



UNIVERSITÉ MOHAMMED V – AGDAL
FACULTÉ DES SCIENCES
Rabat



N° d'ordre 2377

THÈSE DE DOCTORAT

Présentée par

Jaouad NOURI

Discipline : Géologie

Spécialité : Bassins sédimentaires et patrimoine géologique

LA PALÉOICHOLOGIE DES EMPREINTES DE PAS DE DINOSAURIENS IMPRIMÉES DANS LES COUCHES DU JURASSIQUE DU HAUT-ATLAS CENTRAL

Soutenue le 08 septembre 2007

Devant le jury

Président :

Mr. Ahmed EL-HASSANI Professeur - Directeur de l'Institut Scientifique - Rabat

Examineurs:

Mme. Badia BOUAB Professeur - Faculté des Sciences - Rabat

Mr. Mohamed BOUTAKIOUT Professeur - Faculté des Sciences - Rabat

Mr. Mustapha LABRAIMI Professeur - Faculté des Sciences - Rabat

Mr. Félix PÉREZ-LORENTE Professeur - Édifice Scientifique et Technique - Logroño

Invité :

Mr. Moulay Youssef ENNADIFI Président de l'Association pour la Protection du Patrimoine Géologique du Maroc (APPGM), Président du conseil de surveillance (Holcim Maroc)

Faculté des Sciences, 4 Avenue Ibn Battouta B.P. 1014 RP, Rabat – Maroc
Tel +212 (0) 37 77 18 34/35/38, Fax: +212 (0) 37 77 42 61, <http://www.fsr.ac.ma>

-SOMMAIRE-

AVANT PROPOS	6
DÉDICACE	7
RÉSUMÉ	8

CHAPITRE I : INTRODUCTION GÉNÉRALE

A- GÉNÉRALITÉS SUR LES DINOSAURIENS :	10
I- ORIGINE DES DINOSAURIENS :	10
a- Introduction :	10
b- Classification des dinosauriens :	10
c- Extinction des dinosauriens :	30
II- DINOSAURIENS DU MAROC :	31
a- Historique sur les ossements :	31
b- Historique sur les investigations des traces de pas de dinosauriens dans le Haut-Atlas central :	32
B- GÉNÉRALITÉ SUR LA PALÉOICHOLOGIE DINOSAURIENNE :	36
I- INTRODUCTION À LA PALÉOICHOLOGIE :	36
II- PROBLÈMES LIÉS À LA PALÉOICHOLOGIE :	36
a- Disposition pyramidale des espèces de dinosauriens :	36
b- Parataxonomie des ichnofossiles :	37
III- FORMATION DES EMPREINTES DE PAS ET LEURS RELATIONS AVEC LES STRUCTURES SÉDIMENTAIRES :	40
a- Introduction :	40
b- Facteurs impliqués dans la fossilisation des empreintes de pas de dinosauriens :	41
c- Propriétés de la fange d'impression :	41
d- Structures associées :	42
e- Principales phases de la formation des empreintes (tab. 6 - fig. 40) :	43

CHAPITRE II : LES TECHNIQUES ET LES MÉTHODES UTILISÉES POUR MESURER LES ICHNITES DE PAS DE DINOSAURIENS

I- INTRODUCTION :	48
II- ÉTUDE DES TRACES INDIVIDUELLES :	48
a- Critères biomorphologiques :	48
b- Critère métrique et biométrique (Haubold, 1971 ; Sarjeant, 1975 ; Demathieu, 1986 ; Casanovas et al. (1989)) :	49
III- ÉTUDE DES PISTES ET LEURS ASSOCIATIONS :	51
a- Critères biomorphologiques :	51
b- Étude des critères biométriques :	52
1- Piste bipède :	52
2- Piste quadrupède :	56

**CHAPITRE III : ÉTAT DE CONSERVATION ET DE PROTECTION DES
ICHNITES DE PAS DE DINOSAURIENS**

I- ÉTAT DE CONSERVATION ET DE RESTAURATION DES EMPREINTES DE PAS DE DINOSAURIENS:	61
a- État de conservation des gisements marocains:	61
1- Gisement d'Ibaqalliwn :	61
2- Gisements d'Iouaridène :	62
b- Restauration des empreintes de pas de dinosauriens :	62
1- Restauration :	63
c- Protection des empreintes de pas de dinosauriens :	65
1- Clôtures :	66
2- Abris :	67

**CHAPITRE IV
ÉTUDE PALÉOICHOLOGIQUE EFFECTUÉE SUR LES ICHNITES DE
DINOSAURIENS DU HAUT-ATLAS CENTRAL**

A- MÉTHODOLOGIE UTILISÉE POUR TRAITER LES GISEMENTS DU HAUT-ATLAS CENTRAL DU MAROC :	69
B- EMPREINTES DE PAS DE DINOSAURIENS DE LA PLATE-FORME LIASIQUE DE LA VALLÉE DES AÏT BOU GUEMMEZ :	69
I- SECTEUR D'ÉTUDE :	69
II- CADRE GÉOLOGIQUE SUCCINCT DE LA VALLÉE DES AÏT BOU GUEMMEZ :	69
III- ÉTUDE DES PRINCIPAUX GISEMENTS ICHNOLOGIQUES :	71
a- Premier gisement d'Ibaqalliwn 1Ib (fig. 78) :	71
1- Piste 1Ib1 :	72
2- Empreintes de la piste 1Ib1 :	74
3- Piste 1Ib2 :	76
4- Empreintes de la piste 1Ib2 :	78
b- Deuxième gisement d'Ibaqalliwn 2Ib (fig. 82) :	78
1- Piste 2Ib1 :	78
2- Empreintes de la piste 2Ib1 :	80
3- Piste 2Ib2 :	80
4- Empreintes de la piste 2Ib2 :	81
5- Piste 2Ib3 (fig. 85) :	81
6- Empreintes de la piste 2Ib3 :	82
7- Piste 2Ib4 (fig. 86) :	82
8- Empreintes de la piste 2Ib4 :	83
9- Piste 2Ib5 :	83
10- Empreintes de la piste 2Ib5 :	84
c- Gisement de Tabant (fig. 88) :	85
1- Piste 1Ta1 :	85
2- Empreintes du gisement de Tabant :	86
d- Gisement Ahabak (Ah) :	87
1- Piste 1Ah1 (fig. 90) :	88

2- Empreintes de la piste 1Ah1 :	89
e- Gisements de Sidi Moussa :	89
1- Empreintes :	89
f- Gisement d'Aguer-n-Ouzrou :	89
1- Empreintes :	90
IV- CONCLUSION :	91
C- EMPREINTES DE PAS DE DINOSAURIENS DES GISEMENTS DE BIN EL OUIDANE :	92
I- SECTEUR D'ÉTUDE :	92
II- CONTEXTE GÉOLOGIQUE SUCCINCT:	92
III- ÉTUDE DES PRINCIPAUX GISEMENTS ICHNOLOGIQUES :	94
a- Gisement 1Bo :	94
1- Pistes du gisement 1Bo :	94
2- Empreintes du gisement 1Bo :	95
3- Les structures associées aux empreintes du gisement 1Bo :	95
4- Précisions sur les limites des empreintes :	99
5- Processus de formations des empreintes du gisement 1BO :	101
b- Deuxième gisement de Bin El Ouidane 2Bo :	101
1- Gisement 2Bo :	102
2- Pistes du gisement 2Bo :	102
3- Empreintes du gisement 2Bo :	102
c- Troisième gisement de Bin El Ouidane 3Bo :	103
1- Pistes :	103
2- Empreintes :	104
IV- CONCLUSION :	105
D- EMPREINTES DE PAS DE DINOSAURIENS DU "MÉGAGISEMENT" DU SYNCLINAL D'IOUARIDÈNE:	105
I- SECTEUR D'ÉTUDE :	105
II- CONTEXTE GÉOLOGIQUE SUCCINCT SUR LE SYNCLINAL D'IOUARIDÈNE :	106
III- ÉTUDE DES PRINCIPAUX GISEMENTS ICHNOLOGIQUES DE LA CUVETTE D'IOUARIDÈNE, HAUT-ATLAS CENTRAL DE DEMNATE :	106
a- Premier gisement d'Aït Mimoun (1Am) (fig. 111) :	106
1- Piste 1Am1 et 1Am2 :	108
2- Empreintes des pistes 1Am1 et 1Am2 :	110
3- Piste 1Am3 :	113
4- Empreintes de la piste 1Am3 :	114
5- Piste 1Am4 :	115
6- Empreintes de la piste 1Am4 :	115
b- Deuxième gisement d'Aït Mimoun (2Am) :	116
1- Piste 2Am1 :	116
2- Empreintes de la piste 2Am1 :	116
c- Troisième gisement d'Aït Mimoun (3Am) :	116
1- Pistes 3Am1 et 3Am2 :	117
2- Empreintes des pistes 3Am1 et 3Am2 :	118
3- Piste 3Am3 (fig. 123) :	120

4- Empreintes de la piste 3Am3 :	_____	120
5- Piste 3Am4 :	_____	121
6- Empreintes de la piste 3Am4 :	_____	122
7- Piste 3Am5 :	_____	123
8- Empreintes de la piste 3Am5 :	_____	123
d- Quatrième gisement d'Aït Mimoun (4Am) :	_____	124
1- Piste 4Am1 :	_____	125
2- Empreintes de la piste 4Am1 :	_____	127
3- Interprétation des empreintes de la piste 4Am1 :	_____	128
4- Pistes 4Am2, 4Am3, 4Am4 (fig. 133) :	_____	132
5- Empreintes des pistes 4Am2, 4Am3, 4Am4 :	_____	132
6- Piste 4Am5 :	_____	133
7- Empreintes de la piste 4Am5 :	_____	133
e- Cinquième gisement d'Aït Mimoun (5Am) :	_____	134
1- Piste 5Am1 :	_____	134
2- Empreintes de la Piste 5Am1 :	_____	134
f- Sixième gisement d'Aït Mimoun (6Am) :	_____	135
1- Piste 6Am1 (fig. 137) :	_____	136
2- Empreintes de la piste 6Am1 :	_____	136
3- Piste 6Am2 (fig. 139) :	_____	138
4- Empreintes de la piste 6Am2 :	_____	138
5- Piste 6Am3 :	_____	138
6- Empreintes de la piste 6Am3 :	_____	139
g- Premier gisement du Taghbalout (1Tg) :	_____	139
1- Piste 1Tg1 :	_____	139
2- Empreintes du gisement 1Tg :	_____	140
h- Deuxième gisement du Taghbalout (2Tg) :	_____	143
1- Piste 2Tg1 (fig. 143) :	_____	143
2- Empreintes du gisement 2Tg :	_____	143
i- Troisième gisement du Taghbalout (3Tg) :	_____	144
1- Piste 3Tg1 (Fig. 146) :	_____	145
2- Empreintes de la piste 3Tg1 :	_____	146
3- Piste 3Tg2 :	_____	146
4- Empreintes de la piste 3Tg2 :	_____	146
5- Piste 3Tg3 (fig. 148) :	_____	147
6- Empreintes de la piste 3Tg3 :	_____	147
j- Premier gisement du Tirika (1Ti) :	_____	148
1- Piste 1Ti1 :	_____	148
2- Empreintes de la piste 1Ti1 :	_____	149
3- Piste 1Ti2 :	_____	150
4- Empreintes de la piste 1Ti2 :	_____	150
k- deuxième gisement du Tirika (2Ti) :	_____	151
1- Piste 2Ti1 :	_____	151
2- Empreintes de la piste 2Ti1 :	_____	152
3- Piste 2Ti2 :	_____	153

4- Empreintes de la piste 2Ti2 :	153
1- Troisième gisement du Tirika (3Ti) :	155
1- Piste 3Ti1 :	155
2- Empreintes de la piste 3Ti1 :	155
3- Piste 3Ti2 :	156
4- Empreintes de la piste 3Ti2 :	156
5- Piste 3Ti3 :	156
6- Empreintes de la piste 3Ti3 :	157
7- Piste 3Ti4 :	157
8- Empreintes de la piste 3Ti4 :	158
IV- CONCLUSION :	158

CHAPITRE V
VALORISATION DU "MÉGAGISEMENT" DES EMPREINTES DE PAS DE DINOSAURIENS
DU SYNCLINAL D'IOUARIDÈNE PAR LA MISE EN APPLICATION D'UN SIG :
UTILISATION DANS LE CADRE DU GÉOPARC M'GOUN

A- INTRODUCTION :	164
I- OBJECTIFS :	164
II- MÉTHODOLOGIE :	164
III- RÉSULTATS ATTENDUS :	164
B- MISE EN APPLICATION D'UN SIG, "MÉGAGISEMENT" DINOSAURIEN D'IOUARIDÈNE:	166
I- GÉNÉRALITE SUR LE SIG :	166
a- Définition et concepts de base :	166
b- Étapes de la mise en œuvre d'un SIG (fig. 163, 164) :	166
c- Étapes adoptées pour élaborer le SIG sur notre secteur d'études :	167
d- Base de données géographique élaborée sur la mosaïque topographique d'échelle 1/250 000 :	168
C- DÉVELOPPEMENT DE L'APPLICATION PAR LA VALORISATION DU "MÉGAGISEMENT" DE TRACES DE PAS DE DINOSAURIENS DU SYNCLINAL D'IOUARIDÈNE (PROJET GÉOPARC M'GOUN) :	182
I- GÉNÉRALITE SUR LA NOTION "MÉGAGISEMENTS" :	182
II- ZONE PILOTE (SYNCLINAL D'IOUARIDÈNE) :	182
III- BASE DE DONNÉES GÉOGRAPHIQUES ÉLABORÉE DE LA CARTE TOPOGRAPHIQUE DE TIFNI 1/50 000 ET DE LA MOSAÏQUE PHOTO AÉRIENNE 1/20 000 :	184
a- Base de données géographique de la carte topographique de Tifni (1/50 000) :	184
b- Base de données géographique de la mosaïque des photos aériennes (1/20 000) :	185
c- Extraction d'un modèle numérique de terrain et quelques critères topographiques sur la carte topographique de Tifni (1/50 000) :	189
3- Superposition de la mosaïque des photos aériennes et les paramètres topographiques sur l'MNT du synclinal d'Iouaridène (fig. 184) :	196
4- Mise en œuvre d'une zone de tampon (fig. 185) au alentour des couches ichnologiques du "Mégagisement" de traces de pas des dinosauriens du synclinal d'Iouaridène :	196

CHAPITRE VI CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE :	200
PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES :	204
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :	227

AVANT PROPOS

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué dans le cadre de l'UFR : Bassins sédimentaires : Analyse géodynamique et ressources naturelles, du laboratoire de la Paléontologie et de la Stratigraphie du département des Sciences de la terre de la faculté des Sciences, Agdal Rabat sous la direction de Monsieur Mohamed BOUTAKIOUT, en collaboration avec le Centre de la Paléoichnologie de Dinosauriens de la Rioja, Espagne sous la direction de Monsieur Félix PÉREZ-LORENTE.

Au terme de ce travail je remercie vivement mon professeur Mohamed Boutakiout le coordinateur de l'Unité de Formation et de Recherche - UFR : "Bassins sédimentaires : Analyse géodynamique et ressources naturelles" et le Directeur de ma thèse, il m'a encouragé pendant toutes mes années de préparation, et m'a transmis sa passion et sa rigueur de recherche.

Je remercie profondément le Professeur Félix PÉREZ-LORENTE le directeur du muséum de la la Paléoichnologie des dinosauriens de la Rioja, pour son encadrement, sa grande connaissance sur la paléoichnologie dinosaurienne et l'accueil qu'il me réservait au sein de son équipe de recherche à la Rioja en Espagne.

Je tiens remercier vivement Monsieur Ahmed EL-HASSANI Professeur, Directeur de l'Institut Scientifique, Université Mohammed V-Agdal ; je vous remercie pour l'honneur que vous me faites en acceptant d'être président de mon jury je vous adresse mes profonds respects.

Je remercie profondément Messieurs les membres du jury qui ont accepté d'examiner ce travail malgré leurs nombreuses responsabilités :

Madame Badia BOUAB Professeur, Université Mohammed V-Agdal, faculté des Sciences, Rabat ; je vous remercie ardemment votre disponibilité d'être parmi les membres du jury.

Monsieur Mustapha LABRAIMI Professeur, Université Mohammed V-Agdal, faculté des Sciences, Rabat ; rapporteur de ce travail, j'ai toujours apprécié votre esprit critique je vous exprime ma sincère reconnaissance.

Monsieur Youssef ENNADIFI, Président de l'Association pour la Protection du Patrimoine Géologique du Maroc (APPGM), et Président du conseil de surveillance (Holcim Maroc), je vous remercie vivement de l'honneur que vous me faites en acceptant de siéger dans le jury de ma thèse et ainsi sur l'intérêt que vous portez sur la sauvgarde de ce patrimoine géologique fini et non renouvelable.

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail à la mémoire de mon petit frère le feu Nouri Abdessamed, décédé à l'âge de 32 ans, qui était un atout pour cette thèse, c'était grâce à lui que j'avais entamé le levé de la plupart des gisements de traces de pas de dinosauriens sur terrain. En plus, il a assuré mes besoins financiers pour me consacrer à mes recherches, donc je serais digne et durant toute ma vie à cet immense personnage.

Sans oublier, les efforts de ma mère qui m'a aidé matériellement et psychologiquement jusqu'au bout, plus mon père, mon frère Haddou et ma sœur Fadoua.

Et sans oublier tous les gens qui m'ont appui de près et de loin parmi eux Arara bouchra, Nfinif rached.

*Je suis aussi très reconnaissant à l'Observatoire National de l'environnement du Maroc, en la personnalité de son chef de division Monsieur Amil, qui m'a accepté en tant que stagiaire au sein de son établissement, j'ai été appuyé pour l'élaboration du **SIG** par le chef de service Mlle Bourous, et les cadres Monsieur Tajani, et Mlle Moufarik, je les remercie tous et vivement et à l'Institut Scientifique de Rabat, en la personnalité de Mr le Professeur Rahali qui m'a aidé à extraire le **MNT** du synclinal d'Iouaridène.*

RÉSUMÉ

Le Haut-Atlas central du Maroc constitue une zone privilégiée pour l'étude ichnologique des empreintes de pas de dinosauriens Jurassiques. La présente étude est qualifiée de la première thèse doctorale nationale, portant sur la Paléoichnologie des traces de pas de vertébrés. L'analyse ichnologique a été réalisée à partir de l'étude de trois secteurs :

☞ La zone des Aït Bou Guemmez avec six gisements, le nombre des traces analysées dépasse 150 empreintes de Théropodes et de Sauropodes qui sont imprimées sur des calcaires de plate-forme carbonatée liasique inter à supratidale ;

☞ La zone de Bin El Ouidane avec trois gisements, les traces tridactyles englobent des empreintes de petite taille de l'ordre de 10 cm de longueur. Les gisements sont gravés sur des grès fins laminés de l'Aalénien-Bajocien ;

☞ La zone d'Iouaridène avec douze gisements, les empreintes tridactyles et ovales, en nombre de 340, sont impressionnantes. Dans ce secteur, une nouvelle ichno-espèce est reconnue et nommée *Eutynichnium atlasipodus* n. Sp. Toutes les empreintes d'Iouaridène sont enregistrées sur des dalles argileuses craquelées à fentes de dessiccation, datant de l'Oxfordien ?-Kimméridgien.

L'analyse ichnologique est établie en premier lieu par des techniques biométriques qui ont permis de reconstituer l'allure, la locomotion et le comportement des dinosauriens.

La lithologie est analysée dans le sens des structures sédimentaires en association générées par les empreintes.

La paléogéographie constitue un outil conduisant à mettre en évidence les paléomilieus et les orientations des pistes des dinosauriens.

L'ichno-taxonomie a conduit à reconnaître cinq groupes d'empreintes de pas dans le Haut-Atlas central :

☞ Les petits Théropodes "Coelurosauriens" se distinguant par des empreintes allongées et effilées de petite taille qui ne dépassent guère 25 cm de longueur ;

☞ Les grands Théropodes "Carnosauriens" caractérisés par de grandes empreintes allongées, robustes et portant des doigts massifs, articulés et terminés par des griffes crochues à l'intérieur de la piste ;

☞ Les Mégalosauriens tétradactyles et digitigrades qui se différencient par l'intégration du hallux dans l'enveloppe de l'empreinte ;

☞ Les Ornithopodes dont l'autopode subcirculaire mesure autant de longueur que de largeur, les empreintes sont digitigrades et tridactyles avec un coussinet par doigt ;

☞ Les Sauropodes forment des pistes quadrupèdes (pied/main) avec des traces ovales, les empreintes antérieures sont davantage écartées vers l'extérieur de la piste par rapport à celles des empreintes postérieures, l'ichno-genre le plus reconnu est *breviparopus* ou *parabrontopodus*.

La valorisation et la protection de ce patrimoine ont conduit à l'élaboration et la mise en application d'un SIG (système d'information géographique), par photo interprétation et spatiale dans le cadre de la création du projet Géoparc M'Goun dans la région Tadla-Azilal. Une zone tampon est mise en évidence sur les limites des dalles ichnologiques d'Iouaridène.

Mots clés : Maroc, Haut-Atlas central, Jurassique, dinosauriens, empreintes de pas, paléoichnologie, biométrie, Théropode, Ornithopode, Sauropode, Géoparc M'Goun, SIG.

CHAPITRE I
INTRODUCTION GÉNÉRALE

A- GÉNÉRALITÉS SUR LES DINOSAURIENS :

I- ORIGINE DES DINOSAURIENS :

a- Introduction :

Les dinosauriens sont apparus au cours du Trias supérieur, il y a 230 millions d'années, ils ont disparu voici 65 millions d'année, pendant le Crétacé supérieur. Le Jurassique (-205 à -135 ma) constitue l'ère des terribles reptiles colonisant presque tous les écosystèmes du globe terrestre (**tab. 1**).

PÉRIODE	DURÉE	
Crétacé	65-144 m.a.	Extinction des dinosauriens, des reptiles volants ptérosaures et des reptiles marins ichthyosaures et plésiosaures. Domination des grands dinosauriens.
Jurassique	144-213 m.a.	Dinosauriens gigantesques. Mammifères archaïques.
Trias	213-248 m.a.	Premiers dinosauriens, tortues, ichthyosaures, plésiosaures et mammifères.

Tableau 1 : Répartition chronologique des dinosauriens (Harland et al., 1982).

Les dinosauriens sont des fossiles qui suscitent un intérêt du grand public par leur impressionnante taille. Les ossements et les traces de pas constituent des éléments d'étude importants pour une meilleure compréhension des paléomilieus continentaux mésozoïques nécessaires pour les reconstitutions paléoécologiques, paléoclimatologiques et paléogéographiques de la planète et du domaine atlasique en particulier.

b- Classification des dinosauriens :

Les dinosauriens (saurischiens et ornithischiens, **fig. 1**) sont inclus parmi les archosauriens qui auraient une fosse préorbitaire.

Les dinosauriens sont différenciés en raison de l'orientation du pubis. L'orientation antéro-ventrale du pubis est présentée dans la majorité des archosauriens (*Lagosuchus*, **fig. 2**). Les caractères des saurischia sont surtout localisés dans le crâne (**fig. 3**), les vertèbres, les mains et l'ischion.

Selon la structure des bassins (**fig. 4**), des crânes et des membres, on peut distinguer deux grandes unités taxonomiques :

1- Saurischiens ou sauripelviens :

Ils atteignent d'énormes tailles (long cou et queue) et englobent généralement des formes herbivores quadrupèdes ou Sauropodes (*Diplodocus*, *Brachiosaurus* (**fig. 5**)...), ce sont les plus grands vertébrés terrestres.

Le bassin est triradié sans prépubis, les dents s'étendent tout au long des bords de la partie antérieure des mâchoires. Le corps est massif les pieds sont robustes et portent généralement des griffes. Le cou est long porteur d'une petite tête. Le caractère grégaire, indiqué par de nombreuses pistes, suggère un mode de vie terrestre en troupeaux.

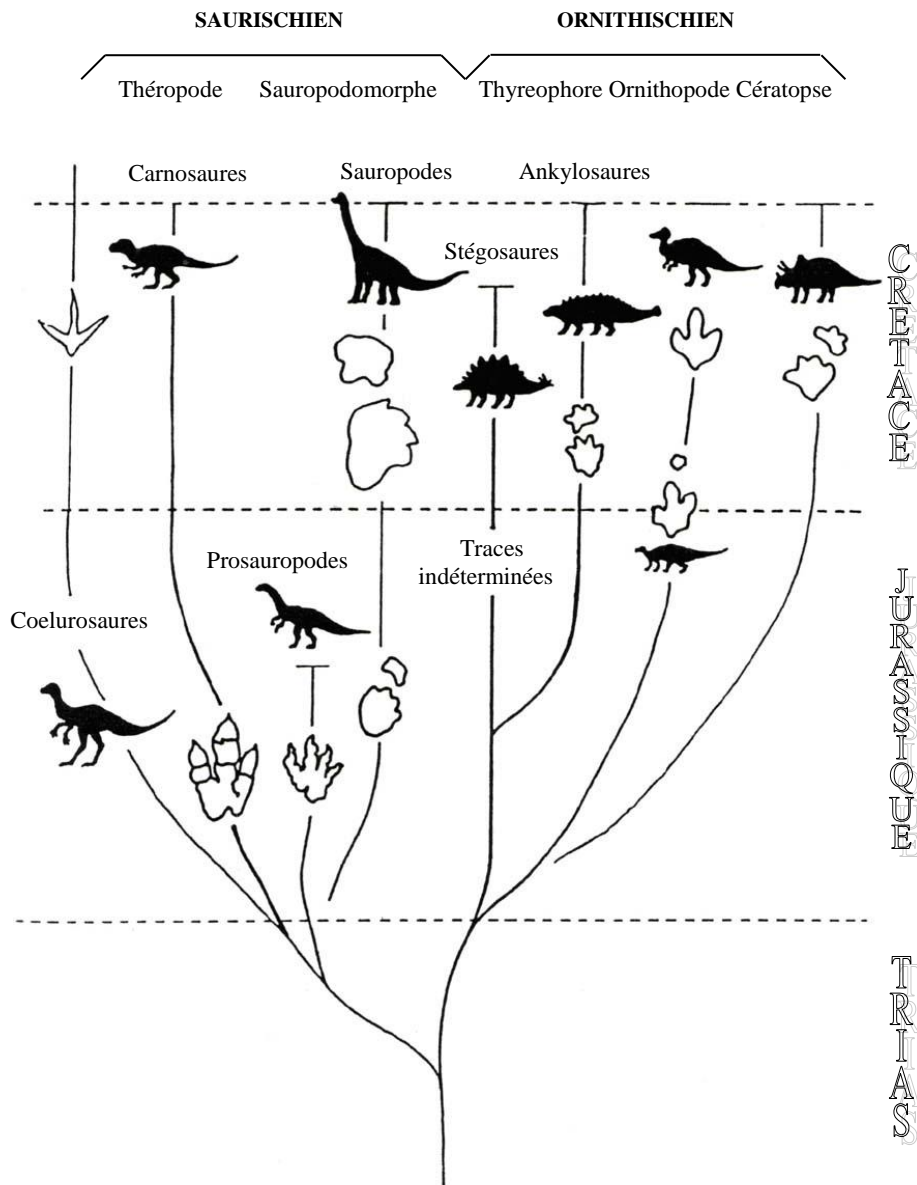


Figure 1 : Arbre généalogique simplifié des dinosauriens et des différents types d'empreintes associées aux principaux groupes connus (Lockley, 1993).

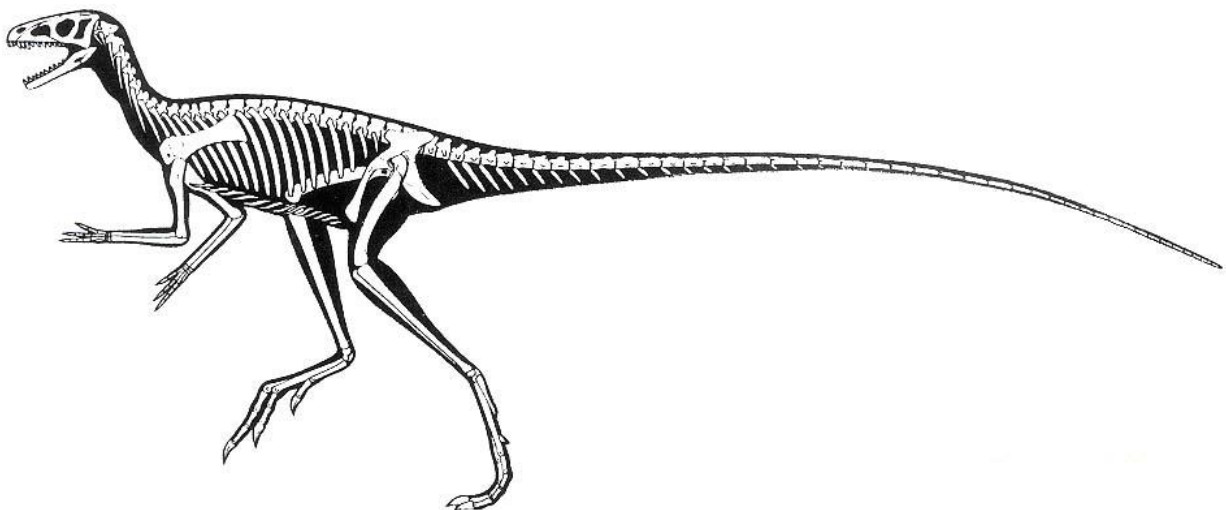


Figure 2 : Reconstitution d'un *Marasuchus* (*Lagosuchus*) (Sereno et al., 1994).

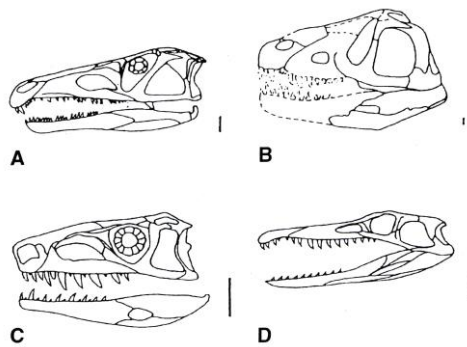


Figure 3 : Crânes des archosauriens de base : A, *Proterosuchus* ; B, *Erythrosuchus africanus* ; C, *Euparkeria capensis* ; D, *Chanaresuchus*. Échelle : 20 mm. (Benton et al., 1988).

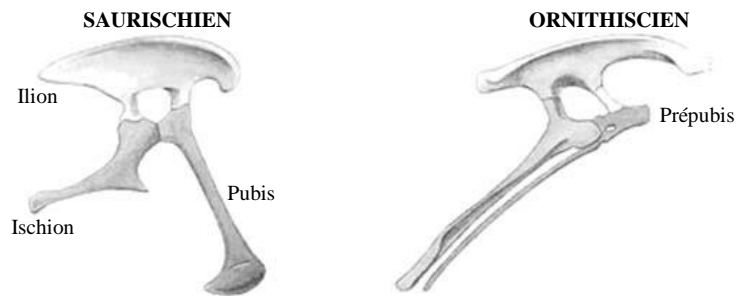


Figure 4 : Saurischien et Ornithischien (Novas, 1994).

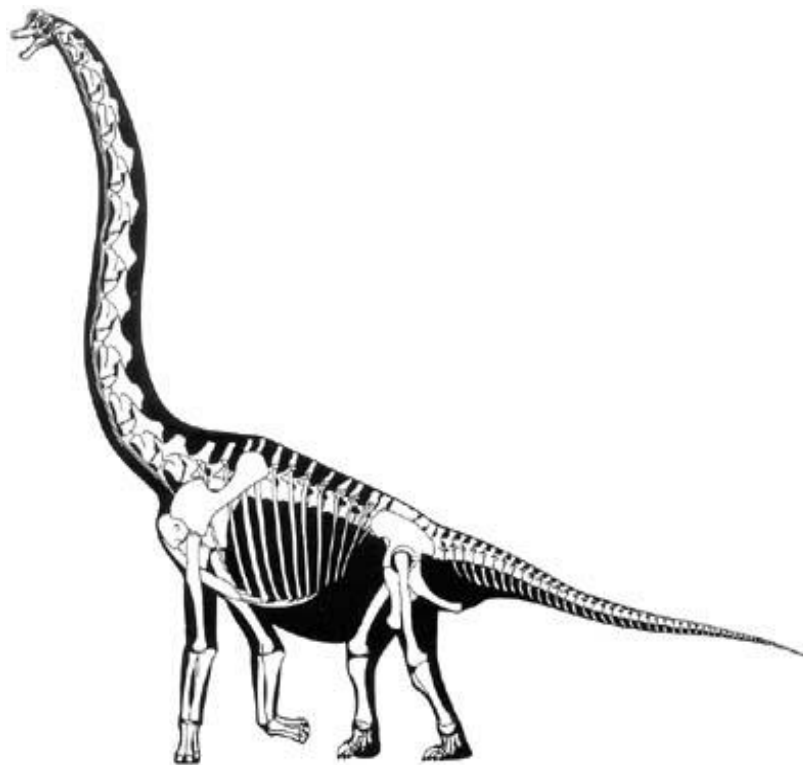


Figure 5 : Reconstitution d'un *Brachiosaurus* découvert au nord de l'Amérique et en Afrique (Paul, 1988).

On peut aussi trouver des saurischiens carnivores, les plus célèbres sont l'*Allosaurus* (fig. 6), *Sinraptor* (fig. 7) et *Tyrannosaurus rex* (fig. 8). Ils sont caractérisés par un renforcement des pattes postérieures et une atrophie des membres antérieurs. Ils mesureraient plus de 15 mètres de long, un poids de 7 tonnes, une formidable mâchoire capable de s'ouvrir sur un mètre avec une soixantaine de dents de 20 cm de hauteur (fig. 9). D'autres groupes de Théropode présentent un raccourcissement et un épaississement du cou (Carnosaure), ou un amincissement et une élongation de ce cou (Ornithomimosaures).

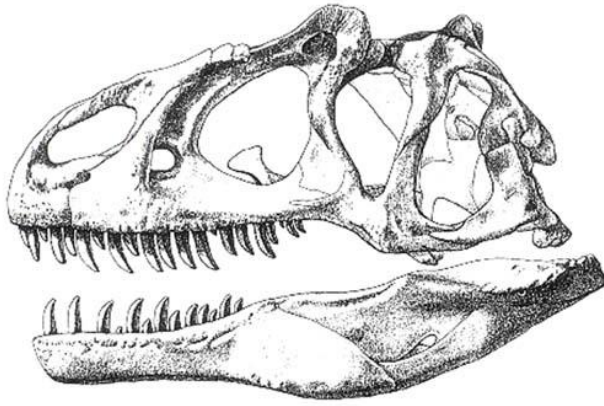


Figure 6 : Crâne d'un *Allosaurus* (Madsen, 1976).

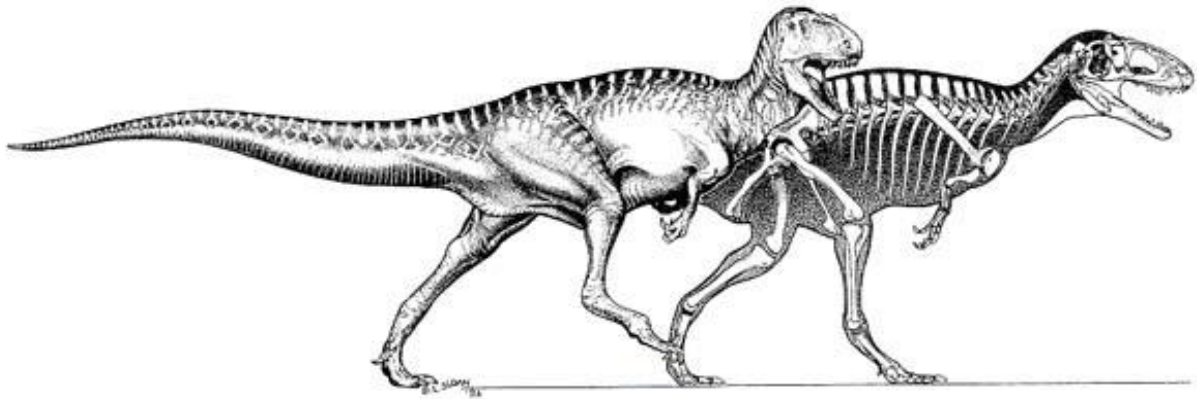


Figure 7 : *Sinraptor* (Currie et al., 1993).



Figure 8 : Squelette d'un *Tyrannosaurus*.

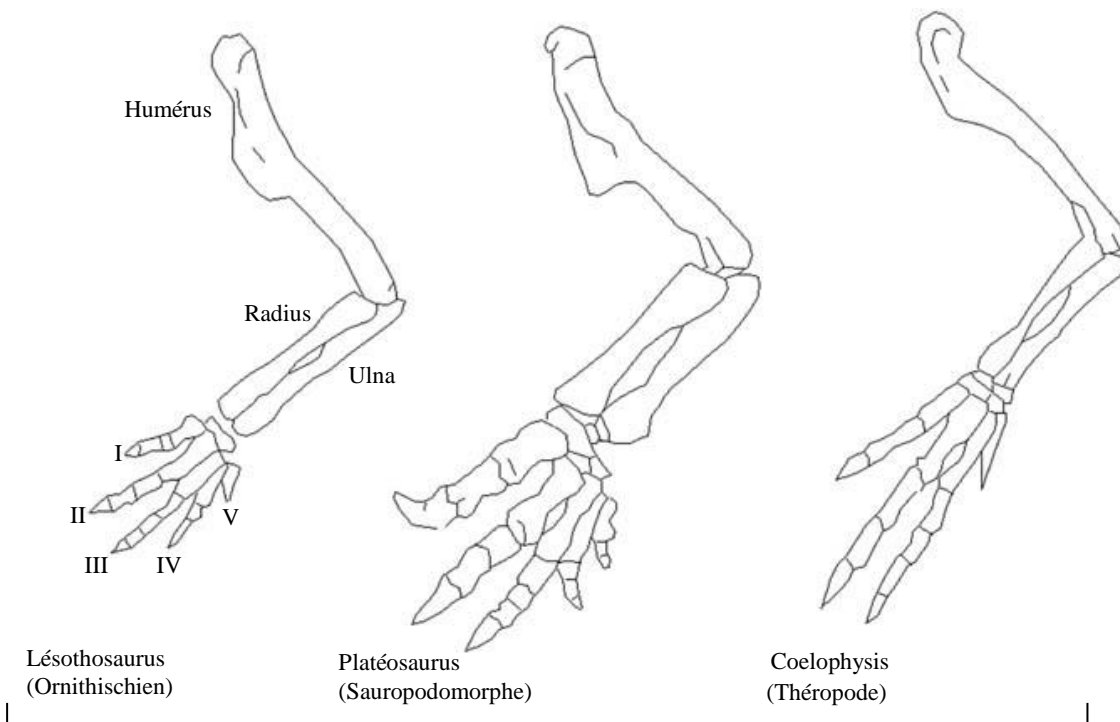


Figure 9 : Dent d'un *Tyrannosaurus*.

Les Théropodes constituent les plus grands carnivores terrestres. Les mains des Théropodes sont réduites, mais se terminent en longues griffes fortement courbées (**fig. 10**) semblables à celles que présentent les oiseaux rapaces actuels. Les dinosauriens ornithischiens et saurischiens sauropodomorphes possédaient des mains plus courtes et l'atrophie des doigts externes n'était pas aussi marquée (**fig. 11**).



Figure 10 : Bras d'un *Allosaurus*, à gauche et bras d'un *Tyrannosaurus*, à droite.



Saurischien

Figure 11 : Mains des dinosauriens (Novas, 1994).

2- Ornithischiens ou avipelviens :

Ils ont un bassin tétraradié avec ilion, ischion, pubis et prépubis. Ils ont perdu les dents d'en avant du crâne ce qui rend cette région en forme d'un bec. Ils possèdent des ongles plats ou des sabots plutôt que des griffes. Parmi leurs grands groupes sont respectivement les Ornithopodes, Stégosaures, Ankylosaures et Cératopsiens.

☞ Ornithopodes (**fig. 12**) apparaissent au Callovien et au début du Jurassique. Leur tête devient de plus en plus importante grâce aux pertes des dents antérieures qui sont remplacées par un bec corné. Sur le sommet du crâne se développe des protubérances variées (Hadrosaures, Lambéosaures).



Figure 12 : Hadrosaure à gauche (Czerkas et al., 1987) et Iguanodon à droite (Dixon, 1984).

☞ Stégosaures (**fig. 13**) du Jurassique moyen et du Crétacé sont dérivés d'ornithischiens bipèdes, comme en témoignent leurs membres antérieurs qui s'avèrent plus courts que les postérieurs. Ils avaient sur le dos une double rangée de plaques alternantes, de plus la queue portait deux paires d'épines osseuses.



Figure 13 : Stégosaure à gauche (Czerkas et al., 1991) et plaques dermiques d'un Stégosaure à droite (Fastowsky et al., 1996) : illustration de B. Regal).

☞ Ankylosaures (**fig. 14**) ou dinosauriens armés, dérivent des scélidosaures du Jurassique, au corps couvert de rangées de protubérances osseuses. Quadrupèdes à pattes antérieures courtes, leur corps large était couvert d'une armure formée de lourds polygones osseux, portant des épines notamment sur la queue.

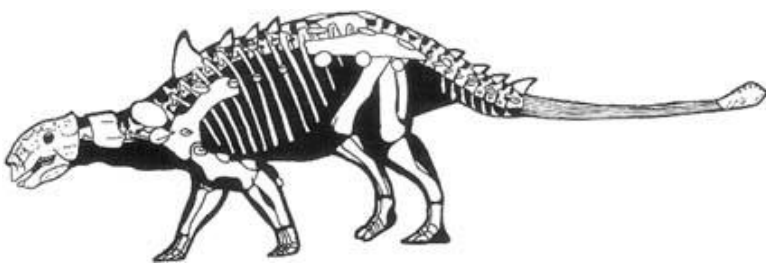


Figure 14 : Ankylosauridé (Coombs, 1978).

☞ Cératopsiens du Crétacé supérieur, ont commencé par les *Protocératops* (**fig. 15**) d'une taille moyenne de 2 m de longueur, deviennent d'énormes animaux tel *Tricératops* qui atteint une longueur de 9 m ornémenté d'une grande collerette nucale tandis que, la tête porte trois cornes (**fig. 16**) servant, peut-être, aux combats.



Figure 15 : Squelette d'un Cératopsien (Dodson, 1996).



Figure 16 : Squelette de *Tricératops*.

3- Classifications généalogiques des pistes de dinosauriens :

☞ La classification de base est celle établie par Haubold, 1971 (**tab. 2**).

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

Tableau 2 : Classification des empreintes de pas de dinosauriens. (Haubold, 1971).

☞ Carrano et al., 2001 ont basé leur parataxonomie sur trois types de corrélation :

* Corrélation phénétique : Identifiée et basée sur la similarité entre les empreintes de pas et le squelette des pieds,

* Corrélation de coïncidence : Une distribution faisant intervenir l'âge géologique, la province géographique et la composition de la faune locale,

* Corrélation synapomorphique : Basée sur l'identification d'un critère typique de l'ichnotaxe.

Les critères cités, par Carrano et al., 2001, sur des Ornithopodes, des Prosauropodes et quelques types de Sauropodes n'ont aucun rapport avec les données ou bien les caractères synapomorphiques de nos traces, mais ceux qui sont signalés sur d'autres types de Sauropodes et des Théropodes ressemblent bien avec les critères des empreintes que nous avons étudiées dans notre mémoire (**tab. 3**).

Description ostéologique	Description de la potentialité ichnologique	Préservation
<i>Barapasaurus</i> + <i>Omeisaurus</i> + Neosauropode : L'axe des ongles est orienté latéral par rapport aux doigts.	Les empreintes d'orteils sont déviées.	Mauvaise
<i>Omeisaurus</i> + Neosauropode : Le diamètre du transverse minimum du métatarse III , IV est moins de 65% que celui du métatarse I et II .	Les empreintes de doigts I et II sont plus profondes et 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. Camarasaurus + Titanosauriformes. Titanosauriformes : La flèche fémurale est un troisième moyen de déflexion. L'ongle du doigt I de la main est petit ou absent. Saltosauridae : Condyle fémoral distal se dévie relativement, de 10% de l'axe de la main. Théropode : Griffe dans la dernière phalange du pied. Fonctionnalité tridactyle, pied mésaxonien. Harrerasauridae + Neothéropoda. Neothéropoda : Le contact moyen du pied de 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 . Cératosauria Coelurosauria : Plumes/filament semblables au filament des plumes des oiseaux.	Les limites d'empreintes du métacarpe n'impriment pas la divergence des doigts. L'empreinte de la main est en forme de U. Large piste. L'absence de l'empreinte d'ongle de la main. Large piste. Présence des empreintes de griffes du pied. Empreinte de pied est tridactyle. La présence de l'empreinte de bout de pubis quand l'animal s'appuie sur le sol. Empreinte de métatarse est courte quand l'animal s'appuie sur le sol. Quand l'animal s'appuie sur le substrat, l'empreinte de métatarse V est très peu signalée. Empreinte de phalange I du doigt I du pied est courte et comparable, pendant l'appui de l'animal, avec celle de la phalange III-1 . Empreintes de plumes	Modérée Mauvaise Piste Modérée Piste Mauvaise Mauvaise Présence de quelques traces Présence de quelques traces Présence de quelques traces Présence de quelques traces Présence de quelques traces

Tableau 3 : Critères récupérés par Carrano et al., 2001 sur quelques Sauropodes et Théropodes.

Les critères identifiés par Carrano et al., 2001 sur les os des dinosauriens sont utilisés comme base de classification et d'établissement d'un arbre phylogénique des dinosauriens

(fig. 17).

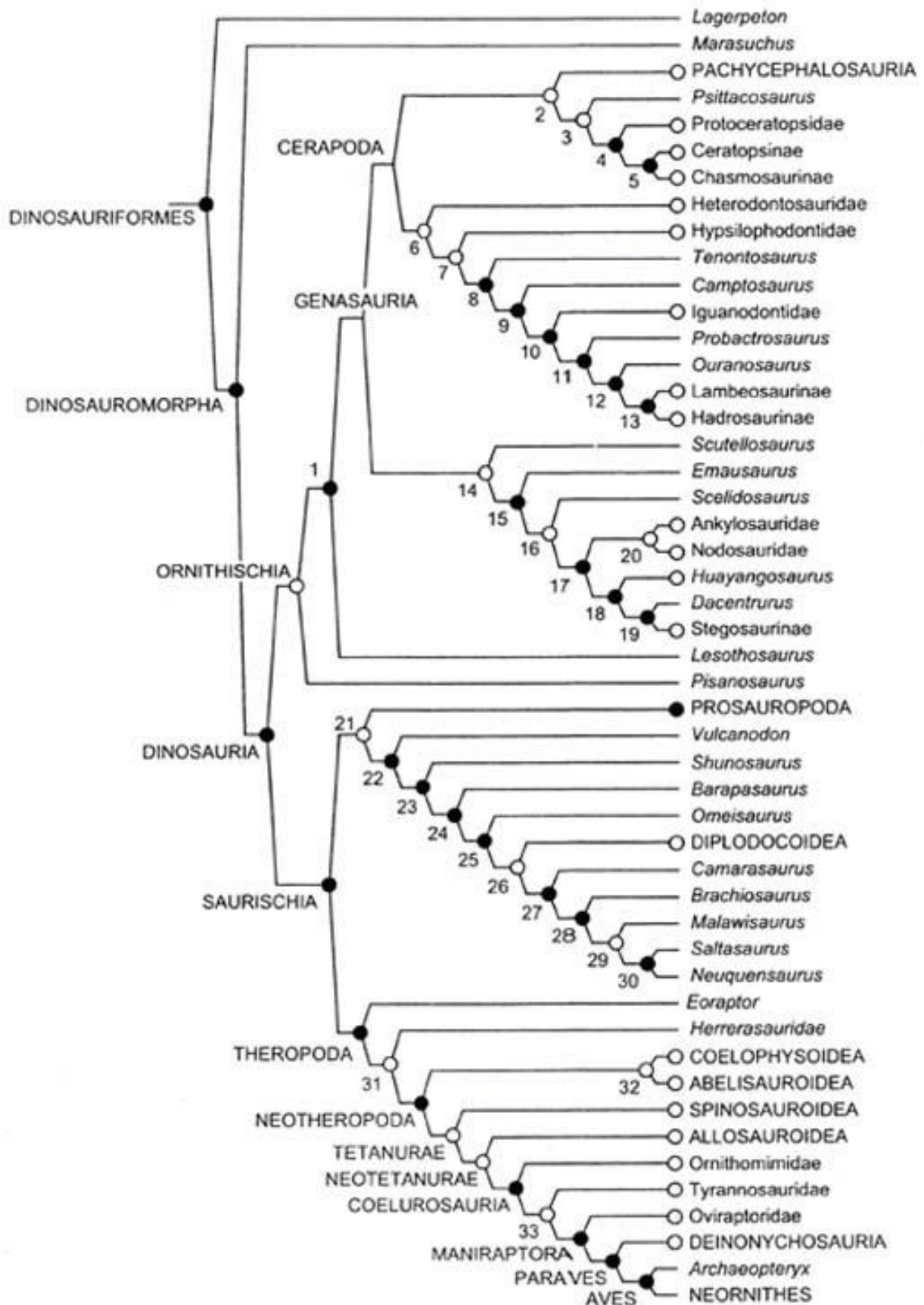


Figure 17 : Phylogénie des dinosauriens, Carrano et al., 2001.

Le cercle ouvert ne relève pas la synapomorphie et le cercle noir relève la synapomorphie.

D'après, le cladogramme de Holtz et al., 2004, on peut différencier les différents genres et familles des Théropodes (**fig. 18**).

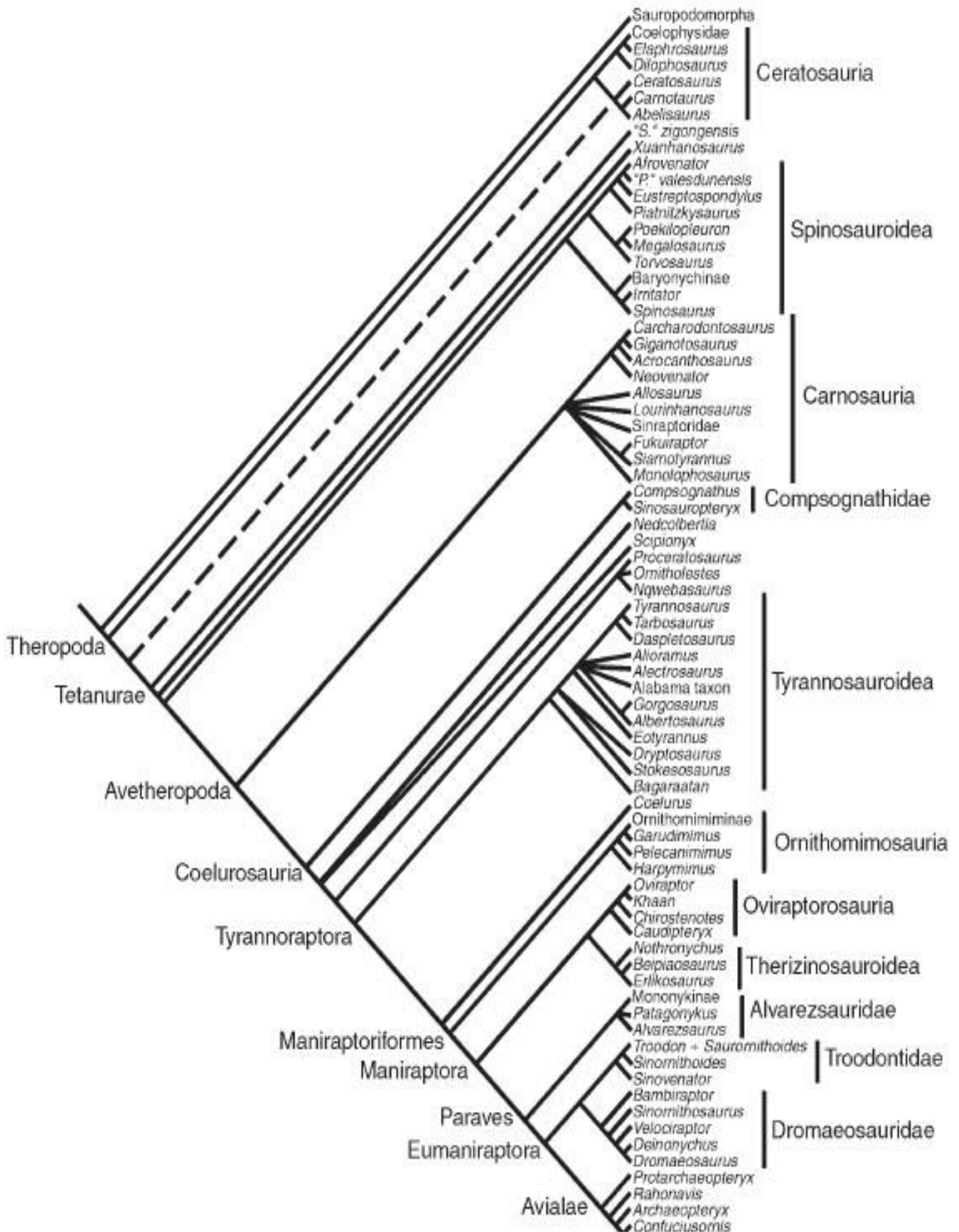


Figure 18 : Cladogramme des Théropodes. Holtz et al., 2004.

Les principales espèces des ornithischiens sont portées sur le cladogramme de Norman et al., 2004 (**fig. 19**).

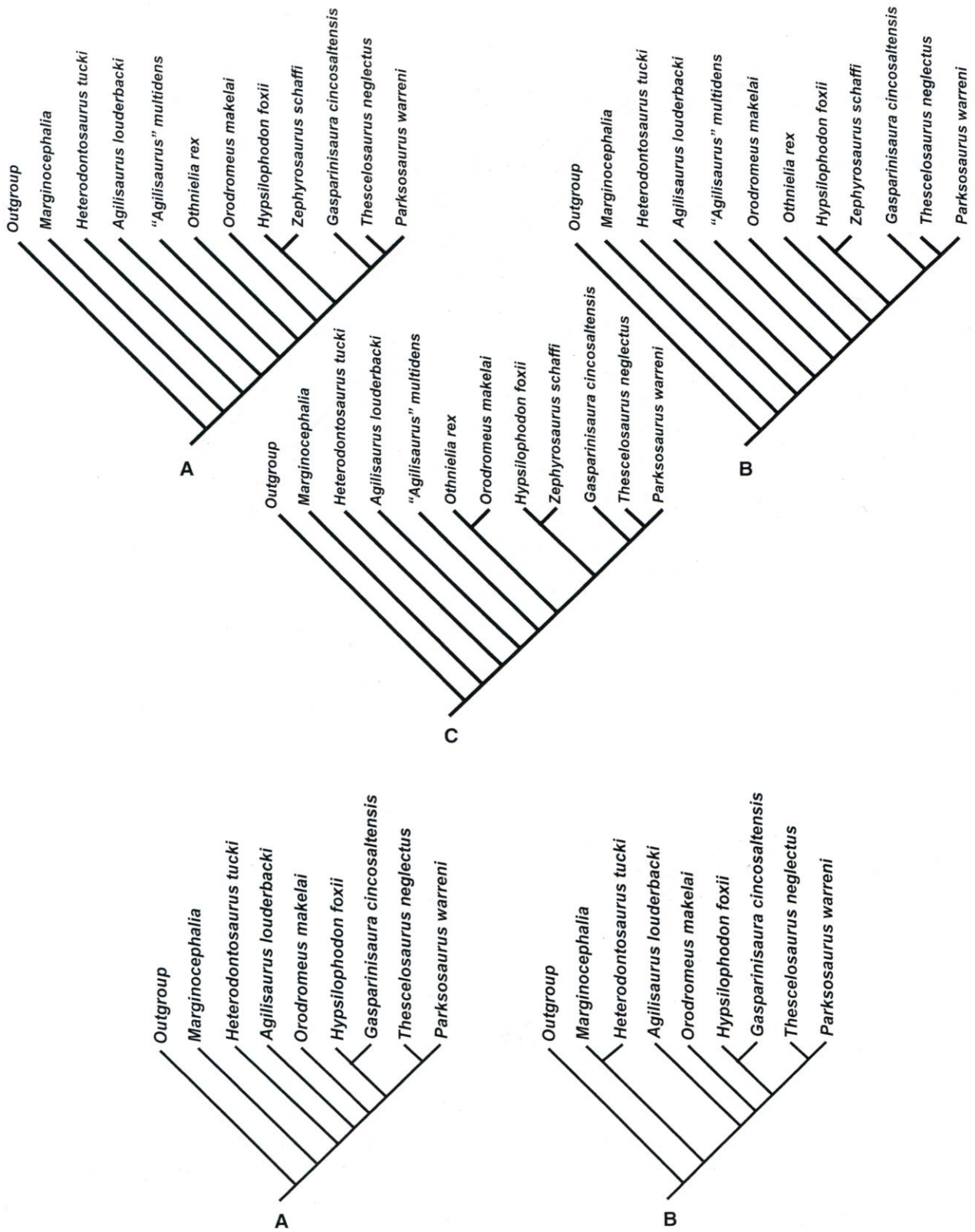


Figure 19 : Cladogramme des Ornithopodes de base, Norman et al., 2004.

La classification cladogénique (**fig. 20**) illustrée par Updorch et al., 2004 est faite sur les Sauropodes.



Figure 20 : Cladogramme des Sauropodes. Updurch et al., 2004.

L'âge et les provinces géographiques sont des critères d'aide à l'identification relative aux empreintes de pas de dinosauriens. En effet, on va tenir compte de la distribution mondiale faite par Weishampel et al., 2004 sur les traces de dinosauriens qui remontent au Jurassique (tab. 4) pour pouvoir mettre au point notre classification adoptée à la distinction des empreintes de pas de dinosauriens du Haut-Atlas central.

	PROVINCE GÉOGRAPHIQUE	DINOSAURIENS	ÂGE
A M É R I Q U E	Canada (Nova Scotia)	<i>Anchisaurus sp.</i> Prosauropoda. <i>Ammosaurus sp.</i> Prosauropoda. <i>Scutellosaurus sp.</i> Ornithischia indet.	Jurassique inférieur
	USA, Utah	<i>Dilphosaurus wetherilli.</i> Ceratosauria. <i>Syntarsus kayentakatae.</i> Ceratosauria. <i>Massospondylus sp.</i> Prosauropoda. <i>Scutellosaurus lawteri.</i> Thyreophora. <i>Scelidosaurus sp.</i> Thyreophora <i>Segisaurus halli.</i> Ceratosauria.	
	USA, Massachusetts	<i>Ammosaurus cf. major.</i> Prosauropoda. <i>Anchisaurus polyzelus.</i> Prosauropoda. <i>Podokesaurus holyokensis.</i> Ceratosauria.	
	USA, Connecticut	<i>Podokesaurus sp.</i> Theropoda indet. <i>Anchisaurus polyzelus.</i> Prosauropoda.	
	USA, New Jersey	<i>Ammosaurus major.</i> Prosauropoda. <i>Anchisaurus solus.</i> Prosauropoda.	
	Venezuela, État de táchira	<i>Lesothosaurus sp. Indet.</i> Ornithopoda indet	
E U R O P E	England, Warwickshire England, Leicestershir England, Dorset	<i>Sarcosaurus andrewsi.</i> Ceratosauria indet. <i>Sarcosaurus woodi.</i> Ceratosauria. <i>Mégalosaurus lydekkeri.</i> Theropoda Indet. <i>Scelidosaurus harrisonii.</i> Thyreophora.	
	France, département de la manche	<i>Liliensternus airelensis</i> Ceratosauria. (<i>Halticosaurus sp.</i>). <i>Mégalosaurus cloacinus.</i> Theropoda indet. <i>Mégalosaurus terquemi.</i> Theropoda indet. <i>Lusitanosaurus liasicus.</i> Thyreophora indet. <i>Ohmdenosaurus liasicus.</i> Sauropoda. indet. <i>Emausaurus ernsti.</i>	
	France, département de la Moselle		
	Portugal, Distrito do leiria		
	Germany, Barden-Württemberg Germany, Mecklenburg		
A S I E	Inde, Andhra Pradesh state	<i>Dandakosaurus indicus.</i> Theropoda indet. <i>Kotasaurus yamanpaliensis.</i> Sauropoda. <i>Barapasaurus tagorie.</i> Cetiosauridae. <i>Lufengosaurus changduensis.</i> Prosauropoda. <i>Lufengosaurus huenei.</i> Prosauropoda. (= cf. <i>L. magnus</i>).	
	Chine, Xizang Zizhiq, Chine, Sichuan	<i>Gongxianosaurus shibeiensis.</i> Sauropoda. <i>Zizhongosaurus chuanchengensis.</i> Sauropoda ind <i>Sanpasaurus yaoipartim.</i> Ornithopoda indet. <i>Eshanosaurus deguchiiianus.</i> Therizinosauroida. <i>Lukousaurus yini.</i> Theropoda incertae sedis. <i>Sinosaurus triassicus.</i> Theropoda indet. <i>Lufengosaurus huenei.</i> Prosauropoda. "Inclus <i>Gyposaurus sinensis</i> ". <i>L. magnus</i> ". <i>Jingshanosaurus xinwaensis.</i> Prosauropoda. <i>Yunnanosaurus huangi (inclus Yunnanosaurus</i> Prosauropoda. "Gyposaurus sinensis". Prosauropoda. <i>Dilophosaurus sinensis.</i> Ceratosauria. <i>Lukousaurus yini.</i> Theropoda incertae sedis. <i>Sinosaurus triassicus.</i> Theropoda indet. "Gyposaurus" <i>capensis.</i> Prosauropoda <i>Yunnanosaurus huangi (inclus yunnanosaurus</i> Prosauropoda <i>Fulengia youngi, Tawasaurus minor.</i> Prosauropoc <i>Kummingosaurus wusdingensis.</i> Sauropoda indet. <i>Incertae sedis.</i> Thyreophora. <i>Bienosaurus lufengensis.</i> Thyreophora. <i>Tatisaurus oehleri.</i> Thyreophora <i>Dianshunosaurus lufengensis.</i> Ornithopoda <i>Yimenosaurus youngi.</i> Prosauropoda <i>Chinshakiangosaurus chunghoensis.</i> Sauropoda	
	Chine, Yunnan		

A F R I Q U E	Zimbabwe, Nord Mashonaland Zimbabwe, Ouest Mashonaland Zimbabwe, Nord Matabeleland	<i>Vulcanodon karibaensis</i> . Sauropoda. <i>Massospondylus carinatus</i> . Prosauropoda. <i>Syntarsus rhodesiensis</i> . Ceratosauria. <i>Massospondylus carinatus</i> . Prosauropoda. <i>Massospondylus carinatus</i> . Prosauropoda. <i>Syntarsus rhodesiensis</i> . Ceratosauria. <i>Massospondylus carinatus</i> . Prosauropoda. <i>Leptospondylus capensis</i> . Prosauropoda indet. <i>Pachys pondylus orpenii</i> , Prosauropoda indet. <i>Aetonyx palustris</i> , Prosauropoda indet. <i>Gryponyx taylori</i> , Prosauropoda indet. <i>Gryponyx africanus</i> , Prosauropoda indet. <i>Hortalosaurus</i> , Prosauropoda indet. <i>Skirtopodus</i> , Prosauropoda indet. <i>Massospondylus browni</i> , Prosauropoda indet. <i>Dromicosaurus gracilis</i> , Prosauropoda indet. <i>Heterodontosaurus tucki</i> , Heterodontosauridae <i>Abrictosaurus consors</i> , Heterodontosauridae. <i>Lycorhinus angustidens</i> , Heterodontosaur (= <i>Lamasaurus scalpridens</i>) <i>Massospondylus carinatus</i> . Prosauropoda. <i>Thecodontosaurus minor</i> , Prosauropoda indet. <i>Aristosaurus erectus</i> , Prosauropoda indet. <i>Thecodontosaurus dubius</i> , Prosauropoda indet. <i>Gyposaurus capensis</i> , Prosauropoda indet. <i>Fabrosaurus sp.</i> Ornithischia indet. <i>Heterodontosaurus tucki</i> , Heterodontosauridae <i>Geranosaurus atavus</i> , Ornithopoda indet. <i>Syntarsus rhodesiensis</i> . Ceratosauria	
	Afrique du sud, Transvaal Afrique du sud, Province Free State	<i>Massospondylus carinatus</i> . Prosauropoda <i>Massospondylus sp.</i> Prosauropoda <i>Massospondylus browni</i> , Prosauropoda indet <i>Massospondylus harriesi</i> , Prosauropoda indet <i>Thecodontosaurus browni</i> , Prosauropoda indet <i>Thecodontosaurus minor</i> , Prosauropoda indet <i>Hortalotarsus skirtopodus</i> , Prosauropoda indet <i>Massospondylus schwarzi</i> , Prosauropoda indet <i>Heterodontosaurus tucki</i> , Heterodontosauridae <i>Lycorhinus angustidens</i> , Heterodontosauridae <i>Abrictosaurus consors</i> , Heterodontosauridae <i>Massospondylus carinatus</i> , Prosauropoda <i>Hortalotarsus skirtopodus</i> , Prosauropoda indet <i>Heterodontosaurus tucki</i> , Heterodontosauridae <i>Geranosaurus atavusn</i> , Heterodontosauridae	
	Afrique du Sud, Cape Province	<i>Massospondylus carinatus</i> , Prosauropoda. (<i>Gryponyx sp.</i> , <i>Aetonyx sp.</i>) <i>Cf. Massospondylus</i> , Prosauropoda. <i>Melanorosaurus thabanensis</i> , Prosauropoda. <i>Lesothosaurus diagnosticus</i> , Ornithischia. <i>Fabrosaurus australis</i> , Ornithischia indet (= <i>Gryponyx sp.</i> , <i>Aetonyx sp.</i>) <i>Cf. Gryponyx sp.</i> Prosauropoda indet. <i>Cf. Massospondylus sp.</i> Prosauropoda <i>Abrictosaurus consors</i> , Heterodontosauridae i (<i>Lycorhinus consors</i>). <i>Massospondylus carinatus</i> , Prosauropoda i (<i>Gryponyx taylori</i>). <i>Thecodontosaurus browni</i> , Prosauropoda. indet. <i>Heterodontosaurus sp.</i> Heterodontosauridae. <i>Cryolophosaurus ellioti</i> , Carnosauria.	
	Lesotho, Leribe District		
	Lesotho, Mafeteng District		
	Lesotho, Mochales Hoek District Lesotho, Qachas Nek District		
Lesotho, Quthing District			
Antarctique			
A M É R I Q U E	USA, Utha	<i>Incertaine sedis</i> , Sauropoda. <i>Dystrophaeus viaemalae</i> , Sauropoda. <i>Camarasaurus sp.</i> Sauropoda indet. <i>Incertaine sedis</i> . Eusauropoda <i>Amygdalordon patagonicus</i> , Eusauropoda. <i>Piatnitzkysaurus floresi</i> , <i>Tetanurae</i> . <i>Incertaine sedis</i> . Sauropoda. <i>Volkheimeria chubutensis</i> , Sauropoda. <i>Techuelchesaurus benitezii</i> , Eusauropoda. <i>Patagosaurus fariasi</i> , Cetiosauridae.	Jurassique moyen
	USA, New Mexico Argentine, province de Chubut		

England, Somerset
England, Gloucestershire

Mégalosaurus sp. Theropoda indet.
Mégalosaurus bucklandii, Theropoda indet.
Mégalosaurus sp. Theropoda indet.
Incertae sedis, Theropoda.
Mégalosaurus sp. Theropoda.
Mégalosaurus sp. Theropoda.
Cetiosaurus sp. Sauropoda indet.
Cf. Alocodon sp. Ornithischia indet.
Phyllodon, sp. Ornithischia indet.
Stegosaurus sp. Stegosauria indet.
Lexovisaurus vetustus, Stegosauria indet.
Mégalosaurus sp. Theropoda indet.
Proceratosaurus bradleyi, Coelurosauria.
Mégalosaurus bucklandii, Theropoda indet.
Cetiosaurus oxoniensis, Sauropoda indet.

England, Nord du Yorkshire

Incertae sedis, Sauropoda.
Cardiodon rugulosus, Sauropoda.
Cetiosaurus hypoolithicus, Sauropoda indet.
Cetiosaurus longus, Sauropoda indet.
Cetiosaurus medius, Sauropoda indet.

England, Lercestershir
England, Dorset

Cetiosaurus sp. Sauropoda indet.
Incertae sedis, Theropoda.
Magnosaurus nethercombensis, Theropoda.
Mégalosaurus hesperis, Theropoda.
Stegosaurus sp. Stegosauridae indet.
Mégalosaurus sp. Theropoda.

England, Northamptonshire

Lexovisaurus durobrivensis, Stegosauridae.
Mégalosaurus bucklandii, Theropoda indet.
Cetiosaurus oxoniensis, Sauropoda indet.
Mégalosaurus sp. Theropoda indet.
Cetiosaurus sp. Sauropoda indet.

England, Cambridgeshire

Incertae sedis, Diplodocoidae.
Cetiosauriscus stewarti, Diplodocoidae.
Ornithopsis leedsi, Sauropoda indet.
Lexovisaurus durobrivensis, Stegosauria.
Stegosaurus priscus, Stegosauria.
Omosaurus leedsipartim, Stegosauria.

England, Bedfordshire
England, Oxfordshire

Incertae sedis, Ankylosauria.
Sarcolestes leedsi, Ankylosauria.
Camptosaurus leedsi, Iguanodontia indet.
Lexovisaurus sp. Stegosauria indet.
Mégalosaurus sp. Theropoda indet.
Cetiosaurus sp. Sauropoda.
Omosaurus vetustus, Stegosauridae indet.
Mégalosaurus sp. Theropoda indet.
Streptospondylus cuvieri, Theropoda indet.
Scrotum humanum, Theropoda indet.
Cetiosaurus sp. Sauropoda indet.
Cetiosaurus giganteus, Sauropoda indet.
Omosaurus vestustus, Stegosauridae.
Cetiosaurus sp. Sauropoda indet.
Mégalosaurus bucklandii, Megalosauridae.
Incertae sedis, Tetanurae.
Lliosuchus incognitus, Tetanurae.
Cetiosaurus oxoniensis, Sauropoda indet.
Mégalosaurus sp. Theropoda indet.
Cetiosaurus oxoniensis, Sauropoda.
Incertae sedis, Diplodocoidea.
Cetiosaurus glymptonensis, Diplodocoidea.
Cetiosaurus sp. Sauropoda indet.
Bothriospondylus sp. Sauropoda indet.
Cf. Alocodons sp. Ornithischia indet.
Iguanodon sp. Iguanodontia indet.
Mégalosaurus bucklandii, Theropoda indet.
Omosaurus vestustus, Stegosauridae indet.
Incertae sedis, Theropoda.

England, Rutland
England, Buckinghamshire
England, Wiltshire

Eustreptospondylus oxoniensis, Theropoda.
Mégalosaurus sp. Theropoda indet.
Cetiosaurus oxoniensis, Sauropoda indet.
Cetiosaurus sp. Sauropoda indet.
Cetiosaurus sp. Sauropoda indet.
Mégalosaurus bucklandii, Theropoda indet.
Cetiosaurus sp. Sauropoda indet.
Mégalosaurus sp. Theropoda indet.
Incertae sedis, Sauropoda.
Cardiodon rugulosus, Sauropoda.
Bothriospondylus robustus, Sauropoda indet.

	<p>France, département du Doubs France, département de la Haut-Saône France, département du Calvados</p> <p>France, département de l'Indre</p> <p>France, département de la Charente-maritime Portugal, Distrito do leiria</p> <p>Germany, Nordrhein-Westphalen Russia, Moskovskaya oblast.</p>	<p><i>Mégalosaurus sp.</i> Theropoda indet. <i>Mégalosaurus sp.</i> Theropoda.</p> <p><i>Mégalosaurus sp.</i> Theropoda. <i>Poekilopleuron bucklandii</i>, Megalosauri <i>Poekilopleuron valesdunensis</i>, Megalos: <i>Mégalosaurus sp.</i> Theropoda indet. <i>Lexovisaurus durobrivens</i> Stegosauridae. <i>Incertae sedis</i>, Tetanurae. <i>Streptospondylus altdorfensis</i>, Tetanura <i>Mégalosaurus bucklandii</i>, Theropoda in <i>Pelorosaurus sp.</i> Sauropoda indet. <i>Mégalosaurus sp.</i> Theropoda indet. <i>Mégalosaurus sp.</i> Theropoda indet. <i>Alcodon Kuehnei</i>, Ornithischia indet. <i>Lexovisaurus sp.</i> Stegosauridae. <i>Incertae sedis</i>. Theropoda. <i>Cf. Ricardaesthesia sp.</i> Theropoda. <i>Dromaosauridae indet.</i> Theropoda.</p>
A S I E	<p>Chine, Xinjiang Uygur Zizhigu people's Chine, Sichuan</p> <p>Chine, Yunnan</p>	<p><i>Ngexisaurus dapukanensis</i>, Ceratosauria. <i>Mégalosaurus cachuensis</i>, Ceratosauria. <i>Xuanhanosaurus qilixiaensis</i>, Tetanurae. <i>Szechuanosaurus zigongensis</i>, Tetanurae. <i>Incertae sedis</i>, Tetanurae. <i>Kaijiangosaurus lini</i>, Tetanurae. <i>Chuangongocoelurus primitivus</i>, Tetanurae ind <i>Incertae sedis</i>, Avetheropoda. <i>Gasosaurus constructus</i>, Avetheropoda. <i>Shumosaurus lii</i>, Eusauropoda. <i>Omeisaurus tianfuensis</i>, Eusauropoda. <i>Mamenchisaurus fuxiensis</i>, Eusauropoda. <i>Abrosaurus dongpoi</i>, Macronaria. <i>Incertae sedis</i>, Sauropoda. <i>Datousaurus bashanensis</i>, Sauropoda. <i>Protognathosaurus oxyodon</i>, Sauropoda indet. <i>Omeisaurus luoquanensis</i>, Sauropoda indet. <i>Xiaosaurus dashanpensis</i>, Ornithischia. <i>Huayangosaurus taibaii</i>, Stegosauria. <i>Agilisaurus louderbacki</i>, Euornithopoda. <i>Agilisaurus multidens</i>, Euornithopoda. <i>Yandusaurus liogheensis</i>, Euornithopoda. <i>Incertae sedis</i>. Sauropoda. <i>Chuanjiesaurus anaensis</i>, Sauropoda. <i>Monolophosaurus jiangi</i>, Carnosauria. <i>Incertae sedis</i>. Sauropoda. <i>Klamelisaurus gobiensis</i>, Sauropoda. <i>Bellusaurus sui</i>, Macronaria. <i>Tianchiasaurus nedegoaperferima</i>, Ankylosauria indet.</p>
A F R I Q U E	<p>Maroc, province de Beni Mellal Maroc, province de Fès</p> <p>Madagascar, Faritany</p> <p>Majunga</p>	<p><i>Atlasaurus imlakei</i>, Macronaria. <i>Mégalosaurus merensis</i>, Theropoda indet. <i>Cetiosaurus mogrebiensis</i>, Sauropoda indet. <i>Lapparentosaurus madagascariensis</i>, Tetanosauriforme. <i>Bothriospondylus madagascariensis</i>, Sauropoda indet.</p>
A U S T R A L I A	<p>Australia, Queensland</p> <p>Australia, Australia west</p>	<p><i>Icertae sedis</i>, Sauropoda. <i>Rhoetosaurus brownei</i>, Sauropoda. <i>Icertae sedis</i>, Theropoda. <i>Ozraptor subotaii</i>, Theropoda.</p>

USA, Utha

Ceratosaurus nasicornis. Ceratosauria
Ceratosaurus dentisulcatus. Ceratosaurus sp
Torvosaurus tanneri. Tetanurae
Allosaurus fragilis. Allosauroida
Incertae sedis. Avetheropoda
Marshosaurus bicentesimus. Avetheropoda
Stokesosaurus clevelandi. Tyrannosauroida
Incertae sedis. Coelurosauria
Coelurus fragilis. Coelurosauria
Ornitholestes hermanni
Koparion douglasi. Troodontidea indet
Apatosaurus louisae. Diplodocidae
Barosaurus lentus. Diplodocidae
Diplodocus longus. Diplodocidae
Diplodocus carnegiei. Diplodocidae
Diplodocus sp. Diplodocidae
Brachiosauridae cf. altithorax. Brachiosauridae
Camarasaurus lentus (inclus C. annae, C. supremus) Camarasauromorpha
Camarasaurus sp. Camarasauromorpha
Haplocanthosaurus sp. Camarasauromorpha
Stegosaurus armatus (=S. unguatus)
Stegosaurus stenops. Stegosauridae
Stegosaurus longispinus. Stegosauridae
Stegosaurus sp. Stegosauridae
Stegosaurus affinis Stegosauridae
Othnielia rex Euornithopoda
Dryosaurus altus Iguanodontia
Camptosaurus dispar Iguanodontia
Camptosaurus sp. Iguanodontia
Allosaurus fragilis Allosauroida
Camarasaurus cf. supremus Camarasauromorp
Camarasaurus sp. Camarasauromorpha
Seismosaurus halli. Diplodocidae
Diplodocus carnegiei. Diplodocidae
Diplodocus sp. Diplodocidae
Apatosaurus sp. Diplodocidae
Stegosaurus sp. Stegosauridae
Ceratosaurus nasicornis. Ceratosauria
Ceratosaurus magnicornis. Ceratosauria
Ceratosaurus sp. Ceratosauria
Elaphrosaurus sp. Ceratosauria
Allosaurus fragilis. (inclus Labrosaurus ferox)
Torvosaurus tanneri. Tetanurae
Incertae sedis. Avetheropoda
Marshosaurus bicentesimus. Avetheropoda
Cf. Coelurus sp. Coelurosauria
Palaeopteryx thomsoni. Dromaeosauridae ?
Incertae sedis. Sauropoda
"Morosaurus" agilis. Sauropoda
Incertae sedis. Diplodocoidea
Amphicoelias altus. Diplodocoidea
Diplodocus longus. Diplodocoidea
Diplodocus lacustris. Diplodocoidea
Diplodocus sp. Diplodocoidea
Barosaurus sp. Diplodocoidea
Apatosaurus excelsus (=Brontosaurus am)
 Diplodocoidea
Apatosaurus ajax. Diplodocoidea
Apatosaurus sp. Diplodocoidea
Supersaurus vivianae (inclus Ultrasc
macintoshi
partim). Diplodocoidea
Brachiosaurus altithorax. Brachiosauridae
Brachiosaurus sp.(inclus Ultrasauros macintos
Partim.). Brachiosauridae
Dystylosaurus edwini. Brachiosauridae
Camarasaurus supremus. Camarasauromorpha
Camarasaurus grandis. Camarasauromorpha
Camarasaurus lewisi. Camarasauromorpha
Camarasaurus sp. Camarasauromorpha
Haplocanthosaurus priscus. Camarasauromorp
Haplocanthosaurus delfsi. Camarasauromorph:
Titanosaurus montanus. Sauropoda indet
Stegosaurus armatus. Stegosauridae
Stegosaurus stenops. Stegosauridae
Stegosaurus sp. Stegosauridae
Hypsirhophus discurus. Stegosauridae indet.

Jurassique
superieur

	<p>USA, Texas USA, Oklahoma</p> <p>USA, Montana</p> <p>USA, Wyoming</p> <p>USA, Sud Dakota</p>	<p><i>Incertae sedis</i>. Ankylosauria <i>Mymoorapelta mayisi</i>. Ankylosauria <i>Othnielia rex</i>. Euornithopoda <i>Nanosaurus agilis</i>. Euornithopoda indet <i>Tichosteus aequifacies</i>. Euornithopoda indet <i>Tichosteus lucasanus</i>. Euornithopoda indet <i>Dryosaurus altus</i>. Iguanodontia <i>Camptosaurus dispar</i>. Iguanodontia <i>Camarasaurus sp.</i>. Camarasauromorpha <i>Allosaurus fragilis</i>. Allosauroida <i>Saurophaganax maximus</i>. Allosauroida <i>Ceratosaurus sp.</i>. Theropoda indet <i>Camarasaurus sp.</i>. Camarasauromorpha <i>Apatosaurus excelsus</i>. Diplodocidae <i>Apatosaurus sp.</i>. Diplodocidae <i>Stegosaurus sp.</i>. Stegosauridae <i>Camptosaurus dispar</i>. Iguanodontia <i>Diplodocus sp.</i>. Diplodocidae <i>Camarasaurus grandis</i>. Camarasauridae <i>Camarasaurus sp.</i>. Camarasauridae <i>Ceratosaurus sp. (inclus Labrosaurus sulc</i> <i>Ceratosauria</i> <i>Torvosaurus tanneri (Edmarka rex)</i>. Tetanurae <i>Coelurus gracilis</i>. Tetanurae indet. <i>Allosaurus fragilis. (inclus Labros</i> <i>lucaris)</i>. Allosauroida <i>Incertae sedis</i>. Coelurosauria <i>Coelurus fragilis</i>. Coelurosauria <i>Ornitholestes hermani</i>. Coelurosauria <i>Incertae sedis</i>. Sauropoda <i>"Apatosaurus" minimus</i>. Camarasauromorpha <i>Camarasaurus grandis</i>. Camarasauromorpha <i>Camarasaurus supremus</i>. Camarasauromorpha <i>Camarasaurus lentus</i>. Camarasauromorpha <i>Eobrontosaurus yahnahpin</i>. Camarasauromorpha <i>Cf. Haplocanthosaurus priscus</i>. Camarasauromorpha <i>Diplodocus carnegiei</i>. Diplodocidae <i>Diplodocus hayi</i>. Diplodocidae <i>Diplodocus sp.</i>. Diplodocidae <i>Apatosaurus excelsus</i>. Diplodocidae <i>Apatosaurus sp.</i>. Diplodocidae <i>Hesperosaurus mjosi</i>. Stegosauridae <i>Stegosaurus armatus (=S. ungulatus)</i>. Stegosauric <i>Stegosaurus stenops</i>. Stegosauridae <i>Stegosaurus longispinus</i>. Stegosauridae <i>Stegosaurus sp.</i>. Stegosauridae <i>Gargoyleosaurus parkpini</i>. Ankylosauridae <i>Othnielia rex</i>. Euornithopoda <i>Drinker nisti</i>. Euornithopoda <i>Nanosaurus agilis</i>. Euornithopoda indet <i>Laosaurus celer</i>. Euornithopoda indet <i>Dryosaurus altus</i>. Iguanodontia <i>Camptosaurus dispar</i>. Iguanodontia <i>Camptosaurus amplus</i>. Iguanodontia <i>Camptosaurus ? cf depressus</i>. Iguanodontia <i>Allosaurus fragilis</i>. Allosauroida <i>Camarasaurus sp.</i>. Camarasauromorpha <i>Apatosaurus sp.</i>. Diplodocidae <i>Barosaurus lentus</i>. Diplodocidae</p>
	<p>England, Yorkshire nord</p> <p>England, Dorset</p> <p>England, Cambridgeshire</p>	<p><i>Mégalosaurus bucklandii</i>. Theropoda indet <i>Omosaurus phillipsi</i>. Stegosauridae indet <i>Iguanodon phillipsii</i>. Nodosauridae indet <i>Incertae sedis</i>. Tetanurae <i>Metriacanthosaurus parkeri</i>. Tetanurae <i>Cryptodraco sp.</i>. Theropoda indet? <i>Mégalosaurus sp.</i>. Theropoda indet <i>Cetiosaurus humerocristatus</i>. Brachiosaurid <i>Ischyrosaurus manseli</i>. Sauropoda <i>Cetiosaurus sp.</i>. Sauropoda <i>Ornithopsis leedsii</i>. Sauropoda <i>Dacentrurus armatus</i>. Stegosauridae <i>Cf. Bugenasaura sp.</i>. Euornithopoda indet <i>Mégalosaurus sp.</i>. Theropoda indet <i>Ornithopsis sp.</i>. Sauropoda indet <i>Cryptosaurus eumerus</i>. Ankylosauria <i>Mégalonyx</i>. Sauropoda</p>

	England, Oxfordshir	<i>Ornithopsis</i> sp. Sauropoda <i>Dacentrus armatus</i> Stegosauria Mégalosaurus sp. Theropoda <i>Cetiosaurus</i> sp. Sauropoda indet <i>Camptosaurus prestwichii</i> . Iguanodontia <i>Cetiosaurus longus</i> . Sauropoda indet <i>Cetiosaurus</i> sp. Sauropoda indet <i>Cetiosaurus longus</i> . Sauropoda indet Mégalosaurus sp. Theropoda indet <i>Pelorosaurus humerocristatus</i> . Sauropoda inde
	England, Buckinghamshir	Mégalosaurus sp. Theropoda indet <i>Pelorosaurus humerocristatus</i> . Sauropoda inde
	England, Wiltshire	Mégalosaurus <i>insignis</i> . Theropoda indet <i>Bothriospondylus suffosus</i> . Sauropoda indet <i>Dacentrus armatus</i> (inclus <i>Omos armatus</i>). Stegosauridae <i>Omosaurus hastiger</i> . Stegosauridae Mégalosaurus sp. Theropoda indet Camarasaurus sp. Sauropoda <i>Diplodocus</i> sp. Sauropoda <i>Incertae sedis</i> . Ornithischia <i>Echinodon</i> sp. Ornithischia Ornithopsis? sp. Sauropoda indet Mégalosaurus <i>insignis</i> . Theropoda indet <i>Bothriospondylus madagascariensis</i> . Sauro indet <i>Compsognathus longipes</i> (<i>C. corallestris</i>).
	England, Norfolk	Compsognathidae
	Département du Jura, France	<i>Streptospondylus cuvieri</i> . Theropoda indet Mégalosaurus sp. Theropoda indet
	Département du Var, France	
	Département du Calvados, France	
	Département de la charente-Maritime, France	
	Département de la Seine-Maritime, France	
E	Département du pas de Calais, France	<i>Pelorosaurus</i> sp. Sauropoda indet <i>Dacentrus armatus</i> (=D. lennieri) Mégalosaurus <i>insignis</i> . Theropoda indet <i>Dryosaurus</i> sp. Iguanodontia <i>Elaphrosaurus</i> sp? Ceratosauria Mégalosaurus <i>insignis</i> . Theropoda indet <i>Teinurosaurus sauvagei</i> . Theropoda indet <i>Iguanodon praecursor</i> . Sauropoda <i>Morinosaurus typus</i> . Sauropoda indet <i>Pelorosaurus</i> sp. Sauropoda indet <i>Neosodon</i> sp. Sauropoda indet <i>Camptosaurus</i> cf. <i>prestwichii</i> . Iguanodontia inc
U		
R		
O		
P		
E	Département de la Vienne, France	Mégalosaurus <i>insignis</i> . Theropoda indet Mégalosaurus <i>oweni</i> . Theropoda indet <i>Cetiosaurus humerocristatus</i> . Sauropoda indet <i>Camptosaurus</i> cf. <i>prestwichii</i> . Iguanodontia
	Province de Soria, Espagne	Mégalosaurus sp. Theropoda indet
	Province d'Asturias, Espagne	<i>Hypsilophodon</i> sp. Euornithopoda Mégalosaurus sp. Theropoda indet Mégalosaurus sp. Theropoda indet <i>Incertae sedis</i> . Diplodocoidea <i>Losillasaurus giganteus</i> . Diplodocoidea Mégalosaurus <i>insignis</i> ? Tetanurae indet Mégalosaurus <i>insignis</i> . Theropoda indet <i>Allosaurus</i> sp. <i>Allosauroida</i> <i>Iguanodon prestwichii</i> . Stegosauridae indet <i>Compsognathus</i> sp. Compsognathidae <i>Aviatyrannus jurassica</i> . Tyrannosauroida <i>Stokesosaurus</i> sp. Tyrannosauroida <i>Icertae sedis</i> . Maniraptora Cf. <i>Ricardoestia</i> sp. Maniraptora <i>Paronychodon</i> sp. Troodontidae indet <i>Archaeopteryx</i> sp. Archaeopterygidae <i>Bothriospondylus</i> sp? Sauropoda indet <i>Phyllodon henkeli</i> . Euornithopoda indet <i>Lourinhanosaurus antunesi</i> . Carnosauria <i>Lourinhasaurus alenquerensis</i> . Eusauropoda <i>Dacentrus armatus</i> . Stegosauridae <i>Dacentrus</i> sp. Stegosauridae <i>Dacentrus armatus</i> . Stegosauridae <i>Torvosaurus</i> sp. Tetanurae <i>Lourinhasaurus alenquerensis</i> . Eusauropoda <i>Brachiosaurus atalaiensis</i> Brachiosauridae <i>Pelorosaurus humerocristatus</i> . Sauropoda inde <i>Dacentrus armatus</i> . Stegosauridae Mégalosaurus <i>pombali</i> . Theropoda indet <i>Ceratosaurus</i> sp. Ceratosauria Mégalosaurus <i>insignis</i> . Theropoda indet
	Province de Valence, Espagne	
	Distrito do Leiria, Portugal	
	Distrito Do Lisboa, Portugal	

	<p>Distrito do Setúbal, Portugal Bayern, Allemagne</p> <p>Kanton Solothurn, Switzerland</p> <p>Yakustakay Avtonomnaya Oblast, Russia</p>	<p><i>Lourinhasaurus alenquerensis</i>. Eusauropoda <i>Incertae sedis</i>. Brachiosauridae <i>Brachiosaurus atalaiensis</i> Brachiosauridae <i>Incertae sedis</i>. Diplodocoidea <i>Dinheirosaurus lourinhanensis</i>. Diplodocoidea <i>Trimicrodon cuneatus</i>. Ornithischia indet. <i>Dacentrurus armatus</i>. Stegosauridae <i>Hypsolophodon</i> sp. Euornithopoda <i>Lourinhanosaurus antunesi</i>. Carnosauria <i>Dacentrurus armatus</i>. Stegosauridae <i>Dacentrurus armatus (inclus Astrodon pusi)</i> .Stegosauridae <i>Lourinhasaurus alenquerensis</i>. Eusauropoda <i>Lourinhasaurus alenquerensis</i>. Eusauropoda <i>Brachiosaurus atalaiensis</i> Brachiosauridae <i>Dacentrurus armatus</i>. Stegosauridae <i>Lourinhanosaurus antunesi</i>. Carnosauria <i>Brachiosaurus atalaiensis</i> Brachiosauridae <i>Mégalosaurus insignis</i>. Theropoda indet <i>Mégalosaurus pombali</i>. Theropoda indet <i>Lourinhasaurus alenquerensis</i>. Eusauropoda <i>Brachiosaurus atalaiensis</i> Brachiosauridae <i>Draconyx loureiroi</i>. Iguanodontia <i>Lourinhasaurus alenquerensis</i>. Eusauropoda <i>Brachiosaurus atalaiensis</i> Brachiosauridae <i>Dacentrurus armatus</i>. Stegosauridae <i>Compsognathus longipes</i>. Compsognathidae <i>Archaeopteryx lithographica</i>. Archaeopterygidae <i>Archaeopteryx bavarica</i>. Archaeopterygidae</p>
<p>A</p> <p>S</p> <p>I</p> <p>E</p>	<p>Gov'Altai, Mongolia</p> <p>Sichuan, Chine</p> <p>Liaoning, Chine</p> <p>Xinjiang Uygur Zizhiqu, Chine</p> <p>Gansu, Chine</p> <p>Shandong, Chine</p> <p>Hebei, Chine</p>	<p><i>Wellnhoferia grandis</i>. Archaeopterygidae <i>Mégalosaurus meriani</i>. Tetanurae indet <i>Ornithopsis greppini</i>. Sauropoda indet <i>Cf Stegosaurus</i> sp. Stegosauridae <i>Incertae sedis</i>. Avialae <i>Praeornis sharovi</i>. Avialae <i>Mamenchisaurus</i> sp. Sauropoda indet <i>Mamenchisaurus</i> sp. Sauropoda indet <i>Szechuanosaurus campi</i>. Theropoda indet <i>Sinocoelurus fragilis</i>. Theropoda indet <i>Yangchuanosaurus shangyouensis</i>. Allosauroidae <i>Yangchuanosaurus magnus</i>. Allosauroidae <i>Sinraptor hepingsensis</i>. Allosauroidae <i>Szechuanosaurus campi</i>. Theropoda indet <i>Szechuanosaurus yandonensis</i>. Theropoda indet <i>Mamenchisaurus constructus</i>. Eusauropoda <i>Mamenchisaurus hochuanensis</i>. Eusauropoda <i>Mamenchisaurus jingyanensis</i>. Eusauropoda <i>Mamenchisaurus youngi</i>. Eusauropoda <i>Omeisaurus changshouensis</i>. Sauropoda indet <i>Omeisaurus fuxiensis</i>. Sauropoda indet <i>Gongbusaurus shiyii</i>. Ornithischia. <i>Tuojiangosaurus multispinus</i>. Stegosaurus <i>Chianlingosaurus kuani</i>. Stegosaurus <i>Chungkingosaurus jiangbeiensis</i>. Stegosaurus <i>Chungkingosaurus</i> sp. Stegosaurus <i>Yangchuanosaurus</i> sp. Theropoda <i>Mamenchisaurus anyuensis</i>. Eusauropoda <i>Mamenchisaurus anyuensis</i>. Eusauropoda <i>Chaoyangosaurus youngi</i>. Neoceratopsia <i>Sinraptor dongi</i>. Allosauroidae <i>Mamenchisaurus sinocanadorum</i>. Eusauropoda <i>Tienschanosaurus chitaiensis</i>. Sauropoda indet <i>Gongbusaurus wucaiwansensis</i>. Euornithopoda <i>Cf. Szechuanosaurus campi</i>. Theropoda indet <i>Incertae sedis</i>. Eusauropoda <i>Hudiesaurus sinojapanorum</i>. Eusauropoda <i>Chiayusaurus lacustris</i>. Sauropoda indet <i>Mamenchisaurus constructus</i>. Eusauropoda <i>Euhelopus zdanskyi</i>. Eusauropoda <i>Xuanhuasaurus nieii</i></p>
	<p>Shewa, Ethiopia Mkoawa, Tanzania</p>	<p><i>Cf. Acrocanthosaurus</i> sp. Carnosauria <i>Ceratosaurus roechlingi</i>. Ceratosauria <i>Labrosaurus stehowi</i>. Ceratosauria <i>Allosaurus tendagurensis?</i> Allosauroidae <i>Mégalosaurus ingens</i>. Theropoda</p>

A F R I Q U E	Mashonaland nord, Zimbabwe	<i>Incertae sedis</i> . Sauropoda <i>Tendaguria tanzaniensis</i> . Sauropoda <i>Dicraeosaurus hansemanni</i> . Diplodocoidea <i>Dicraeosaurus sattleri</i> . Diplodocoidea <i>Tornieria africanus</i> . Diplodocoidea <i>Barosaurus gracilis</i> . Diplodocoidea <i>Brachiosaurus brancai</i> (inclus <i>B. fr</i> Brachiosauridae <i>Janenschia robusta</i> . Titanosauria <i>Kentrosaurus aethiopicus</i> . Stegosauridae <i>Dryosaurus lettowvorbecki</i> . Iguanodontia <i>Brachiosaurus sp.</i> Brachiosauridae <i>Barosaurus sp.</i> Diplodocidae <i>Dicraeosaurus sp.</i> Dicraosauridae <i>Camarasaurus sp.</i> Camarasauromorpha <i>Janenschia sp.</i> Titanosauria
---------------------------------	----------------------------	---

Tableau 4 : Distribution mondiale des dinosauriens du Jurassique.

c- Extinction des dinosauriens :

La disparition brutale des dinosauriens à la fin du Crétacé est expliquée par plusieurs théories :

1- Théories catastrophiques dues aux causes d'origine extraterrestre :

☞ La forte teneur en Iridium et d'Osmium, mise en évidence dans les sédiments des couches de transitions entre le Crétacé et le Tertiaire dans plusieurs régions (Mexique, Italie, Espagne, Tunisie..), a induit Alvarez et al., 1980 à émettre que notre planète a été heurtée par une comète d'un diamètre de 6 à 10 Km, créant un nuage de poussières. Ce nuage entourant la terre aurait obscurci l'atmosphère, les rayons du soleil n'auraient plus atteint notre sol ce qui a bloqué la photosynthèse et par conséquent toute la chaîne trophique. Cette nuit aurait duré environ 6 à 10 ans, au cours de laquelle les dinosauriens seraient morts de faim.

☞ Renard et al., 1984 ont proposé une autre théorie d'origine extraterrestre : Notre système solaire au cours de son long voyage à travers la galaxie aurait à la fin du Crétacé traversé un nuage dense de la matière interstellaire dont la poussière aurait eu une composition chimique proche de celle des météorites. Cette théorie a l'avantage d'expliquer la forte teneur en Iridium des couches de transitions crétacé-tertiaire. La poussière cosmique aurait filtré la lumière solaire, affaiblissant l'arrivée de longueurs d'ondes courtes (UV, radiations bleues) réduisant la photosynthèse du phytoplancton dans les mers et provoquant sur terre des carences au niveau du métabolisme de la vitamine D conduisant à des troubles de l'ossification ou de la formation des coquilles d'œufs.

2- Théorie gradualiste :

Cette théorie est basée sur la crise biologique de la limite Crétacé-Tertiaire. Au Cénomaniens, les régressions généralisées auraient conduit à un retrait de la mer jusqu'à une côte que l'on a pu démontrer être à au moins 150 m, ceci aurait considérablement réduit l'étendue du plateau continental sous-marin (zones néritiques) et aurait entraîné une rivalité intra-spécifique par pénurie de nourriture et d'espaces propices au développement des animaux. La majorité des groupes fauniques ont été atteints par des disparitions complètes (ammonites, bélemnites, rudistes ...) ou par des réductions très sensibles (brachiopodes, échinodermes, lamellibranches...).

D'après les mesures de la paléotempératures (Frakes, 1979), deux phénomènes ont joué d'une part, l'agrandissement des terres provoque une continentalisation du climat avec des écarts thermiques plus marqués entre l'hiver et l'été, d'autre part le fait de la glaciation a entraîné une baisse générale de la température. Les dinosauriens reptiles ont été les plus touchés par ces refroidissements et sont graduellement éteints.

II- DINOSAURIENS DU MAROC :

a- Historique sur les ossements :

La première trouvaille des ossements de dinosauriens de l'Afrique du Nord remonte à 1926. Elle a été faite dans la région d'El Mers (Moyen Atlas), à 100 km. Au S.-E. de Fès par Termier, 1936. Termier et al., 1940 y ont repris une faune qui comprenait :

☞ Á El Mers : Des restes de poissons et de reptiles chéloniens et crocodiliens ; plus une vingtaine de vertèbres, d'un *Mégalosaurus merensis* (crocodilien marin de la famille des télésauridés), deux fémurs de 1m,60, des fragments d'os longs et de bassin.

☞ Á Tamgert N'Tarit : Un humérus, un péroné, deux radius, un métatarsien, quatre métacarpiens et dix vertèbres, d'après la taille gigantesque des os et la forme des vertèbres on se trouverait devant un cétiosauridé.

Il existe d'autres régions fossilifères découvertes par Bourcart et al., 1942 dans la cuvette de Sgatt près d'Isseksi dans l'Haut-Atlas central. Les ossements sont des disques vertébraux (20 cm de diamètre) et une portion de fémur, appartenant à un Sauropode de grande taille.

Á l'Est de Tagounit et du coude du Draa (au sud de l'Atlas), dans le soubassement Crétacé continental de la Hamada du Guir et de Kem-Kem, Lavocat, 1951 a récolté huit vertèbres, un sacrum, une omoplate et des côtes appartenant à un Théropode, bipède et carnivore (*Mégalosaurus saharucus*). Et aussi plusieurs os qui pouvaient décrire un genre et une espèce nouvelle de gros Sauropode : *Rébbachisaurus garasbae* trouvé à Gara Sba dans des terrains rapportés au Crétacé inférieur, (Lavocat, 1951, 1952-1954).

De nombreux os et dents d'un dinosaurien ornithischien ont été découverts par Dutuit, 1967 dans le Trias supérieur de la formation d'Argana. Il se caractérise par des couronnes dentaires, qui varient entre 3 et 10 mm de diamètre, en semblant avec celle de *Fabrosaurus australis*.

Le bassin Crétacé de Taguelft (Haut-Atlas central) a montré deux découvertes importantes (Monbaron, 1978) :

☞ Humérus d'Ighrem Sgat : Cet os a une longueur de 95 cm. L'extrémité proximale en une forme de palette concave sur sa face interne mesure 40 cm de largeur. L'extrémité distale possède une section ovale, avec un grand diamètre de 20,5 cm et un petit diamètre de 10 cm. Ce qui en reste représente environ les deux tiers de sa longueur initiale.

☞ Colonne vertébrale d'Aït Wissadan. [X (420, 430), Y (180, 190)]. Une partie importante du squelette d'un grand dinosaurien en place, des grosses vertèbres sans apophyses apparentes.

Le squelette presque complet d'un grand Sauropode (**fig. 21**) découvert à Taguelft dans des couches rouges d'âge Oxfordien ?-Kimméridgien, il a été d'abord rapporté aux cétiosaures (*Cetiosaurus maghrebensis* Lapparent, 1955) puis rebaptisé *Atlasaurus imelakei* par Monbaron et al., 1999 grâce aux mensurations ostéologiques avec membres antérieurs et postérieurs presque de même longueur (humérus : 195 cm, fémur : 200 cm, cubitus et radius : 120 cm et tibia 110 cm, en ajoutant 40 cm pour les métacarpiens et métatarsiens, ainsi que la longueur des phalanges, on obtient pour chaque membre une longueur de 350 à 360 cm, du

sol jusqu'à l'attache de la ceinture).

Deux géants dinosauriens sont proches de l'*Atlasaurus* marocain : Le *Brachiosaurus* de l'Afrique orientale (à membres postérieurs plus courts, **fig. 22**) et le *Diplodocus* du Jurassique supérieur de l'Amérique du Nord (à membres antérieurs plus courts, **fig. 23**).

La découverte dans le plateau Crétacé de Kem-Kem d'un carnivore baptisé *Carcharodontosaurus saharicus*, Sereno, 1996 est caractérisé par un énorme crâne de 1,60 m avec des dents acérées de requin (22 cm), qui laisse présager d'un reptile de grande taille pouvant surpasser le *Tyrannosaurus rex*.



Figure 21 : Reconstitution de l'*Atlasaurus imlakei*.

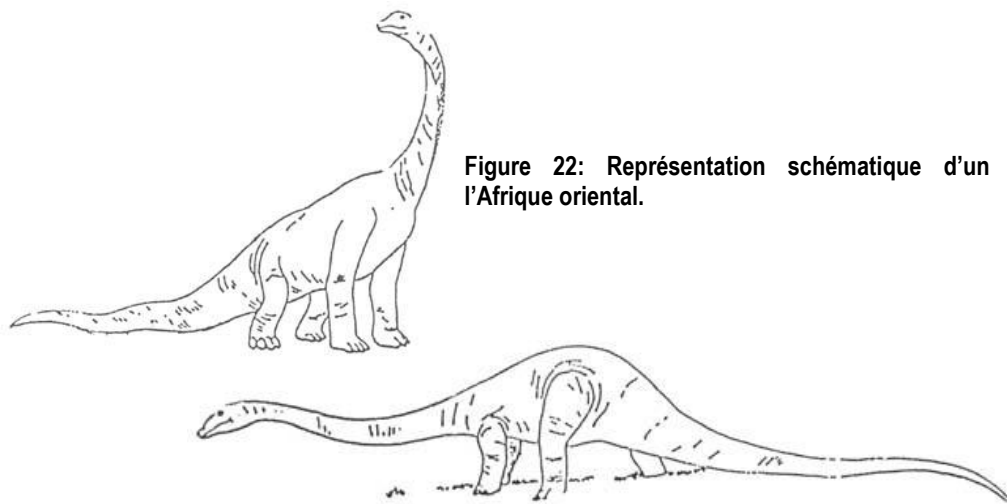


Figure 22: Représentation schématique d'un *Brachiosaurus* de l'Afrique orientale.

Figure 23 : Dessin simplifié d'un *Diplodocus* de l'Amérique du Nord.

b- Historique sur les investigations des traces de pas de dinosauriens dans le Haut-Atlas central :

Les premières empreintes de pas de dinosauriens découvertes au Maroc ont été signalées dans la cuvette d'Iouaridène (Haut-Atlas central), près de Demnate 100 Km à l'Est de Marrakech, par Plateau et al., 1937.

Elles ont été imprimées dans un substrat de couleur rouge brique du dogger continental craquelé par dessiccation. Ce sont de curieux autopodes tridactyles, avec une divergence très importante entre le doigt **II** et **III** et une enjambée mesurée sur terrain de 1,60 m (De Lapparent, 1945) ou tétradactyles, si le premier doigt (hallux) ne se repose pas sur le sol. Elles sont attribuables à des Théropodes bipèdes (*Eubrontes sp.*), carnivores de grande taille.

Une dizaine d'empreintes ont été trouvées sur des dalles calcaires jaunâtres à grains

fins du Maastrichtien à 16 Km à l'Est d'Agadir, les traces sont essentiellement tridactyles, malgré leur petit nombre, elles sont de types très divers :

☞ Empreintes tridactyles mesurant 47,5 ; 32 et 20,5 cm, pouvant être rapportées à un dinosaurien Théropode carnivore (mégalosauridés).

☞ Empreintes tétradactyles d'une longueur de 17 cm.

D'autres empreintes crétacées sont rapportées à des oiseaux (Ambroggi et al., 1954).

Le gisement de Demnate a été étudié par Dutuit et al., 1980, il montre l'une des plus longues (90 m) et belle piste connue au Maroc héritée par un quadrupède herbivore de grande taille dénommé *Breviparopus taghbaloutensis* Dutuit et al. 1980. La morphologie des empreintes postérieures (75 X 115 cm) (**fig. 24**) suggère une forme triangulaire à ovale. La trace de pattes antérieures (60 X 45 cm) forme un arc de demi-cercle.

Le Haut-Atlas de Ouarzazate, région d'Adrar-n-Ouglagal, montre une piste portant 80 traces de pas successives tridactyles, sur une longueur de plus de 90 m, imprimées sur une dalle calcaire rapportée au Lias inférieur.

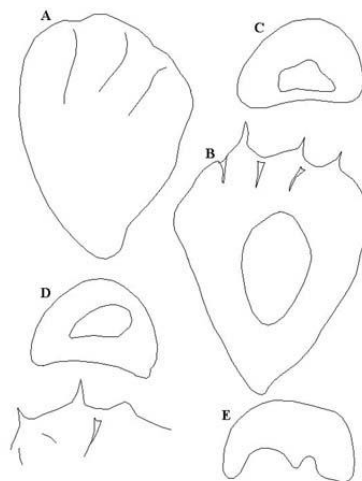


Figure 24 : Empreintes de pas : *Breviparopus taghbaloutensis* Dutuit et al., 1980, gisement d'Iouaridène.

Monbaron et al., 1981 citent, dans la région d'Iouaridène près de l'Oued Ghazzaf (361,2/127,1), des traces de pas avec deux énigmatiques sillons parallèles qui peuvent être gravés par l'appendice caudal.

Dans le Haut-Atlas d'Azilal-Demnate, Ishigaki, 1988 a étudié 1350 empreintes, réparties sur cinq grands groupes d'empreintes de dinosauriens, classées dans les sous-ordres des Coelurosauriens, Carnosauriens et Sauropodes.

Les gisements les plus célèbres sont ceux d'Aït blal, Waougoulzat, Assif-n-Sremt et Ibaqalliwn.

☞ **Groupe 1 (fig. 25 : 1, 2, 3, 4)** : Ce gisement a été observé à Aït Blal, il présente des traces qui mesurent presque 30 cm de longueur. Les traces de doigts sont très effilées et droites sans articulations comme celles des oiseaux. Le hallux est court et situé sur le côté de la patte et non à l'arrière comme celui du semi-plantigrade de Tirika (Nouri et al., 2001). Ce

sont des empreintes tétradactyles avec des doigts **I**, **II**, **III** et **IV** mais le doigt **I** est généralement mal imprimé ou non visible. Les doigts sont droits et sans trace d'articulation. Le nombre de doigts des empreintes de ce groupe varie beaucoup, quatre doigts (**I**, **II**, **III**, **IV**), trois doigts (**II**, **III**, **IV**) serrés, trois doigts (**II**, **III**, **IV**) serrés avec le doigt **II** mal imprimé et deux doigts (**III**, **IV**).

Les traces du groupe 1 sont-elles portées à une seule ou à plusieurs espèces ? Dans le premier cas la diversité des traces dépendrait de la locomotion de l'animal et de la nature du substrat sur lequel il marchait. Dans le deuxième cas il faudrait considérer l'existence de quatre espèces différentes. Il est certain que ces traces appartiennent à des animaux très légers et classés dans le sous-ordre des Coelurosauriens.

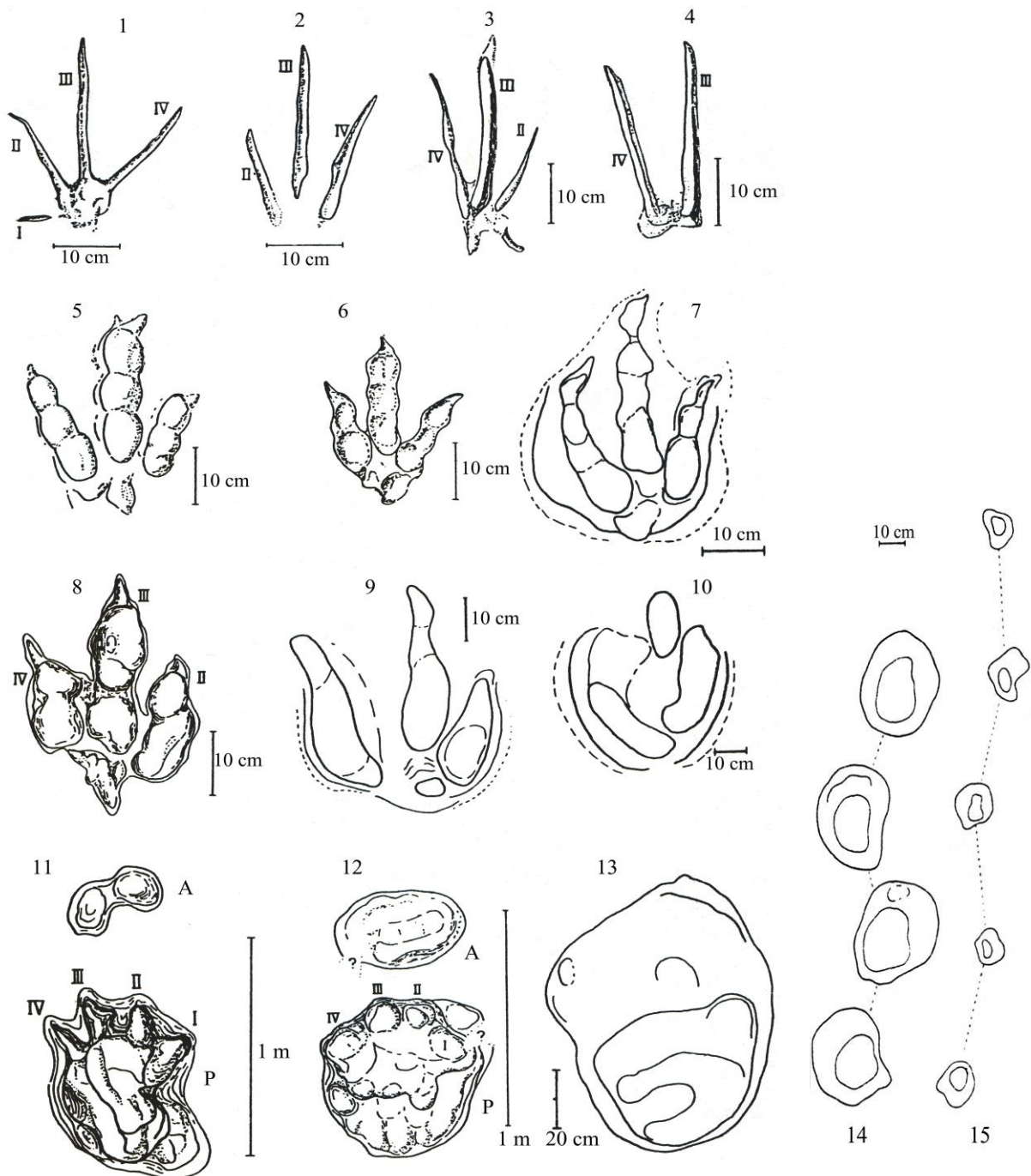


Figure 25 : Empreintes et pistes de pas de dinosauriens dans quelques gisements du Haut-Atlas central, (Ishigaki, 1988).

☞ **Groupe 2 (fig. 25 : 5, 6, 7)** : Les empreintes sont nombreuses dans la région de Waougoulzat, ce sont des empreintes tridactyles, d'environ 30 cm de longueur, comportant les traces des doigts **II**, **III** et **IV** de l'animal. Le doigt **III** est le plus long. Les dinosauriens responsables étaient bipèdes. Ces empreintes ressemblent beaucoup à celles de l'ichno-genre *Eubrontes* qui est classé dans la morpho-famille d'Eubrontidae, sous-ordre de Carnosauriens.

☞ **Groupe 3 (fig. 25 : 8, 9, 10)** : Les empreintes tridactyles massives de 30 à 50 cm de longueur comportent la trace des doigts **II**, **III** et **IV**. Ce groupe d'empreintes a été réalisé par des animaux bipèdes, appartenant au sous-ordre de Carnosauriens.

☞ **Groupe 4 (fig. 25 : 14, 15)** : Les empreintes sont massives rondes ou ovales avec un angle de pas relativement grand. On ne peut pas différencier les grandes traces de ce groupe de celles du groupe 5 qui sont mal conservées et celles du groupe 3 qui sont petites et mal conservées.

☞ **Groupe 5 (fig. 25 : 11, 12, 13)** : Les empreintes sont ovales, massives et assez grandes mais généralement mal conservées. Les animaux de ce groupe étaient quadrupèdes, l'angle du pas postérieur est plus grand que celui du pas antérieur. Les traces de ce groupe ressemblent beaucoup à des traces de Sauropodes trouvées au Texas (Bird, 1944).

Nouri et al., 2001 ont effectué une étude sur les traces tétradactyles, tridactyles et ovales, dans la cuvette d'Iouaridène au douar Tirika, ils ont dénombré 43 empreintes dispersées sur cinq pistes : Deux pistes de Théropodes, une piste d'Ornithopode et deux pistes ovales Sauropodes.

Boutakiout et al., 2006 ont réalisé une étude sur les traces tridactyles de Bin El Ouidane qui sont remontées au Bathonien. Elles sont d'une très petite taille, imprimées sur un substrat gréseux et laminé. Ce gisement est distingué par la disposition de ses empreintes, parfois de mêmes individus, sur deux niveaux différents et leur association avec des belles structures syngénétiques.

Pérez-Lorente et al., 2006 ont mené le premier travail sur les premières traces ovales et dactylés de dinosauriens remontant au Carixien dans la formation d'Arhbalou de la région de Goulmima.

Le tableau (**tab. 5**) ci-dessous peut résumer la répartition géographique et stratigraphique des ossements et des traces de pas de dinosauriens au Maroc.

Étage	Région	Ossements	Empreintes	Types des animaux
Maestrichtien (crétacé supérieur)	Haut-Atlas occidental (Agadir).		X	Oiseaux Reptiles Théropodes
Crétacé moyen.	Anti-Atlas (Kem Kem)	XX		Reptile Théropode
Crétacé inférieur	Hamada (Anti-Atlas) Tagleuft (Haut-Atlas central)	XX		Reptile Théropode
Oxfordien ? Kimmeridgien	Haut-Atlas central	XXXX	XXXXXX	Sauropode Ornithopode Théropode
Toarcien-Aalénien	Haut-Atlas central	XX	XX	Sauropode-Théropode
Lias moyen	Haut-Atlas central		XXX	Sauropode-Théropode
Trias	Haut-Atlas occidental (bassin d'Argana).	X	X	Théropodes Ornithischien

Tableau 5 : Situation stratigraphique et géographique des ossements et des traces de pas de dinosauriens au Maroc, Monbaron, 1983.

B- GÉNÉRALITÉS SUR LA PALÉOICHOLOGIE DINOSAURIENNE.

I- INTRODUCTION À LA PALÉOICHOLOGIE :

La Paléoichnologie (issue du terme grecque : "Paléos" ancien, "Ichnos" impression ou empreinte et "Logos" discipline ou science) est une discipline de la Paléontologie, qui s'intéresse à l'étude des empreintes et des traces produites par l'activité vitale des organismes du passé. La Paléoichnologie s'occupe de l'étude directe des traces de bioactivité (empreintes des pattes) des coprolithes (restes fécaux, **fig. 26**), des gastrolithes (pierres ingérées par animal pour faciliter sa digestion ou augmenter sa densité) et œufs (**fig. 27, 28**).



Figure 26 : Crottes consolidés d'un dinosaurien ou coprolithes. Pérez-Lorente, 2001.



Figure 27 : Gisement d'œufs à coquilles souvent brisées, pondus deux par deux, en mesurant 15 cm, (Espérasa, France).
Figure 28 : Oeufs érodés de dinosauriens du Crétacé supérieur, gisement de Bastùs (Lérida) Espagne.

La Paléoichnologie s'occupe dans un deuxième temps du type de fossilisation, la reconstitution de la paléobiologie (la locomotion, le comportement et la reproduction) et du paléomilieu de vie ou paléoenvironnement.

II- PROBLÈMES LIÉS À LA PALÉOICHOLOGIE :

a- Disposition pyramidale des espèces de dinosauriens :

Les effectifs des carnivores par rapport aux herbivores sont considérés comme origine de l'énergie dépensée par les carnivores :

☞ Plusieurs productions d'énergie interne (endothermes) produite par l'alimentation pourraient donner une disposition pyramidale des dinosauriens, ce qui montre que les

empreintes herbivores sont plus nombreuses que celles des carnivores,

☞ L'utilisation de l'énergie solaire (ectotherme) par les animaux à sang froid qui favorise une disposition trophique non pyramidale en qualifiant que, le nombre de traces des carnivores est plus important que celui des herbivores,

☞ Les empreintes Théropodes sont généralement plus nombreuses que les empreintes des Ornithopodes et des Sauropodes (Lockley, 1993). Si le nombre des empreintes de dinosauriens carnivores (Théropodes) est élevé par rapport aux empreintes herbivores, ceci impliquerait que les carnivores utilisent l'énergie solaire pour maintenir leur température vitale en tant qu'animaux poïkilothermes. Une autre interprétation implique que les carnivores nécessitent de grands territoires pour rencontrer leurs proies, tandis que les herbivores sont concentrés dans des biotopes favorables, ce qui réduit la répartition géographique de leurs traces (Farlow et al., 2000).

b- Parataxonomie des ichnofossiles :

On ne peut pas faire une bonne corrélation, entre les ichnofossiles et les espèces dinosauriennes responsables sauf exceptions, la plupart des corrélations se font au niveau de la super-famille et l'ordre des dinosauriens prédéfinis à partir des squelettes osseux Romero et al., 2003a.

La classification des empreintes fossiles dépend de deux facteurs majeurs :

- ☞ La forme de l'empreinte,
- ☞ Le type de la piste.

Les classifications de Haubold (1971), Carrano et al. (2001) et Romero et al. (2003a) sont les seules classifications adoptées, dans notre travail, sur les empreintes de pas de dinosauriens du Haut-Atlas central du Maroc, mais avec un changement de la nomenclature du Coelurosaurien, petit Théropode, et Carnosaurien, grand Théropode, et avec la disparition de la super-famille tyrannosauroidae et mégalosauroidae dans la classification de Romero et al. (2003a).

On peut suggérer trois types d'empreintes de pas de dinosauriens :

1- Empreintes de Théropodes :

Ce sont des empreintes dactylées (**fig. 29**) distinguées par les caractères suivants (Thulborn, 1990 ; Pérez-Lorente, 2001) :

- ☞ Ichnites mésaxoniennes tridactyles (**II, III, IV**) ou tétradactyles (+I),
- ☞ Doigts individualisés et larges,
- ☞ Formule des phalanges allait entre (2)345(0),
- ☞ Doigts pointus,
- ☞ Angle situé entre doigt **II**^{**III**} est moins importante qu'entre **III**^{**IV**},
- ☞ Doigt **III** est le majeur du pied,
- ☞ Doigt **II** au niveau des hypex est plus large que le doigt **IV**,
- ☞ Union entre le doigt **III-IV** est très puissant (en forme de V) qu'entre **II-III**,
- ☞ Talon saillant est formé par le coussinet qui protège l'union de la partie proximale de la première phalange du doigt **IV** avec le métatarse, et parfois bilobulaire parce que le coussinet du doigt **II** fait parvenir aussi dans sa constitution,

- ☞ Hallux dirigé vers l'arrière,
- ☞ Pied en général plus long que large,
- ☞ Chacun des doigts présente plusieurs coussinets.



Figure 29 : Empreinte de pas d'un Théropode, gisement de Valdecevillo, Rioja, Espagne. (Pérez-Lorente et al. 2001).

2- Empreintes d'Ornithopode :

Dans ce type de trace existe deux grands groupes : Grand Ornithopode (**fig. 30**) et petit Ornithopode appelé Ornithopode coureur dont la taille est inférieure à 25 cm (Thulborn, 1990).



Figure 30 : Empreinte de pas d'un Ornithopode, les deux photos sont prises sur deux positions différentes, gisement de Valdecevillo, Rioja, Espagne (Pérez-Lorente et al. 2001).

Les caractéristiques biomorphologique des grands Ornithopodes (taille > 25 cm) sont les suivantes (Pérez-Lorente, 2001) :

- ☞ Traces mésaxonienne tridactyles (**II, III, IV**) ou tétradactyles (+**I**),
- ☞ Doigts relativement petits et épais,
- ☞ Doigts présentent une terminaison ronde,
- ☞ Il est difficile de calculer l'angle interdigital, mais si les axes des doigts sont bien établis leur disposition reste même que chez les Théropodes (angle **II^III** est moins que **III^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 est large que long,
- ☞ Enveloppe du pied est presque subcirculaire.

On distingue deux types de traces du petit Ornithopode (coureur) :

- ☞ Forme de trace est similaire à la forme du trace du grand Ornithopode,
- ☞ Trace similaire à la trace du petit Théropode.

3- Empreintes de Sauropodes :

Ce sont des traces ovales d'un grand reptile quadrupède (**fig. 31**), organisées en deux éléments :

☞ La main : Cette trace est très petite par rapport au pied, en une forme arquée, elle est parfois marquée sur certaines pistes par la griffe du doigt **I** appelé "polles" qui se pointe à l'intérieur de la piste. Il existe plusieurs cas où les marques de mains ne sont pas bien conservées dans le substrat.

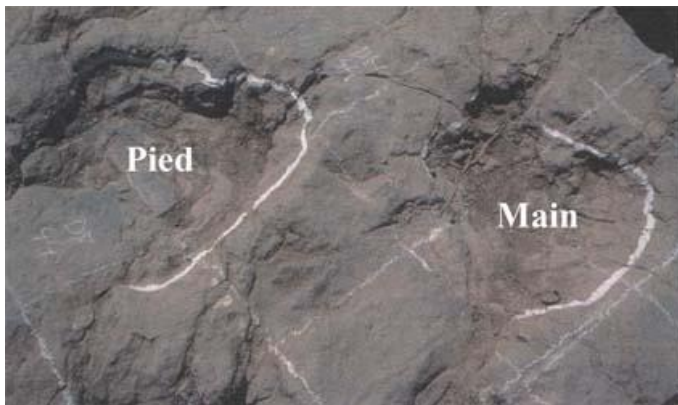


Figure 31 : Couple d'empreintes de pas (pied/main) d'un Sauropode, gisement de la Era del Peladillo, Rioja, Espagne, Pérez-Lorente et al., 2001).

☞ Le pied peut montrer jusqu'à cinq doigts courts et larges (**fig. 32**), le nombre des ongles est variable selon les ichnos-espèces (*Rhoetosaurus I, II, III, IV, V* ; *Apatosaurus*, *Tornieria I, II, III* ; *Barosaurus I, II*).

Généralement, le pied est représenté par une forme ovale plus longue que large. Le doigt **IV** offrait le plus petit ongle et le **I** offrait le plus grand. La partie intérieure ou médiane du pied porte probablement un seul coussinet.

Pour la classification ichnologique, on tient compte de la séparation du couple (pied/main) par rapport à la ligne médiane de la piste, on distingue deux ichno-genres (**fig. 33**) :

☞ *Parabrontopodus* ou *Breviparopus* (Lockley et al., 1994), la piste tracée par les mains est plus large que la piste tracée par les pieds, donc le centre des autopodes (pieds et mains) ne se situe pas exactement à la même distance de la ligne médiane dont le rapport Ar/r est supérieur à 0,5 pour les mains et inférieur à 0,5 pour les pieds.

☞ *Brontopodus* (Farlow, 1992) est un ichno-genre caractérisé par une amplitude de la piste similaire pour les deux membres (pied et main), dont la relation Ar/a est égale chez les deux pistes des deux éléments du couple, en mesurant une valeur supérieure à 0,5.

Généralement, le couple de traces du *Brontopodus* ne touche jamais la ligne médiane de la bête.

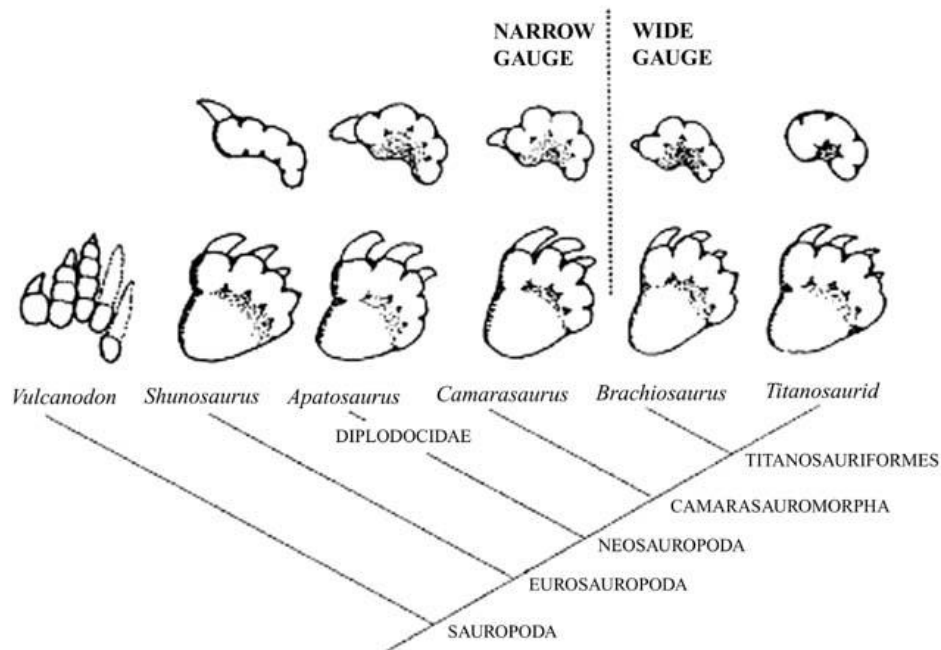


Figure 32 : Empreintes de Sauropodes dans un contexte phylogénique basé sur le squelette, Wright, 2005.

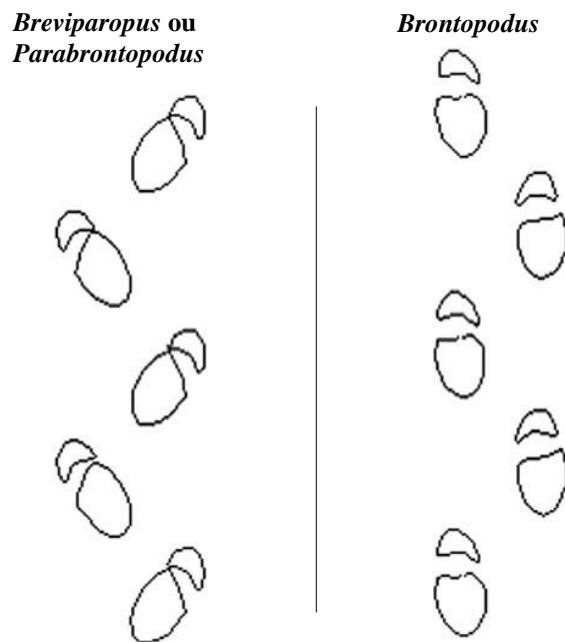


Figure 33: Deux types ichnologiques des pistes de Sauropodes.

III- FORMATION DES EMPREINTES DE PAS ET LEURS RELATIONS AVEC LES STRUCTURES SÉDIMENTAIRES :

a- Introduction :

Le sédiment et son évolution diagenétique, où les empreintes de pas de dinosauriens sont imprimées, sont intimement liés à l'état de la conservation des empreintes. À l'aide des structures sédimentaires, on peut révéler l'état de la boue et les différentes étapes de contact

du pied avec le sol telles que la touche du pied au sol, la pénétration du pied, le lever du pied et la sortie du pied. Les empreintes fossiles sont le résultat de la déformation des strates due à l'interaction entre le pied du dinosaurien et la fange du sol ; la genèse des ichnites dépend du type du dinosaurien et la réaction des propriétés physiques de la boue.

b- Facteurs impliqués dans la fossilisation des empreintes de pas de dinosauriens :

Le terme "empreinte fossile" est une structure sédimentaire secondaire ou post-sédimentaire d'origine organique. Elle peut être considérée comme une réplique pétrifiée de l'impression originale ou bien un moule du pied. Si les impressions sont remplies par les sédiments, on va les considérer comme des répliques ou des contre-moules (**fig. 34**) essentiellement traités comme des répliques de pieds formées par la couche supérieure, ces répliques sont appelées les empreintes à relief négatif, contrairement aux moules qui sont les reliefs positifs.

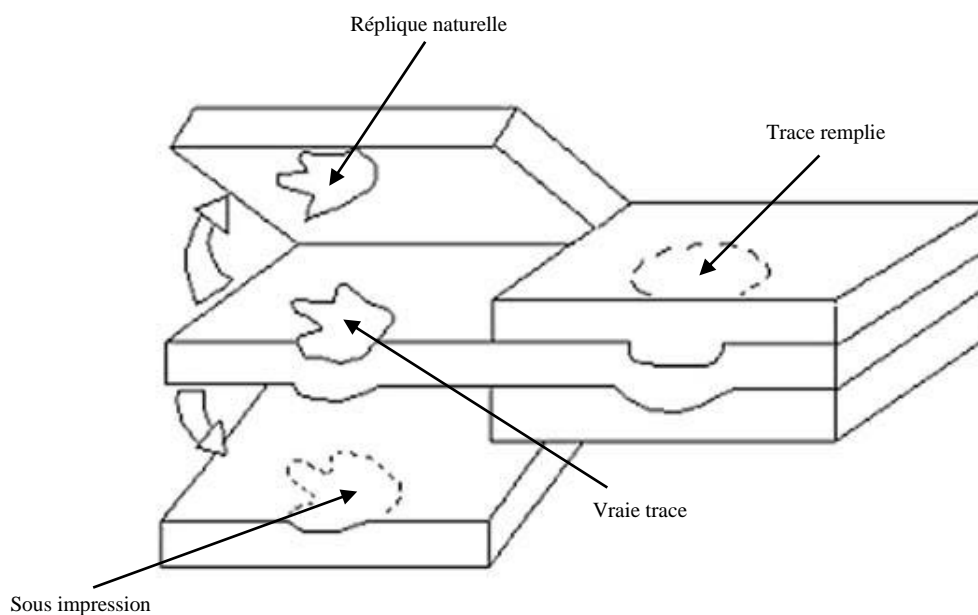


Figure 34 : Différentes dérivées d'une empreinte fossile (Lockley, 1993).

Généralement, la bonne conservation des empreintes fossiles des dinosauriens ne désigne ni une strate très molle (humide), qui doit produire des traces difficiles à distinguer et difficiles à identifier, ni une strate très dure, mais dans un substrat un peu meuble imbibé d'eau que les empreintes sont bien identifiées.

La sédimentation d'une couche supérieure sur les ichnites joue un rôle important dans la réservation des empreintes, c'est grâce à elle que les caractères gravés, dans le sol, sont préservés contre l'érosion et l'hydrodynamisme.

c- Propriétés de la fange d'impression :

Les caractéristiques de la boue jouent un rôle très important dans la formation des moulages du pied. La viscosité, la composition minéralogique, la taille des grains, et la quantité de l'eau dans les sédiments; constituent les facteurs importants dans la qualité des ichnites. Les sédiments meubles à texture fine tels les boues argileuses ou calcaires imprimant bien les empreintes, deviennent plus facilement secs et durs, donc plus résistants aux courants et au vent.

d- Structures associées :

1- Structures directes :

Ce sont des structures situées à l'interface entre la peau du pied de l'animal et la surface sédimentaire (Gatesy et al., 1999 ; Gatesy, 2003).

1.1- Stries "scrape-marks" : Généralement, produites par le glissement ou le déplacement radial de la boue, ils peuvent nous indiquer le trajet de l'entrée du pied de l'animal dans la couche sédimentaire (**fig. 35**).



Figure 35 : Stries laissées par le trainage de la queue. Gisement de la Rioja (Espagne, Pérez-Lorente).

1.2- Coupures : Sillons produits par les griffes pendant la sortie du pied de la fange.

1.3- Estampes : Surfaces du contact direct avec le pied de l'animal qui s'introduit à l'intérieur du niveau inférieur.

2- Structures indirectes :

Ce sont des structures formées, lors des impressions, sans contacts directs entre le pied de l'animal et la surface de marche.

2.1- Lamines déformées : Laminations (mécaniques sédimentaires ou organiques stromatolithiques) déformées par la pression du pied.

2.2- "Ripple-marks" écrasés : Rides de courants déformées au moment de la pénétration du pied.

2.3- "Mudcracks" aplanis : Polygones de dessiccation déformés par le poids de l'animal.

2.4- Bourelets ou talus de rejet : Boue qui sort du creux occupé par le pied, en entourant l'empreinte. Le volume de la boue déplacée dépend de sa viscosité et de la pression exercée par le pied.

2.5- Chute partielle de la boue : C'est un phénomène extrinsèque formé par le glissement de la boue pendant la sortie du pied de la fange. Parfois, elle provoque des rétrécissements et des oblitérations des traces de doigts (qui se confondent souvent avec les continuations des traces d'ongles).

2.6- Chute totale de la boue : Chute pouvant effacer la totalité de l’empreinte dans le cas des boues moins cohérentes et plus fluides (**fig. 36**).



Figure 36 : Trace tridactyle semi-plantigrade en une forme linéaire, Gisement de la Rioja (Espagne, Pérez-Lorente).

2.7- Sous impressions (fig. 37) : Selon la nature de la fange, l’épaisseur de la couche et la forme du pied, les empreintes peuvent être enregistrées en sous impressions, dans le niveau inférieur, généralement dans les strates les plus profondes de la surface originale de la marche.



Figure 37 : Sous impression révélée par la continuité des ripple-marks à l’intérieur de la trace. Gisement de los Cayos, Espagne. Moratalla et al., 1997.

2.8- Moulages : Formation de moules naturels "epirelief" par le dépôt d’une couche supérieure et le remplissage de l’empreinte post-marche du dinosaurien.

e- Principales phases de la formation des empreintes (tab. 6 – fig. 40) :

D’après Thulborn et al., 1989 et Pérez-Lorente, 2003, on peut différencier cinq principales phases qui produisent la formation des empreintes :

1- Phase T "touch-down" : Premier contact entre l'appui du pied et le sol. Deux sous phases sont à distinguer :

1.1- Sous phase T_a : 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 T_e : Le pied pénètre dans le substrat, générateur des stries qui sont marquées à l'intérieur et sur les parois latérales de l'empreinte, la boue déformée est marquée à l'avant du pied et à l'intérieur de l'empreinte en effet c'est le début de la formation du bourrelet.

2- Phase W "weight-bearing" (fig. 38) : 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, la zone neutre, les sous impressions, les lamines déformées etc. Dans le cas d'une boue très visqueuse, six sous phases sont identifiables :

2.1- Sous phase W_a : Le pied s'appuie en totalité sur le sol, quatre éventualités sont à distinguer :

☞ **W_{a1} :** Seuls les doigts s'appuient sur le substrat, il s'agit d'une ichnite digitigrade.

☞ **W_{a2} :** L'animal s'appuie sur les doigts et le métatarse en même temps, de manière que le résultat est une ichnite semi-plantigrade.

☞ **W_{a3} :** Le pied s'appuie en deux mouvements :

* **W_{a3.1} :** Le premier mouvement concerne l'avant partie de l'autopode qui grave la plus profonde fraction de l'empreinte.

* **W_{a3.2} :** Le deuxième mouvement implique la plante du pied.

☞ **W_{a4} :** On peut la rencontrer dans le cas d'une boue à basse viscosité, elle se caractérise par un appui digitigrade, mais avec une partie du métatarse et du hallux.

Les structures associées à cette phase sont des déformations de remplissage de l'empreinte, filichnites ou collapsus de la boue qui oblitère les empreintes de doigts.

3- Phase K "kick-off" : Il se produit pendant la sortie du pied de la fange, cinq sous phases sont distinguées :

☞ **Sous phase K_a :** L'arrachement des ongles se fait vers l'avant du pied, les stries tracées par les ongles sont orientées vers le sens de la marche.

☞ **Sous phase K_b :** L'entrée des pointes de doigts et le soulèvement du pied.

☞ **Sous phase K_c (Fig. 39) :** L'arrachement des ongles et les pointes de doigts sont marquées sur la partie postérieure de l'empreinte.

☞ **Sous phase K_d :** Pour l'empreinte semi-plantigrade, la trace du métatarse est séparée des traces de doigts, les structures formées sont similaires à celles de la phase **W_{b1}**.

☞ **Sous phase K_e :** L'arrachement de la boue par le pied en produisant les structures suivantes : Collapsus, oblitération des doigts, fractures, partie digitale de l'empreinte (elle est plus profonde que celle du métatarse) et structures de thixotropie.

4- Phase B : Variation de la phase **K_b** dans un sol à haute viscosité.

Dans cette phase, on n'observe que les traces de doigts.

5- Phase S : Représentée pendant la natation ou semi-natation du dinosaurien. Les structures associées à cette phase sont les stries, les canaux laissés par les doigts et les pistes formées par les mains de Sauropodes.

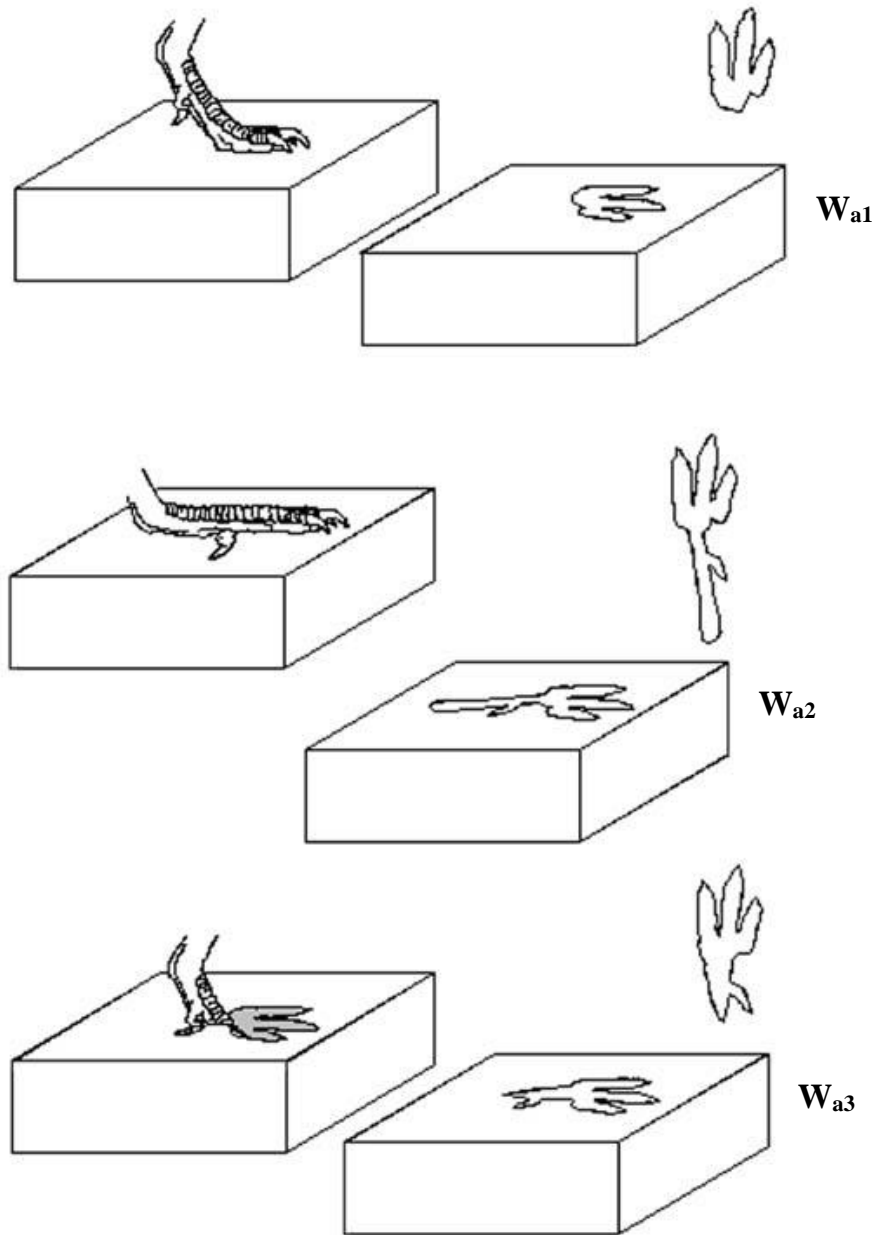


Figure 38 : Traces produites pendant la phase W. Trace digitigrade (W_{a1}) ; trace avec l'entrée du métatarse dans le sol (W_{a2}) trace semi-plantigrade (W_{a3}). Pérez-Lorente, 2003.

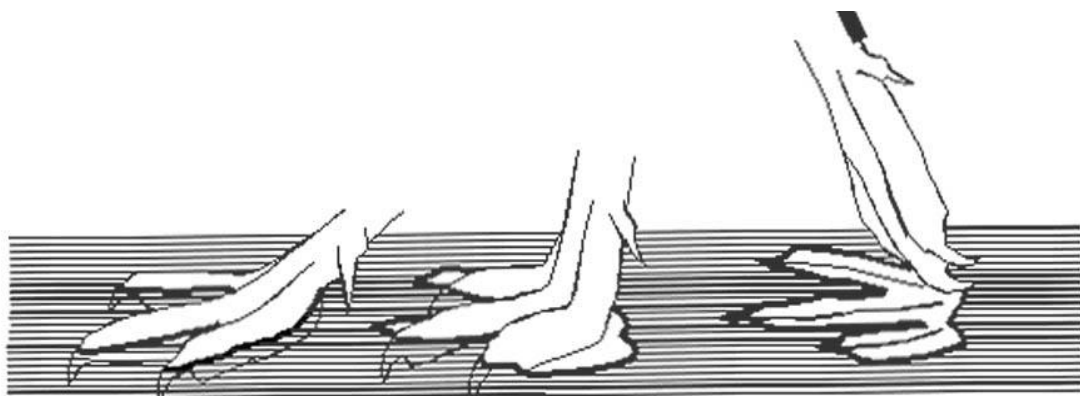


Figure 39 : Formation des stries par les ongles ; sous phase Kc Pérez-Lorente, 2003.

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. Les marques d'ongles sont 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)	

Tableau 6 : Propriétés de la couche et les structures dépendant des empreintes, Romero-Molina et al., 2001.

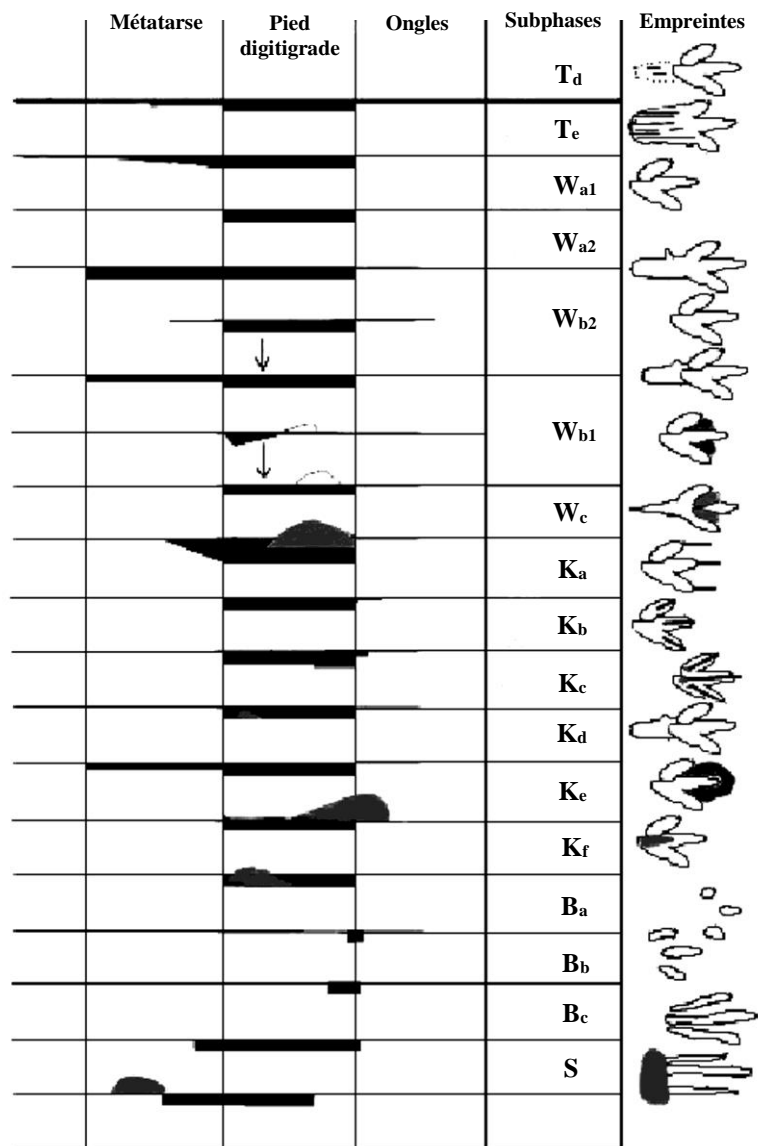


Figure 40 : Structures associées et les phases de formations des différents éléments d'empreintes, Pérez-Lorente, 2003.

CHAPITRE II
LES TECHNIQUES ET LES MÉTHODES UTILISÉES
POUR MESURER LES ICHNITES DE PAS DE
DINOSAURIENS

I- INTRODUCTION :

Généralement, la paléoichnologie définit la relation entre les paramètres propres des traces de pattes et la séquence laissée par la marche ou le trot etc. C'est pourquoi cette science nécessite des calculs biométriques et biomécaniques.

L'étude d'un gisement des empreintes de pas de dinosauriens nécessite deux principales grandes étapes : Une étude des traces individuelles et une étude des pistes et leurs associations.

II- ÉTUDE DES TRACES INDIVIDUELLES :

Deux types de critères (**a- Critère biomorphologique** et **b- Critère métrique et biométrique**) sont utilisés pour les mensurations d'une trace tridactyle ou tétradactyle (Thulborn, 1990 ; Pérez-Lorente, 2001) :

Sur chacune des pistes, on rencontre une empreinte-type dite de référence. Il existe deux options pour sélectionner une empreinte-type :

- ☞ Choisir une marque plus détaillée et moins déformée, parfois cette marque est synthétisée à partir de nombreuses mesures sur de nombreuses empreintes,
- ☞ Mesurer toutes les empreintes de la même séquence, la valeur moyenne doit être utilisable en tant qu'empreinte-type.

On peut avoir une série de mesures obtenues à partir d'une trace singulière, les plus importantes sont la longueur, la largeur de chaque orteil et l'angle interdigital.

a- Critère biomorphologique :

Une ichnite est une structure sédimentaire secondaire ou post-sédimentaire d'origine organique. Elle expose les détails anatomiques de l'autopode, donc sa conservation dépend directement de l'état de la préservation des structures de l'anatomie du pied et l'état physique du sol.

1- Forme des doigts : Dans la plupart des cas, nous concentrons nos analyses sur l'étude de la morphologie du doigt central qui est le **III** chez les dinosauriens. Généralement, les limites externes des traces de doigts sont en forme **V** chez les Théropodes, alors qu'elles sont en forme **U** chez les Ornithopodes.

L'empreinte du pied des dinosauriens bipèdes (Théropodes et Ornithopodes) est de type mésaxonienne, le doigt principal **III** forme l'axe du pied.

La plupart des dinosauriens bipèdes sont tridactyles, mais il y a des monodactyles, bidactyles, tétradactyles et pentadactyles (Haubold, 1971).

Le nombre de doigts de la main chez les dinosauriens ne correspond pas au même nombre de doigts du pied, il existe des Théropodes à quatre doigts au pied et deux doigts à la main.

2- Présence des griffes : Dans la zone distale des orteils chez les carnivores.

3- Présence des coussinets : Enveloppes protégeant les phalanges (métamérisés et fossilisés) ou les articulations des doigts. On peut distinguer deux types de coussinets (**fig. 41**) :

3.1- Coussinets "mésartrals" : Chaque phalange est entourée par un coussinet.

3.2- Coussinets "artrals" : Les coussinets protègent les articulations entre les phalanges parfois un coussinet peut englober plusieurs articulations.

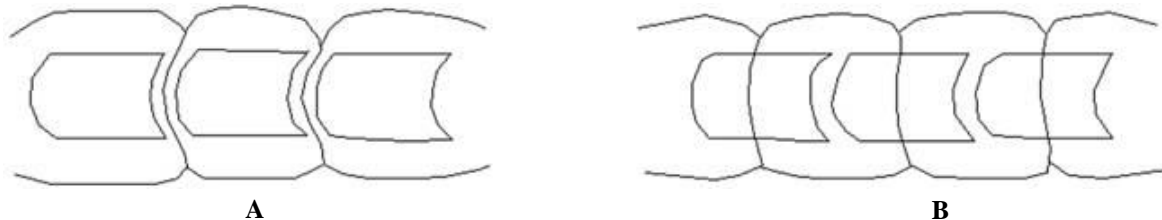


Figure 41 : Schéma explicatif de la position des coussinets par rapport aux phalanges. A : Coussinet mésartral, B : Coussinet artral.

4- Forme du talon : Sa distinction est difficile. Le talon peut être pointu, échancré ou pourvu d'un hallux.

5- Forme générale : Plusieurs autres critères sont à noter : Taille, forme, orientation, ordre des orteils, griffes, membrane interdigitale, hallux et polles (**fig. 42**).

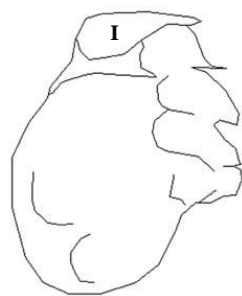
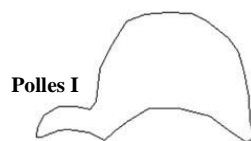


Figure 42 : Couple de traces, d'un Sauropode, signalant la présence du doigt I (polles) à la main et du hallux (I) au pied (Thulborn, 1990).

b- Critère métrique et biométrique (Haubold, 1971 ; Sarjeant, 1975 ; Demathieu, 1986 ; Casanovas et al., 1989) :

Les méthodes utilisées sont inspirées des études zoologiques des animaux actuels et des mensurations ostéologiques des ossements.

1- Longueur du pied (L) : C'est la distance qui sépare la partie distale de la partie proximale du pied (**fig. 43**).

2- Largeur du pied (a) : Il s'agit de la différence entre deux points très extrêmes des doigts externes, dont la droite qui les sépare est perpendiculaire à l'axe du pied (**fig. 43**).

3- Doigts : On prélève leurs longueurs (**LII, LIII, LIV**) et leurs angles interdigitaux (**II^III, III^IV, II^IV**), (l'orteil **III** est l'axe du pied chez la plupart des empreintes tridactyles des dinosauriens) (**fig. 43**).

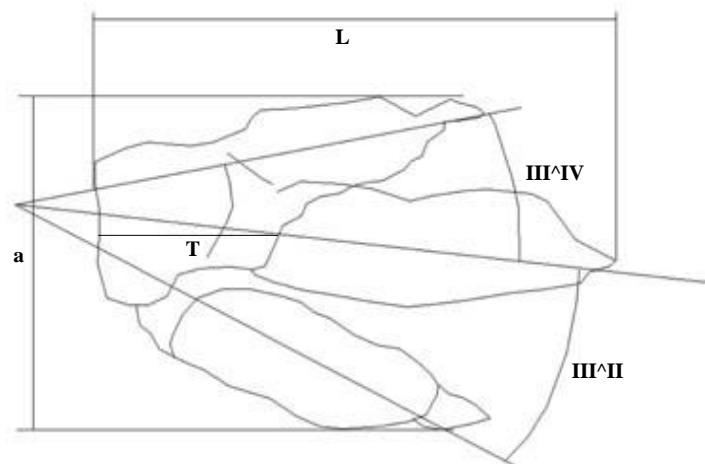


Figure 43 : Différents paramètres biométriques d'une trace individuelle d'un dinosaurien bipède tridactyle.

4- T : Distance entre la base du doigt **III** et le contour le plus postérieur du talon (**fig. 43**).

5- Paramètres de Weems : Weems, 1992 a fait introduire d'autres paramètres intéressant la longueur des doigts en relation avec la longueur du pied et le talon. Ces paramètres sont (**fig. 44**) :

- ☞ **fl** : La longueur de l'empreinte,
- ☞ **fw** : La largeur de l'empreinte tracée entre les extrémités distales des doigts latéraux,
- ☞ **fw'** : Les points où l'on peut mesurer la largeur extrême de l'empreinte,
- ☞ **te** : L'extension du doigt **III** est mesurée à partir de la ligne tracée entre les extrémités distales des doigts latéraux (**fw**) jusqu'à son point extrême.

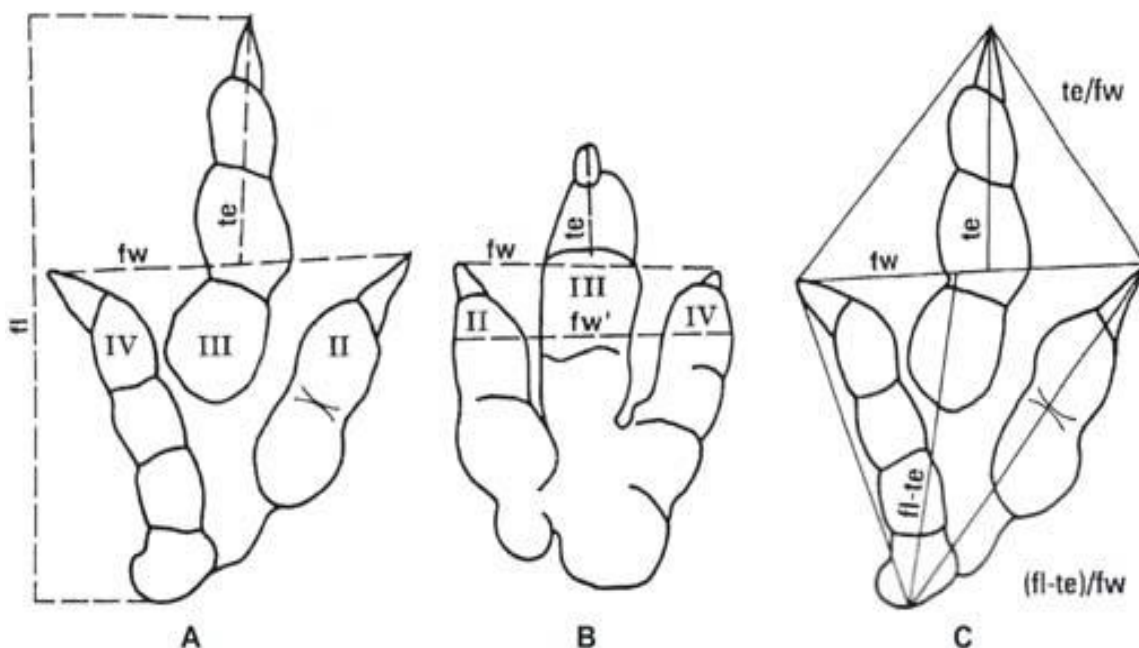


Figure 44 : Paramètres de Weems, 1992 sur les traces tridactyles.

III- ÉTUDE DES PISTES ET LEURS ASSOCIATIONS :

a- Critères biomorphologiques :

1- Pistes ou voies : Une piste est une succession de traces produites par une même progression d'un animal, elle apporte des informations sur sa locomotion. Les pistes dinosauriennes bipèdes sont en relation avec la verticalité des extrémités (**fig. 45**) (condition parasagittale).

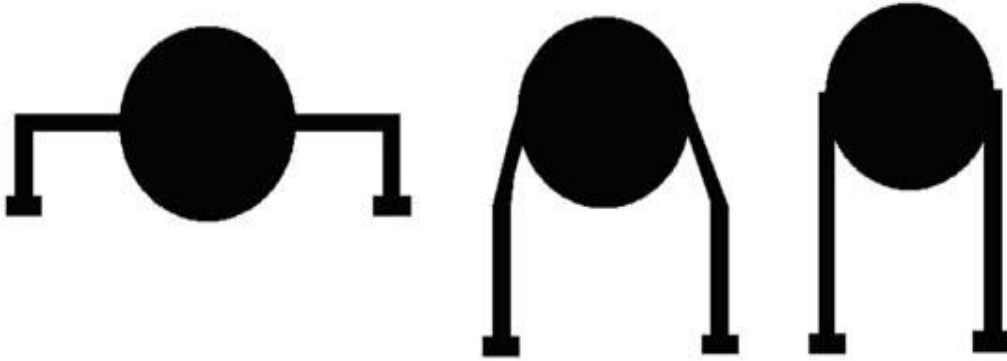


Figure 45 : Différents types de ports des archosauriens (redessiné de Lambert, 1988).

La queue a un rôle important durant la progression de l'animal, elle subit un balancement à gauche et à droite (**fig. 46**), ce qui provoque un appui des pieds sur le sol.

Contrairement, les Sauropodes quadrupèdes montrent une orientation externe des empreintes de pieds, dans ce cas l'appendice caudal est moins important durant la marche.

Les pistes sont parfois incomplètes (manque des ichnites intermédiaires), ceci est expliqué par plusieurs causes (Pérez-Lorente, 2001) :

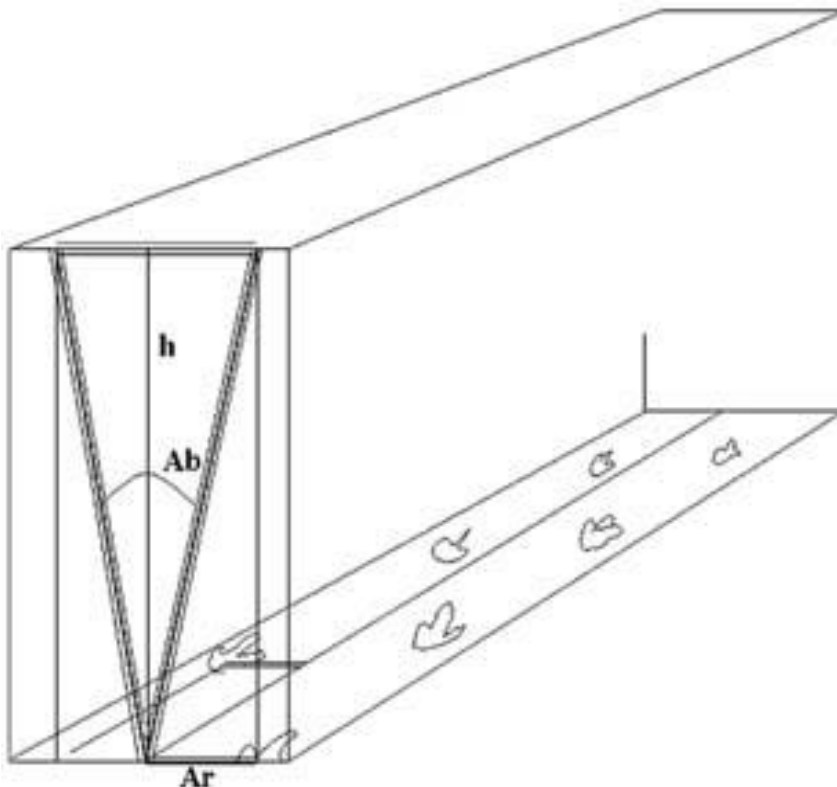


Figure 46 : Balancement d'un dinosaurien bipède au cours de la marche, Pérez-Lorente, 2001.

- ☞ La quantité d'eau du substrat est faible pour pouvoir imprimer l'empreinte de pas,
- ☞ La profondeur d'eau est assez élevée par rapport à l'altitude des pattes des dinosauriens, poussant l'animal à nager plutôt que marcher,
- ☞ Un état de boue pouvant influencer sur la formation de l'empreinte,
- ☞ Un état de conservation sur des sédiments mous (argiles) et d'absence sur des sédiments plus indurés (grès),
- ☞ Effacement des empreintes par des courants hydriques.

2- Centre des empreintes : C'est le point de l'axe du pied situé entre l'extrême du talon et l'hypex des doigts **III-IV** (fig. 47).

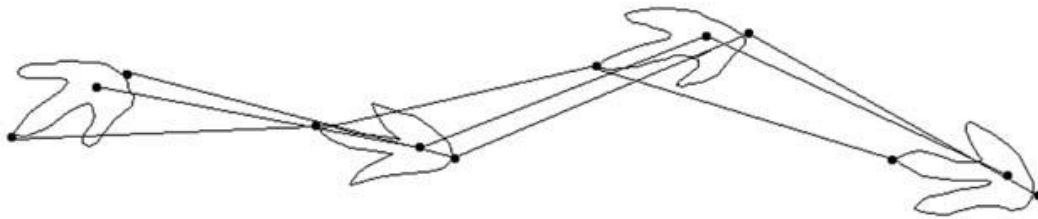


Figure 47 : Variation des mesures selon la situation du point de référence, Pérez-Lorente, 2001.

L'emplacement du centre du pied est généralement en relation directe avec l'affaissement du pied. Il est disposé sur les trois éléments suivant : L'axe du pied, hypex des doigts **III-IV** et le talon. Le meilleur axe de la trace forme un angle avec la direction de la piste, c'est à dire l'angle formé entre les axes des deux pieds (droit, gauche).

b- Étude des critères biométriques :

Les abréviations des noms de mesures utilisées sont induites de la langue espagnole:

P : Paso (Pas) ; **Z** : Zancada (Enjambée) ; **Ap** : Angulo de paso (Angle du pas) ; **Ar** : Amplitud de rastrillada (Amplitude de la piste) ; **Lr** : Luz de rastrillada (Lumière de la piste) ; **O** : Orientacion (Orientation) ; **a** : Anchura del pie (Largeur du pied); **L** : Longitud del pie (Longueur du pied) ; **Lm** : Línea media (ligne médiane).

1- Piste bipède :

1.1- Mensuration (fig. 49) (Haubold, 1971 ; Sarjeant, 1975 ; Leonardi, 1987 ; Pérez-Lorente, 2001) :

☞ Le pas **P**, en centimètres, (fig. 48) est la distance située entre le centre de deux empreintes successives, de manière à différencier les empreintes droites des empreintes gauches.

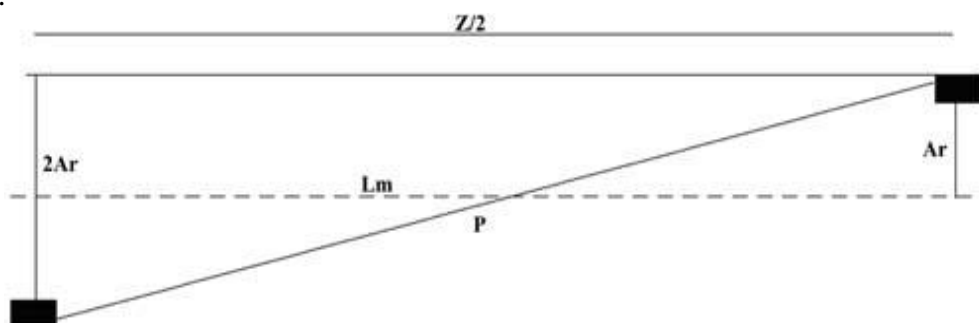


Figure 48 : Représentation schématisque des différentes variables du pas (P) mesurées sur une piste bipède selon la formule, (Pérez-Lorente, 2001) : $P^2 = (Z/2)^2 + (2Ar)^2$.

☞ L'enjambée **Z**, en centimètres, est le double pas : La distance séparant le centre de deux marques de même pas.

☞ L'angle de pas **Ap**, en degrés, est l'angle formé par deux lignes qui unissent le centre de trois empreintes ininterrompues.

☞ L'amplitude de la piste **Ar**, en centimètre, est la distance située entre le centre de l'empreinte et la ligne médiane de la piste.

☞ La largeur de la piste **Lr**, en centimètres, est la largeur maximale de la piste, pour avoir cette mesure il faut tracer la tangente 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.

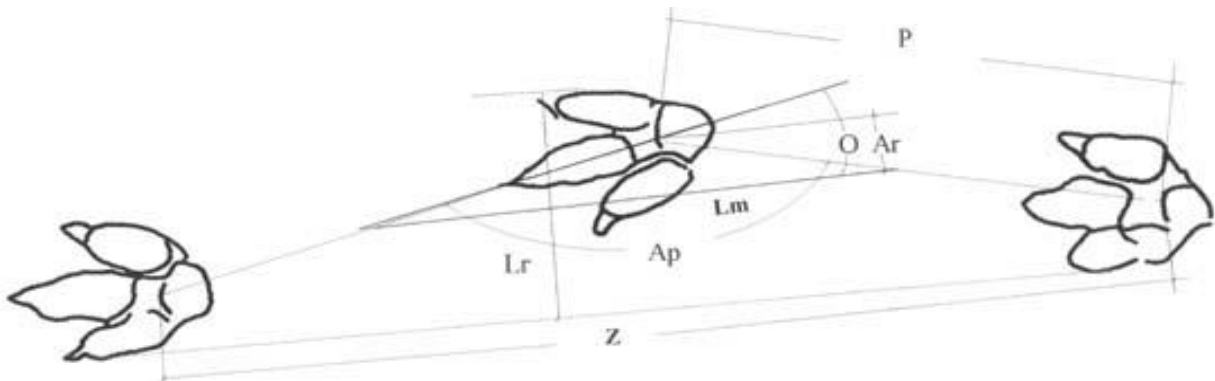


Figure 49 : Différentes mesures sur une piste bipède.

☞ 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 coïncidant généralement avec le doigt **III**.

1.2- Reconstitutions de la hauteur de la hanche, la vitesse de la locomotion et les comportements :

1.1.1- Hauteur h (Thulborn, 1990) : C'est la hauteur de l'acétabule qui comprend le fémur, le tibia et le métatarse (**fig. 50**).

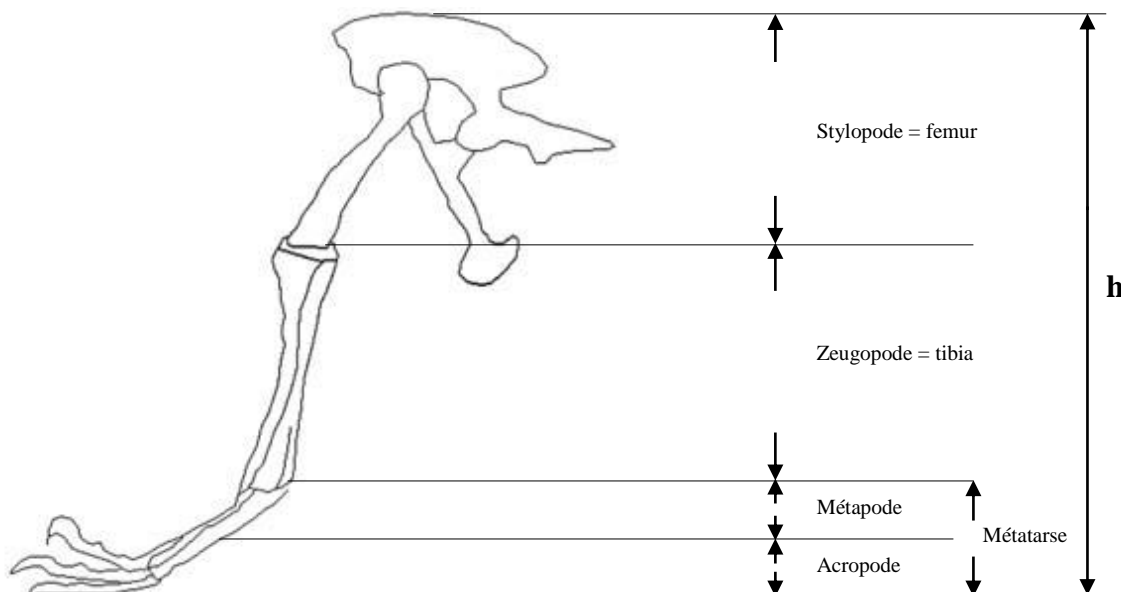


Figure 50 : Différentes parties d'une extrémité postérieure sans la présentation du basipode qui comprend les os du tarse (Pérez-Lorente, 2001).

Alexander, 1976 ; Lockley, 1986 ; Ishigaki, 1988 ; Thulborn, 1990 ont différencié plusieurs formules pour calculer la hauteur des membres postérieurs des dinosauriens (**tab. 7**).

(1) Petit Théropode (Coelurosaure). Thulborn, 1990.	L<25 cm	$h=3,06xL^{1,14}$
(2) Grand Théropode (Carnosaure). Thulborn, 1990.	L>25 cm	$h=8,06xL^{0,85}$
(3) Ornithomimidé. Thulborn, 1990.		$h=5,28xL^{1,02}$
(4) Théropode en général. Thulborn, 1990.		$h=3,14xL^{1,14}$
(5) Petit Ornithopode. Thulborn, 1990.	L<25cm	$h=3,97xL^{1,08}$
(6) Grand Ornithopode. Thulborn, 1990.	L>25cm	$h=5,06xL^{1,07}$
(7) Ornithopode en général. Thulborn, 1990.		$h=3,76xL^{1,16}$
(8) Sauropode. Lockley, 1986.		$h=4xa$
(9) Sauropode. Alexander, 1976.		$h=4xL$
(10) Sauropode. Ishigaki, 1988.		$h=3,6xL$
(11) Sauropode. Thulborn, 1990.		$h=5,9xL$

Tableau 7 : Différentes formules calculant la hauteur des membres.

Thulborn (1990) a supposé qu'il y a trois manières de marche chez les tétrapodes :

- ☞ Sur les doigts seuls (digitigrades),
- ☞ Sur les doigts avec la partie distale du métapode (semi-plantigrade),
- ☞ Sur les doigts et le métapode entier (plantigrade) or, d'après Sarjeant (cf. Romero Molina et al., 2003), les dinosauriens ne font pas partie de ce style car ils ne s'appuieraient pas sur le tarse, donc ils se sont des semi-plantigrades, mais d'après Wilson, 2005 ils ne se sont que des semi-digitigrades.

1.1.2- Vitesse V :

Pour les bipèdes, on distingue quatre types de déplacements : Pas, trot, course et saltation. Pour les animaux quadrupèdes, on distingue trois types de déplacements : Marche, trot et galop, saltation.

Deux méthodes de calcul sont exposées à ce propos :

- ☞ La première, utilise la théorie du pendule, est celle d'Alexander, 1976.

$$V_a = 2,81736 h^{-1,17} x Z^{1,67}$$

V_a : Vitesse, de marche ou de course, de l'animal en Km/h.

Z : Enjambée en mètres.

h : Hauteur de la hanche en mètres.

- ☞ La seconde est assimilée au déplacement d'un corps soumis à la pesanteur dans un plan vertical (plan des X, Y), donc, on peut l'appliquer aux animaux sauteurs, en se basant sur les lois fondamentales de la dynamique (Demathieu, 1984). Pour que les calculs ne deviennent pas complexes, Demathieu a assimilé le membre à un cône de révolution renversé, l'axe de giration est un diamètre de la base circulaire (**2R**) (**fig. 51**) :

$$V_d = 0,280263 Z/h^{0,5}$$

V_d : Vitesse, de marche ou de course, de l'animal en Km/h.

Z : Enjambée en centimètres.

h : Hauteur de la hanche en centimètres.

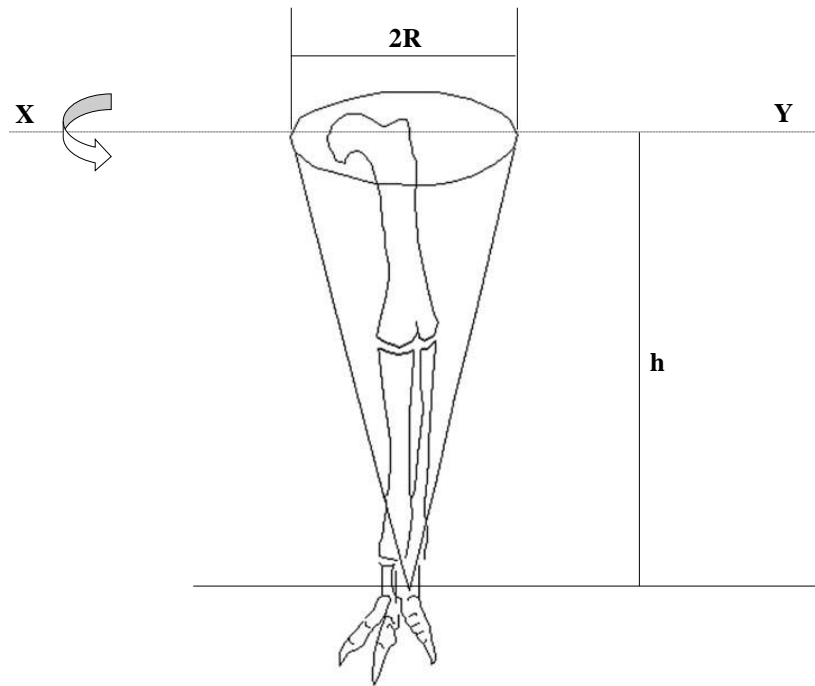


Figure 51 : Schéma du cône renversé auquel est assimilé le membre.

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).

1.1.3- Comportements et aspect de l'animal :

☞ Efficacité de la marche : Une marche inefficace est caractérisée par une piste très large et une enjambée courte ; inversement, une piste étroite et une enjambée longue témoigne d'une marche efficace impliquant une grande vitesse (Mossman et al., 1983).

☞ Deux types de marches considérées, dépendant du mouvement de l'appendice caudal :

* Une marche sauriforme (**fig. 52**) caractérisée par une continuation rigide de la queue avec la colonne vertébrale,

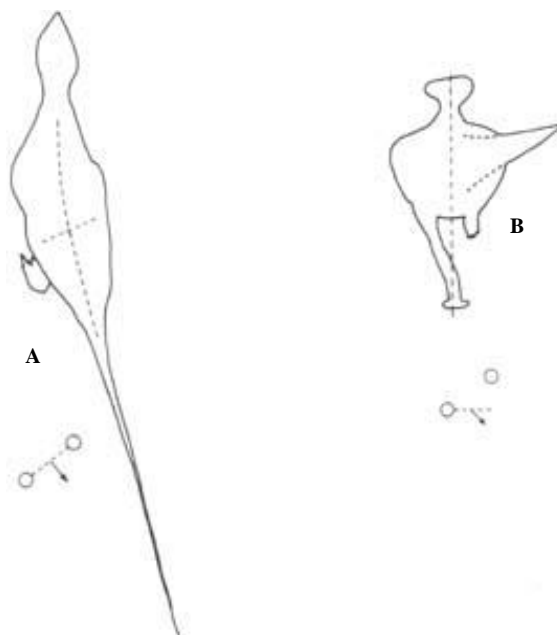


Figure 52 : Disposition de la queue rigide dans une marche sauriforme, schéma A. Disposition de la queue pour une marche aviforme, schéma B (Casanovas et al. 1993b).

* Une marche aviforme (**fig. 52**) caractérisée par un appendice caudal servant en contrepoids de l'animal, quand le dinosaurien s'appuie sur une de ses pattes.

Le mouvement sinusoïdal de la queue est décalé selon l'un ou l'autre type de marche Casanovas et al., 1993b.

2- Piste quadrupède :

Les variables, antérieurement citées, concernant les pistes bipèdes, peuvent être appliquées pour les pistes quadrupèdes avec en plus d'autres mesures spécifiques, telles que la distance gléno-acétabulaire **G**, la distance **pm**, l'allure du couple d'empreintes (**Lc**) et d'autres comportements (**fig. 53**).

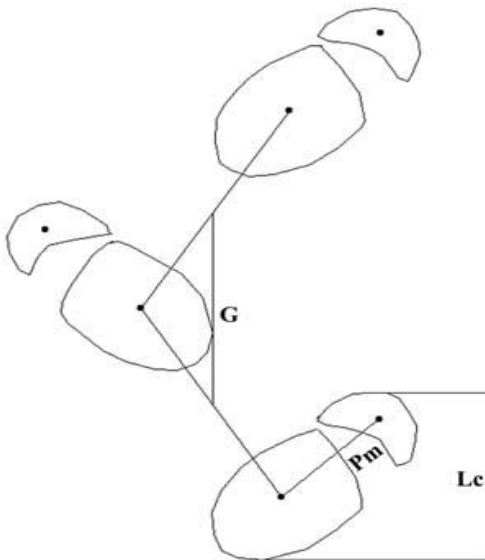


Figure 53 : Différents paramètres inspirés d'une piste quadrupède.

2.1- Distance gléno-acétabulaire **G** (fig. 53-54) et la distance **pm** :

La distance gléno-acétabulaire **G** est la distance située entre le glénoïde (épaule) et l'acétabule (hanche), ou l'intervalle formé entre la ceinture pelvienne et la ceinture pectorale.

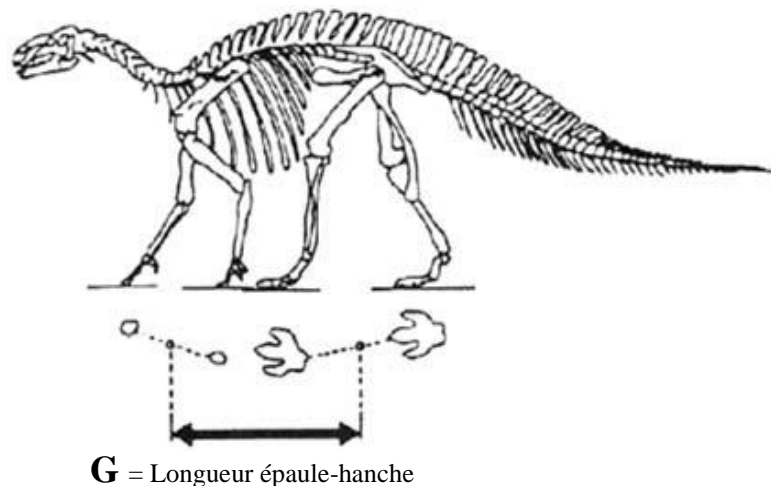


Figure 54 : Les pistes d'animaux quadrupèdes peuvent être employées pour estimer la dimension épaule-hanche (distance gléno-acétabulaire), avec une bonne approximation de la taille de l'animal. (Lockley, 1993).

Cette mesure, prise au niveau des empreintes (**fig. 53-54**), permet de donner une bonne approximation du corps de l'animal entre l'épaule et la hanche.

On peut avoir trois modèles de **G** selon le type de la marche (Demathieu, 1970) :

2.1.1- Allure primitive : Le stylopode (humérus et fémur) se maintient horizontal et perpendiculaire à la colonne vertébrale (**fig. 55**), par exemple Crocodile, Alligator, Caïman, Gavial...etc. $G = pm + Z/3$ selon Farlow et al., 1989, **pm** est la distance entre le point médian du pied et de la main du même pas.

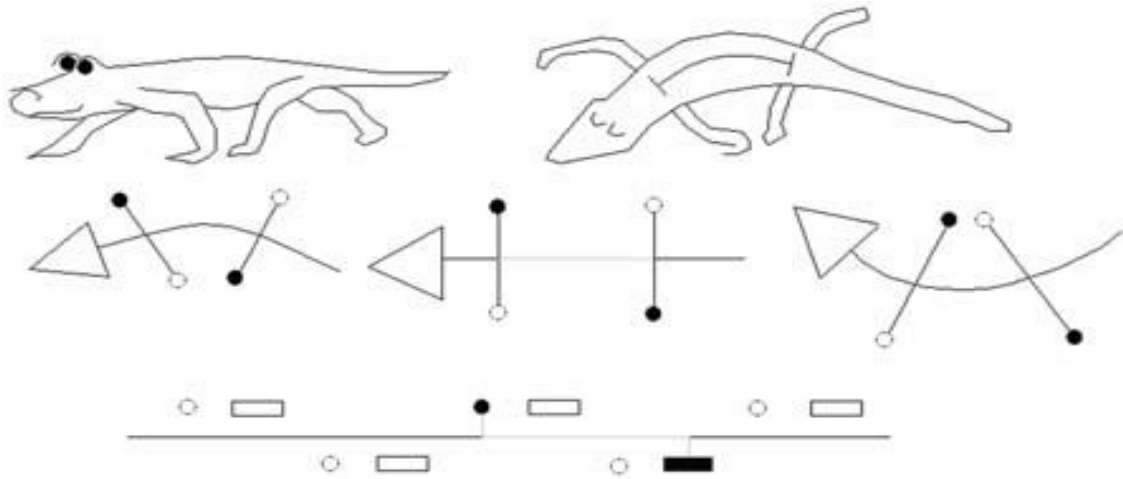


Figure 55 : Marche alternative primitive : La distance gléno-acétubulaire est indiquée par la ligne grise. (Pérez-Lorente, 1999).

2.1.2- Allure évolutive et en même temps alternative : Les membres s'appuient sur le sol pendant un temps bref, cet exemple est typique aux équidés (**fig. 56**). $G = pm + Z/2$ (Farlow et al., 1989).

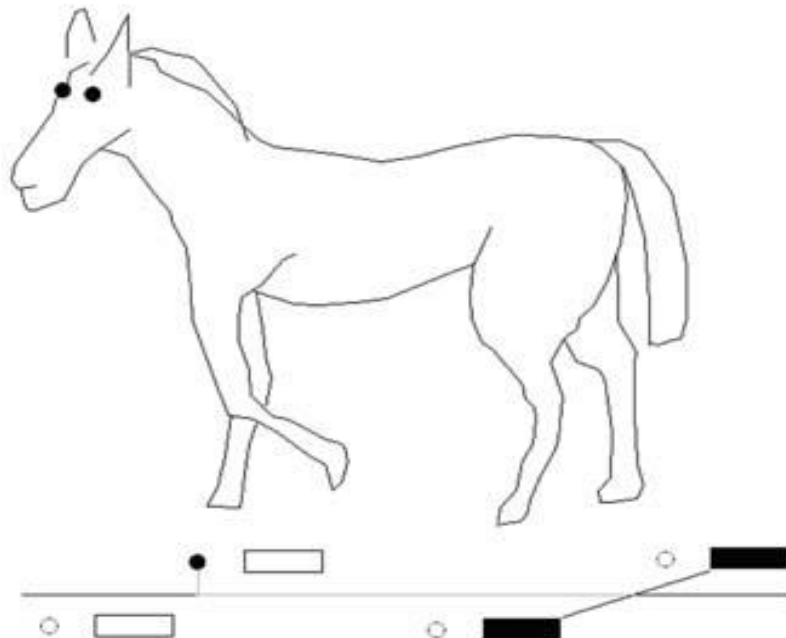


Figure 56 : Marche alternative : La distance gléno-acétubulaire est tracée en grise. (Pérez-Lorente, 1999).

2.1.3- Allure amble à la manière des proboscidiens (éléphant, girafe) : Le quadrupède fait mouvoir en même temps les deux jambes du même côté (**fig. 57**). $G = pm + Z$ (Farlow et al., 1989).

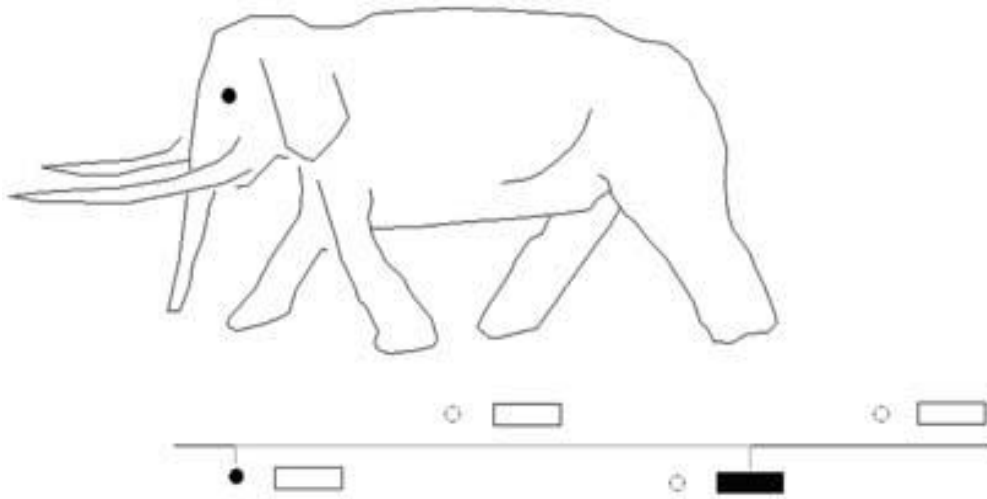


Figure 57 : Marche amble : La distance gléno-acétubulaire est indiquée par la ligne grise. (Pérez-Lorente, 1999).

2.2- Comportements des animaux quadrupèdes :

2.2.1- Trace de la queue : Est quasiment absente : Selon Bird, 1944 et Coombs, 1980 ceci peut avoir deux explications :

☞ Soit les animaux marchaient en levant la queue (fig. 58).

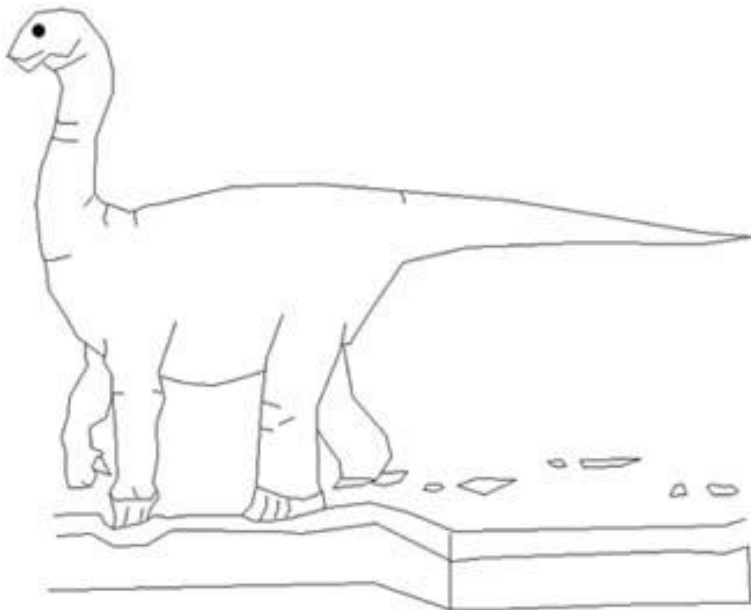


Figure 58 : Reconstitution d'une queue levée (Lockley, 1993).

☞ Soit la queue flottait à la surface de l'eau (fig. 59).

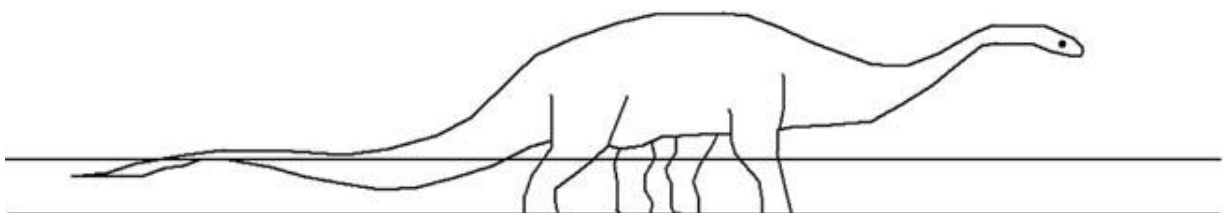


Figure 59 : Reconstitution d'un Sauropode avec une queue flottante sur l'eau (Bird, 1944).

Et suivant d'autres auteurs, il y avait dans la partie caudale des dinosauriens des tendons ossifiés qui supporteraient le levé de la queue contre le sol.

2.2.2- Longueur des jambes et la conservation des empreintes antérieures : Dans le cas des animaux ayant la même longueur du tronc, si la longueur des jambes est courte, comme chez les Rhinocéros, les empreintes des pattes antérieures ne seraient jamais effacées par les pattes postérieures, en revanche si les jambes sont longues, comme chez les Éléphants, les empreintes des pattes antérieures seraient déformées par les pattes postérieures Peabody, 1959.

CHAPITRE III
ÉTAT DE CONSERVATION ET DE PROTECTION DES
ICHNITES DE PAS DE DINOSAURIENS

I- ÉTAT DE CONSERVATION ET DE RESTAURATION DES EMPREINTES DE PAS DE DINOSAURIENS :

a- État de conservation des gisements marocains:

La plupart des traces explorées dans notre secteur d'étude et général dans tout le royaume sont en dégradation continue. Elles sont en train de s'altérer par le fait qu'elles sont exposées, et depuis longtemps, à plusieurs facteurs néfastes :

☞ Facteurs atmosphériques : Erosion par ruissellement pluvial, érosion éolienne, insolation, hydrolyse, gel et oscillations thermiques (l'eau s'infiltré dans les fissures et les pores de la roche, en gelant le volume d'eau augmente ce qui conduit à la fragmentation de la roche),

☞ Facteurs biologiques : Les racines végétales poussent et s'accroissent dans les fissures, ce qui mène à la désagrégation des roches. Les facteurs anthropiques sont de plus en plus menaçants, les visiteurs de plus en plus importants marchent et piétinent les empreintes dinosauriennes, les populations locales et particulièrement font de ces gisements des lieux de jeu et de rencontre et par conséquent de détérioration.

1- Gisement d'Ibaqalliwn :

L'état de conservation des roches de l'affleurement d'Ibaqalliwn est bon, la dalle d'impression est calcaire bien consolidé. Les empreintes de pas de dinosauriens sont bien conservées.

La dalle calcaire d'Ibaqalliwn montre un certain nombre d'éléments d'altération :

☞ Des fissures de grande taille (22 cm) remplies par du sable et de l'argile sur lesquelles se développent des plantes (**fig. 60**),

☞ Un système de diaclases (**fig. 61**),



Figure 60 : Fissure de grande taille, Ibaqalliwn.



Figure 61 : Diaclases, Ibaqalliwn.

☞ Empreintes de pas constituant des crevasses d'érosion et de recueil de sol où se développent les végétaux (**fig. 62**),

☞ Érosion avancée jusqu'au démantèlement de la dalle calcaire (**fig. 63**).



Figure 62 : Empreinte de pas : Lieu d'érosion.



Figure 63 : Démantèlement de la dalle et pousse des végétaux, les gisements d'Ibaqalliwn.

2- Gisements d'Iouaridène :

Les traces de pas dinosauriennes d'Iouaridène sont en mauvais état de conservation, elles sont imprimées sur des dalles grés-argileuses à figures de dessiccation. Les morceaux de polygones de dessiccation sont facilement altérables et détachables, ce qui rend ces gisements très vulnérables, leur restauration et protection est une urgence.

Les polygones sont quadrillés par des fissures de 1 à 2 mm (**fig. 64**).



Figure 64 : Polygones de dessiccation fissurés et craquelés.

b- Restauration des empreintes de pas de dinosauriens :

Les échantillons de roches sont pris et décrits in situ. Les analyses de laboratoires interviennent sur les plaques minces par l'observation microscopique afin d'identifier les composants et la texture de la roche (microfaciès, pétrologie et porosité), une diffractométrie aux rayons X permet de mettre en évidence la minéralogie et le types des argiles de la roche.

Les fissures et les microfissures sont examinées par le stéréomicroscope et le microscope polarisant pour :

☞ Identifier les minéraux de l'altération (néoformés), les minéraux dissous et les agents qui provoquent l'altération,

☞ Notifier des structures de météorisation, d'érosion, d'influence de la végétation, du ravinement et de l'altération de la roche,

☞ Déterminer la porosité, l'absorption-désorption libre de l'eau permettant de connaître le comportement hydrique de la roche, c'est-à-dire la valeur de l'espace évacué, la taille et le degré de la connexion entre les pores,

☞ Activer par élévation de la température et du froid, tests dans des chambres climatiques et vieillissement accéléré (cycles froid-chaleur, humidité-sécheresse, gel-dégel, etc.). Ce qui permet de définir les paramètres de résistance de la roche aux actions érosives de l'insolation, l'humidité, le gel-dégel.

Ordaz et al., 1988 publient un descriptif simple et clair des termes liés à la détérioration des roches (**tab. 8**).

DÉGRADATION DES ROCHES DES AFFLEUREMENTS DE PAS DE DINOSAURIENS		
Imperfections	Indices de conservation	Processus de destructions
Rupture de la roche en lamines parallèles et à la superficie	Plaques et écailles indépendantes à la structure de la roche	Plaques Écailles
	Lamines parallèles aux plans structuraux de la roche	Exfoliations
	Lamines parallèles aux plans des ardoises	
Cavités globulaires à petite échelle	Microkarsts	Dissolutions
	Piqûres	Erosions différentielles
	Alvéoles	
Cavités en sillon		
Fentes et cassures de la roche avec ou sans déplacement	Fractures	Efforts de traction ou cisailé
	Fissures	Préexistence ; par effort mécanique ou alternance de cycles
	Dessiccations	Ouverture de la discontinuité
Les superficies rondes et usuraires	Abrasions	Erosions par friction ou impacte
Superficie accidentée et déchues les tracés de la roche	Végétations Tourismes Décrépissages Fragmentations	Erosions végétales ; érosions humaines ; érosions salines ; hydratations ; expansions-contractions ; congélations- décongélations
Incisions et mutilations	Scoriacés	Destructions humaines
Coloration de la roche et désagrégation granulaire	Altérations chromatiques	Oxydations : Changement de la couleur de la pierre par altération chimique
	Patins tinctoriaux	Oxydation : Vieillissement par effet de l'intempérie
	Décohésions et désagrégations granulaires	Oxydations : Incrémentation du volume des parties oxydées
Perte de la masse par éboulement et effondrement de la roche	Désagrégations granulaires	Dissolutions du ciment et de la matrice

Tableau 8 : Sommaire des différentes altérations des roches ichnologiques, d'après Ordaz et al., 1988.

1- Restauration :

Les roches et dalles portant les traces dinosauriennes doivent d'abord être nettoyées et restaurées.

Les travaux de restauration réalisés dans la commune de la Rioja en Espagne sont un modèle d'inspiration et d'adaptation pour les gisements marocains.

1.1- Cadre de travail :

Les travaux de restauration des gisements de la Rioja sont encadrés scientifiquement par le Professeur Félix PÉREZ-LORENTE, ils sont réalisés par les étudiants dans le cadre d'un module de Paléontologie des dinosauriens délivré par l'Université de la Rioja. Les cours théoriques sont donnés le soir, les travaux pratiques sont réalisés pendant la journée sur les gisements.

Le financement du séjour (particulièrement la restauration et le gîte) des étudiants et des encadrant est pris en charge par la commune de la Rioja.

1.2- Technique de restauration :

☞ Nettoyage : Les gisements de dinosauriens sont nettoyés par enlèvement de tous les éléments superficiels : Eboulis, sol et végétation (**fig.65-66-67**). Les racines doivent être enlevées en profondeur (**fig. 68**) car elles poussent et en s'accroissant, elles arrivent à soulever les lamines sédimentaires et créer des fissures dans la roche. Ces fissures permettant à l'eau d'y pénétrer.



Figure 65 : Gisement avant le nettoyage, la Rioja – Espagne. (Photo : Pérez-Lorente).
Figure 66 : Gisement après le nettoyage, la Rioja – Espagne. (Photo : Pérez-Lorente).

☞ Colmatage : Les fissures et diaclases de différentes origines doivent être colmatées afin de préserver le gisement.

* Les grandes fractures sont remplies par le béton : Ciment plus eau et parfois sable (**fig. 69**).

* Les fissures, de moyennes et petites tailles, sont traitées par injection, grâce à des pistolets d'injection de silicones (**fig. 70**) et des seringues de résines à base de microfine d'alumine, d'azurine ou de poudre de verre (**fig. 71**). Les silicones sont recouvertes par des jets de sables afin de les protéger et de les faire perdurer. Les outils de travail d'injection sont à nettoyer avec l'acétone.

Les proportions de la résine et du catalyseur sont à expérimenter en coordination avec le fabricant-vendeur, jusqu'à l'obtention des meilleures conditions de durcissement.



Figure 67 : Travaux de nettoyage, la Rioja.



Figure 68 : Enlèvement des racines végétales, la Rioja.



Figure 69 : Colmatage par ciment, la Rioja.



Figure 70 : Colmatage par injection de silicones, la Rioja.



Figure 71 : Injection de la résine par la seringue.

↳ Coloration : Les gisements dinosauriens et particulièrement les empreintes de pas sont à la fin enduites d'un mélange de charbon, de chaux et de colle afin de mieux résister et d'être mieux distinguées donc valorisées (**fig. 72**).

c- Protection des empreintes de pas de dinosauriens :

La plupart des gisements de dinosauriens, du Haut-Atlas central, sont imprimés dans des dalles de nature carbonatée ou argileuse à fentes de dessiccation.



Figure 72 : Gisement, de traces dinosauriennes, restauré et coloré, la Rioja- Espagne.

La restauration des gisements est une urgence, elle doit être faite à l'instar de plusieurs pays européens comme l'Espagne, la France, l'Allemagne ou l'Angleterre.

1- Clôtures :

Les clôtures permettent d'apprécier les sites le plus près possible sans les piétiner en marchant dessus et détériorer (**fig. 73**).



Figure 73 : Exemple clôture. Burgos (Espagne).

2- Abris :

Les abris permettent de protéger les gisements de l'insolation et de l'érosion due au ruissellement pluvial (**fig. 74**).



Figure 74 : Modèle d'abris proposé pour les gisements d'Iouaridène, Haut-Atlas central.

CHAPITRE IV
ÉTUDE PALÉOICHOLOGIQUE EFFECTUÉE SUR
LES ICHNITES DE DINOSAURIENS DU HAUT-ATLAS
CENTRAL

A- MÉTHODOLOGIE UTILISÉE POUR TRAITER LES GISEMENTS DU HAUT-ATLAS CENTRAL DU MAROC :

Les gisements sont étudiés par ordre chronostratigraphique, en débutant par les empreintes de pas de la vallée des Aït Bou Guemmez qui remontent au Lias puis celles de Bin El Ouidane qui sont datées à la partie basale du Bathonien et enfin celles des couches rouges du synclinal d'Iouaridène d'Oxfordien ?-Kimméridgien.

La nomination des gisements comporte le numéro du gisement, l'initial du nom du lieu géographique qui peut être substitué en sa deuxième lettre par celle qui la suit en cas d'une nomination similaire entre les gisements. Pour les pistes et les empreintes, on ajoute à la nomination du gisement le numéro de la piste et le numéro de l'empreinte, dans le cas d'un couple de traces on signale après le numéro de l'empreinte la première lettre de chaque élément qui le compose.

B- EMPREINTES DE PAS DE DINOSAURIENS DE LA PLATE-FORME LIASIQUE DE LA VALLÉE DES AÏT BOU GUEMMEZ :

I- SECTEUR D'ÉTUDE :

Les gisements sont situés au centre de la vallée des Aït Bou Guemmez, qui est limitée par deux rides liasiques : Azourki (3677 m) et Waougoulzat (3763 m) qui provoquent des chevauchements aux alentours de la vallée. Les principaux critères des gisements d'empreintes fossiles sont portés dans le **tableau 9**. La toponymie et les coordonnées kilométriques sont celles de la carte de Demnate au 1/250.000, d'Azilal au 1/100.000 et de Zaouit Ahançal au 1/100.000. Les gisements **1Ib**, **1Ta**, **Sm** sont déjà signalés par Jenny et al., 1982 et par Ishigaki, 1988. L'âge ancien, attribué Carixien-Domérien aux gisements de cette région, constitue une rareté à l'échelle mondiale.

NOM DES GISEMENTS	NOMBRE DES TRACES		COORDONNÉES		NOMBRE DES PISTES	TYPES RESPONSABLES DE L'IMPRESSION
	Ovales	Dactyles	x	y		
1Ib	42	0	406,4	118,9	2	Sauropodes
2Ib	0	42	406,10	119,06	5	Théropodes
Ah	7	0	395,33	125,87	1	Sauropode
Sm	nombreuse	0	401,65	118,68	?	Sauropodes
An	nombreuse	0	400,19	117,52	?	Sauropodes
Ta	36	0	402,59	118,76	2	Sauropodes

Tableau 9 : Différents critères des gisements de la vallée des Aït Bou Guemmez.

L'étude porte sur 158 empreintes avec une quantité assez remarquable de traces ovales, sauf à Ibaqalliwn (**2Ib**) où l'on a le seul gisement d'empreintes dactylés. La plupart de ces gisements (**fig. 75**) sont disposés sur plusieurs niveaux de couches carbonatées.

II- CADRE GÉOLOGIQUE SUCCINCT DE LA VALLÉE DES AÏT BOU GUEMMEZ :

La vallée des Aït Bou Guemmez est située au milieu du Haut-Atlas central, entre les deux grands alignements structuraux **N70** à **E-W** qui sont distingués par la présence des anticlinaux éjectifs avec des couches triasiques dans leurs centres et des séries carbonatées du Lias inférieur et moyen sur les flancs.

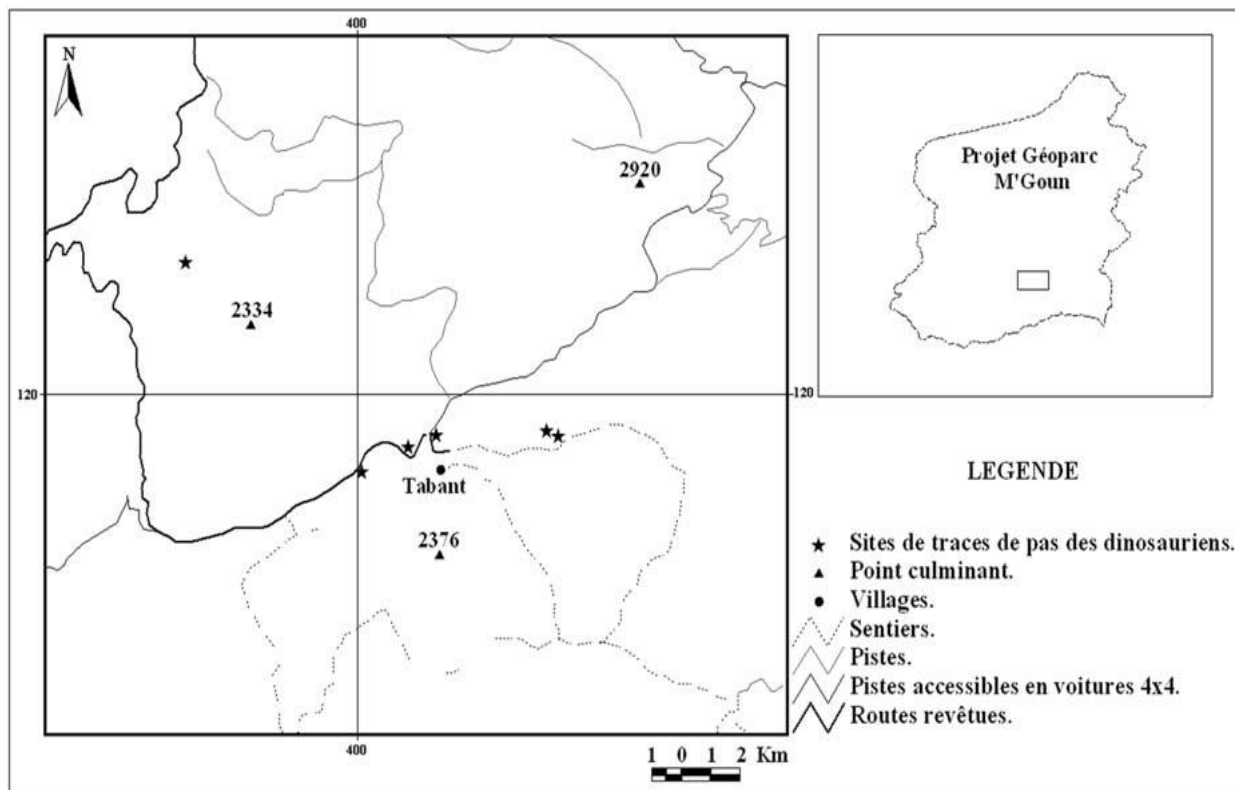


Figure 75 : Emplacement des différents gisements étudiés au Vallée des Aït Bou Guemmez.

Le premier accident correspond à un chevauchement complexe, c'est celui de Jbel Tizal-Jbel Azourki (accident nord atlasien d'après Roche, 1939). Le deuxième placé au sud correspondant à l'axe anticlinal de Jbel Waougoulzat.

Ces deux alignements appartiennent à la partie prolongée vers l'Est du réseau d'accidents de Tizi n'Test développé davantage à l'Ouest en direction du massif ancien du Haut-Atlas. Ils ont été considérés comme tardi hercyniens, réactivés au cours de la sédimentation mésozoïque (Lee et al., 1978 ; Laville, 1981 ; Souhel et al., 1999).

Les empreintes de pas de dinosauriens, du synclinal des Aït Bou Guemmez, sont gravées sur la troisième unité (Ag 3) de la formation d'Aganane (Septfontaine, 1986) (**fig. 76**) qui traduit une disposition rythmique de calcaires fins à foraminifères, dolomies laminées et de dolomies marneuses, avec une prédominance de faciès biodétritiques. Cette unité est datée du Domérien grâce à l'association de foraminifères benthiques rencontrée : *Lituosepta compressa*, *Pseudocyclammina liasica* et *Haurania sp.*

Le milieu de la sédimentation du Lias moyen des Aït Bou Guemmez, correspond un milieu de plate-forme depuis le domaine subtidal jusqu'au domaine supratidal à tendance continentale.

L'analyse microscopique des roches carbonatées d'Ibaqalliwn et Tabant permet de distinguer les faciès suivants :

Calcaire à tapis stromatholitique : C'est un calcaire micritique bioturbé, qui a des laminations algaires, des fragments de quartz (**pl. 1, fig. 1-2**) des petits cristaux de dolomite et des grains de quartz détritique, il indique un milieu supratidal.

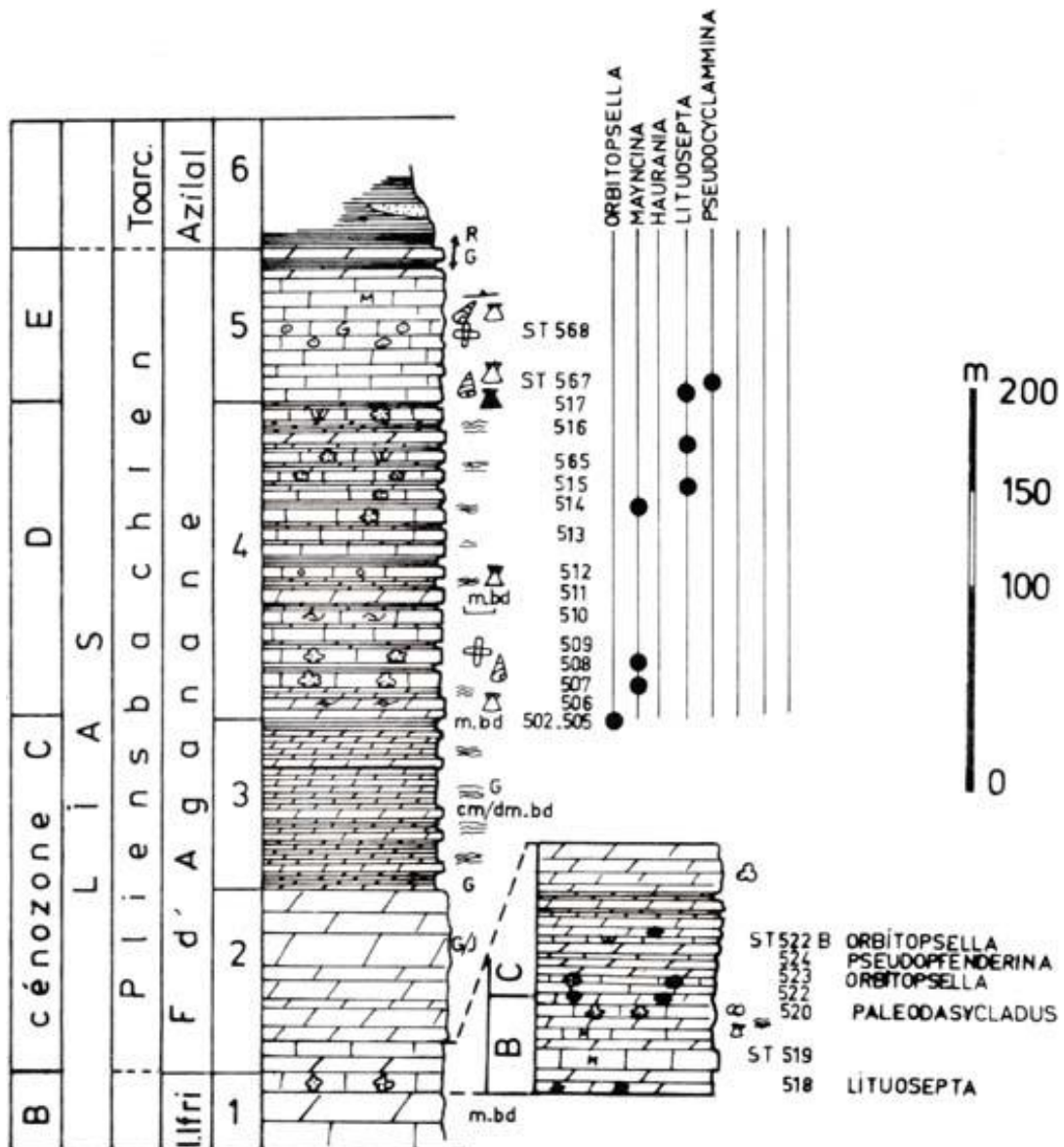


Figure 76 : Coupe-type de la formation d'Aganane (Septfontaine, 1986).

Dolomie : Des cristaux de dolomites losangiques (**pl. 1, fig. 3-4**) qui indiquent un milieu supratidal. La biophase comporte des foraminifères et des gastéropodes micritisés.

Calcaire dolomitisé totalement : Dolomitisation presque totale avec des peletoides, onchoïdes et des bioclastes sont presque épargnées. Il est aussi formé par des quartz détritiques et des algues micritisées (**pl. 1, fig. 5**).

Calcaire dolomitisé partiellement : C'est une texture mudstone avec quelques tests de foraminifères (**pl. 1, fig. 6**) et bioturbations de rares ostracodes. La dolomitisation y est précoce.

Calcaire à *Dasycladus*, quartz automorphe et des onchoïdes (**pl. 2, fig. 1**).

III- ÉTUDE DES PRINCIPAUX GISEMENTS ICHNOLOGIQUES :

a- Premier gisement d'Ibaqalliwn 11b (fig. 78) :

Il est formé par quarante deux empreintes ovales (**pl. 2, fig. 2**) organisées sur deux belles pistes presque subparallèles de deux dinosauriens herbivores, quadrupèdes d'une taille différente. Il est gravé sur une couche carbonatée à lamines algaires.

1- Piste 1Ib1 :

Elle est composée de deux parties (**pl. 2, fig. 3 ; fig. 77**) :

Dans la première partie, le parcours est de 2,8 m avec quatre pas qui sont des sub-impresions (**pl. 2, fig. 4**), et à la seconde partie qui est de 12,5 m avec l'empilement de treize empreintes. La piste **1Ib1** prend une direction **N140E** avec un sens de marche vers le **NW**.

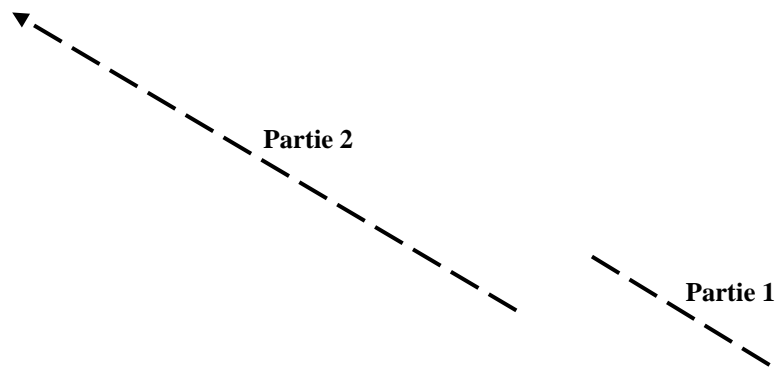


Figure 77 : Schéma des deux parties séparées de la piste 1Ib1.

L'arrangement, de la deuxième partie de la piste, est devenu bien net à partir de l'empreinte **1Ib1.6**. Son axe passe tangentiellement à la partie postérieure des empreintes postérieures, sa trajectoire, sensiblement rectiligne est sans aucun degré d'oscillation.

Les tentatives d'estimation doivent concerner (Casanovas et al., 1997) la longueur du tronc de l'animal, le type de sa locomotion et la hauteur de ses hanches (**tab. 10**) :

☞ Hauteur des extrémités postérieures : Il y a quatre moyens pour rationaliser notre estimation, selon les différentes formules proposées par divers auteurs :

* $h_1 = 306,9$ cm. Selon Alexander, 1976.

* $h_2 = 274,6$ cm. Selon Lockley et al. 1986.

* $h_3 = 276,2$ cm. Selon Ishigaki, 1988.

* $h_4 = 452,6$ cm. Selon Thulborn, 1990.

☞ Longueur du tronc : La valeur de la distance gléno-acétabulaire est variable selon trois formules proposées par Farlow et al., 1989, les valeurs moyennes sont les suivantes :

* $G_a = 257$ cm.

* $G_b = 156,62$ cm.

* $G_c = 123,25$ cm.

Le problème de la différence des chiffres est résolu, en tenant compte de la valeur la plus proche à celle de la hauteur de l'extrémité postérieure ($h_2 = 274,6$ cm) qui paraît proche à 257 cm.

☞ La vitesse de la locomotion de ce Sauropode est : V_a varie entre 1,55 et 2,74 Km/h, et V_d varie entre 2,65 et 3,39 Km/h.

En ce qui concerne l'aspect de l'animal, le rapport Z/L_m est égal à la valeur moyenne de 2,60, qui doit distinguer des extrémités postérieures très épaisses et fortes, alors qu'aux extrémités antérieures le rapport devient très important (6,90), en exprimant une forme très mince et très maigre.

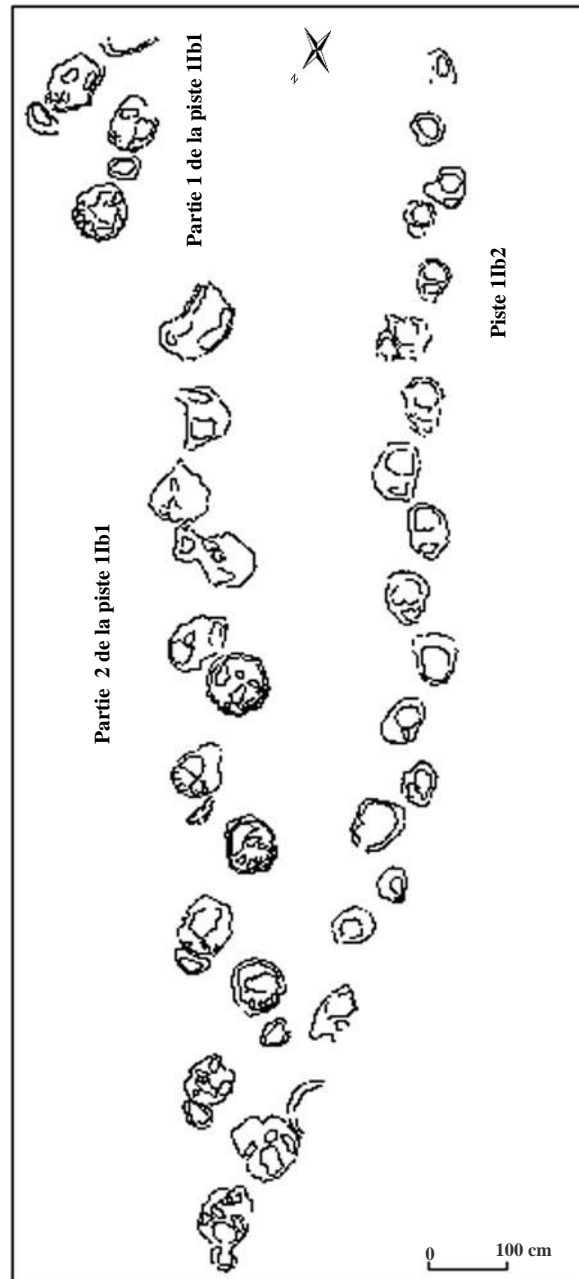


Figure 78 : Gisement 1lb, vallée des Aït Bou Guemmez.

En conclusion, l'allure de l'animal se fait d'une manière lente avec un déplacement de type amble comme celui des proboscidiens. La légère variation ou séparation du chemin de la piste est probablement conditionnée par le courant d'eau, en déplaçant l'animal vers la deuxième position, en effet ses membres sont totalement flottés sur l'eau jusqu'à les impressions (**1lb1.1**) de la deuxième partie.

Piste ovale	1Ib1
Va1	2,68
Va2	2,75
Va3	2,56
Va4	1,55
Vd1	3,21
Vd2	3,37
Vd3	3,39
Vd4	2,65
h1	306,86
h2	274,57
h3	276,17
h4	452,61
Ga	256,75
Gb	156,62
Gc	123,25
L-a/a	4
Z/h1	0,66
Z/h2	0,73
Z/h3	0,73
Z/h4	0,45
Z/Lm	2,60
Ar/a	0,48

Tableau 10 : Valeurs moyennes des différents rapports et estimations, piste 1Ib1.

2- Empreintes de la piste 1Ib1 :

Les empreintes de la piste **1Ib1** sont composées de deux éléments formant un couple main et pied. Les couples de traces présentent une légère brévité, leurs bourrelets ne se confondent pas. Les axes des empreintes postérieures et antérieures sont sensiblement parallèles et font un angle avec celui de la piste.

Les empreintes antérieures sont davantage écartées de l'axe de la piste que celles des membres postérieures.

Les empreintes postérieures sont massives, de grandes tailles mesurées 77 cm de longueur et 69 cm de largeur (**tab. 11-12**), elles sont distinguées par une forme ronde à rectangulaire avec une très faible netteté des bourrelets, elles présentent presque cinq doigts ronds **I, II, III, IV, V** sur les traces **1Ib1.7p, 1Ib1.9p, 1Ib1.10p, 1Ib1.11p, 1Ib1.13p** où les traces de griffes sont absentes, ces empreintes ne piétinent jamais les empreintes de pattes antérieures.

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	Pm
1Ib1.13	82	66	-	-	-	-	-	-	56
1Ib1.12	-	-	-	32	142	-	105	111	-
1Ib1.11	68	63	-	35	144	180	116	111	48
1Ib1.10	73	70	-	33	138	211	140	113	69
1Ib1.9	74	65	-	31	136	203	102	111	51
1Ib1.8	79	73	-	31	135	184	121	120	-
1Ib1.7	78	62,5	-	28,5	135	207	119,5	124	58
1Ib1.6	83	81	-	-	-	213	122	-	-
1Ib1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Ib1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Ib1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Ib1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Ib1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Moyenne	76,71	68,64	-	31,75	138,33	199,67	117,93	98,33	56,4

Tableau 11 : Mesures sur les empreintes de pieds de la deuxième partie de la piste 1Ib1.

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	pm
1Ib1.4	76	70	-	-	-	-	-	-	-
1Ib1.3	73	59	-	31	132	-	120	107	58
1Ib1.2	81	65	-	-	-	172	94	107	61
1Ib1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Moyenne	76,66	64,66	-	31	132	172	107	107	59,5

Tableau 12 : Mesures sur les empreintes de pieds de la partie 1 de la piste 1Ib1.

La surface de l'empreinte postérieure est 3,5 fois plus grande que celle de l'empreinte antérieure (l'estimation a été calculée sur le couple **1Ib1.10**), l'enfoncement est plus accentué au niveau des empreintes postérieures (pl. 2, fig. 5), il est plus de deux fois plus grand que celui des empreintes antérieures, ce qui nous a permis d'admettre que 90 % du poids de l'animal est supporté par le train arrière.

Les empreintes de mains sont très petites (tab. 13-14), peu profondes par rapport à celles des membres postérieurs, elles sont caractérisées par un bourrelet médian de succession qui peut décrire la présence d'un grand coussinet au centre de la main ; il est difficile de les avoir toutes cernées, elles sont soit absentes ou en mauvais état d'impression telles que : **1Ib1.1m** et **1Ib1.4m** (les traces de mains de la première partie de la piste) et **1Ib1.1m**, **1Ib1.2m**, **1Ib1.3m**, **1Ib1.4m**, **1Ib1.5m**, **1Ib1.6m**, **1Ib1.8m**, et **1Ib1.12m** (les traces de mains de la deuxième partie).

Mains	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°
1Ib1.13	34	37	-	-	-	-	-	-
1Ib1.12	-	-	-	-	-	-	-	-
1Ib1.11	30	43	-	-	-	190	-	-
1Ib1.10	33	42	-	55	144	-	151	85
1Ib1.9	25	49	-	-	-	202	147	-
1Ib1.8	-	-	-	-	-	-	-	-
1Ib1.7	20	47	-	-	-	196	-	-
1Ib1.6	-	-	-	-	-	-	-	-
1Ib1.5	-	-	-	-	-	-	-	-
1Ib1.4	-	-	-	-	-	-	-	-
1Ib1.3	-	-	-	-	-	-	-	-
1Ib1.2	-	-	-	-	-	-	-	-
1Ib1.1	-	-	-	-	-	-	-	-
Moyenne	28,4	43,6	-	55	144	196	149	85

Tableau 13 : Mesures sur les mains de la deuxième partie de la piste 1Ib1.

Mains	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°
1Ib1.4	-	-	-	-	-	-	-	-
1Ib1.3	29	41	-	-	-	-	-	-
1Ib1.2	31	52	-	-	-	-	130	-
1Ib1.1	-	-	-	-	-	-	-	-
Moyenne	30	46,5	-	-	-	-	130	-

Tableau 14 : Mesures sur les mains de la partie 1 de la piste 1Ib1.

Ces empreintes sont à rapporter à l'ichno-genre *Breviparopus* Farlow, 1992 (ordre : *Saurischia* Seeley, 1887, sous-ordre : *Sauropoda* Marsch, 1878b). Etant donné que la piste **1Ib1** est étroite, d'après Carrano et al., 2001, elle appartient au Diplodocomorpha, et les traces de mains qui ne sont pas fermées, attribuent la piste à un dinosaurien primitif de la famille du diplodocidae (Wright, 2005), généralement dans le Jurassique inférieur notamment le Lias, on connaît uniquement les *Eusauropodas* et les *Vulcanodons* (Wilson, 2005).

La profondeur des empreintes des deux pistes et leur orientation peuvent nous suggérer la profondeur du niveau d'eau et le sens du courant d'eau (fig. 79).

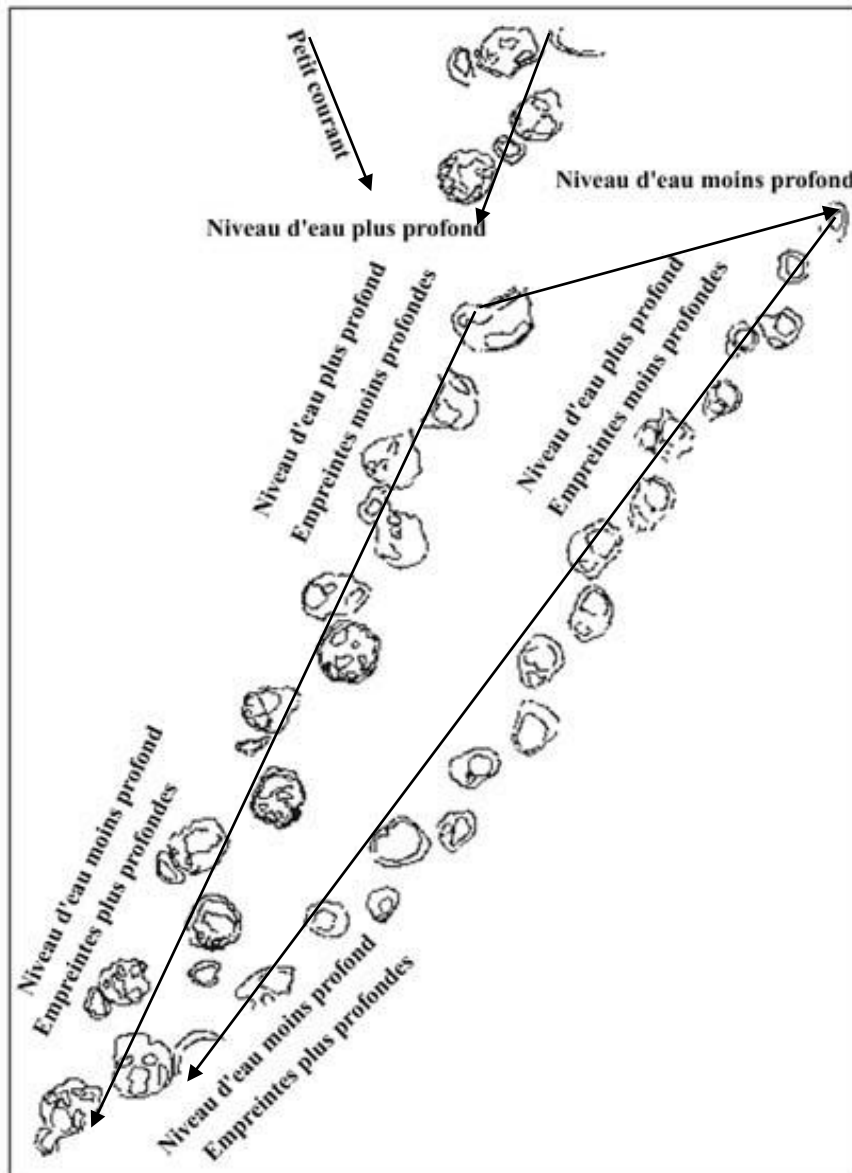


Figure 79 : Evaluation du niveau d'eau et le sens du courant selon la profondeur des empreintes des deux pistes.

Du point de vue comparatif (fig. 80-81), les traces ovales trouvées à Assif-n-Sremt par Ishigaki, 1988 sont très allongées, bien conservées et caractérisées par la présence de quatre doigts **I, II, III, IV** qui sont allongés en forme d'un triangle à sommet vers l'avant du pied ; ces traces sont distinguées par la présence des griffes qui sont bien discernées si le pied s'enfonçe d'autant plus dans la couche. Pour les mains, elles sont d'une taille petite avec la visualisation de deux lobes séparés qui révèlent l'existence de deux coussinets, mais elles ne représentent pas les impressions de doigts et de griffes.

3- Piste 1Ib2 :

Elle est formée par dix huit empreintes empilées sur 14,5 m de longueur, envers une direction de **N150E** avec un sens de marche vers le **NW**.

Au fur et à mesure qu'on avance vers l'avant de la piste, la profondeur des empreintes devient importante (pl. 2, fig. 6), en se rapprochant des empreintes de la piste **1Ib1**.

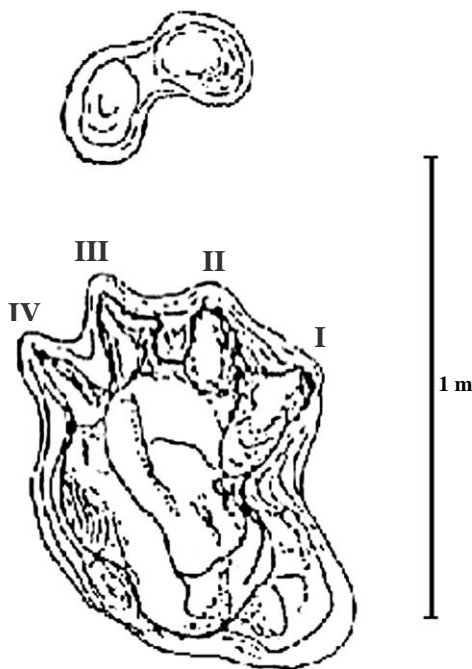


Figure 80 : Couple de traces ovales d'un Sauropode qui met en évidence les traces de doigts et de griffes, gisement d'Assif-n-Sremt, Ischigaki (1988).

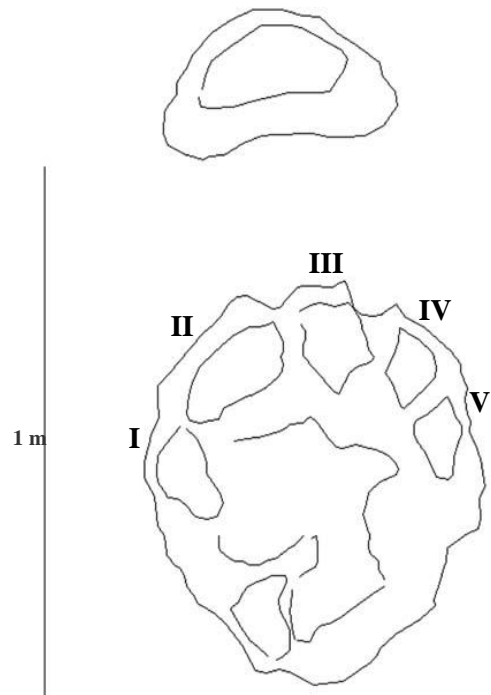


Figure 81 : Couple d'empreintes assemblé entre la main 11b1.9 de la partie 2 et le pied 11b1.4 de la partie 1.

Selon les valeurs de la vitesse qui sont affichées dans le **tableau 15**, l'allure de l'animal est lente.

D'après le rapport Ar/a qui est inférieur à 0,5, la piste tracée par les pieds est très étroite, c'est-à-dire que les pas sont sur la ligne médiane de l'animal.

Piste ovale	11b2
<i>Va1</i>	2,30
<i>Va2</i>	2,99
<i>Va3</i>	2,60
<i>Va4</i>	1,46
<i>Vd1</i>	2,90
<i>Vd2</i>	3,24
<i>Vd3</i>	3,06
<i>Vd4</i>	2,4
<i>h1</i>	247,2
<i>h2</i>	197,43
<i>h3</i>	222,48
<i>h4</i>	364,62
<i>Ga</i>	-
<i>Gb</i>	-
<i>Gc</i>	-
<i>L-a/a</i>	2,23
<i>Z/h1</i>	0,67
<i>Z/h2</i>	0,84
<i>Z/h3</i>	0,75
<i>Z/h4</i>	0,46
<i>Z/Lm</i>	2,6
<i>Ar/a</i>	0,35

Tableau 15: Valeurs moyennes des différents rapports et estimations, piste 11b2.

4- Empreintes de la piste 1Ib2 :

Les empreintes discernées sont celles des membres postérieurs, elles sont rondes, d'une taille très variée (**tab. 16**) et caractérisées par la présence de deux sections de coussinets, le plus grand est situé au centre du pied.

Pieds	L	a	Ar	Lr	Z	P	Ap°
1Ib2.18	-	-	-	-	-	-	-
1Ib2.17	-	-	-	-	-	-	-
1Ib2.16	55	44	12	-	248	116	152
1Ib2.15	46	36	19	86	187	77	123
1Ib2.14	71	62	21	91	138	80	119
1Ib2.13	57	44	22	92	137	79,5	118
1Ib2.12	66	48	16,5	84	142	86	138
1Ib2.11	61	57	20,5	95	164	90	128
1Ib2.10	71	55	17	89	163	91	135
1Ib2.9	74	53	18	92	168	91	135
1Ib2.8	76	59	20	97	166	92	130
1Ib2.7	77	55	15	-	166	92	142
1Ib2.6	76	-	16	-	172	91	140
1Ib2.5	55	43	14	-	164	84	144
1Ib2.4	47	39	15	73	162	86	126
1Ib2.3	53	54	16	77	125	52	121
1Ib2.2	42	42	12	-	113	82	143
1Ib2.1	-	-	-	-	-	-	-
Moyenne	61,8	49,36	16,93	87,6	161	85,9	132,8

Tableau 16 : Mesures sur les empreintes de la piste 1Ib2.

Ces empreintes ne sont pas érodées grâce au sol qui est consolidé, ce qui est expliqué par l'absence du glissement de la boue sur les premières impressions, suggérant un dinosaurien semi-nageur. Il est probable que le sol est ferme aux alentours des premières empreintes mais il est un peu consolidé dans d'autres traces de la piste, en tant que les détails des pieds et des mains y sont bien nets.

b- Deuxième gisement d'Ibaqalliwn 2Ib (fig. 82) :

C'est un gisement qui est adjacent au premier gisement **1Ib**, il est formé par des traces tridactyles dispersées sur quatre longues pistes qui sont :

2Ib1, est formée par six empreintes tridactyles d'une taille petite, mal conservées et dirigées en **SW** vers le **NE**.

2Ib2, est une piste tridactyle, sa première empreinte est proche de la dernière empreinte de la piste précédente. La piste est orientée **SW NE** et disposée sur une dalle carbonatée à pendage 24° vers **WNW**.

2Ib3, montre six empreintes tridactyles bien conservées selon une direction **NNE SSW**.

2Ib4, est constituée par dix empreintes tridactyles imprimées sur une dalle carbonatée très écaillée pentue 15 à 24° vers **WNW**.

2Ib5, formée par six empreintes tridactyles et trois empreintes isolées qui sont situées sur le même parcours.

1- Piste 2Ib1 :

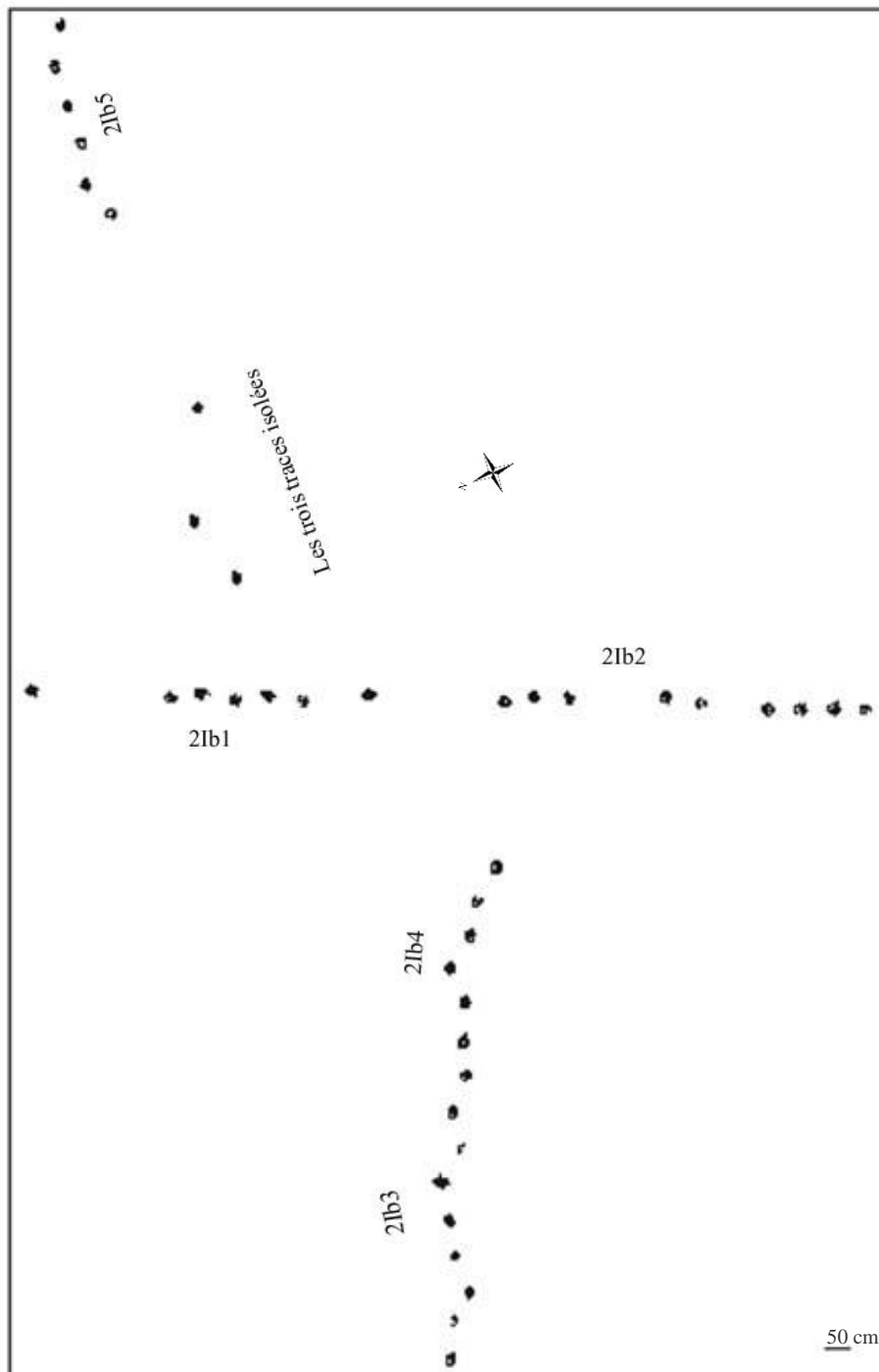


Figure 82 : Gisement 2Ib. Vallée des Aït Bou Guemmez.

Le trajet de la piste (**fig. 83**) est manqué par trois impressions successives **2Ib1.2**, **2Ib1.3**, **2Ib1.4**. Il est relayé par les empreintes de la piste **2Ib2**, qui prennent le même itinéraire et la même direction, comme si elles sont gravées par le même individu, cependant leurs dissemblances morphologiques indiquent deux dinosauriens Théropodes différents.

La relation entre la valeur de l'enjambée et la longueur du pied (5,62) montre que les membres de l'animal sont normaux. L'orientation de l'axe du pied a une valeur négative (-8,5). La piste est étroite. La vitesse, V_a est de 4,64 Km/h et V_d est de 4,13 Km/h, exprime une marche modérée. La hauteur des extrémités est égale à 156,82 cm (**tab. 17**).

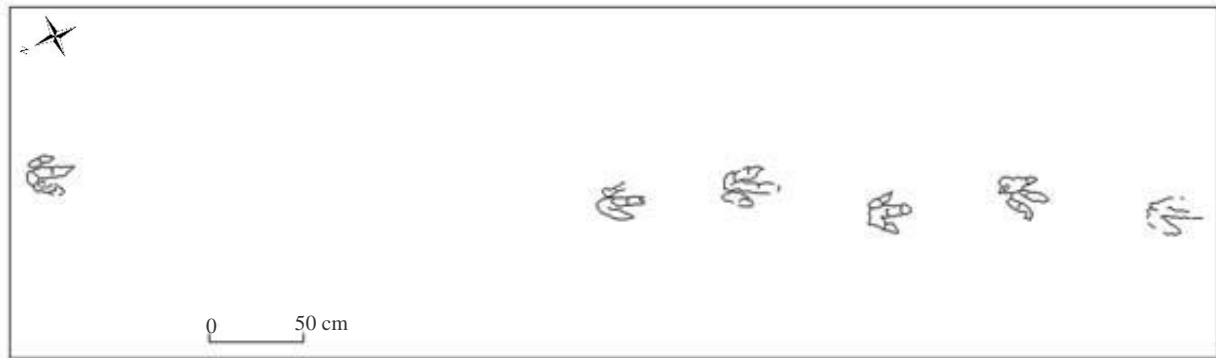


Figure 83 : Piste 2Ib1, du deuxième gisement d'Ibaqalliwn.

Piste	Va	Vd	h	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
2Ib1	4,64	4,13	156,82	0,74	0,2	1,19	5,62	0,27

Tableau 17 : Valeurs moyennes des différents rapports et estimations, piste 2Ib1.

2- Empreintes de la piste 2Ib1 :

Elles caractérisent un pied étroit, d'une taille moyenne de 32,87 cm de longueur et 27,5 cm de largeur, avec des doigts minces, longs et séparés. Le doigt **II** est séparé totalement du talon (**pl. 3, fig. 1**), la relation entre le doigt **III** et la longueur de l'empreinte a une valeur moyenne supérieure à 0,5, ce qui nous permet de dire que le doigt **III** correspond au majeur du pied.

Le talon est très réduit, les doigts sont distingués par deux ou trois coussinets avec l'absence des ongles.

Dans les ichnites dont les doigts sont conservés, l'angle interdigital est important entre le doigt **III** et **IV**, tandis qu'il est faible entre le doigt **II** et **III** qui sont parallèles entre eux (**pl. 3, fig. 1**).

D'après les mesures obtenues (**tab. 18**), on déduit que l'animal est identifié comme étant un grand Théropode, d'une taille moyenne, de l'ordre : **Saurischia** Seeley, 1887 et sous-ordre : **Theropoda** Marsh, 1881a.

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
2Ib1.9	-	-	-	-	-	-	97,5	-	-	-	-	-	-	-
2Ib1.8	35	28,75	-15	7,5	38,75	185,62	91,25	160	20	21,25	10,62	26	23	49
2Ib1.7	28,75	28,75	-10,5	8,75	41,87	185,62	97,5	158	18,75	20	16,25	16	35	51
2Ib1.6	37,5	27,5	0	7,5	40	183,75	89,37	161	20,62	26,25	20	15	22	37
2Ib1.5	31,25	25	-	-	-	-	-	-	-	16,25	21,25	17,5	18	35
2Ib1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2Ib1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2Ib1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2Ib1.1	31,87	27,5	-	-	-	-	-	-	17,5	23,75	20	14	35	49
Moyenne	32,87	27,5	- 8,5	7,58	40,2	185	93,9	159,66	19,21	21,5	17,62	17,7	26,6	44,2

Tableau 18 : Mesures sur les empreintes de la piste 2Ib1.

3- Piste 2Ib2 :

Elle est formée par dix empreintes tridactyles dispersées sur un parcours qui doit être formé par seize pas, mais il est manqué par six empreintes **2Ib2.2**, **2Ib2.3**, **2Ib2.4**, **2Ib2.8**, **2Ib2.9** et **2Ib2.12**.

La voie prise par l'animal est légèrement ondulée (**fig. 84**).



Figure 84 : Piste 2Ib2, du deuxième gisement d'Ibaqalliwn.

D'après les valeurs estimées (**tab. 19**) sur la piste, on peut déduire que :

Le pied de l'animal est étroit puisque la relation moyenne de $(L-a)/a$ est égale à 0,1 et le rapport entre l'enjambée (Z) et la longueur du pied (L) est égal à 5,59, en précisant que les extrémités postérieures de l'animal sont normales ou épaisses. La vitesse rencontrée en Va est de 4,48 Km/h, ainsi en Vd est de 4,04 Km/h. La hauteur moyenne des extrémités postérieures est égale à 155,70 cm, donc l'animal est un grand Théropode d'une taille moyenne, caractérisé par une marche modérée.

Piste	Va	Vd	h	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
2Ib2	4,48	4,04	155,70	0,63	0,1	1,16	5,6	0,04

Tableau 19 : Valeurs moyennes des différents rapports et estimations, piste 2Ib2.

4- Empreintes de la piste 2Ib2 :

Ce sont des traces qui présentent trois doigts séparés, larges et robustes, le majeur du pied est le doigt **III** en tant que le rapport entre le doigt **III** et la longueur de l'empreinte est égal à 0,63, le talon est rond et pointu (**2Ib2.6**, **2Ib2.10**). Les mesures effectuées sur ces empreintes étant affichées dans le **tableau 20**. Il s'agit d'un grand Théropode de l'ordre : **Saurischia** Seeley, 1887 et sous-ordre : **Theropoda** Marsh, 1881a.

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
2Ib2.16	-	-	-	-	-	-	92,5	-	-	-	-	-	-	-
2Ib2.15	32,5	33,75	4	1,25	-	180	88,12	176	21,25	21,25	17,5	30	28,5	58,5
2Ib2.14	-	-	10	1,25	33,12	185	97,5	178	-	15	-	-	-	-
2Ib2.13	32,5	28,75	-	-	-	-	-	-	13,12	23,12	12,5	28	29	57
2Ib2.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2Ib2.11	30	-	-	-	-	-	97,5	-	-	-	-	-	-	-
2Ib2.10	31,87	30	-	-	-	-	-	-	17,5	21,25	17,5	16	11	27
2Ib2.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2Ib2.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2Ib2.7	-	28,75	-	-	-	-	-	-	-	23,75	-	-	-	-
2Ib2.6	30	25	-	-	-	-	82,5	-	13,12	18,75	13,75	16,5	22,5	39
2Ib2.5	33,75	28,75	-	-	-	-	-	-	17,5	18,75	10	42,5	36	78,5
2Ib2.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2Ib2.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2Ib2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2Ib2.1	37,5	-	-	-	-	-	-	-	-	22,5	18,75	40	23	63
Moyenne	32,6	29,16	7	1,25	33,12	182,5	73,12	177	17,25	20,54	15	28,83	25	53,83

Tableau 20 : Mesures sur les empreintes de la piste 2Ib2.

5- Piste 2Ib3 (fig. 85) :

Elle est formée par six empreintes tridactyles réparties sur un large itinéraire.

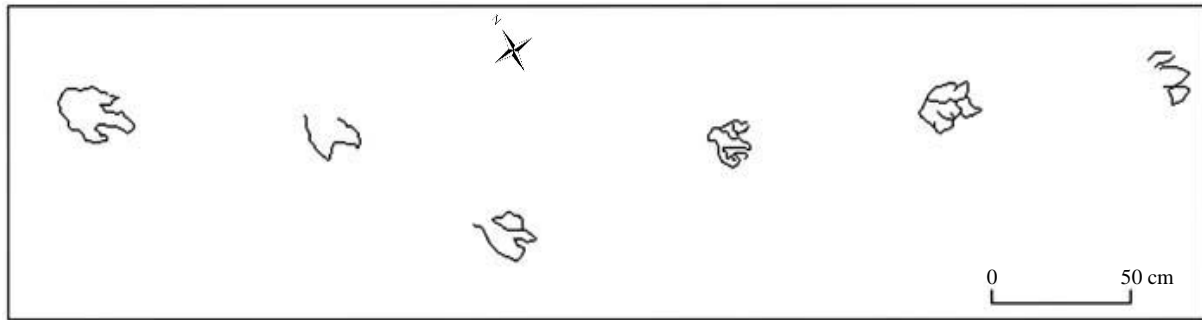


Figure 85 : Piste 2Ib3.

La relation de la valeur de l'enjambée avec la longueur du pied (6,71) indique que les extrémités postérieures de l'animal sont minces.

La vitesse calculée selon Va est de 5,57 Km/h et selon Vd est de 4,5 Km/h. La hauteur des membres postérieurs est égale à 134,17 cm (tab. 21). Cette piste est attribuée à un grand Théropode caractérisé par une marche modérée.

Piste	Va	Vd	h	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
2Ib3	5,57	4,5	134,17	0,45	0,25	1,4	6,71	1,06

Tableau 21 : Valeurs moyennes des différents rapports et estimations, piste 2Ib3.

6- Empreintes de la piste 2Ib3 :

Les doigts sont petits, séparés et articulés, la relation moyenne III/L (Longueur du doigt III sur la longueur du pied) est égale à 0,43, en déterminant que le doigt III est moins important par rapport à la totalité du pied. L'ultime empreinte de la piste est en interférence (pl. 3, fig. 2) avec les bordures extrêmes du doigt IV d'une empreinte considérée comme la première de la piste 2Ib4.

On observe dans les traces de doigts deux coussinets digitaux (2Ib3.4) avec l'absence des traces d'ongles. Le talon est rond, le pied est étroit et le rapport (L-a)/a est inférieur à 0,5, la disposition des doigts forme un angle interdigital presque égale entre le III^IV et II^III (II^III = 17,75 cm, III^IV = 17 cm) (tab. 22). Ces traces appartiennent à un grand Théropode de l'ordre : **Saurischia** Seeley, 1887 et sous-ordre : **Theropoda** Marsh, 1881a.

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
2Ib3.6	-	-	-	-	-	-	-	-	8,12	-	-	-	-	-
2Ib3.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2Ib3.4	20	20	-	-	-	106,25	-	11,25	8,75	12,5	8	29	37	
2Ib3.3	-	20	7	21,25	-	176,25	88,75	128	13,75	11,25	7,5	10	16	26
2Ib3.2	-	-	9	11,25	-	193,12	108,75	153,5	8,12	-	-	37,5	-	-
2Ib3.1	35	22,5	-	-	-	-	-	-	8,75	16,25	12,5	15,5	6	21,5
Moyenne	27,5	20,83	8	16,25	-	184,68	101,25	140,75	10	12,08	10	17,75	17	28,16

Tableau 22 : Mesures sur les empreintes de la piste 2Ib3.

7- Piste 2Ib4 (fig. 86) :

Elle est composée par dix empreintes tridactyles d'un reptile bipède.

La vitesse rencontrée : Va est de 5,2 Km/h et Vd est de 4,41 Km/h, la hauteur moyenne des extrémités postérieures est égale à 160 cm (**tab. 23**).

La piste est d'un grand Théropode, qui marche d'une manière modérée en tenant des extrémités postérieures minces, gravant des empreintes sur la tangente de la ligne médiane en tant que le rapport Ar/a est égal à 0,5.

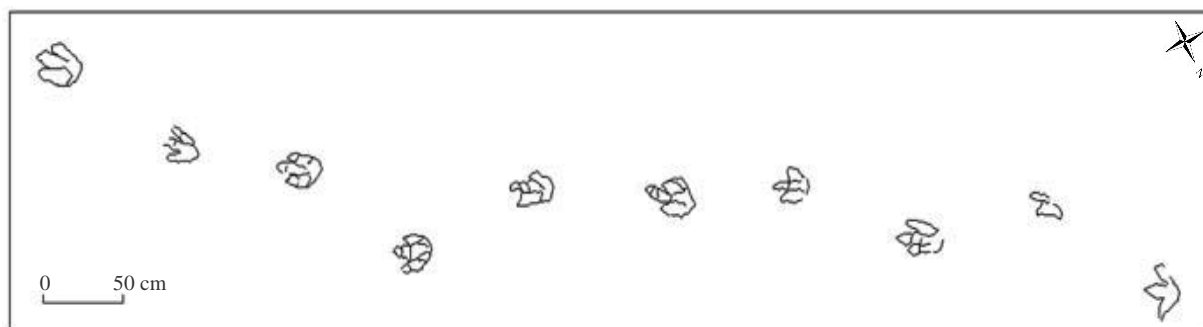


Figure 86 : Piste 2Ib4, du deuxième gisement d'Ibaqalliwn.

Piste	Va	Vd	h	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
2Ib4	5,2	4,41	160	0,71	0,33	1,25	6,03	0,5

Tableau 23 : Valeurs moyennes des différents rapports et estimations, piste 2Ib4.

8- Empreintes de la piste 2Ib4 :

Le contour morphologique de ces empreintes est très varié. La trace **2Ib4.2** est très détériorée par l'érosion y excepté le doigt **II** et quelques parties du doigt **III**, tandis que les autres traces sont caractérisées par la netteté du contour avec l'apparence des articulations et des coussinets de doigts qui sont pointus, larges et non séparés (**2Ib4.3**, **2Ib4.6**, **2Ib4.8**, **2Ib4.10**), le doigt **III** est le majeur du pied, en continuant jusqu'au talon qui est rond.

D'après les mesures (**tab. 24**) et les levées sur les tailles de ces empreintes, on doit constater que leur forme est plus allongée que large ; l'angle des orteils est très important entre le doigt **III** et **IV** ($37,5^\circ$), l'angle de pas mesuré sur l'empreinte **2Ib4.7** est moins important ($123,5^\circ$) par rapport aux autres valeurs, ce qui révèle que l'animal a ralenti son allure de locomotion. Ces traces appartiennent à un grand Théropode de l'ordre: **Saurischia** Seeley, 1887 et sous-ordre : **Theropoda** Marsh, 1881a

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
2Ib4.10	35,62	28,75	-	-	-	-	108,75	-	25	25	16,25	13	22	35
2Ib4.9	-	24,37	4	10	45	201,25	97,5	156	13,75	-	11,25	14	19	33
2Ib4.8	35	23,75	-18,5	10,62	47,5	197,5	105	155	18,75	22,5	17,5	13	9,5	22
2Ib4.7	30	26,25	9	25	76,87	185	106,25	123,5	21,25	26,25	23,75	13	26	39
2Ib4.6	33,75	25	14	12,5	53,75	209,37	110	152	18,75	26,25	16,25	12	25	37
2Ib4.5	40	27,5	-18	5	33,75	201,25	92,5	167,5	18,75	20,62	18,75	8,5	17	25,5
2Ib4.4	28,75	24,37	-10	11,25	47,5	197,5	110	153	20	20	12,5	10,5	34,5	45
2Ib4.3	36,87	25	-	-	-	-	-	-	25	27,5	18,75	10	11	21
2Ib4.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2Ib4.1	28,75	-	-	-	-	-	-	-	19,37	20	8,75	13,5	37,5	51
Moyenne	32,84	25,62	-3,25	12,39	50,73	198,64	104,28	151,16	20,07	23,51	22,84	10,83	22,38	34,27

Tableau 24 : Mesures sur les empreintes de la piste 2Ib4.

9- Piste 2Ib5 :

Elle est formée de neuf empreintes, 6 continues auxquelles il faut rajouter 3 autres semblables mais isolées et inscrites sur le même parcours (**fig. 87**).

La piste est étroite avec la position des traces sur sa ligne médiane ($Ar/a = 0,47$).

Les estimations (**tab. 25**) peuvent rapporter cette piste à un grand Théropode, de moyenne taille avec une extrémité postérieure normale d'une hauteur de 163 cm, la vitesse effectuée par l'animal varie entre 5,9 Km/h pour Va et 4,82 Km/h pour Vd, ce qui indique une vitesse relativement modérée.



Figure 87 : Piste 2Ib5.

Piste	Va	Vd	h	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
2Ib5	5,9	4,82	162,98	0,5	0,45	1,35	6,38	0,47

Tableau 25 : Valeurs moyennes des différents rapports et estimations, piste 2Ib5.

10- Empreintes de la piste 2Ib5 :

Les mesures (**tab. 26**) de ces traces indiquent que l'animal a un autopode relativement étroit, de 33,75 cm de longueur moyenne et une largeur moyenne de 23,3 cm, avec une enjambée importante de 217,19 cm.

Généralement, les empreintes sont plus longues que larges avec trois doigts articulés, pointus et séparés. Le doigt **III** présente le majeur du pied, le talon rond et très rétréci, les griffes ne s'impriment pas sur le substrat.

D'après la classification de Haubold (1971) et Romero et al. (2003), cette piste **2Ib5** est à reporter à l'ordre : **Saurischia** Seeley, 1887 et sous-ordre : **Theropoda** Marsh, 1881a.

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
2Ib 5.6	-	22,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2Ib 5.5	33,75	26,5	28,75	12,5	51,25	-	-	156	12,5	15,62	8,75	39	35	74
2Ib 5.4	32,5	20	-17,5	3,75	25	222,5	113,75	175	16,25	18,75	15	18	18	36
2Ib 5.3	35	23,75	-15	6,25	33,75	221,25	107,5	165	-	15	-	27	30	57
2 I b 5.2	33,75	23,75	11,25	16,25	57,5	217,5	111,25	145	13,75	18,75	12,5	28	13	41
2Ib5.1	-	-	-	-	-	207,5	105	-	-	-	-	-	-	-
Moyenne	33,75	23,3	1,87	9,68	41,87	217,19	109,37	160,25	14,16	17,03	12,08	28	24	52

Tableau 26: Mesures sur les empreintes de la piste 2Ib5.

c- Gisement de Tabant (fig. 88) :

Il est situé à Tabant sur le flanc **NNW** de la vallée des Aït Bou Guemmez, il est imprimé sur une dalle carbonatée grise à laminations stromatholitiques de **35° NNW** de pendage. Ce gisement est distingué par des empreintes ovales de grandes tailles, qui sont jonchées sur deux parties séparées par une grande fracture. La ressemblance des traces indique qu'elles sont du même niveau stratigraphique donc du même gîte, cependant une seule piste est bien discernée **1Ta1**.

Les itinéraires formés par ces Sauropodes sont formés de vingt traces du membre postérieur et seize empreintes de la main. Leur état de conservation est assez bon et leur enchaînement est incomplet à cause du manque de quelques-unes de traces (cinq traces de mains et une du pied).

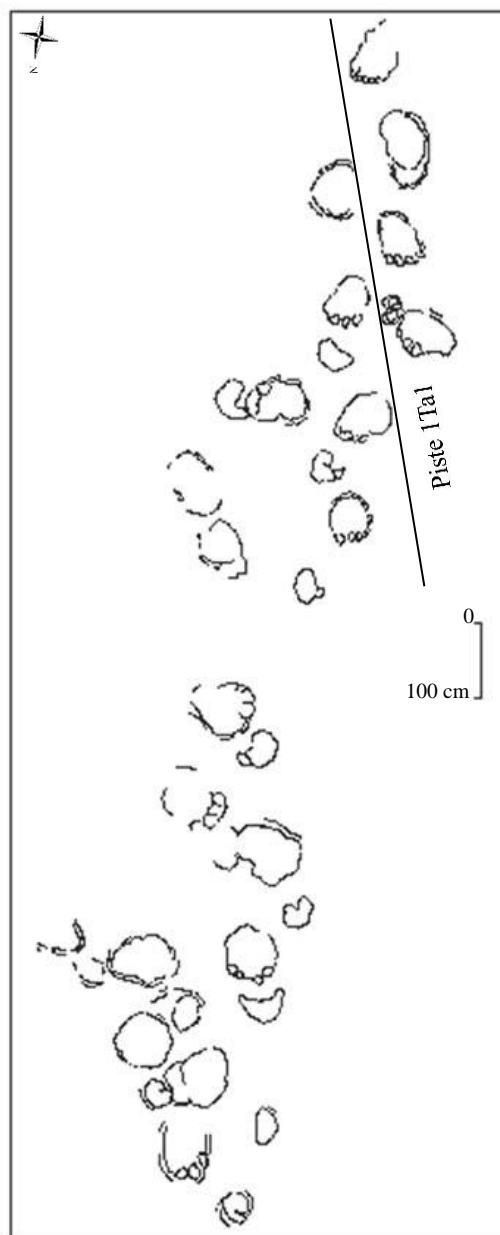


Figure 88 : Le gisement de Tabant 1Ta, vallée des Aït Bou Guemmez.

1- Piste 1Ta1 :

La piste est celle d'un animal quadrupède, l'étude biométrique nous a permis de constater que la piste **1Ta1** est large en tant que le rapport Ar/a est inférieur à 0,5 et que le déplacement de l'animal est provoqué par une vitesse très lente, en mesurant d'après Va une valeur maximale de 1,98 Km/h et une valeur minimale de 0,92 Km/h, et pour Vd une valeur assez élevée qui est située dans un intervalle de 1,93 Km/h et 2,68 Km/h.

Les analyses des chiffres (**tab. 27**) obtenus déduisent que le dinosaurien responsable présente des extrémités (pied et main), qui impliquent une allure amble, relativement normales et minces ($Z/L = 1,91$). La hauteur jusqu'à l'acétabule est approximativement égale à 232,3 cm en tant qu'elle est réciproquement la valeur la plus proche à la distance gléno-acétabule $Ga = 247,91$ cm.

Piste ovale	1Ta1
<i>Va1</i>	1,44
<i>Va2</i>	1,98
<i>Va3</i>	1,63
<i>Va4</i>	0,92
<i>Vd1</i>	2,34
<i>Vd2</i>	2,68
<i>Vd3</i>	2,47
<i>Vd4</i>	1,93
<i>h1</i>	304
<i>h2</i>	232,3
<i>h3</i>	273,5
<i>h4</i>	448,2
<i>Ga</i>	247,91
<i>Gb</i>	171,87
<i>Gc</i>	146,52
<i>L-a/a</i>	0,32
<i>Z/h1</i>	0,48
<i>Z/h2</i>	0,63
<i>Z/h3</i>	0,53
<i>Z/h4</i>	0,32
<i>Z/Lm</i>	1,91
<i>Ar/a</i>	0,75

Tableau 27: Valeurs moyennes des différents rapports et estimations, piste **1Ta1**, gisement **1Ta**.

2- Empreintes du gisement de Tabant :

Les empreintes de pieds postérieures sont rondes, porteuses de quatre doigts ronds qui se dirigent vers l'avant du pied. Le nombre des doigts varie sur les traces de pieds : Des traces à quatre doigts (**I**, **II**, **III**, **IV**) comme la trace **1Ta1.5p** (**pl. 3, fig. 3**) et des traces à trois doigts. Par contre, les traces de mains laissent deviner une taille petite par rapport à celle de pieds, avec une forme arquée (**pl. 3, fig. 4**) et bilobulaire ; elles présentent des traces d'un attribut pareil au polles (le doigt **I**) qui est rond, pointu et dirigé vers l'intérieur de la piste (**pl. 3, fig. 4**), ce qui ne peut être dû, peut-être, qu'à une cause d'une déformation congénitale ; c'est l'unique piste étudiée qui porte cette particularité.

Les structures des lamines algaires sont continuées à l'intérieur des empreintes intactes et non déformées, ce qui prouve que les traces de ce gisement sont des sous impressions (**fig. 89 ; pl. 3, fig. 5**).

Du point de vue morphologique, ces empreintes prennent deux formes différentes, des formes allongées et des formes complètement rondes, avec une faible netteté du contour et une faible profondeur des empreintes par rapport à celles de **1Ib**. Les mesures biométriques effectuées sur les empreintes de la piste **1Ta1** sont portées dans les **tableaux 28, 29**.

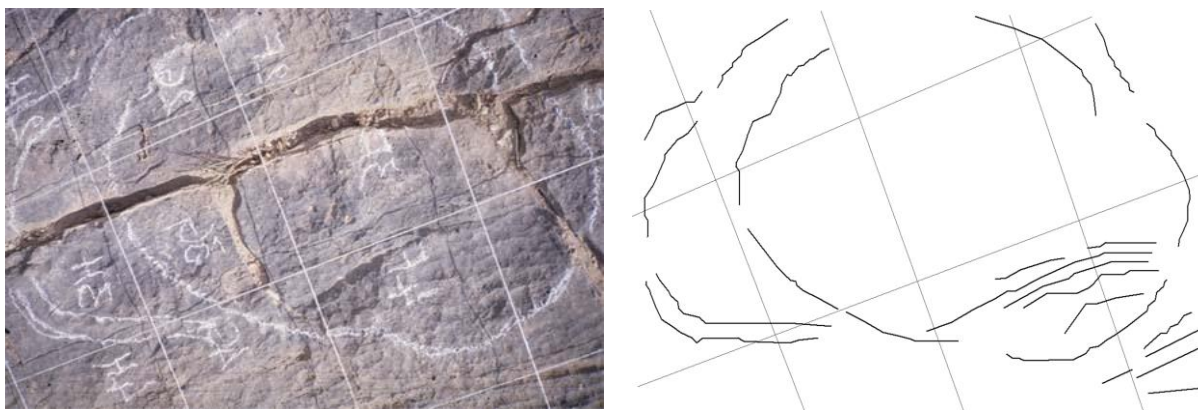


Figure 89 : Laminations continues à l'intérieur d'une empreinte ovale, gisement de Tabant, vallée des Aït Bou Guemmez.

L'ensemble de tous ces critères fait porter ces empreintes à l'ichno-genre *Breviparopus* Farlow, 1992 ; ordre *Saurischia* Seeley, 1887 ; sous-ordre *Sauropoda* Marsch, 1878b ; au Jurassique inférieur notamment le Lias, on connaît uniquement les Eusauropodas et les *Vulcanodons* (Wilson, 2005).

Pieds	L	a	Ar	Lr	Z	P	Ap°	Pm
2Ta1.10	65	56,25	-	-	141,25	-	-	112,5
2Ta1.9	-	-	-	-	-	-	-	-
2Ta1.8	80	65	-	-	160	141,25	-	95
2Ta1.7	82,5	66,25	52,5	-	160	120	74	-
2Ta1.6	71,25	57,5	46,25	-	155	112,5	74	80
2Ta1.5	77,5	56,25	40	147,5	132,5	108,75	89	-
2Ta1.4	71,25	-	45	158,75	-	115	72	-
2Ta1.3	84,37	65	-	-	126,25	-	-	47,5
2Ta1.2	-	-	-	-	-	-	-	-
2Ta1.1	-	-	-	-	-	-	-	-
Moyenne	75,98	61	45,93	153,12	145,8	119,5	77,25	83,75

Tableau 28 : Mesures sur les empreintes de pieds de la piste 1Ta1.

Mains	L	a	Ar	Lr	Z	P	(L-a)/a	Z/L
2Ta1.10	-	-	-	-	-	-	-	-
2Ta1.9	-	-	-	-	-	-	-	-
2Ta1.8	-	45	-	-	152,5	-	-	-
2Ta1.7	-	-	-	-	-	-	-	-
2Ta1.6	32,5	50	-	-	-	-	-0,35	4,69
2Ta1.5	-	-	-	-	-	-	-	-
2Ta1.4	-	-	-	-	-	-	-	-
2Ta1.3	32,5	43,75	-	-	-	-	-0,26	-
2Ta1.2	-	-	-	-	-	-	-	-
2Ta1.1	-	-	-	-	-	-	-	-
Moyenne	32,5	46,25	-	-	152,5	-	0,30	4,69

Tableau 29 : Mesures sur les empreintes de mains de la piste 1Ta1.

d- Gisement Ahbak (Ah) :

C'est un petit gisement très isolé de l'agglomération, il est situé en pleine montagne sur une altitude presque de 2150 m, dans une petite vallée (pl. 3, fig. 6), il est imprimé sur une dalle calcaire jaunâtre à fentes de dessiccation (pendage de 45 à 50° vers N50). Le gisement **Ah** est formé par une seule piste **1Ah1** qui est constituée par, trois paires d'empreintes et une trace de main, qui sont bien conservées.

1- Piste 1Ah1 (fig. 90) :

La piste est rectiligne, la ligne médiane de traces de membres postérieurs passe tangentielllement. D'après le rapport Ar/a , le type de la piste est large au niveau des mains ($Ar/a = 0,39$) et au niveau des pieds ($Ar/a = 0,05$), la piste est très étroite, les traces sont sur la ligne médiane ; ce qui prouve qu'elle est de l'ichno-genre *Parabrontopodus* (Lockley et al., 1994) ou *Breviparopus* (Farlow, 1992).

La vitesse, adoptée par l'animal, est située entre une valeur minimale Va de 1,28 Km/h et une valeur maximale Vd de 2,91 Km/h ; ce Sauropode a une allure de déplacement très lente.

L'analyse des chiffres nous a conduit à dire que (tab. 30) les extrémités, de l'animal, (pied et main) sont, relativement, d'une forme normale à épaisse. La hauteur de l'acétabule est approximativement égale à 181,2 cm en tant qu'elle est réciproquement la valeur la plus proche à la distance gléno-acétabule $Ga = 196,25$ cm, inférant que l'animal se déplace amble.

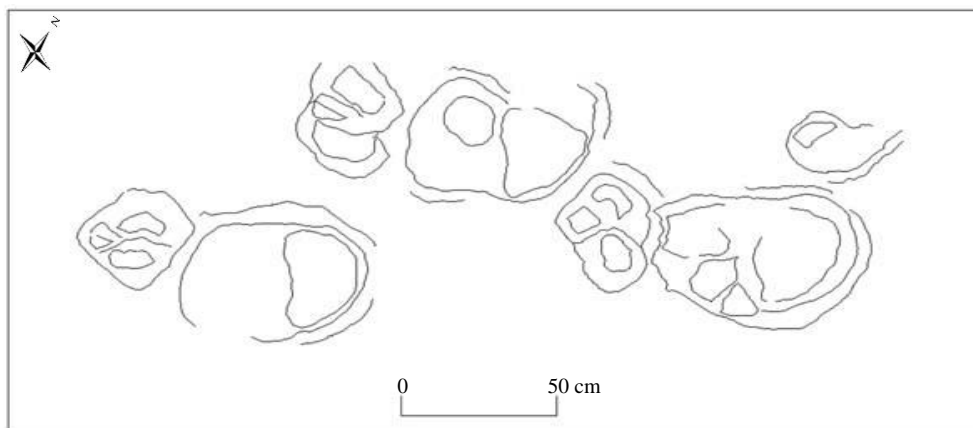


Figure 90 : Piste du Sauropode d'Ahbak.

Piste ovale	1Ta1
$Va1$	2,02
$Va2$	-
$Va3$	2,29
$Va4$	1,28
$Vd1$	2,76
$Vd2$	-
$Vd3$	2,91
$Vd4$	2,27
$h1$	250,83
$h2$	181,24
$h3$	225,74
$h4$	370
Ga	196,25
Gb	153,75
Gc	141,25
$L-a/a$	0,39
$Z/h1$	0,62
$Z/h2$	0,86
$Z/h3$	0,69
$Z/h4$	0,42
Z/Lm	2,55
Ar/a	-

Tableau 30 : Valeurs moyennes des différents rapports et estimations, piste 1Ah1, gisement Ah.

2- Empreintes de la piste 1Ah1 :

Les traces de membres postérieurs sont bien enregistrées, avec une forme nettement rectangulaire, de 62,70 cm de longueur et 45,31 cm de largeur (**tab. 31**). Les doigts, sans traces de griffes, sont visibles dans la première empreinte par trois doigts **I, II, III**, qui sont ronds et de grande taille, le coussinet est grand, occupe toute la partie postérieure du pied qui montre un important bourrelet.

Les empreintes de membres antérieurs sont deux fois moins petites (**tab. 32**) que celles de membres postérieures, elles s'inscrivent dans une forme, à peu près, ovale avec une taille vraisemblablement égale à la longueur ($L = 34$ cm) et à la largeur ($a = 35,5$ cm) ; elles sont pointues au niveau de la zone axiale de la partie antérieure du membre, sur laquelle passe une cloison partageant la main en deux lobes entre lesquels existe une petite structure qui détermine soit les traces d'un doigt situé au centre de la main, soit les traces d'un petit coussinet (**fig. 90**). Le couple de traces est caractérisé par une brévité de pas de l'animal suggérée par les bourrelets confondus des deux empreintes.

Pieds	L	a	Ar	Lr	Z	P	Ap°	Pm
1Ah1.4	60,62	44,37	-	-	-	90	-	-
1Ah1.3	61,25	-	2,37	-	156,25	93,75	116	46,25
1Ah1.2	66	46,25	-	-	-	-	-	46,87
1Ah1.1	-	-	-	-	-	-	-	-
Moyenne	62,62	45,31	2,37	-	156,25	91,87	116	46,56

Tableau 31 : Mesures sur les empreintes de pieds, piste du Sauropode d'Ahbak.

Mains	L	a	Ar	Lr	Z	Ap	P	L-a/a	Z/Lm	Ar/a
1Ah1.4	37,5	35,62	-	-	-	-	80,62	0,0528	-	-
1Ah1.3	34,4	-	21,25	-	150	120	92,5	-	4,3	-
1Ah1.2	30,6	44,37	17,5	-	155,62	130	78,75	-0,31	5,1	0,3944
1Ah1.1	33,12	26,87	-	-	-	-	-	0,2326	-	-
Moyenne	33,905	35,62	19,375	-	152,81	125	83,957	-0,008	4,7	0,3944

Tableau 32 : Mesures sur les empreintes de mains, piste du Sauropode d'Ahbak.

Les empreintes du gisement d'Ahbak sont à rapporter à l'ichno-genre *Breviparopus* Farlow, 1992 (ordre *Saurischia* Seeley, 1887 ; sous-ordre *Sauropoda* Marsch, 1878b).

e- Gisements de Sidi Moussa :

Du point de vue lithologique, le gisement est une alternance de bancs calcaires claires à structures laminées algaïques (stromatholites), portant les empreintes dinosauriennes et de calcaire sombres (**pl. 4, fig. 1**).

1- Empreintes :

En ce qui concerne la disposition des empreintes, il y a au moins quatre niveaux jonchés par de nombreuses traces ovales de dinosauriens, quadrupèdes Sauropodes, (une centaine de traces). Sur les bordures des empreintes (**pl. 4, fig. 2-3-4**) qui ne sont, en fait, que des spectres "ghost-marks" des vraies empreintes, les lamines organiques sont verticales, pliées, déchirées et doublées. Il existe sur plusieurs lieux des paires d'empreintes (pied et main), dispersées dans un ordre indéterminé.

f- Gisement d'Aguer-n-Ouzrou :

Cinq niveaux sont parsemés (**fig. 91**) par des pas de dinosauriens imprimés sur les

lamines algaires, comme le cas de Sidi Moussa. Les niveaux inférieurs et supérieurs sont séparés par une discontinuité ferrugineuse.

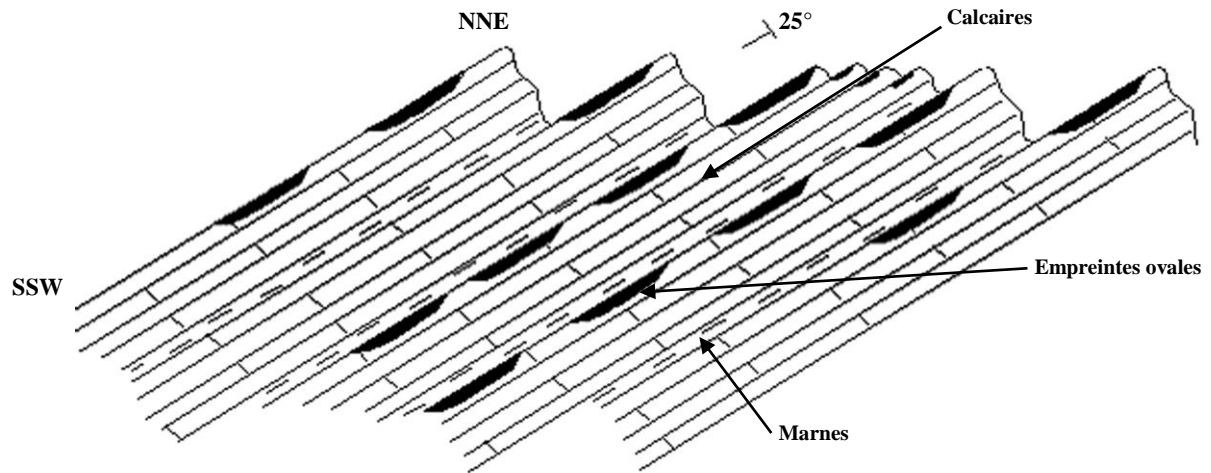


Figure 91 : Coupe d'Aguer-n-Ouzrou. L'épaisseur des couches calcaires varie entre 80 à 100 cm, et les couches marneuses entre 20 et 25 cm.

1- Empreintes :

Les empreintes sont ovales et de grande taille (**fig. 92**). Certaines empreintes de membres postérieurs mesurent 90 cm de longueur avec une largeur de 76 cm. La taille des empreintes antérieures oscille entre 30 à 50 cm de longueur ; la largeur est assez importante, elle varie entre 60 à 70 cm.

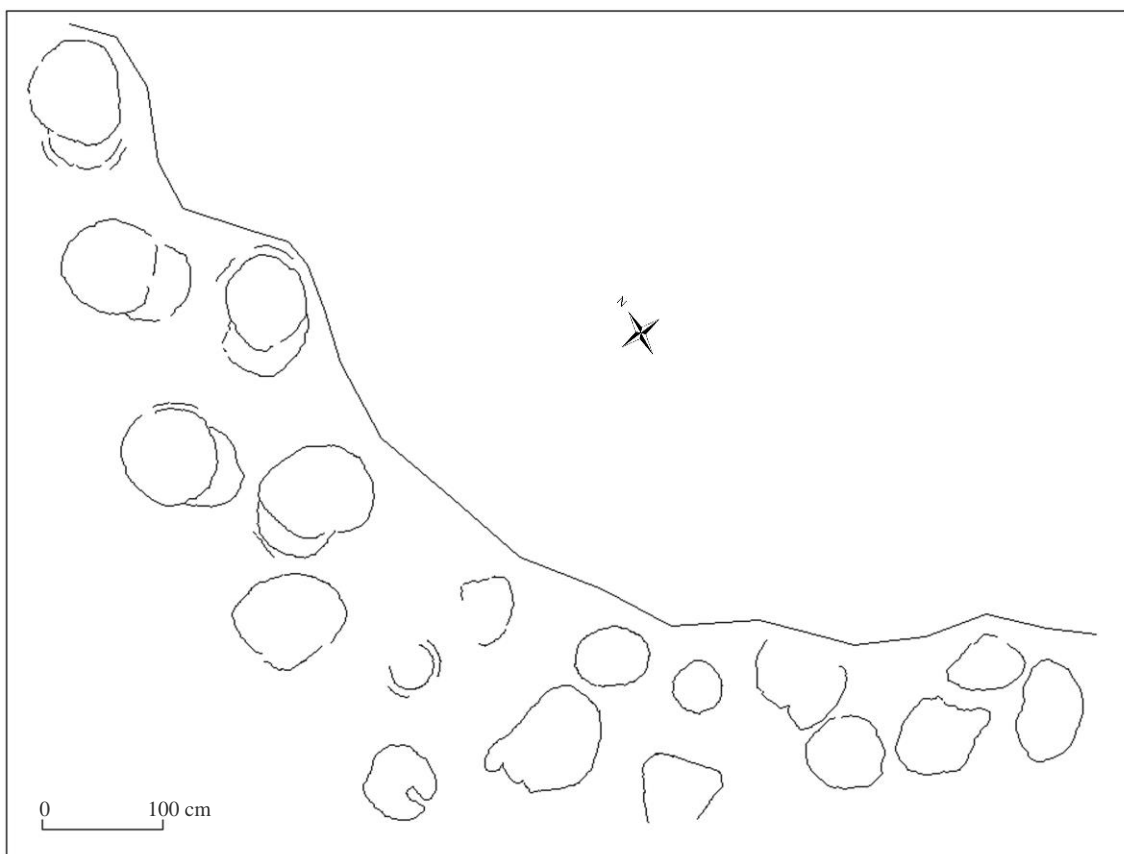


Figure 92 : Partie du gisement, d'Aguer-n-Ouzrou (An), présente des traces ovales en disposition chaotique.

Les traces de doigts sont absentes; les profondeurs sont variées d'une trace à l'autre avec une valeur maximale entre 25 cm et 30 cm et une valeur minimale entre 5 et 10 cm. La disposition des empreintes est généralement chaotique.

IV- CONCLUSION :

Les traces de pas de dinosauriens de la vallée des Aït Bou Guemmez, d'âge Pliensbachien (Lias moyen), sont des plus anciennes connues dans le monde ce qui leur confère une valeur patrimoniale internationale. Elles sont disposées sur une plate-forme carbonatée, peu profonde, stromatholitique intertidale.

Le nombre des traces traitées est 158 empreintes. 27,33% sont tridactyles et 72,67% sont ovales (**fig. 93**), la différence d'effectifs est expliquée d'après García-Ramos et al., 2002 que les plaines carbonatées boueuses sont propres aux grands dinosauriens herbivores, en constituant des bons lieux de défenses contre les Théropodes.

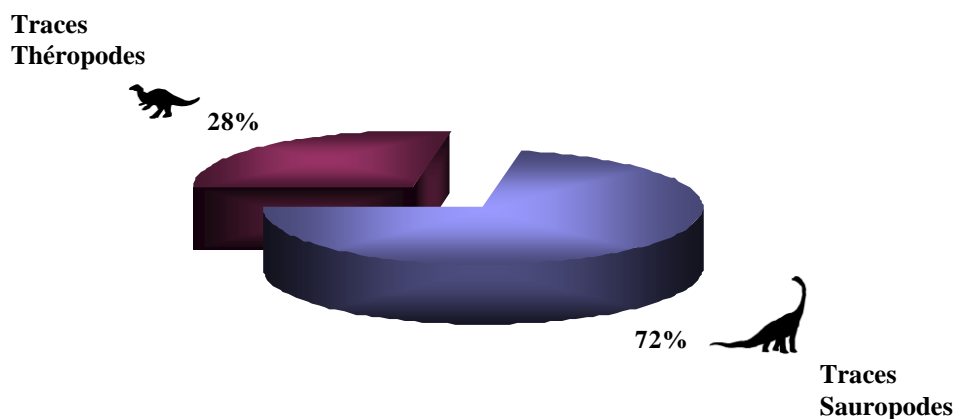


Figure 93 : Proportions des empreintes étudiées Théropodes et Sauropdes dans la Haute vallée des Aït Bou Guemmez.

Les empreintes peuvent être subdivisées en cinq groupes (**fig. 94**):

☞ **Groupe 1 (fig. 94 n°1)** : Il est constitué par des traces tridactyles d'une grande taille qui dépasse 30 cm de longueur. Les doigts sont séparés, articulés et un peu effilés, la séparation du doigt II du talon est nette. Les empreintes de ce groupe (piste **2Ib1**) sont attribuées à des Théropodes.

☞ **Groupe 2 (fig. 94 n°2, 3, 4)** : Il est formé par des empreintes tridactyles d'une grande taille supérieure à 30 cm. Les doigts sont robustes, ronds, articulés et leurs parties proximales sont attachées au talon. Les empreintes de ce groupe appartiennent à de grands Théropodes (piste **2Ib2, 2Ib3, 2Ib5**).

☞ **Groupe 3 (fig. 94 n° 5, 6)** : Il est identifié par des empreintes ovales de grandes tailles mesurant plus de 70 cm de longueur, elles appartiennent à des animaux quadrupèdes portant sur leurs pieds trois à quatre doigts ronds visibles, dirigés vers l'avant du pied (piste **1Ib1, 1Tb1**). Les empreintes de ce groupe sont à rapporter à l'ichno-genre *Parabrontopodus* (Lockley, 1994).

☞ **Groupe 4 (fig. 94 n° 7)** : Les empreintes sont en couples de traces de pieds ovales de grande taille et de mains arquées et séparées à l'intérieur par une cloison qui leur donne une forme bilobulaire (piste **1Ah1**). Les empreintes de ce groupe sont à rapporter à l'ichno-genre *Parabrontopodus* (Lockley et al., 1994).

☞ **Groupe 5 (fig. 94 n° 8)** : Les empreintes sont mal conservées avec des doigts et des griffes indiscernables, leur classification reste indéterminée (piste **1Ib2**).

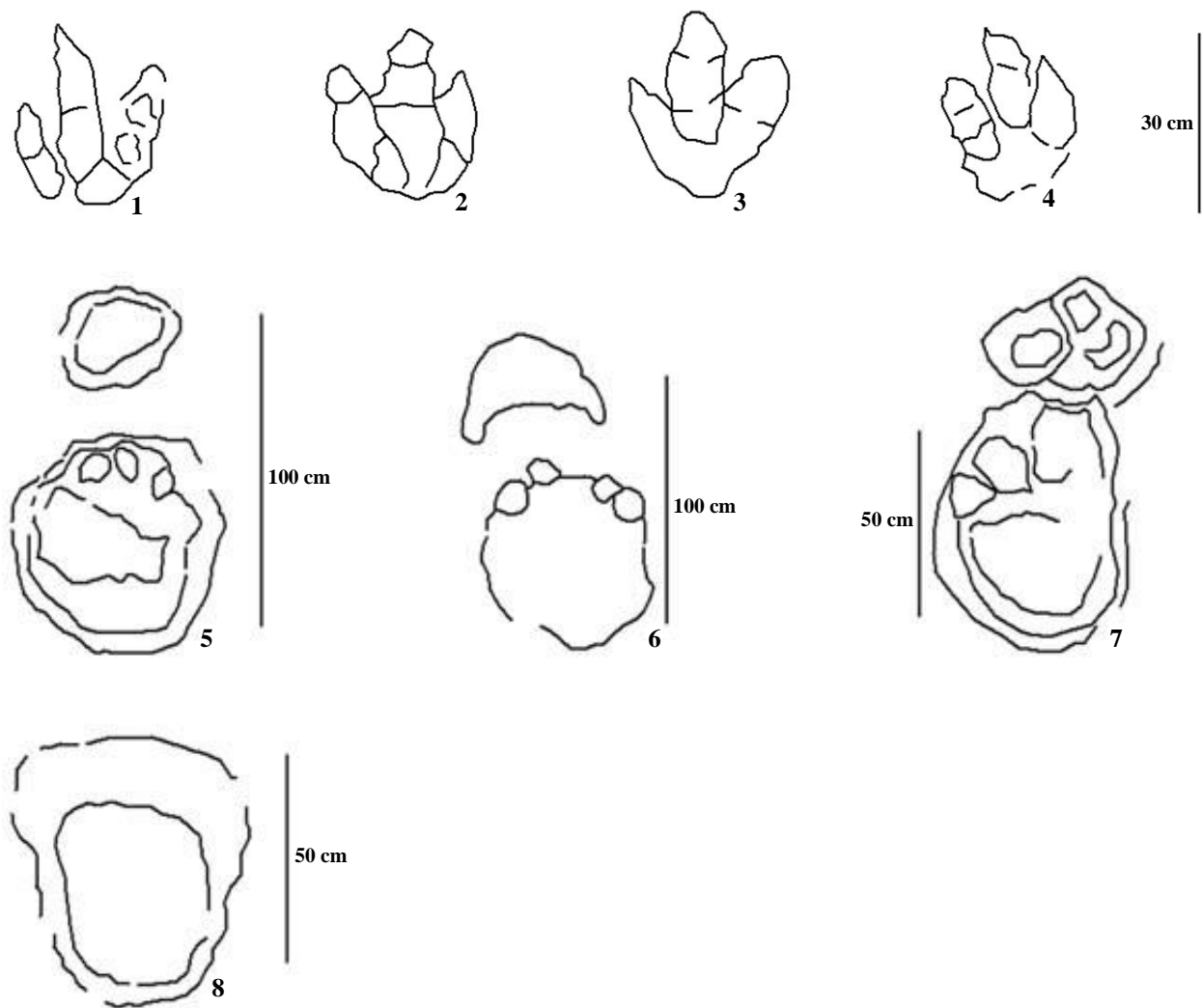


Figure 94 : Différents groupes d'empreintes de la vallée des Aït Bou Guemmez.

C- EMPREINTES DE PAS DE DINOSAURIENS DES GISEMENTS DE BIN EL OUIDANE :

I- SECTEUR D'ÉTUDE :

A Bin El Ouidane trois gisements d'empreintes de dinosauriens sont étudiés, qui sont situés à 16 Km de la commune de Ouauizaght, sur la route qui mène au douar Bin El Ouidane (**fig. 95**), ils sont imprimés sur un niveau de grès fins gris verdâtre de 20 cm d'épaisseur.

Le premier gisement **1Bo** est formé par quinze empreintes tridactyles de petites tailles, le deuxième gisement **2Bo** est formé par dix-sept empreintes, trois tridactyles et quatorze ovales, le troisième gisement **3Bo** est formé par treize empreintes tridactyles de petites tailles.

II- CONTEXTE GÉOLOGIQUE SUCCINCT:

La coupe stratigraphique de Bin El Ouidane (**fig. 96**) est une synthèse de plusieurs coupes partielles levées par Monbaron, 1982, d'une épaisseur moyenne d'environ 300 m, elle est subdivisée en trois formations :

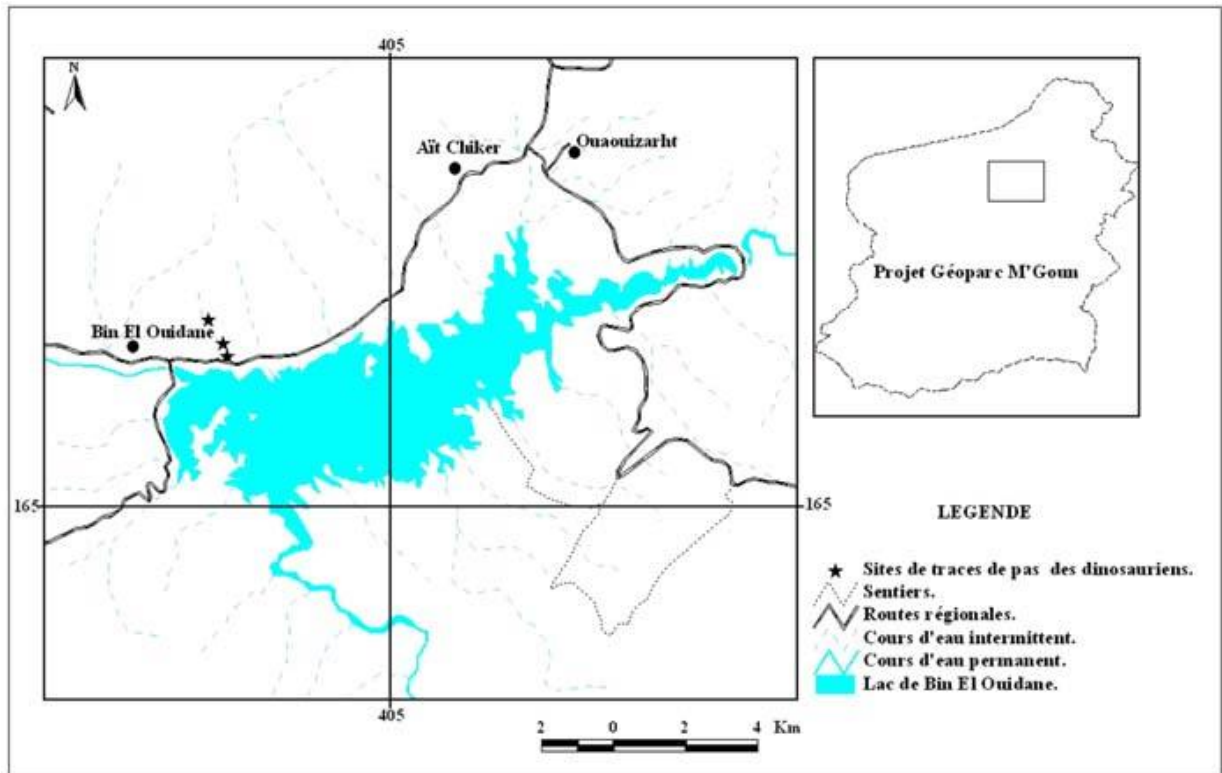


Figure 95: Emplacement des différents gisements de traces de pas de dinosauriens de Bin El Ouidane.

Formation de Bin El Ouidane 1 : Une base calcaire, en gros bancs (110-120 m).

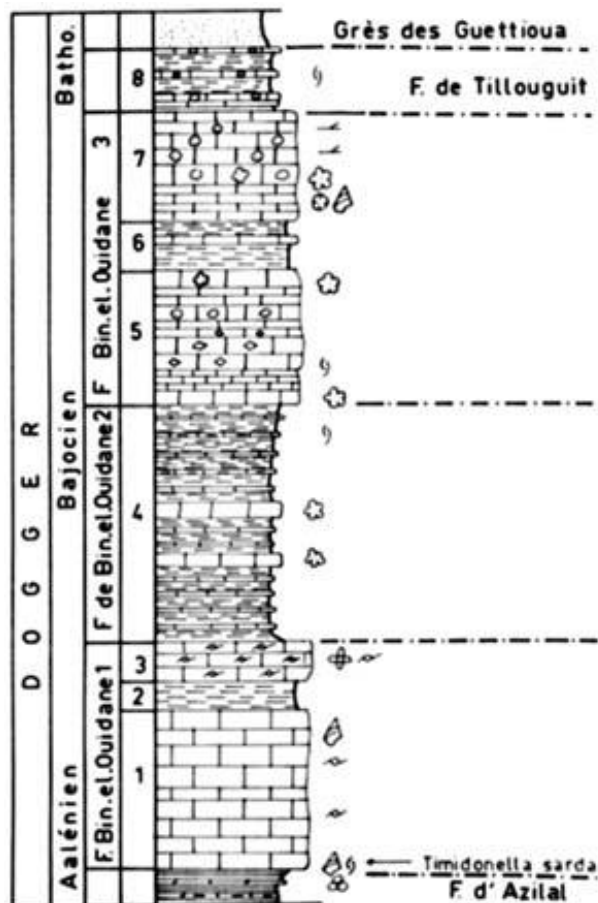


Figure 96 : Coupe-type du groupe de Bin El Ouidane (Monbaron, 1982).

Formation de Bin El Ouidane 2 : Une série médiane, marneuse à marno-calcaire (120-130 m).

Formation de Bin El Ouidane 3 : Un ensemble de calcaire sommital, bien lité (45-50 m).

Le groupe de Bin El Ouidane est attribué au Jurassique moyen (Aalénien–Bajocien-Bathonien), l'environnement sédimentaire correspond à une plate-forme calcaire de l'Aalénien qui s'est envahie par une progradation de dépôts fluvio-deltaïques continentaux du Bathonien-Callovien.

III- ÉTUDES DES PRINCIPAUX GISEMENTS ICHNOLOGIQUES :

a- Gisement 1Bo :

Le gisement **1Bo** (Boutakiout et al., 2006) se caractérise par quinze empreintes (**fig. 97**), localisées sur deux niveaux gréseux. On peut y distinguer deux pistes nommées **1Bo1** et **1Bo4**. Dans ce gisement, les phases de l'impression du pas, selon Thulborn et al., 1989, peuvent être reconnues depuis le premier contact du pied avec le substrat (**phase T**) jusqu'à la sortie (**phase K**), en passant par le grand moment de pression de l'autopode (**phase W**).

1- Pistes du gisement 1Bo :

Dans le gisement **1Bo**, on peut discerner deux pistes **1Bo1** et **1Bo4**, la première est formée par six empreintes tridactyles et la deuxième par trois empreintes. La piste **1Bo1** est très étroite (angle de pas est de 180°), avec des incisions qui se présentent en arrière des empreintes (de manière que le hallux se dirige postérieurement), elle est similaire aux caractères des pistes aviennes. Ces deux pistes identifiées sont gravées sur deux niveaux gréseux, conservant toutes les structures associées à l'impression des pas.

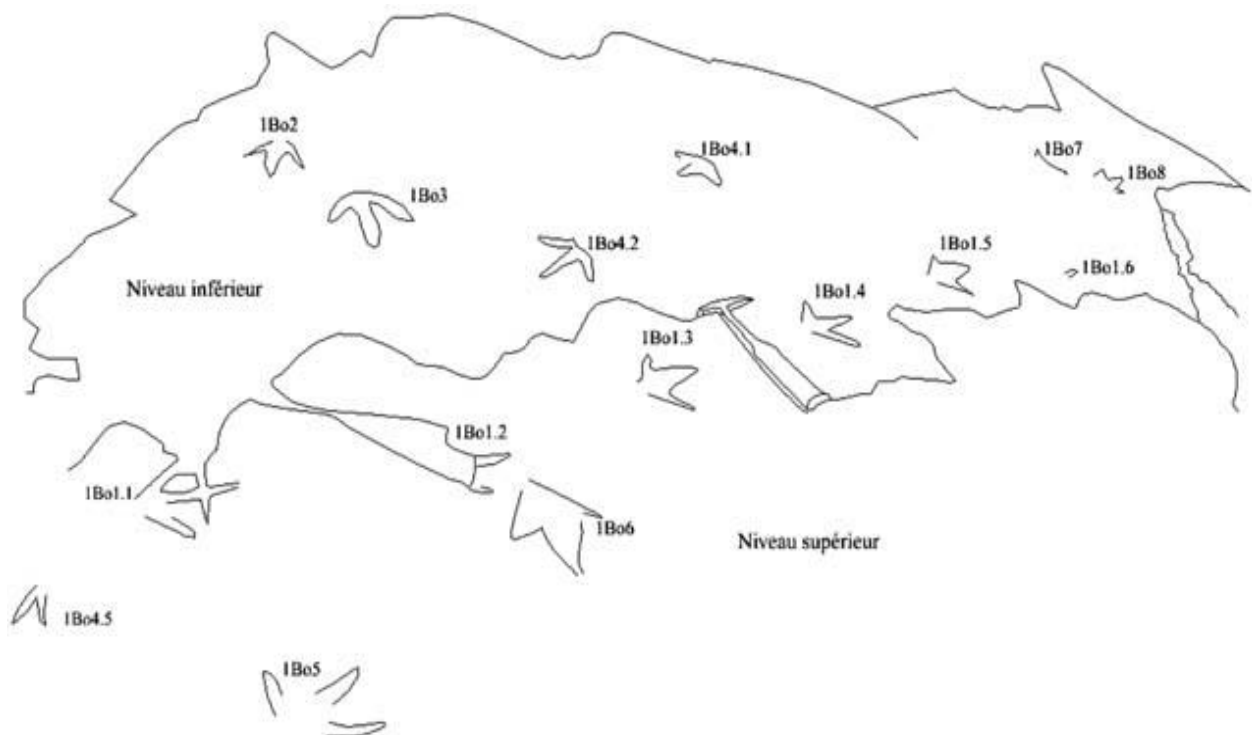


Figure 97 : Gisement 1Bo de Bin El Ouidane.

2- Empreintes du gisement 1Bo :

Les empreintes les plus complètes, parfois sont plus étroites que larges, elles ne dépassent pas 16,33 cm de longueur et 16,16 cm de largeur (**tab. 33**). Les doigts sont très séparés, effilés et articulés ; le troisième doigt exprime un dépassement important par rapport aux limitrophes. Le talon est quasiment absent. Selon les analyses suivies, la longueur et la largeur du pied sont moins importantes par rapport à celles de leurs impressions.

L'angle interdigital est élevé ($\text{II}^{\wedge}\text{IV}$ entre 90 et 100°).

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II [^] III)°	(III [^] IV)°	(II [^] IV)°
1Bo1.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Bo1.5	17,5	16	-	-	-	-	-	-	7,5	9	6	43	56	99
1Bo1.4	16	15	0	0	17	-	55	180	6	10	5	40	50	90
1Bo1.3	16	17,5	-	-	-	111	56,5	-	5	9	6	50	51	101
1Bo1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Bo1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Moyenne	16,5	16,2	0	0	17	111	55,7	180	6,16	9,33	5,66	44,33	52,33	96,66

Tableau 33 : Mesures sur les empreintes de la piste 1Bo1.

Le fond, de toutes ces marques de pas dinosauriens, présente divers types de structures (**tab. 34**) dans les deux niveaux gréseux inférieur et supérieur, il peut être occupé par des brèches sédimentaires, des parties déformées des lamines sédimentaires, des ruptures de flexion ou des stries d'arrachement.

EMPREINTE	COUCHES	A	B	C	D	E
1Bo8	1					
1Bo7	1					
1Bo6	2					
1Bo5	2					
1Bo4.5	2					
1Bo4.4	2					
1Bo4.2	1		Oui	Oui	Oui	Oui
1Bo4.1	1	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
1Bo3	1	Oui	Oui		Oui	Oui
1Bo2	1					
1Bo1.6	1					
1Bo1.5	1	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
1Bo1.4	1		Oui	Oui	Oui	Oui
1Bo1.3	2		Oui	Oui	Oui	Oui
1Bo1.2	2					
1Bo1.1	2					

1. Niveau inférieur ; 2. Niveau supérieur.
A- couche neutre ; B- brèche ; C- cicatrice ; D- rupture par flexion, E- strie d'arrachement

Tableau 34 : Principales structures remplissant les empreintes de 1Bo.

Dans les parois des marques de quelques doigts, il y a, dans les zones de meilleure flexion de la lamination sédimentaire, des fractures de tensions subparallèles à l'allongement des doigts. Dans l'ichnite **1Bo4.1**, on remarque la présence d'une fracture très large et circulaire autour de l'empreinte.

Les caractères et les mesures effectués rapportent ces traces à des petits Théropodes (ordre : **Saurischia** Seeley, 1887 ; sous-ordre : **Theropoda** Marsh, 1881a).

3- Structures associées aux empreintes du gisement 1Bo :

Les empreintes, de ce gisement, sont formées sur deux niveaux de grès gris verdâtres à laminations parallèles très fines de l'ordre de 2 à 3cm.

3.1- Couche neutre :

Ce type de structure est constitué par des morceaux non déformés d'un ou divers lits supérieurs entourés par le contour de l'ichnite, dans lequel se trouve ce qu'il est connu comme une zone neutre (Allen, 1997) ou sub-impression (Garcia Ramos et al., 2002). On ne peut pas dire que la superficie supérieure, des couches neutres des traces de **1Bo**, est une structure directe, ni une forme de la partie de l'estampe, à cause de l'érosion qui affecte l'affleurement avec l'élimination des lamines supérieures par une quantité non déterminée ; la couche neutre commence à s'affaisser durant la phase **T** et elle se termine sa formation pendant la phase **W**.

La couche neutre (**fig. 98 ; pl. 4, fig. 5**) est observée uniquement dans trois empreintes décrites dans le niveau inférieur. Si la superficie originale de l'impression du pas est rencontrée dans le toit du deuxième niveau, donc la différence entre la profondeur actuelle (hauteur de l'impression de l'empreinte) et la surface originale est de 4 à 6 cm, ce qui implique que l'épaisseur originelle du sédiment, qui pourrait être estimée à 10 cm, est réduite par la compression.

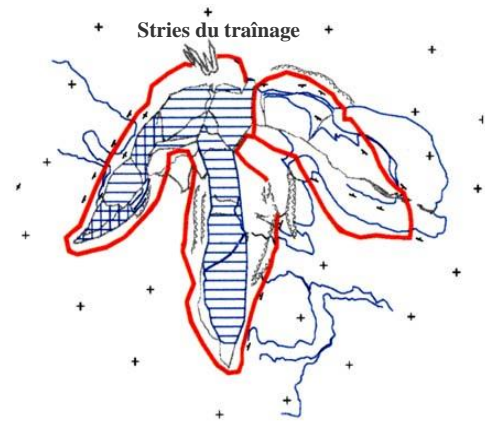


Figure 98 : Empreinte 1Bo3 montrant la couche neutre dans le doigt III, le talon et le doigt latéral gauche.

3.2- Brèches du fond :

Le fond de la marque des doigts de quelques ichnites, est occupé par des fragments rompus et désordonnés (**fig. 99, pl. 4, fig. 6**), de la même roche, plombés dans une matrice.

Ces brèches occupent parfois la totalité du fond des traces de doigts. Pour le gisement **1Bo**, on trouve les brèches dans les ichnites des deux niveaux gréseux. Ces structures sont décrites par Avanzini, 1998, elles sont produites par le mouvement du pied à travers les parties des lamines sédimentaires.

La brèche est formée durant l'entrée et la sortie du pied de la fange, c'est-à-dire durant la phase **T** et **K**, bien que sa majeure partie soit observée pendant la phase **T**.

On ne peut pas déterminer dans cet affleurement l'importance relative de chacune des phases sur la bréchification de ce gisement. Le contact entre la brèche et le sédiment non broyé est net.

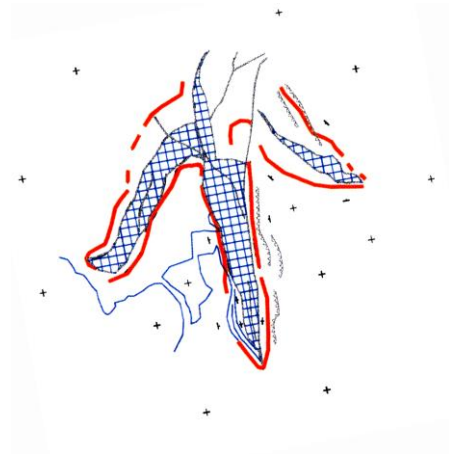
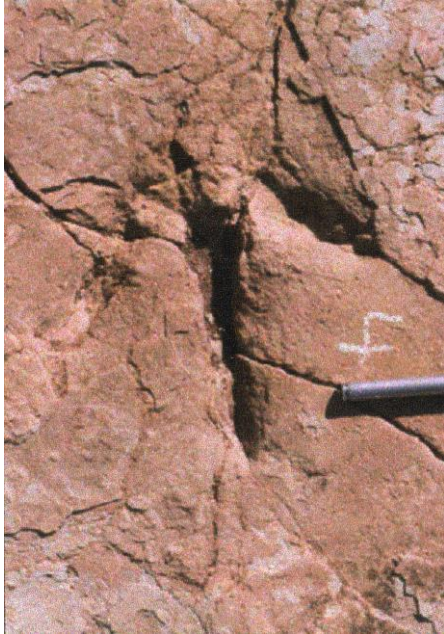


Figure 99 : Empreinte 1Bo4.2, les traces de doigts sont occupées par des fragments brisés ou des brèches.

3.3- Stries du fond ou cicatrices :

C'est un type de structure qui résulte de la fermeture du sédiment après la levée du pied du dinosaurien. C'est une incision longue et étroite située au centre des empreintes.

À la différence des stries produites par le mouvement des ongles (Thulborn et al., 1989 ; Romero et al., 2003), les cicatrices sont des incisions régulières, parfois remplies et associées aux brèches. Dans les deux types cités (Romero et al., 2001 ; Gastey, 2003 ; Pérez-Lorente, 2003), le collapsus se produit après les phases **T** et **K**. Les cicatrices sont des structures directes ou des parties de l'estampe qui peuvent être verticales ou bien inclinées dans un sens ou l'autre selon l'entrée ou la sortie du pied qui glisse à l'intérieur de la boue (**fig. 100 ; pl. 4, fig. 7**). Une fois la pénétration du pied est produite, la trace peut devenir plus longue que de la taille palpable du pied, son allongement se manifeste plus dans la longueur du doigt **III** et notamment vers l'avant.

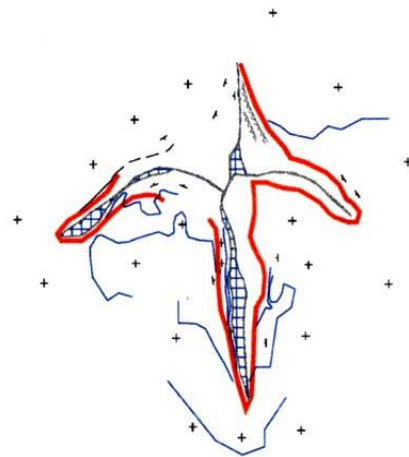


Figure 100 : Empreinte 1Bo1.3 qui montre des cicatrices au fond des doigts.

Si les cicatrices du fond des doigts se produisent par l'oblitération des creux, dûment remplis par le collapsus, qui est dû à la chute gravitationnelle, les laminations sédimentaires des parois présenteront des convulsions correspondant à des lamines sédimentaires plissées similaires à celles décrites par Allen, 1997.

3.4- Plissement des lamines ou plissement latéral d'arrachement :

Dans les surfaces d'appui de pas dinosauriens, les lamines sédimentaires se déforment. Pendant la pénétration du pied dans la fange (**phase T**) se produit la torsion entraînant vers le bas quelques parties des traces, dans les zones de boue qui entoure les doigts.

3.5- Fractures par cisaillement (linéaire) et par tension (subcirculaire) :

Les fractures linéaires (**fig. 101 ; pl. 4, fig. 8**) sont des fractures qui s'ouvrent parallèlement à la direction des axes des plis du traînage latéral, qui se produit par le cisaillement provoqué par le pas de l'autopode.

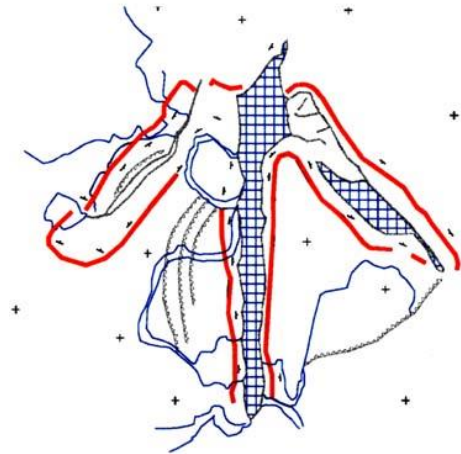


Figure 101 : Fractures de tensions linéaires formées sur les bordures ou au fond des traces de doigts (empreinte 1Bo 4.2).

Tout autour de l'empreinte **1Bo4.1**, où il y a une rupture plus ou moins continue et subparallèles à l'enveloppe de l'empreinte (**fig. 102 ; pl. 5, fig. 1**), ce type de fracture est défini dans les endroits où le sol présente un comportement différent entre les niveaux (Hernandez et al., 2003). La formation des empreintes de ruptures indique une certaine flexibilité de la couche supérieure (les lamines dans ce cas) et la fluidité de la partie subjacente.

3.6- Bourrelets latéraux :

La pénétration du pied dans le sol déplace le même volume du matériel sédimentaire qu'occupe l'autopode (dans ce cas le métapode qui fait la pénétration). Les secteurs neutres de diverses empreintes montrent que le matériel est déplacé vers la partie inférieure.

S'il y a un déplacement de matériel, on ne récupérera que les creux de l'empreinte, ce processus est expliqué bien dans les associations des couches élastiques supérieures et sur les couches inférieures peu visqueuses (notre cas montre les grès lithifiés à fins grains laminés dans la couche supérieure, ensuite argiles et limon rouge dans la couche inférieure).

L'excédentaire du volume peut être dispersé par le flux latéral de la boue argileuse vers la partie inférieure de l'empreinte de manière que l'élévation soit amortie, le flux latéral de la boue de la strate se fait durant la phase **T** et **W**.

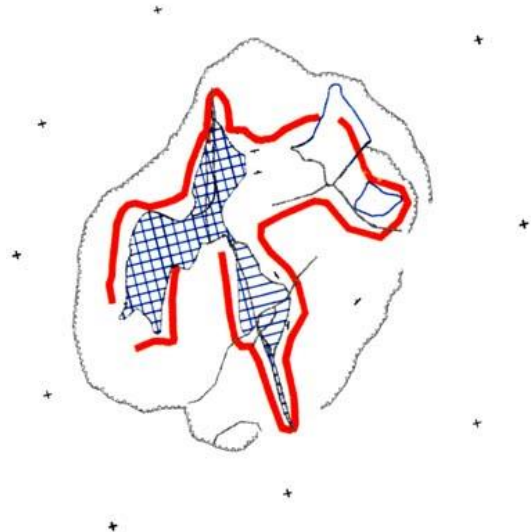


Figure 102 : Fracture de tension circulaire formée autour de l'empreinte 1Bo4.1 par la pression exercée par l'autopode de l'animal.

4- Précisions sur les limites des empreintes :

Thulborn, 1990 a montré que le contour d'une empreinte est dessiné différemment et n'est strictement pas identiques chez tous les auteurs.

En **1Bo**, on a marqué une ligne, appelée contour de l'empreinte, qui est proche du point de la tangente entre la superficie originale et finale. Comment peut-on apprécier les formes des contours d'empreintes et ses structures internes qui sont approximativement subparallèle ?

Les caractéristiques générales distinguées de la ligne des contours d'empreintes du gisement **1Bo** sont :

Les impressions de doigts sont étroites, longues, individuelles. Le contour d'empreintes est saillant en arrière, en ressemblant à la marque du hallux. Toutes ces caractéristiques sont fréquentes chez les oiseaux.

En général, les marques de doigts des empreintes de **1Bo** sont très étroites, nonobstant qu'il y ait d'autres empreintes (**1Bo1.1**, **1Bo4.4**) avec des doigts grêles et très marqués (**fig. 103**).

Le rétrécissement des traces ne dépend ni de la position (interne, intermédiaire, externe), ni de la forme de l'empreinte.

Dans ce gisement **1Bo**, les empreintes de la même piste montrent des traces de doigts larges et étroites, aussi bien dans le niveau supérieur que dans le niveau inférieur.

Dans l'étude morphométrique, on constate que l'angle interdigital est ouvert (caractère

propre aux traces aviformes), mais Thulborn, 1990 dit que l'angle interdigital augmente au fur et à mesure que le pied s'enfonce dans la boue ; parfois les doigts latéraux, de quelques-unes des traces, prennent un tracé anormal constituant une rétroversion du sens de la partie central (fig. 104 ; pl. 5, fig. 2).

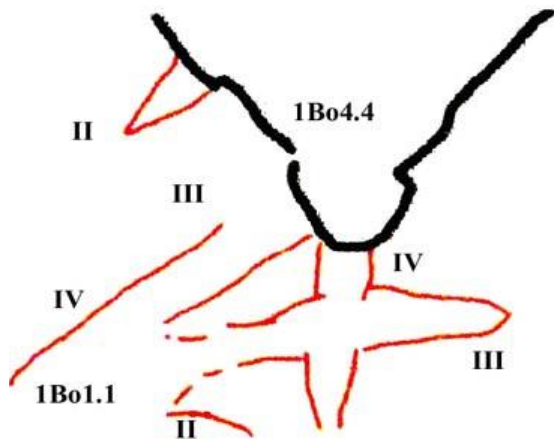


Figure 103 : Rétrécissement de deux traces 1Bo1.1, 1Bo4.4 avec l'étirement de leurs doigts.

Puisque les contours de traces de doigts (II, III, IV) montrent une forme identique, donc les parties centrales des doigts se reculent plus en arrière en permettant une disposition anormale aux traces de doigts qui deviennent identiques à celles des oiseaux.

La marque des extrémités du doigt III est très poussée en avant avec le respect des doigts latéraux. Dans quelques marques (1Bo1.5, 1Bo4.1) la zone apicale est une cicatrice laissée par le doigt.

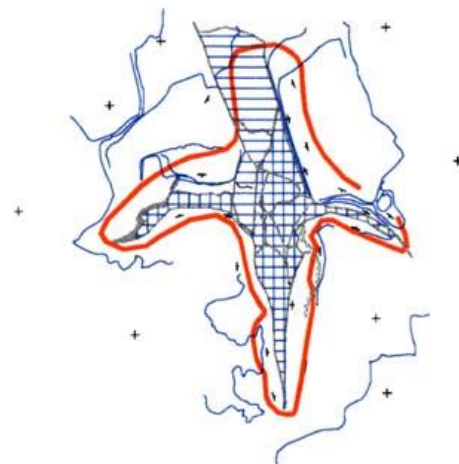


Figure 104 : Rétroversion de la partie centrale de l'empreinte 1Bo1.5 avec un fort angle interdigital entre les doigts.

En 1Bo1.3, 1Bo1.4, 1Bo1.5 et 1Bo4.1, le contour indique des saillants en arrière, comme si un hallux laisse sa marque, en se dirigeant vers l'arrière.

Ces ichnites sont le résultat de la pénétration et du glissement du pied à l'intérieur de la strate. La justification de la morphologie est appréciée dans les deux niveaux.

Dans la **figure 105**, on a essayé de sélectionner les empreintes qui mettent en exergue les empreintes, les structures associées (rétroversion de la marque des doigts latéraux, cicatrice de glissement) et le retracé du contour du doigt **III**. Les résultats montrent des pieds plus courts, distortus avec un faible angle interdigital.

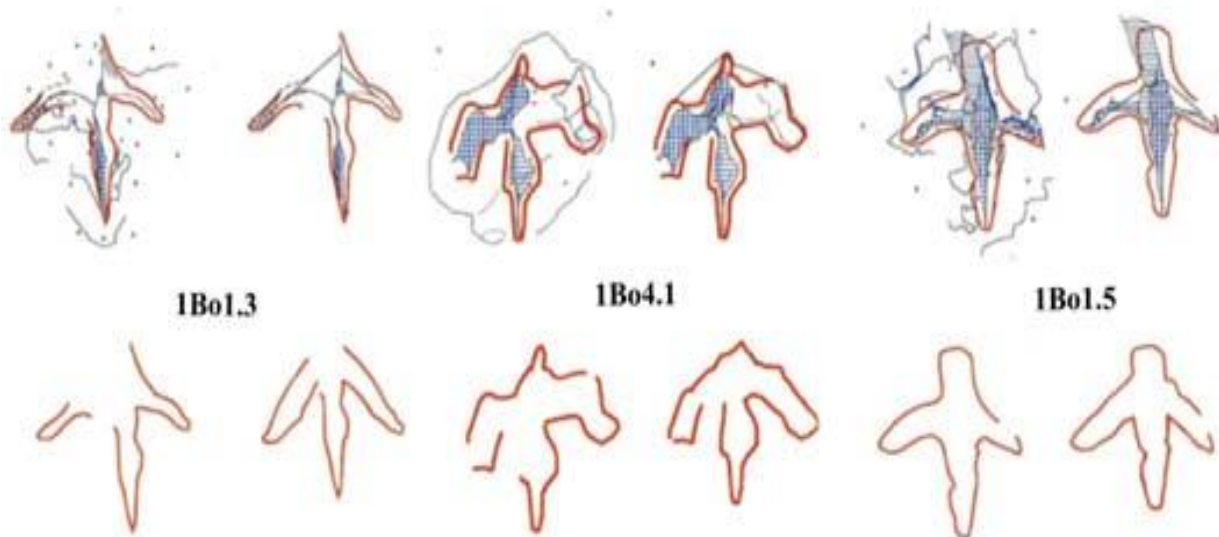


Figure 105 : Essai de reconstitution de quelques empreintes du gisement 1Bo.

5- Processus de formations des empreintes du gisement 1Bo :

Le processus, selon lequel les empreintes de **1Bo** ont été synthétisées, est comme suit :

☞ **Phase T "touch-down"** : Elle est située entre le début du contact du pied et son appui total au sol (**fig. 106, n° 1**), le pied traverse au moins la partie supérieure de la surface du niveau gréseux d'impression,

Les structures produites dans cette phase sont :

* Le dédoublement des lamines sédimentaires se procède à l'intérieur des empreintes, en se devenant plissées et arrachées. Une partie de ces lamines est traversée (cicatrices) par le pied (**fig. 106, n° 3, 5, 6**), une partie est arrachée, comme une zone neutre, à l'intérieur de la strate et une partie est écroulée, en donnant la formation des brèches (**fig. 106, n° 8, 9, 10**).

Les argiles sous le niveau gréseux s'éjectent vers les côtés.

* Une partie des lamines est séparé de sa limite élastique, elle se rompt en donnant des fractures linéaires (subparallèles aux axes des plis d'arrachement qui se dirigent vers le bas des doigts) (**fig. 106, n° 8, 9, 10, 11**) et subcirculaires (concentriques autour de l'empreinte et dirigées vers la base du pied) (**fig. 140, n° 6, 7, 11**).

☞ **Phase W "weight-bearing"** (**fig. 106, n° 2, 4, 7, 12, 13**) : Elle est matérialisé par la zone neutre, et la majeure partie des structures est liée aux empreintes qui acquièrent leur disposition finale.

b- Deuxième gisement de Bin El Ouidane 2Bo :

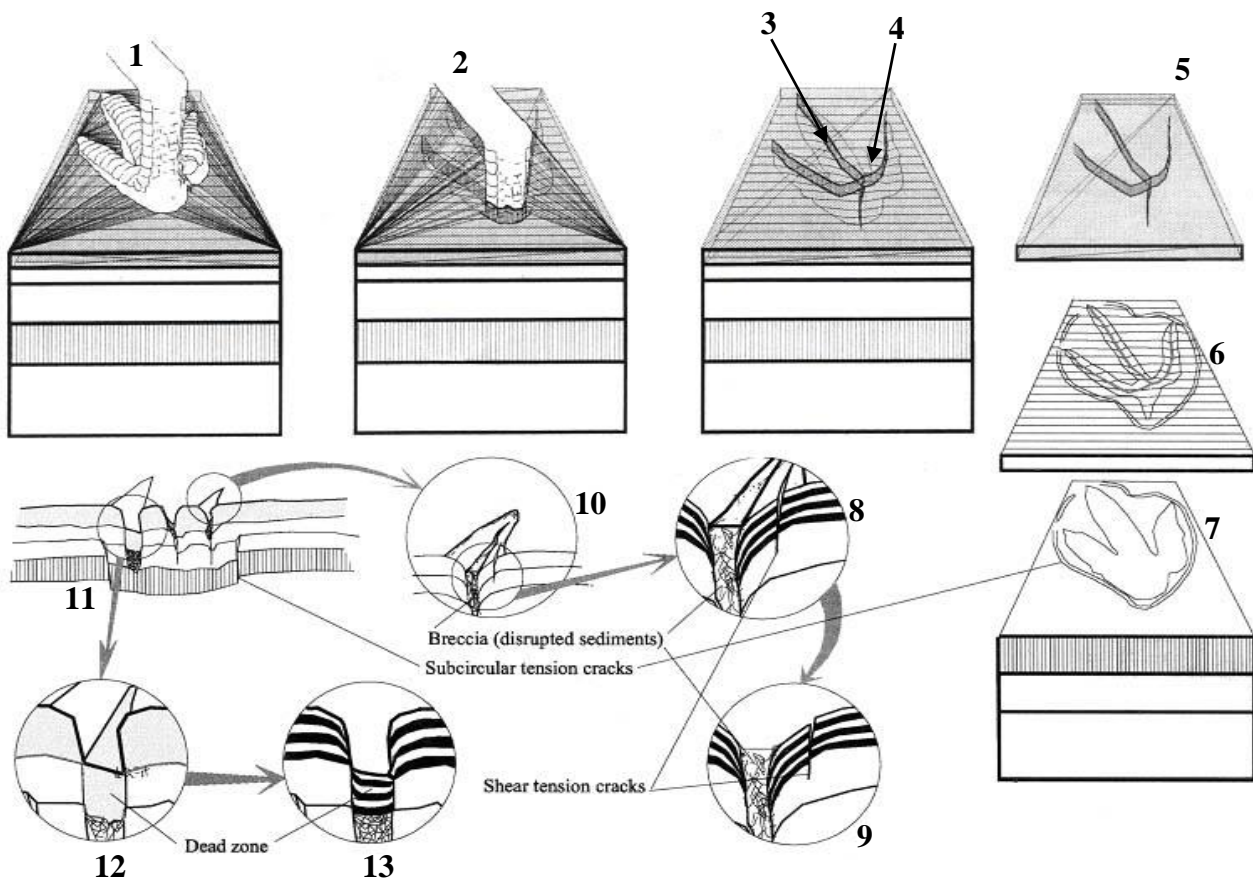


Figure 106 : Étapes d'impression du pied dinosaurien et structures associées.

1- Gisement 2Bo :

Il est formé par des traces ovales (fig. 107) qui appartiennent à des animaux quadrupèdes et bipèdes, il se trouve dans un mauvais état de conservation car il est imprimé sur des grès fins, très tendres d'une couleur grise verdâtre.

2- Pistes du gisement 2Bo :

La disposition des empreintes du gisement 2Bo est composée par une piste à trois empreintes tridactyles et cinq autres empreintes ovales sont en mauvais état de conservation.

3- Empreintes du gisement 2Bo :

Les mains sont arquées, les traces de membres postérieurs sont en forme rectangulaire à ronde, elles ne représentent ni traces de doigts ni traces de griffes.

Les traces tridactyles mesurent en moyen 40 cm de longueur et 30 cm de largeur avec un pas moyen de 116,25 cm. Pour les traces ovales, les mesures sont assez difficiles, sauf le couple de traces 2Bo2.2 et les traces de mains 2Bo2.4 et 2Bo2.3, qui sont de 42,5 cm de longueur au pied et de 18,75 cm aux mains, pour la largeur les mains sont de 75 cm, les pieds sont de 31,25 cm.

Les traces du gisement sont situées sur deux principaux niveaux séparés par niveau intermédiaire. L'empreinte 2Bo2.2 du pied montre (pl. 5, fig. 3) un affaissement qui atteint le niveau inférieur, tandis que la trace de la main est restée piégée dans le niveau supérieur, l'absence des traces des attributs prouve que c'est une couche neutre, la superficie originale de l'appui de l'animal "pre-track" reste inconnue.

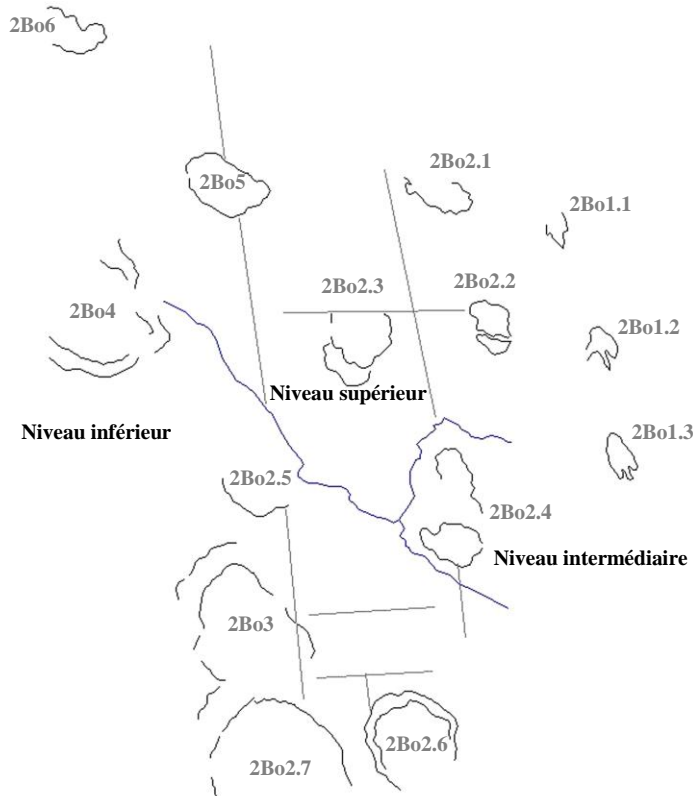


Figure 107: Gisement 2Bo de Bin El Ouidane.

Les empreintes tridactyles **2Bo1**, qui sont imprimées sur le niveau supérieur, sont attribuées à un grand Théropode, en effet que le contour des deux premières traces de la piste montre des doigts nets, pointus et assez longs (**pl. 5, fig. 4**), par contre le contour de la troisième empreinte **2Bo1.3** est très diffus avec une atrophie des traces de doigts (**pl. 5, fig. 5**), ce qui peut signifier que l'empreinte **2Bo1.3** est une sous impression.

Les lamines sédimentaires sont horizontales sur la superficie originale "pre-track", elles ont été plissées ou tordues autour des contours de traces et sur les fonds des traces de doigts des empreintes tridactyles.

c- Troisième gisement de Bin El Ouidane 3Bo :

Il est composé par deux pistes parallèles à sens opposé, il est imprimé sur une couche de grès fins laminés, mais la plupart des traces de **3Bo** sont détériorées par les fracturations (**fig. 108**).

1- Pistes :

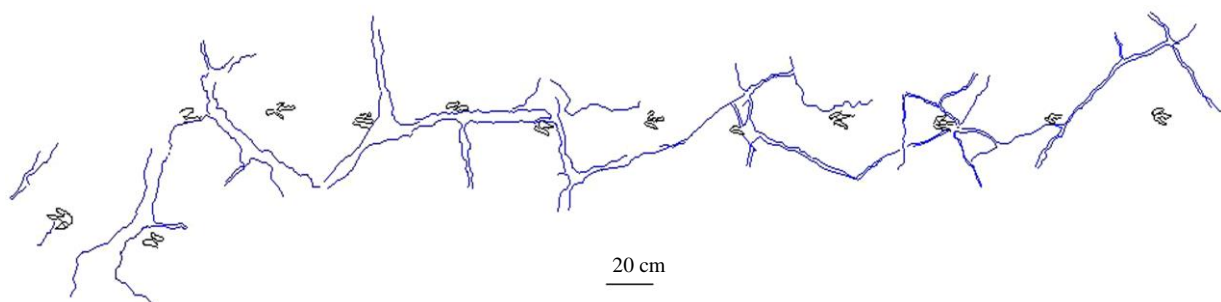


Figure 108 : Gisement 3Bo et la fracturation de la dalle.

La piste **3Bo1** est composée par onze empreintes de petites tailles et la piste **3Bo2** par deux empreintes tridactyles de petites tailles.

D'après les mesures effectuées, sur la piste **3Bo1** (**tab. 35**), l'animal est adapté à une vitesse lente à modérée, la hauteur des extrémités est de 40 cm.

Piste	Va	Vd	h	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
3Bo1	5,44	3,42	39,29	0,75	0,45	1,96	8,38	-

Tableau 35 : Valeurs moyennes des différents rapports et estimations, la piste 3Bo1.

2- Empreintes :

Les traces de ce gisement sont disposées sur le même niveau que les empreintes des deux gisements précédents.

Morphologiquement, ces traces sont allongées, digitigrades et d'une petite taille. Les doigts sont séparés, articulés, pointus et effilés (**pl. 5, fig. 6**), dont le doigt **III** est le majeur du pied.

Les empreintes de la piste **3Bo1**, atteignent 9 cm de longueur et 6,5 cm de largeur, elles se sont les plus petites empreintes traitées dans ce travail (**tab. 36**).

L'angle du pas est très important (170°), les traces sont presque sur la ligne médiane de l'animal car la valeur moyenne de $(L-a)/a$ 0,45 est inférieur à 0,5.

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
3Bo1.11	7,5	5,62	-	-	6,25	-	-	-	5	5,62	5	17	25	42
3Bo1.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-
3Bo1.9	8,75	6,25	-	-	6,87	92,5	-	-	5	6,25	7,5	-	-	-
3Bo1.8	10	6,25	-	-	8,75	-	45	-	7,5	7,5	6,25	20	14	34
3Bo1.7	-	-	-	-	8,75	-	-	-	-	-	6,25	26	17	43
3Bo1.6	7,5	6,25	-	-	8,75	78,75	-	-	5	6,87	3,75	-	-	-
3Bo1.5	-	-	6	1,87	11,25	-	55,5	171	-	6,25	6,25	23	31	54
3Bo1.4	-	-	6	1,25	-	75,62	37,5	169	-	6,25	5,62	-	10	10
3Bo1.3	-	-	7	1,5	-	76,87	40	170	5	7,5	-	14	8	22
3Bo1.2	11,25	6,25	6	1,12	-	73,75	35	172	4,37	7,5	3,75	45	17	62
3Bo1.1	-	-	-	-	-	73,75	38,75	-	5	7,5	-	26	-	26
Moyenne	9	6,12	6,25	1,43	8,44	78,54	41,96	170,5	5,27	6,62	5,55	24,43	17,43	36,62

Tableau 36 : Mesures sur les empreintes de la piste 3Bo1.

Sur la trace **3Bo1.2**, on observe l'allongement du talon comme si le hallux (**I**) est enfoncé sur la dalle avec un grand écartement (45°) entre le doigt **II** et **III** (**pl. 6, fig. 1**).

La trace **3Bo2.2** est en bon état de conservation, elle mesure une longueur de 11,25 cm et 7,5 cm de largeur (**tab. 37-38**). Les doigts sont séparés, articulés et pointus. Cette trace est morphologiquement analogue à celles de la première piste, dont elle est classée dans le même ordre taxonomique (ordre **Saurischia** Seeley, 1887 ; sous-ordre **Theropoda** Marsh, 1881a).

Piste	Va	Vd	h	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
3Bo2	-	-	-	0,55	0,5	-	-	-

Tableau 37 : Valeurs moyennes des différents rapports calculés sur la piste 3Bo2.

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
3Bo2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	5	7,5	5	20	28	48
3Bo2.1	11,25	7,5	-	-	-	-	-	-	5	6,25	-	-	-	-
Moyenne	11,25	7,5	-	-	-	-	-	-	5	6,87	5	20	28	48

Tableau 38 : Mesures sur les empreintes de la piste 3Bo2.

IV- CONCLUSION :

Les contours des ichnites de **1Bo** ne donnent pas une détermination exacte sur la forme de l'autopode qui leur a produit à part le caractère aviforme des traces tridactyles. La nature de la couche piétinée induit un comportement fragile et flexible, qui ne permet pas la détermination du type du dinosaurien responsable de la formation des empreintes du gisement **1Bo**. Les structures directes entre la superficie finale (post-tracks) et la superficie originale (pre-tracks), ne sont que des estampes occupant l'intérieur des empreintes.

À Bin El Ouidane, où l'on décrit et pour la première fois, des traces de doigts très étroites produites par la flexion et la lésion de la strate, les traces sont amincies par la chute gravitationnelle et le collapsus d'un sédiment très fluide qui oblitère les trous laissés par les empreintes.

La classification ichnologique, des empreintes de vertébrés, doit prendre compte des déformations superficielles (originale, finale, estampe).

Les empreintes du gisement **3Bo** sont les plus petites empreintes de dinosauriens découvertes jusqu'alors en Afrique.

D- EMPREINTES DE PAS DE DINOSAURIENS DU "MÉGAGISEMENT" DU SYNCLINAL D'IOUARIDÈNE:

I- SECTEUR D'ÉTUDE :

Le synclinal d'Iouaridène constitue une région privilégiée pour l'étude des traces dactylés des dinosauriens du Jurassique supérieur (Oxfordien ?-Kimméridgien) (Charrière et al., 2005) ; il est située à 10 Km de Demnate, entre la latitude 31°45'N, 31°42'N et entre la longitude 6°56'W, 6°53'W.

Les traces de pas de dinosauriens sont abondantes, elles proviennent d'individus carnivores Théropodes herbivores, Sauropodes ou Ornithopodes, elles se présentent soit éparpillées, soit en pistes solitaires ou en troupes.

La cuvette d'Iouaridène correspond à une dépression synclinale encadrée par des rides liasiques et remplie par des sédiments détritiques rouges de l'Oxfordien ?-Kimméridgien appelés les "Grès de Guettioua" ou les couches rouges du Dogger dont leur sédimentation est composée par un ensemble des séquences cycliques formées de pélites (3-5 m d'épaisseur) et de silts dolomitiques (décimétriques) couronnés de polygones de dessiccation. Les empreintes dinosauriennes sont imprimées sur la succession de quatre ensembles argileux se terminant à chaque fois par des surfaces durcies argileuses à mudcracks, indiquant un environnement continental de type lagunaire ou sebkhaïque à émergence temporaire. Ces niveaux repères sont nettement visibles sur plus de 7 km par photos aériennes. En effet, le Haut-Atlas central d'Azilal constitue pendant cette époque (Oxfordien ?-Kimméridgien) un golf marin ouvert au NE sur le domaine téthysien et bordé au SE par de vastes plaines littorales momentanément inondées par la mer et parcourues par des fleuves chenalisés et anastomosés, ce qui génère des dépôts détritiques rouges des cuvettes synclinales, entre autre celle d'Iouaridène.

Les analyses effectuées portent sur 342 empreintes étalées sur douze gisements (le **tableau 39** affiche les différentes caractéristiques de ces gisements) : Six à douar Aït Mimoun **1Am, 2Am, 3Am, 4Am, 5Am, 6Am**, trois à Taghbalout **1Tg, 2Tg, 3Tg** et trois gisements à Tirika (**fig. 109**).

NOM DE GISEMENTS	NOMBRE DE TRACES		COORDONNÉES		NOMBRE DE PISTES	TYPES RESPONSABLES DE L'IMPRESSION
	Ovales	Dactyles	X	Y		
1Am	0	53	357.76	127.72	4	Théropodes
2Am	12	0	357.55	127.59	1	Sauropode
3Am	37	39	357.55	127.57	5	Sauropodes Ornithopode Théropodes
4Am	0	8	357.53	127.63	1	Ornithopode
5Am	52	25	357.52	127.55	5	Sauropode Théropodes
6Am	0	10	357.45	127.56	3	Théropodes
1Tg	37	0	357.09	127.16	9	Sauropodes
2Tg	0	5	356.94	126.95	1	Théropode
3Tg	0	19	356.88	126.88	3	Théropodes
1Ti	17	0	357.72	123.92	2	Sauropodes
2Ti	0	10	357.80	123.86	2	Théropodes
3Ti	3	13	357.85	123.79	4	Sauropode Ornithopode Théropodes

Tableau 39 : Données des gisements du synclinal d'Iouaridène.

II- CONTEXTE GÉOLOGIQUE SUCCINCT SUR LE SYNCLINAL D'IOUARIDÈNE :

La cuvette d'Iouaridène est située au **SW** de Demante. Les couches rouges d'Iouaridène sont subdivisées en trois formations (Jenny et al., 1981) (**fig. 110**) :

La formation des Grès Guettioua est constituée des silts et des grès bruns à rouges brique, elle renferme beaucoup de chenaux dessinant des lentilles conglomératiques et microconglomératiques.

Du point de vue paléontologique, cette unité est très riche en ossements de dinosauriens qui ont livré à Wawmda (région de Ouauizaght) un spectaculaire squelette complet de Sauropode *Atlasaurus imlakei* (Monbaron et al., 1999).

La formation d'Iouaridène, contenant les empreintes dinosauriennes, est formée par des pélites et des marnes rouges qui se terminent par des niveaux plus consolidés, portant à leur surface des figures de dessiccation. Le paléoenvironnement correspond à des dépôts continentaux de type lagunaire ou sebkhaïque, à émergence temporaire sous un climat subaride. L'âge de cette formation d'Iouaridène est rapporté au Jurassique supérieur (Oxfordien ?-Kimméridgien).

III- ÉTUDES DES PRINCIPAUX GISEMENTS ICHNOLOGIQUES DE LA CUVETTE D'IOUARIDÈNE, HAUT-ATLAS CENTRAL DE DEMNATE :

a- Premier gisement d'Aït Mimoun (1Am) (**fig. 111**):

Le gisement **1Am** est situé sur une petite vallée très exposée à l'érosion hydrique, il recèle cinquante trois empreintes tridactyles et tétradactyles, gravées sur un substrat argilo-gréseux à mudcracks. Les traces sont dispersées sur quatre pistes.

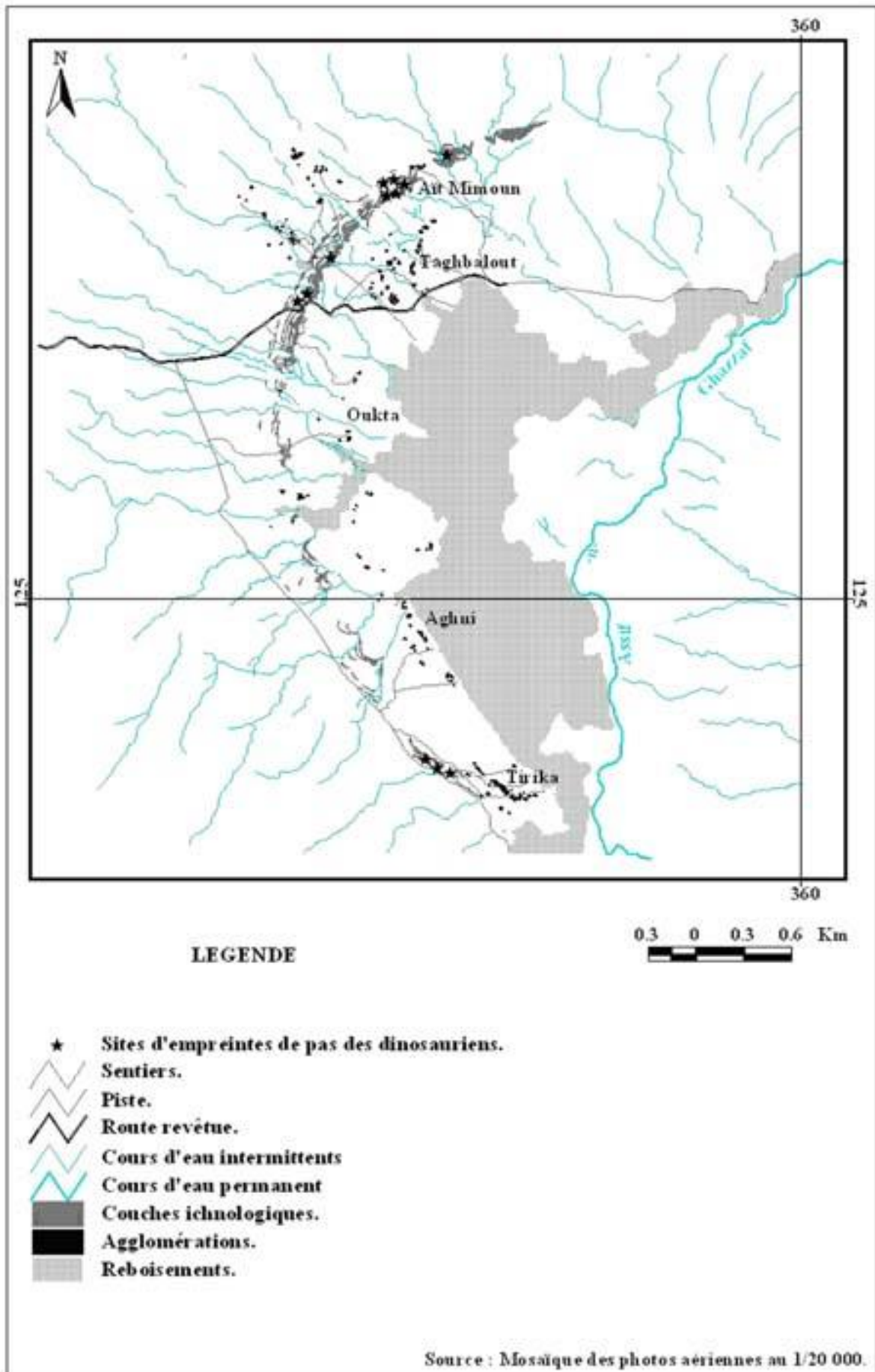


Figure 109 : Emplacement des différents sites d'empreintes de dinosauriens du synclinal d'Iouaridène.

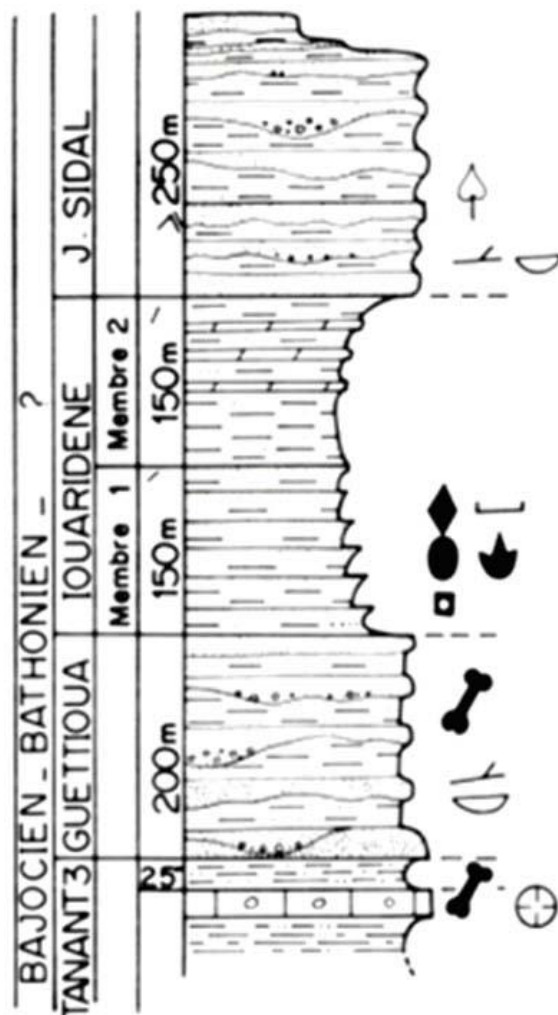


Figure 110 : Coupe stratigraphique d'Iouaridène. (Jenny et al., 1981a et b).

1- Piste 1Am1 et 1Am2 :

La piste **1Am1** est formée par trente deux empreintes tétradactyles avec sept traces où manquent les poses du pied. Elle est mal conservée, présente un sens de marche vers **ENE** et se caractérise par un parcours très long de trente quatre m de longueur, les onze dernières traces ont été séparées de la piste par une grande fracture.

Dans la piste **1Am1**, le dinosaurien montre de légers changements dans sa direction en un parcours oscillé, la déviation s'est bien visualisée en traces **1Am1.14** et **1Am1.22**.

La plupart des lignes de pistes sont l'adaptation et la correction de la direction de la marche, qui est due à la difficulté du moyen et à la latéralité des jambes gauches ou droites du dinosaurien (Pérez-Lorente, 2003).

En conclusion, la piste est attribuée à un dinosaurien carnivore Théropode qui se caractérise par une grande taille, avec des membres postérieurs de 183,65 cm, une vitesse V_a est de 4,87 Km/h et V_d est de 4,39 Km/h (**tab. 40**) et une marche relativement modérée.

Piste	V_a	V_d	h	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
1Am1	4,86	4,38	183,8	0,38	0,23	1,15	5,92	0,26

Tableau 40 : Valeurs moyennes des différents rapports et estimations, piste 1Am1.

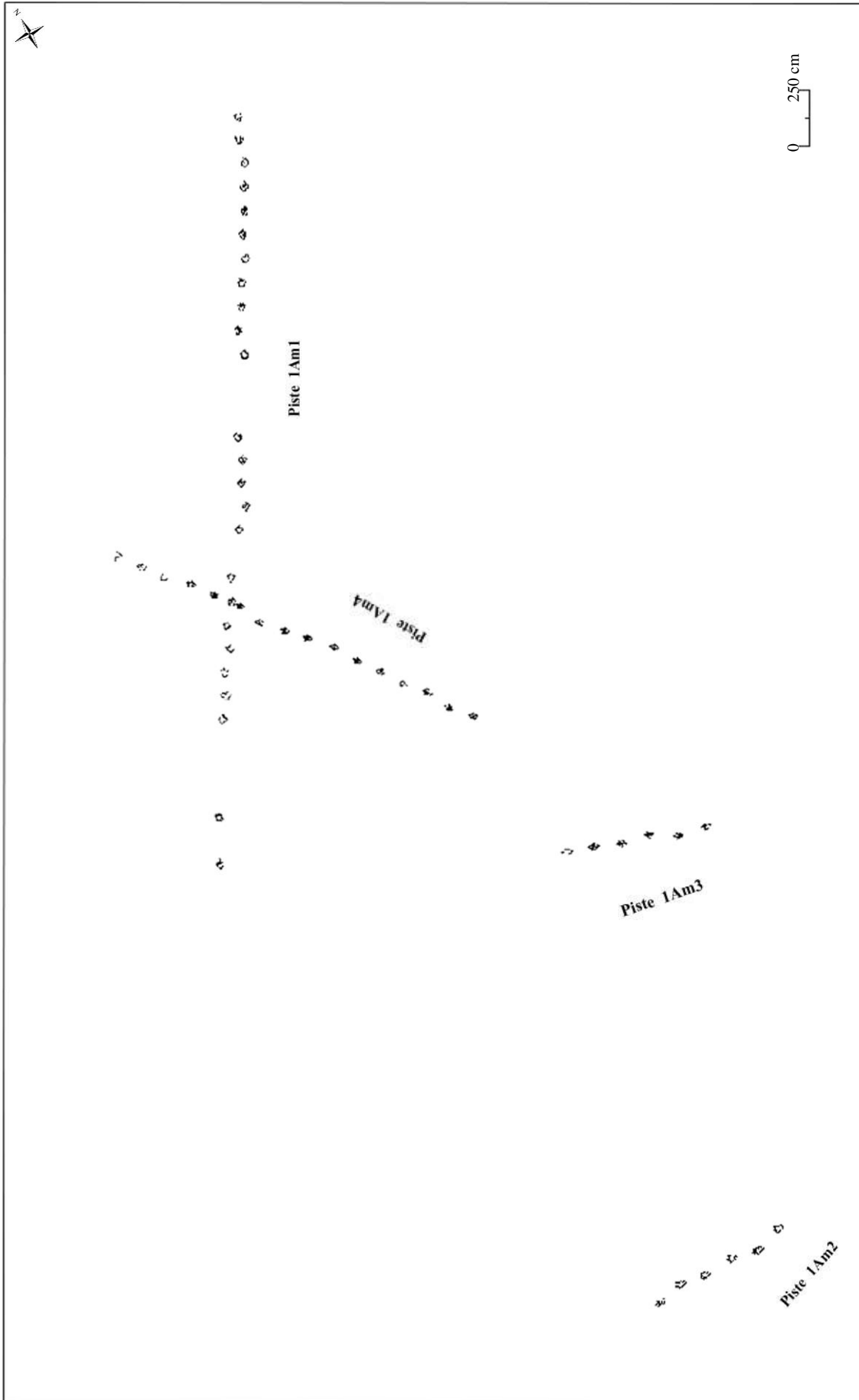


Figure 111 : Plan de l'affleurement 1Am des empreintes de pas de dinosaures du douar Aïr Mimoun. Cuvette d'Iouaridène.

La piste **1Am2** (fig. 112) est attribuée à un dinosaurien bipède digitigrade d'une grande taille.

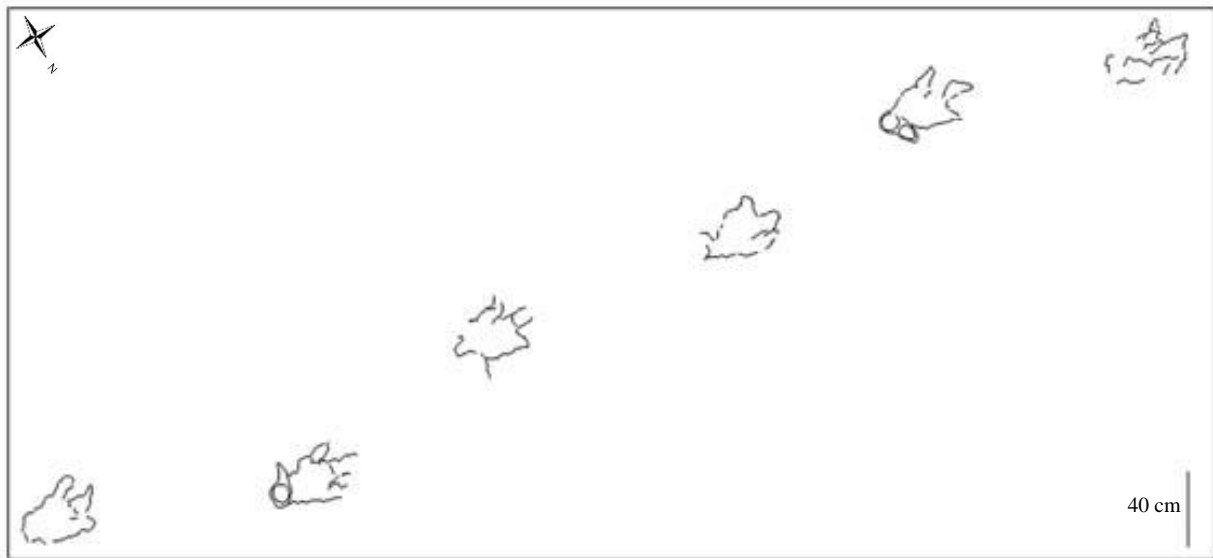


Figure 112 : Tracé de la piste 1Am2.

2- Empreintes des pistes 1Am1 et 1Am2 :

Les empreintes de ces deux pistes appartiennent à une nouvelle ichno-espèce :

***Eutynichnium atlasipodus* nov. Sp.**
(Pl. 6, fig. 2-3 ; fig. 113)

Ordre: **Saurischia** Seeley, 1887
Sous-ordre: **Theropoda** Marsh, 1881a
Super-famille: **Mégalosauroidea** Nopcsa, 1928
Ichno-genre: ***Eutynichnium*** Nopcsa, 1923

☞ **Diagnose du genre:** Ce sont des empreintes digitigrades, tétradactyles d'un Théropode bipède ; avec trois longs doigts fonctionnels (**II-III-IV**), et un hallux (**I**) dirigé antérolatéral ou parallèle au doigt **II**. Les doigts **II-IV** relativement non effilés, larges et sans impressions des coussinets claires. Le pas est relativement court (moins de 100 cm) et la piste est étroite (Nopcsa, 1923 et Lockley et al., 1998).

☞ **Ethymologie de l'espèce :** Atlas : Le nom en langue arabe de la chaîne de la montagne qui renferme ces traces.

☞ **Holotype :** Empreinte **1Am2.5** (pl. 6, fig. 2), il faut lui faire un moulage qui doit exposer dans un musée marocain.

☞ **Serie type :** Piste **1Am1** : Empreinte **1Am1.27, 1Am1.28** ; piste **1Am2** : Empreintes **1Am2.2, 1Am2.5**.

☞ **Âge de la formation d'Iouaridène :** Jurassique supérieur (Oxfordien ?-Kimméridgien).

☞ **Strate type :** Gisement **1Am**, cuvette d'Iouaridène village d'Aït Mimoun à 10 km auprès de Demnate, Haut-Atlas central.

☞ **Diagnose de l'espèce :** Tous les critères qui nous ont permis de les identifier comme une nouvelle ichno-espèce, sont en relation avec le hallux distingué par les critères

suivants :

- * Hallux assez fort, bien développé et orienté quasi perpendiculairement à l'axe du pied,
- * Partie proximale du premier coussinet du hallux est à côté de la première phalange du **IV**^{ième} orteil,
- * Impression du métatarse n'est pas nécessaire pour avoir l'impression du hallux,
- * Profondeur de la trace du hallux semblable à celle des doigts (**II**, **III**, **IV**),
- * Traces de deux coussinets dans le hallux visibles sur certaines empreintes.

☞ **Implications (fig. 113)** : L'impression de la partie proximale du premier coussinet du hallux est située au même niveau que les autres doigts, ce qui implique que l'articulation entre le métatarsien **I** et l'orteil **I** est sur le même niveau ou bien sur le niveau d'une partie de métatarsiens des orteils **II**, **III**, **IV** ; le métatarsien **I** a une longueur semblable à celles des **II**, **III**, **IV**. L'*Eutynichnium atlasipodus*, du Jurassique supérieur du Maroc, remonte à la même date que l'*Eutynichnium lusitanicum* du Jurassique supérieur (Oxfordien supérieur) du Portugal.

☞ **Comparaison** : Les plus proches ichno-espèces, à ces empreintes marocaine sont les traces de l'*Eutynichnium lusitanicum* Nopcsa (1923), découvertes par Gomes (1916) uniquement dans les couches du Jurassique supérieur du Cap Mondego (Portugal), qui sont caractérisées par l'impression du métatarse et un hallux effilé et mince qui ne s'intègre pas jusqu'aux articulations du premier phalange des doigts **III** et **IV** (**fig. 114**).

☞ **Descriptions et mesures** : Les empreintes de la piste **1Am1** sont d'une taille moyenne de 39,28 cm de longueur et 32,2 cm de largeur (**tab. 41**), le troisième doigt (**III**) est déformé pendant l'appui, la pénétration et la sortie du pied de la fange ce qui lui rend une petite taille (15,19 cm) par rapport à celle du hallux (19,46 cm) qui est intégrée dans l'enveloppe de l'empreinte jusqu'à la base de l'articulation des doigts **III** et **IV** (**pl. 6, fig. 4**).

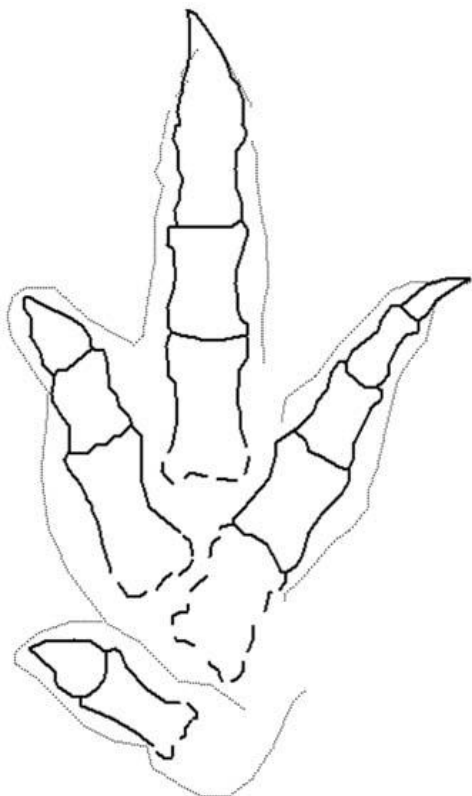


Figure 113 : Reconstitution de l'autopode d'*Eutynichnium atlasipodus* nov. Sp.



Figure 114 : Lectotype d'*Eutynichnium lusitanicum* selon Lockley et al., 2000.

Pieds	L	a	O°	P	Z	Ap°	Lr	Ar	I	II	III	IV	(I^II)°	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
1Am1.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Am1.31	-	31,87	-	-	-	-	-	-	-	18,75	-	-	-	-	-	-
1Am1.30	40	31,25	-	111,3	-	160	-	8,75	16,25	-	-	-	-	-	-	-
1Am1.29	-	-	-	106,3	213,8	172	-	3,75	-	23,75	-	-	-	-	-	-
1Am1.28	40	-	2	108,8	213,8	172	-	3,75	16,25	17,5	17,5	-	23	27	-	-
1Am1.27	42,25	30	3	105	212,5	166	-	7,5	17,5	18,75	23,75	-	45	13	26	39
1Am1.26	38,75	35	-	105	208,8	162	-	8,75	21,25	-	-	-	-	-	-	-
1Am1.25	37,5	30	10	110	212,5	170	40	5	21,25	-	15	-	-	-	-	-
1Am1.24	36,25	31,25	7	108,8	217,5	171	37,5	5	-	-	13,75	-	-	20	44	64
1Am1.23	38,75	30	7	108,8	215,6	154	53,75	12,25	-	15	11,25	-	-	6	23	29
1Am1.22	37,5	33,75	-	110	212,5	-	-	-	21,25	-	-	-	-	-	-	-
1Am1.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Am1.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Am1.19	37,25	33,75	-	-	-	-	-	-	-	18,75	10	-	-	-	-	-
1Am1.18	-	31,25	-	106,3	-	165	46,25	6,25	-	-	-	-	-	-	-	-
1Am1.17	38,75	32,5	7	103,8	208,8	164	46,25	7,5	-	-	13,75	-	-	-	-	-
1Am1.16	40	30	7,5	105	206,3	151	58,75	12,5	-	-	-	-	-	-	-	-
1Am1.15	37,25	36,25	-	108,8	206,3	-	-	-	-	-	12,5	-	-	44	51	95
1Am1.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Am1.13	-	33,75	-	-	217,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Am1.12	40	31,25	-	110	-	163	46,25	7,5	22,5	18,75	12,5	-	16	5	-	-
1Am1.11	-	32,5	-	106,3	218,8	158	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-
1Am1.10	-	-	-	103,8	206,3	175	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-
1Am1.9	40	-	-	111,3	212,5	160	-	8,75	-	-	-	-	-	-	-	-
1Am1.8	-	-	-	103,8	212,5	163	-	7,5	-	-	-	-	-	-	-	-
1Am1.7	45	35	-	108,8	220	-	-	-	-	-	16,25	-	-	-	-	-
1Am1.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Am1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Am1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Am1.3	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Am1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Am1.1	-	32,5	-	-	212,5	-	-	-	-	-	20	-	-	-	30	-
Moyenne	39,2	32,2	2,5	107,4	212,7	164,1	46,96	7,81	19,46	18,75	15,11	-	34	22	36	56,75

Tableau 41 : Mesures sur les empreintes de la piste 1Am1.

La morphologie de la trace du doigt **III** de la plupart des empreintes de la piste **1Am1**; a une forme d'une boutonnière, elle nous permet d'étudier le mouvement spatio-temporel du pied de l'animal sur le substrat. L'accumulation de la boue dans les zones interdigitales, entre les doigts **II**, **III**, **IV** et l'oblitération de la partie basale du doigt **III** sont deux indices (**fig. 115**), sur lesquels on s'appuie pour reconstituer les phases suivantes :

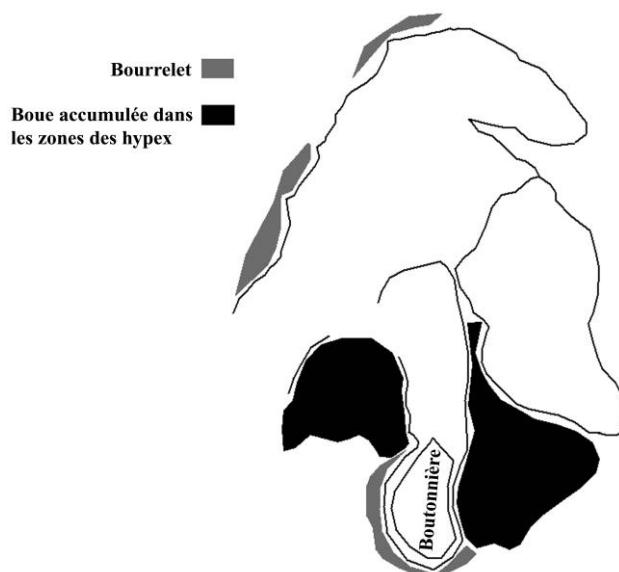


Figure 115 : Empreinte de la piste 1Am1 avec l'oblitération du 3^{ème} doigt.

- ☞ Le pied touche le sol, en imprimant les traces des quatre doigts (**I, II, III, IV**),
- ☞ Durant la phase **T**, le pied continue à s'enfoncer dans le substrat, puis il commence à glisser vers l'avant, en accumulant la boue dans les zones interdigitales entre les doigts **II, III** et les doigts **III, IV**,
- ☞ Pendant la phase **W**, le pied exerce un appui maximal sur le sol, la boue amassée entre les zones interdigitales chute, en oblitérant la partie proximale du doigt **III**,
- ☞ Pendant la phase **K**, le pied commence à sortir de la fange, en débutant par le hallux, ensuite le retraitement en arrière des deux autres doigts latéraux, en laissant le troisième doigt quasi perpendiculaire au substrat.

Les empreintes de la piste **1Am2**, sont d'une grande taille, avec un hallux de longueur moyenne de 22,18 cm (**tab. 42**).

La situation de ces deux pistes dans le même gisement et la ressemblance morphologique et biométrique des deux pistes, malgré que les ichnites de la piste **1Am1** soient, un peu, déformées, peuvent impliquer que les deux pistes sont attribuées au même individu.

Pieds	L	a	O°	P	Z	Ap°	Lr	Ar	I	II	III	IV	(I^II)°	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
1Am2.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Am2.5	53,75	31,3	-	-	-	-	-	-	23,12	-	-	12,5	37	30	34	64
1Am2.4	46,25	29,4	-	115,6	-	120	-	8,75	-	-	-	-	-	-	-	-
1Am2.3	-	-	-	142,8	258	140	-	11,3	-	12,5	-	-	-	-	-	-
1Am2.2	-	-	-	128,8	261	126	-	16,3	21,25	13,8	23,25	-	-	-	-	-
1Am2.1	45	31,3	1,75	133,7	253	136	-	-	-	-	21,25	-	-	30	27	75
Moyenne	48,33	30,6	1,75	130,2	257	131	-	12,1	22,18	13,1	22,25	12,5	37	30	30,5	60,5

Tableau 42: Mesures sur les empreintes de la piste 1Am2.

3- Piste 1Am3 :

Cette piste est formée par 16 empreintes bien conservées, elle est orientée vers le **NW**. Le trajet suivi par l'animal est légèrement ondulé (**fig. 116**).

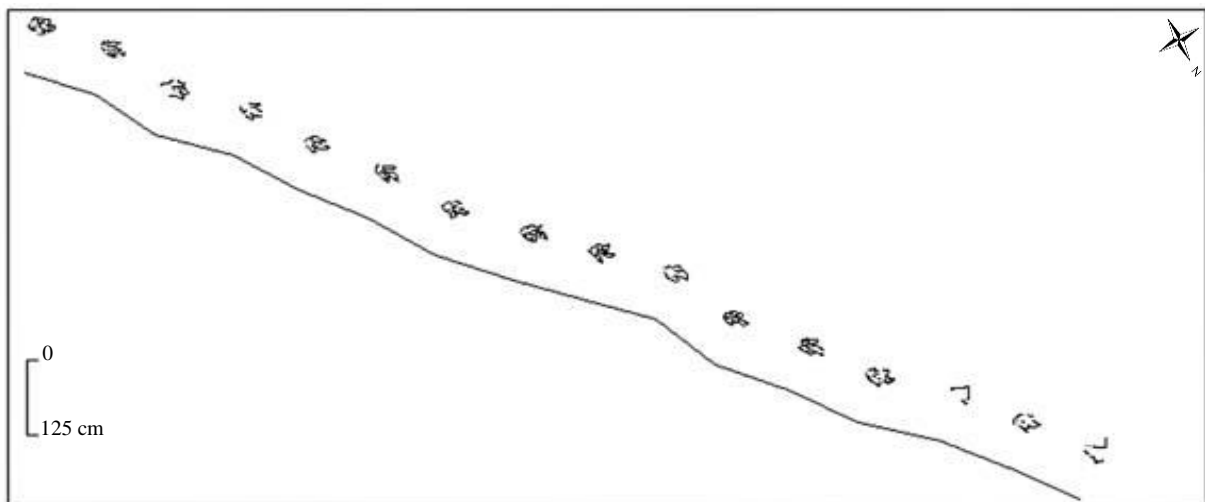


Figure 116 : Piste 1Am3 d'un grand Théropode et sa ligne de pas, gisement d'Aït Mimoun 1Am, synclinal d'Iouaridène.

Cette piste caractérise un dinosaurien bipède carnivore de grande taille, ses extrémités atteignent une hauteur moyenne de 185,97 cm, une vitesse relativement modérée variant entre 4,79 Km/h et 5,63 Km/h (**tab. 43**).

Piste	Va	Vd	h	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
1Am3	5,63	4,79	185,97	0,64	0,36	1,26	5,76	0,21

Tableau 43 : Valeurs moyennes des différents rapports et estimations, piste 1Am3.

4- Empreintes de la piste 1Am3 :

Elles sont tridactyles, digitigrades et plus ou moins bien conservées, sauf les traces **1Am3.3**, **1Am3.4**, **1Am3.14**, **1Am3.15**, **1Am3.16** qui sont en mauvais état de préservation. Ces empreintes sont caractérisées par l'apparence des coussinets digitaux et des griffes (visibles sur les ichnites **1Am3.7**, **1Am3.8**, **1Am3.9**) crochues vers l'intérieur de la piste. L'autopode de ce reptile mesure 40,15 cm de longueur et 28,9 cm de largeur (**tab. 44**), il est caractérisé par des doigts séparés. L'axe du pied est confondu et prolongé par l'orteil **III** qui tient les deux tiers de longueur de l'empreinte (25,5 cm).

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
1Am3.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Am3.15	42,5	-	-	-	-	-	120,6	-	-	-	-	-	-	-
1Am3.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Am3.13	43,75	31,25	-	-	-	238,7	-	-	21,25	-	21,25	17	31,5	48,5
1Am3.12	40	28,75	-3	3,125	33,75	-	111,9	174	-	26,25	20	6	35	41
1Am3.11	38,75	26,25	-9	8,75	45	236,2	125	162	20	25	-	11	22	33
1Am3.10	-	27,5	14	11,25	50,62	240	117,5	158	-	-	-	7	20	27
1Am3.9	37,5	32,5	-1	0,62	30	230	117,5	179	17,5	25	16,25	14	36	50
1Am3.8	42,5	28,75	3	1,25	30	223,75	106,25	178	20	27,5	21,87	18	26	44
1Am3.7	41,25	-	-5	5,62	40	232,5	125	169	-	26,25	17,5	-	28	-
1Am3.6	40	28,75	-5	5	35	237,5	112,5	170	18,75	22,5	18,75	19	29	48
1Am3.5	-	27,5	-10	5	35	228,7	116,2	170	21,2	25	-	9	21	30
1Am3.4	-	28,75	-	8,75	-	230	115	163	18,12	-	18,75	-	-	-
1Am3.3	-	-	-	11,25	-	233,75	121,25	158	-	27,5	-	-	-	-
1Am3.2	37,5	27,5	3	10	-	233,75	116,25	161	18,75	25	20,62	1,5	35	50
1Am3.1	37,8	30,31	-	-	-	226,25	112,5	-	18,75	25	17,5	8	21,5	29,5
Moyenne	40,1	28,89	-1,45	6,42	37,42	232,6	116,73	167,45	19,37	25,5	19,17	12,4	27,72	40,1

Tableau 44 : Mesures sur les empreintes de la piste 1Am3.

Les traces sont sur la ligne médiane de la piste. L'animal pose ses pieds sous son corps, ses extrémités sont tordues et orientées vers l'intérieur (**fig. 117**), ce qui est logique avec la valeur négative de l'orientation de la piste ($O^\circ = -1,44$). Le centre de gravité du corps se situe en-dessous du centre du pied.

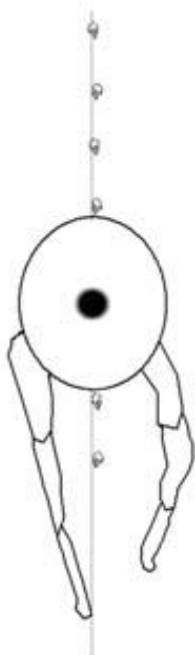


Figure 117 : Aspect biomécanique, du mouvement des pieds, responsable de la formation de la piste 1Am3.

Ces traces appartiennent à un grand Théropode de l'ordre : **Saurischia** Seeley, 1887 et du sous-ordre : **Theropoda** Marsh, 1881a.

5- Piste 1Am4 :

Elle est constituée par six traces tridactyles, robustes et de grandes tailles (**fig. 118**) ; elle est dirigée vers le NNW.

Les mesures effectuées (**tab. 45**) indiquent un Théropode de grande taille, avec des hanches tordues vers l'intérieur de la piste, mesurant 2 m de hauteur. La vitesse, à la base de laquelle les traces sont imprimées, varie entre 5,1 et 6,12 Km/h, ce qui implique un déplacement modéré.

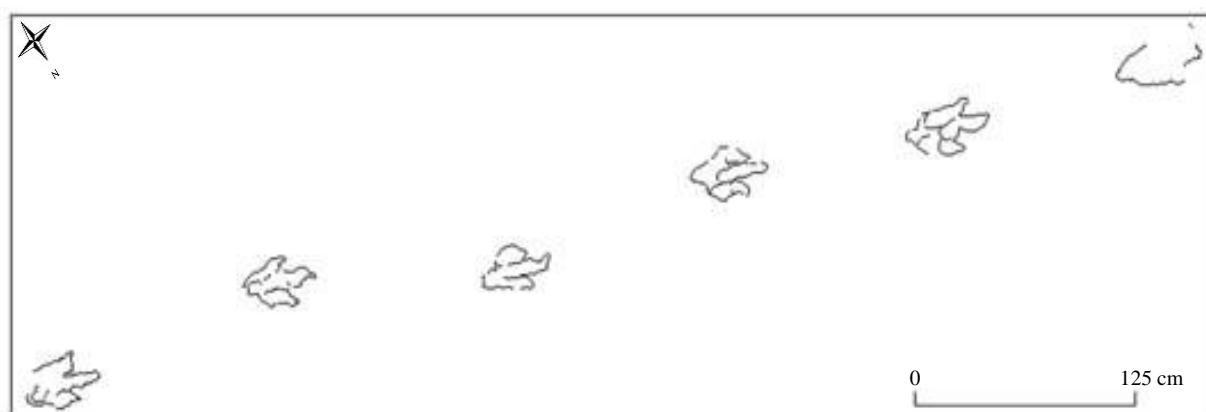


Figure 118 : Piste 1Am4, gisement 1Am, cuvette d'Iouaridène.

Piste	Va	Vd	h	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
1Am4	6,12	5,1	197	0,64	0,54	1,31	5,86	0,34

Tableau 45 : Valeurs moyennes des différents rapports et mesures, piste 1Am4.

6- Empreintes de la piste 1Am4 :

Ces empreintes sont mal conservées et surtout la dernière très altérée. Généralement, elles sont allongées, avec une grande amplitude au niveau de la longueur. Elles atteignent une longueur de 44 cm et 28 cm en largeur (**tab. 46**). Les orteils sont larges, très serrés, articulés et pointus, à l'exception du doigt III, des empreintes **1Am4.2** et **1Am4.3**, qui se plie vers l'axe de la piste, les traces des griffes ne sont pas visibles.

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
1Am4.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Am4.5	47,5	31,5	3	3,13	-	124	174	27,5	28,8	26,3	16	20	36	
1Am4.4	42,5	28,8	-10	8,75	40	245	121	166	21,3	28,8	-	5	12,5	17,5
1Am4.3	40,6	25	-5	12,5	48,8	248	128	157	18,8	-	17,5	4	20	24
1Am4.2	41,3	28,1	0	12,5	50	254	133	157	20	-	17,5	11	24	35
1Am4.1	42,5	26,3	-	-	-	259	133	-	-	-	-	5	10	15
Moyenne	42,9	27,9	-3	9,22	46,3	251	128	164	21,9	28,8	20,4	8,2	17,3	25,5

Tableau 46 : Mesures sur les empreintes de la piste 1Am4.

L'animal est bipède, son pas est assez important avec une valeur moyenne de 127,62 cm et un angle de pas de 163,5° (**tab. 46**). Ce sont des traces qui appartiennent à un grand Théropode de l'ordre : **Saurischia** Seeley, 1887 et du sous-ordre : **Theropoda** Marsh, 1881a.

b- Deuxième gisement d'Aït Mimoun (2Am) :

Il est formé par une seule piste (**2Am1**).

1- Piste 2Am1 :

Elle est constituée par la succession de six couples d'empreintes ovales (**fig. 119**).

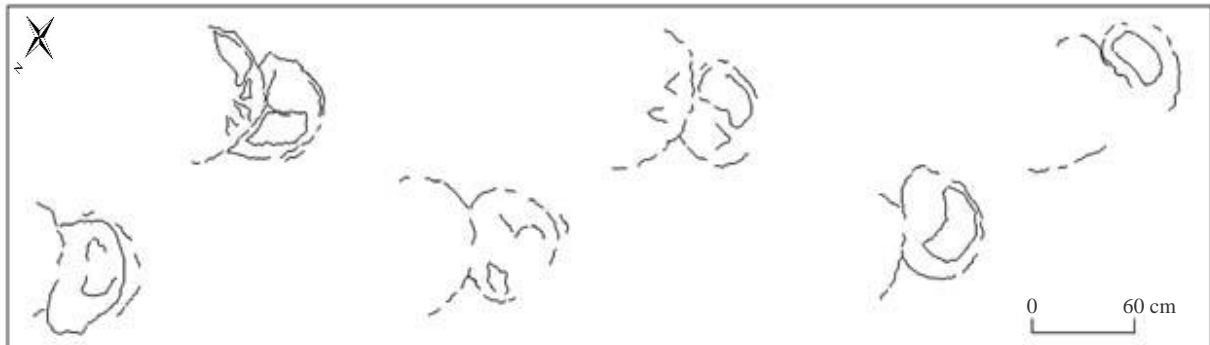


Figure 119 : Piste 2Am1, d'Aït Mimoun.

2- Empreintes de la piste 2Am1 :

Elles appartiennent à un animal quadrupède. Les empreintes de mains sont petites bien enregistrées sur la dalle et en forme d'un arc, en revanche celles des membres postérieurs ne sont imprimées qu'au 1/3 de leur superficie et elles sont d'une grande taille.

Les mains sont arquées et menues d'un ou de deux coussinets (**tab. 47**).

Mains	L	a	Ar	Lr	Z	P	Ap°	L _B
2 Am1.6	36	-	-	-	-	-	-	-
2Am1.5	48	64	38	-	-	148	117	-
2 Am1.4	-	56	34	128	246	140	120	-
2Am1.3	52	63	37	137	246	143	118	-
2Am1.2	44	61	40	147	246	148	114	5
2 Am1.1	44	62	-	-	240	150	-	9
Moyenne	44,8	61,2	37,25	137,33	244,5	145,8	117,25	7

Tableau 47 : Mesures sur les traces de mains de la piste 2Am1.

En tant que la piste est étroite (narrow-gauge) et remontée à l'Oxfordien ?-Kimméridgien, les mains de la bête sont probablement plus fermées que celles d'Eusauropoda (Wright, 2005).

Les caractéristiques de ces traces sont à rapporter à :

Ordre : **Saurischia** Seeley, 1887
Sous-Ordre : **Sauropoda** Marsch, 1878b
Super-famille : **Diplodocoidea** Marsch, 1884
Famille : **Diplodocidae** Marsch, 1884
Ichno-genre : **Breviparopus** Farlow, 1992

c- Troisième gisement d'Aït Mimoun (3Am) :

Ce gisement (**fig. 120**) a une direction **N338**, il est plaqué sur une couche caractérisée

par un pendage de **13 SSE**. Le gisement **3Am** est formé par soixante seize empreintes imprimées sur une couche argileuse craquelée à fentes de dessiccation et ripple-marks (**pl. 6, fig. 5**).

Le critère le plus important de ce gisement est l'existence de plusieurs ichno-taxons, qui sont attribués à des dinosauriens carnivores correspondant aux grands Théropodes et des dinosauriens herbivores Sauropodes et Ornithopodes.

Il est formé par cinq pistes :

- ☞ Deux grandes pistes quadrupèdes **3Am1** et **3Am2** de deux Sauropodes (**3Am1, 3Am2**),
- ☞ Une grande piste **3Am3** constituée de seize empreintes, d'un Théropode bipède orientée vers le **N**,
- ☞ Une grande piste **3Am4** d'un grand Théropode bipède constituée par vingt et une empreintes bien imprimées de direction vers le **N**,
- ☞ Deux empreintes **3Am5** d'un Ornithopode orientées vers le **S**.

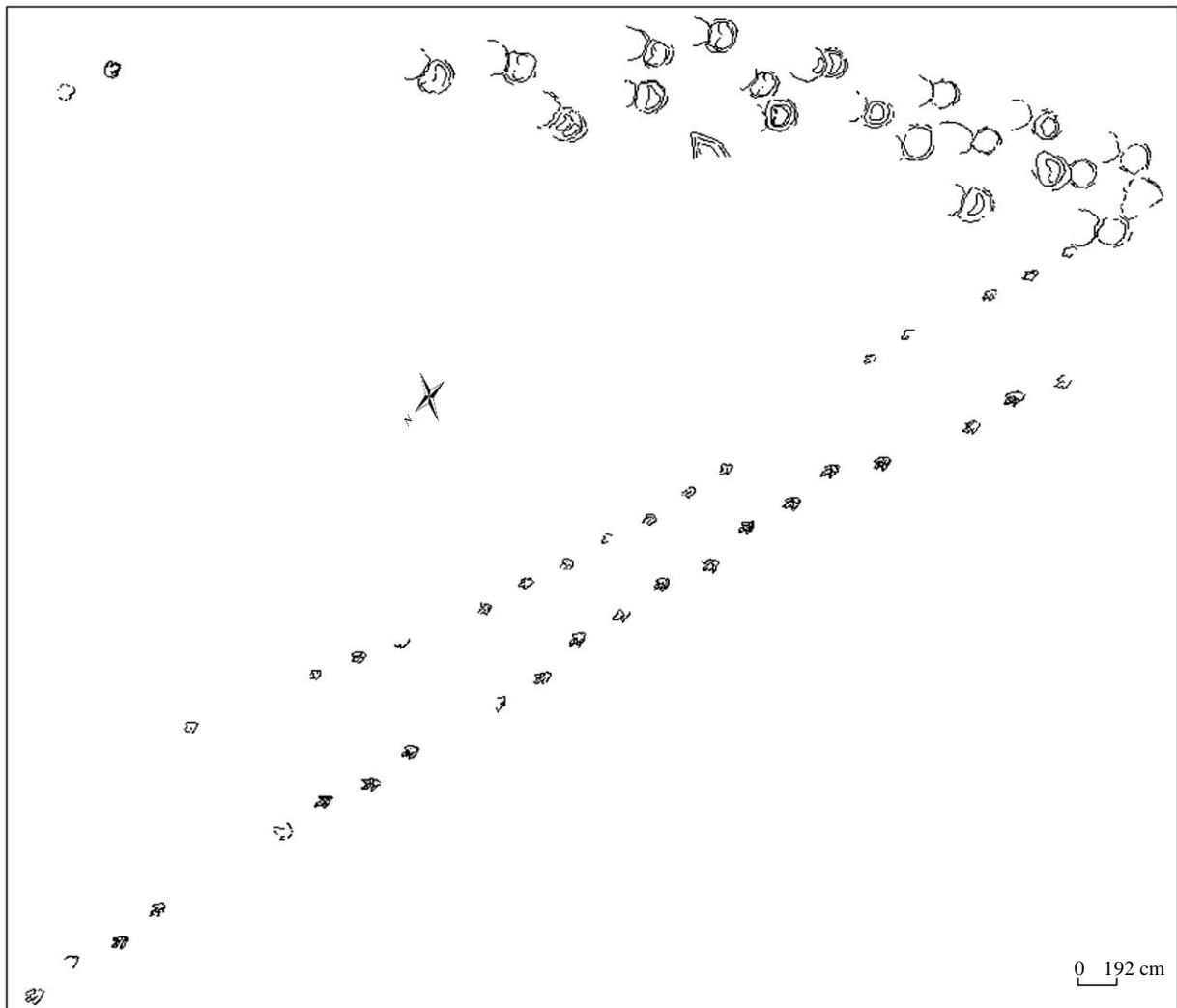


Figure 120 : Esquisse du troisième gisement, d'Ait Mimoun 3Am.

1- Pistes 3Am1 et 3Am2 :

Elles sont constituées par trente huit traces, le sens de marche est orienté vers le WWS.

La piste **3Am1** est formée par dix neuf empreintes ovales. La piste **3Am2** est constituée par quatorze grandes empreintes ovales.

Ces deux pistes parallèles ne sont pas gravées au même temps dans le substrat, la trace **3Am1.9** de la piste **3Am1** est en interférence avec la trace **3Am2.10** de la piste **3Am2**.

2- Empreintes des pistes 3Am1 et 3Am2 :

Les parties arrière des empreintes postérieures de la piste **3Am**, sont moins visibles et moins profondes. A l'inverse, on observe dix mains bien enregistrées avec la présence d'un seul coussinet au centre, elles sont peu profondes et mesurent 50,54 cm de longueur et 59,4 cm de largeur (**pl. 7, fig. 1**). Le pas moyen est de 135,41 cm, l'angle de pas moyen est de 113° et l'enjambée est de 226,64 cm (**tab. 48**).

Mains	L	a	Ar	Lr	Z	Ap°	P
3Am1.10	56,25	65	-	-	-	-	-
3Am1.9	51,25	62,5	33,75	131,25	-	110	108,75
3Am1.8	50	61,25	36,25	132,5	195,63	113	130
3Am1.7	49,37	56,25	35	127,5	213,75	115	128,13
3Am1.6	52,5	61,25	37,5	131,88	218,75	115	131,25
3Am1.5	47,5	52,5	39,37	133,75	232,5	113	146,25
3Am1.4	-	57,5	40	137,5	237,5	112	138,75
3Am1.3	45	57,5	40	138,75	239,38	111	151,25
3Am1.2	52,5	63,75	38,75	138,13	238,75	114	136,88
3Am1.1	-	56,25	-	-	236,88	-	147,5
Moyenne	50,55	59,37	37,58	133,91	226,64	112,88	135,42

Tableau 48 : Mesures sur les empreintes de mains de la piste 3Am1.

La taille des empreintes de la piste **3Am2** dépasse celle de la piste **3Am1**, les mains (L = 58,9 cm, a = 71,87 cm) sont bien imprimées avec la netteté, au centre du contour, d'un seul coussinet. Le pas moyen de la piste est de 175 cm, l'angle moyen de la piste est de 112° (**tab. 49**).

Mains	L	a	O°	Ar	Lr	Z	Ap°	P
3Am2.11	55	73,75	-	-	-	-	-	-
3Am2.10	-	-	-	-	-	-	-	-
3Am2.9	61,25	77,5	-	-	-	287,5	-	-
3Am2.8	60	67,5	-	-	-	-	-	184,38
3Am2.7	-	-	-	-	-	-	-	-
3Am2.6	63,75	68,75	-	-	-	287,5	-	-
3Am2.5	-	-	-	-	-	-	-	-
3Am2.4	57,5	71,25	-	-	-	275,63	-	-
3Am2.3	56,25	73,75	28	53,75	172,5	-	105	180
3Am2.2	58,75	67,5	12	43,75	155	275,63	119	167,5
3Am2.1	58,75	75	-	-	-	292,5	-	175
Moyenne	58,91	71,87	20	48,75	163,75	283,75	112	176,72

Tableau 49 : Mesures sur les empreintes de mains de la piste 3Am2.

Le contour des traces de pieds est presque effacé, il n'est visible que sur sa partie avant proche aux empreintes de mains **3Am2.10** et **3Am2.11** de la piste **3Am2** et à la trace **3Am1.8** de la piste **3Am1** (**pl. 7, fig. 2**). En conclusion, l'appui et les structures associées aux empreintes de ces deux Sauropodes sont réalisés au cours de trois phases :

☞ **Phase T_d et T_e** : La présence des stries de traînages (scrape-marks), qui se continuent à l'intérieur de l'empreinte jusqu'à l'appui total du pied (phase **W_a**), nous indique le glissement du pied avant son immobilisation pendant la phase **T_d** (**pl. 7, fig. 3**) ;

☞ **Phase W** : Le soulèvement de la boue autour des mains et l'existence d'une fracture de tension (**pl. 7, fig. 4**) sur la bordure antérieure de l'empreinte **3Am2.3** ne peuvent se réaliser que par une forte pression pendant le moment de l'appui ou l'enfoncement total du pied.

Généralement, les deux pistes ne sont pas le résultat de la natation ou semi-natation, comme il est suggéré par Ischigaki, 1988 (**fig. 121**) car les structures qui leur sont associées témoignent d'un solide appui de l'animal sur le substrat.



Figure 121 : Modèle proposé par Bird, 1944, sur les traces de Texas puis par Ishigaki, 1988 pour expliquer le mode de déplacement chez les deux Sauropodes responsables de la formation de ces deux pistes 3Am1 et 3Am2.

D'une part, ces deux pistes, **3Am1** et **3Am2** (**fig. 122**), ressemblent beaucoup aux traces de Sauropodes trouvées au Texas (Bird, 1944), des *Apatosaures* qui se déplacent uniquement sur les mains, l'interprétation de Bird critiquée par Lockley, 1993 "elle s'appuie généralement sur la notion de l'époque à savoir que les Sauropodes étaient aquatiques ou semi-aquatiques pour pouvoir supporter leur propre poids ou que le milieu aquatique pouvait être un refuge pour les grands herbivores contre les prédateurs" d'autre part, les structures directes qui se trouvent à l'intérieur des empreintes : Les fentes de dessiccation, les bourrelets déplacés et plissés, les fentes de dessiccation écrasées et les stries de glissement tous font prouver que les deux pistes **3Am1**, **3Am2** sont le résultat d'un modèle illustrant les deux auteurs des deux pistes avec des membres postérieurs posés légèrement sur le sol, en marquant plus d'un tiers antérieur des empreintes postérieures, donc les deux ichnopoïètes "trackmakers" du gîte **3Am** marchent sous une tranche d'eau considérée à leur taille.

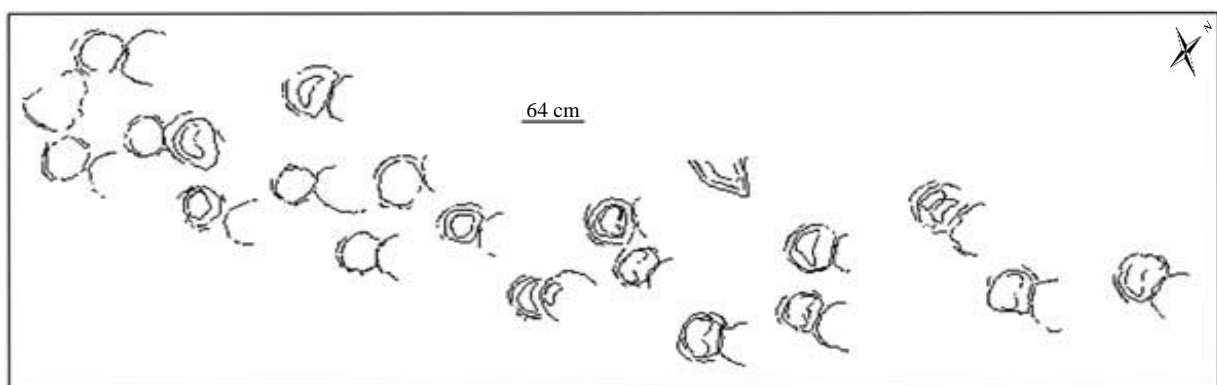


Figure 122 : Deux pistes quadrupèdes, 3Am1 et 3Am2, des deux Sauropodes, gisement 3Am.

Les caractères des empreintes de ces 2 pistes sont à rapporter à :

Ordre : **Saurischia** Seeley, 1887

Sous-Ordre : **Sauropoda** Marsch, 1878b

Super-famille : **Diplodocoidea** Marsch, 1884

Famille : **Diplodocidae** Marsch, 1884
 Ichno-genre : *Breviparopus* Farlow, 1992

3- Piste 3Am3 (fig. 123) :

Elle est organisée par vingt trois empreintes tridactyles, ressemblant à celles d'un Théropode bipède, dirigées vers le N. Au niveau de chaque rupture de la piste, on observe une légère variation du chemin de l'animal. La voie prise par l'animal est étroite, les empreintes sont sur la ligne médiane de la piste ($Ar/a = 0,11$), la forme des membres postérieurs est mince puisque le rapport (Enjambée/Longueur moyenne du pied) est égal à 6,23, la hauteur des membres postérieures présente une valeur de 196,6 cm, ce qui le qualifie d'imposante stature.

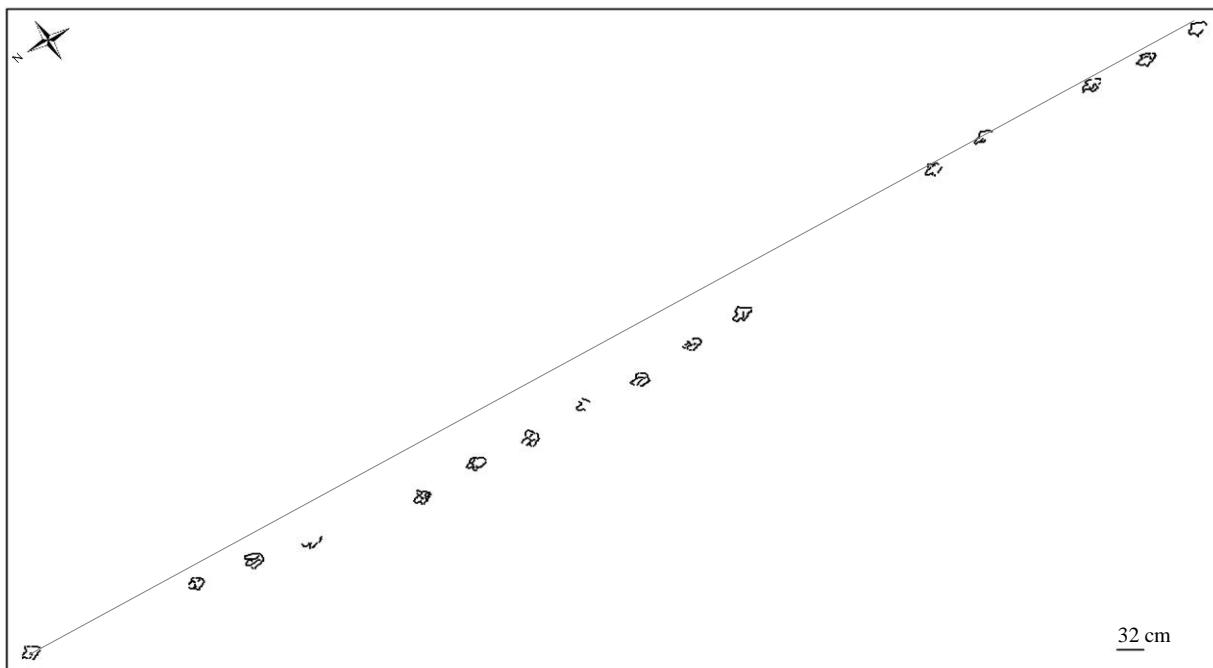


Figure 123 : Piste 3Am3 d'un Théropode, gisement d'Aït Mimoun 3Am, synclinal d'Iouaridène.

La vitesse de ce Théropode oscille entre 3,91 Km/h (V_a) et 3,89 Km/h (V_d), c'est à dire que l'animal se déplace avec une allure lente, la valeur 0,1 indique une adaptation de marche (tab. 50).

Piste	V_a	V_d	h	III/L	$(L-a)/a$	Z/h	Z/Lm	Ar/a
3Am3	3,91	3,89	196,6	0,36	0,34	0,1	6,23	0,11

Tableau 50 : Valeurs moyennes des différents rapports et mesures, piste 3Am3.

4- Empreintes de la piste 3Am3 :

Les traces 3Am3.4, 3Am3.7, 3Am3.8, 3Am3.9, 3Am3.17, 3Am3.21 et 3Am3.22, ne sont pas gravées dans le substrat. À chaque succession d'empreintes, on remarque qu'elles sont empilées d'une façon quasi rectiligne. Les doigts sont légèrement ronds (2Am3.2, 2Am3.3, 2Am3.5, 2Am3.6, 2Am3.14, 2Am3.15, 2Am3.16, 2Am3.19 et 2Am3.20). Le talon n'est pas bien conservé mais il a une forme ronde au niveau des traces 2Am3.14, 2Am3.16, 2Am3.19 et 2Am3.20. Les mesures effectuées (tab. 51) montrent une longueur de pied de 30,75 cm et une largeur de 22,97 cm. Le signe de la déviation de l'axe du pied est positif, sa valeur est moins importante ($O = 1,75^\circ$).

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
3Am3.23	33,13	25	-	-	-	-	-	-	-	17,5	-	30	35	65
3Am3.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3Am3.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3Am3.20	26,25	21,88	-	-	-	-	-	-	13,75	12,5	-	24	37	61
3Am3.19	30,63	26,25	-6	1,25	26,25	-	100	178	24,38	12,5	25	18	23	41
3Am3.18	32,5	-	-	-	-	196,3	96,25	-	-	-	-	-	-	-
3Am3.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3Am3.16	28,75	26,25	-	-	-	-	-	-	11,25	12,5	11,25	56	28	84
3Am3.15	33,13	20	10	2,5	30	-	102,5	174	7,5	12,5	7,5	40	12	52
3Am3.14	28,75	26,25	-2	3,125	-	193,8	91,25	173	11,25	13,75	-	28	16	44
3Am3.13	-	-	-	3,75	-	190	98,13	172	-	-	-	-	-	-
3Am3.12	27,5	21,25	-6	3,75	-	194,4	96,88	170	-	-	-	22	14	36
3Am3.11	28,13	-	17	2,5	-	197,5	102,5	175	16,88	12,5	-	15	-	-
3Am3.10	-	23,75	-	-	-	195	93,75	-	-	-	-	36	31	67
3Am3.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3Am3.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3Am3.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3Am3.6	-	20	-	-	-	-	-	-	-	13,75	-	23	21	44
3Am3.5	-	-	-	-	-	-	95	-	-	11,88	-	18,5	29	47,5
3Am3.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3Am3.3	35	21,25	-	-	-	190	-	-	14,38	13,75	-	32	37	69
3Am3.2	32,5	22,5	-2,5	2,5	16,25	-	93,75	174	17,5	13,75	-	9,5	-	-
3Am3.1	30,63	21,25	-	-	-	187,5	93,75	-	-	-	-	-	-	-
Moyenne	30,57	22,97	1,75	2,77	24,17	193	96,7	173,7	14,61	13,35	14,58	27,1	25,73	55,5

Tableau 51 : Mesures sur les empreintes de la piste 3Am3.

Malgré qu'il y ait des variations morphologiques entre les empreintes de cette piste (pl. 7, fig. 5-6), on peut l'attribuer à un grand Théropode puisque la plupart des traces du doigt III sont très allongées. En plus la grande différence entre la longueur et la largeur de ces empreintes le qualifie d'un autopode allongé. Ces empreintes sont à classer dans :

Ordre : **Saurischia** Seeley, 1887

Sous-ordre : **Theropoda** Marsh, 1881a

5- Piste 3Am4 :

Elle est formée par vingt cinq grandes empreintes (fig. 124). Généralement, la piste 3Am4 est très étroite et rectiligne.

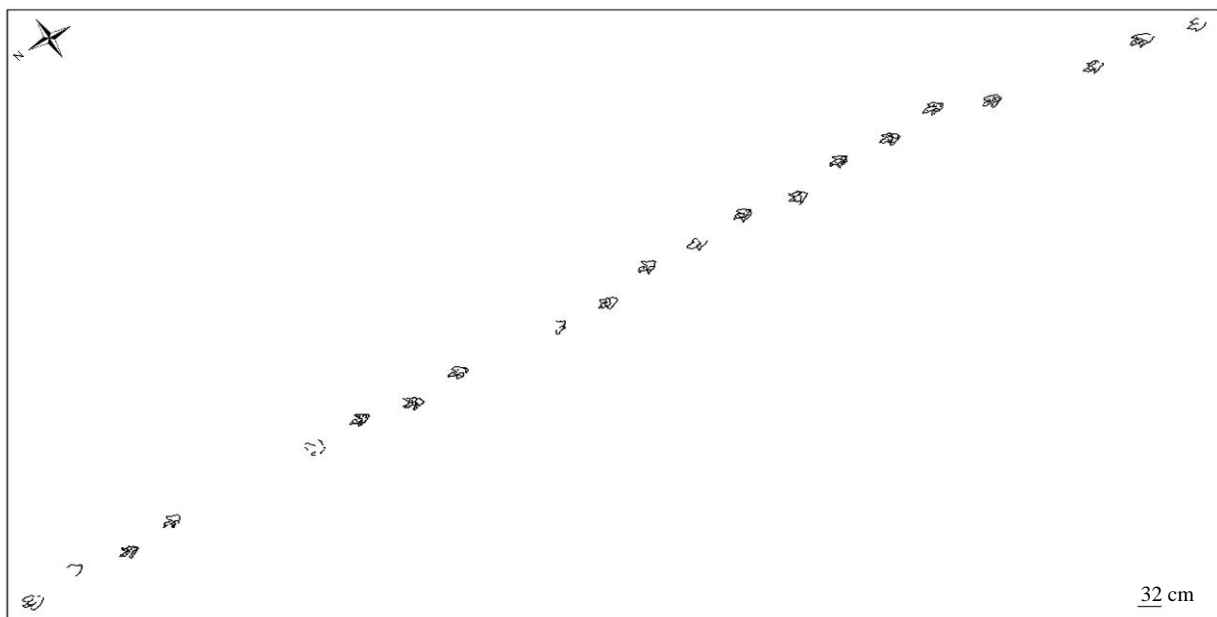


Figure 124 : Piste 3Am4 d'un grand Théropode, gisement d'Aït Mimoun 3Am, synclinal d'Iouaridène.

La vitesse et les autres estimations, faites sur le comportement de l'animal, sont reportées dans le **tableau 52**.

Piste	Va	Vd	h	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
3Am4	4,86	4,38	184	0,6	0,37	1,16	5,31	0,36

Tableau 52 : Valeurs moyennes des différents rapports et estimations font sur l'animal, piste 3Am4.

6- Empreintes de la piste 3Am4 :

Ce sont des empreintes tridactyles robustes (**pl. 7, fig. 7**). Les traces se caractérisent par des bordures très nettes et claires, Les traces **3Am4.4**, **3Am4.15**, **3Am4.20** et **3Am4.21** ne sont pas conservées dans la dalle.

La présence des marques des griffes (**pl. 8, fig. 1**) au niveau des empreintes **3Am4.13**, **3Am4.17**, **3Am4.18** et **3Am4.22**, les coussinets digitaux sont bien imprimés. Les doigts de ce reptile sont larges, longs, articulés et relativement séparés. Le doigt **III** présente un dépassement important par rapport aux doigts latéraux (**II** et **IV**) et sa partie proximale tend à se séparer du sol. La cohésion est meilleure entre le doigt **III^IV** (33,70°) et faible entre **II^III** (15,19°), (**tab. 53**) les axes principaux des doigts deviennent presque parallèles (**fig. 125**).

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
3Am4.25	43,75	32,5	-	-	-	-	-	-	22,5	27,5	-	12	24	36
3Am4.24	-	28,12	-	10,63	48,75	-	103,8	158	-	-	-	-	-	-
3Am4.23	38,75	28,75	3	10	46,25	211,3	111,3	160	20	21,25	20	20	25	45
3Am4.22	38,75	27,5	-	-	-	215	106,3	-	20	23,75	-	13	45	58
3Am4.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3Am4.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3Am4.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3Am4.18	41,25	26,87	-3	15	-	-	111,3	156	18,75	25	16,88	12	40	52
3Am4.17	37,5	32,5	-10,5	12,5	48,13	212,5	106,3	155	23,75	25	18,75	17	34	51
3Am4.16	39,37	27,5	-	-	-	212,5	111,3	-	18,13	18,75	11,25	18	34	52
3Am4.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3Am4.14	-	-	-	-	-	208,8	-	-	22,5	-	-	-	-	-
3Am4.13	40	26,87	-7	10,63	-	-	110,6	159	18,75	25	-	11	23	34
3Am4.12	41,25	31,25	7	10	47,5	217,5	110	158,5	21,25	18,75	-	16	47	63
3Am4.11	-	27,5	-5	5	36,25	213,1	107,5	170	-	26,25	-	-	23	-
3Am4.10	38,75	27,5	-7	8,75	46,25	211,3	105	161	19,38	22,5	18,13	7	33	40
3Am4.9	40	33,12	-4,5	13,13	55	207,5	106,3	152	23,75	28,13	-	7	41	48
3Am4.8	39,37	30	4	11,25	4,5	211,3	111,9	159	18,75	26,25	15	5,5	38	43,5
3Am4.7	38,75	30	-13	7,5	40,63	213,1	106,3	165	18,75	25,63	-	-	44	-
3Am4.6	42,5	27,5	-6	15,63	58,75	212,5	107,5	147	18,75	25	17,5	10,5	46	56,5
3Am4.5	36,87	27,5	-	-	-	205	106,3	-	19,38	21,25	17,5	21	25	46
3Am4.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3Am4.3	38,12	26,25	-	-	-	200	-	-	-	21,25	-	15,5	29,5	39
3Am4.2	-	31,25	-4,5	6,87	42,5	-	110	163	18,75	25,63	-	21,5	23	44,5
3Am4.1	-	-	-	-	-	211,3	103,8	-	-	21,25	-	36	32	68
Moyenne	39,67	29,03	-3,875	10,53	47,05	210,8	107,9	158,7	20,2	23,78	16,88	15,19	33,7	48,79

Tableau 53 : Mesures sur les empreintes de la piste 3Am4.

La taille moyenne de ces empreintes est de 39,66 cm de longueur et 29,03 cm de largeur, le rapport (l-a/a) est égal à 0,37.

Tous les critères et les mesures attribuent ces traces à un grand dinosaurien classé dans:

Ordre : **Saurischia** Seeley, 1887

Sous-ordre : **Theropoda** Marsh, 1881a.

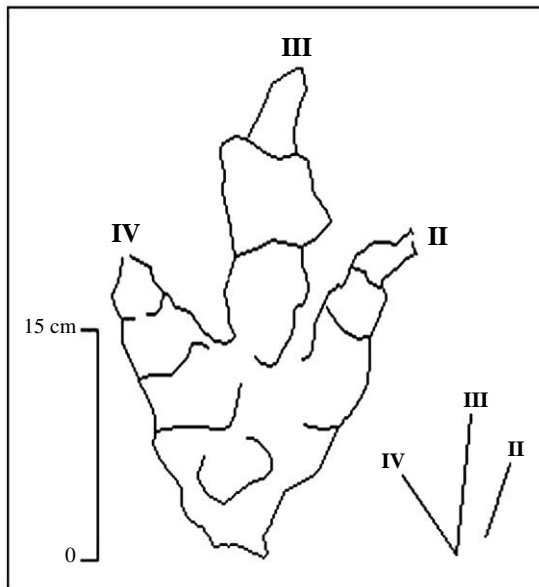


Figure 125 : Schéma représentatif des axes des doigts, trace 3Am4.18.

7- Piste 3Am5 :

Elle est formée par deux empreintes (**fig. 126**). La hauteur de ses extrémités postérieures atteint presque 227,14 cm (**tab. 54**), ce qui indique une grande taille.

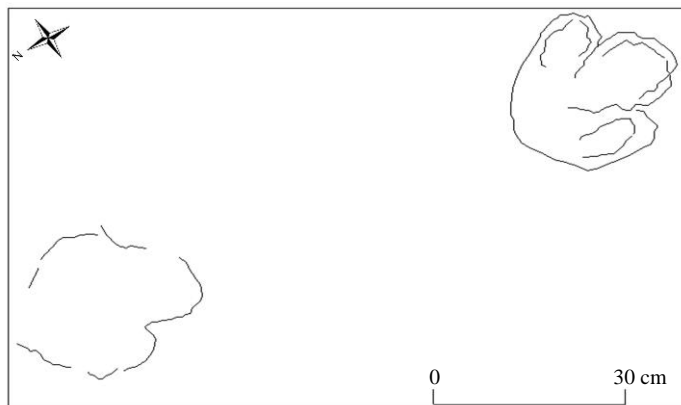


Figure 126 : Piste 3Am5 d'un grand Ornithopode, gisement d'Aït Mimoun 3Am.

Piste	Va	Vd	h	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
3Am5	-	-	227,14	0,68	-0,03	-	-	-

Tableau 54 : Valeurs moyennes des différents rapports et mesures, piste 3Am5.

8- Empreintes de la piste 3Am5 :

Empreintes tridactyles non articulées, avec une longueur moyenne de 35 cm et une largeur de 34,7 cm (**tab. 55**). Elles sont caractérisées par une forme subcirculaire, avec des doigts ronds et proches l'un de l'autres, chacun d'eux contient un seul coussinet bien enregistré, notamment dans la trace **3Am5.2** (**pl. 8, fig. 2**). Le talon est en forme lobulaire.

Tous ces critères morphologiques attribuent ces traces à l'ordre : **Ornitischia** Seeley, 1888 et au sous-ordre : **Ornithopoda** Marsh, 1881b.

Pieds	L	a	P	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
3Am5.2	35	36,25	-	15	23,75	15	21	37	58
3Am5.1	-	33,13	106,3	-	-	-	-	-	-
Moyenne	35	34,69	106,3	15	23,75	15	21	37	58

Tableau 55 : Mesures sur les empreintes de la piste 3Am5.

d- Quatrième gisement d'Aït Mimoun (4Am) :

Il est formé par quatre vingt quatre empreintes de diverses formes, dispersées sur cinq pistes (fig. 127).

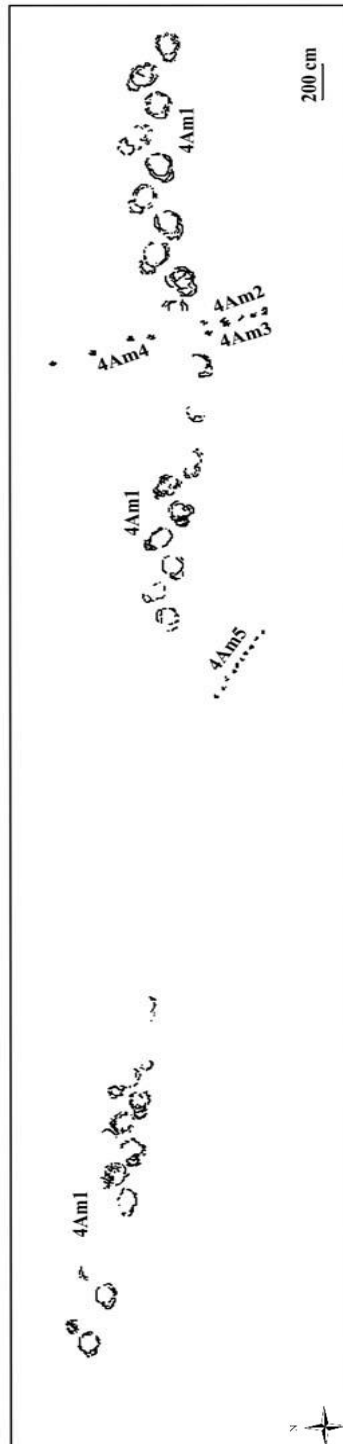


Figure 127 : Esquisse du gisement 4Am.

La piste **4Am1** est spectaculaire, elle est considérée comme l'une des plus belles pistes dinosauriennes du monde. Les empreintes de pas de cette piste sont décrites en tant que nouvelle ichno-espèce *Breviparopus taghbaloutensis* Dutuit et al., 1980 caractérisées une forme, des pieds, effilée en arrière et en semi-rectangulaires en avant.

Les traces du gisement **4Am**, sont imprimées sur une dalle gréseuse à mudcracks inclinée de **15°E**.

Le gisement **4Am** est subdivisé en :

- ☞ Piste **4Am1**, orientée **E-W**, est constituée de cinquante deux empreintes ovales, de grandes tailles,
- ☞ Piste **4Am2** constituée par six traces tridactyles, dirigées vers **NNW**,
- ☞ Piste **4Am3** contenant six traces tridactyles, traversant la couche dans un sens presque parallèle au **4Am2**,
- ☞ Piste **4Am4** formée par quatre empreintes tridactyles, dirigées vers le **NNW**,
- ☞ Piste **4Am5**, formée par neuf traces tétradactyles conservées, qui prennent une direction de **SSE**.

1- Piste **4Am1** :

Elle est située juste à proximité du gisement **3Am**, distante de 25 m et sur la même dalle argileuse, craquelée à fentes de dessiccation (**pl. 8, fig. 3**).

La piste est divisée en deux parties :

La première partie est formée par vingt deux couples de traces, avec le manque de trois couples (**4Am1.11**, **4Am1.13**, **4Am1.15**). Elle est bien gravée dans le substrat, sauf **4Am1.4**, **4Am1.10**, **4Am1.12**, **4Am1.14**, **4Am1.16**, **4Am1.21** et **4Am1.22** qui sont mal imprimées.

Le deuxième tronçon de la piste est mal conservé à cause de sa position sur le front d'attaque d'érosion hydrique ; il est formé par quinze couples d'empreintes.

Généralement, l'état de sa conservation est précaire, sa situation au centre de l'agglomération est utilisée comme un passage pour les habitants et le bétail ; le couple **4Am1.3** (**fig. 128 ; pl. 8, fig. 4**) montre que la tectonique rejoue contre sa réservation. La piste compte trente deux couples de traces, c'est le même nombre signalé par Dutuit et al., 1980. Mais les photos et les clichés de 1980 montrent qu'elle est en bon état de conservation que l'actuel.

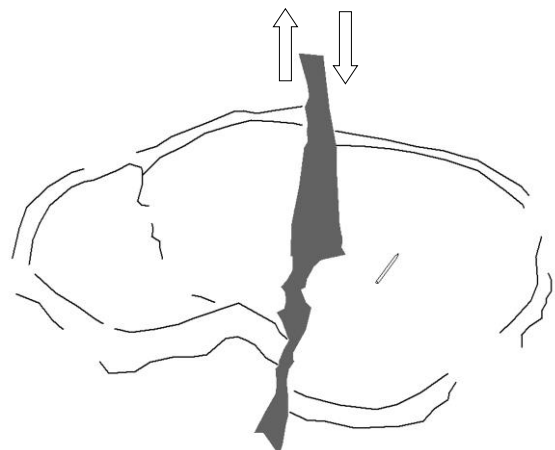


Figure 128 : Fracturation en décrochement du couple **4Am1.3**.

Les mesures concernant la longueur du tronc de l'animal, la vitesse de sa locomotion et la hauteur de ses hanches sont portées sur le **tableau 56** :

☞ Hauteur des extrémités postérieures reconstituée selon les différentes formules proposées par divers auteurs :

- * $h1 = 464,44$ cm. Alexander, 1976.
- * $h2 = 356,25$ cm. Lockley et al. 1986.
- * $h3 = 418$ cm. Ishigaki, 1988.
- * $h4 = 685,05$ cm. Thulborn, 1990.

En ce qui concerne l'aspect des membres postérieurs, le rapport Z/Lm est égal à une valeur moyenne de 2,88, ce qui indique des hanches postérieures épaisses fortes, alors que dans les extrémités antérieures le rapport devient très important, la valeur moyenne est de 7,64, ce qui implique une forme mince.

☞ Longueur du tronc : La valeur de la distance gléno-acétabulaire est variée, selon trois formules proposées par Farlow et al., 1989. Les valeurs moyennes sont les suivantes :

- * $Ga = 413,53$ cm.
- * $Gb = 246,26$ cm.
- * $Gc = 190,51$ cm.

Le problème de la différence considérable des chiffres est résolu, en tenant compte de la valeur la plus proche de celle de la hauteur de l'extrémité postérieure ($h3 = 418$ cm), qui est presque égale à 413,53 cm (Ga).

Piste ovale	4Am1
<i>Va1</i>	3,56
<i>Va2</i>	4,94
<i>Va3</i>	4,03
<i>Va4</i>	2,26
<i>Vd1</i>	4,39
<i>Vd2</i>	5,02
<i>Vd3</i>	4,62
<i>Vd4</i>	3,61
<i>h1</i>	464,44
<i>h2</i>	356,25
<i>h3</i>	418
<i>h4</i>	685,05
<i>Ga</i>	413,53
<i>Gb</i>	246,26
<i>Gc</i>	190,51
<i>L-a/a</i>	113,87
<i>Z/h1</i>	0,73
<i>Z/h2</i>	0,95
<i>Z/h3</i>	0,81
<i>Z/h4</i>	0,94
<i>Z/Lm</i>	2,88
<i>Ar/a</i>	0,47

Tableau 56 : Valeurs moyennes des différents rapports et mesures, piste 4Am1.

☞ La vitesse de la locomotion de ce Sauropode est calculée selon deux formules :

- * Va varie entre 4,94 et 2,26 Km/h.

* Vd varie entre 5,05 et 3,61 Km/h.

Généralement, l'allure de l'animal se fait d'une manière modérée, avec un déplacement de type amble comme celui des proboscidiens.

2- Empreintes de la piste 4Am1 :

Elles sont formées par un couple de main et pied. En effet, tous les couples de traces sont caractérisés par leur rapprochement où le membre postérieur s'imprime sur la trace laissée par le membre antérieur, détériorant ainsi dans sa partie proximale.

La configuration des membres postérieurs est en forme d'un triangle. Le bourrelet est très soulevé sur le pourtour des traces de pied à l'exception du talon qui montre un décroissement de la profondeur de l'empreinte vers sa direction. Le coussinet central de la plante du pied est bien distingué (**fig. 129**). Les traces de doigts, marquées dans les ichnites postérieures ont une forme ronde, elles sont caractérisées par le soulèvement de la boue et la présence des fractures ou des incisures de griffes (**pl. 8, fig. 5**).

La taille des empreintes postérieures est importante, sa surface est 4,44 fois plus grande, que celle de l'empreinte antérieure ; elle est estimée sur le couple de traces **4Am1 (fig. 130)** :

La surface d'appuie plantaire antérieure est 0,164 m².

La surface d'appuie plantaire postérieure est 0,729 m².

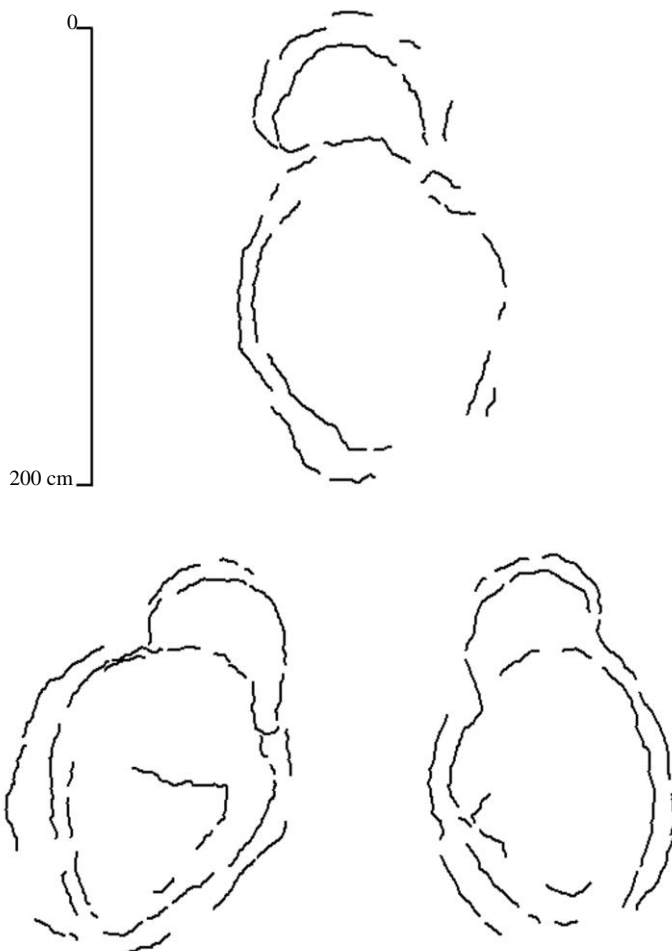


Figure 129 : Configuration de quelques empreintes de la première partie de la piste (4Am1).

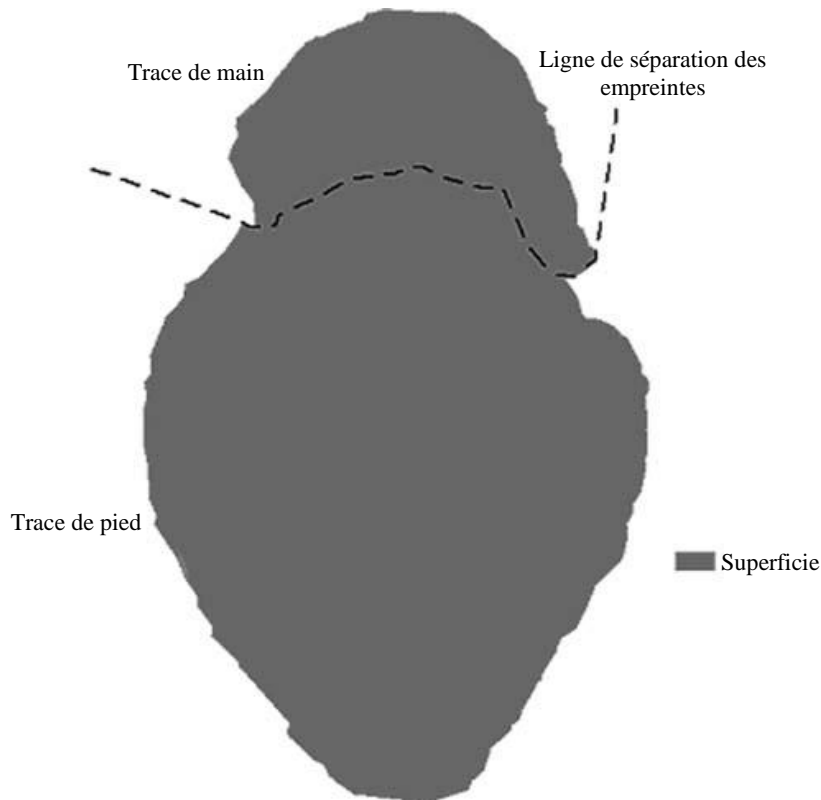


Figure 130 : Surface du couple 4Am1.2

Du point de vue biométrique (**tab. 57, 58**), les empreintes postérieures mesurent des moyennes de 116 cm de longueur et 89 cm de largeur. Le pas tracé par l'animal est de 188 cm, avec un angle de $125,33^\circ$ qui est moins important par rapport aux autres pistes. L'amplitude de la piste tracée par les pieds (42,9 cm) est quasiment la moitié de celle de la main (81 cm), qui prend un sens vers l'extérieur de la piste, en déterminant un grand écartement pour les mains que pour les pieds. L'orientation de la piste du pied prend une valeur maximale sur le côté droit de l'animal en oscillant entre 43° et 31° , sur les traces gauches, elle devient minimale entre 14° et 26° . Les empreintes de la main sont de 49 cm de longueur et 66 cm de largeur.

Pour les deux éléments de traces, la grande taille peut être interprétée après la phase **T** où le membre de l'animal est enfoui dans la boue. Pendant la phase **W_a**, le pas glisse vers l'avant du pied, ce qui explique l'exagération de la taille des empreintes et l'absence du bourrelet autour du talon des empreintes de pieds. Pour la phase **K**, le membre sort totalement de la fange par l'entraînement des doigts de pieds en arrière.

L'ensemble de tous ces critères morphologiques et biométriques attribue la piste à :

***Breviparopus taghbaloutensis* Dutuit et al. (1980).**

Ordre : **Saurischia** Seeley, 1887
 Sous-Ordre : **Sauropoda** Marsch, 1878b
 Super-famille : **Diplodocoidea** Marsch, 1884
 Famille : **Diplodocidae** Marsch, 1884
 Ichno-genre : ***Breviparopus*** Farlow, 1992

3- Interprétation des empreintes de la piste 4Am1 :

Dutuit et al., 1980 ont noté que :

☞ Les caractères du sol plastique et en voie d'assèchement sont responsables du faible enfoncement des empreintes,

☞ Les empreintes de ce Sauropode géant sont formées avant la genèse des mudcracks donc sous aquatiques sous une certaine tranche d'eau,

☞ L'absence d'un relief bien net au fond des empreintes postérieures et le contour mal discernable, des doigts et des griffes, sur la plupart des traces peuvent être résultés d'une poussée de l'eau (poussée d'Archimède) non négligeable sur l'animal.

L'examen de certaine empreinte montre l'éjection des polygones de dessiccation aux alentours de quelques empreintes et leur détérioration à l'intérieur, ce qui implique des traces sur sédiment desséché (**fig. 131, pl. 8, fig. 6**) ce qui indique que les traces ne sont pas toujours synchrones.

Pieds	LG	LD	ag	ad	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	Lb	Pm
4Am1.51	-	113	110	80	-	-	-	-	-	-	13	70
4Am1.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.49	-	115	107	76	-	-	-	336	-	-	18	72
4Am1.48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.44	-	115	-	70	-	39	-	-	172	128	17	-
4Am1.43	121	112	-	-	-	38,5	195	317	180	130	21	78
4Am1.42	122	112	100	74	31	40	194	329	184	127	15	73
4Am1.41	127	115	105	80	14	40	-	318	171	122	15	84
4Am1.40	-	-	-	-	-	-	-	289	162	-	21	108
4Am1.39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Manque de 14 couples	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.22	-	-	-	-	31	39	-	-	176	-	-	-
4Am1.21	-	-	-	95	21	38	198	334	189	132	17	72
4Am1.20	135	118	-	103	39	42	195	334	179	130	15	85
4Am1.19	-	106	-	103	20	42	208	343	206	128	19	73
4Am1.18	137	128	-	-	35	47	-	348	181	120	17	74
4Am1.17	-	-	-	-	-	-	-	335	205	-	-	74
4Am1.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.9	120	114	-	96	19	43,5	-	-	190	-	32	75
4Am1.8	136	117	115	105	37	48	209	-	187	120	22	88
4Am1.7	132	112	106	95	18	46	201,5	331	196	122	20	77
4Am1.6	-	115	-	80	43	47,5	226	335	187	120	18	77
4Am1.5	133	122	104	95	26	44	-	334	198	126	19	80
4Am1.4	135	127	-	-	35	49,5	-	346	191	120	16	88
4Am1.3	121	114	-	90	17	41	-	350	212	130	18	69
4Am1.2	132	122	103	94	33	45	192	357	184	125	21	80
4Am1.1	121	113	92	89	-	-	-	351	214	-	15	79
Moyenne	128,61	116,1	104,66	89	27,27	42,9	202,05	334,5	188	125,33	18,45	78,8

Tableau 57 : Mesures sur les empreintes de pieds de la piste 4Am1.

Mains	L _G	L _D	a _G	a _d	Ar	Lr	Z	P	Ap°	L _b
4Am1.51	39	39	67	85	-	-	-	-	-	6
4Am1.50	50	50	62	62	80	204	-	206	93	18
4Am1.49	41	41	76	60	-	-	348	263	-	12
4Am1.48	-	-	-	-	90	-	-	243	-	-
4Am1.47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15
4Am1.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16
4Am1.43	39	39	69	54	-	-	-	-	-	14
4Am1.42	24	29	59	57	65	182	-	223	100	-
4Am1.41	45	45	-	65	72	198	310	186	84	15
4Am1.40	46	60	-	67	78	-	260	204	93	17
4Am1.39	-	-	-	-	-	-	327	247	-	-
4Am1.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Manque de 14 couples	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.22	41	41	51	51	-	-	-	-	-	-
4Am1.21	49	49	76	66	85	223	-	228	89	-
4Am1.20	57	57	65	65	87	229	329	240	87	-
4Am1.19	30	31	73	59	79	211	329	237	97	16
4Am1.18	35	42	65	65	77	208	348	231	84	17
4Am1.17	54	54	-	-	-	-	329	219	-	-
4Am1.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am1.9	37	46	58	58	-	-	-	-	-	18
4Am1.8	50	50	70	63	85	219	-	237	88	15
4Am1.7	32	39	70	70	83	214	327	232	98	20
4Am1.6	41	41	74	74	84	216	349	248	90	13
4Am1.5	27	36	63	63	84	220	335	225	93	20
4Am1.4	54	54	70	70	91	239	346	251	90	15
4Am1.3	30	33	69	69	77	208	361	250	100	19
4Am1.2	35	43	70	70	80	212	363	222	95	9
4Am1.1	36	42	61	61	-	-	346	249	-	8
Moyenne	40,54	43,7	66,74	63	81	213	333,8	232	92,06	15

Tableau 58 : Mesures sur les empreintes de mains de la piste 4Am1.

Cette constatation est ajustée à l'aide des taches d'appui des corps de poissons, qui sont imprimées à côté du gisement 1Am (pl. 9, fig. 1), qui font tordre les fentes de dessiccation dans les zones de leurs bordures et leurs arrachements, dans les zones du centre, dus à la fixation de la boue sur le ventre de l'animal (pl. 9, fig. 2) (fig. 132, pl. 9, fig. 3).

Le processus de la fossilisation des empreintes est réalisé selon les étapes suivantes :

- ☞ Inondation et apport des dépôts d'argiles et limons rouges,
- ☞ Assèchement, dessiccation et formation des polygones de dessiccation,
- ☞ Passage des dinosauriens qui écrasent et déplacent les polygones de dessiccation (gisements 1Am, 1Tg, 2Tg),
- ☞ Nouvelle inondation et un nouveau passage des Sauropodes (gisement 3Am, 4Am),
- ☞ Dépôt d'argiles et boue rouge.

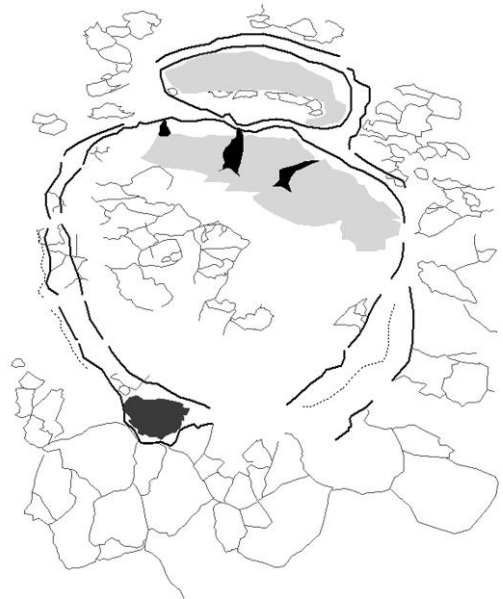


Figure 131: Couple de traces 4Am1.9 et le schéma explicatif des différentes structures y associées.

- Les doigts
- Surfaces de dessiccation déformées
- Polygone éjecté
- ⊗ Polygones de dessiccations
- ~ Fracture de tension

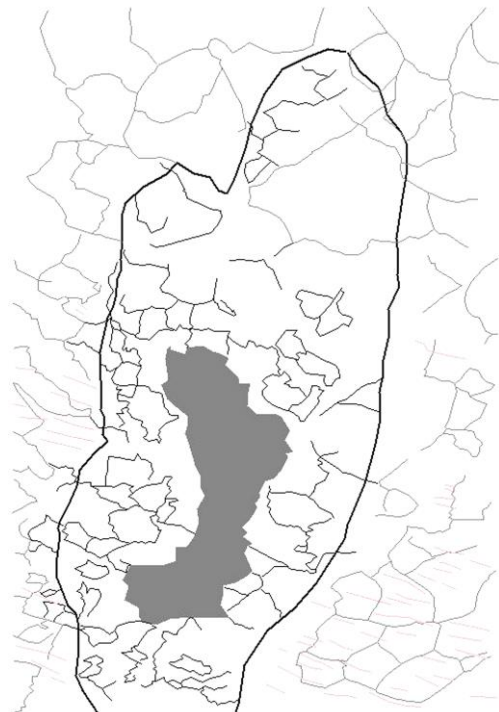


Figure 132 : Compaction des fentes de dessiccation et l'arrachement de la boue par le corps du poisson.

- La partie arrachée de la boue.
- ⊗ Fentes de dessiccation non déformées.
- ⊗ Fentes de dessiccation compactées et tordues.
- ~ Contour de la trace de la partie céphalothoracique de l'animal.
- Ripple-marks.

4- Pistes 4Am2, 4Am3, 4Am4 (fig. 133) :

Il est très difficile de tracer le parcours suivi par les dinosauriens responsables de la formation de ces trois pistes, car une de ces pistes a lieu juste à coté d'une autre, en plus la ressemblance, morphologique et biométrique entre les empreintes, rend leurs discriminations impossibles. Les deux pistes adjacentes sont formées de neuf empreintes émergeant vers le même sens de direction **NNW**.

Les mesures calculées sur le comportement de ces animaux sont reportées dans le tableau ci-dessous (**tab. 59**).

5- Empreintes des pistes 4Am2, 4Am3, 4Am4 :

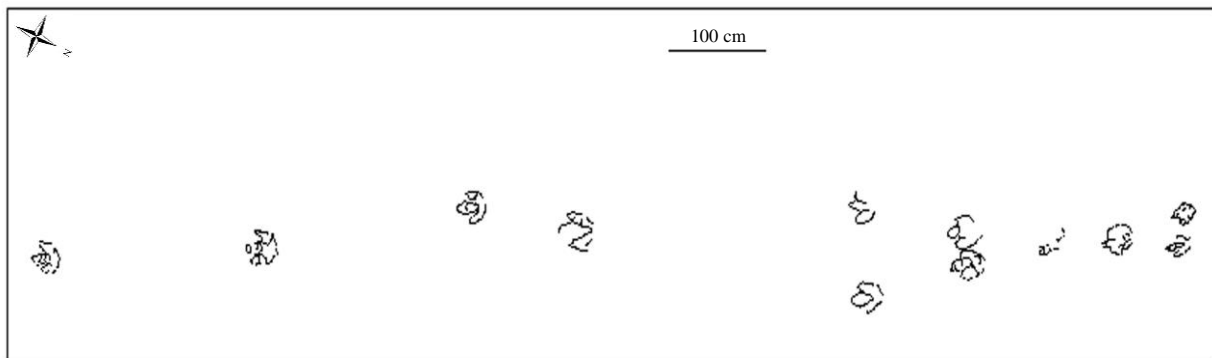


Figure 133 : Trois pistes 4Am2, 4Am3, 4Am4. Gisement 4Am.

Pistes dactyles	4Am2	4Am3	4Am4
<i>Va</i>	-	-	7,05
<i>Vd</i>	-	-	5,22
<i>h</i>	189,32	140,01	150,62
<i>III/Lm</i>	0,49	0,66	0,65
<i>L-a/a</i>	0,24	0,45	0,13
<i>Z/h</i>	-	-	1,50
<i>Z/Lm</i>	-	-	7,36
<i>Ar/a</i>	0,15	0,32	-

Tableau 59 : Valeurs moyennes des différentes mesures réalisées sur les pistes du gisement 4Am.

Les empreintes sont tridactyles et digitigrades d'un animal bipède, parfois elles peuvent être déformées les unes contre les autres (**pl. 9, fig. 4**). Le passage des deux dinosauriens des deux pistes adjacentes (**4Am2, 4Am3**), qui est réalisé pendant deux moments différents, se fait de manière qu'on ne peut plus distinguer les traces propres de chaque piste.

Les doigts sont articulés, les griffes sont mal discernées sauf aux empreintes **4Am2.1** et **4Am3.4**. Le doigt **III**, majeur du pied, montre un dépassement important par rapport aux doigts latéraux.

Les empreintes détruisent les fentes de dessiccation. Les quatre dernières empreintes, situées en haut de deux pistes adjacentes, peuvent être gravées par un autre individu dont les mesures sont différentes aux autres empreintes.

Les mesures biométriques réalisées sur les trois pistes **4Am2**, **4Am3** et **4Am4** sont affichées dans les **tableaux 60**, **61**, **62**. Toutes les mesures et les indications, préalablement citées, attribuent ces pistes à des grands Théropodes de l'ordre : **Saurischia** Seeley, 1887 et sous-ordre : **Theropoda** Marsh, 1881a.

Pieds	L	a	O°	P	Ap°	Ar	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
4Am2.6	-	-	-	-	-	-	-	22	19	-	24	-
4Am2.5	-	33	-	126	170	5	15	16,5	-	8	22	30
4Am2.4	41	-	-	115	-	-	-	-	-	30	-	-
4Am2.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am2.2	-	-	-	116	165	7	-	-	-	-	-	-
4Am2.1	41	27	-	114	-	-	19	22	12	20	19	39
Moyenne	41	30	-	117,75	226,37	6	17	20,16	15,5	19,33	21,66	34,5

Tableau 60 : Mesures sur les empreintes de la piste 4Am2.

Pieds	L	a	O°	P	Ap°	Lr	Ar	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
4Am3.6	38	29	-	-	-	-	-	-	25	-	28	12	40
4Am3.5	44	28	-7	130	164	44	9	18	28	18	28	18	46
4Am3.4	44	30	-	117,5	-	-	-	17	27,5	18	27	12	39
4Am3.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27	-	-	-
4Am3.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am3.1	-	28	-	104	-	-	-	-	31	-	-	-	-
Moyenne	42	28,75	-7	117,6	164	44	9	17,5	27,87	21	27,66	14	41,66

Tableau 61 : Mesures sur les empreintes de la piste 4Am3.

Pieds	L	a	O°	P	Ap°	Ar	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
4Am4.6	30	27	-	-	-	-	-	21	19	10	24	34
4Am4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am4.4	33	29	-	-	-	-	18	18	15	7	21	28
4Am4.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4Am4.2	31	27	-	-	-	-	-	24	12	29	18	47
4Am4.1	-	31	-	127	-	-	17	-	-	-	-	-
Moyenne	31,33	28,5	-	127	-	-	17,5	21	15,33	15,33	21	36,33

Tableau 62 : Mesures sur les empreintes de la piste 4Am4.

6- Piste 4Am5 :

Elle est formée par dix empreintes (**fig. 134**), mal conservées sur des fentes de dessiccation écrasées.

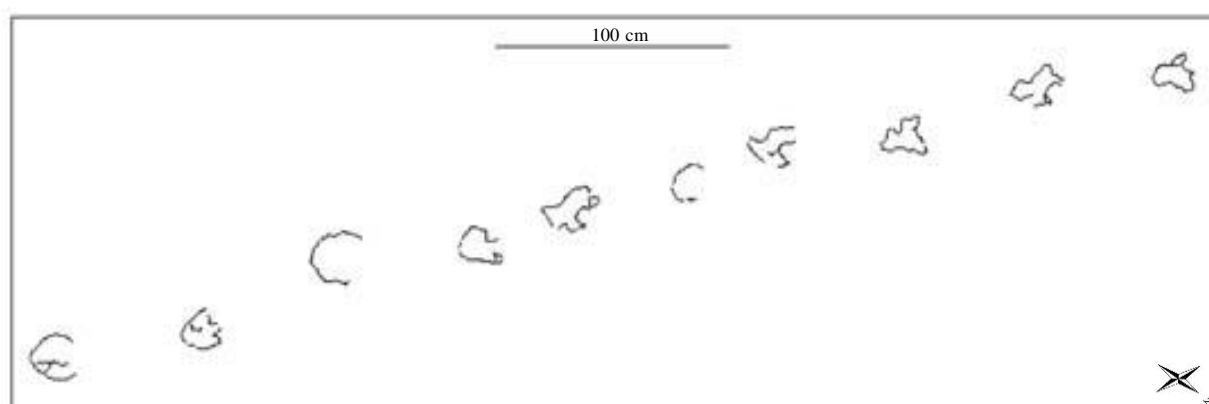


Figure 134 : Piste semi-plantigrade 4Am5, gisement 4Am, Aït Mimoun.

7- Empreintes de la piste 4Am5 :

Ce sont des empreintes tétradactyles avec des doigts mal gravés, des vestiges de trace du hallux (doigt I) et une partie allongée qui indique le métatarse. Ceci indique une piste semi-plantigrade de Théropode carnivore.

e- Cinquième gisement d'Aït Mimoun (5Am) :

1- Piste 5Am1 :

C'est une piste individuelle (**fig. 135**) formée par huit empreintes mal conservées sur le substrat.

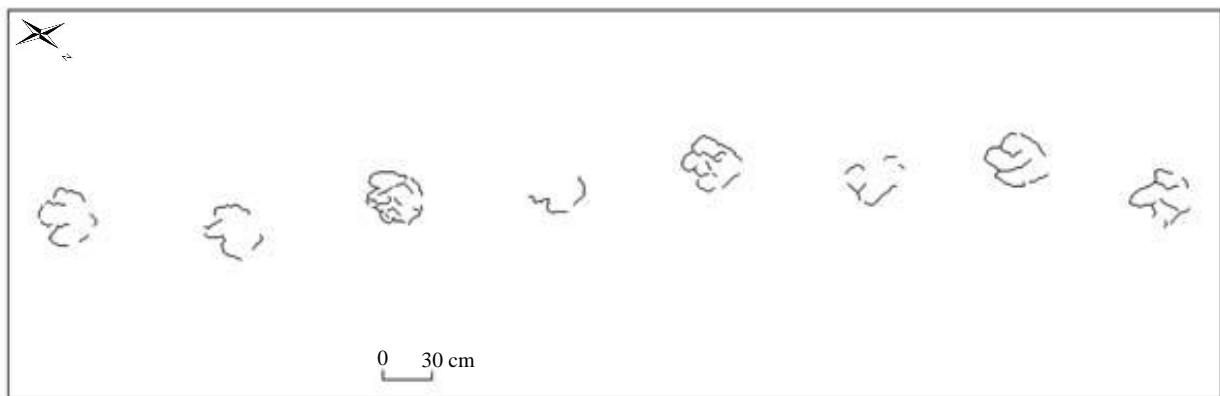


Figure 135 : Gisement 5Am, Aït Mimoun.

Les mesures (**tab. 63**) suggèrent un herbivore de grande taille avec une hauteur de 2,48 m. La vitesse, V_a est égale à 3,44 Km/h, V_d est égale à 3,79 Km/h, une locomotion lente.

Piste	V_a	V_d	h	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
5Am1	3,41	3,79	248,04	0,47	0,07	0,86	5,60	-

Tableau 63 : Valeurs moyennes des différents rapports et mesures, piste 5Am1.

2- Empreintes de la Piste 5Am1 :

Ce sont des empreintes tridactyles, larges et mal conservées sur le substrat, sauf la trace **5Am1.6** où l'on observe une netteté du contour subcirculaire. Elles atteignent une taille qui varie entre une longueur moyenne de 38 cm et une largeur moyenne de 35,5 cm (**tab. 64**). Les doigts sont larges et ronds, ses extrémités distales sont sans griffes, chacun d'eux contient dans son centre un seul coussinet digital, les bordures sont quasi parallèles. Le talon est ample, rond et tapissé par un grand coussinet au centre, qui n'a aucune relation avec les orteils du pied.

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
5Am1.8	38	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46	13	59
5Am1.7	-	-	-	-	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5Am1.6	38	33	-	-	41	214	-	-	10	18	13	10	12	22
5Am1.5	-	-	-	-	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5Am1.4	38	36	-	-	47	212	-	-	12	18	-	32	26	58
5Am1.3	-	-	-	-	43	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5Am1.2	-	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5Am1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Moyenne	38	35,5	-	-	44	213	-	-	11	18	13	29,33	17	46,33
---------	----	------	---	---	----	-----	---	---	----	----	----	-------	----	-------

L'ensemble de ces critères, biométriques et morphologiques, classe cette piste au sein de:

Ordre: **Ornithischia** Seeley, 1888a
 Sous-ordre : **Ornithopoda** Marsh, 1881b

f- Sixième gisement d'Aït Mimoun (6Am) :

Les traces sont imprimées sur le premier niveau paléoichnologique du "Mégagisement" d'Iouaridène, constituant une dalle grés-argileuse, à fentes de dessiccation de pendage 14° vers le **SSE**.

Les empreintes au nombre de dix sont organisées en trois pistes (**fig. 136**) :

Piste **6Am1** à trois empreintes tétradactyles,

Piste **6Am2** à trois petites empreintes tridactyles et digitigrades,

Piste **6Am3**, bien conservée, formée par quatre ichnites tridactyles de petite taille.

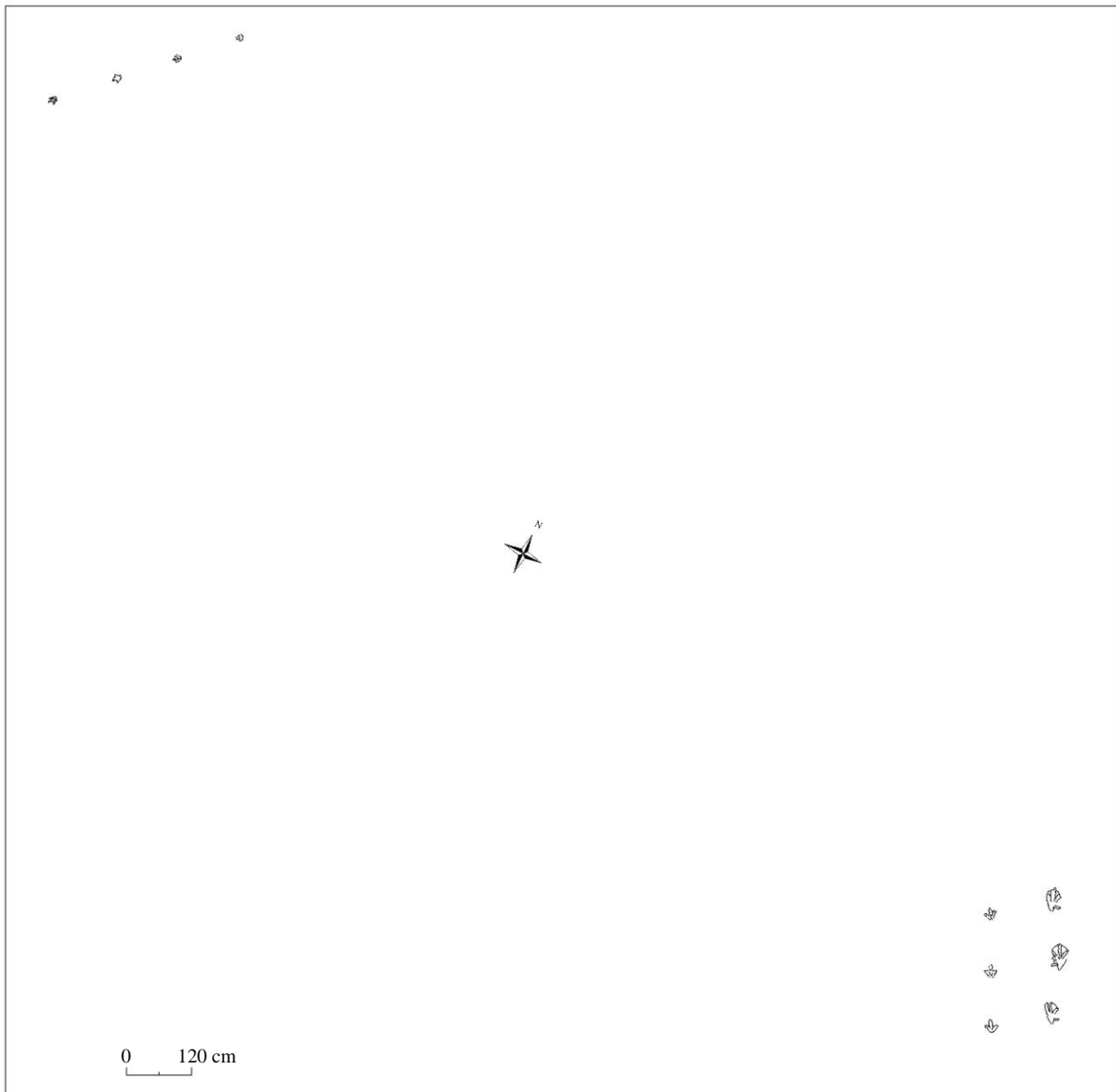


Figure 136 : Gisement 6Am. Cuvette d'Iouaridène.

1- Piste 6Am1 (fig. 137) :

Elle est formée par la succession de trois empreintes, d'un dinosaurien bipède, les extrémités postérieures sont minces. Le rapport Z/h est de 1,45, le rapport $Ar/a = 0,23$ montre que le type de la piste est très étroit, caractérisé par des ichnites empilées sur la ligne médiane de la piste. La vitesse de l'animal varie entre 4,48 Km/h (V_a) et 5,14 Km/h (V_d), ce qui définit une vitesse relativement modérée (tab. 65).

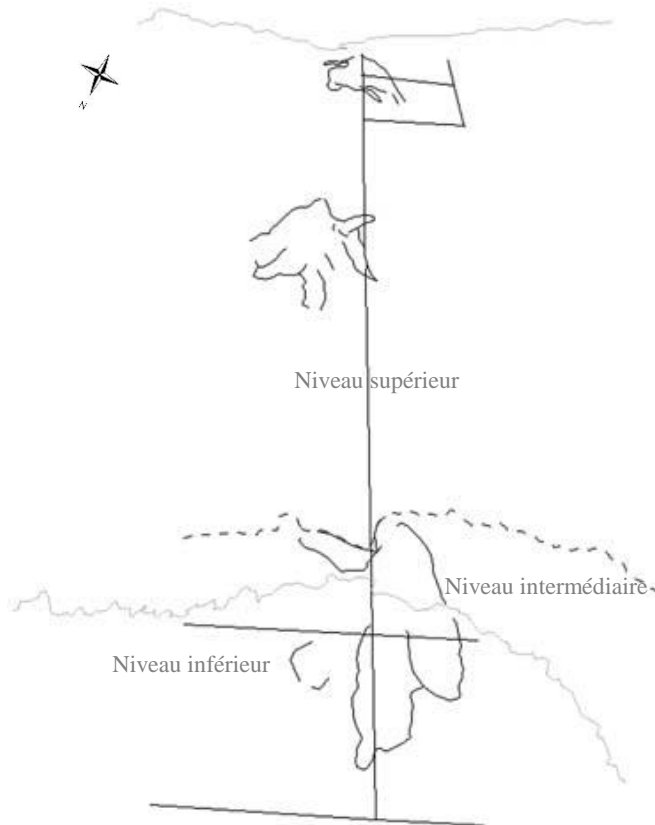


Figure 137 : Trois empreintes de la piste 6Am1.

Piste	V_a	V_d	h	III/L	$(L-a)/a$	Z/h	Z/L_m	Ar/a
6Am1	5,16	4,48	170,71	0,79	0,15	-	6,35	0,26

Tableau 65 : Valeurs moyennes des différents rapports et mesures, piste 6Am1.

2- Empreintes de la piste 6Am1 :

Ce sont des empreintes tétradactyles, semi-plantigrades, caractérisées par des doigts articulés pointus et non séparés à leur base. L'axe du hallux (doigt **I**) est perpendiculaire à l'axe du pied avec une tendance de se diriger vers l'arrière du pied. La forme pointue de la partie métatarsienne (pl. 9, fig. 5) révèle que le pied de l'animal s'enfonce (fig. 138) dans le substrat, pendant la phase W_{b1} qui se distingue par un fort appui, commençant par la partie avant du pied et se terminant par l'appui du métatarse.

L'analyse des empreintes de cette piste est faite sur trois niveaux (fig. 137), un niveau supérieur qui expose les deux premières empreintes 6Am1.1 et 6Am1.2, un niveau intermédiaire qui est touché par le métatarse et le hallux du deuxième pas et un niveau inférieur sur lequel est gravé seulement la partie digitale de la troisième empreinte à contour diffus et faible profondeur.

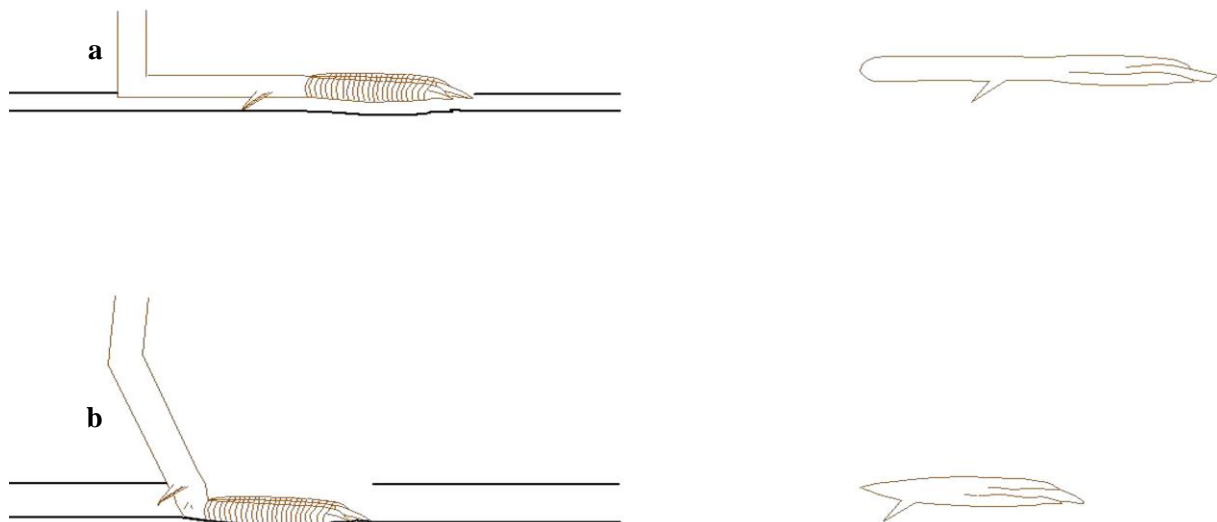


Figure 138 : Comparaison entre une trace produite par un pied semi-plantigrade (a) et une autre créée par un pied digitigrade, qui laisse la marque du métatarse (b). (Aguirrezabala et al. (1980) ; Pérez-Lorente, 1993).

La profondeur des empreintes décroît du niveau supérieur vers le niveau intermédiaire et devient presque nulle dans la partie digitale de la troisième empreinte. On peut avancer le fait suivant : La troisième empreinte **6Am1.3** est une sous impression sur deux niveaux différents, mais cela ne nous permet pas de dire que les autres empreintes sont les vraies moules des pieds de l'animal. L'empreinte **6Am1.2** montre clairement que l'axe du métatarse n'est pas rectiligne avec celui du pied (**pl. 9, fig. 5**). La partie digitale de ces empreintes s'enfonce beaucoup plus sur le substrat, par rapport à la partie réservée au métatarse et au hallux.

D'après Kuban, 1989 la marche plantigrade n'est pas habituellement attribuée à n'importe quel dinosaurien, mais elle reste une conduction spéciale au moment du guet, une marche sur une boue très mouillée ou au moment de prise d'aliments sur sol.

En ce qui concerne les critères biométriques, on a procédé à des mesures sur les empreintes indépendamment de la taille du métatarse afin de permettre le calcul de la hauteur du pied, celle-ci varie entre une valeur qui tient en compte le métatarse, en exprimant la longueur totale de la patte (Thulborn, 1990) et une valeur sans celle du métatarse qui donne la longueur totale du pied. La plupart des ichnites des dinosauriens sont des digitigrades, mais parfois, on observe l'impression totale ou partielle du métatarse et cette particularité est seulement citée chez les dinosauriens tridactyles ou tétradactyles.

La taille moyenne de ces traces oscille entre 32,9 cm de longueur et 28,7 cm de largeur (**tab. 66**).

Tous ces critères classent ces empreintes dans :

Ordre : **Saurischia** Seeley, 1887

Sous-ordre : **Theropoda** Marsh, 1881a

Pieds	L	a	O°	P	Z	Ap°	Lr	Ar	I	II	III	IV	(I^II)°	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
6Am1.3	32,5	27,5	-	-	-	-	-	-	13,5	-	-	-	101	33	17	120
6Am1.2	37,5	32,5	4	110	-	163	42,5	7,5	12,5	-	26,3	-	111	30	43	154
6Am1.1	28,7	26,25	-	103	209	-	-	-	10,5	-	-	-	79	40	12	110
Moyenne	32,9	28,7	4	106	209	164	42,5	7,5	12,2	-	26,3	-	97	34,33	24	128

Tableau 66 : Mesures sur les empreintes de la piste 4Am1.

3- Piste 6Am2 (fig. 139) :

Elle est constituée par trois petites empreintes, orientées vers le **SSW** dans le même sens que la piste **6Am1** (pl. 9, fig. 6). Les rapports et les mesures effectués sur la piste sont reportés dans le tableau ci-dessous (tab. 67).

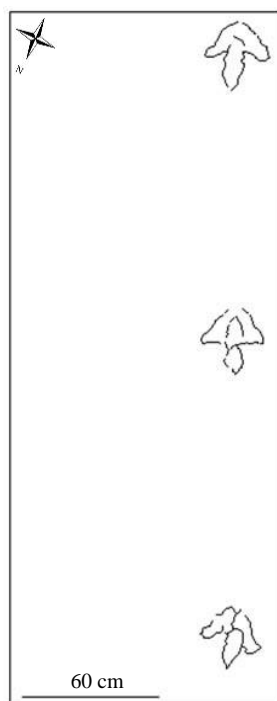


Figure 139 : Piste 6Am2, gisement 6Am, cuvette d'Iouaridène.

Piste	Va	Vd	h	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
6Am2	7,96	5,38	109,87	0,74	-0,0007	1,78	8,97	0,08

Tableau 67 : Valeurs moyennes des différentes mesures réalisées sur la piste du gisement 6Am2.

4- Empreintes de la piste 6Am2 :

Ce sont des empreintes tridactyles d'une longueur moyenne de 23,12 cm. Elles sont caractérisées par la présence des doigts séparés, pointus et non articulés. Le pas moyen est égal à 1m. La trace **6Am2.2** est déposée sur la ligne médiane de la piste, en formant un angle de pas maximal de 178° (tab. 68).

Pieds	L	a	O°	Ar	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
6Am2.3	21,9	22,5	-	-	-	-	-	-	15	-	36	24	60
6Am2.2	-	23,1	3	1,88	-	108	178	-	21,3	-	46	47,5	93,5
6Am2.1	24,4	23,8	-	-	208	100	-	-	19,4	-	45	57,5	102,5
Moyenne	23,1	23,1	3	1,88	208	104	178	-	18,5	-	42,33	43	85,33

Tableau 68 : Mesures sur les empreintes de la piste 6Am2.

La piste est à attribuer à un petit Théropode carnivore de :

Ordre: **Saurischia** Seeley, 1887

Sous-ordre: **Theropoda** Marsh, 1881a

5- Piste 6Am3 :

Elle est formée par quatre petites traces (fig. 140).

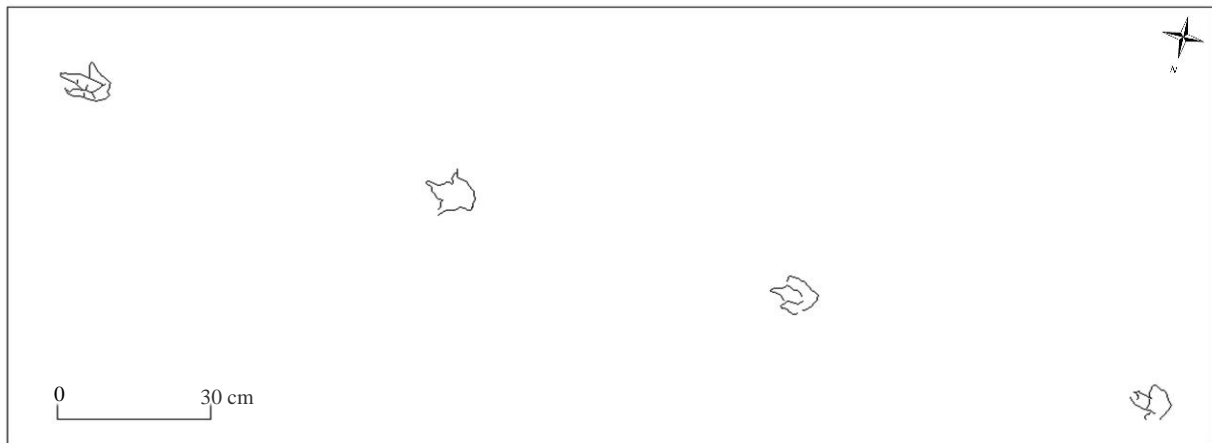


Figure 140 : Piste 6Am3 montrant une succession des traces nettement rectilignes.

La taille de l'acétabule de ce Théropode mesure 71,96 cm, la vitesse, Va égale 17,14 Km/h et Vd de 7,76 Km/h, implique une allure de course (**tab. 69**).

Piste	Va	Vd	h	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
6Am3	17,14	7,76	71,96	0,67	0,15	3,23	14,89	0

Tableau 69 : Valeurs moyennes des différentes mesures réalisées sur les pistes du gisement 6Am3.

6- Empreintes de la piste 6Am3 :

Elles sont les plus petites empreintes de la cuvette d'Iouaridène, elles atteignent une valeur moyenne de 16 cm de longueur et 14,6 cm de largeur (**tab. 70**). La trace **6Am3.1** est bien conservée, les orteils sont séparés, articulés et pointus. Le talon de forme ronde désigne un digitigrade à pas très important (119,4 cm) par rapport à la taille de la hanche.

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
6Am3.4	17,5	14,4	-	-	-	-	-	-	8,75	13,8	8,75	35	41	76
6Am3.3	16,9	16,3	0	0	13,8	239	122	180	5	8,12	5	66	63	129
6Am3.2	15,7	13,1	7,5	0	13,8	236	118	180	7,5	11,3	5	23	24,5	47,5
6Am3.1	13,8	-	-	-	-	-	119	-	4,37	10	-	46	-	-
Moyenne	15,9	14,6	3,75	0	13,8	238	119	180	6,41	10,8	6,25	42,5	42,83	84,16

Tableau 70 : Mesures sur les empreintes de la piste 6Am3.

Les données permettent d'attribuer cette piste à un petit Théropode carnivore de l'ordre : **Saurischia** Seeley, 1887 et sous-ordre : **Theropoda** Marsh, 1881a. Si la piste est celle d'un adulte, elle pourra appartenir à un *Campsognathus* (l'espèce la plus reconnue de ce genre est le *Campsognathus longipe*, qui atteint une taille de 1,25 m et pesant 2 Kg, avec un fémur de 11 cm).

g- Premier gisement du Taghbalout (1Tg) :

Il est constitué par trente sept empreintes ovales, quelques-unes correspondent au passage d'un troupeau de dinosauriens Sauropodes de différentes tailles. Une seule piste, à gauche, est empilée (**1Tg1**).

1- Piste 1Tg1 :

Elle est formée par six couples d'empreintes ovales. Les mesures effectuées (**tab. 71**) indiquent :

☞ Une taille moyenne :

* $h_1 = 240$ cm selon Alexander, 1976.

* $h_2 = 196,8$ cm selon Lockley, 1986.

* $h_3 = 216$ cm selon Ishigaki, 1988.

* $h_4 = 354$ cm selon Thulborn, 1990.

☞ Une distance gléno-acétabulaire variant entre trois valeurs :

* $G_a = 226,25$ cm.

* $G_b = 131,5$ cm.

* $G_c = 99,92$ cm.

La valeur 226,25 cm est l'estimation la plus proche du tronc de l'animal, en tant qu'elle est presque identique à la hauteur de la hanche estimée à 216 cm selon la formule d'Ishigaki, 1988.

☞ La vitesse de l'animal oscille entre 1,9 à 3,72 Km/h (V_a) et 2,84 à 3,79 Km/h (V_d), ce qui implique une vitesse relativement lente.

D'après les combinaisons élaborées par les mesures et les estimations effectuées sur la piste **1Tg1**, on constate que l'animal se déplace simultanément sur les deux jambes du même côté avec une allure amble.

Piste ovale	1Tg1
<i>Va1</i>	3
<i>Va2</i>	3,72
<i>Va3</i>	3,4
<i>Va4</i>	1,9
<i>Vd1</i>	3,45
<i>Vd2</i>	3,79
<i>Vd3</i>	3,64
<i>Vd4</i>	2,84
<i>h1</i>	240
<i>h2</i>	196,8
<i>h3</i>	216
<i>h4</i>	354
<i>Ga</i>	226,25
<i>Gb</i>	131,5
<i>Gc</i>	99,92
<i>L-a/a</i>	59
<i>Z/h1</i>	0,80
<i>Z/h2</i>	0,96
<i>Z/h3</i>	0,89
<i>Z/h4</i>	0,54
<i>Z/Lm</i>	0,16
<i>Ar/a</i>	0,51

Tableau 71: Valeurs moyennes des différentes mesures réalisées sur la piste 1Tg1, gisement 1Tg.

2- Empreintes du gisement 1Tg1 :

La plus petite empreinte du pied a une longueur et une largeur de 47 cm. Les traces de quatre doigts, portés par la patte postérieure, sont bien discernées sur les traces **1Tg1.3** et **1Tg1.5**, en se ressemblant à celles du grand couple de traces, isolé dans le bord droit du

gisement (**1Tg9.1**). Dans l'espace interdigital (**fig. 141**) des doigts, on observe le soulèvement de trois bourrelets interdigitaux.

Généralement, ces empreintes sont en demi-cercle pour les mains, avec la présence d'un seul coussinet au centre. Les pieds sont étirés en arrière en forme d'un triangle (**fig. 142**).

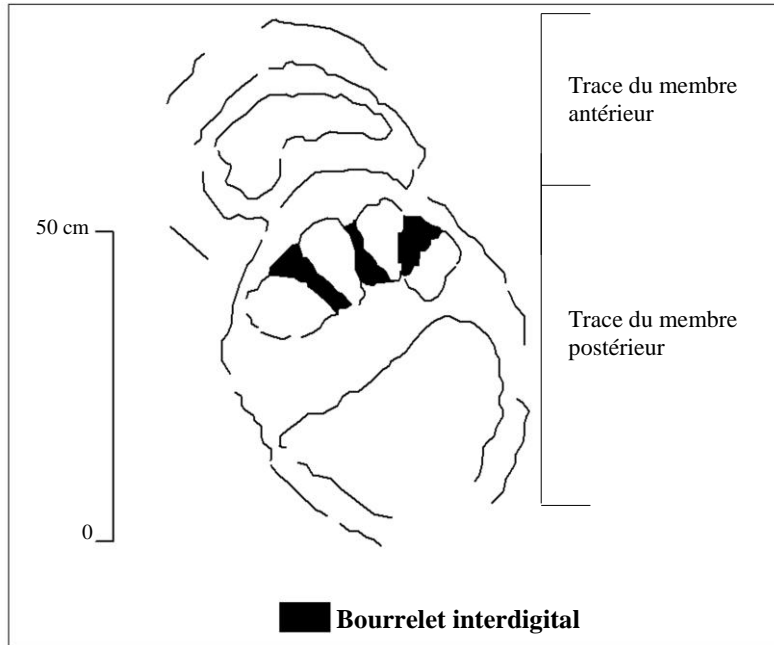


Figure 141 : Couple de traces ovales 1Tg1.4, piste 1Tg1 gisement 1Tg, Taghbalout, synclinal d'Iouaridène.

Les empreintes de ce gisement sont caractérisées par :

- ☞ La brièveté du couple, l'animal son membre postérieur juste derrière le membre antérieur,
- ☞ Les traces du bourrelet postérieur des mains sont confondues avec celles du pied,
- ☞ L'axe de la piste passe par la partie postérieure des empreintes postérieures, par contre les mains sont écartées davantage et l'axe est dirigé vers l'extérieur de la piste,
- ☞ L'enfoncement des empreintes est faible aux alentours du talon du pied,
- ☞ Les empreintes sont généralement orientées vers la même direction, sauf le couple **1Tg9.1** (pl. 10, fig. 1). La même orientation, empruntée par des animaux grégaires, est facilitée par des passages étroits tels que des vallées fluviales, des marges de rivières ou des lignes côtières. D'après Lockley, 1989, il faut deux critères indispensables pour pouvoir déterminer le troupeau :

* En premier lieu, on doit faire la comparaison de la profondeur des empreintes de chaque piste.

Si les empreintes d'animaux sont d'une profondeur semblable, on peut avancer qu'il s'agit d'animaux qui sont passés au même moment donc un troupeau.

Si la profondeur des empreintes varie le long de la piste, on doit penser à des animaux qui sont passés à des intervalles de temps différents même rapprochés à quelques jours ou semaine, tant que le sédiment est induré ou imbibé d'eau pour imprimer les appuis des pieds et des mains.

En ce qui concerne les empreintes de notre gisement (pl. 10, fig. 2), les traces s'enfoncent presque sur la même profondeur, sauf les couples de traces, **1Tg5.1**, **1Tg7.1**, **1Tg9.1**, qui ont une profondeur plus accentuée.

* En deuxième lieu, on doit se référer sur "l'inter-piste" en tant qu'espace latéral qui se situe entre deux pistes adjacentes. Il est régulier entre les ichnites du gisement **1Tg**, sa mesure est inférieure à 2 cm entre (**1Tg1.4**, **1Tg2.4**), (**1Tg2.4**, **1Tg3.1**) et (**1Tg3.1**, **1Tg4.2**) ; mais sa valeur devient assez importante (9 cm) sur l'inter-piste qui sépare la trace **1Tg4.3** de la trace **1Tg7.1**. Ces critères indiquent que le troupeau du gisement **1Tg** est formé seulement par quatre Sauropodes avec un petit situé au centre du troupeau. L'aire de déplacement est très restreinte de 2m 60 maximum, une densité de quatre empreintes de Sauropodes par 1,6 m² ce qui prouve que ces animaux marchent presque serrés les un contre les autres (fig. 142).

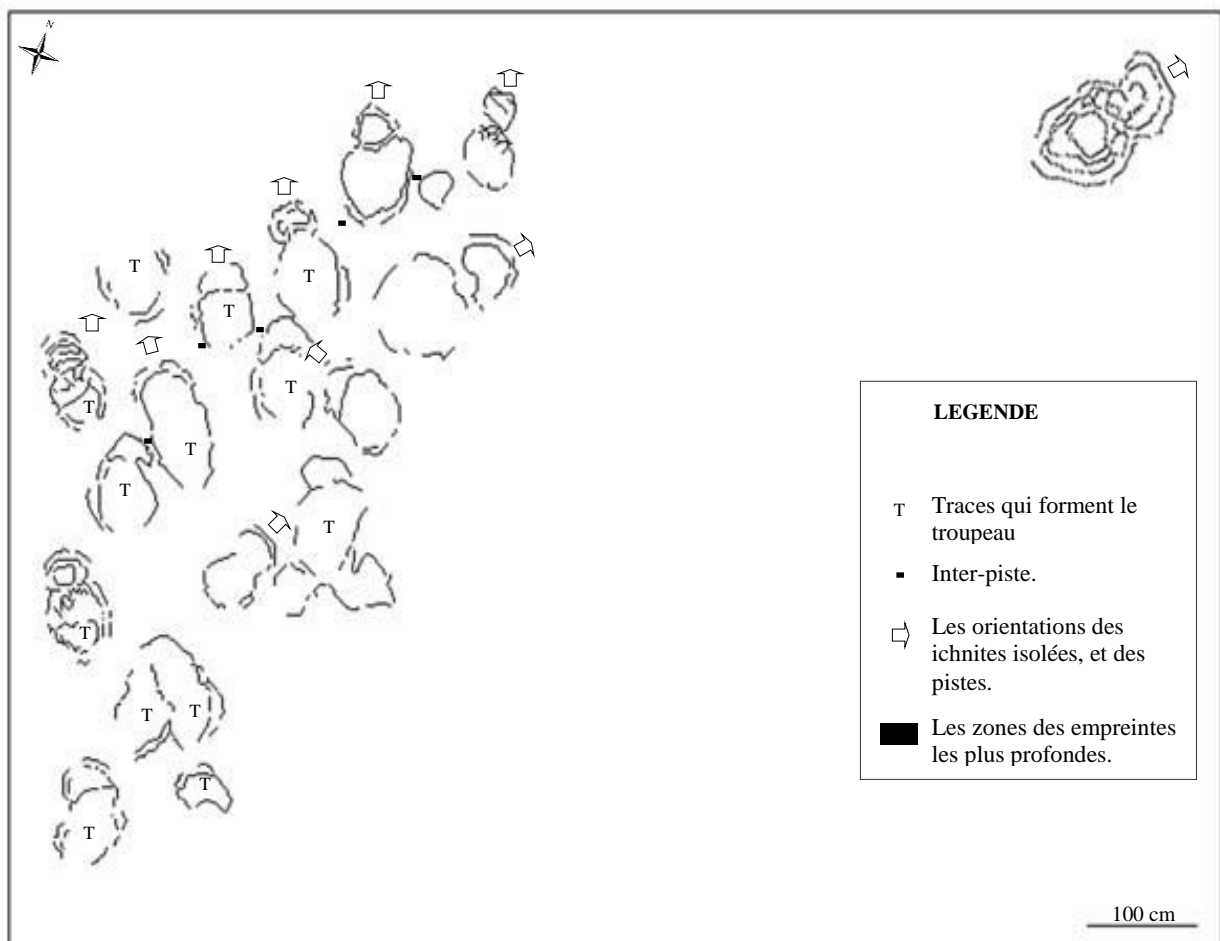


Figure 142 : Différentes empreintes du gisement 1Tg.

☞ Les empreintes postérieures de la piste **1Tg1** mesurent en moyenne 60 cm de longueur et 49,2 cm de largeur. Pour les mains la longueur est de 22,5 cm, la largeur est de 36,2 cm (tab. 72-73).

Ces empreintes sont attribuées à:

***Breviparopus taghbaloutensis* Dutuit et al., 1980.**

Ordre : **Saurischia** Seeley, 1887

Sous-Ordre : **Sauropoda** Marsch, 1878b

Super-famille : **Diplodocoidea** Marsch, 1884

Famille : **Diplodocidae** Marsch, 1884
 Ichno-genre : **Breviparopus** Farlow, 1992

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	pm	L _B
1Tg1.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Tg1.5	61	49	22	24	-	-	115	126	39	9
1Tg1.4	65	52	14	22	97	190	98	130	39	10
1Tg1.3	56	47	14	26,5	103	192	114	122	36	8
1Tg1.2	52	48	11	27	104	192	106	120	33	7
1Tg1.1	66	50	-	-	-	184	105	-	39	11
Moyenne	60	49,2	15,25	24,87	101,3	189,5	107,6	124,5	37,2	9

Tableau 72 : Mesures sur les traces de pieds de la piste 1Tg1.

Mains	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	L _B
1Tg1.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1Tg1.5	22	37	-	30	90	-	-	-	7
1Tg1.4	19	36	-	32	99	-	105	115	4
1Tg1.3	28	40	-	29	91	194	123	114	9
1Tg1.2	-	28	-	-	-	196	113	104	-
1Tg1.1	21	40	-	-	-	180	101	-	7
Moyenne	22,5	36,2	-	30,33	93,33	190	110,5	111	6,75

Tableau 73 : Mesures sur les traces de mains de la piste 1Tg1.

h- Deuxième gisement du Taghbalout (2Tg) :

1- Piste 2Tg1 (fig. 143) :

C'est une piste individuelle, formée par cinq traces, elle appartient à un dinosaurien bipède, d'une taille moyenne mesurant à l'acétabule 139,33 cm de hauteur. La vitesse de locomotion oscille entre une valeur minimale de 4,1 Km/h et une valeur maximale de 4,7 Km/h (tab. 74), l'animal se déplace avec un pas modéré.



Figure 143 : Gisement 2Tg, Taghbalout.

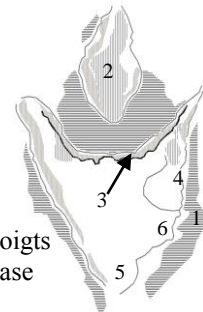
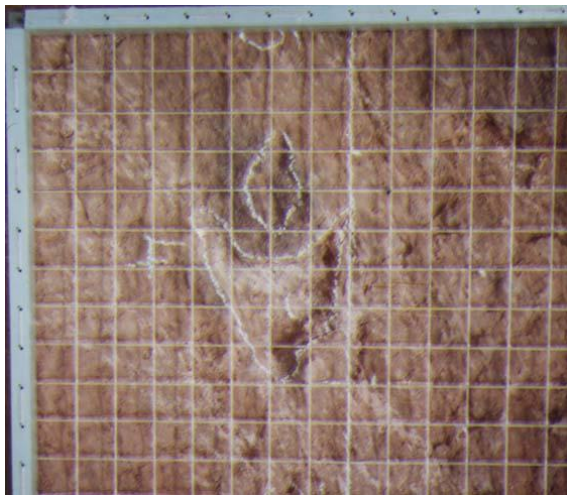
Piste	Va	Vd	h	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
2Tg1	4,72	4,15	139,33	0,41	0,30	1,31	6,22	0,22

Tableau 74 : Valeurs moyennes des différentes mesures réalisées sur les pistes du gisement 2Tg1.

2- Empreintes du gisement 2Tg :

Ce sont des traces tridactyles et digitigrades caractérisées par des doigts séparés à leur base (2Tg1.4, 2Tg1.5). Pour les traces 2Tg1.1, 2Tg1.2 et 2Tg1.3, le doigt III est oblitéré dans la partie proximale du pied, ceci est dû à la chute et le glissement de la boue par les doigts latéraux qui deviennent très écartés (fig. 144, pl. 10, fig. 3). En général, les doigts de ce

reptile sont étroits, articulés et longues pour les traces **2Tg1.4** et **2Tg1.5**. Au niveau des autres empreintes, ils sont mal discernés sur le substrat.



1. Bourelets de la boue.
2. Trou produit par la sortie du pied.
3. Cicatrice produite par l'entrée des doigts latéraux à l'intérieur de la fange (phase **T**, **W**).
4. Parois subverticales.
5. Impression de la partie postérieure du métatarse (final de la phase **T** et début de la phase **W**).
6. Trace du hallux.

Figure 144 : Quelques structures associées à l'empreinte 2Tg1.2 pendant la phase T et W.

Les empreintes, en forme gracile, de cette piste atteignent (**tab. 75**) une taille moyenne de 28,6 cm de longueur et de 20 cm de largeur. L'enjambée de la piste est assez importante (178 cm). Le rapport $L-a/a = 0,38$ indique que l'autopode de l'animal est étroit, la valeur 6,22 laisse supposer que ses extrémités postérieures sont minces et maigres.

L'ensemble de ces critères prouve que ces empreintes appartiennent à un grand Théropode classé dans la taxonomie suivante :

Ordre : **Saurischia** Seeley, 1887
 Sous-ordre : **Theropoda** Marsh, 1881a

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
2Tg1.5	29	20	-	-	-	-	-	-	-	12	-	18	27	45
2Tg1.4	30	23,5	7	6	34,5	-	90	165	-	16	-	36	12	48
2Tg1.3	26	21	5	6	34	179	90	165	-	9	-	44	40	84
2Tg1.2	32	21	7	7	34	179	89	165	-	14	-	30	31	61
2Tg1.1	26	20	-	-	-	176	89	-	10	9	13	43	31	74
Moyenne	28,6	20	6,33	6,33	34	178	89,5	165	10	12	13	34,2	28,2	62,4

Tableau 75 : Mesures sur les empreintes de la piste 2Tg1.

i- Troisième gisement du Taghbalout (3Tg) :

Il est formé par dix neuf empreintes tridactyles (**fig. 145**), appartenant à des dinosauriens bipèdes et digitigrades.

Elles sont éparpillées sur un substrat grés-argileux à mudcracks. D'une manière globale le gisement **3Tg** montre trois pistes :

- ☞ Piste **3Tg1** avec douze empreintes massives, tridactyles orientées vers le Sud,
- ☞ Piste **3Tg2** avec trois empreintes mal conservées dirigées vers l'Ouest,
- ☞ Piste **3Tg3** avec quatre traces tridactyles dirigées vers le **NNE**.

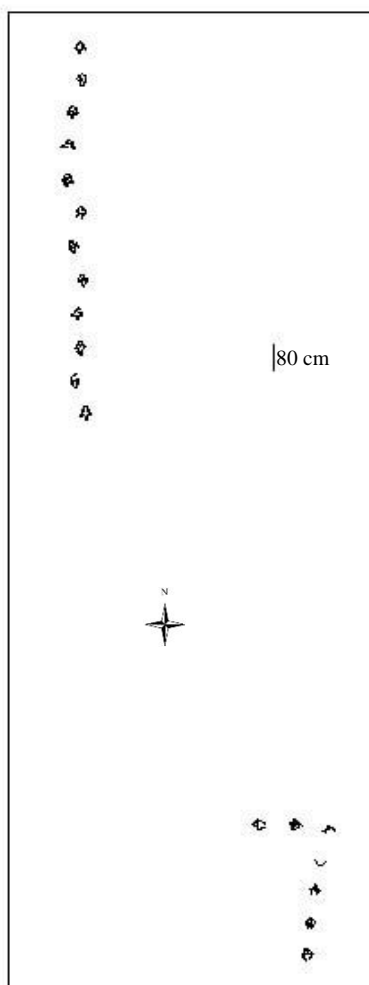


Figure 145 : Disposition des pistes dans le gisement 3Tg.

1- Piste 3Tg1 (fig. 146) :

Elle est caractérisée par un parcours sigmoïde déterminé d'après la valeur de l'angle du pas : Les angles varient entre des valeurs 148° et 180° au niveau de la trace **3Tg1.4**. Cette piste est très étroite par la position de ses traces sur sa ligne médiane ($Ar/a = 0,32$).

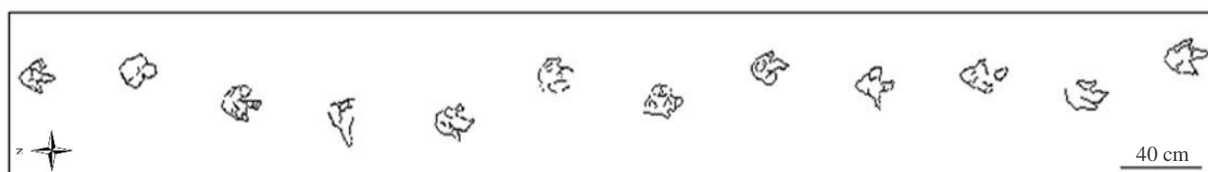


Figure 146 : Piste 3Tg1, cuvette d'Iouaridène.

Les estimations ichnologiques (**tab. 76**) peuvent être rapportées à un grand Théropode, de moyenne taille, d'une acétabule de 173,91 cm et des extrémités postérieures en forme normale.

La vitesse effectuée par l'animal varie entre 5 Km/h (V_a) et 4,41 Km/h (V_d), ce qui suggère un type de vitesse relativement modérée.

Piste	V_a	V_d	h	III/L	$(L-a)/a$	Z/h	Z/L_m	Ar/a
3Tg1	5,1	4,46	173,91	0,54	0,31	1,21	5,56	0,32

Tableau 76 : Valeurs moyennes des différentes mesures réalisées sur la piste 3Tg1 du gisement 3Tg.

2- Empreintes de la piste 3Tg1 :

Ce sont des empreintes tridactyles digitigrades, mesurant 37,7 cm de longueur moyenne avec une largeur moyenne de 28,1 cm (**tab. 77**). Le pied est relativement étroit ($(L-a)/a = 0,31$). L'enjambée est de 209 cm. Du point de vue morphologique, les empreintes sont plus longues que larges, avec trois doigts articulés, pointus et séparés, le doigt **III** présente le majeur du pied, le talon est rond et très rétréci, les griffes ne sont pas imprimées dans le substrat.

Tous ces critères biométriques et morphologiques appartiennent à :

Ordre: **Saurischia** Seeley, 1887

Sous-ordre: **Theropoda** Marsh, 1881a

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
3Tg1.12	41	28	-	-	-	-	-	-	25	-	27	15	43	58
3Tg1.11	40	-	8	9	50	232	130	160	21	24	-	0	-	-
3Tg1.10	-	29	8	6	44	203	104	168	19	-	-	-	-	-
3Tg1.9	38	-	-7	6	46	206	104	168	15	-	-	-	-	-
3Tg1.8	35	26	7	10	52	205	103	157	15	-	24	8	25	33
3Tg1.7	36	28	-9	13	54	207	108	151	-	20	25	0	34	34
3Tg1.6	-	-	-	15	59	210	109	148	-	-	-	-	-	-
3Tg1.5	37	30	14	11	-	208	107	156	20	-	24	-	21	-
3Tg1.4	-	-	-	0	-	208	106	180	-	-	26	-	20	-
3Tg1.3	37	29	-8	5	-	206	103	169	19	-	30	-	28	-
3Tg1.2	35,5	27,5	-	9	43	201	105	160	-	17	27	33	25	58
3Tg1.1	34,5	27	-	-	-	-	99	-	15	-	20	0	35	35
Moyenne	37,71	28,14	1,857	8,4	49,71	208,6	104,6	161,7	18,63	20,33	25,38	9,33	28,875	43,6

Tableau 77 : Mesures sur les empreintes de la piste 3Tg1.

3- Piste 3Tg2 :

C'est une piste bipède constituée par la succession de trois empreintes (**fig. 147**).

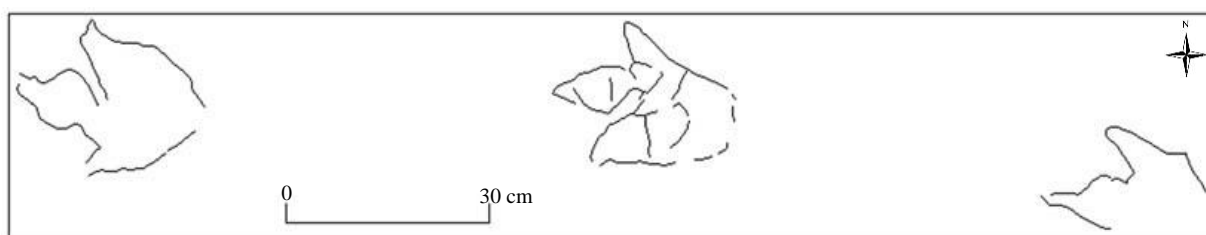


Figure 147 : Piste 3Tg2, gisement de Taghbalout.

D'après les estimations (**tab. 78**) effectuées sur la piste, on peut évaluer que ce dinosaurien est d'une taille moyenne, avec des hanches atteignant 181,44 cm.

Piste	Va	Vd	h	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
3Tg2	-	-	181,44	0,59	0,32	-	5,38	0,14

Tableau 78 : Valeurs moyennes des différentes mesures réalisées sur la piste 3Tg2 du gisement 3Tg.

4- Empreintes de la piste 3Tg2 :

Ce sont des empreintes tridactyles, massives et mal conservées sur le substrat, sauf la trace **3Tg2.2** où l'on a distingué les caractères suivants :

- ☞ Empreintes allongées d'une grande taille ($L = 39$ cm, $a = 29,5$ cm),
- ☞ Talon rond et rétréci indiquant une marche digitigrade,
- ☞ Doigts articulés, séparés et massifs ne présentent pas des traces de griffes.

Ces empreintes traduisent un pas moyen de 1,05 m et un grand angle ($Ap = 173^\circ$) (tab. 79).

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
3Tg2.3	39	30	-	-	-	-	-	-	22	23	13	26	55	81
3Tg2.2	39	29	-	4	-	-	112	173	-	-	-	-	-	-
3Tg2.1	-	-	-	-	-	210	98	-	-	-	-	-	-	-
Moyenne	39	29,5	-	4	-	210	105	173	22	23	13	26	55	81

Tableau 79 : Mesures sur les empreintes de la piste 3Tg2.

La piste est à attribuer à un grand Théropode:

Ordre: **Saurischia** Seeley, 1887

Sous-ordre: **Theropoda** Marsh, 1881a

5- Piste 3Tg3 (fig. 148) :

La piste **3Tg3** est caractérisée par l'empilement de quatre empreintes. D'après la valeur estimée sur le rapport Z/h , le dinosaurien est adapté à la marche, ses hanches atteignent une hauteur de 175,5 cm, (tab. 80). La vitesse de locomotion $Va = 4,7$ Km/h et $Vd = 4,2$ Km/h, les deux valeurs sont à situer dans un intervalle de 4 Km/h et 5 Km/h, donc une allure modérée.

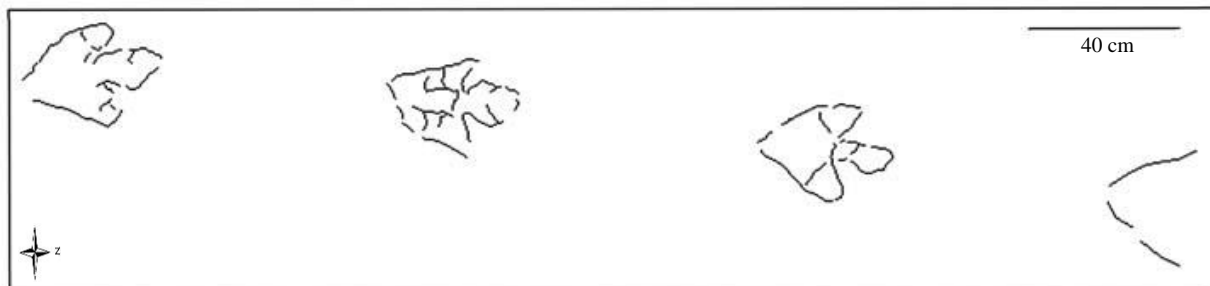


Figure 148 : Piste 3Tg3, gisement de Taghbalout.

Piste	Va	Vd	h	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
3Ta3	4,7	4,25	175,49	0,48	0,27	1,15	5,43	0,13

Tableau 80 : Valeurs moyennes des différentes mesures réalisées sur la piste 3Tg3 du gisement 3Tg.

6- Empreintes de la piste 3Tg3 :

Elles sont tridactyles, digitigrades, de 37,5 cm de longueur et 30 cm de largeur (tab. 81). Une forme allongée, avec un talon pointu et des orteils séparés, articulés et robustes avec un dépassement remarquable du doigt **III**, par rapport aux doigts latéraux du pied (pl. 10, fig. 4).

Ces empreintes appartiennent à un grand Théropode :

Ordre: **Saurischia** Seeley, 1887

Sous-ordre: **Theropoda** Marsh, 1881a

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
3Tg3.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3Tg3.3	38	30	9	5	-	-	96	169	11	18	11	48	25	73
3Tg3.2	37	29	7	3	27	200	106	175	17	18	-	28	18	46
3Tg3.1	-	31	-	-	-	207	102	-	-	21	-	37	25	62
Moyenne	37,5	30	8	4	27	203,5	101,3	172	14	14,25	11	37,66	22,66	60,33

Tableau 81 : Mesures sur les empreintes de la piste 3Tg3.

j- Premier gisement du Tirika (1Ti) :

Il présente des ichnites en forme ovales, imprimées par des reptiles quadrupèdes de grandes tailles ; parfois des couples de traces ovales de grandes tailles, isolés et distants (pl. 10, fig. 5). Il est constitué par 17 empreintes (pl. 10, fig. 6) dispersées entre pied et main. Ce gisement, qui porte deux pistes et une trace isolée (fig. 149), est gravé sur un substrat grés-argileux à fentes de dessiccation.

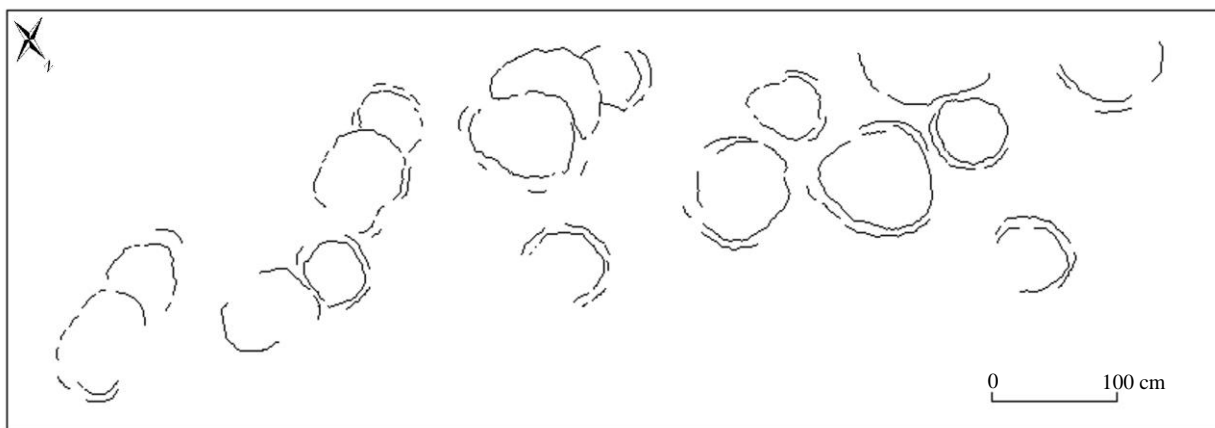


Figure 149 : Gisement 1Ti, Tirika. Synclinal d'Iouaridène.

1- Piste 1Ti1 :

Elle contient 9 empreintes, correspondant à quatre paires de pied-main.

D'après les mesures biométriques effectuées sur la piste (tab. 82-83), le rapport Ar/a est égal à 0,39 pour les empreintes de membres postérieurs et 0,6 pour les empreintes de membres antérieurs, donc la piste de mains est plus large que celle de pieds. L'amplitude de la piste de mains est 37,37 cm et celle de pieds est 26,25 cm, en effet que le centre des deux autopodes ne se situe pas exactement à la même distance de la ligne médiane.

La piste **1Ti1** appartient à l'ichno-genre *Breviparopus* ou *Parabrontopodus* (Lockley et al., 1994).

Pour les membres : Le rapport (Z/Lm) est plus important dans les membres antérieurs que dans les membres postérieurs (Z/Lm main = 5,8 ; Z/Lm pied = 3,24), alors les extrémités antérieures ont une forme normale, contrairement aux extrémités postérieures qui sont minces.

Pour les estimations, suggérées de la piste **1Ti1**, sont :

☞ Le calcul de la hauteur des hanches postérieures selon les différentes formules proposées par divers auteurs, est de :

- * $h_1 = 327,5$ cm selon Alexander, 1976.
- * $h_2 = 286$ cm selon Lockley, 1986.
- * $h_3 = 294,8$ cm selon Ishigaki, 1988.
- * $h_4 = 483,1$ cm selon Thulborn, 1990.

☞ Le calcul de la distance gléno-acétabulaire (Léonardi, 1987 ; Farlow et al., 1989) est de :

- * $G_a = 193,8$ cm.
- * $G_b = 250$ cm.
- * $G_c = 318$ cm.

La valeur 318 cm est l'estimation la plus proche du tronc de l'animal, en tant qu'elle est presque identique à la hauteur de la hanche estimée à 327,5 cm selon la formule d'Alexander, 1976.

Piste ovale	1Ti1
<i>Va1</i>	3,6
<i>Va2</i>	4,20
<i>Va3</i>	4,1
<i>Va4</i>	2,28
<i>Vd1</i>	4,1
<i>Vd2</i>	4,4
<i>Vd3</i>	4,3
<i>Vd4</i>	3,4
<i>h1</i>	328
<i>h2</i>	286
<i>h3</i>	294,8
<i>h4</i>	483,1
<i>Ga</i>	193,8
<i>Gb</i>	250
<i>Gc</i>	318
<i>L-a/a</i>	0,18
<i>Z/h1</i>	0,81
<i>Z/h2</i>	0,93
<i>Z/h3</i>	0,9
<i>Z/h4</i>	0,55
<i>Z/Lm</i>	3,24
<i>Ar/a</i>	0,4

Tableau 82 : Valeurs moyennes des différentes estimations réalisées sur les empreintes de pieds de la piste 1Ti1.

Mains	Z/L	Ar/a	(L-a)/a
1 Ti1.4	-	0,67	0,54
1 Ti1.3	6,61	0,57	-0,32
1 Ti1.2	5,1	0,78	-0,09
1 Ti1.1	-	-	-
Moyenne	5,85	0,67	0,13

Tableau 83 : Valeurs moyennes des différentes mesures réalisées sur les empreintes de mains de la piste 1Ti1.

☞ La vitesse calculée oscille entre 2,27 et 4,2 Km/h pour Va, Vd varie entre 3,38 et 4,39 Km/h, donc un déplacement d'une façon modérée.

2- Empreintes de la piste 1Ti1 :

Ce sont des empreintes ovales, organisées en couple constitué par deux éléments :

☞ Pieds : Empreintes, atteignent une taille moyenne de 81,88 cm de longueur et 71,56 cm de largeur (**tab. 84**). Leur configuration rectangulaire est différente de celle des Aït Mimoun (**4Am**) et de Taghbalout (**1Tg**). Le bourrelet est assez développé, il piétine les traces de membres antérieurs, en déterminant la brièveté du couple. Les traces de doigts ne sont pas imprimées sur le substrat.

☞ Mains : Empreintes d'une taille moyenne de 43,33 cm de longueur et 65,31 cm de largeur (**tab. 85**), elles ont une forme en arc d'un demi-cercle et elles sont formées par un seul coussinet au centre.

Ces empreintes appartiennent à un grand reptile herbivore:

Ordre : **Saurischia** Seeley, 1887

Sous-Ordre : **Sauropoda** Marsch, 1878b

Super-famille : **Diplodocoidea** Marsch, 1884

Famille : **Diplodocidae** Marsch, 1884

Ichno-genre : **Breviparopus** Farlow, 1992

Pieds	L	a	Ar	Lr	Z	P	Ap°
1 Ti1.4	75	92,5	-	-	-	150	-
1 Ti1.3	80	70	25	126,3	267,5	137,5	138,5
1 Ti1.2	83,75	61,25	27,5	123,8	263,8	148,75	135
1 Ti1.1	88,75	62,5	-	-	-	-	-
Moyenne	81,88	71,56	26,25	125	265,6	145,42	136,

Tableau 84 : Mesures sur la piste de pieds 1Ti1.

Mains	L	a	Ar	Lr	Z	P	Ap°
1 Ti1.4	-	57,5	-	-	-	162,5	-
1 Ti1.3	48,75	53,75	42,75	140	248,75	140	110,2
1 Ti1.2	38,75	57,5	33	136,25	256,25	151,25	123,5
1 Ti1.1	42,5	92,5	-	-	-	-	-
Moyenne	43,33	65,31	37,25	138,12	252,5	151,25	116,85

Tableau 85 : Mesures sur la piste de mains 1Ti1.

3- Piste 1Ti2 :

Elle est formée par sept empreintes ovales (pieds et mains), orientées vers la même direction de la piste **1Ti1**.

Les estimations n'ont pu être faites que pour la hauteur du membre estimée selon les formules de divers auteurs à :

* h1 = 352,5 cm selon Alexander, 1976.

* h2 = 342 cm selon Lockley, 1986.

* h3 = 317,25 cm selon Ishigaki, 1988.

* h4 = 519,93 cm selon Thulborn, 1990.

4- Empreintes de la piste 1Ti2 :

Elles sont formées en couple de traces pied-main avec quatre traces de pieds et trois traces de mains. La succession des empreintes est marquée par le manque de deux marques du pied et trois de la main.

Les empreintes postérieures mesurent 88,12 cm de longueur moyenne et 85,5 de largeur moyenne (**tab. 86**), l'exagération de la taille de la trace **1Ti2.4p** ne pourrait être due que par le glissement du pied de l'animal. Les empreintes de mains mesurent 55 cm de longueur et 59,58 cm de largeur (**tab. 87**).

Du point de vue morphologique, les empreintes postérieures ont une forme rectangulaire, avec la netteté du bourrelet au alentour du talon ; les empreintes antérieures sont en forme d'un arc en demi-cercle.

Ces empreintes appartiennent à un grand reptile herbivore de :

Ordre : **Saurischia** Seeley, 1887

Sous-Ordre : **Sauropoda** Marsch, 1878b

Super-famille : **Diplodocoidea** Marsch, 1884

Famille : **Diplodocidae** Marsch, 1884

Ichno-genre : **Parabrontopodus** Lockley et al., 1994

Pieds	L	a	P
1 Ti2.6	-	-	-
1 Ti2.5	-	-	-
1 Ti2.4	88,5	73,5	-
1 Ti2.3	88,75	97,5	113,75
1 Ti2.2	-	-	-
1 Ti2.1	-	-	-
Moyenne	88,12	85,5	113,75

Tableau 86 : Mesures sur les empreintes de la piste de pieds 1Ti2.

Mains	L	A	Ar	Lr	Z	P	Ap°	O°
1 Ti2.6	-	-	-	-	-	-	-	-
1 Ti2.5	-	-	-	-	-	-	-	-
1 Ti2.4	57,5	61,25	-	-	-	-	-	-
1 Ti2.3	52,5	56,25	33,75	120,62	370	158,75	138	16
1 Ti2.2	-	-	-	-	-	-	-	-
1 Ti2.1	-	61,25	-	-	-	-	-	-
Moyenne	55	59,75	33,75	120,62	370	158,75	138	16

Tableau 87 : Mesures sur les empreintes de la piste de mains 1Ti2.

k- Deuxième gisement du Tirika (2Ti) :

Il est formé par dix empreintes dactylés, disséminées en deux pistes orientées dans des sens opposés (fig. 150).

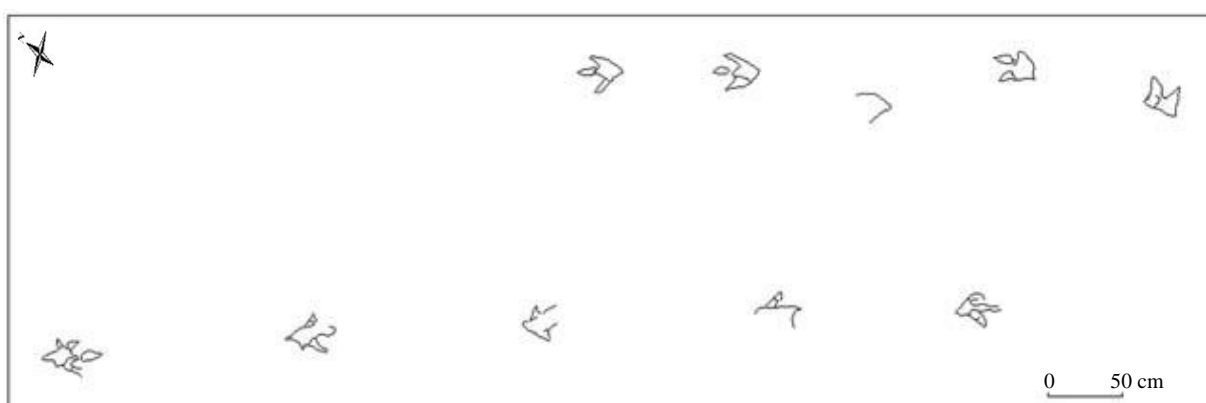


Figure 150 : Gisement 2Ti, Tirika. Synclinal d'Iouaridène.

Il est gravé sur un substrat grés-argileux à fentes de dessiccation formées antérieurement aux empreintes.

1- Piste 2Ti1 :

Elle est formée par cinq traces, empilées dans un parcours étroit ($Ar/a = 0,40$). Le rapport moyen (enjambée/Longueur moyenne du pied) est égal à 5,9. La valeur 1,2 montre que l'animal est adapté à la marche et la valeur de la hauteur de l'extrémité postérieure $h = 146$ cm (**tab. 88**) ne peut définir que un grand Théropode.

Piste	Va	Vd	H	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
2Ti1	4,78	4,15	146	0,45	0,21	2,64	5,9	0,40

Tableau 88 : Valeurs moyennes des différentes estimations réalisées sur la piste 2Ti2 du gisement 2Ti.

2- Empreintes de la piste 2Ti1 :

Elles sont des empreintes digitigrades tridactyles, les traces **1Ti1.4** et **1Ti1.5** montrent des bordures nettes et claires, trois traces ne sont pas bien conservées.

Les doigts de ce reptile sont larges et relativement longs, les coussinets digitaux ne sont pas bien marqués dans le sol, mais on peut remarquer trois coussinets au niveau du doigt **III**, des traces **1Ti1.2**, **1Ti1.4**, **1Ti1.5**. Le doigt **III** ne présente pas un dépassement important par rapport aux doigts latéraux (doigt **II** et doigt **IV**) de l'empreinte et sa partie proximale tend à se séparer du sol. Elles atteignent une longueur moyenne de 30,16 cm et une largeur moyenne de 24,79 cm (**tab. 89**), le rapport $L-a/a$ est égal à 0,21 implique que l'autopode du dinosaurien est étroit.

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
2Ti1.5	30	25	-	-	-	-	91,25	-	8,75	13,75	11,87	24	47	71
2Ti1.4	30	23,75	-9,5	6,25	-	180	91,25	165	13,75	13,78	13,75	29	30	59
2Ti1.3	-	-	-	11,87	-	182,5	98,75	151	-	-	-	-	-	-
2Ti1.2	30	-	22	11,87	-	173,75	82,5	149	11,25	13,75	-	48	-	-
2Ti1.1	30	25,62	-	-	-	-	-	-	11,25	13,75	-	48	-	-
Moyenne	30	24,79	12,5	10	-	178,75	90,93	155	11,25	13,75	12,81	37,25	38,5	65

Tableau 89 : Mesures sur les empreintes de la piste 2Ti1.

La trace **2Ti1.4** montre l'oblitération du doigt **III** de l'empreinte du pied (**fig. 151 ; pl. 10, fig. 7**), qui est due à la chute de la boue après la phase **K**.

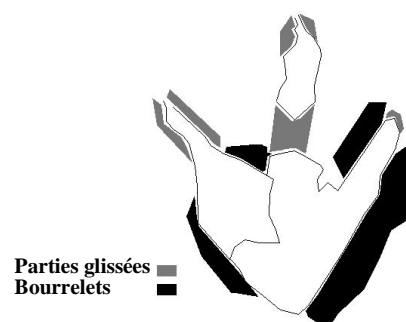


Figure 151 : Trace tridactyle montre la séparation du doigt III du pied et le rétrécissement des parties distales des doigts. Gisement 2Ti (synclinal d'Iouaridène).

Ces empreintes sont attribuables à un grand dinosaurien :

Ordre: **Saurischia** Seeley, 1887

Sous-ordre: **Theropoda** Marsh, 1881a

3-Piste 2Ti2 :

Elle est constituée par cinq empreintes, d'un dinosaurien bipède. La forme de ses extrémités postérieures est très mince ($Z/Lm = 12,6$), la vitesse s'alterne entre 15,2 Km/h (Va) et 7,86 Km/h (Vd), il s'agit d'un animal adapté à la course (**tab. 90**).

Piste	Va	Vd	H	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
2Ti2	15,2	7,86	113	0,59	-0,15	2,64	5,43	12,6

Tableau 90 : Valeurs moyennes des différentes estimations réalisées sur la piste 2Ti2 du gisement 2Ti.

4- Empreintes de la piste 2Ti2 :

Ce sont des empreintes tétradactyles, d'un dinosaurien semi-plantigrade. Les impressions **2Ti2.3** et **2Ti2.4** sont mal conservées. L'axe du métatarse n'a pas une continuation avec celui du pied, les coussinets digitaux sont nombreux, au minimum deux par doigt, le talon est presque pincé à la partie distale.

Les doigts sont relativement séparés avec des terminaisons pointilleuses. L'impression du doigt **III**, constituant le majeur du pied, montre une taille énorme par rapport aux autres doigts (**I** = 6,35 cm, **II** = 10,62 cm, **III** = 14,06 cm, **IV** = 10,62 cm).

Le hallux est latéral et de direction subperpendiculaire à l'axe de l'empreinte. L'angle $II^{\wedge}III$ est plus faible que $III^{\wedge}IV$ ($II^{\wedge}III = 30$; $III^{\wedge}IV = 35,67^{\circ}$) ce qui exprime une meilleure cohésion entre le doigt **III** et **IV** (en forme de V), il est faible entre le doigt **II** et **III** (en forme de U), donc le doigt **II** a tendance à la séparation puis à la réduction (**tab. 91**).

Pieds	L	a	O°	P	Z	Ap°	Lr	Ar	I	II	III	IV	(I^II)°	(II^III)°	(III^IV)°	(I^IV)°
2Ti2.5	-	21,87	-	183	-	-	-	-	-	10	-	13	-	-	-	-
2Ti2.4	-	-	-	151	279	180	-	1,25	-	-	-	10	-	-	-	-
2Ti2.3	-	-	-	154	-	175	-	2,5	8,75	-	-	-	-	-	-	-
2Ti2.2	21,2	25	-	160	314	177	-	1,87	4,69	12,5	13,1	8,75	71	33	46	150
2Ti2.1	26,2	-	1,75	-	-	-	-	-	5,62	9,37	15	-	96	25	28	149
Moyenne	23,7	23,7	1,75	148	299	177	-	1,87	6,35	10,6	14	10	83,5	29	37	128

Tableau 91 : Mesures sur les empreintes de la piste 2Ti1.

Le comportement de l'appui de l'autopode de l'animal est effectué sur un substrat argileux craquelé à fentes de dessiccation qui sont soulevées dans les zones de pointes de doigts mais intactes aux alentours du talon.

Dans les empreintes **2Ti2.1** et **2Ti2.2**, la boue est éjectée entre les zones interdigitaux des doigts **II**, **III** et **IV**, en provoquant l'oblitération du doigt **III** (**fig. 152, pl. 11, fig. 1**).

Sur l'empreinte **2Ti2.1**, on peut reconstituer les différentes phases d'étapes du contact du pied-substrat :

☞ La phase **T "touch-down"** commence dès le contact du pied avec le sol, ensuite le pied s'enfonce dans la boue, en imprimant la trace du métatarse et du hallux,

☞ La phase **W "weight-bearing"** exprime le moment de l'appui maximal du pied sur le substrat, et le glissement, du pied vers l'avant, prouvé par le soulèvement des polygones de dessiccation dans les parties pointilleuses des doigts,

☞ La phase **K "kick-off"** exprime le moment du soulèvement et la sortie du pied de la fange qui se concentre dans les parties interdigitales, en provoquant l'oblitération de la trace du doigt **III**. Il est probable, que le glissement de l'autopode de l'animal est effectué vers l'avant (phase **W**) et la concentration de la boue dans les zones interdigitales sont pour l'augmentation de la vitesse de la marche de l'animal.

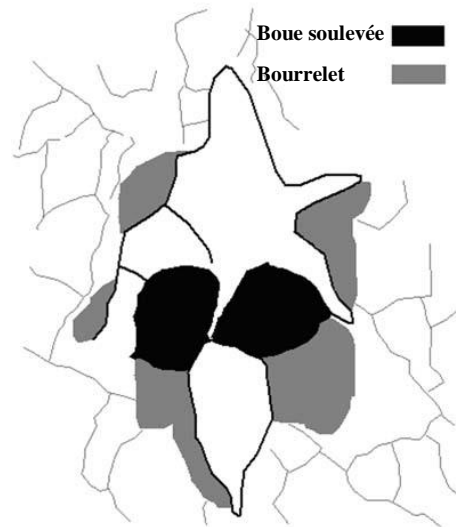


Figure 152 : Trace tétradactyle d'un dinosaure semi-plantigrade, montrant la concentration de la boue au sein de la zone des hypex. Gisement de Tirika 2Ti (cuvette d'Iouaridène).

On peut déterminer, d'après le **Tableau 92** un ensemble des critères typiques et spécifiques :

☞ La longueur et la largeur de l'autopode sont quasiment égales, autrement dit, les mesures réalisées sur la longueur ne prennent guère les dimensions du métatarse,

☞ La longueur du métatarse est quasi équivalente à celle de la somme des phalanges du doigt **III** (la longueur du métatarse = 13,33 cm ; la longueur du doigt **III** = 14,06 cm),

☞ L'enjambée est très importante $Z = 298,75$ cm par rapport à la piste adjacente, malgré qu'elle se compose de traces digitigrades, ainsi la longueur du pas a une valeur très élevée (148,44).

Numéro des empreintes	Longitude du pied sans métatarse	Longitude de la partie appuyée du métatarse
2Ti2.3	-	12,5
2Ti2.2	21,25	13,75
2Ti2.1	26,25	13,75
Moyen	23,75	13,33

Tableau 92 : Longueur du métatarse par rapport à la longueur du pied.

Ces empreintes sont attribuables à un grand dinosaure, classé dans la taxinomie suivante :

Ordre: **Saurischia** Seeley, 1887
 Sous-ordre: **Theropoda** Marsh, 1881a

1- Troisième gisement du Tirika (3Ti) :

Il est formé par treize empreintes tridactyles et trois empreintes ovales (**fig. 153**), dispersées sur quatre pistes:

- ☞ **3Ti1** avec cinq empreintes tridactyles, orientées vers **N54E**,
- ☞ **3Ti2** constituant une piste ovale,
- ☞ **3Ti3** avec trois impressions,
- ☞ **3Ti4** avec trois empreintes tridactyles.

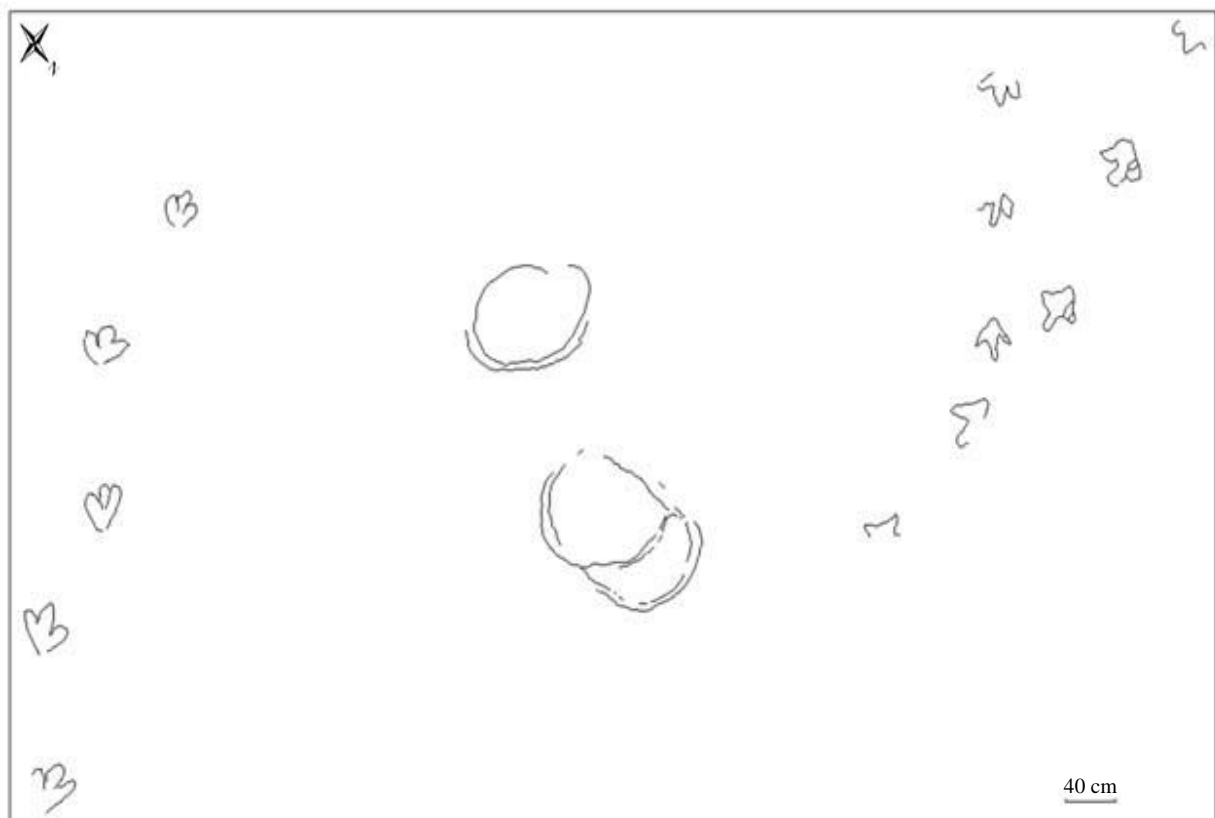


Figure 153 : Gisement 3Ti.

1- Piste 3Ti1 :

La voie prise par l'animal est étroite, du fait que $Ar/a = 0,42$. Les extrémités postérieures sont étroites puisque le rapport Enjambée/Longueur moyenne du pied est de 7,15. La hauteur des membres postérieurs présente une valeur importante ($h = 205,6$ cm). La vitesse calculée s'alterne entre $Va = 4,81$ Km/h et $Vd = 4,46$ Km/h, ce qui traduit un bipède à vitesse très modérée, le rapport Z/h égale à 0,99 implique un bon marcheur (**tab. 93**).

Piste	Va	Vd	h	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
3Ti1	4,81	4,46	205,6	0,62	0,003	1	7,63	0,5

Tableau 93 : Valeurs moyennes des différentes mesures réalisées sur les empreintes de pieds de la piste 3Ti1.

2- Empreintes de la piste 3Ti1 :

La valeur moyenne (**tab. 94**) de la longueur des empreintes (31,4 cm) est approximativement égale à celle de la largeur (31,3 cm). Les traces de doigts et leurs pointes sont rondes, proches l'un auprès de l'autre, chacun d'eux est désigné par un seul coussinet digital, le talon n'est pas bien marqué sur la dalle, mais au niveau de l'ichnite **3Ti1.4**, il a une forme ronde.

Ces empreintes sont attribuables à un grand dinosaurien :

Ordre: **Ornithischia** Seeley, 1888a

Sous-ordre: **Ornithopoda** Marsh, 1881b

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
3Ti1.5	27,5	26,5	-	-	-	-	-	-	11,25	17,5	13,12	25	24	49
3Ti1.4	28,75	35	-7	17,75	60	-	121,25	150	11,25	18,75	15	46	38	84
3Ti1.3	34,37	27,5	-12	13,75	53,55	238,75	126,25	151	13,75	20	18,75	20	20	40
3Ti1.2	35	35	-	-	60	223,75	103,75	-	13,75	22,5	12,5	36	39	75
3Ti1.1	-	32,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Moyenne	31,4	31,3	-9,5	15,75	57,85	231,25	117,08	150,5	12,5	19,69	14,84	31,75	30,25	62

Tableau 94 : Mesures sur les empreintes de la piste 3Ti1.

3- Piste 3Ti2 :

Elle est formée par un couple d'empreintes et une trace gravée par le membre postérieur.

4- Empreintes de la piste 3Ti2 :

Sur le couple pied-main, l'empreinte postérieure est d'une taille de 87,5 cm de longueur et 85 cm de largeur, son contour morphologique est rectangulaire, entouré du bourrelet (**pl. 11, fig. 2**). La trace de la main est en forme d'un demi-cercle, mesurant 80 cm de largeur et 36,25 cm de longueur. Ce couple est caractérisé par la brièveté du pas traduite par l'écrasement de la trace du membre antérieur par le membre postérieur, ce qui implique des membres plus longs que le thorax.

Ce couple d'empreintes appartient à un grand reptile herbivore quadrupède :

Ordre : **Saurischia** Seeley, 1887

Sous-Ordre : **Sauropoda** Marsch, 1878b

Super-famille : **Diplodocoidea** Marsch, 1884

Famille : **Diplodocidae** Marsch, 1884

Ichno-genre : **Breviparopus** Farlow, 1992

5- Piste 3Ti3 :

C'est une piste étroite, tracée par un Théropode de grand dimension (h = 155,39 cm). La vitesse est comprise entre 4,9 Km/h (Va) et 4,27 Km/h (Vd), l'animal se déplace donc selon une allure modérée, le rapport 1,22 (**tab. 95**) implique une adaptation adaptée à la marche.

Piste	Va	Vd	h	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
3Ti3	4,66	4,27	155,4	0,47	0,08	1,22	5,85	0,02

Tableau 95 : Valeurs moyennes des différentes mesures réalisées sur les empreintes de la piste 3Ti3.

6- Empreintes de la piste 3Ti3 :

Elles sont des empreintes tridactyles, dont **3Ti3.1** et **3Ti3.2** constituant des sous impressions caractérisées par un contour diffus, qui diffère totalement de celui de l'empreinte **3Ti3.3** (fig. 154 ; pl. 11, fig. 3).

Le talon, selon la marque **3Ti3.3** est pointu, les traces de doigts sont séparées. L'enjambée moyenne (un angle de pas de 179°) est moins importante par rapport à celle des autres pistes (190 cm), le signe de déviation, de l'axe principal du pied est positif et sa valeur est très importante ($O = 8^\circ$) (tab. 96), la forme des extrémités postérieures est normale.

Ces ichnites appartiennent à :

Ordre: **Saurischia** Seeley, 1887

Sous-ordre: **Theropoda** Marsh, 1881a

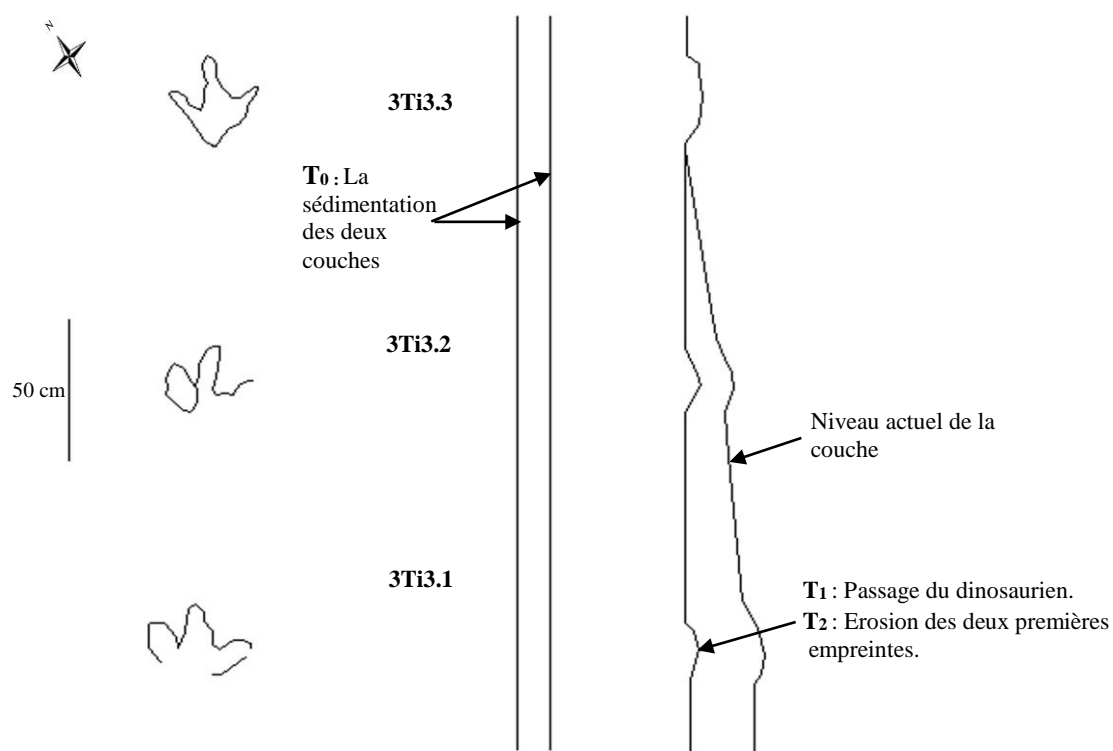


Figure 154: Contour diffus des deux premières sous impressions de traces de la piste 3Ti3. Gisement Tirika 3Ti, cuvette d'Iouaridène.

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
3Ti3.3	32,5	27,5	-	-	-	-	100	-	8,75	15	11,25	42	34	76
3Ti3.2	-	-	8	0,62	27,5	190	90	179	9,37	16,25	-	27,5	-	-
3Ti3.1	-	32,5	-	-	-	207	102	-	10,62	15	-	47	30	77
Moyenne	32,5	30	8	4	27	198,5	101,3	172	14	14,25	11	37,66	22,66	60,33

Tableau 96 : Mesures sur les empreintes de la piste 3Ti3.

7- Piste 3Ti4 :

C'est une piste étroite ($Ar/a = 0,11$), mal imprimée sur le substrat, elle est tracée par un grand Théropode (rapport Z/l qui égal 5,93) (tab. 97), les extrémités postérieures sont normales. L'allure est modérée.

Piste	Va	Vd	h	III/L	(L-a)/a	Z/h	Z/Lm	Ar/a
3Ti4	5,66	4,79	180,1	0,47	0,02	1,27	5,93	0,11

Tableau 97 : Valeurs moyennes des différentes mesures réalisées sur les empreintes de pieds de la piste 3Ti4.

8- Empreintes de la piste 3Ti4 :

Ce sont des empreintes tridactyles mesurant 38,67 cm de longueur et 36,88 cm de largeur (**tab. 98**). Les doigts sont séparés et articulés, la taille du doigt **III** est énorme par rapport aux doigts latéraux. Le talon est rond. L'angle du pas est important (173,8°), le signe de la déviation de l'axe principal du pied est positif (0,67°).

Ces empreintes sont à rapporter à :

Ordre: **Saurischia** Seeley, 1887

Sous-ordre: **Theropoda** Marsh, 1881a

Pieds	L	a	O°	Ar	Lr	Z	P	Ap°	II	III	IV	(II^III)°	(III^IV)°	(II^IV)°
3Ti4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3Ti4.4	41,25	-	0	1,87	-	223,75	106,3	176	16,25	21,25	16,25	-	55	-
3Ti4.3	38,5	33,75	0	5	50	228,75	123,5	170	12,5	13,75	12,5	76	56	132
3Ti4.2	36,25	40	2	2,5	-	235	122,5	175,5	13,75	19,37	13,75	40	44	84
3Ti4.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	-	-
Moyenne	38,67	36,88	0,67	3,12	50	229,17	117,8	173,8	11,88	18,12	14,17	48,7	51,7	108

Tableau 98 : Mesures sur les empreintes de la piste 3Ti4.

IV- CONCLUSION :

Les traces de pas de dinosauriens du Haut-Atlas, imprimées dans les terrains jurassiques de la région d'Azilal-Demnate, constituent un gisement paléoichnologique de grande importance scientifique nationale et internationale. Les nombreuses traces, bien conservées avec des Théropdes tridactyles carnivores et des Sauropodes quadrupèdes herbivores constituent un domaine privilégié pour l'étude de la paléoichnologie, le comportement, le milieu et le mode de vie de ces reptiles disparus à la fin du Crétacé.

☞ Le nombre, des empreintes dinosauriens étudiées au "Mégagisement" d'Iouaridène, constituent de 340 traces de pas avec 167 empreintes de Théropodes, 158 empreintes de Sauropodes et 15 empreintes d'Ornithopodes (**fig. 155**).

☞ L'Analyse détaillée des structures sédimentaires associées aux empreintes, par exemple les sous impressions (**pl. 11, fig. 4**), impliquent un sédiment asséché en surface mais encore imbibé et plastique dans sa partie inférieure (**fig. 156**).

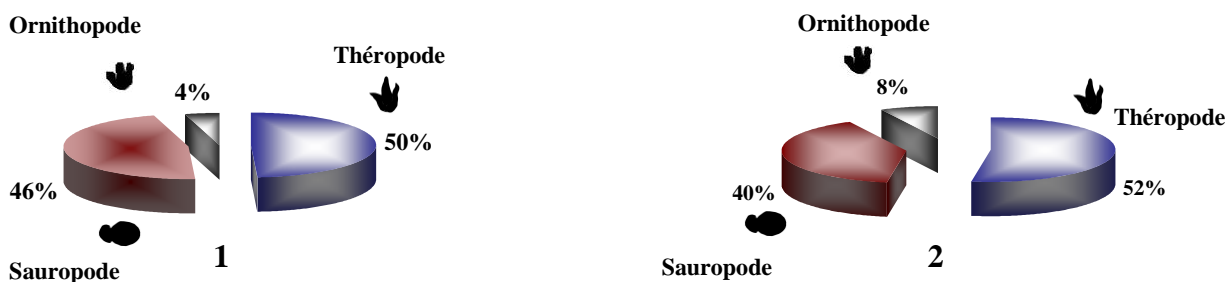


Figure. 155 : Proportion des différents sous-ordres de dinosauriens du "Mégagisement" d'Iouaridène diagramme 1 est celui des empreintes, et 2 est celui des pistes.

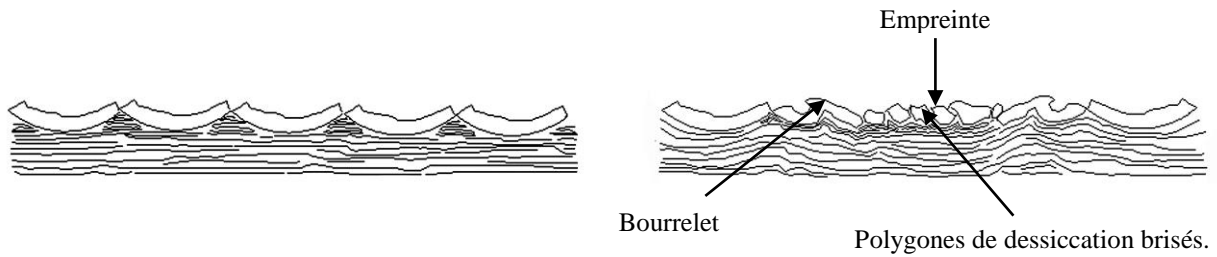


Figure 156 : Empreinte dinosaurienne sur une surface à mudcracks.

Les empreintes de pas de dinosauriens d'Iouaridène sont imprimées sur quatre niveaux correspondant à quatre dalles gréso-marneuses à figures de dessiccation. Les empreintes de Théropodes ont colonisé tous les quatre niveaux, le niveau trois est le seul à présenter un équilibre dystrophique avec carnivores et herbivores, les trois autres niveaux se sont marqués particulièrement par la présence de carnivores (fig. 157).

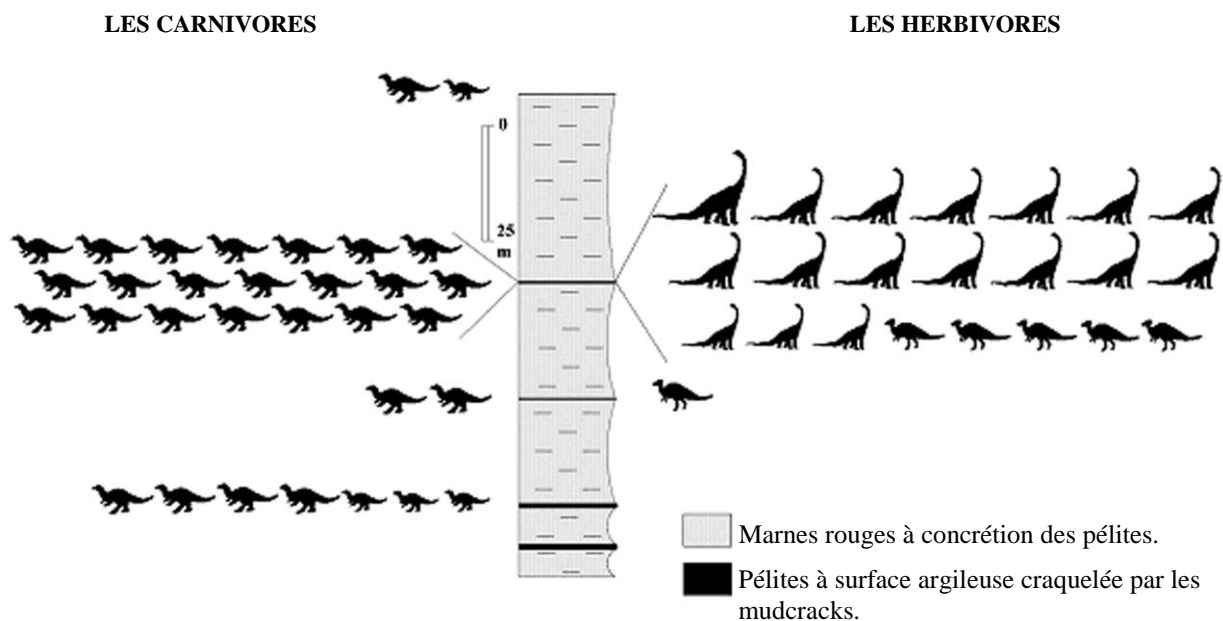


Figure 157 : Proportions des empreintes de pas dinosauriens dans les 4 niveaux du Jurassique supérieur (Oxfordien ?-Kimméridgien) des Aït Mimoun et Taghbalout ("Mégagisement" d'Iouaridène).

Les empreintes du niveau 3 représentent 61,51% de l'effectif total du "Mégagisement" d'Iouaridène, 41%, sont orientées selon une direction N alors que 20,51% sont dirigées vers le sens inverse (fig. 158), ce qui s'explique par une direction privilégiée liée à un passage paléogéographique et/ou paléoécologique préférentiels.

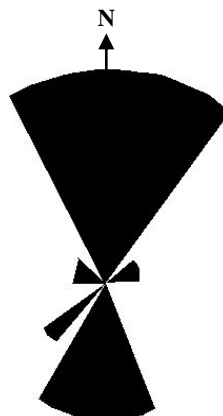


Figure 158 : Orientation des pistes.

☞ Les empreintes sont condensées dans la partie nordique du "Mégagisement" d'Iouaridène avec une densité de 1 par 694 m², elle peut atteindre dans le cas du gisement, **3Am** une trace par 5,8 m².

☞ Les gisements d'Iouaridène sont caractérisés par une grande ichno-diversité, impliquant plusieurs ichno-espèces fossilisées par leurs traces de pas mais difficiles à retrouver et à rapporter à des espèces rencontrées au niveau squelettique, le nombre d'ichno-espèces marquées par les empreintes de pas est généralement beaucoup plus important que les espèces rencontrées au niveau des ossements.

☞ L'analyse morphologique et biométriques permettent d'identifier quatre grands groupes de dinosauriens qui ont peuplé le synclinal d'Iouaridène :

* **Groupe 1 (fig. 161 n°1, 2, 3, 4, 5) :** Les empreintes sont des traces tridactyles - très répandues sur la plupart des gisements d'Iouaridène - tétradactyles et articulées. Les tailles varient entre 30 à 48 cm de longueur. Les doigts sont massifs et robustes. Le talon a une forme pointue et parfois allongée, indiquant la présence du métatarse et du hallux (doigt **I**). Les coussinets et les griffes sont bien discernables dans la plupart des pistes, le nombre de doigts varie entre quatre **I, II, III, IV** et trois **I, II, III**. La trace de queue est absente.

Le type de ces empreintes est à attribuer à des grands Théropodes carnivores, d'une taille massive. La valeur de la fonction de la longueur du pied (L) par rapport à la largeur (a), est inférieure à 1 (**fig. 160**). Les pistes qui appartiennent à ce groupe sont: **1Am1, 1Am2, 1Am3, 1Am4, 3Am3, 3Am4, 4Am2, 4Am3, 4Am4, 2Tg1, 2Tg2, 2Tg3**.

* **Groupe 2 (fig. 161 n°7, 8) :** Les traces sont des petites empreintes tridactyles et articulées. La taille varie entre 16 et 23 cm de longueur. Les doigts sont séparés et pointus. Les pistes sont étroites, les traces s'impriment directement sur la ligne médiane de la piste. Les empreintes de ce groupe appartiennent à de petits Théropodes (piste **6Am2, 6Am3**).

* **Groupe 3 (fig. 161 n°6) :** Les empreintes sont des ichnites de grandes tailles qui varient entre 30 et 40 cm de longueur. Les doigts très courts et robustes, ils portent un seul coussinet digital par doigt, les orteils ont une forme ronde. Le doigt **III** est moins développé (**fig. 159**). La surface d'appui plantaire est ample, avec un talon très rond. Le rapport L/a est égal à 1 (pistes **5Am1** et **3Am5**).

Ce sont des traces Ornithopodes bipèdes tridactyles herbivores qui ressemblent beaucoup à celles de type *Brachyguanodonipus prejanensis* trouvées en Espagne (Mortalla, 1993).

* **Groupe 4 :** Les empreintes de ce type sont assez nombreuses, elles appartiennent à des animaux herbivores quadrupèdes de grande taille. Les traces de pas sont généralement ovales.

Les critères morphologiques de ces empreintes et leurs successions conduisent à distinguer trois types :

** Type 1 (**fig. 161 n°10**) : Caractérisé par une taille variée entre 48 cm et 116 cm de longueur pour le pied postérieur de l'animal. Les empreintes des pattes postérieures, ovales en avant et effilées en triangle vers l'arrière, sont porteuses de quatre doigts. Les empreintes de pattes antérieures sont petites et moins profondes, elles ne montrent pas l'impression de doigts, elles sont mal connues car elles sont piétinées par les empreintes postérieures (**1Tg, 4Am1**).

** Type 2 (**fig. 161 n°9**) : Défini par des pistes (pistes **2Am1, 3Am1, 3Am2**) ne montrant que les impressions des mains.

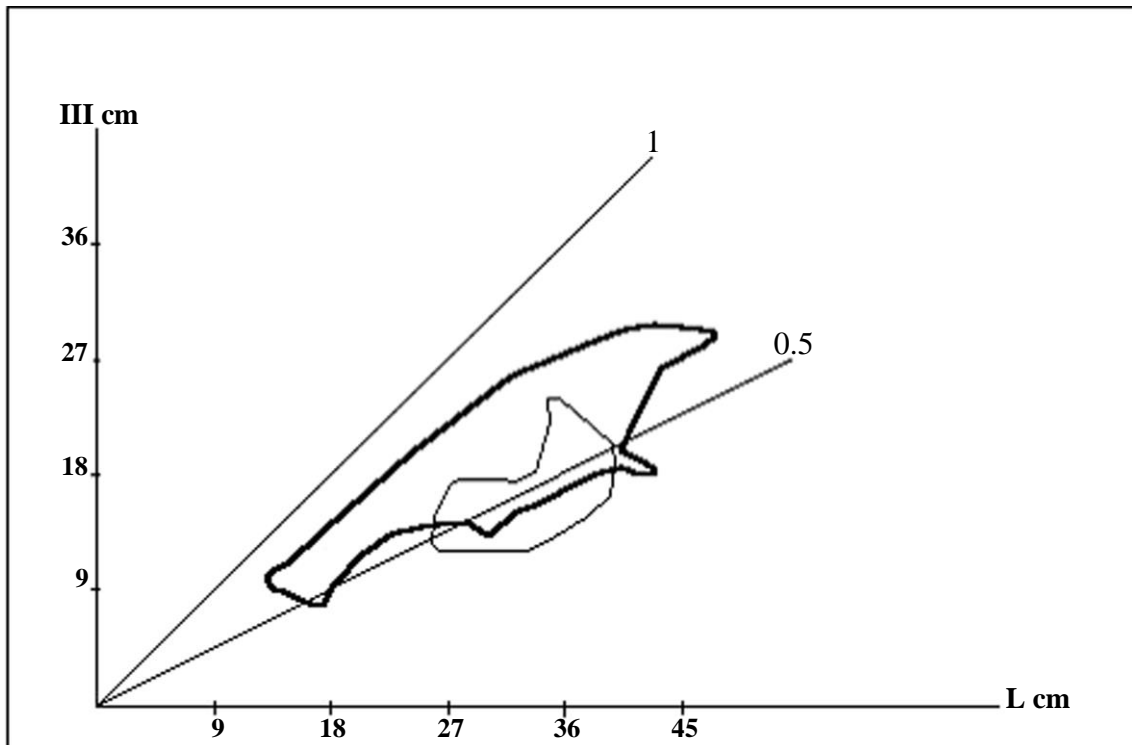


Figure 159 : Relation entre la longueur du doigt III et celle du pied. En ligne fine les Ornithopodes et en ligne grasse les Théropodes.

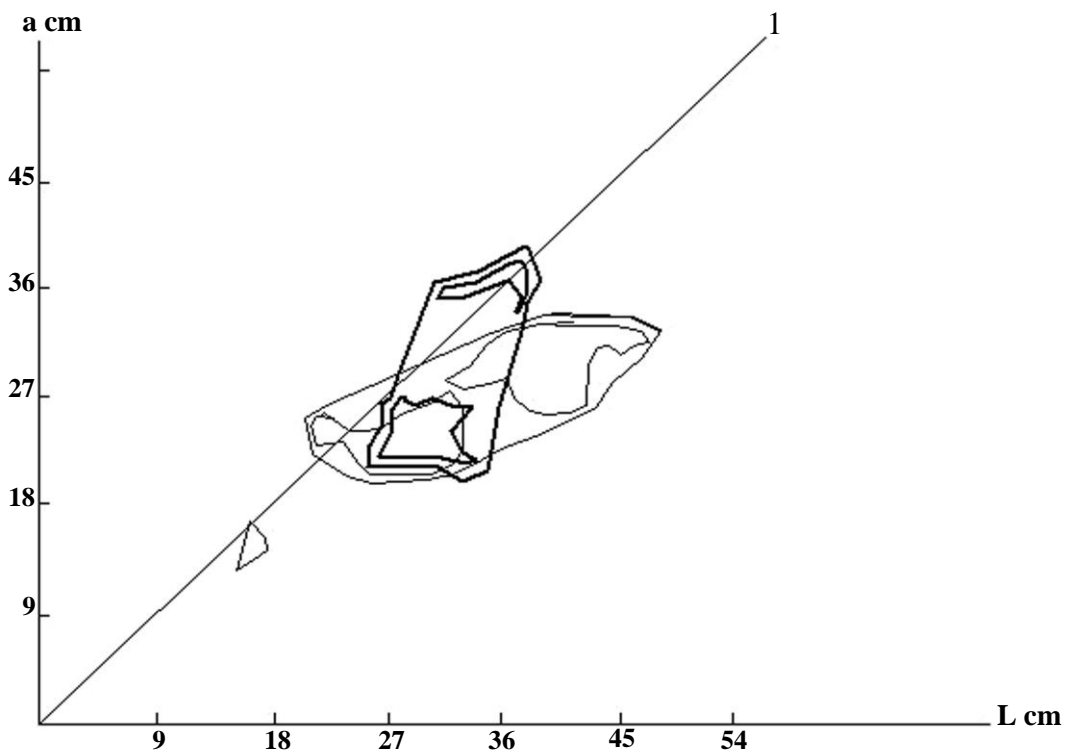


Figure 160 : Relation entre L et a. Théropode (ligne fine) et Ornithopode (ligne grasse).

** Type 3 (**fig. 161 n°11**) : Il est situé à Tirika, il est caractérisé par une grande taille atteignant parfois 90 cm de longueur pour les pieds à contour rectangulaire, les doigts sont indiscernables. Les mains sont arquées avec une partie antérieure déformée par les membres postérieurs.

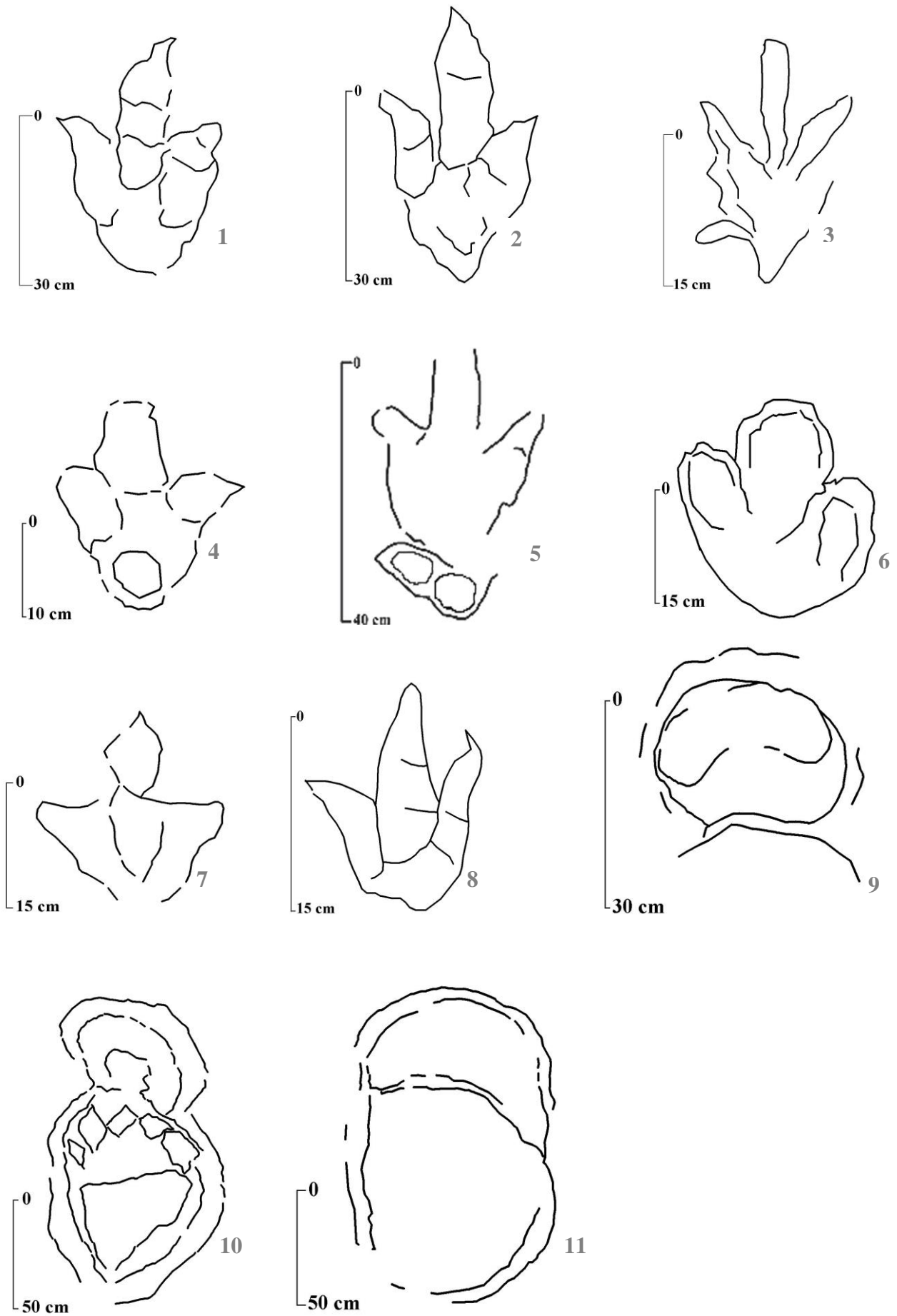


Figure 161 : Différents types d'empreintes de la cuvette d'Iouaridène.

CHAPITRE V
VALORISATION DU "MÉGAGISEMENT" DES
EMPREINTES DE PAS DE DINOSAURIENS DU
SYNCLINAL D'IOUARIDÈNE PAR LA MISE EN
APPLICATION D'UN SIG : UTILISATION DANS LE
CADRE DU GÉOPARC M'GOUN

A- INTRODUCTION :

I- OBJECTIFS :

Le présent chapitre - valorisation du "Mégagisement" des empreintes de pas de dinosauriens du synclinal d'Iouaridène par la mise en application d'un **SIG**: utilisation dans le cadre du géoparc M'Goun - s'inscrit dans une thématique qui vise plusieurs objectifs :

☞ Elaboration d'une base de données géographique relative aux ressources naturelles, en vue d'une meilleure conservation et d'une sensibilisation vers un tourisme scientifique, engendrant un développement socio-économique régional,

☞ Recours au **SIG** et au **MNT** pour pouvoir contrôler quelques contraintes nocives à la conservation des empreintes de pas de dinosauriens du synclinal d'Iouaridène.

II- MÉTHODOLOGIE :

a- Première étape :

☞ La collecte des données provient des fichiers numérisés à partir de la mosaïque de cartes topographiques au 1/250 000, des cartes topographiques au 1/100 000 et au 1/50 000, de photos aériennes, de l'occupation du sol, et de la MEDGEOBASE élaborée par l'Observatoire National de l'Environnement du Maroc (**ONEM**).

☞ Les données thématiques collectées sont sous formes des fichiers numériques ou analogues, les informations thématiques utilisées sont :

* Géologique, biologique, forestières et carte des randonnées de Zaouit Ahançal, à l'échelle de 1/100 000, éditées par l'Agence Nationale de la Conservation Foncière du Cadastre et de la Topographie,

* Inventaire forestier et les Sites d'Intérêt Biologique et Écologique (**SIBE**) du Haut Commissariat d'Eaux et Forêts et de la Lutte contre la Désertification,

* Données topographiques et photos aériennes de la l'Agence Nationale de la Conservation Foncière du Cadastre et de la Topographie.

* Complètement sur le terrain.

b- Deuxième étape : Calage (la géoréférence des données en coordonnées kilométriques de Lambert par les données de la référence) de la mosaïque topographique au 1/250 000 (**fig. 162**), de la carte de Tifni au 1/50 000, des photos aériennes qui délimitent la zone d'Iouaridène et des cartes qui cernent les Sites d'Intérêt Biologique et Écologique (**SIBE**).

c- Troisième étape : Numérisation sur écran des différentes couches d'informations.

d- Quatrième étape : Etude analytique et traitement des données.

e- Cinquième étape : Analyse spatiale et tridimensionnelle avec identification des différentes ressources naturelles.

III- RÉSULTATS ATTENDUS :

Le "Mégagisement" d'Iouaridène contient les plus beaux gisements de pas de dinosauriens du Maroc, est célèbre et attire beaucoup de visteurs scientifiques et grand public.

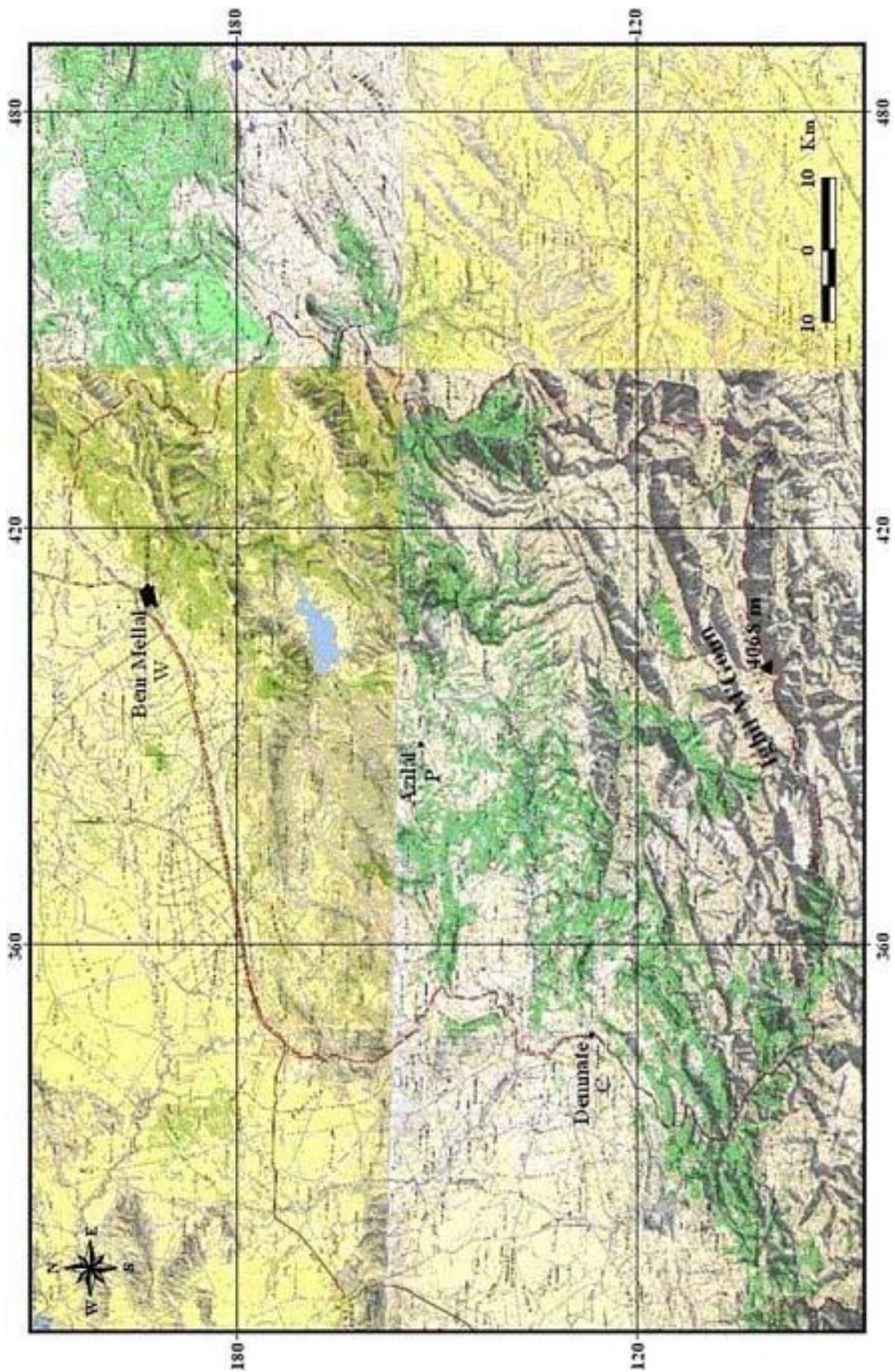


Figure 162 : Mosaïque topographique au 1/250 000, délimitant le projet Géoparc M'Goun.

L'aménagement et la valorisation de ces gisements, dans le cadre du géoparc M'Goun, conduira à un développement touristique très important.

Pour assurer un développement durable, ce tourisme doit être contrôlé pour préserver les géosites, les géotopes, les biotopes et le patrimoine géologique. Le Système d'Information Géographique est un outil performant géré par des logiciels de type Système de Gestion de Base de Données (**SGBD**) et utilisé pour optimiser les itinéraires (randonnées, transport, circulation...) et délimiter les impacts (environnement, urbanisme, aménagement du territoire, etc.) dans un cadre géoréférencé fixant :

- ☞ L'élaboration d'une base de données, outil de travail et de visualisation rapide au service des décideurs du Géoparc M'Goun,

- ☞ L'extrait d'un modèle numérique de terrain (**MNT**), sur le "Mégagisement" des traces de pas de dinosauriens, du synclinal d'Iouaridène, à l'échelle de 1/50 000 pour pouvoir contrôler les déformations du terrain,

- ☞ L'identification des différentes contraintes,

- ☞ L'élaboration d'une zone de tampon aux alentours des couches ichnologiques de la zone pilote Iouaridène.

B- MISE EN APPLICATION D'UN SIG, "MÉGAGISEMENT" DINOSAURIEN D'IOUARIDÈNE:

I- GÉNÉRALITE SUR LE SIG :

a- Définition et concepts de base :

Il existe plusieurs définitions du Système d'Information Géographique, avancées par les spécialistes de la géomatique :

- ☞ Système pour collecter, stocker, vérifier, manipuler, analyser, modéliser et restituer des données spatialement référencées à la surface de la terre afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion,

- ☞ Ensemble de données repérées dans l'espace, structurées de façons à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision.

Les deux définitions sont complémentaires entre elles, la première insiste sur les fonctions techniques et l'autre sur la finalité du système du point de vue de l'utilisateur.

Un **SIG** est un outil de prise de décision, pour décrire un territoire référencé spatialement à la terre, de façon à structurer les données et à améliorer sa connaissance, dont l'objectif est un développement durable.

Les technologies de l'information (**TI**), en particulier les Systèmes d'Informations Géographiques contribuent grandement au plan d'action pour le développement du tourisme durable, à la protection et à la valorisation des biotopes.

b- Étapes de la mise en œuvre d'un SIG (fig. 163, 164) :

Tout d'abord, un **SIG** comporte trois types de choix :

- ☞ Un choix de la technologie qui permet de gérer le système,
- ☞ Le choix de la base de données géographique,
- ☞ Le choix de l'infrastructure du système.

Généralement, l'élaboration d'un **SIG** passe par quatre étapes :

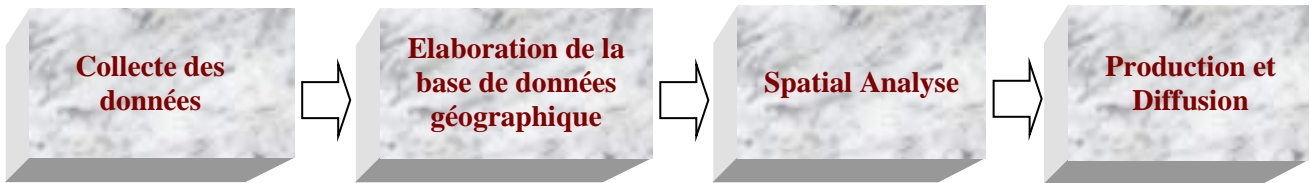


Figure 163 : Principales étapes de la mise en action d'un SIG.

- ☞ Collecte des données alphanumériques et cartographiques,
- ☞ Elaboration de la base de données : Cette étape comporte la délimitation du secteur d'étude, géoréférenciation des données, identification, codification des objets, traitement des données par la technologie d'information (**TI**) à l'aide de la mise à jour des programmes et des logiciels "nommés logiciels **SIG**" tels que : ArcView, ArcInfo, AutoCade Map, Map/Info, Pamap, Atlas, Sicad, Star, Erdas etc. Saisie des données graphiques par le processus de numérisation, digitalisation, scannerisation et enfin la gestion opérationnelle du système.
- ☞ Spatial analyse : Cette étape repose sur la valorisation des données élaborées, ce traitement se fait par l'alignement, le croisement et la superposition des données numériques etc.
- ☞ Production et diffusion : La restitution se fait sous forme des rapports, cartes, tableaux statistiques etc. Alors que la diffusion se fait sous forme des cartes et Cd-rom etc.

c- Étapes adoptées pour élaborer le SIG sur notre secteur d'études :

- ☞ Détermination de la limite du Géoparc M'Goun, à partir d'une mosaïque topographique (**tab. 99**) constituée par quatre feuillets topographiques à l'échelle de 1/250 000, des limites des **SIBES** du Haut-Atlas central d'Azilal (**tab. 100**) et de la limite du "Mégagisement" des traces de pas de dinosauriens du synclinal d'Iouaridène, d'âge Oxfordien ? Kimméridgien, par quatre photos aériennes à l'échelle de 1/20 000 (**tab. 101**),
- ☞ La collecte des données alphanumériques : Inventaire forestier et aires protégées de la région d'étude, les données sur l'activité touristique et les divers services,
- ☞ La numérisation sur écran des différentes couches d'informations,
- ☞ La structuration de la base de données,
- ☞ La valorisation des données,
- ☞ La restitution.

Nom de feuillets topographiques	Échelle
Beni Mellal	1/250 000
Demnate	1/250 000
Khénifra	1/250 000
Goulimima	1/250 000
Beni Mellal	1/100 000
Azilal	1/100 000
Demnate	1/100 000
Afourar	1/100 000
Zawyat Ahançal	1/100 000
Qalaat Sraghna	1/100 000

Tableau 99 : Feuilles topographiques délimitant le Géoparc M'Goun.

Nom de SIBE	Nom de feuillet topographique	Échelle
Jbel Tazerkount	Afourar, Ouaouizeght	1/50 000
Aqqa Wbzaza	Aït Mahmed	1/50 000
Imi-n-Ifri	Azilal	1/100 000
Cascade d'Ouzoud	Afourar	1/100 000
Oued Lakhder	Azilal	1/100 000

Tableau 100 : Feuilles topographiques délimitant les différents SIBE du projet Géoparc M'Goun.

Nom des photos aériennes	Date de la prise de vue	Échelle
Azilal bande 14-23	08-1985	1/20 000
Azilal bande 14-25	08-1985	1/20 000
Azilal bande 15-23	08-1985	1/20 000
Azilal bande 15-25	08-1985	1/20 000

Tableau 101 : Photos aériennes couvrant le "Mégagissement" de traces de pas de dinosauriens d'Iouaridène.

d- Base de données géographique élaborée sur la mosaïque topographique d'échelle 1/250 000 :

A partir de ce système, plusieurs couches d'informations sont établies (**fig. 165** et **tab 102**) :

1- Limites géographiques du Géoparc M'Goun : Concernant toutes les zones limitrophes qui engendrent le géoparc M'Goun.

2- Hydrographie (fig. 165) : Intéressant le bassin versant qui occupe la superficie du projet géoparc M'Goun ; oueds, lacs, etc.

3- Réseau routier (fig. 165) couvrant le Géoparc M'Goun : Routes revêtues reliant les principales villes de la région, routes secondaires reliant les principaux villages et communes, sentiers accessibles par les voitures 4x4.

4- Principales agglomérations (fig. 165) : Avec des Villes (Beni Mellal, Azilal, Demnate), des Communes et des douars.

5- Sommets (fig. 165): Le Géoparc M'Goun est une région géographique située entre 500 m et 4068 m d'altitude. La couche d'information présente les sommets qui dépassent 1000 m.

6- Sites des intérêts géologiques et historiques (fig. 166):

☞ Patrimoine architectural et historique, les greniers fortifiés, les kasbats et les mosquées les plus reconnus à la région sont reportés.

☞ Sites naturels tels que les cascades d'Ouzoud, pont naturel d'Imi-n-Ifri, cathédrale de Mastfrane, karsts d'Aït M'hammed, grotte du caïd Ahansal à Bernate, gorges de Taghia, gorges de M'Goun, canyon Aqqa-n-Tazart, canyons Zro, Arous, Wandras, Tassaoute, gravures rupestres, empreintes de pas de dinosauriens et le gisement fossilifère d'extraction du squelette *Atlasaurus imlakei*.

7- Activités touristiques :

La région couvrant le Géoparc M'Goun constitue un espace de prédilection pour les naturalistes et amateurs de la montagne, il présente les randonnées sous toutes formes, pédestres, équestre, VTT, Ski, escalades, pêches sportives, canoë et kayak etc.

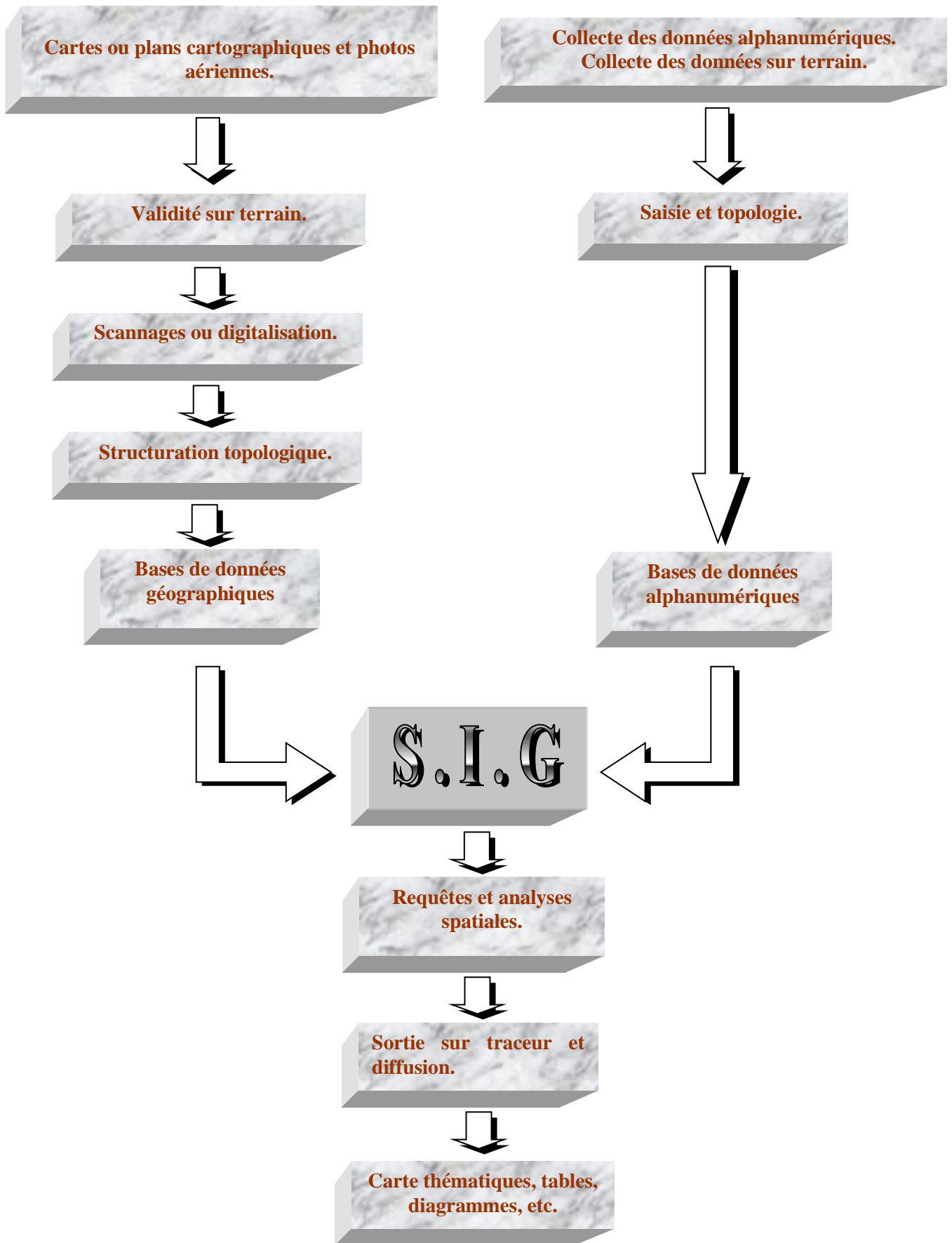


Figure 164 : Étapes fondamentales, adoptées pour la mise en place du SIG.

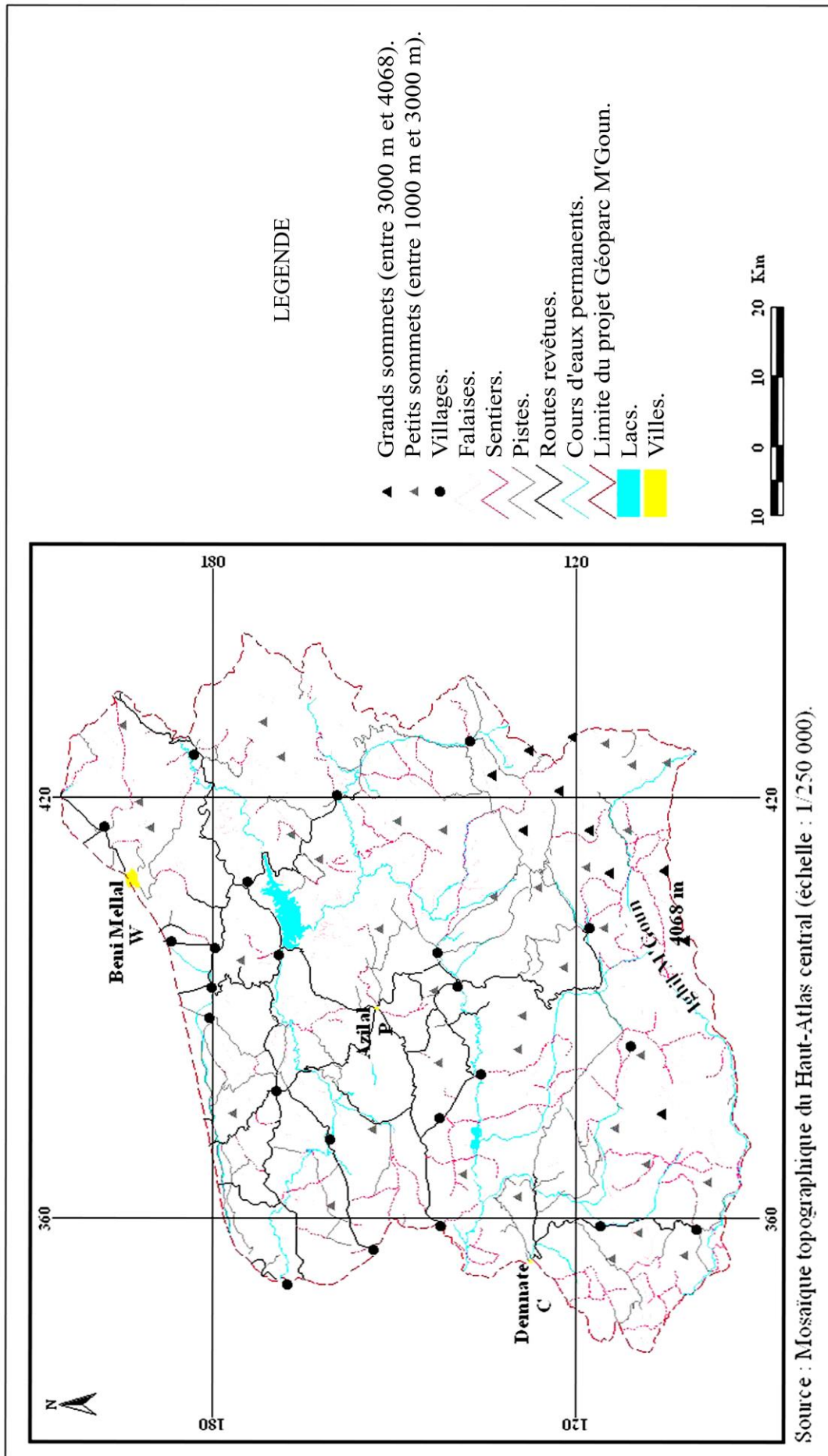


Figure 165 : Carte de base.

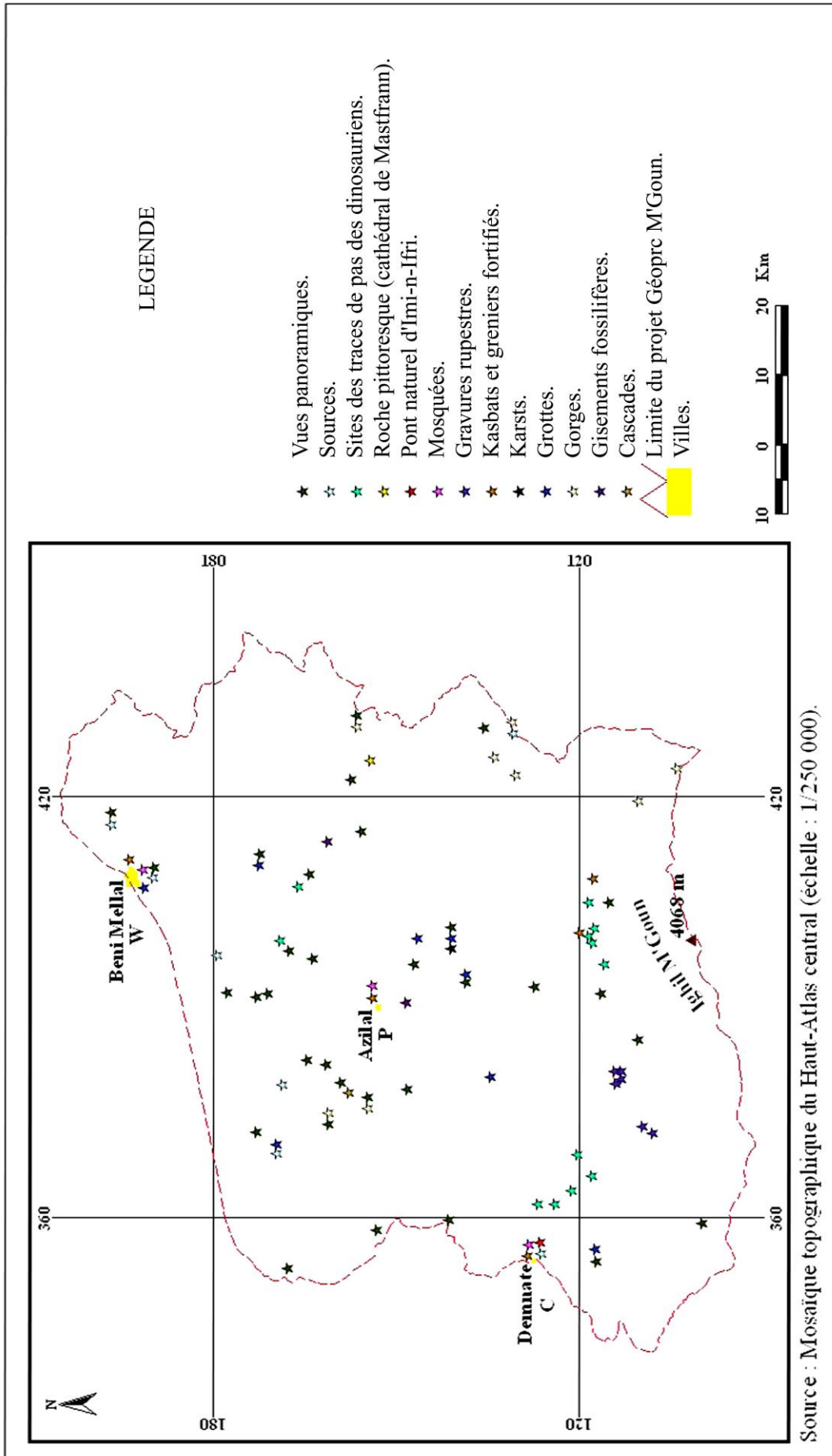


Figure 166 : Différents sites, géologiques et historiques.

8- Services (fig. 167) :

Les principaux services rendus en faveur des touristes, sont les gîtes d'étape (hébergements édifiés selon l'architecture ancestrale), les guides de tourisme de montagne, les hôtels, les campings et les centres d'informations touristiques.

9- Sites d'Intérêt Biologique et Ecologique (SIBE) (fig. 168) :

9.1- Jbel Tazerkount : Le **SIBE** est limité à l'Est par les escarpements rocheux du Jbel Ighnayne et le Sud est englobé par la chênaie d'une qualité exceptionnelle et avec une superficie de 15 000 ha. Généralement, il est un anticlinal culminant à 1700 m, à relief formé par des affleurements calcaires d'âge Jurassique.

La vocation de ce **SIBE** est de protéger l'écosystème de la chênaie, qu'il est parmi les plus denses du Maroc et très bien conservé et aussi il présente au niveau de ses cortèges une flore et une faune, particulières, intéressantes et endémiques :

☞ Flores : De bas en haut, formation à *Acacia Gummifera*-*Euphorbia resinifera*, *Tétracлинаie* et *Chênaie verte* (très belle formation).

☞ Faunes : Vingt deux espèces de mammifères, dont neuf espèces sont endémiques ou menacées telles que : **Musaraigne musette**, **Murin à oreille échancrée**, **Magot**, **Loutre**, **Porc-épic**, etc. soixante dix-huit espèces d'oiseaux, dont huit espèces susceptibles de nicher dans la région, et dix-sept espèces sont endémiques ou menacées telles que: **Cigogne blanche**, **Aigle de Bonelli**, **Faucon lanier**, **Faucon pèlerin**, **Faucon crécerellette**, etc. et trente et une espèce de reptiles, parmi les plus remarquables *Psammmodromus microdactylus*, rarissime lézard endémique au Maroc, et aussi la couleuvre qui présente une vaste répartition eurasiatique *Natrix natrix*; mais il y a aussi dix-sept espèces qui sont endémiques ou menacées telles que: **Discoglosse peint**, **Tortue mauresque**, **Gécko à paupières épineuses**, **Saurodactyle de broset**, **Caméléon vulgaire**.

9.2- Aqqa Wabzaza : Le **SIBE** est situé sur les gorges de l'oued à hauteur d'Aït Mahmed, englobant uniquement les versants et les vires sommitales, avec une superficie de 3000 ha ; il est bordé par des versants accidentés, et de falaises calcaires du Jurassique, reposant sur des argiles-grès du permotrias culmine à 1800 m. Il présente une qualité bioécologique importante:

☞ Flores : *Tétracлинаie*-*Juniperaie rouge*, *Chênaie verte*, *Thuriféraie*, *Pin d'Alep* et *Euphorbes cactoïdes* à signaler.

☞ Faunes : Trente espèces de mammifères connues jusqu'à maintenant, et treize espèces endémiques et rares telles que : **Musaraigne musette**, **Murin à oreille échancrée**, **Magot**, **Porc-épic**, **Ratel**, **Loutre**, **Genette**, **Panthère** (la mission BCEOM-SECA a permis de constater la présence de deux individus au moins jusqu'au printemps 94 dans les gorges), **Hyène rayée**, etc. soixante dix-huit espèces d'oiseaux, dont vingt six espèces sont rares et endémiques : **Aigle de Bonelli**, **Aigle botté**, **Aigle royal**, **Percnoptère d'Egypte**, **Gypaète barbu**, **Vautour fauve**, **Faucon pèlerin**, etc. et vingt cinq espèces de reptile, dont seize sont endémiques : **Discoglosse peint**, **Tortue mauresque**, **Gécko à paupières épineuses**, **Saurodactyle de Brosset**, **Caméléon vulgaire**, **Lézard'ocellé d'Afrique du Nord**, etc.

La vocation de ce **SIBE** est essentiellement de protéger les sites fréquentés par la **Panthère** et pour mener à une action de réintroduction du **Vautour**, du **Gypaète** et des **Mouflons**, mais le **SIBE** est très sensible à une gestion écotouristique, parce que les espèces

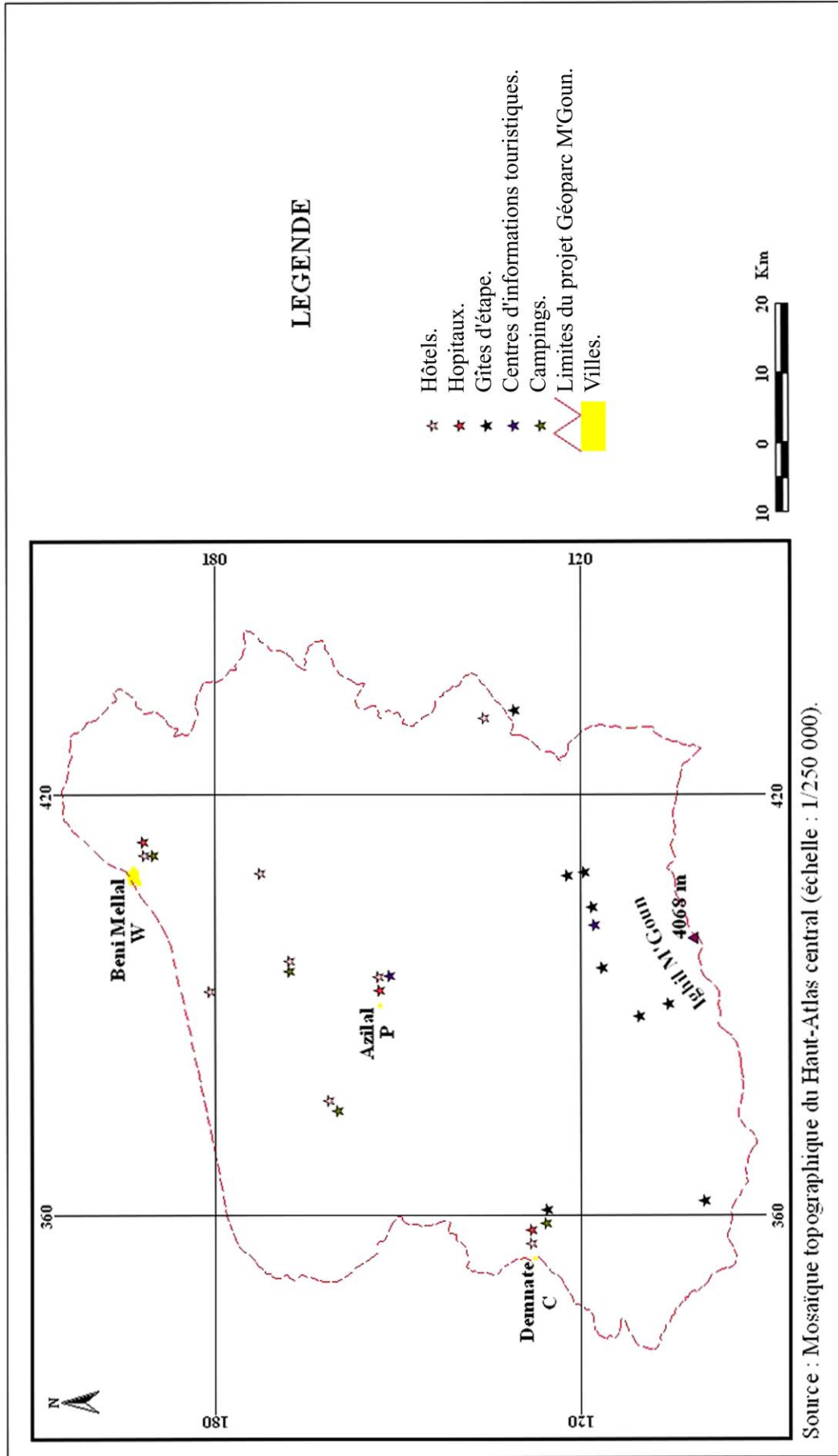


Figure 167 : Services rendus.

concernées sont très sensibles à la présence de l'Homme, et les accès sont dangereux, cependant la valorisation ne doit pas être négligée.

9.3- Imi-n-Ifri : Ce **SIBE** a une influence paysagère, constituant une curiosité géomorphologique unique au Maroc et le refuge de nombreux oiseaux. La présence du "Mégagissement" de traces de pas de dinosauriens dans la cuvette d'Iouaridène et au douar d'Aït Bou Ali, auprès du **SIBE**, peut donner une grande attraction touristique à la région. Donc, il faudra les combiner entre eux dans l'avenir. La construction des cafés, par une architecture urbanistique, provoque une altération de la qualité du lieu qui est plastique.

9.4- Cascades d'Ouzoud : Les eaux se coulent sur une dalle calcaire en escarpement avec une formation travertineuse, il présente une très belle forêt de Thuyas, une petite population de singe et une forte présence de rapace. Aucune protection n'est apportée dans cette zone malgré qu'elle soit classée comme patrimoine national par Dahir du 8 février 1943. La plupart des campings et des cafés sont installés sur les escarpements des cascades, ce qui provoque une pollution surtout au niveau de l'amont d'oued Tissakht.

9.5- Oued Lakhdar : Le **SIBE** est situé le long de la vallée de l'oued Lakhder qui est parmi les affluents d'oued Oum-Er-bia, et ses affluents prospectés sont : Assif n'Aït Bou Guemmez et Asremt ; la vallée de l'oued Lakhder est assez encaissée, ses versants comportent peu de culture, alors que le couvert forestier y bien représenté ; parmi les contraintes majeures : l'augmentation des besoins d'eaux par le tourisme, pour cela il faut déterminer un programme de gestion de l'eau.

10- Couverture végétale (fig. 169) :

La flore au Maroc est généralement à caractère méditerranéen. La flore du Haut-Atlas central est composée par des associations végétales typiquement marocaines. Il montre, selon l'altitude, un étagement végétal où se succèdent:

Une Steppe à Jujubier, Bétoun et Goummier dans la plaine de Tadla (300-900 m d'altitude). L'imposant manteau d'Euphorbe endémique est mêlé aux Doums sur les premiers contreforts calcaires du Haut-Atlas (Afourer), et surmonté par les premiers peuplements de Pin d'Alep et de Chêne vert. Le Thuya et le Genévrier rouge sont accompagnés souvent de Pin d'Alep et le Genévrier oxycédres à des altitudes de 500 m à 900 m. Le projet Géoparc M'Goun renferme les plus beaux boisements en Pin d'Alep du Maroc.

A ces altitudes : On rencontre quelques essences en stations localisées comme le Chêne Zen, l'If, l'Alisier blanc, l'Erable de Montpellier et le Frêne etc.

On trouve aussi des espèces de petites tailles comme le Ciste à feuilles de laurier, le Buis des Baléares, le Genêt ainsi que des Asphodèles, des Jonquilles campanules et des Pivoines etc.

L'étage forestier, situé entre les altitudes 1500 m à 2200 m, constitue le domaine du Chêne vert, développé particulièrement en peuplement pur, dans la moyenne Tassaout ainsi que dans la région comprise entre Taguelft, Anergui et O. Attach.

L'étage forestier de 2200 m à 2500 m d'altitude est celui du Genévrier thurifère, arbre noble et majestueux des contreforts des Atlas, il est l'arbre de valeur victime de la dégradation

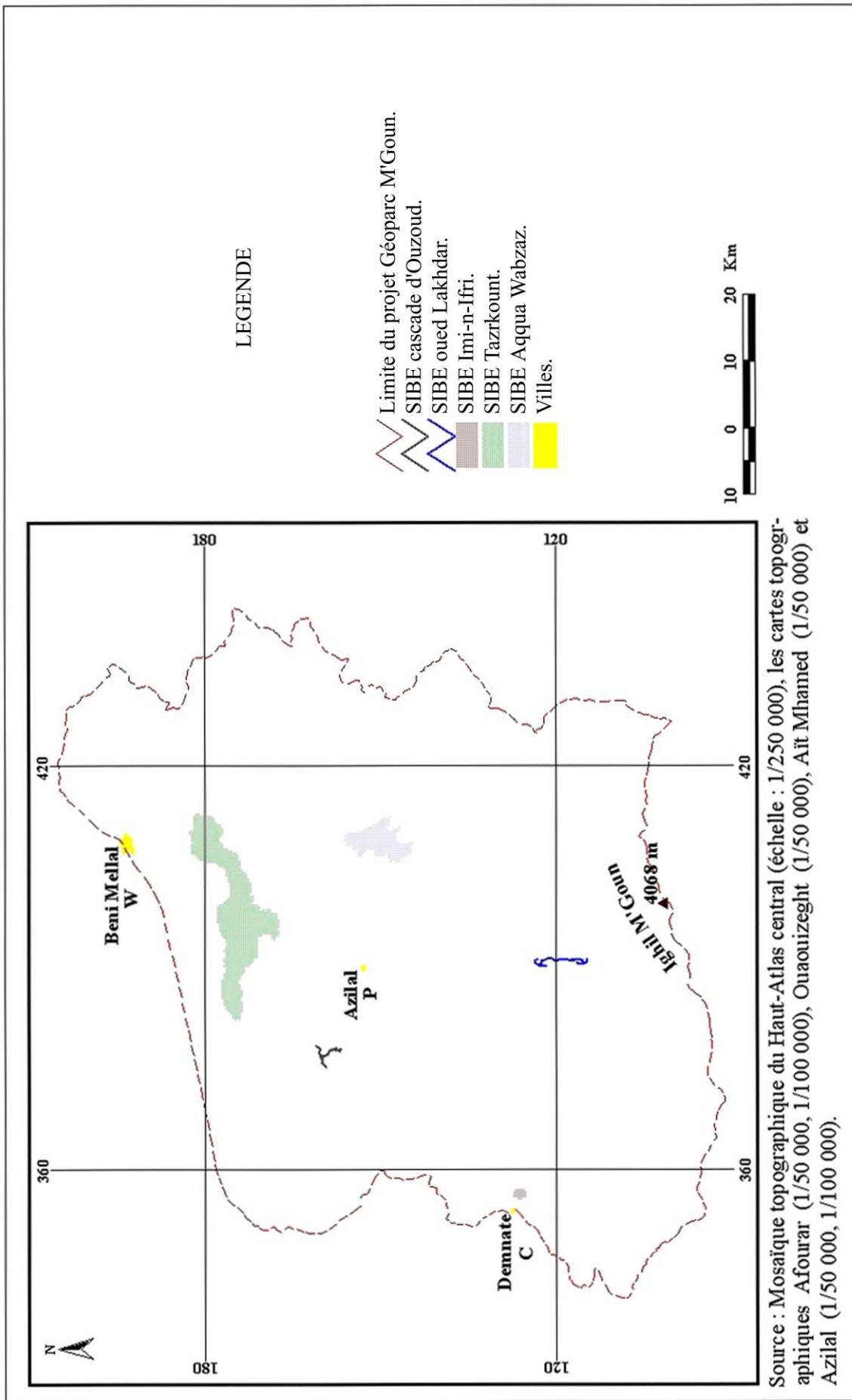


Figure 168 : Situations des SIBE.

il dépérit et donne lieu à des forêts mortes regrettables, qu'on rencontre entre Zawiat Ahansal, l'Azurki et Aït Bou Guemmez.

L'étage forestier de 5000 m à 3600 m d'altitude abrite une flore endémique, typiquement marocaine. On distingue des associations caractéristiques, se poussant dans des falaises, dans les sommets tabulaires et dans les dépressions humides, donnant de riches pâturages.

Au-delà, l'essentiel du paysage végétal est constitué par des coussinets épineux très typiques. Au-dessus de 3600 m, les coussinets disparaissent peu à peu, la végétation devient maigre et souvent absente.

11- Magnitude séismique (fig. 170) :

L'intensité sismique, enregistrée sur les régions du projet Géoparc M'Goun, obtient une valeur entre moyenne et faible ; la plupart des enregistrements sont ondulés entre 1° et 5°, dont les fortes magnitudes sont localisées dans les parties Est.

12- Pente (fig. 171) :

Plus de 90 % des terrains, du projet Géoparc M'Goun, sont montagneux, leurs inclinaisons sont très accentuées au centre et à la partie méridionale de la région.

Cependant, les zones les moins pentues sont localisées dans les bords limitrophes au plain de Tadla.

13- Dureté (fig. 172) :

Le Haut-Atlas central est généralement occupé par un substrat très dur.

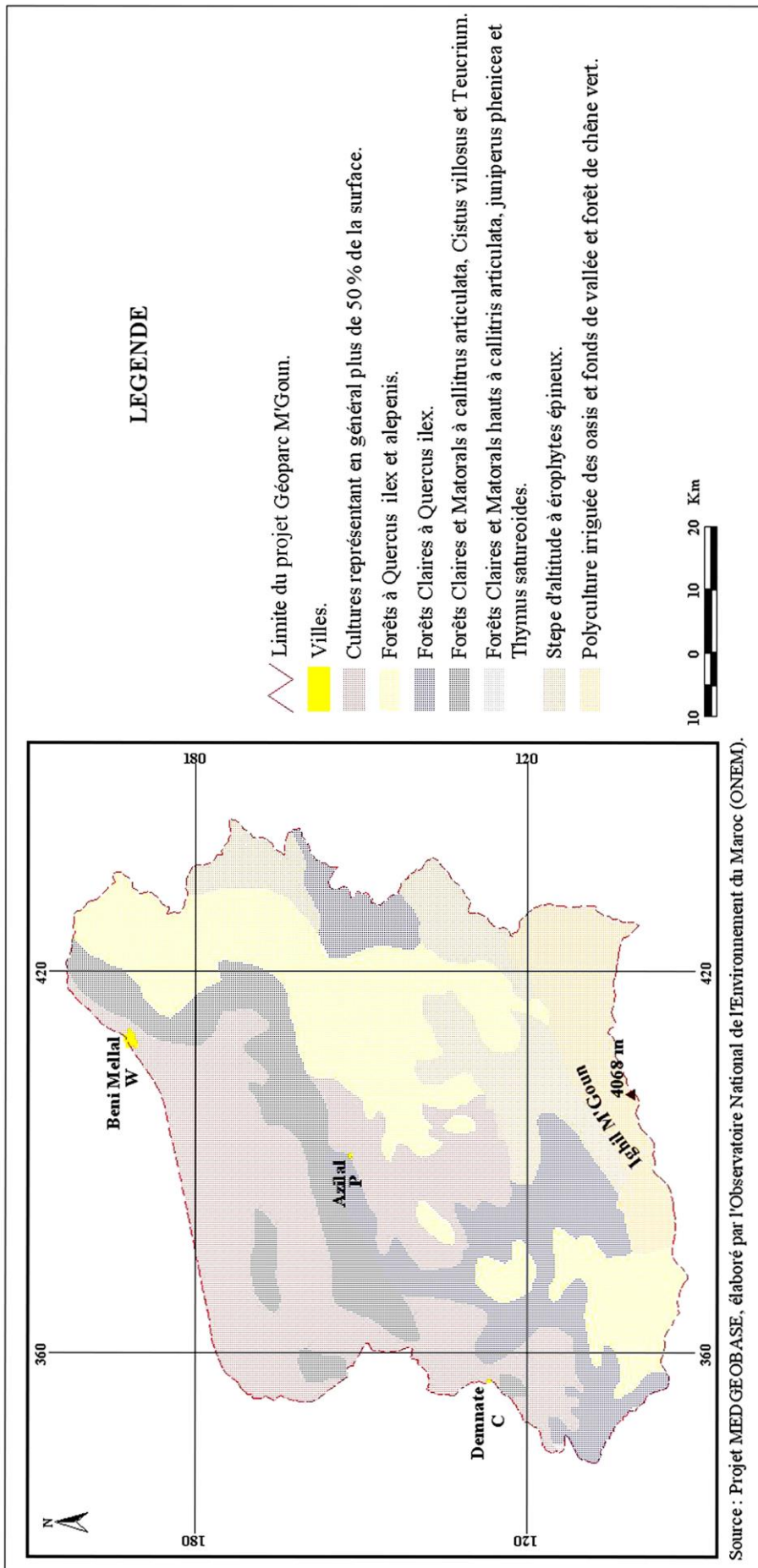


Figure 169 : Couverture végétale.

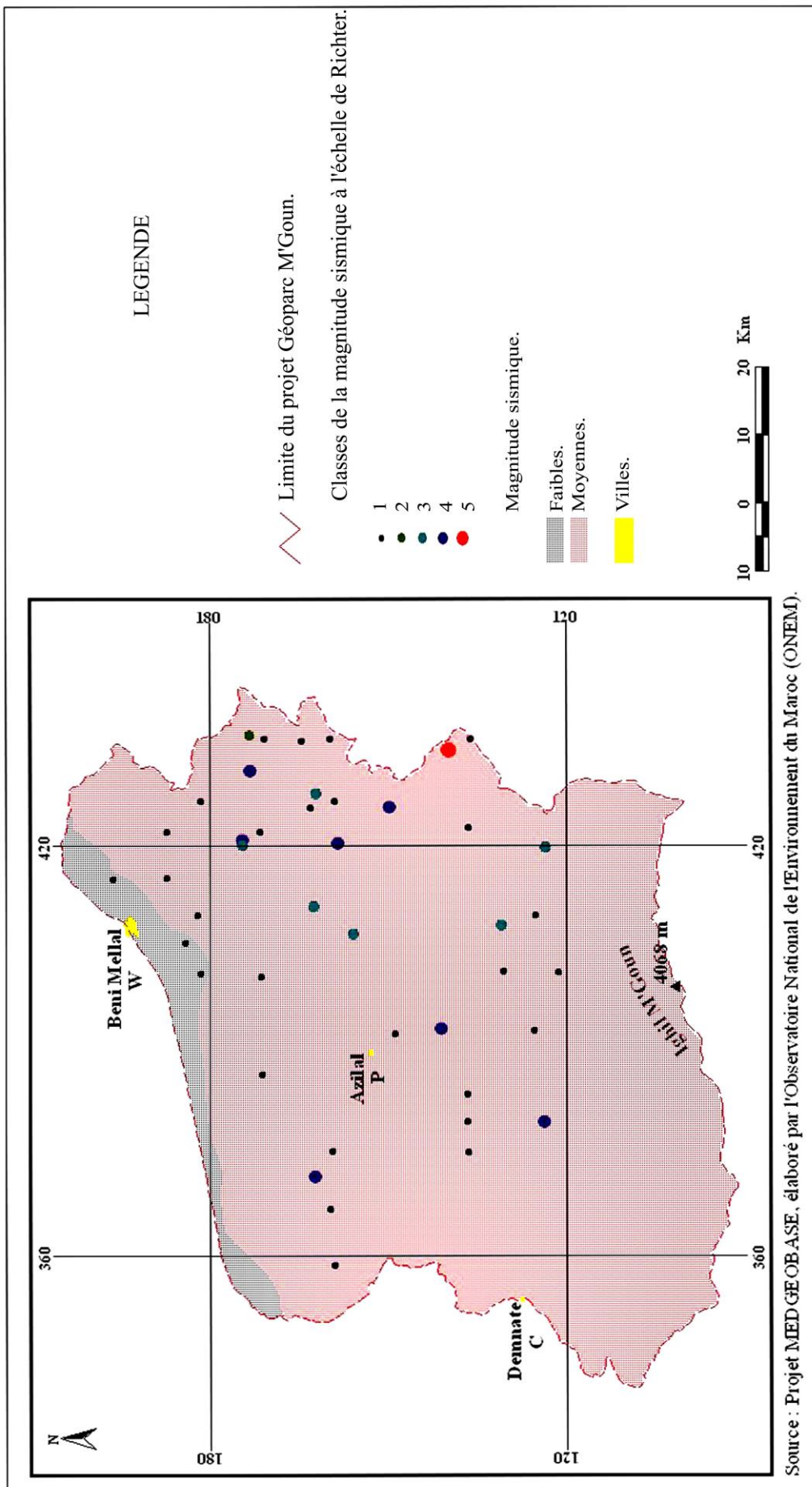


Figure 170 : Magnitudes sismiques.

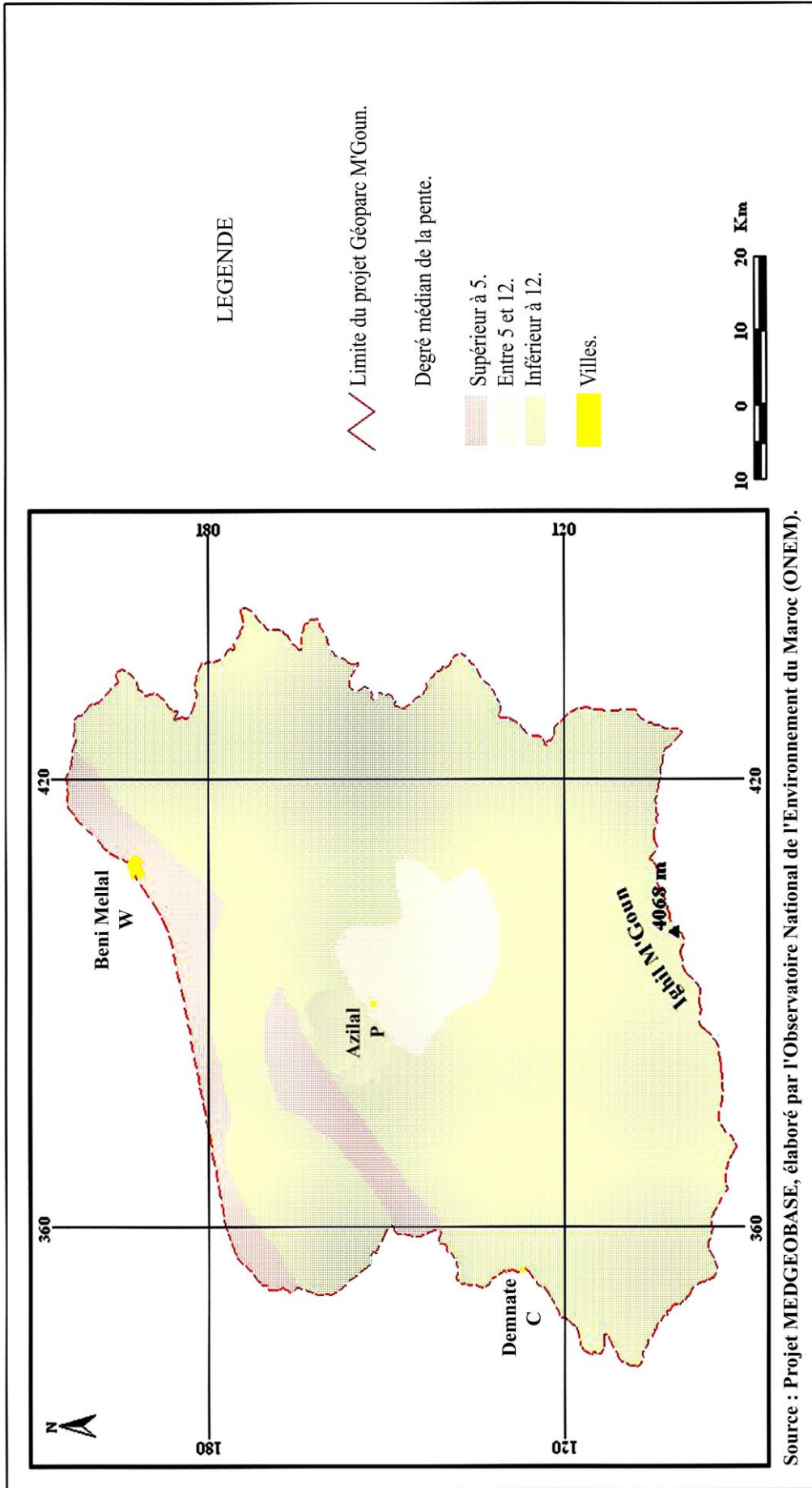


Figure 171 : Degré de la pente.

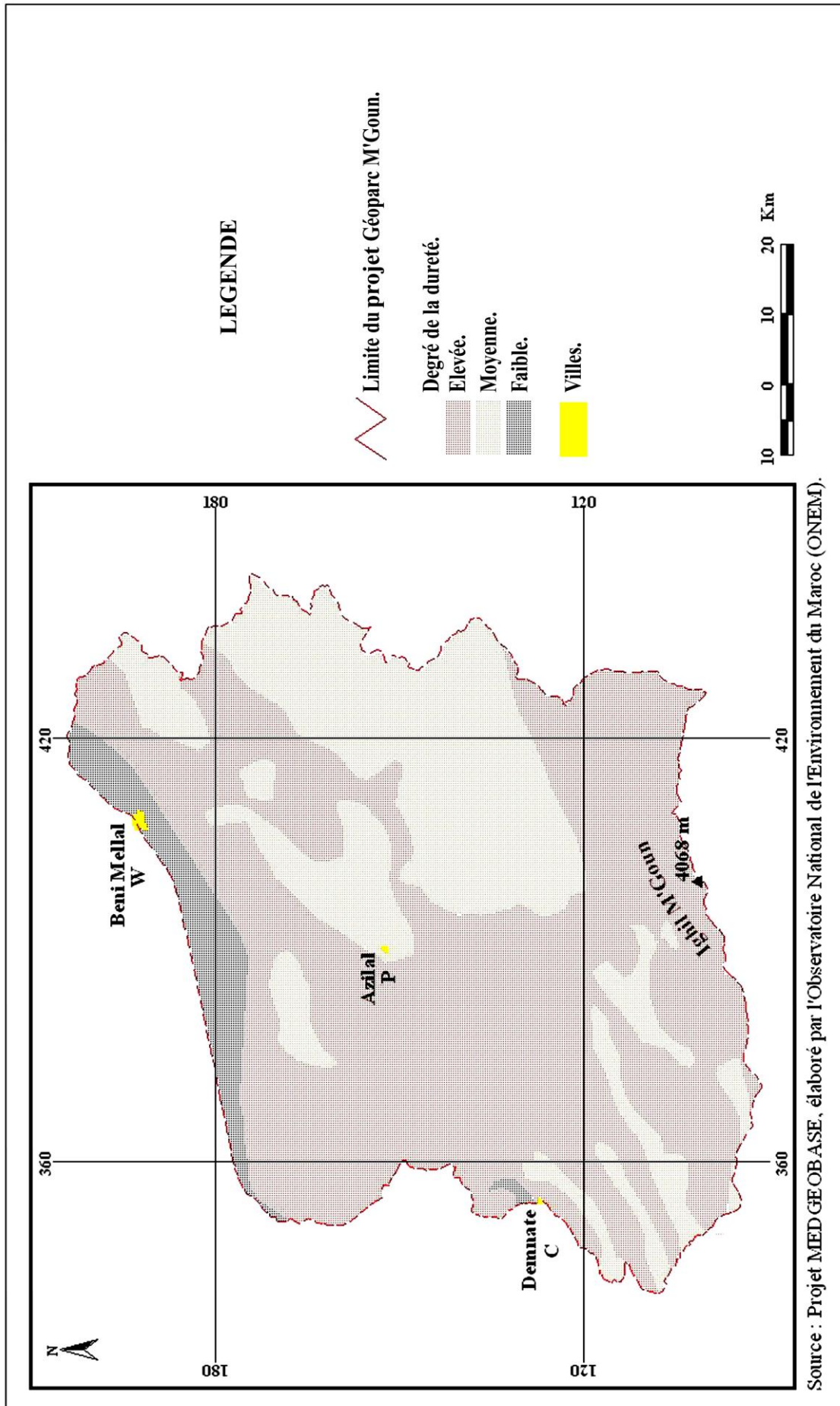


Figure 172 : Degré de la dureté du terrain.

Nom des Thèmes	Désignation	Type	Description
1. Limite	Limite du géoparc	Ligne	Couvre une superficie de 8501 km2
2. Lac	Barrage Bin El Ouidane et Hassan Ier	Polyligne	
3. Oueds	Deux types : Cours permanent et intermittent	Ligne	La table présente deux types de codes : 1 : Cours permanent 2 : Cours intermittent
4. Routes	Cinq types de routes	Ligne	La table présente trois types de codes: 1 : Route nationale 2 : Routes revêtues 3 : Pistes accessibles en voiture 4X4 4 : Piste 5 : Sentier
5. Falaises		Ligne	
6. Grands Sommets	Les rides effilées d'un massif calcaire liasique, hauteur dépasse 3000m	Point	La table attributaire présente 11 sommets marqués par un seul code.
7. Petits sommets	Hauteur inférieure à 3000m	Point	
8. Villes	Les principales agglomérations.	Polyligne	Trois grandes villes : Beni Mellal, Azilal, Demnate.
15. Villages	Les principales communes.	Point	
10. Pont naturel	Calcaire liasique encroûté de travertins actuels.	Point	Situé à dix km de Demnate.
11. Gorges		Point	
12. Cascades	Chute d'eau à la longueur de l'oued Tissakht, falaise liasique encroûté de travertins	Point	Situé dans la cuvette d'Aït Attab.
13. Karstes	Dissolution calcaire	Point	
14. Rocher pittoresque	imposante falaise de conglomérats	Point	Cathédrale du Mastfranne.
15. Les empreintes de vertébrés	Traces de pas de dinosauriens	Point	Géoparc M'Goun est parmi les régions classiques de l'étude des traces de dinosaures au plan international, il présente une grande importance scientifique dans l'étude de ce patrimoine fini.
16. Vues panoramiques	Biotopes	Point	
17. Gisements fossilifères	Les os des dinosauriens	Point	Deux grands gisements situés dans les régions d'Ouawizaght.
18. Gravures rupestres		Point	Six gisements situés dans le piémont du Jbel Rat et Abachkou
19. Patrimoine architectural	Kasbat et grenier	Point	
20. Refuge		Point	
21. Sources d'eaux principales		Point	
22. Hôtels classés		Point	
23. Végétation	On a utilisé six grandes classes	Polyligne	Géoparc M'Goun présente un couvert végétal particulier et important.
24. SIBE	Sites d'Intérêts Biologiques et écologiques	Polyline Ligne	Il y a quatre sites, deux numérisés en ligne et les autres en polygone.
25. Magnitude séismique		Point et polyligne	
26. Pente		Polyligne	

Tableau 102 : Thèmes utilisés pour la base de données géographique du projet Géoparc M'Goun.

C- DÉVELOPPEMENT DE L'APPLICATION PAR LA VALORISATION DU "MÉGAGISEMENT" DE TRACES DE PAS DE DINOSAURIENS DU SYNCLINAL D'IOUARIDÈNE (PROJET GÉOPARC M'GOUN) :

I- GÉNÉRALITE SUR LA NOTION "MÉGAGISEMENTS" :

Le "Mégagisement, de traces de pas de dinosauriens, est défini comme un ensemble de strates ichnologiques, étendues sur une ère géologique temporellement bien déterminée, dont leur aire géographique dépasse cent kilomètres carrés, en tant que les dinosauriens sont très mouvants sur les grandes aires de Mésozoïque.

À l'aide de l'analyse des "Mégagisements", les Paléoichnologues doivent avoir plus d'informations sur le comportement sociologique et individuel des dinosauriens en tenant compte de la direction préférentielle déduite à partir du sens de leur marche. Le "Mégagisement" d'Iouaridène recèle plus de 1500 empreintes dactylés et ovales, jonchées sur un parcours de 21 Km de longueur, qui ressemble à une voie de promenade ou une direction migratrice de l'animal.

On a choisi le synclinal d'Iouaridène comme la zone pilote du projet Géoparc M'Goun. La région, sur laquelle on va concentrer notre étude spatiale analytique, est effectuée par la photo interprétation pour la mise en œuvre d'une zone de tampon tracée au alentour des couches ichnologiques, qui a pour objectif de minimiser les différentes contraintes, telles que la dégradation anthropique dont la plupart des gisements d'empreintes se trouvent percher au centre des douars, la dégradation hydrique de laquelle la majorité des traces se situent au front d'attaque de l'érosion et la variation climatique journalière ou saisonnière.

II- ZONE PILOTE (SYNCLINAL D'IOUARIDÈNE):

a- Limite et l'importance de la zone en vue de ce patrimoine :

La zone d'étude est bornée par une mosaïque photo aérienne (bandes 14-23, 14-25, 15-23, 15-25) à l'échelle de 1/20 000, assemblée par un programme de la photogrammétrie, Géomatic V.9.1, et scannée par un scanner de la photogrammétrie (**fig. 173**), le synclinal d'Iouaridène est situé à 13 Km, auprès de Demnate, sur la route liant Demnate à douar Taghbalout, en passant par le pont naturel d'Imi-n-Ifri.

Les empreintes de dinosauriens, du Haut-Atlas de Demnate, constituent un gisement paléoichnologique de grande importance scientifique nationale et internationale ; en effet les premières découvertes des empreintes de pas de dinosauriens de l'Afrique du Nord sont signalées dans cette cuvette par Plateau et al. 1937.

b- Objet d'études :

Cette étude a pour objet, d'une part, la détermination des différents paramètres du terrain, qui sont reproduits par le Modèle Numérique de Terrain (**MNT**) qui est tiré à partir des courbes de niveaux de la carte de Tifni, au 1/50 000, et d'autre part la mise en œuvre d'une zone de tampon qui devra servir à la protection de ce patrimoine géologique.

c- Méthodes d'études :

La première démarche sera adoptée à la détermination des zones limitrophes de notre

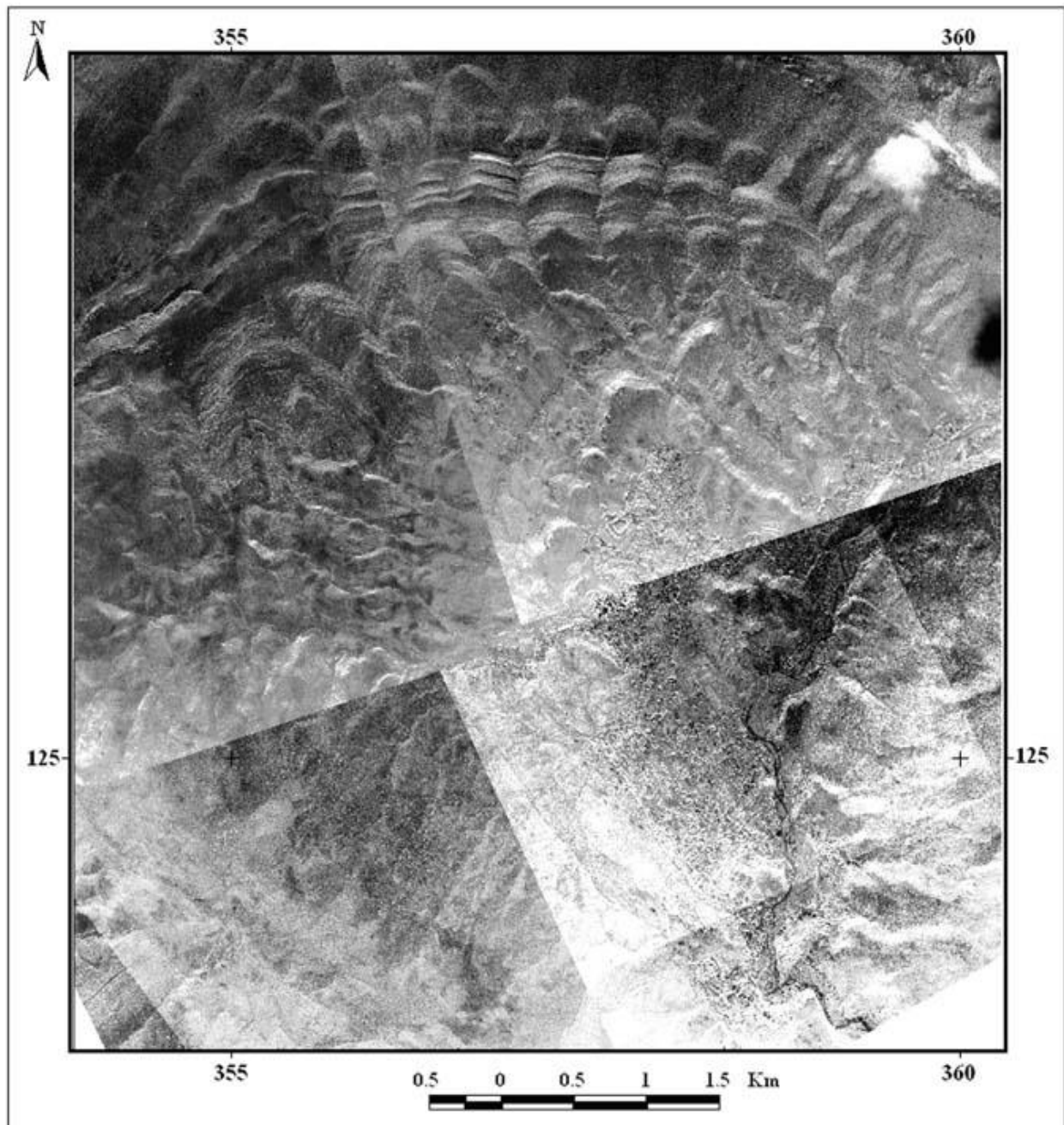


Figure 173 : Mosaïque de photos aériennes qui limite la cuvette d'Iouaridène.

secteur d'étude ; la deuxième va seulement se consacrer à la récupération des occupations du sol à partir de la carte de Tifni au 1/50 000, (**fig. 174**) qui est la plus élevée des cartes topographiques de la région, qui est mise à notre disposition au cartothèque de la l'Agence Nationale de la Conservation Foncière du Cadastre et de la Topographie. Et à l'aide de la mosaïque de photos aériennes, on va rattraper les couches ichnologiques qui sont visibles de douar Aït Mimoun à Tirika.

Troisièmement, on aura l'élévation du terrain par l'élaboration d'un **MNT** à partir des courbes de niveaux digitalisées sur la carte topographique de Tifni (1/50 000), d'une part, il nous permet d'identifier les paramètres topographiques du terrain et d'autre part, il présente le support sur lequel la mosaïque de photos aériennes et les différentes couches d'informations sont superposables entre elles.

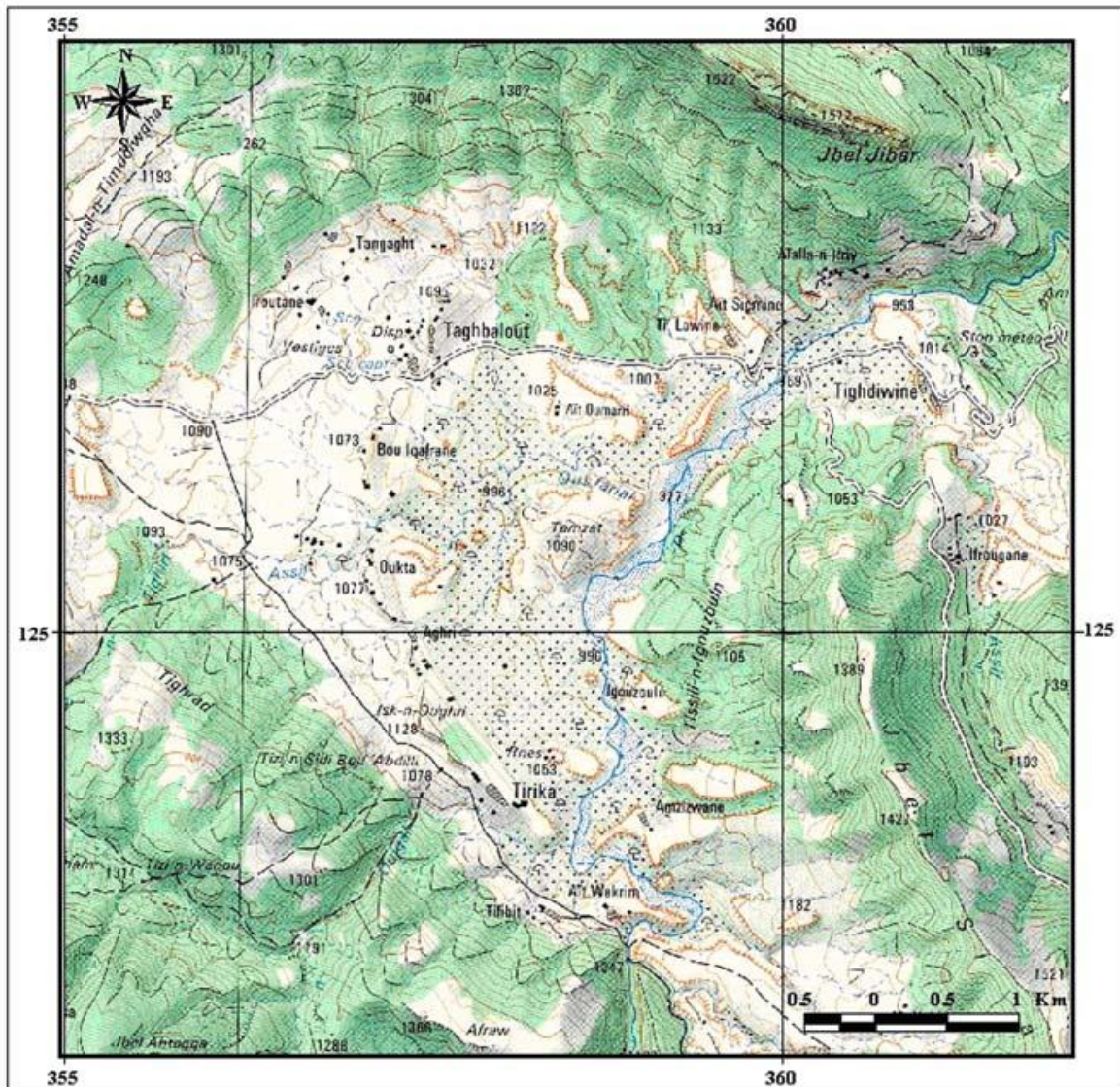


Figure 174 : Carte topographique de Tifni au 1/ 50 000.

Dernière étape sera consacrée à la mise en oeuvre d'une zone de tampon, autour des couches ichnologiques par l'Arc View GIS 3.2, en tenant en considération les différents paramètres topographiques.

III- BASE DE DONNÉES GÉOGRAPHIQUE ÉLABORÉE DE LA CARTE TOPOGRAPHIQUE DE TIFNI 1/50 000 ET DE LA MOSAÏQUE PHOTOS AÉRIENNES 1/20 000 :

a- Base de données géographique de la carte topographique de Tifni (1/50 000) :

Les couches d'informations élaborées à partir de la carte de Tifni sont :

1- Agglomérations (fig. 175) :

Elles sont presque dispersées sur la totalité de la zone d'étude, avec un comblement assez remarquable dans quatre points de la zone (Tirika, Taghbalout, Aït Mimoun, Bou Ifrane,). La plupart des constructions de la région réservent une architecture ancestrale, mais l'arrangement aléatoire de l'habitat agit d'une façon ou d'autre négative à la réservation des

ichnites ; en effet, on trouve l'implantation directe des poteaux électriques sur les empreintes, le passage des bétails sur les gisements des empreintes (**pl. 11, fig. 5**) et des constructions, nouvellement créés, en plein centre des couches ichnologiques (**pl. 11, fig. 6**), qui peuvent provoquer une détérioration assez considérable, en tant que la plupart des sentiers des douars sont tracés, en coupant les dalles ichnologiques.

2- Hydrographie (fig. 175) :

Le secteur d'étude est traversé par de nombreux cours d'eau intermittent, en affluent à un cours permanent, Assif-n-Ghazzaf, qui doit directement se jeter à l'Oued Lakhder.

3- Routes (fig. 175) :

Une seule voie goudronnée menant au centre de la cuvette, en influant négativement sur la préservation du patrimoine géologique et faunistique, car, d'une part, elle traverse les dalles ichnologiques du "Mégagisement" et d'autre part le **SIBE** qui se situe autour du pont naturel d'Imi-n-Ifri, dont la plupart de ses animaux nichent à la rive droite de la route, en nécessitant de l'avoir traversé pour atteindre le point d'eau. Surtout au période d'été où la menace des espèces devient très élevée par les véhicules et les passagères de la route, donc il est nécessaire d'avoir une autre mesure de protection, si c'est possible, par le changement de la position de la route, pour minimiser les différents effets de la contrainte.

Une seule piste qui trouve lieu dans notre zone pilote, désignant la voie qui mène à Tirika, elle est carrossable par les voitures de tous-terrains. Les sentiers doivent être accessibles par la marche et les mulets, dont la plupart traversent les couches ichnologiques, en les mettant dans un état précaire.

4- Courbes de niveaux (fig. 176) :

Sur la carte topographique de Tifni, on a fait la numérisation des lignes de l'élévation de terrain et sur lesquelles on va se baser pour explorer le **MNT** du synclinal d'Iouaridène.

b- Base de données géographique de la mosaïque de photos aériennes (1/20 000) :

Les couches d'informations élaborées de la mosaïque sont (**tab. 103**) :

1- "Mégagisement" des traces de pas de dinosauriens (fig. 177) :

Il est formé par la succession de quatre niveaux ichnologiques qui sont jonchés par les empreintes de pas de dinosauriens, sur un parcours de 7 Km 600 m. Les principaux sites étudiés sont : Quatre au douar Aït Mimoun avec deux pistes individuelles, deux à Taghbalout avec une seule piste individuelle et trois gisements à Tirika. Généralement, dans cette cuvette nous avons exposé 340 empreintes à l'étude.

2- Alluvions (fig. 177) :

Ce sont des terrasses alluviales formées par des limons, déposés récemment sur les couches ichnologiques de la cuvette, en tapissant les empreintes du "Mégagisement" d'Iouaridène. L'arrêt, de cette contrainte, ne devrait être fait que par l'arborisation et l'aménagement du terrain, qui tiendra compte d'une zone tampon au alentour des couches ichnologiques, sous forme des étages ou des terres emboîtées.

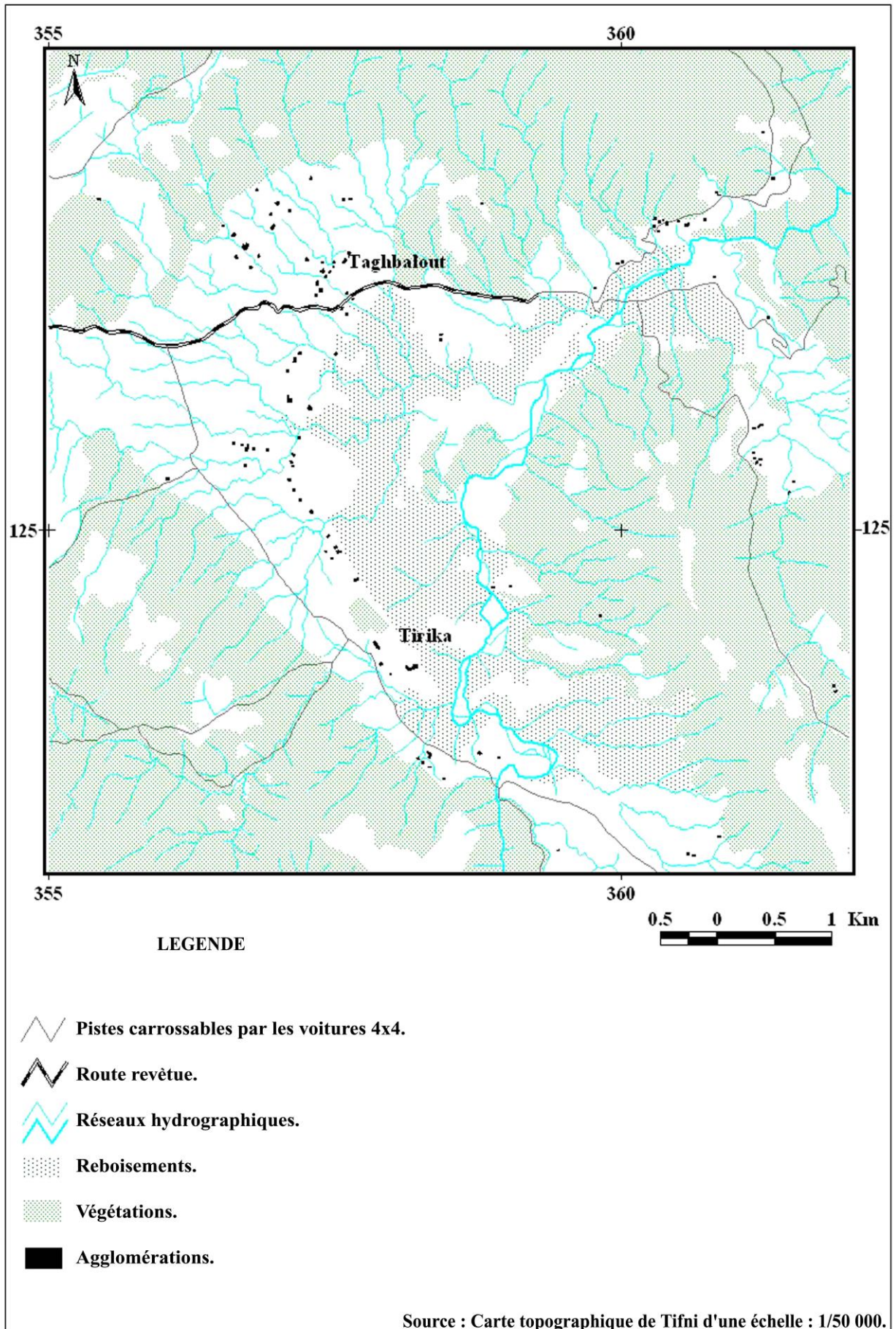


Figure 175 : Occupation du sol de la cuvette d'Iouaridène.

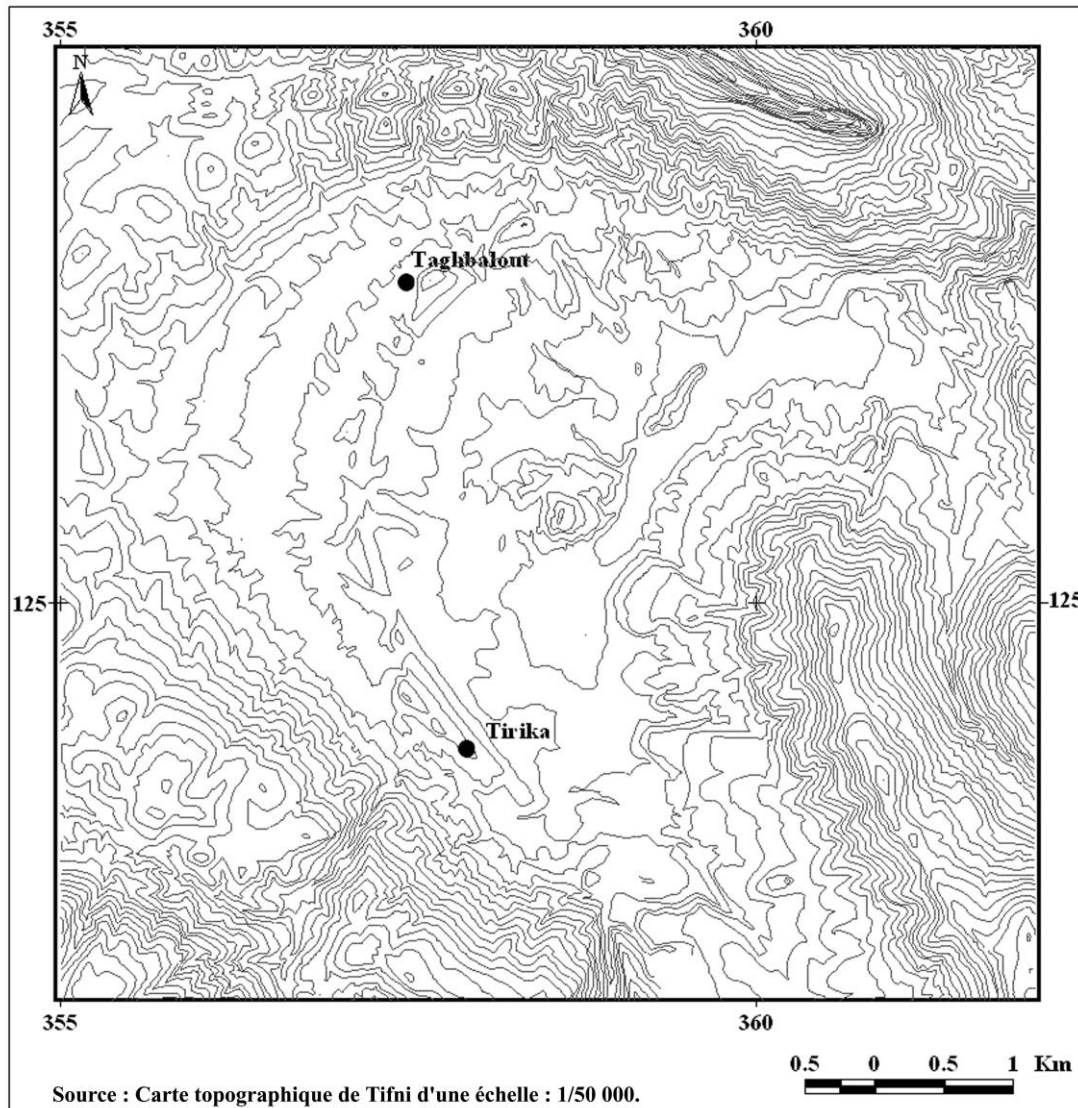


Figure 176 : Courbes de niveaux numérisées sur la carte de Tifni (1/50 000).

3- Reboisement (fig. 177) :

Il est formé sur la terrasse alluviale d'Oued Assif-n-Ghazzaf.

4- Réseau routier (fig. 177) :

Il est formé par une seule route revêtue, menant du pont naturel d'Imi-n-Ifri à douar Taghbalout, et tout le reste du réseau ne sont que des pistes carrossables par les voitures 4x4 et des sentiers accessibles par les mulets.

5- Agglomérations (fig. 177) :

La plupart des habitations ont trouvé la place autours et au centre des dalles ichnologiques, et elles sont remontées en imitant l'architecture ancestrale de la région.

6- Réseau hydrographique (fig. 177) :

Il est constitué par un seul cours d'eau permanent, c'est l'oued Assif-n-Ghazzaf.

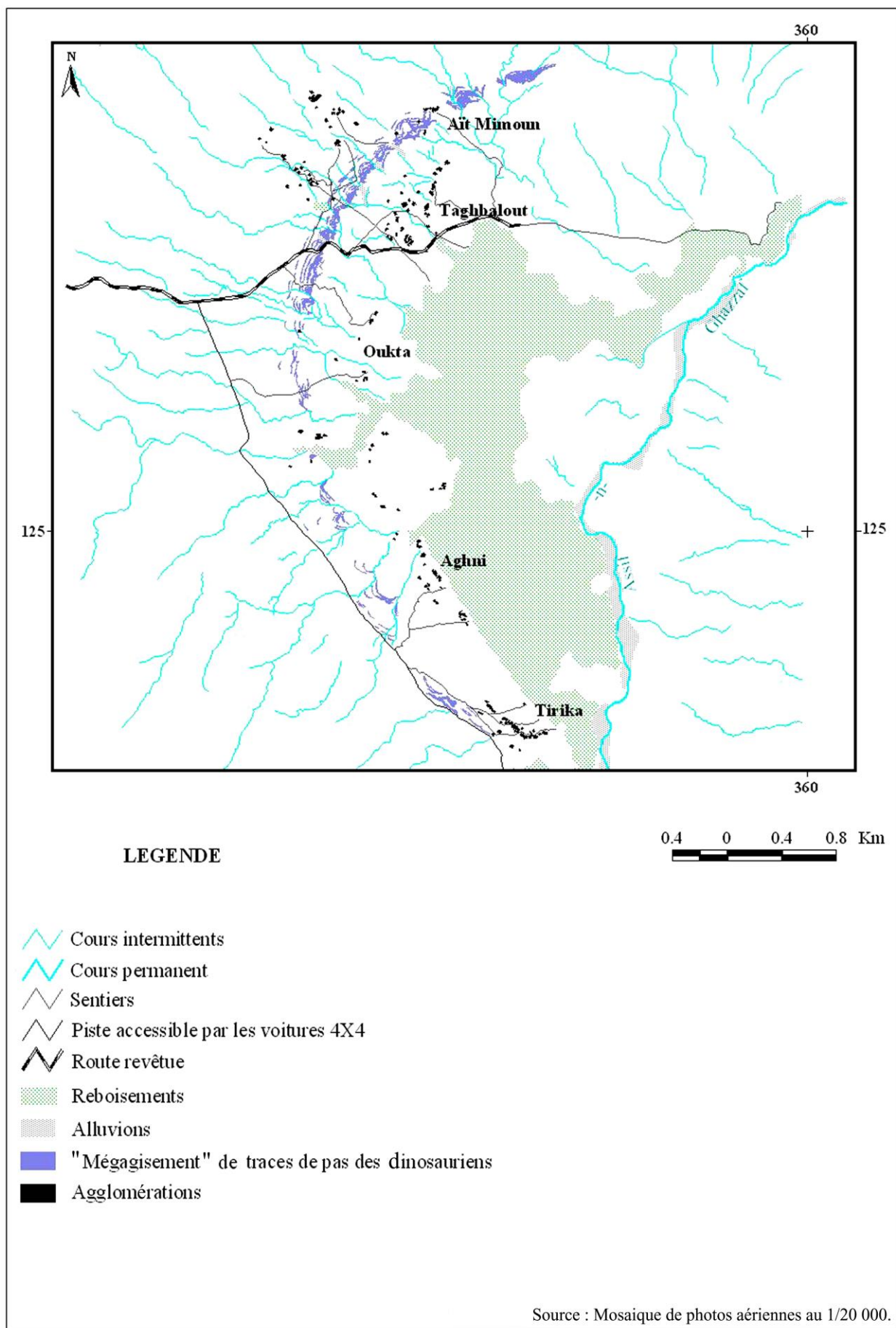


Figure 177 : Différentes couches d'informations élaborées sur la mosaïque de photos aériennes du synclinal d'Iouaridène.

Le nom des thèmes	Désignation	Type	Description
Route	Tertiaire	Ligne	Voie revêtue
Piste et sentiers	Piste désigne la voie qui mène à Tirika. Sentiers concernent les voies situées dans les douars.	Ligne	Accessible en voitures 4X4 et au dos des mulets La table attributaire présente deux codes : 1 : Piste 2 : Sentiers
"Mégagissement" des empreintes de pas de dinosauriens.	Ce sont des strates ichnologiques qui contiennent des traces de pas de dinosaures, ovales et dactylés	Polyligne	Neuf grands gisements de trace ont été détaillés au cours de l'étude sur le terrain.
Agglomérations		Polyligne	Construction ancestrale
Reboisements	Les cultures	Polyligne	
Oueds	Le bassin versant d'Iouaridène	Ligne	Nous avons digitalisé les cours intermittents influant, directement et indirectement, sur les dalles préservant le patrimoine géologique et une seule rivière permanente.
Alluviaux	Les sédiments transportés par le réseau hydrographique, qui sont déposés sur le "Mégagissement" de traces.	Polyligne	Argiles très fines

Tableau 103 : Thèmes utilisés pour la base de données géographique de la photo interprétation.

c- Extraction d'un modèle numérique de terrain et quelques critères topographiques sur la carte topographique de Tifni (1/50 000) :

1- Définition d'un modèle numérique de terrain (MNT) :

Le terme Modèle Numérique de Terrain (MNT) ou Digital Elevation Model (DEM) désigne une représentation continue des variations de relief sur une zone géographique. Les modèles peuvent toucher plusieurs domaines, par exemple modèle économique pour des projections financières, modèle mathématique pour les prévisions de la pollution thermique des eaux de rivière et modèle physique pour l'étude de la diffusion de la pollution atmosphérique. Un MNT peut avoir de nombreuses applications : Stockage de données altimétriques, calculs de coupes et profils pour le génie civil, calculs de visibilité et visualisation des terrains pour les projets.

2- Modèle Numérique de Terrain (MNT) et les paramètres topographiques de la cuvette d'Iouaridène :

Nous avons procédé à la digitalisation des courbes de niveaux à partir de la carte topographique de Tifni, à l'échelle de 1/50 000, en utilisant l'extension TIN d'Arc View, et nous avons, ensuite, généré un modèle numérique d'altitude (**fig. 178**).

Ce modèle numérique d'altitude a facilement été transformé par le Système d'Information Géographique (SIG) en carte matricielle (Grid) d'altitudes, qui nous a servi au calcul des thèmes des élévations de terrain (**fig. 179**), des pentes (**fig. 180**) et la surface de contribution (**fig. 181**).

À l'aide d'un programme (script) d'avenue, on peut définir les différentes zones d'accumulations des eaux (**fig. 182**) et les coins d'effondrements (**fig. 183**). En effet, on va se baser sur quatre critères topographiques (pente, surface de contribution, l'accumulation des eaux et la stabilité du terrain) pour rétablir la zone de protection au alentour des dalles ichnologiques du synclinal d'Iouaridène.

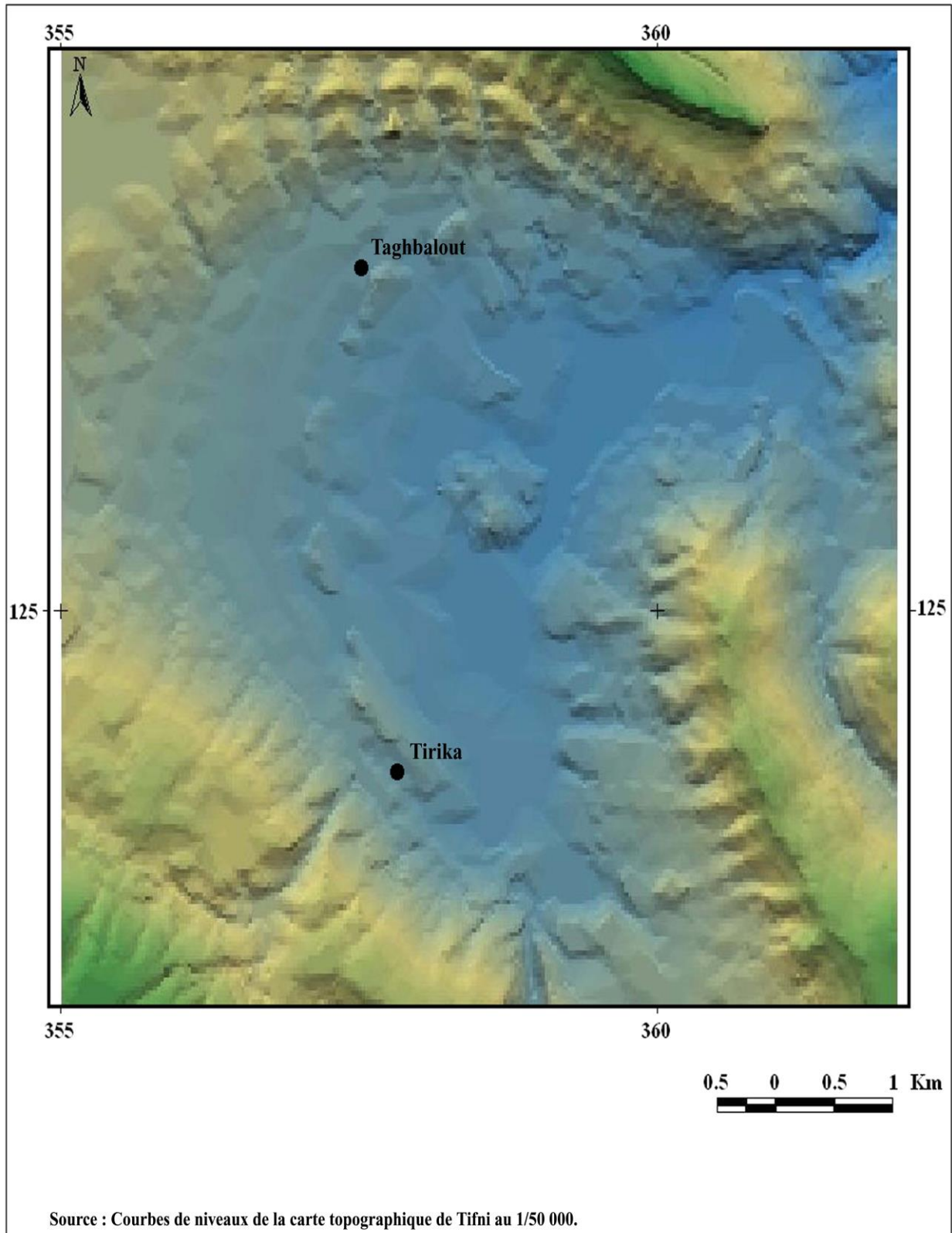


Figure 178 : Modèle numérique de terrain de la cuvette d'Iouaridène à l'échelle de 1/50 000.

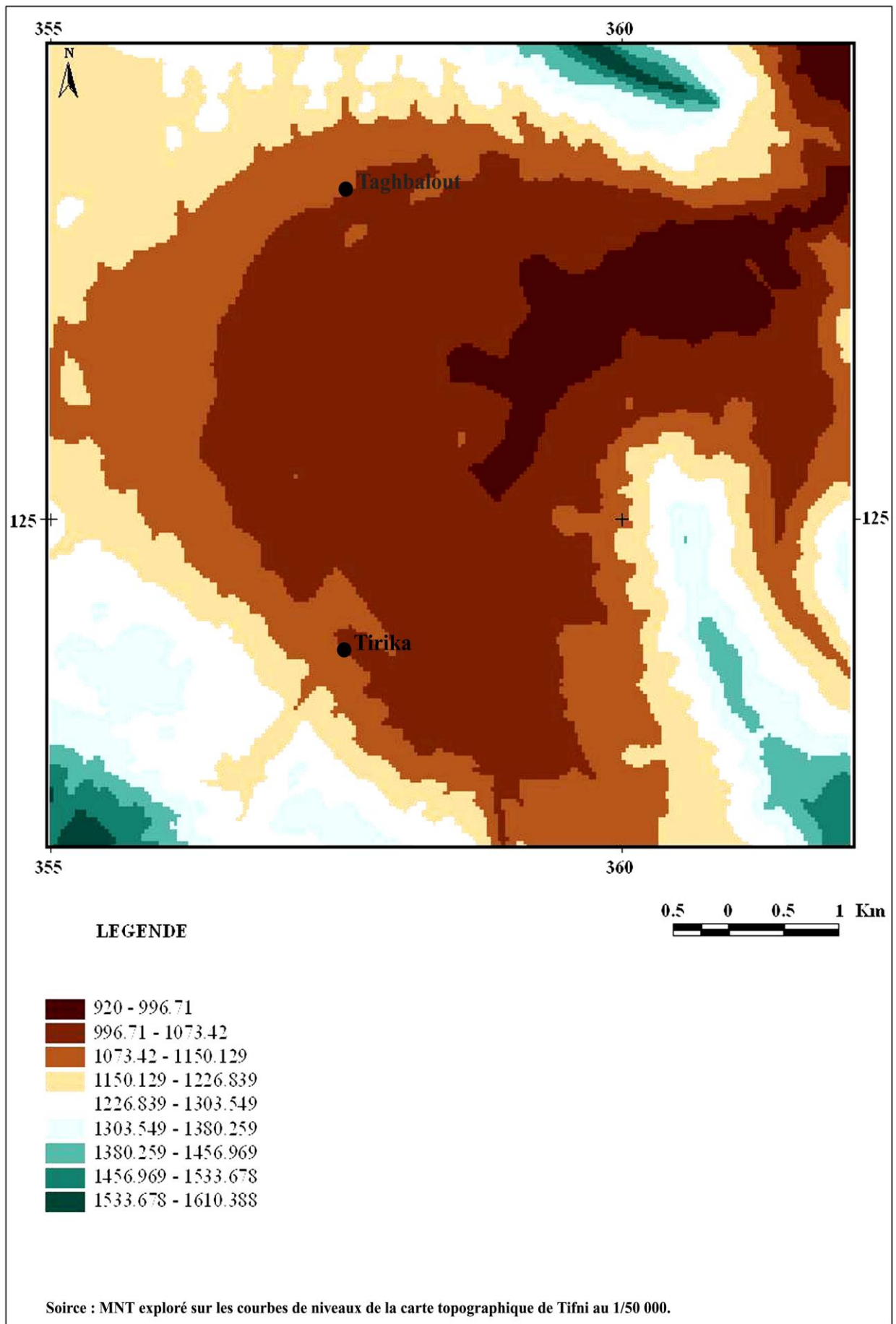


Figure 179 : Élévation du terrain du synclinal d'Iouaridène.

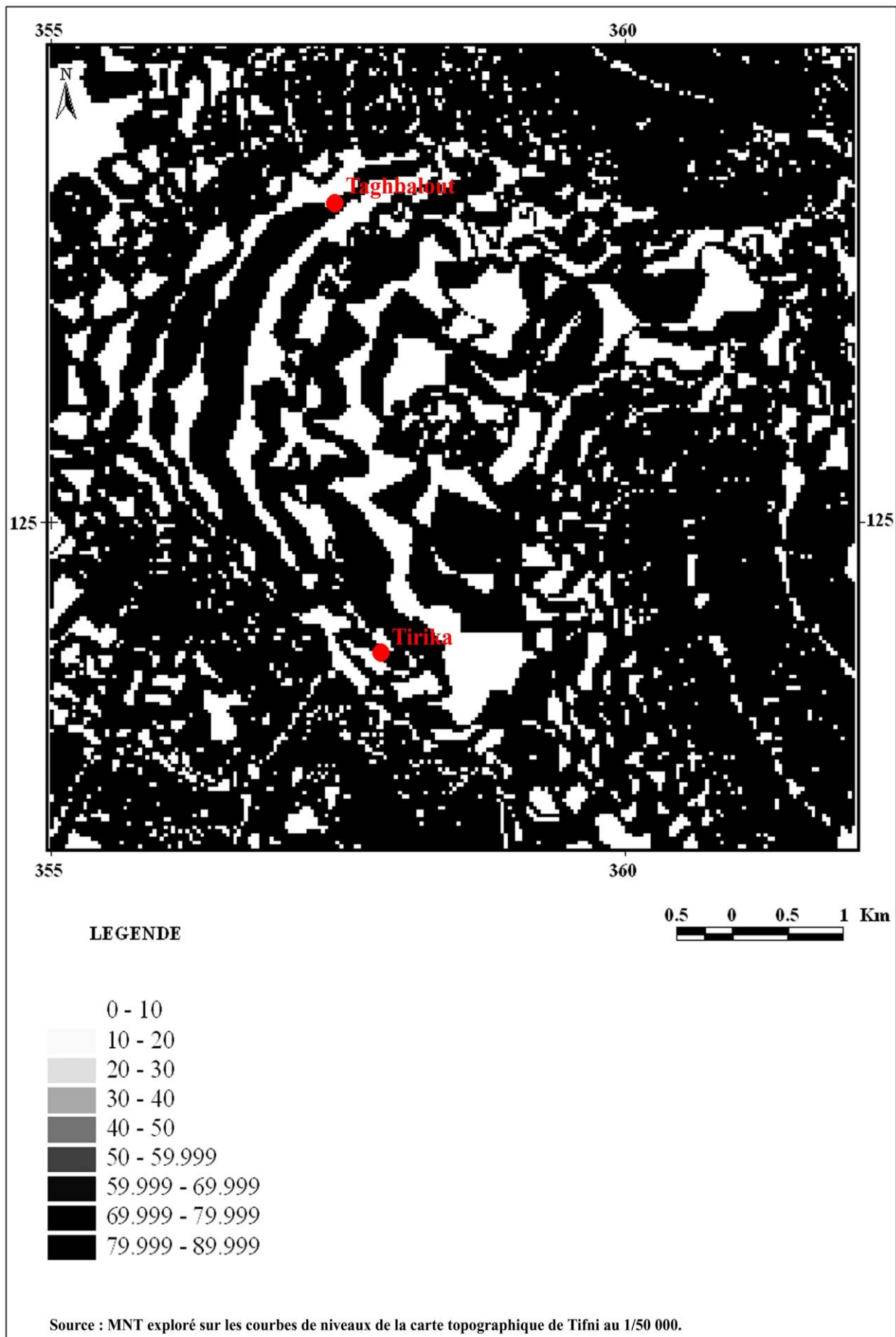


Figure180 : Pente du terrain du synclinal d'Iouaridène.

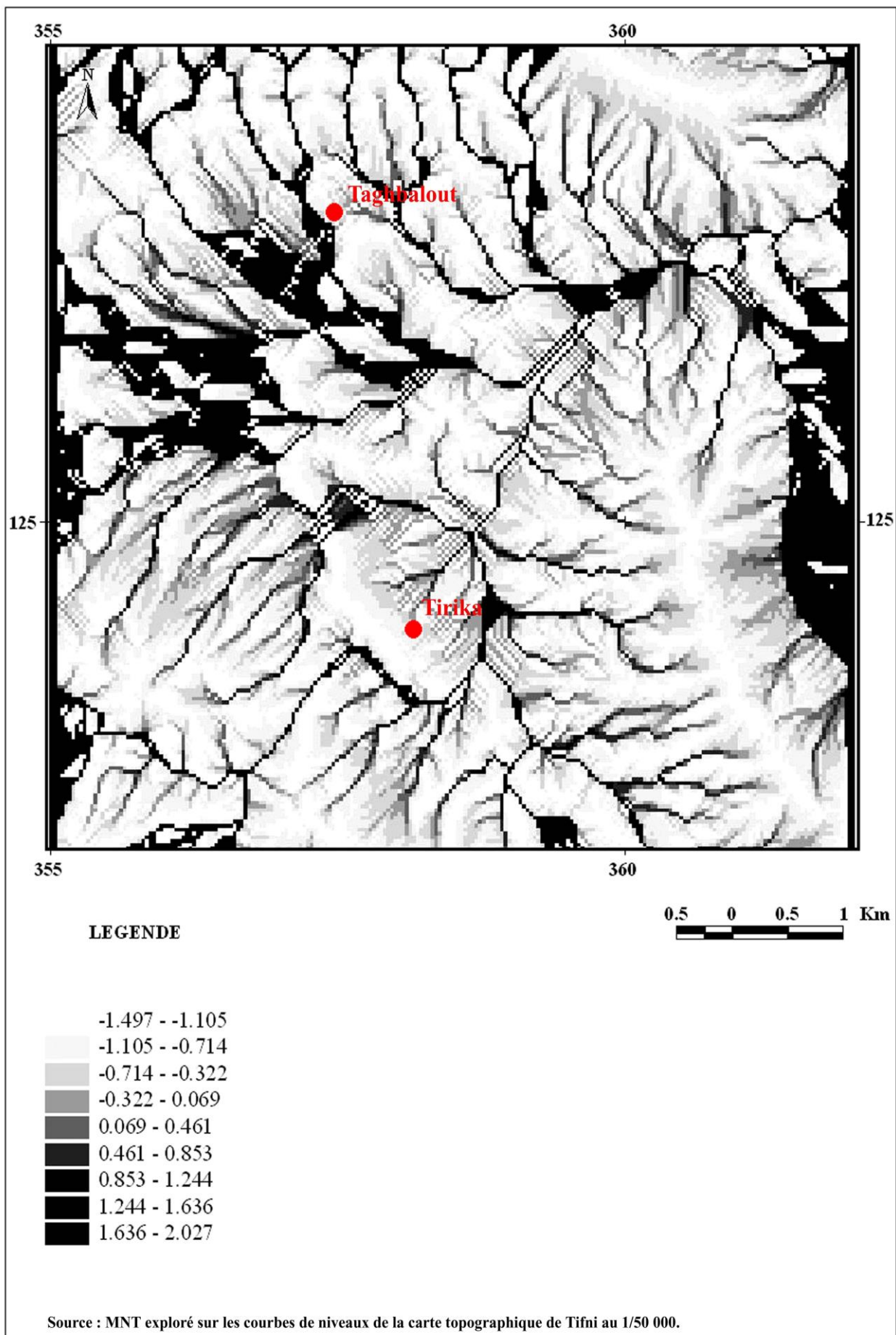


Figure 181 : Surface de la contribution des eaux au synclinal d'Iouaridène.

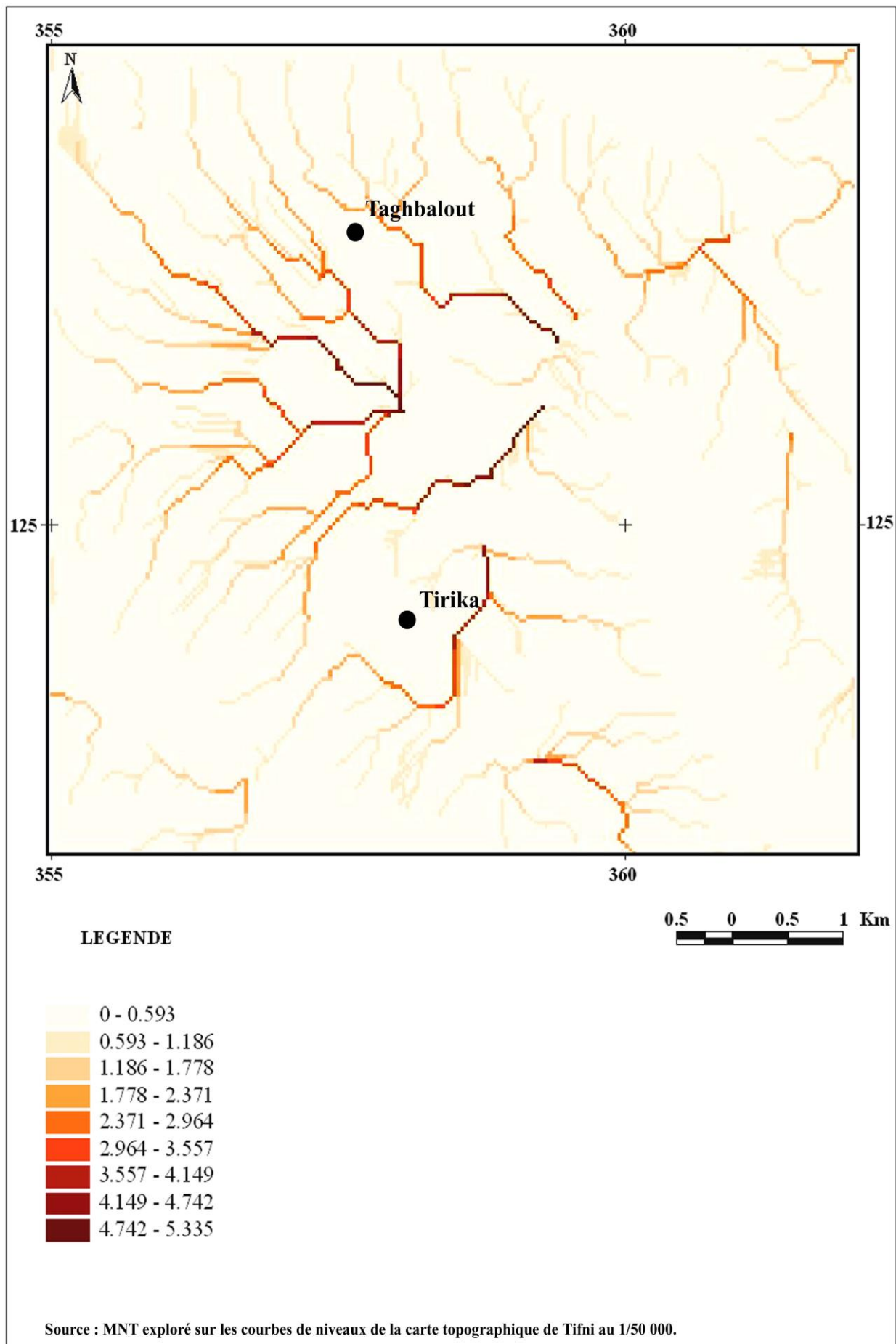


Figure 182 : Zones d'accumulations des eaux du synclinal d'Iouaridène.

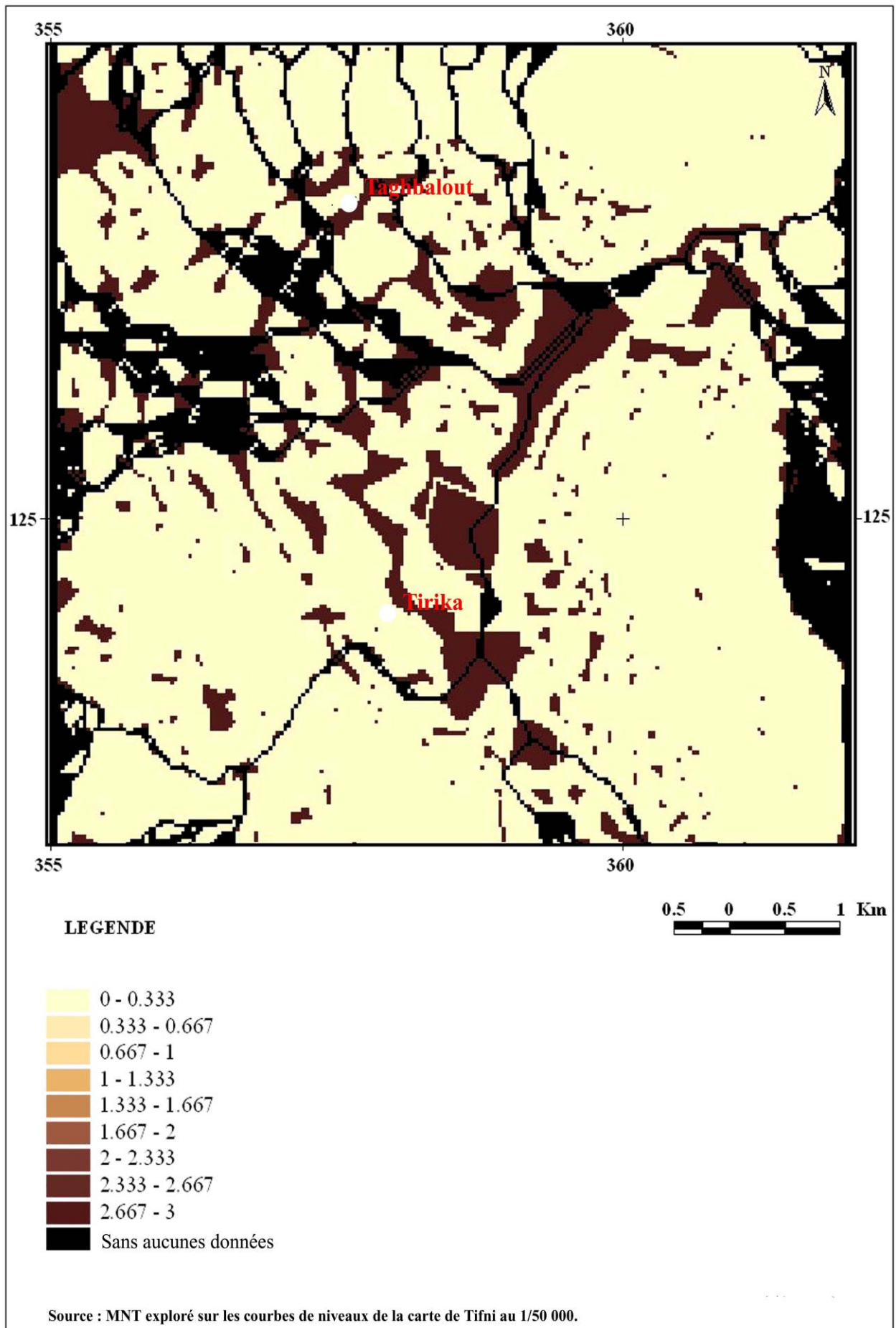


Figure 183: Carte d'indice de stabilité des pentes du synclinal d'Iouaridène.

3- Superposition de la mosaïque des photos aériennes et les paramètres topographiques sur le MNT du synclinal d'Iouaridène (fig. 184) :

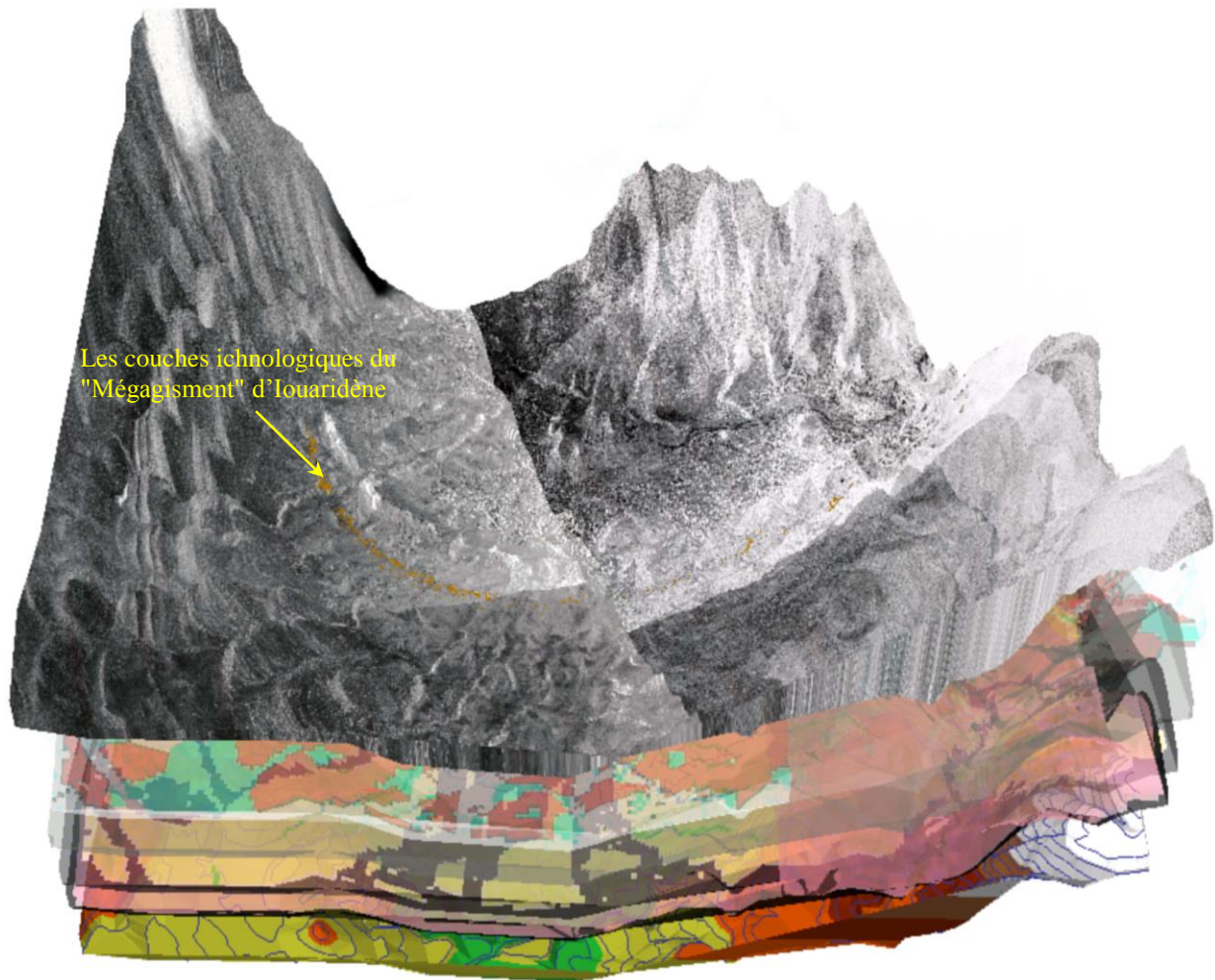


Figure 184 : Mise en évidence des couches ichnologiques, sur la mosaïque des photos aériennes, et leurs superpositions avec les paramètres de la pente, la surface de la contribution, l'accumulation des eaux et la stabilité du terrain sur le MNT.

4- Mise en œuvre d'une zone de tampon (fig. 185) au alentour des couches ichnologiques du "Mégagissement" de traces de pas de dinosauriens du synclinal d'Iouaridène :

À l'aide d'une extension de l'Arc View Spatial Analyste, on va déployer à l'application un développement durable, concernant le patrimoine ichnologique de la cuvette d'Iouaridène par la mise en œuvre, autour des dalles ichnologiques, d'une zone dite de tampon, qui est définie comme une superficie qui tourne autour d'une aire ou un biotope exposé à une étude spatiale analyste, tel que le "Mégagissement" de traces de pas de dinosauriens.

En effet, le "Mégagissement" d'Iouaridène reste un lieu très envahi par la dégradation hydraulique, en tant qu'il est situé dans le bas niveau d'altitude du synclinal, en favorisant l'accumulation des eaux qui augmentent en volume à la période d'estivale, en provoquant la détérioration des dalles qui recèlent ce patrimoine. En outre, l'effondrement du terrain reste parmi les contraintes qu'influent négativement sur la réservation des empreintes de pas de dinosauriens.

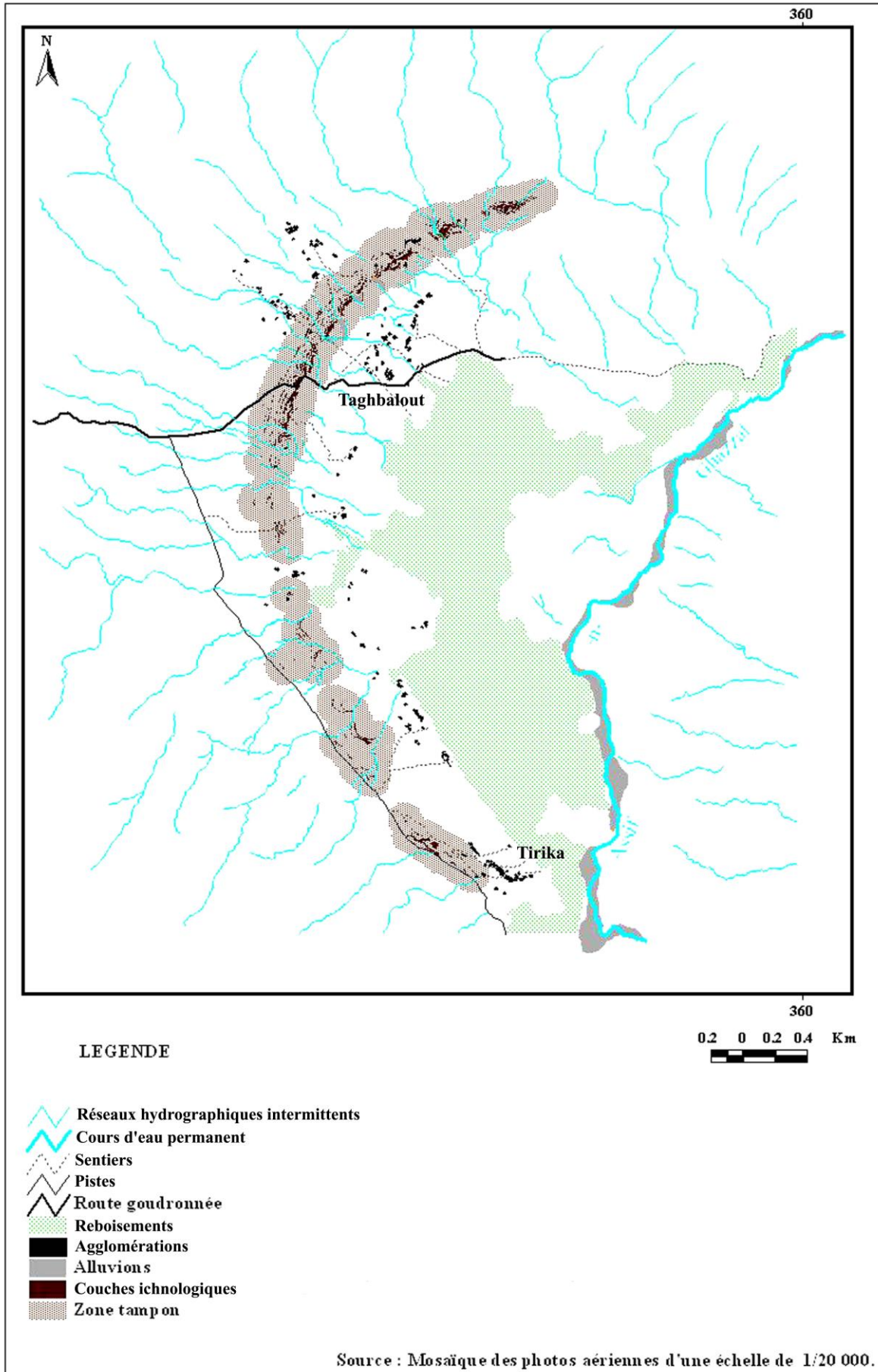


Figure 185: Zone de protection tracée autour des couches ichnologiques du synclinal d'Iouaridène.

Pour limiter ces différentes contraintes, on va borner les dalles ichnologiques à l'aide de l'Arc View Spatial Analyste par une zone de tampon "Buffers", distante entre chaque point extrême de la dalle d'une distance de 100 m, en tenant compte des zones de la chute de la pente. L'aménagement de ce secteur devra être arborisé ou fait sous forme d'une terrasse emboîtée, pour éviter tout ruissellement et toute érosion du terrain, qui favorisent le piégeage des débris dans les trous des traces, en encourageant la germination et l'accroissement des plantes.

CHAPITRE VI
CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le Haut-Atlas central du Maroc constitue une zone privilégiée pour l'étude ichnologique des empreintes de pas de dinosaures Jurassiques. Trois secteurs sont étudiés : La vallée des Aït Bou Guemmez, Bin El Ouidane et le synclinal d'Iouaridène. Le travail mené a porté sur l'étude de 526 empreintes dispersées sur 54 pistes, avec 240 empreintes de 29 pistes de Théropodes, 271 empreintes de 22 pistes de Sauropodes et 15 empreintes de 3 pistes d'Ornithopodes.

Le secteur de la vallée des Aït Bou Guemmez est distingué par des empreintes de pas dinosauriens : Théropodes qui sont rapportés aux *Eubrontes* (**fig. 186**) distinguant par la légère séparation du doigt **II** de l'enveloppe de l'empreinte et aux Carnosauriens (**fig. 186**) dont leurs doigts sont pointus et volumineux, et Sauropodes qui sont caractérisés par la brièveté de leur couple de traces donc, ils sont rapportés aux *Bréviparopus*, (**fig. 186**) toutes ces traces sont gravées sur des calcaires liasiques (Carixien à Domerien) de plate-forme carbonatée intertidale à laminations stromatholithiques.

Le secteur de Bin El Ouidane porte des traces tridactyles de petites tailles gravées sur des grès fins laminés de l'Aalénien-Bajocien. Il y a des ichnites tridactyles qui ressemblent beaucoup aux traces de pas d'oiseaux (**1Bo**) et il y a aussi des empreintes tridactyles, sub-symétrique et atypique aux Théropodes (**fig. 186**) elles sont discriminées grâce à la formule du coussinet phalangien **2-3-3**, qui correspond respectivement aux doigts **II**, **III** et **IV** dont leur pied est, en fait, en disposition de **2-3-4**, il s'agit d'un Théropode de l'ichno-genre *Carmelopodus* Lockley et al, 1998.

Le Synclinal d'Iouaridène est caractérisé par de nombreuses empreintes tridactyles et ovales avec une dominance des empreintes de Théropodes. Les traces de pas sont imprimées sur 4 niveaux ichnologiques qui s'étendent sur plusieurs Km². Le premier niveau est le moins peuplé, en revanche le troisième est le plus équilibré écologiquement en présentant autant de carnivores que d'herbivores y compris les Sauropodes et les Ornithopodes. Dans ce secteur, une nouvelle ichno-espèce est décrite et nommée *Eutynichnium atlasipodus* n. Sp (**fig. 186**).

Les couches d'Iouaridène, datées de l'Oxfordien ?-Kimméridgien, sont des argiles consolidées à polygones de dessiccation, ce qui indique un milieu supratidal sous un climat semi-aride. Plus de la moitié des pistes d'Iouaridène ont une orientation bidirectionnelle qui était contrôlée par une barrière géographique qui ne pourrait être que les bordures d'une mer ou d'un lac, la plupart des gisements de la région sont localisés dans la partie nordique.

L'analyse ichnologique est établie en premier lieu par des techniques biométriques qui ont permis de reconstituer l'allure, la locomotion et le comportement des dinosauriens.

La lithologie est analysée dans le sens des structures sédimentaires en association générées par les empreintes.

La paléogéographie constitue un outil conduisant à mettre en évidence les paléomilieus et les orientations des pistes de dinosauriens.

Les empreintes de pas de dinosauriens du Haut-Atlas central (Demnat-Azilal) sont réunies en cinq grands groupes:

☞ **Groupe 1 (fig. 186)** : Empreintes tridactyles, digitigrades et de petites tailles, la longueur varie, en moyenne, entre une valeur minimale de 9,37 cm et maximale de 23,1 cm. Les doigts sont articulés, pointus et séparés. Ces empreintes sont rencontrées à Aït Mimoun (Iouaridène), elles sont rapportées à des petits Théropodes bipèdes carnivores "Coelulosauriens" ou à des petits Ornithopodes.

☞ **Groupe 2 (fig. 186)**: Empreintes tridactyles (**II, III, IV**) et tétradactyles (**I, II, III, IV**), de grande taille atteignant une longueur oscillant entre 27,5 cm et 42 cm. Les doigts sont robustes, pointus, articulés et présentent parfois les traces de griffes. Le talon est rétréci et rond pour les digitigrades et les tridactyles, en revanche il est allongé avec une trace du métatarse pour les semi-plantigrades (impression moins développée du hallux **I**). Ces empreintes sont aussi enregistrées à Aït Bou Guemmez, elles sont attribuables à des grands et robustes Théropodes "Carnosauriens".

☞ **Groupe 3 (fig. 186)** : Empreintes tétradactyles et digitigrades de grandes tailles comptant 48,33 cm de longueur et 30,6 cm de largeur. Elles sont distinguées par la présence des doigts articulés, massifs et séparés avec l'absence des traces de griffes. Le doigt **I** (hallux) est le critère de distinction de ce groupe avec une taille moyenne de 19,46 cm de longueur, dépassant parfois les doigts latéraux, il est massif et comporte deux grands coussinets, il est situé sur le même niveau des doigts (**II, III, IV**) et se rallie à la première phalange du doigt **III** et **IV**. Ces empreintes ne sont observables qu'à Aït Mimoun, elles sont à rapporter à un grand Théropode de la super-famille Mégalosauroidea.

☞ **Groupe 4 (fig. 186)** : Empreintes tridactyles de grande taille d'une forme circulaire avec une similitude de taille de la longueur et de la largeur. Les doigts sont attachés entre eux, ronds en leurs parties distales, chacun contient un seul coussinet au centre. Le talon est rond, rétréci et occupé par un seul grand coussinet au centre. Ces traces, observables uniquement dans le synclinal d'Iouaridène, sont des dinosauriens bipèdes herbivores classés dans le sous-ordre Ornithopoda.

☞ **Groupe 5 (fig. 186)** : Empreintes ovales formées par des couples de traces pied et main, d'une énorme taille. La longueur est variable entre 47 cm et 116,1 cm pour les empreintes de membres postérieures dont leur nombre de doigts varie entre cinq (**I, II, III, IV, V**), quatre (**I, II, III, IV**) et trois (**II, III, IV**), et entre 22,5 cm et 44,8 cm pour les empreintes de membres antérieures. Les traces de membres postérieurs piétinent généralement celles des antérieurs. La piste tracée par les mains est légèrement écartée de la ligne médiane de l'animal vers l'extérieur, par rapport à celle procrée par les pieds. Ces empreintes sont abondantes dans tous les gisements étudiés, elles sont produites par des Sauropodes ou bien des diplodocidés de l'ichno-genre : *parabrontopodus* ou *breviparopus*.

La valorisation et la protection de ce patrimoine ont conduit à l'élaboration et la mise en application d'un **SIG** par photo interprétation et spatiale, dans le cadre de la création du projet Géoparc M'Goun dans la région Tadla-Azilal.

L'élaboration de la zone tampon a été faite sur la base d'un **MNT** exploré à partir des courbes de niveaux de la carte de Tifni d'échelle 1/50 000, l'extraction des couches ichnologiques et l'occupation du sol sur la mosaïque des photos aériennes (1/20 000) délimitant le synclinal d'Iouaridène. Les caractères topographiques du terrain qui nous ont permis de tracer une zone de protection par le recours au **SIG** (système d'information géographique). Quatre paramètres topographiques sont pris en considération : Pente, surface de contribution, accumulation des eaux et stabilité du terrain.

Une zone tampon est ainsi, mise en évidence sur les limites des dalles ichnologiques d'Iouaridène pour cerner le contrôle des différentes contraintes d'altérations et de

dégradations telles que :

☞ Les facteurs atmosphériques: Erosion par ruissellement pluvial, érosion éolienne, insolation, hydrolyse, gel et oscillations thermiques (l'eau s'infiltré dans les fissures et les pores de la roche, en gelant le volume d'eau augmente ce qui conduit à la fragmentation de la roche),

☞ Les facteurs biologiques: Les racines végétales (qui poussent et s'accroissent dans les fissures, ce qui conduit à la désagrégation des roches). Les facteurs anthropiques, particulièrement la proximité des villages et les visiteurs de plus en plus importants qui marchent et piétinent les empreintes dinosauriennes.

LOCALITE	AFRIQUE DU NORD (HAUT ATLAS CENTRAL)			AMERIQUE DU NORD		EUROPE
	SAURISCHNIEN	ORNITHISCHNIEN	SAUROPODE	SAURISCHNIEN	SAURISCHNIEN	SAURISCHNIEN
ORDRE	THEROPODE		SAUROPODE	ORNITHISCHNIEN	THEROPODE	THEROPODE
Sous ordres Etages	THEROPODE		SAUROPODE	ORNITHISCHNIEN	THEROPODE	THEROPODE
VALANGINIEN						
BERRIASIEN						
TITHONIEN						
KIMMERIDCIEN	E. 40 cm I	M. 30 cm IV	B. 1 m B.t. 1 m	O. 15 cm	M. 30 cm IV	E. 15 cm I
OXFORDIEN						C. 5 cm IV
CALLOVIEN						
BATHONIEN						
BAJOCIEN						
AALENIEN						
TOARCIEEN						
PLIENSBACHIEEN						
SINEMURIEN	Eu. 30 cm I	P.T. 15 cm IV	B. 1 m B. 60 cm		Eu. 20 cm II	Eu. 15 cm II
HETTANGIEN						
KEUPER						

Figure 186 : Montre la répartition chronostratigraphique des différentes empreintes du Haut-Atlas central. La comparaison est établie uniquement entre quelques types de traces dactylés, de l'Amérique du nord et de l'Europe. Les abréviations : E. *Eutychnium*, M. *Megalosaurus*, P.T. Petit Théropode, B. *Breviparopus*, B.t. *Breviparopus taghbaloutensis*, O. *Ornithopode*, C. *Carmelopodus*, Eu. *Eubrontes*, Ca. *Carnosaurien*.

Corrélation ichnostratigraphique ————— Etendue stratigraphique

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

PLANCHE 1

Figure 1 et 2 : Calcaire micritique à laminations stromatholitiques.

Figure 3 et 4 : Dolomie.

Figure 5 : Dolomitisation totale du calcaire.

Figure 6 : Dolomitisation partielle à test de foraminifères.

PLANCHE 1

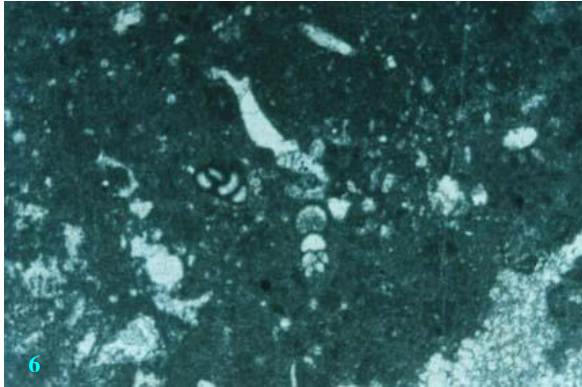
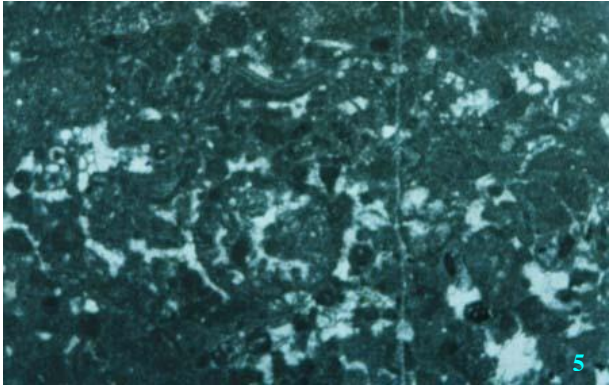
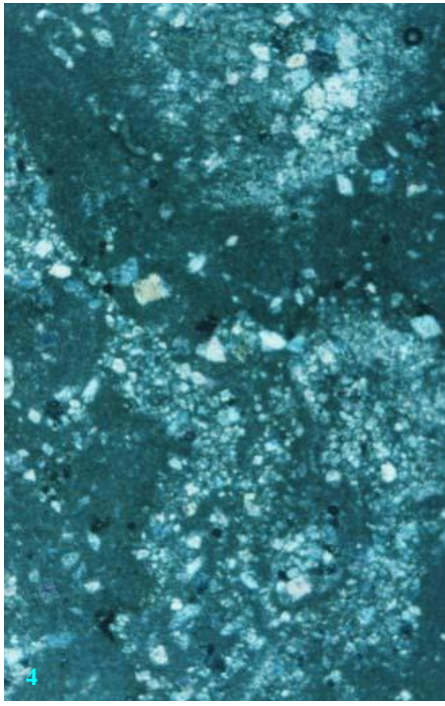
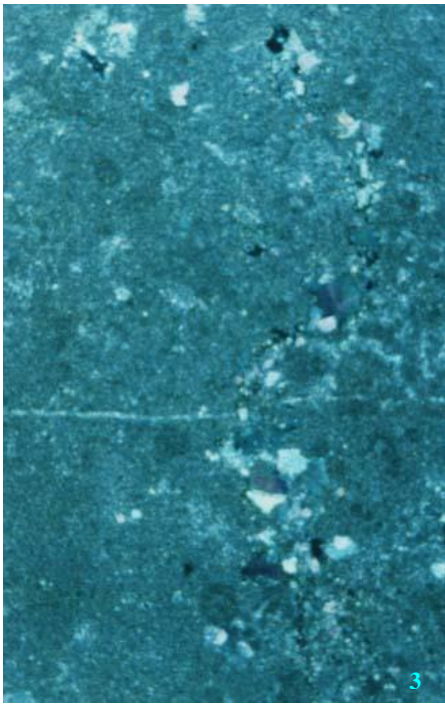
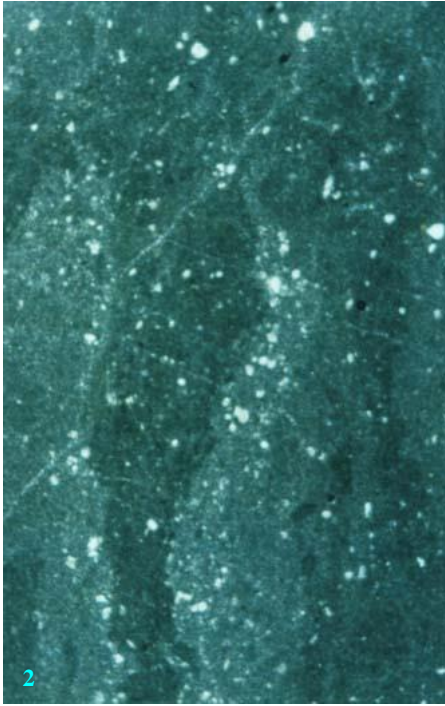
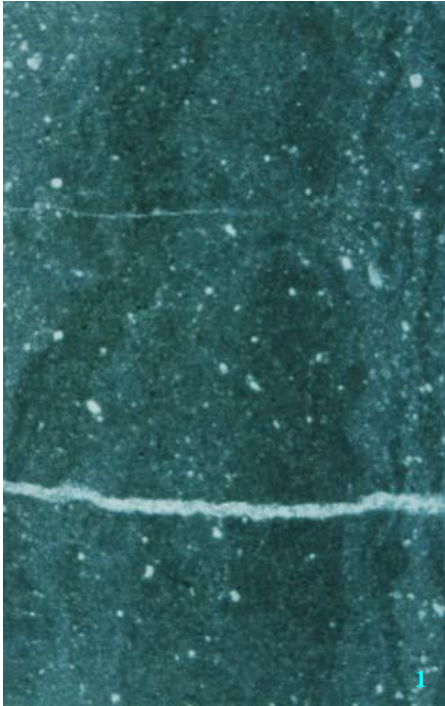


PLANCHE 2

Figure 1 : Algue du genre *Paleodasycladus*.

Figure 2 : Gisement 1Ib.

Figure 3 : Visualisation des deux parties de la piste 1Ib1.

Figure 4 : Introduction d'un niveau supérieur par le pied d'un dinosaurien quadrupède, en configurant une sub-empreinte. Gisement d'Ibaqalliwn.

Figure 5 : Couple d'empreintes 1Ib1.9, distingué par l'apparence des doigts sur l'empreinte postérieure et par la faible profondeur de l'empreinte de la main.

Figure 6 : Piste 1Ib2.

PLANCHE 2

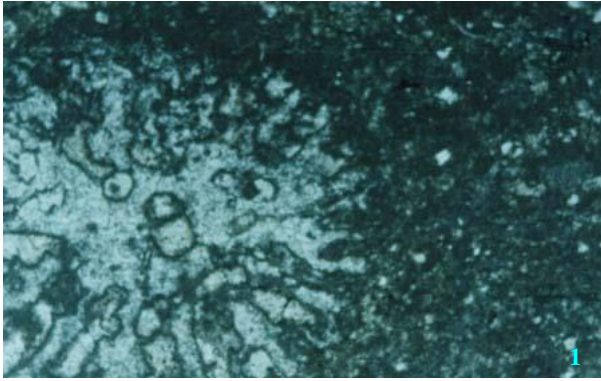


PLANCHE 3

Figure 1 : Empreinte 2Ib1.1 montrant la séparation du doigt II, quasi parallèle à l'axe du doigt III.

Figure 2 : Interférence entre l'empreinte 2Ib3.6 et l'empreinte 2Ib4.1.

Figure 3 : Empreinte du pied 1Ta1.5p montrant la disposition des quatre doigts.

Figure 4 : Couple de traces ovales du gisement de Tabant, montrant la forme arquée de la trace du membre antérieur.

Figure 5 : Laminations continues à l'intérieur d'une empreinte ovale, gisement de Tabant, vallée d'Aït Bou Guemmez.

Figure 6 : Gisement d'Ahbak sur le flanc d'une étroite vallée exposée à l'érosion hydrique et éolienne.

PLANCHE 3

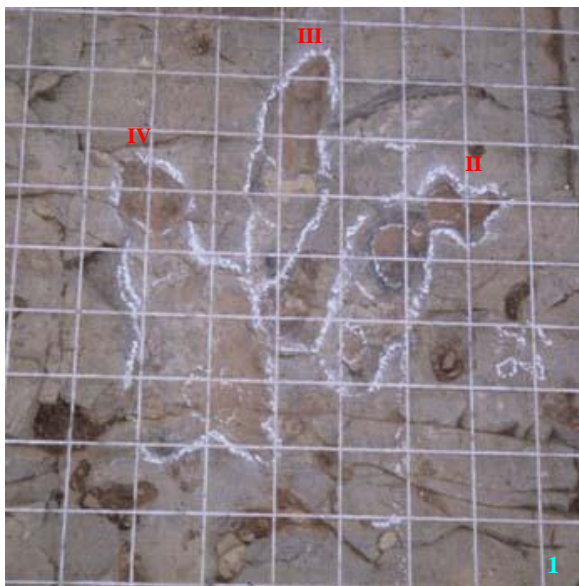


PLANCHE 4

Figure 1 : Stratification des niveaux calcaires de Sidi Moussa.

Figure 2, 3 et 4 : Stromatholithes déformées par les pieds des Sauropodes à Sidi Moussa.

Figure 5 : Empreinte 1Bo3 montrant la couche neutre dans le doigt III, le talon et le doigt latéral gauche.

Figure 6 : Empreinte 1Bo4.2, les traces de doigts sont occupées par les fragments de roches (brèches).

Figure 7 : Empreinte 1Bo1.3 montrant les cicatrices au fond des doigts.

Figure 8 : Fractures des tensions linéaires formées sur les bordures ou au fond des traces de doigts (empreinte 1Bo 4.2).

PLANCHE 4

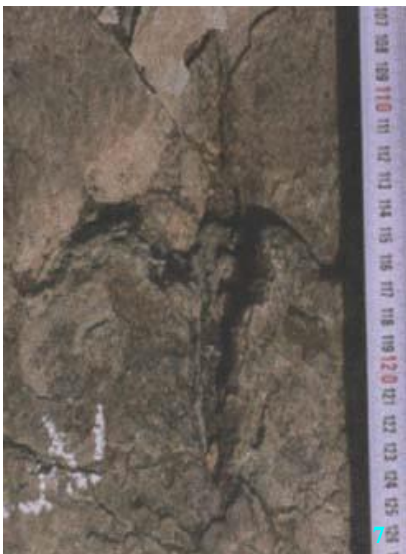
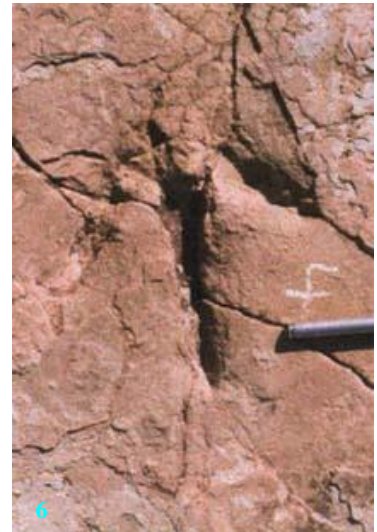
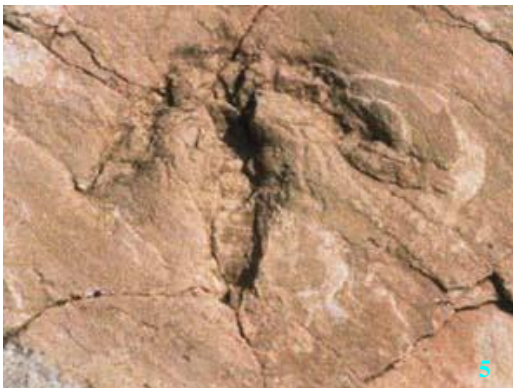


PLANCHE 5

Figure 1 : Fracture de tension circulaire formée autour de l’empreinte 1Bo 4.1 par la pression exercée par l’autopode de l’animal.

Figure 2 : Rétroversion de la partie centrale de l’empreinte 1Bo1.5 avec un fort angle interdigital entre les doigts.

Figure 3 : Couple de traces 2Bo2.2.

Figure 4 : Empreintes 2Bo1.2.

Figure 5 : Sous impression "undertrack" 2Bo1.3.

Figure 6 : Empreinte 3Bo1.6.

PLANCHE 5

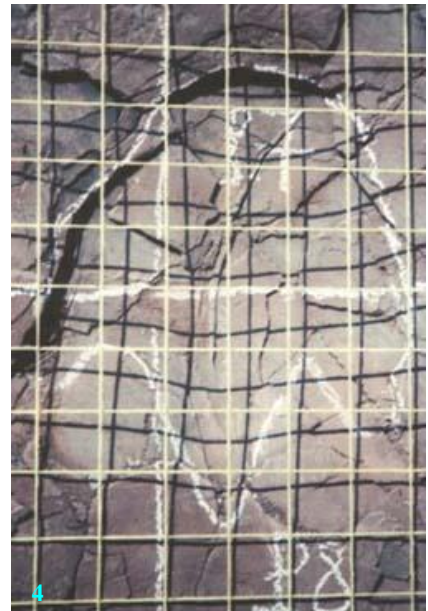
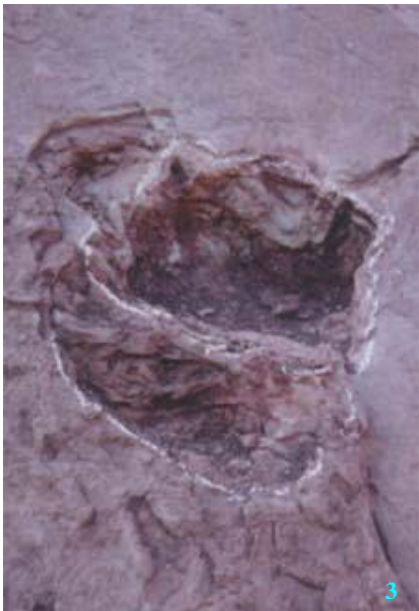
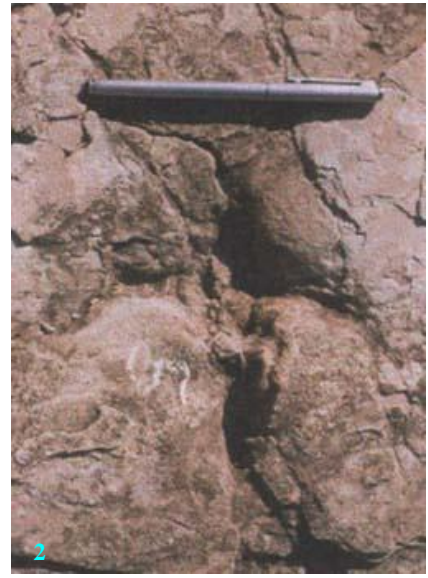


PLANCHE 6

Figure 1 : Empreinte 3Bo1.2.

Figure 2 : Holotype, 1Am2.5, d'*Eutynichnium atlasipodus* nov. Sp.

Figure 3 : Empreinte, 1Am2.2, d'*Eutynichnium atlasipodus* nov. Sp.

Figure 4 : Une des empreintes de la piste 1Am1 où l'on observe le hallux bien intégré dans le pied.

Figure 5 : Vue générale du gisement 3Am montrant les fentes de dessiccation et les micros ripple-marks.

PLANCHE 6

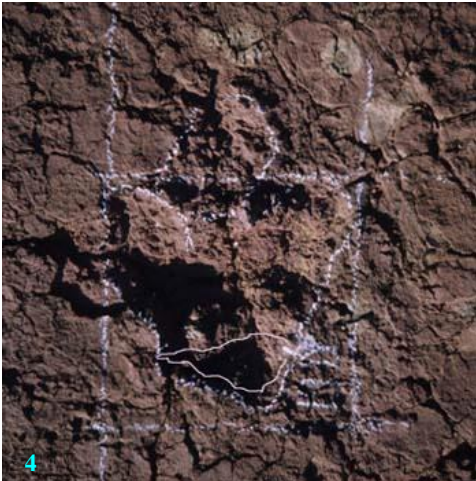


PLANCHE 7

Figure 1 : Empreinte de main (3Am1.5), gisement d'Aït Mimoun.

Figure 2 : Faible profondeur des traces des deux pistes ovales du gisement 3Am.

Figure 3 : Stries de traînages tracées à l'intérieur d'une empreinte de main de la piste 3Am1.

Figure 4 : Fracture de tension en avant et épanchement de la boue en arrière de la main 3Am2.3.

Figure 5 : Empreinte 3Am3.16 montrant les contours subcirculaires des doigts, piste 3Am3, gisement 3Am.

Figure 6 : Empreinte 3Am3.15 montrant une forme et un contour allongé des doigts, piste 3Am3, gisement 3Am.

Figure 7 : Empreinte tridactyle, piste 3Am4, gisement 3Am.

PLANCHE 7

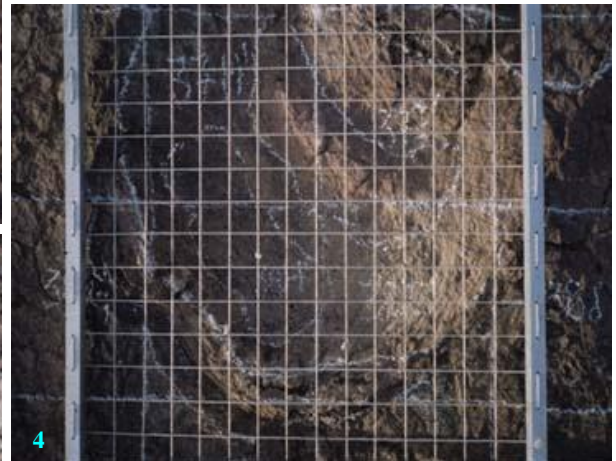
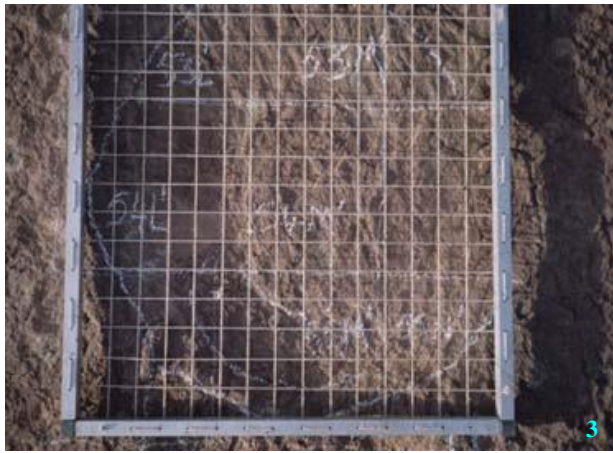
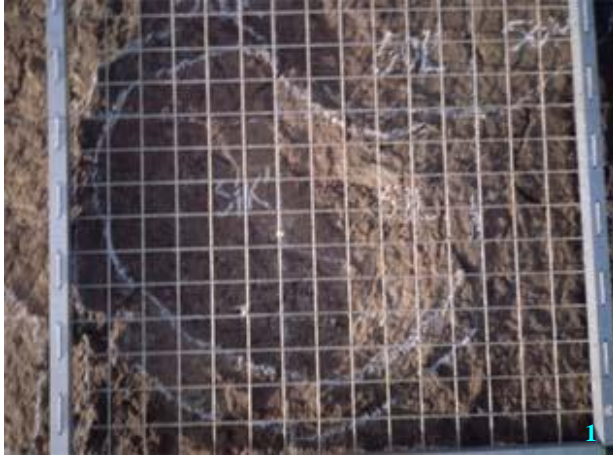


PLANCHE 8

Figure 1 : Empreinte 3Am4.13 avec des articulations de doigts et la trace d'une griffe gravée à la trace du doigt III.

Figure 2 : Empreinte 3Am5.2, gisement 3Am.

Figure 3 : Vue générale de l'ensemble de la piste 4Am1.

Figure 4 : Fracturation totale du couple 4Am1.3 produite par le décrochement de la dalle réceptive de la piste.

Figure 5 : Traces de doigts et leurs incisions dans l'empreinte postérieure du couple 4Am1.16.

Figure 6 : Couple de traces 4Am1.9.

PLANCHE 8

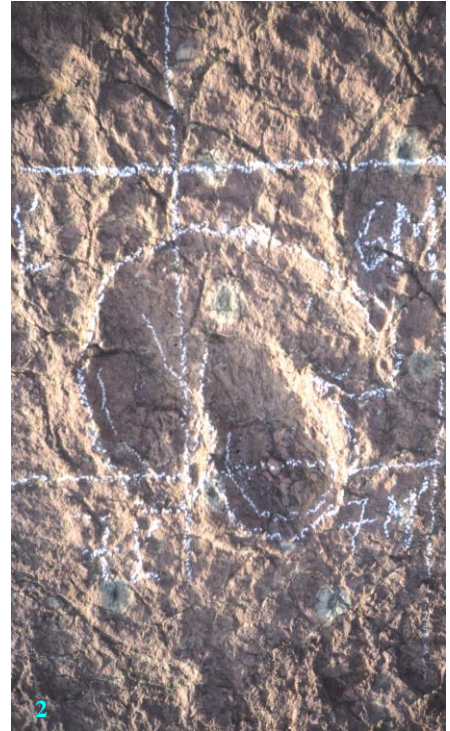


PLANCHE 9

Figure 1 : Vue globale de la dalle portant les traces de corps d'un poisson, les mudcracks et les ripple-marcks, cuvette d'Iouaridène.

Figure 2 : Empreinte de corps d'un poisson.

Figure 3 : Écrasement et effacement des fentes de dessiccation par le corps de poisson.

Figure 4 : Interférence entre deux empreintes des deux pistes 4Am2 et 4Am3.

Figure 5 : Empreinte 6Am1.2 montrant le hallux (I) et le talon pointu.

Figure 6 : Disposition de la piste 6Am2 en rapport avec la piste 6Am1.

PLANCHE 9



PLANCHE 10

Figure 1 : Couple isolé d'empreintes ovales (1Tg9), gisement 1Tg.

Figure 2 : Gisement 1Tg, cuvette d'Iouaridène.

Figure 3 : Empreinte 2Tg1.2 pendant la phase T et W.

Figure 4: Empreinte 3Tg3.3.

Figure 5 : Couple d'empreintes ovales isolées, douar Tirika.

Figure 6 : Gisement des traces ovales 1Ti, douar Tirika.

Figure 7 : Trace tridactyle montrant la séparation du doigt III du pied et le rétrécissement des parties distales des doigts, gisement 2Ti (synclinal d'Iouaridène).

PLANCHE 10

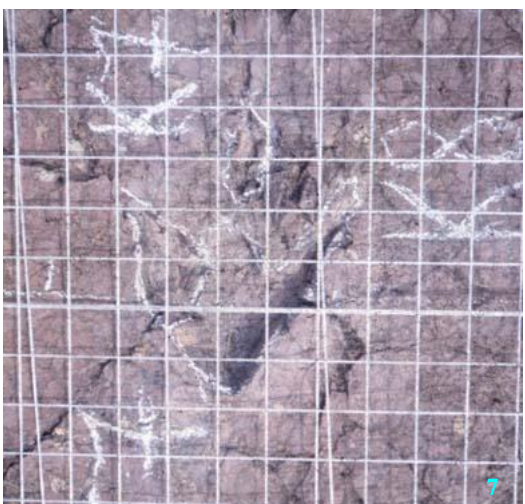
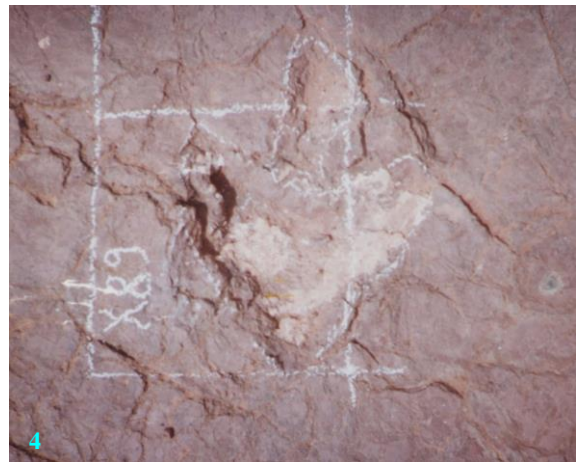
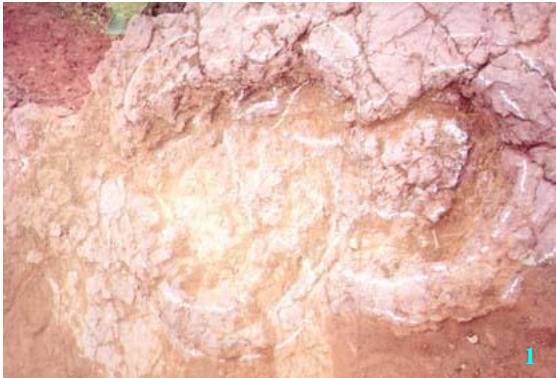


PLANCHE 11

Figure 1 : Trace tétradactyle, d'un dinosaurien semi-plantigrade qui montre la concentration de la boue dans les zones des hypex, gisement de Tirika 2Ti (cuvette d'Iouaridène).

Figure 2 : Bourrelet formé autour des empreintes d'un Sauropode, gisement de Tirika

Figure 3 : Piste 3Ti3. Synclinal d'Iouaridène.

Figure 4 : Sous impression isolée caractérisée par la continuation des rides à l'intérieur de la structure, cuvette d'Iouaridène.

Figure 5 : Passage d'un troupeau des animaux sur la merveilleuse piste du *Breviparopus taghbaloutinsis*.

Figure 6 : Édifice sur la dalle des empreintes du "Mégagisement" d'Iouaridène.

PLANCHE 11



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BIBLIOGRAPHIE

- ABEL, O. (1935) :** *Vorzeitliche Lebensspuren*. Gustav Fischer, Jena, 644 p.
- AGUIRREZABALA, L. M., VIERA, L. I., (1980) :** Icnitas de dinosaurios en Bretún (Soria). *Munibe*. (32), 257-279.
- ALEXANDER, R.M., (1976) :** Estimates of speed of dinosaurs. *Nature*. (261), 129-130.
- ALEXANDER, R.M., (1983) :** Animal mechanics. *Blackwell*. Oxford.
- ALLEN, J. R. L., (1997) :** Subfossil mammalian tracks (Flandrian) in the Severn Estuary, Sw Britain: mechanics of formation, preservation and distribution. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, London B. (352), 481-518.
- ALVAREZ L. W., ALVAREZ W., ASARIO F., MICHEL H.V. (1980) :** Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, 108, pp. 1095-1108.
- AMBROGGI R., DE LAPPARENT A. F., (1954):** Les empreintes de pas fossiles du Maestrichtien d'Agadir. *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc*, t. 10, n° 122, p. 43-57.
- ANTUNES, M. T., (1976):** Dinossáurios Eocretácios de Lagosteiros. *Ciências Terra*, 1: 35 pp.
- AVANZINI, M., (1998) :** Anatomy of a footprint bioturbation as a Key to understanding dinosaur walk dynamics; *Ichnos*. (6), 129-139.
- BABIN, C., (1991):** Principe de paléontologie. *Armond Colin Editeur*, Paris.
- BAIRD, D., (1980):** A Prosauropod Trackway from the Navajo Sandstone (Lower Jurassic) of Arizona. (Jacobs, L. L., editor.) *Aspects of Vertebrate History*. Museum of Northern Arizona Press. pp. 219-30.
- BAKKER, R.T. ET GALTON P. (1974):** Dinosaur Monophyly and Nex Class of Vertebrates. *Nature*, v. 248, pp. 168-172.
- BENTON, M. J., (1988):** The origins of the dinosaurs. *Mod. Geol.*, (13, 1), 41-56.
- BIRD R. T., (1944) :** Did Brontosaurus ever walk on land? *Natural History*, 53, pp. 61-67.
- BONAPARTE, J.F., (1975):** Nuevos materiales de *Lagosuchus talampayensis* Romer (Thecodontia - Pseudosuchia) y su significado en el origen de los Saurischia. *Act. Geol. Lill.*, (13), 5-87.
- BOURCART J., DE LAPPARENT, A. F. TERMIER H. (1942):** Un nouveau gisement de Dinosauriens Jurassique au Maroc. *Comptes rendus de l'Acad. Sc.*, 214, pp. 120-122.
- BOUTAKIOUT M. (2001)-** Les dinosaures du Haut-Atlas marocain : contexte géologique et paléo-environnement. *II jornadas de palentologia de Dinosaurios y su Entorno*, 5 p., 3 fig., *Salas de Los infantés, Burgos* ,Espana.
- M. BOUTAKIOUT (2006)-** Le Géoparc M'Goun dans le Haut-Atlas central d'Azilal : un outil de protection et de valorisation du patrimoine géologique. *La Première Rencontre sur la valorisation et la préservation du patrimoine paléontologique* ,Marrakech – Maroc.

BOUTAKIOUT M. (2006) : Geopark M'goun in the Moroccan High-Atlas. *Geoparks 2006 conference*, Belfast, Ireland. p. 47.

BOUTAKIOUT M., HADRI M, NOURI J, CARO S, FELEX PEREZ-LORENTE (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.

BUCKLAND W. (1824): Notice on the Megalosaurus, or great fossilisard of Stonesfield. *Trans. Geol. Soc. London*, 1: 390-396.

CARRANO, M. T., WILSON, J. A., (2001) : Taxon distributions and the tetrapod track record. *Paleobiology*. 27(3), pp. 564-582.

CALKIN, B. J. (1968) : Ancient Purbeck. An account of the geology of the Isle of Purbeck and its early inhabitants. *Friaray Press, Dorchester*, 61 pp.

CASANOVAS, M. L., SANTAFE LLOPIS, J-V., (1971) : Icnitas de reptiles mesozoicos en la provincia de Logroño. *Acta. Geol. Hispanica*, 6(5) : 139-142.

CASANOVAS, M. L., SANTAFE LLOPIS, J-V: (1974) : Dos nuevos yacimientos de icnitas de dinosaurios. *Acta. Geol. Hispanica*, 9(3) : 88-91.

CASANOVAS, M. L., FERNANDEZ, A., PEREZ-LORENTE, F., SANTAFE, J. V., (1989a) : Huellas de dinosaurios de la Rioja. Yacimientos de Valdecevilla, La Senoba y de la Virgen del Campo. I.E.R. *Cienc. Tierra*, (12), 1-190.

CASANOVAS, M. L., EZQUERRA, R., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., SANTAFÉ, 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), 9-133.

CASANOVAS, M. L., EZQUERRA, A., FERNANDEZ, A., PEREZ-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.

CASANOVAS, L., EZQUERRA, A., FERNANDEZ, A., MONTERO, D., PEREZ-LORENTE, F., SANTAFE, J. V., TORCIDA, F., VIERA, L. I., (1995) : El yacimiento de la canal (Munilla, La Rioja. España). La variación de la velocidad en función del tamaño de los ornitópodos. *Zubia*. (13), 55-81.

CASANOVAS, M. L., PEREZ-LORENTE, F., SANTAFE, J. V. (1997) : Sauropod trackways from the site El Sobaquillo (Munilla, La Rioja. Spain) indicate amble walking. *Ichnos*. (5), 101-107.

CASANOVAS, M.L., FERNÁNDEZ, A., PÉREZ-LORENTE, F., ROMERO-MOLINA, M.M., SANTAFÉ, J., (1999) : Empreintes de dinosaures dans la Rioja. *Dinosaurs in the Mediterranean*. Revue Editée par la Cité des Sciences á Tunis. *Almadar*. (11), 109-132.

CHALINE, J., (1987) : Paléontologie des vertébrés. *Bordas*, Paris.

CHARRIÈRE, A., HADDOUMI, H, P-O MOJON., (2005) : Découverte de Jurassique supérieur et d'un niveau marin de Barrémien dans les « couches rouges » continentales du Haut Atlas central marocain : implications paléogéographiques et structurales. *Elsevier SAS*.

CHATTERJEE, S., (1978) : A primitive parasuchid (phytosaur) reptile from the Upper Triassic Maleri Formation of India. *Paleontology*. (21), 83-127.

CHUBERT G. FAURE-MURET A., (1960-1962) : Evolution du Domaine Atlasique marocain depuis les temps Paléozoïque. In *Livre Mém. P. FALLOT. Mém. H. serv. Soc. Géol. France.*, Paris, 1, 447-527.

CHURE, D. J. MACINTOSH, J. S. (1989) : A bibliography of the Dinosauria (exclusive of the aves 1677-1986. *Museum Western Colorado.*, Paleontol. Ser., 1: 226 pp.

COLBERT, E. H. MERRILEES, D. (1967) : Cretaceous dinosaur footprints from Western Australia. *J. Roy. Soc. Western Australia*, 50: 21-25.

COOMBS, W (1978) : The families of the ornithischian dinosaur order Ankylosauria. *Paleontology* 21, 143-170.

COOMBS JR. W. P. (1980) : Swimming ability of carnivorous dinosaurus. *Science*. Vol. 207, pp. 1198-1200.

COURTINAT B. (1982) : Sur quelques espèces du groupe des Circumpolles du Lias inférieur de Tiguidart, Haut Atlas (Maroc). *B. Fac. Sci. Marrakech*, Vol. 1, n° 1, p. 58-62.

CRUICKSHANK, A.R.I. (1972) : The proterosuchian thecodonts. In *Studies in vertebrate evolution*. Ed K.A. Joyset y T. S. Kemp, (), 89-119.

CURRIE, P., (1983) : Hadrosaur trackways from the lower Cretaceous of Canada. *Acta Paleontologica Polonica*. (28), 63-73.

CURRIE, P., ZHAO, X. J. (1993) : A New Carnosaur (Dinosauria: Theropoda) from the Jurassic of Xinjiang, People's Republic of China. *Can. J. Earth Sci.* 30, 2037-2081.

CURRIE, P., (1995) : Ornithopod trackways from the lower Cretaceous of Canada. En *Vertebrate fossils and the evolution of scientific concepts*. W. A. S. Sarjeant ed. Gordon and Breach Publishers. 431-443.

CZERKAS, S. J., OLSON, E. C., (1987): Dinosaurs past and present. Los Angeles County Museum.

CZERKAS, S. J., CZERKAS, S. A., (1991) : Dinosaurier : *Leben und Untergang der geheimnisvollen Urzeitiere*. Ausburg.

DELAIRE, J. B., LANDER, A. B., (1973) : A short history of the discovery of reptilian footprints in the Purbeck beds of Dorset, with notes on their stratigraphical distribution. *Proceedings of the Dorset natural History and archaeological Society*. (94), 17-20.

DEMATHIEU, G.R., (1970) : Les empreintes de pas de Vertébrés du Trias de la bordure NE du Massif Central. *Cah. Pal.*, éd. CNRS, Paris, pp 211.

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), pp. 439-446.

DEMATHIEU, G.R., (1986) : Nouvelles recherches sur la vitesse des vertèbres, auteur de traces fossiles. *Geobios*. (19), 327-333.

DEMATHIEU, G.R., (1990) : Problems on discrimination of tridactyl dinosaur footprints,

exemplified by the Hettangian trackways, the Causses, France. *Ichnos*, 1: 97-110.

DIXON, D., (1984) : *The age of dinosaurs*. Sphere Books.

DODSON, P., (1996) : *The Horned Dinosaurs*. Princeton Univ. Press, Princeton, NJ.

DONG, Z., (1989) : (On a small ornithopod (*Gongbusaurus wucaiwansensis* sp. nov.) from Kelamailli junggar Basin, xinjiang, China). *Vert. Palas.* 27 : 140-146.

DRESNAY R. DU (1979) : Sédiments Jurassique du domaine des chaînes atlasiques du Maroc. Symp. « Sédimentation Jurassique européen » Paris 1977, *Assoc. Sédimentol. Français, Publ.spéc.*, 1, pp. 345-365.

DUBAR G. (1952) : Excursion A34' Haut-Atlas central. 19^{ième} Congrès geol. Intern., Alger, livret-guide, sérís Maroc, 4.

DUTUIT J.M., (1967) : Gisement de vertébrés triasiques de l'Atlas marocain. In: Problèmes actuels de Paléontologie (Evolution des Vertébrés). Colloque International n° 163 du C.N.R.S. Editions du C.N.R.S., Paris, p. 427-428.

DUTUIT J.M., ET OUAZZOU A. (1980) : Découverte d'une piste de Dinosaur saurope sur le site d'empreintes de Demnate (Haut-Atlas marocain). *Mém. Soc. Géol. Fr.*, n° 139, p. 95-102.

EVANS, S.E., (1988) : The early history and relationships of the Diapsida. In "The phylogeny and classification of the tetrapods" M. J. Benton ed. *Syst. Assoc. Spec. Vol.* (1, 35A), 221-260.

EWER, R.F., (1965) : The anatomy of the thecodont reptile *Euparkeria capensis* Broom. *Phil. Transc. Roy. Soc. London, B*, (248), 379-435.

FARLOW, J.O., (1987) : A guide to Lower Cretaceous dinosaur footprints and tracksites of the Paluxy River Valley, Somervell County, Texas. *Geol. Soc. Am. Field Trip Guidebook*, 21^{ième} Annual Meeting, Waco, Texas, 50 pp.

FARLOW, J.O., PITTMAN, J.G., HAWTHORNE, J.M., (1989) : *Brontopodus birdi*, lower Cretaceous saurope footprints from the U.S. Gulf Coastal Plain. En *Dinosaur tracks and traces*. D.D Gillette y M.G. Lockley eds. *Cambridge. Univ. Press.* pp.371-394.

FARLOW, J.O., (1991) : On the tracks of dinosaurs. *F. Watts Lbrary Edition*. Pp. 72.

FARLOW, J.O., (1992) : Saurope tracks and trackmarkers. *Zubia*. (10), 89-138.

FARLOW, J.O., PIANKA ,E.R., (2000) : Body size overlap, habitat partitioning and living space requirements of terrestrial vertebrate predators: implications for the paleoecology of large theropod dinosaurs. *Historical biology* (16), 21-40).

FASTOWSKY, D., WEISHAMPEL, D. B., (1996) : The evolution and extinction of dinosaurs. *Cambridge University*.

FRAKES L. A., (1979): *Climates through geologic time*. Elsevier. Amsterdam, 310p.

GABUNIYA, L. K., KURBATOV, V., (1982) : Jurassic dinosaur tracks of Tashkurgan (Uzbekistan SSR). *Abstracts Sci. Session, Tbilis*, pp. 20-22.

GARCIA-RAMOS, J. C., PIÑUELA, L., LIRES, J., (2002) : Icnitas de dinosaurios, tipos de sedimento y consistencia del sustrato. *En Congreso Internacional sobre dinosaurios y otros reptiles*

mesozoicos de España. F. Pérez-lorente coord. ResÚmenes, 25-26.

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.

GATESY, S. (2003) : Direct and indirect track features: what sediment did a dinosaur touch. *Ichnos*. (10), 91-98.

GAUTHIER J. A. ET PADIAN K. (1989) : The Origin of Birds and evolution of Flight. (Padian, K. Et Chure, D., éditeur). The Age of Dinosaurs. Short Course Num. 2. *Paleontological Society. Knoxville, Tennessee*, pp. 121-133.

GINSBURG L., (1964) : Les régressions marines et le problème du renouvellement des faunes au cours des temps géologiques. *Bull. soc. Géol. France*. (7), 6, 1, 13-22.

GINSBURG L., (1984) : Théories scientifiques et extinction des dinosaures. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 298, (II), 317-320.

GINSBURG L., (1986) : Régression Marines ou catastrophe cosmique, comment juger les théories sur l'extinction des Dinosaures. *Bull. Cent. Rech. Explor. Prod Elf-aquitaine*, 10, 2, 433-436.

GOMES, J. P., (1916) : Descoberta de rastro de saurios gigantescos no Jurássico do Cabo Mondego. *Comun. Comis. Serv. Geol. Port.*, 11: 132-134 (em "Manuscritos de Jacinto Pedro Gomes") Publicação póstuma.

HARLAND, W. B., COX, A.V., LLEWELLYN, P.G., PEKTON, C. A. G., SMITH, A. G., WALTERS, R., (1982) : A geological time scal. *Cambridge Univ. Press*.

HAUBOLD, H., (1971) : Ichnia amphibiorum et reptiliorum fossilium. En Handbuch der palaoherpetologie. *E. Kuhn ed.* (18), pp.124.

HE, X. CAI K., (1983) : A new species of Yandusaurus hypsilophodont dinosaur from the middle Jurassic of Dashanpu, Zigong, China. In: (special paper on Dinosaurian Remains of Dashanpu, Zigong, Sichuan). *J. Chengdu coll. Geol. Suppl.* 5-14 (In Chinese with English Summary.).

HE, X., (1979) : (A newly discovered ornithopod dinosaur-yandusaurus from Zigong, China) In: (contribution to international Exchange of Geology. Part 2, stratigraphy and palaeontology). *Geological Publishing House, Beijing*. Pp. 116-123. (In chinese).

HERNANDEZ, N., PÉREZ-LORENTE, F., (2003) : Un nuevo yacimiento de icnitas de dinosaurio. La llaga (Terroba, La Rioja. España). F. PEREZ-LORENTE ed. *Ciencias de la Tierra*. (26), 195-214.

HILDERBRAND M. (1974) : Analysis of Vertebrate structure. *J. Wiley et Sons, ed.*, New York, 710 p.

HITCHCOK, E., (1836) : Ornithoichnology. Description of the footmarks of birds (ornithoichnites) of New Red Sandstone in Massachusetts. *Am. Jr. Sc.* (29), pp. 307-340.

HITCHCOK, E., (1837) : Fossil footsteps in sandstones and greywacke. *Am. Jr. Nat. Hist.* (24), pp.117-127.

HITCHCOK, E., (1858): Ichnology of New England. A Report on the Sandston of the Connecticut Valley. Especially Its Fossil Footmarks. *Natural Sciences of America reprint. Arno Press*. 220 pp. Boston.

HOLTZ, T. R., OSMOLSKA, H., (2004) : Saurischia. In “The Dinosauria” D. B. Weishampel, P. Dodson et H. Osmolska ed. (2^{ème} ed.) *University of California Press* 21-24.

HUNGERBÜHLER, A., (1998) : Taphonomy of the prosauropod dinosaur *Sellosaurus*, and its implications for carnivore faunas and feeding habits in the late Triassic. *Pal. Pal. Pal.* (143)1-29.

HUENE F. V., (1922) : Über einen Sauropoden im oberen Malm des Berner Jura. *Eclogae geol. Helv.*, 17, p. 80.

ISHIGAKI S., (1988) : Les empreintes de Dinosaures du Jurassique inférieur du Haut-Atlas central marocain. *Notes Serv. Géol. Maroc*, t. 44, 334, pp. 79-86.

ISHIGAKI S. (1989) : Footprints of Swimming Sauropods from Morocco, in: Gillette D.D. and Lockley M.G. (Eds), *Dinosaurs tracks and traces*, Cambridge University Press, Cambridge, 83-86.

JENNY J. (1988) : Carte géologique du Maroc Au 1/100 000, Feuille Azilal (Haut Atlas central). *Edition du Service géologique du Maroc*, Rabat, n° 339 bis.

JENNY J. LE MARREC A. MONBARON, M. (1981a) : les empreintes de pas de Dinosauriens du Haut-Atlas Central (Maroc). : Nouveaux gisements et précisions stratigraphiques. *Geobios*, 14, fasc. 3, pp. 427-431.

JENNY J. LE MARREC A. MONBARON, M., (1981b) : Les couches rouges du Jurassique moyen du Haut-Atlas central (Maroc). : Correlation lithostratigraphiques, éléments de datation et cadre tectono-sédimentaire. *Bull. Soc. Géol. France*, (7), t. XXIII, 6, pp. 627-639.

JENNY J. JOSSEN J. A., (1982) : Découverte d’empreintes de pas de Dinosauriens dans le Jurassique inférieur (Pliensbachien du Haut Atlas central (Maroc)). *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 294, II, p. 223-226.

KAEVER, M. LAPPARENT, A. F. De., (1974) : Dinosaur footprints of Jurassic age from Barkhausen. *Bull. Soc. Géol. France*, 16: 516-525.

KUBAN, G. J., (1989) : Elongate dinosaur tracks. En *Dinosaur tracks and traces*. D. D. Gillette y M. G. Lockley eds. *Cambridge Univ. Press*. Pp 57-72.

KUHN, O., (1958) : Die Fährten der vorzeitlichen Amphibien und Reptilien. Bamberg : Verlagshaus Meisenbach.

KUHN, O., (1963) : Ichnia Tetrapodorum. Pars 101 *In* Westphal, F. (ed.), *Fossilium Catalogus*, 1 (Animalia), W. Junk, Gravenhage.

LANGSTON, W. Jr. (1979) : Lower Cretaceous dinosaur tracks near Glen Rose, Texas. En : *Field Trip Guide, Lower Cretaceous Shallow Marine environments in the Glen Rose Formation : Dinosaur Tracks and Plants*. Dalla, Texas, pp. 39-61.

LAMBERT D., (1988) : Guia de campo de los dinosaurios. *EDAF S. A.* pp.255

LAPORTE, L., BEHRENSMEYER, A. K., (1980) : Tracks and Substrate Reworking by Terrestrial Vertebrates in Quaternary Sediments of Kenya. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 50, pp. 1337-1346.

LAPPARENT A. F. DE., (1945) : Empreintes de pas de Dinosauriens du Maroc, exposées dans la galerie de Paléontologie. *Bulletin du Muséum*, 2^e série, t. XVII, n°3.

LAPPARENT A. F. DE., (1955) : Etude paléontologique des vertébrés du Jurassique d'El-Mers (Moyen Atlas). *Notes et Mémoires Serv. géol. du Maroc*, Rabat, 24.

LAPPARENT A. F. DE., ZBYSZEWSKI, G., (1957) : Les Dinosauriens du Portugal. *Mem. Serv. Geol. Portugal*, 2 : 1-63.

LAPPARENT A. F. DE., ZBYSZEWSKI, G., DE ALMEIDA, F. M. DA VEIGA FERREIRA, O., (1951) : Empreintes de pas de Dinosauriens dans le Jurassique du Cap Mondego (Portugal). *Compte rendu sommaire des Séances de la Société Géologique de France*, 1951 : 251-252.

LAVOCAT, R., (1949) : Les gisements de vertébrés crétacés du Sud marocain. C.R. Somm. Soc. géol. Fr., 7, pp. 125-126.

LAVOCAT, R., (1951): Découverte de restes d'un grand Dinosaurien Sauropode dans le Crétacé du Sud marocain. *C. R. AC., Paris*, 232, pp. 169.

LAVOCAT, R., (1952-1954) : Sur les Dinosauriens du continental intercalaire des Kem-Kem de la Daoura. *C. R. 19e Congr. Géol. interm.*, Alger, publié Alger 1954, sect. 13, fasc. 15, pp. 65-68.

LAVILLE E., (1981) : Rôle du décrochement dans le mécanisme de formation des bassins d'effondrement du Haut-Atlas marocain au cours du temps triasique et liasiques. *Bull. Soc. Géol. France*, 23, 3, p. 303-312.

LEE C.W., BURGGESE C. J., (1978) : Sedimentation and tectonic controls in the early Jurassic central High Atlas trough, Morocco. *Geol. Soc. America Bull.*, Vol. 89, p. 1199-1204.

LEONARDI, G., (1979) : New Archosaurian trackways from the Rio de Peixe basin, Paraíba, Brasil. *Ann. Univ. Ferrara*, N. S. 9, Sci. Geol. Paleontol., 5 :239-249.

LEONARDI, G., (1984) : Le impronti fossili di dinosauri. En Bonaparte J. F., et al., *Sulle orme dei dinosauri*. Venezia. Erizzo. 165-186.

LEONARDI, G., (1987) : Glossary and manual of tetrapod footprint palaeoichnology. *Minist. Minas. Energ. Brasil*. pp. 118.

LESSERTISSEUR, J., (1955) : Traces fossils d'activité animale et leur signification paléobiologique. *Mémoires de la Société Géologique de France*, nouvelle série, 74 : 1-150.

LOCKLEY, M.G., (1986) : The paleobiological and paleoenvironmental importance of dinosaurs footprints. *Palaios*. (1), 34-47.

LOCKLEY, M.G., (1989) : Tracks and traces: New Perspectives on Dinosaur Behavior, Ecology, and Biogeography. (Padian, K., editor).

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., (1994b) : Brontopodus and parabrontopodus ichnogen nov. And the significance of wide-and narrow-gauged sauropod trackways. *Gaia*. (10),133-145.

LOCKLEY, M.G., MEYER, C. A., SANTOS, V. F. DOS., (1994) : Trackway evidence for a herd of Juvenile Sauropods from the late Jurassic of Portugal. *Gaia*, 10: 27-36.

LOCKLEY, M.G., MEYER, C. A., SANTOS, V. F. DOS., (1996a) : *Megalosauripus* et *Megalosauropus* and the concept of Megalosaur footprints, in Morales, M. (Ed.). *Continental Jurassic Symposium Volume*. Museum Northern Arizona, Flagstaff, pp. 113-118.

LOCKLEY, M.G., HUNT, A. P., LUCAS, S. G., (1996) : Vertebrate track assemblages from the Jurassic Summerville Formation and correlative deposits. *Bulletin of the Museum of Northern Arizona*, 60: 249-254.

LOCKLEY, M.G., MEYER, C. A., SANTOS, V. F., DOS (1998) : *Megalosauripus* and the problematic concept of megalosaur footprints. *Gaia* 15. Pp 313-337.

LOCKLEY, M.G., MEYER, C. A., SANTOS, V. F., DOS (1998) : *Megalosauripus* and the problematic concept of megalosaur footprints. *Gaia* 15. Pp 313-337.

LOCKLEY, M.G., (2000) : An amended description of the theropod footprint *Buckeburgichnus maximus* Kuhn, 1958 and its bearing on the megalosaur tracks debate. *Ichnos*, 7:217-225.

LOCKLEY, M.G., MEYER, C. A., MORATALLA, J. J., (2000) : Therangospodus trackway evidence for the widespread distribution of a late Jurassic theropod with well-padded feet. *Gaia, Revista de Geociências, Museu Nacional de História Natural*, Lisboa, 15:339-353.

LULL, R. S., (1904) : Fossil footprints in the Jura-Trias of North America. *Mem. Boston Soc. Nat. Hist.* (5), 461-557.

LULL, R. S., (1953) : Triassic life in Connecticut Valley (revised). *Com. State Geol. Nat. Hist. Surv. Bull.* (81), pp. 336.

MADSEN, J.H., Jr. (1976) : A second new theropod dinosaur from the Late Jurassic of East Central Utah. *Utah Geology*. (3), 51-60.

MADSEN, J.H., (1976) : *Allosaurus fragilis*: A revised osteology. *Bulletin of the Utah Geological and Mineralogical Survey*. (109), 1-163.

MARSCH, O. C., (1877a) : Notice of some new dinosaurian reptiles from the Jurassic formation *Am. J. Sci., Ser. 3*, 14: 514-516.

MARSCH, O. C., (1878b) : Principal characters of American Jurassic dinosaurs. Part I. *Am. J. Sci., Ser. 3*, 16: 411-416.

MARSCH, O. C., (1881a) : Principal characters of American Jurassic dinosaurs. Part V. *Am. J. Sci., Ser. 3*, 21: 417-423.

MARSCH, O. C., (1881b) : Principal characters of American Jurassic dinosaurs. Part IV. Spinal cord, pelvis and limbs of stegosaurus. *Am. J. Sci., Ser. 3*, 21: 167-170.

MARSCH, O. C., (1884) : Principal characters of American Jurassic dinosaurs. Part VII. On the Diplodocidae, a new family of the sauropoda. *Am. J. Sci., Ser. 3*, 27: 161-167.

MONBARON, M. G., (1978) : Nouveaux ossements de Dinosauriens de grande taille dans le bassin Jurassique-Crétacé de Taguelft (Atlas de Beni Mellal, Maroc) *C. R. Ac. Sc., Paris*, t. 287, pp. 1277-1279.

MONBARON, M. G., (1980) : Le magmatisme de la région de Taglueft, dans son contexte géologique régional (Haut-Atlas central, Maroc). *C. R. Ac. Sc., Paris*, t. 290, (D), 1337-1340.

MONBARON, M. G., (1981) : Nouvelles recherches sur les gisements de Dinosauriens du synclinal de Taguelft (Atlas de Beni Mellal) discussion sur leur position stratigraphique. *Mines, Géologie et Energie*, Rabat, pp.57-61.

MONBARON, M. G., (1982) : Un relief anté-Bathonien enfoui sur la ride de Jbel La'bbadine (Haut-Atlas central, Maroc); conséquences pour la chronologie de l'orogénèse atlasique. *Bull. ver. Schweiz. Petroleum-Geol.*, 48, 114, p. 9-25.

MONBARON, M. G., (1983) : Dinosauriens du Haut-Atlas central Maroc. Etat des recherches et précisions sur la découverte d'un squelette complet de grand Cetiosaure. *Soc. Juras. Emul. Act.* pp. 203-234.

MONBARON, M. G., DEJAX J. DEMATHIEU, G., (1985) : Longues pistes de Dinosauriens bipèdes à Adrar-n-Ouglagal (Maroc) et répartition des faunes de grands Reptiles dans le domaine atlasique au cours du Mésozoïque. *Bull. Mus. natn. Hist. Nat., Paris*, 4^e sér., section A, n° 3 : 229-242.

MONBARON, M., SEPTFONTAINE M., JENNY J. JOSSEN J. A., (1990) : Coopération Suisse et formation au service de la carte géologique du Maroc. *Eclogae géol. Helv., Bâle*, 83, 343-352, 3 fig.

MONBARON, M., RUSSEL D. A. TAQUET P. (1999) : *Atlasaurus imlakein* n. g., n. sp., un sauropode à allure de brachiosauridé du jurassique du Maroc. *C. R. Acad. Sci, Paris, Sciences de la terre et des planètes*, 329, 519-526.

MORATALLA, J. J., (1993) : *Restos indirectos de Dinosaurios del registro español : Paleoicnología de la cuenca de Cameros (Jurásico superior-Cretácico inferior) y Paleología del Cretácico superior*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid. Facultad Biología.

MORATALLA, J. J., GARCIA, J. J., (1997) : Guia de yacimientos paleoicnológicos. *Iberdrola, Sección de Mineralogía y Paleontología*.

MOSSMAN D. J. ET SARJEANT W. A. S. (1983) : The footprints of extinct animals. *Scientific american*. 248, 74-85.

NOPCSA F. V., (1923) : Die familien der reptilien. *Fortschr. Geol. Paläontol*, 2: 210pp.

NOPCSA, F. V., (1928) : (ref cited in Haubold, 1971, for origin of superfamily Megalosauroida, but ref. not given. See Weishampel, D. B.; Dadson, et Osmólska, H. 1990 for references to Nopsca, 1928 a, b, c.).

NOPCSA F. B., (1923) : Die Fossilien der Reptilien. *Forsch. Geol. Palaont.* (21), pp 210.

NORMAN, D. B., SUE S, H. D., WITMER, L. M., CORIA R. A., (2004) : Basal ornithopoda In *The Dinosauria* D. B. Weishampel, P. Dodson et H. Osmolska ed. (2^{ième} ed.) University of California Press 393-412.

NOURI, J., PEREZ-LORENTE F., BOUTAKIOUT M. (2001) : Descubrimiento de una pista semiplantigrada de dinosaurio en el yacimiento de Tirika (Demnate Alto Atlas central marroqui). *Géocaceta. Pub. Soc. Geol. D'Espagne*, pp. 83-86.

NOVAS, F. E., (1994) : Origen de los dinosaurios. *Inv. Cienc.* (oct.), 57-59.

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 Gallator (Early Jurassic) Hartford and Deerfield basins, Connecticut and Massachusetts). *J. Vertebr. Paleontol.*, 18: 586-601.

ORDAZ, J., ESBERT, R. M., (1988) : Glosario de terminos relacionados con el deterioro de las pedras de construcción. Materiales de construcción (191/191) 85-95.

OSTROM, J., (1972) : Were some Dinosaurs Gregarious? *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, volumen 11, pp. 287-301.

OSTROM, J.H., (1976) : *Archaeopteryx* and the origin of birds. *Biol. J. Linn. Soc. London.* (8), 91-182.

OSTROM, J. H., (1976) : On a new specimen of the lower Cretaceous theropod dinosaur *Deinonychus ankirropus*. *Breviora*, (439), 1-21.

PAUL, G., (1988) : Predatory Dinosaurs of the World, pp. 464 *Simon et Schuster*, New York.

PEABODY, F.E. (1959): Trackways of living and fossil salamanders. *University of California Publications of Zoology*, (63), 1-72.

PENG, G.,(1990) : A new small ornithopod (*Agilisaurus louderbacki* gen. et sp. Nov) from Zigong, China. (News. Zigong Dinosaur Mus.) 2: 19-27 (*In chinese*).

PÉREZ-LORENTE, F., (1999) : *Los Dinosaurios y sus huellas*. ISBN: 605-8698-7.

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 Ed. 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), 102 pp.

PÉREZ-LORENTE, F., (2003) : Dinosaurios y otros reptiles Mesozoicos en España. *Ciencias de la Tierra*. 167-184.

PÉREZ-LORENTE, F., (2003) : Aportaciones de los yacimientos de la barguilla, Santinol y Santa Juliana (Hornillos de Cameros, La Rioja. España. En Dinosaurios y otros reptiles mesozoicos en España. PEREZ-LORENTE, F., ed. *Ciencias de la tierra*. (26), 161-194.

PÉREZ-LORENTE, F., M. HADRI, Y M. BOUTAKIOUT, (2006) : Primeras icnitas de dinosaurio en sur del Alto Atlas Central. Carixiense (Formacion de Arhbalou. Goulmima. Marruecos). *Geogaceta*.

PITTMAN, J. G., (1989) : Stratigraphy, Lithology, Depositional Environment and Track Type of Dinosaur Track-Bearing Beds of the Gulf Coastal Plain. (Gillette, D. D., y Lockley, M. G., editors.) *Dinosaur Tracks and Traces*. *Cambridge University Press*, 135-151. Nueva York.

PLATEAU H., GIBOULET G., ROCHE E., (1937) : C. R. Soc. Géol. France; pp. 16, 241-242.

REINECK R. E., SINGH I. B., (1973) : Depositional sedimentary environments. Springer Verlag, *Berlin-Heidelberg*. New York, 439 p.

RENARD M., ROCCHIA R., (1984) : Extinction des espèces au secondaire: La terre dans un nuage interstellaire. *La Recherche*, 153, 393-395.

ROCCHIA, R., ROBIN, E., (1999) : Une catastrophe cosmique á la limite Crétacé-Tertiaire. *Dinosaurs in the Mediterranean. Revue Editée par la Cité des Sciences á Tunis*. 11, 31-44.

ROCH, E., (1939) : *Notes et Memoires du Service Geologique du Maroc*. 51. 247-271.

ROLLEY J.P., ETIENNE H., (1978) : Notice explicative de la carte géologique du Maroc au 1/10 000, feuille Afourar. *Notes et M. Serv. géol. Maroc*, 247 bis, 104 p.

ROMERO-MOLINA, M. M., PEREZ-LORENTE F., RIVAS, P., (2001) : Estructuras asociadas con huellas de dinosaurio en la Rioja (España). *Zubia*. 19, 61-96.

ROMERO-MOLINA, M. M., PEREZ-LORENTE F., RIVAS, P. (2003) : Analisis de la parataxonomia utilizada con las huellas de dinosaurio. *Ciencias de la tierra* 26, 13-32.

ROMERO-MOLINA, M. M., SARJEANT W. A. S. PEREZ-LORENTE F., LOPEZ, A., REQUETA, E., (2003a) : Orientation and characteristics of theropod trackways from the las losas, Palaeoichnological site (La Rioja. Spain). *Ichnos*. 10, 241-254.

ROMERO-MOLINA, M. M., SARJEANT W. A. S., PEREZ-LORENTE F., ANTONIO L., REQUETA, E., (2003b) : Orientation and Characteristics of Theropod Trackways from the las losas Palaeoichnological Site (La Rioja, Spain). *Ichnos*. 10, 241-254.

SANTOS, V. F., (2002) : Pistas de dinossáurio no Jurássico-Cretácico de Portuga. *Considerações paleobiológicas e paleoecológicas*. Tesis Universidad Autónoma de Madrid. 365 p.

SARJEANT, W. A. S., (1975) : Fossil tracks and Impressions of Vertebrates. *The study of trace fossils*. Spinger-Verlag, New york, 283-324.

SARJEANT, W. A. S., (1990) : A name for the trace of an act: approaches to the nomenclature and classification of fossil vertebrate footprints. En *Dinosaur systematics: perspectives and approaches*. K. Carpenter y P. J. Currie eds. *Cambridge Univ. Press*. 299-308.

SEELEY, H. G., (1887) : On the classification of the fossil animals commonly called Dinosauria. *Proc. R. Soc. London* 43: 165-171.

SEELEY, H. G., (1888) : The classification of the Dinosauria. *Rep. Br. Assoc. Adv. Sci.* 1887: 698-699.

SEPTFONTAINE M., (1986) : Milieux de dépôts et foraminifères (Lituolidés) de la plateforme carbonatée du Lias moyen au Maroc. *Rev. Micropal.*, 28, 268-289.

SERENO, P.C., (1991) : Basal archosaurs: phylogenetic relationships and functional implications. *Jr. Vert. Pal.*, (11), 1-53.

SERENO, P.C., (1991) : Ruling reptiles and wandering continents: a global look at dinosaur evolution. *GSA Today*(1), 141-145.

SERENO, P.C., (1991) : *Lesothosaurus*, "fabrosaurids" and the early evolution of Ornithischia. *Jr. Vert. Paleont.* (11), 168-197.

SERENO, P. C. ARCUCCI, A.B. (1994) : Dinosaur precursors from the Middle Triassic of Argentina: *Marasuchus Lilloensis* gen. nov. *J. vertebr Paleont.* 14, 53-73.

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.

SHAROV, A. G., (1971) : New flying reptiles from the Mesozoic of Kazakhstan and Kirgizia. *Akad. Nauk. SSR Trudy Paleont. Inst.*, (130), 104-113.

SHULER, E. W., (1917) : Dinosaur tracks in the Glen Rose Limestone, near Glen Rose Texas. *Am. J. Sci.*, 4: 294-298.

SOUHEL, A., (1996) : Le Mésozoïque dans le Haut-Atlas de Beni Mellal (Maroc); stratigraphie, sédimentologie et évolution géodynamique. *Actes, de laboratoire, de géologie, sédimentaire, et Paléontologique, de l'Université Paul-Sabatier* Toulouse.

SOUHEL, A., CHAFIK D., EL HARIRI K., EL BCHARI F., IBOUH H., CANEROT J., (1999) : Le Jurassique dans le Haut-Atlas central sud de Beni-Mellal (Maroc): Cadre paléogéographique et géodynamique. *1^{er} colloque national sur le Jurassique marocain, Rabat. Résumé* 127-128.

TARSITANO, S., HECHT, M. K., (1980) : A reconsideration of the reptilian relationships of Archaeopteryx. *Zool. J. Linn. Soc. London* 69, 149-182.

TERMIER, H., (1936) : Etudes géologiques sur le Maroc central et le Moyen Atlas septentrional. *Notes et Mém. Serv. Mines et Carte géol. Maroc*, n°33.

TERMIER H., GUBLER J., DE LAPPARENT A. F., (1940) : Reptiles et poissons du Bathonien d'El-Mers (Moyen-Atlas marocain). *C. R. Soc. Géol. Paris*, 210, 768-770.

TERMIER H., (1942) : Données nouvelles sur le Jurassique rouge à Dinosauriens du Grand et du Moyen-Atlas. *B. Soc. Géol. Fr.*, (5) 12, fasc. 199-207.

THULBORN, R. A., (1982) : Speeds and gaits of dinosaurs. *Palaeog. Palaeocl. Palaeoe.*, Amsterdam, 38, 227-256.

THULBORN, R. A., WADE, M., (1984): Dinosaur trackways in the Winton Formation (mid-Cretaceous) of Queensland. *Mem. of Qd. Mus.* (21), 413-517.

THULBORN, R. A., WADE, M., (1989) : A footprint as a history of movement. In Dinosaur tracks and tracts. D. D. Gillette and M. G. LOCKLEY eds. *Cambridge University Press.* 51-56.

THULBORN, R. A., (1990) : Dinosaur tracks. *Chapman and Hall.* pp 410.

UPCHURCH, P., BARRET, P.M., DODSON, P., (2004) : Sauropoda. *The dinosauria*, 2 ed.. D.B. Weishampel, P. Dodson y H. Osmolska eds. *University of California Press.* 259-322.

VIALOV, S., (1966) : Szledû zszinedejatelnoszty organizmov ih paleontologicseszkoie znacsénie. *Naukova Danka. Kiev.*

VIALVO, D. S., (1972) : The classification of the fossil traces of life. *24 Int. Géol. Congr.* Montreal. (7), pp. 639-644.

VIERA, L. I., AGUIRREZABALA, L. M., (1984) : El Weald de Munilla (La Rioja y sus icnitas de dinosaurios II. *Munibe.* (36), 3-22.

WALKER, A.D., (1961) : *Steganolespis* and its allies. *Phi. Trans. Roy. Soc. Lon.*, (B 244), 103-204.

WALKER, A.D., (1964) : Triassic reptiles from the Elgin area: *Ornithosuchus* and the origin of carnosaurs. *Philos. Trans. Roy. Soc. London*, (248), 53-134.

WALKER, A. D., (1972) : New light on the origin of birds and crocodiles. *Nature*. (237), 257-263.

WALKDEN, G. OPPE, E. F., (1969) : In the footsteps of the of dinosaurs. *Amateur Geologist*, 3 (2): 19-35.

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 26 th Forum on the Geology Industrial Mine-rals*, May 1990: 113-127.

WELLNHOFER, P., (1991) : The illustrated encyclopedia of pterosaurs – *New york Crescent Books*, 192 pp.

WEISHAMPEL, D. B., DODSON, P., OSMÓLSKA, H., (1990) : The Dinosauria. *Univ. California Press, Berkeley*, 733 pp.

WEISHAMPEL, D. B., DODSON, P., OSMÓLSKA, H., (2004) : Introduction. The dinosauria, 2 ed.. D.B. Weishampel, P. Dodson y H. Osmolska eds. *University of California Press*.1-5.

WILSON, (2005) : integrating ichnofossil and body fossil records to estimate locomotor posture and spatiotemporal distribution of early sauropod dinosaurs : a statocladistic approach. *Paleobiology* (31, 400-423).

WRIGTH, J. L., (2005) : Step in understanding sauropod. The sauropods, evolution and paleobiology. Curry, K. A., y Wilson, J. A., eds *California University Press*, 252-284.

ABSTRACT

The Moroccan central High Atlas is a privileged area for studying ichnological footprints of Jurassic dinosaurs. This study is considered as the first national doctoral thesis on the paleoichnological of vertebrate tracks. The ichnological analysis is based on the study of three main areas:

☞ Aït Bou Guemmaz area with six tracksites, the number of the analyzed footprints is more than 150 theropods and sauropods footprints that are printed on the liassic limestone carbonate platform to inter-supratidal.

☞ Bin El Ouidane area with three tracksites. Tridactyl traces include small size footprints of about 10 cm. These Deposits are ingrained on thin laminates of the Aalenian-Bajocian sandstone.

☞ Iouaridène area with twelve tracksites. The 340 oval and tridactyl footprints are impressive. In this area where a new ichno-specie is recognized and labeled *Eutynichnium atlasipodus* n sp. All Iouaridene footprints are stored on clayey slabs crackled to mud-cracks, dating from the Oxfordian?–Kimmeridgian.

The ichnological analysis is first based on biometric techniques that have enabled us to reconstitute the shape, locomotion and behavior of dinosaurs.

Lithology is analyzed in the sense of sedimentary structures in combination generated by traces.

Paleogeography is a tool that brings to the fore both paleosurroundings and the orientations of dinosaurs trackways.

The ichno-taxonomy has led to the recognition of five groups of footprints in the central High Atlas:

☞ Small theropods "Coelurosaurs" characterized by long and tapering footprints whose length hardly exceeds 25 cm.

☞ Large theropods "Carnosaurs" marked by large, elongate and robust footprints with bulky fingers that are articulated and ended with claws falcate inside the trackway.

☞ The tetradactyls *Megalosaurus* and *digitigrades* are distinguished by the coalescence of the "hallux" in the outer covering of the footprint.

☞ Ornithopods, whose subcircular autopodium length and width are similar, is marked by digitigrad and tridactyl footprints with pad on each finger.

☞ Sauropods form quadruped trackways (foot/hand) with oval tracks. Anterior footprints are more spaced outwardly from the track compared to the posterior footprints. The most recognized ichno-genre is *breviparopus* or *parabrontopodus*.

The valorization and protection of this heritage have led to the development and implementation of a GIS (geographic information system) by spatial and image analysis as part of the Geopark M'goun project creation in Tadla-Azilal region. A buffer zone is highlighted on the limits of slabs ichnological Iouaridene.

Keywords: Morocco; central High Atlas; Jurassic; dinosaurs; footprints; paleoichnology; biometric; Theropod; Ornithopod; Sauropod; Geopark M'Goun, GIS.