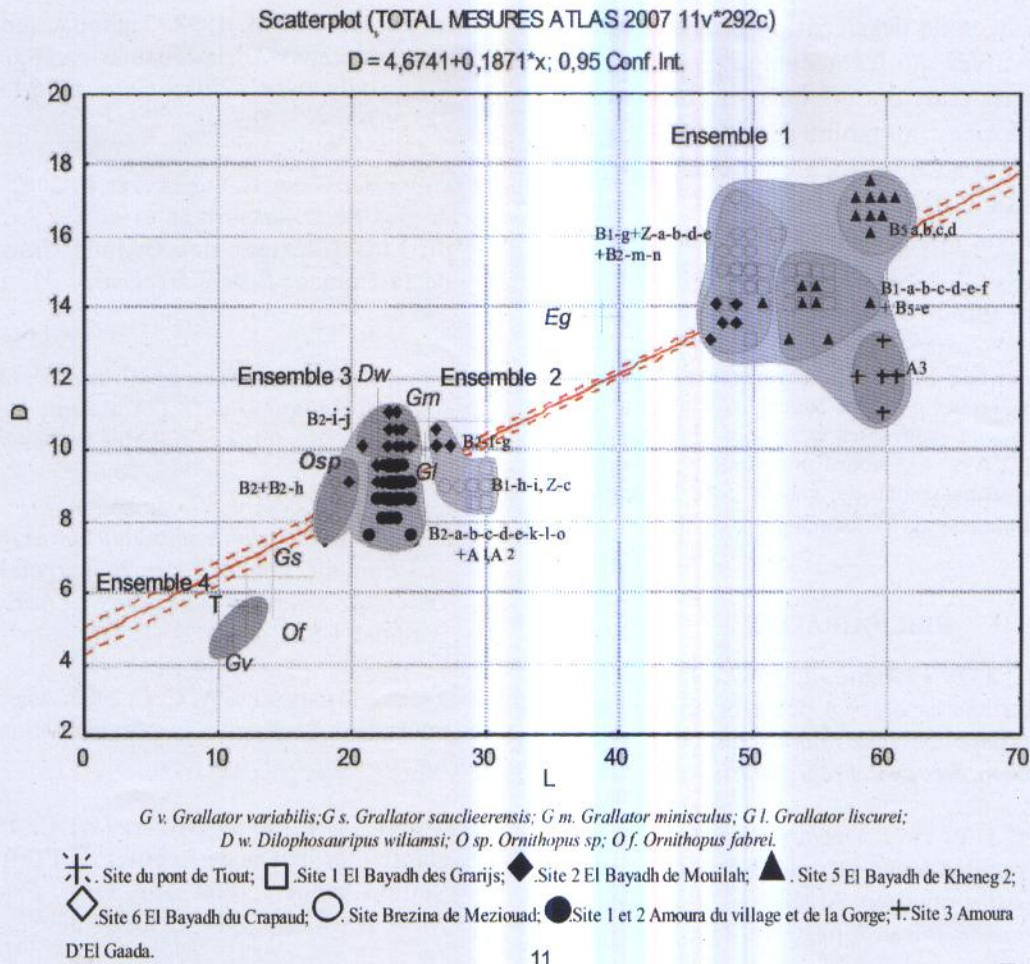


Fig. 5 - Comparaisons des paramètres L-D des ensembles atlasiques et de quelques ichnoespèces des Grands Causses français

Length-width (L-D) parameters in comparison between the Saharan Atlas ichnotypic assemblages and some French Causses ichnospecies

Ceci étant, il y avait bien en Afrique au Crétacé inférieur des Coelurosaures, mais aucun représentant des Ornithomimides qui sont exclusivement américains et asiatiques.

III. Conclusion

En plus des empreintes déjà connues dans le Cénomanién de la région d'Amoura, une trentaine de nouvelles (grandes) traces viennent d'être découvertes dans cette localité dans la série à 20 m au dessous de la dalle à petites empreintes signalée depuis 1880. Il s'agit d'empreintes tridactyles de dinosauriens de grande taille appartenant au groupe des grands Théropodes.

Elles se distinguent fortement des premières (de petite taille) et de celles des grands Causses français par leur morphologie et leur taille beaucoup,

plus grande, mais comparables à certaines grandes traces de la région d'El Bayadh.

Comparables à celles du site 2 d'El Bayadh El Mouilah (pistes a, b, c, d, e, k, l et o), les empreintes de pas d'Amoura village (sites 1) et d'Amoura la Gorge (site 2) ont été décrites (Bellair et de Lapparent, 1948) sous le nom d'*Ornithomimus* (= *Struthiomimus*) Bellair et de Lapparent, 1948, lequel a été attribué à l'ichnoespèce *Columbosauripus amorensis* Haubold, 1971. En conséquence, l'ensemble 3 d'El Bayadh El Mouilah peut être rapporté au moins provisoirement à l'ichnogène ? *Columbosauripus* Sternberg, 1932.

Ces empreintes peuvent être attribuées aux représentants des Coelurosaures qui sont exclusivement africains, les représentants des Ornithomimides étant nettement américains et asiatiques.

Les surfaces de dessiccation et les condensations de bivalves qui les accompagnent prouvent que le milieu était côtier, qu'il a été exondé à plusieurs reprises (au moins deux fois ce qui correspond aux deux niveaux à empreintes) permettant le passage des dinosaures dans la zone de rivage. Par leur position stratigraphique tardive au Mésozoïque, elles appartiennent probablement à des espèces typiquement africaines.

Remerciements : Les auteurs remercient vivement Monsieur Ph. Taquet pour ses suggestions et critiques du manuscrit. Ils sont redevables envers les Habitants et les Membres de l'APC d'Amoura pour leur hospitalité. La mission n'aurait pas connu de succès sans le soutien et l'aide exceptionnelle de M. Dahman.

BIBLIOGRAPHIE

- BASSOULLET, J.-P. ET ILIOU, J. 1967.** Découverte de dinosaurens associés à des crocodiliens et des poissons dans le Crétacé inférieur de l'Atlas saharien. *C. R. Somm. Soc. géol. France, Paris*, 7, pp. 294-295.
- BASSOULLET, J.-P. 1971.** Découverte d'empreintes de pas de reptiles dans l'Infra-Lias de la région d'Aïn Sefra (Atlas saharien, Algérie). *C. R. Somm. Soc. géol. France, Paris*, 7, pp. 358-359, 1 fig.
- BASSOULLET, J.-P. 1973.** Contribution à l'étude stratigraphique du Mésozoïque de l'Atlas saharien occidental (Algérie). *Thèse. Sci. Nat. Univ. Paris VI*, 497 p., 50 figs., 32 pl.
- BELLAIR, P. ET LAPPARENT, A. F. de. 1948.** Le Crétacé et les empreintes de pas de Dinosaurens d'Amoura (Algérie). *Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique Nord*, 39, pp. 168-175.
- BENSALAH, M., ADACI, M., HEBIB, H., BESSEDIK, M., BELKEBIR, L., MAHBOUBI, M., MANSOURI, M.-H., MAMMERI, C. ET MANSOUR, B. 2005.** Présence d'empreintes de pas de Dinosaurens dans le Crétacé au Nord d'El Bayadh (Djebel Amour Algérie). *Sciences et Technologie*, 23, pp. 107-109.
- BESSEDIK, M., MAMMERI, C., BELKEBIR, L., MAHBOUBI, M., ADACI, M., HEBIB, H., BENSALAH, M., MANSOUR, B. ET MANSOURI, M. H. (sous presse).** Nouvelles données sur les ichnites de Dinosaures de la région d'El Bayadh (Crétacé inférieur, Algérie). *Palaeo-vertebrata*.
- COUREL, L. ET DEMATHIEU, G. 2006.** Une nouvelle ichnoespèce *Coelurosaurichnus grancieri* du Trias supérieur de l'Ardèche France. *Geo-diversitas*, 22, 1, pp. 35-46.
- DALLA VECCHIA, F. M. 1998.** Theropod footprints in the Cretaceous Adriatic-Dinaric carbonate platform (Italy and Croatia). *Gaia*, n°15, Lisboa, pp. 355-367.
- DEMATHIEU, G., GAND, G. ET FREYTET, P. 2002.** Les traces de pas de Dinosaurens et autres Archosaures du Lias inférieur des Grands Causses, Sud de la France. *Paleovertebrata*, 31, fasc. 1-4, 143 p.
- FLANDRIN, J. 1952.** Les chaînes atlasiques et la bordure nord du Sahara. *Publ. XIX^e Cong. Géol. Inter. Alger*, monographie régionale, 1^{ère} sér., 14, 82 p., 6 fig.
- HAUBOLD, H. 1971.** *Ichnia amphiborium et Reptilorum fossilium* du Handbuch der Paoherpetologie. Teil 18. *Oskar Kuhn Edits., Gustav Verlag, Stuttgart, Portland. USA.*
- KAPPUS, E. AND CORNELL, W. C. C. 2003.** A new dinosaur tracksite in Southern New Mexico. *Palaeontologia Electronica*, 6, 3, 6 p.
- LAPPARENT, A. F. de ET MONTENAT, C. 1967.** Les empreintes de pas de Reptiles de l'Infra-Lias du Veillon Vendéc. *Mém. Soc. Géol. France. n.s., XLVI*, n° 107, pp. 1-44, 18 fig. 13 pl.
- LE LOEUF, J., SASIDHORN, K., BUFFETAUT, E., VARAVUDH, S., HAIYAN, T. AND CHRISTEL, S. 2002.** Dinosaur footprints, from the Phra Wiham Formation (Early Cretaceous of Thaïland). *Aca, Scien., Edi, Scien., Elveter*, pp. 287-292.
- LOCKLEY, M. G. AND JENNINGS, C. 1987.** Dinosaur Tracksite of Western Colorado and Eastern Utha. Late Cretaceous Coal.Mine.Tracks. *Museum of Western Colorado*, 03p.
- LOCKLEY, M. G., HOLBROOK, J., KUKIHARA, R. AND MATSUKAWA, M. 2006.** An Ankylosaur-Dominated dinosaur tracksite in the Cretaceous Dakota Group of Colorado : paleoenvironmental and sequence stratigraphic context. Edited by Lacas, S.G. and Sullivan, R.M., Late Cretaceous vertebrates from the western interior. *New Mexico Museum of Natural History and Science*, bulletin 35, pp. 95-104.
- MAHAMMED, F., MAMI, L., MEKAHLI, L., BENHAMOU, M., BOUTERFA, B., KACEMI, A. ET CHERIEF, A. 2002.** Le géant du Ksour : un Dinosaur Sauropode dans le Jurassique moyen de l'Ouest de l'Algérie. *Mém. Bull. Serv. Géol., Algérie*, 13, 1, pp. 3-19, 3 figs., 4 pl.

NOUVELLES TRACES DE PAS DE DINOSAURES DANS LE CRÉTACÉ SUPÉRIEUR D'AMOURA
(ATLAS SAHARIEN ORIENTAL, ALGÉRIE)

- MAHBOUBI, M. 1983.** L'étude géologique et paléontologique du Crétacé post-aptien et du Tertiaire continental de la bordure méridionale du Djebel Amour (Atlas saharien central, Algérie). *Thèse 3^e cycle, Univ. Oran*, 116 p. (inédit).
- MAHBOUBI, M., BESSEDIK, M., BELKEBIR, L., BENSALAH, M. ET ADACI, M. 2004.** Découverte des premières empreintes digitales de Dinosauriens crétacés dans la région d'El Bayadh. *Coll. Intern. Terre et Eau, Annaba*, pp. 92-95.
- MAHBOUBI, M., BESSEDIK, M., BELKEBIR, L., MAMMERI, C., ADACI, M., HEBIB, H., BENSALAH, M., MANSOUR, B. ET MANSOURI, M.-H. 2006.** Données préliminaires sur les ichnites de pas de dinosaures du Crétacé inférieur de la région d'El Bayadh (Djebel Amour, Atlas saharien central). *12^{ème} Sém. Nat. Sci. Terre., Oran*. pp. 34-35, (résumé).
- MAHBOUBI, M., BESSEDIK, M., BELKEBIR, L., BENSALAH, M., ADACI, M., HEBIB, H., MAMMERI, C., MANSOUR, B. ET MANSOURI, M.E.H. 2007.** Premières découvertes d'empreintes de pas de dinosaures dans le Crétacé inférieur de la région d'El Bayadh (Algérie). *Bull. Serv. Géol. Nat.*, vol. 18, n°2, pp. 127-139, 3 figs., 2 tabl., 1 pl.
- MAMMERI, C., BELKEBIR, L., BESSEDIK, M. ET MAHBOUBI, M. 2007.** Nouvelles ichnites de pas de Dinosauriens dans le Crétacé supérieur d'Amoura (Atlas saharien oriental, Algérie). *3^{ème} Sém. Nat. Strat., Laghouat*. p. 45, (résumé).
- MAMMERI, C. 2008.** Les sites mésozoïques à empreintes de pas de dinosauriens de l'Atlas saharien : ichno-systématique et paléogéographie. *Magister, Univ. Oran*, 79 p.
- PERON, A. ET LE MESLE, M. 1880.** Sur des empreintes de pas d'Oiseaux observées par M. Le Mesle dans le Sud de l'Algérie. *A.F.A.S., Reims*, p. 528.
- REGAGBA, A., MEKAHLI, L., BENHAMOU, M., HAMMADI, N. ET ZEKRI, A. 2007.** Découverte d'empreintes de pas de dinosauriens (Théropodes et Sauropodes) dans les « grès des Ksours » du Crétacé inférieur de la région d'El Bayadh (Atlas saharien central, Algérie). *Bull. Serv. Géol. Nat.*, vol. 18, n° 2, pp. 141-159, 4 fig., 1 tabl., 4 pl.
- STERNBERG, C. M. 1932.** Dinosaur tracks from Peace River, British Columbia. *National Museum of Canada, Annual Report, for 1930*: pp. 59-85.

Planche I

a, b : Empreintes tridactyles du site 1 signalées par Peron et Le Mesle (1880).

Tridactylous footprints of site 1 pointed out by Peron and Le Mesle (1880).

c : Empreintes tridactyles du site 2 semblables à celles du site 1.

Tridactylous footprints of site 2 similar to thoses of site 1.

d, e : Empreintes tridactyles attribuées par Bellair et de Lapparent, 1948;
à des traces de mains.

***Footprints with three marks allotted by Bellair and de Lapparent, 1948;
to hand traces.***

f : Détail du doigt II des empreintes décrites. par Bellair et de Lapparent, 1948

Finger II detail of footprints described by Bellair et de Lapparent, 1948.

g, h : Nouvelles empreintes d'Amoura.

New footprints of Amoura.

NOUVELLES TRACES DE PAS DE DINOSAURES DANS LE CRÉTACÉ SUPÉRIEUR D'AMOURA
(ATLAS SAHARIEN ORIENTAL, ALGÉRIE)



Planche II

a : Figures de dessiccation du niveau à empreintes déjà décrites (site 1).

Dessication figures of footprints level already described (site 1).

b : Surface rougeâtre à la surface du niveau à empreintes déjà décrites (site 1).

Reddish surface on the footprints level surface already described (site 1).

c : Figures de dessiccation du niveau à empreintes déjà décrites (site 2).

Notez également les gouttes de pluie.

Dessication figures of the level with already described footprints (site 2).

Note Also the rain drops.

d : Figures de dessiccation au sommet du banc à nouvelles empreintes (site 3).

Dessication figures at the top of the new footprints bench (site 3).

e,f : Surface de condensation au sommet du banc à nouvelles empreintes (site 3)

Condensation surface at the top of the new footprints bench (site 3).

NOUVELLES TRACES DE PAS DE DINOSAURES DANS LE CRÉTACÉ SUPÉRIEUR D'AMOURA
(ATLAS SAHARIEN ORIENTAL, ALGÉRIE)



Résumé : Vingt-et-un (21) sites à empreintes de pas de dinosaures ont été recensés dans l'Atlas saharien (Monts des Ksour et Monts des Ouled Nail). Ces sites apparaissent, le plus souvent, dans des faciès gréseux et dont l'âge s'étend du Rhétien-Hettangien jusqu'au Cénomanien.

Dans l'ensemble, 862 empreintes ont été soumises à une analyse morphologique et quantitative détaillée ayant permis de différencier huit (08) ichnogenres.

Parmi les empreintes de formes dinosauroïdes (tri- et tétradactyles) dont les auteurs seraient des théropodes carnivores, se distingue l'ichnogenre *Eutynichnium* (Nopsca, 1932). Ce dernier est représenté par des empreintes tétradactyles de grande taille. Les empreintes tridactyles de grande taille, d'âge jurassique supérieur, sont rapprochées de celles de *Megalosauripus* (Lessertisseur, 1957) alors que celles du Crétacé sont attribuables à *Megalosauropus* (Colbert et Merelees, 1967). Les empreintes de taille moyenne ont des affinités avec *Therangospodus* (Lockley et al., 1998) tandis que les formes de petite taille sont plus proches de *Columbosauripus* (Stenberg, 1932) et *Grallator* (Hitchcock, 1848).

Les formes brontopoïdes montrent deux morphologies bien distinctes avec des empreintes en couple main-pied, dues à des dinosaures herbivores quadrupèdes. La première est attribuée à l'ichnogenre *Brontopodus* et la deuxième à *Parabrontopodus*.

Sur le plan paléogéographique, ces ichnites de dinosaures apparaissent toujours sur des discontinuités sédimentaires limitant des séquences d'inondation, en début de transgression ou en phase de stabilisation. Elles se trouvent ainsi dans des environnements côtiers à la limite du domaine marin et continental, sous climat chaud. Tel des estuaires, des plaines exondées recouvertes ultérieurement suite à une avancée marine ou des domaines supra-deltaïques, sièges d'inondations fluviales. Pareilles conditions semblent avoir régné à différentes périodes dans le sillon atlasique, depuis le début de son ouverture au Trias supérieur jusqu'au Cénomanien.

Mots clés : Atlas saharien, Dinosaures, Empreintes, Ichnogenres.

Abstract: Twenty-one (21) sites of dinosaur's footprints have been inventoried through the Saharan Atlas, from the Ksour Mountains in the west to the Ouled Nail Mountains in the east. The benches with footprints have an age ranging from the Rhetian-Hettangian to the Cenomanian. Generally, 862 fingerprints were subjected to a detailed morphological analysis allowing the recognition of eight (8) ichnogenra systematically different.

In the fingerprints of tri- and tetradactyl dinosauroid forms, whose authors are carnivorous theropod dinosaurs, the *Eutynichnium* ichnogenus Nopsca, 1932, represented by large tetradactyl fingerprints, is recognized. Large Tridactyl fingerprints of the upper Jurassic age are compared to those of *Megalosauripus* Lessertisseur, 1957, while those of the Cretaceous are attributed to the *Megalosauropus* Colbert and Merelees, 1967. Medium-sized fingerprints have affinities with those of the ichnogenus *Therangospodus* (Lockley et al., 1998) while the small fingerprints are similar to those of *Columbosauripus* (Stenberg, 1932) and *Grallator* (Hitchcock, 1848).

The brontopoid forms present two distinct morphologies with hand-footprints, due to quadruped herbivorous dinosaurs; the first is attributed to the ichnogenus *Brontopodus* and the second to *Parabrontopodus*.

These dinosaurs' ichnites appear on sedimentary discontinuities that limit flood sequences, at the beginning of transgression or in a stabilization phase. So the fingerprints are found in coastal environments at the boundary of the marine and continental domains, under hot climate.

This is the case for estuaries, exuded plains and then covered by a marine advance or the supra-delta domains, which are domains river flooding.

Such conditions seem to have prevailed at different periods in the Atlasic sulcus, from the beginning of its opening in the Upper Triassic to the Cenomanian.

Key words : Saharian Atlas, Dinosaurs, footprints, ichnogenera.