



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

THE MICROVERTEBRATES (MICROMMAMALS, AMPHIBIANS, REPTILES, AVES AND FISHES) FROM THE ARCHEOPALEONTOLOGICAL SITE OF WADI SARRAT (NW TUNISIA) BIO-GEO-CHRONOLOGY, PALEOBIOGEOGRAPHY AND PALEOENVIRONMENTAL RECONSTRUCTION.

Moncef Said Mtimet

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

WARNING. Access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.

**UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
DEPARTAMENT D' HISTORIA I HISTORIA DE L'ART**

**ERASMUS MUNDUS
INTERNATIONAL DOCTORATE IN "QUATERNARY AND PREHISTORY"
(IDQP)**

Title:

The microvertebrates (Micrommammals, Amphibians, Reptiles, Aves and Fishes) from the archeopaleontological site of Wadi Sarrat (NW Tunisia) Bio-geo-chronology, Paleobiogeography and Paleoenvironmental reconstruction.

Les microvertébrés (Micromammifères, Amphibiens, Reptiles, Oiseaux et Poissons) du site archéopaléontologique d'Oued Sarrat (NO Tuinisie) Bio-géo-chronologie, Paléobiogéographie et reconstitution du paléoenvironnement.

Moncef-Said Mtimet

Supervised by: Prof. Bienvenido Martínez-Navarro (URV)

TARRAGONA 2021



**UNIVERSITAT
ROVIRA I VIRGILI**

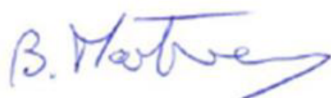
Departament d' Historia i Historia de L'Art



I STATE that the present study, entitled "***The microvertebrates (Micrommamals, Amphibians, Reptiles, Aves and Fishes) from the archeopaleontological site of Wadi Sarrat (NW Tunisia) Bio-geo-chronology, Paleobiogeography and Paleoenvironmental reconstruction***", presented by ... **Moncef-Said Mtimet**... for the award of the degree of Doctor, has been carried out under my supervision at *the Departament d' Historia i Historia de L'Art*...of this university.

Tarragona, July 28th, 2021

Doctoral Thesis Supervisor



Bienvenido Martínez Navarro

Remerciements

Au terme de ce travail, il m'est agréable d'exprimer ma profonde gratitude à tous ceux et celles qui, de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail.

*Cette thèse de doctorat financée par une bourse du programme Erasmus Mundus, Je remercie vivement les responsables et coordinateurs du programme IDQP, **Prof. Marta Arzarello** (Università degli Studi di Ferrara), **Prof. Carlos Lorenzo** et **Prof. Robert Sala** (Universitat Rovira i Virgili, Tarragona), de m'avoir facilité les procédures administratives.*

*Je remercie très chaleureusement mon directeur de thèse **Prof. Bienvenido Martínez-Navarro** (ICREA, IPHES, URV) d'avoir accepté de diriger et encadrer mes travaux de recherches dans le cadre de ma thèse de doctorat, aussi bien pour ses précieux conseils, ses recommandations et surtout ses encouragements lors des moments les plus difficiles. Il était toujours présent pour m'aider et me débloquer à chaque fois que j'avais des difficultés. Je le remercie vivement pour ses qualités humaines et scientifiques.*

*J'exprime ma profonde gratitude à **Mme Narjess Karoui-Yaakoub** (Professeur à la Faculté des Sciences de Bizerte) de m'avoir si bien encadré depuis mon master à la Faculté des Sciences de Bizerte. Elle a accordé beaucoup de temps à mes recherches, je lui suis redevable et très reconnaissant, à ses encouragements, ses conseils et son aide. Je la remercie profondément pour toutes ses qualités humaines et scientifiques et aussi pour la convivialité et le dynamisme qu'elle insuffle à toute l'équipe à la FSB.*

*J'aimerais remercier vivement **Mr. Salvador Bailon** (Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris) pour son accueil et son aide précieuse au cours de l'étude des amphibiens et reptiles aux laboratoires d'anatomie comparée (MNHN).*

*Je remercie très particulièrement **Mme. Emmanuelle Stoetzel** (Musée de l'Homme, MNHN) pour son accueil au M.H et pour la riche documentation mise à ma disposition. Merci Emmanuelle.*

*Je tiens à remercier **Mr. Vincent Lebreton** (Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris) pour son accueil à l'Institut de Paléontologie Humaine.*

Je tiens à exprimer mes remerciements les plus sincères à tous les chercheurs et techniciens à l'IPHES à Tarragone pour leur accueil, encouragements et aides aussi bien au laboratoire qu'au cours des campagnes de fouilles.

*Je remercie vivement **Mr. Abdelhak Othmani** (Enseignant à la faculté des Sciences de Bizerte) pour sa grande générosité et son aide lors des travaux de terrain à Oued Sarrat.*

*Je remercie mes ami(e)s, mes collègues et chercheurs à la FSB, IPHES, URV et MNHN,
pour leur soutien moral sans limite qui m'a permis de tenir bon et achever ce travail*

Table des matières

Chapitre I : Introduction générale	17
Chapitre II : Objectifs du travail	22
Chapitre III : Le site d'Oued Sarrat	24
III.1 : Cadre géographique	24
III. 2 : Cadre géologique	26
III. 3 : Contexte structural	27
III. 4 : Contexte climatique	28
III. 5 : Etude de la série stratigraphique	29
III. 6 : Etudes (travaux) antérieurs réalisées.....	31
1. Paléomagnétisme	31
2. Matériel lithique	33
3. Les macrovertébrés.....	38
4. La malacofaune :	38
Chapitre IV : Méthodologie	40
1. Travaux de terrain : Excavation et échantillonnage	40
2. Travail aux laboratoires : (Tri, identification, biométrie, statistique et illustration) 42	
3. Observations préliminaires taphonomiques:	48
Chapitre V : Résultats et Discussions	50
V.1. Les rongeurs	50
V.2. Les amphibiens.....	64
V.3. Les reptiles	71
V.4. Les poissons	77
Chapitre VI : Biochronologie.....	81
Chapitre VII : Reconstitution du Paléoenvironnement.....	86
A/ Analyses géochimiques et minéralogiques des sédiments de l'Oued Sarrat.....	86
I. Données minéralogiques et géochimiques	86
Traçage géochimique.....	88
Conclusion et discussion	90
B/ Observations préliminaires taphonomique :.....	91
Chapitre VIII : Conclusion générale	96
Références bibliographiques.....	99
Annexes I : Les mesures effectuées sur les molaires des rongeurs.....	107

Annexes II : Analyse minéralogique et géochimique	113
Annexe III : Les publications du site d'Oued Sarrat	116

Liste des figures

Figure 1: Option chronostratigraphiques du Quaternaire (d'après Pillans & Naish, 2004).....	19
Figure 2: Tableau chronostratigraphique synthétique du Quaternaire (étages géologiques, divisions paléomagnétiques et courbe isotopique de l'Oxygène) (d'après Gibbart <i>et al.</i> , 2007).	20
Figure 3: Localisation géographique de la zone d'étude en Tunisie.	25
Figure 4: Localisation du secteur d'étude sur un extrait de la carte géologique de Kalaat Snan	26
Figure 5: Localisation de la zone d'étude sur la carte structurale du Nord de la Tunisie (Solignac, 1927; Rouvier, 1977; Castany, 1951; Zargouni, 1985).	27
Figure 6: Carte des zones bioclimatiques de la Tunisie.....	28
Figure 7: Bloc diagramme schématisant le site d'Oued Sarrat (à l'état actuel).....	30
Figure 8: Echantillonnage pour l'étude paléomagnétisme.....	31
Figure 9: Résultats des analyses magnétostratigraphiques (Martínez-Navarro <i>et al.</i> , 2014)...	32
Figure 10: A) Eclats, B) Nucléus Acheuliens du site d'Oued Sarrat (Martínez-Navarro <i>et al.</i> , 2014).	34
Figure 11: Nucleus Acheulien du site de l'Oued Sarrat	34
Figure 12: Eclats Acheulien du site d'Oued Sarrat.....	34
Figure 13: Eclats acheuliens du site de l'Oued Sarrat	35
Figure 14: <i>Bos premigenius</i> (Martinez-Navarro <i>et al.</i> , 2014).....	36
Figure 15: <i>Canis othmanii</i> (Amri <i>et al.</i> 2017).....	37
Figure 16: Malacofaune d'Oued Sarrat (Karoui-Yaakoub <i>et al.</i> 2016).	38
Figure 17: Système de quadrillage pour la fouille systématique. a) vue de dessus, b) vue de profil.....	40
Figure 18: a) Profil de la fouille montrant les carrés métriques. b) Feuille d'informations individuelles pour chaque carrée.	41
Figure 19: a) Séchage des sédiments. B) trempage des sédiments dans des cuvettes.	41
Figure 20: Lavage des sédiments à travers des tamis.	42
Figure 21: Les paramètres des mesures sur une première molaire supérieure (M1) des muridae.	43
Figure 22: Nomenclature dentaire des Murinae. Vue occlusale. D'après Michaux (1971) in Sabatier (1979).....	43
Figure 23: Nomenclature dentaire des Gerbillinae. Vue occlusale (d'après Tong 1989).....	44
Figure 24: Nomenclature dentaire des Gliridae. Vue occlusale. 1= molaire supérieure ; 2= molaire inférieure (d'après Cheddadi, 1986).	44
Figure 26: Nomenclature ostéologique de quelques éléments squelettiques de Serpents (d'après Bailon 1991, Szindlar 1984).	46
Figure 27: Nomenclature ostéologique de quelques éléments squelettiques de Sauriens. D'après Bailon (1991) et Schleich <i>et al.</i> (1996).	47
Figure 28: Nomenclature des plaques de Chéloniens, d'après Schleich <i>et al.</i> (1996).	48
Figure 29: Exemples des Molaires de <i>Mus</i> du site d'Oued Sarrat : a,b,c,e= M1G ; d=M2G ; f,g,h=M1D ; i,j= m1D ; k=m1G ; l=m1-m2G.....	51

Figure 30: Graphiques bivariés (Longueur x largeur) des premières molaires supérieures de <i>Mus</i> d'Oued Sarrat.	52
Figure 31: Graphiques bivariés (Longueur x largeur) des premières molaires inférieures de <i>Mus</i> d'Oued Sarrat.	52
Figure 32: Exemples des molaires de <i>Paraethomys</i> du site d'Oued Sarrat. a,b,c= M1G; d=M1D	54
Figure 33: Graphiques bivariés (Longueur x largeur) des premières molaires supérieures de <i>Paraethomys</i> du site d'Oued Sarrat.	55
Figure 34: Exemples des Molaires d' <i>Arvicanthis</i> sp.	56
Figure 35: Exemples des molaires de <i>Lemniscomys barbarus</i> d'Oued Sarrat. a= M1D; b= m1- m2-m3G	57
Figure 36: <i>Dipodillus campestris</i> de l'Oued Sarrat . m1G (fragmentée).....	58
Figure 37: Exemples de molaires de <i>Meriones</i> du site de l'Oued Sarrat. a,b,c,d,e= M1D; f,g= M2	59
Figure 38: M2 supérieure droite d' <i>Eliomys</i> sp.....	62
Figure 39: m1 inférieure droite d'un Dendromurinae	63
Figure 40: Les amphibiens d'Oued Sarrat	67
Figure 41: a-c <i>Natrix natrix</i> ; d-f <i>N. maura</i> ; g, h, i, j <i>Macroprotodon</i> ; k, l, m, n <i>Hemorrhoids</i>	72
Figure 42: a,b,c <i>Macrovipera</i> sp./ <i>Daboia</i> sp.; d, e, f <i>Erycinae</i> (boidae) ; g, h,i <i>Coronella</i> sp./ <i>Telescopus</i> sp. ; j,k <i>Eumeces</i> sp. dentaire gauche ; l,m Lacertidae indet. Dentaire gauche.....	74
Figure 43: <i>Emys</i> ou <i>Mauremys</i> : 1-10, 12-14: Fragments des plaques. 11: fragment d'humérus. Echelle =5mm	75
Figure 44: <i>Eumeces</i> sp.	76
Figure 45: Lacertidae indéterminé	76
Figure 46: Proportion relative des éléments squelettiques des poissons du site de l'Oued Sarrat	77
Figure 47: 1-9: dents pharyngiennes isolées. ; 10-13 : fragments des épines ; 14-16 : os pharyngien ; 17-18 : vertèbres	79
Figure 48: Graphiques bivariés (Surface (L x l) x Age) des premières molaires supérieures de <i>Paraethomys</i> des sites du Nord d'Afrique.	82
Figure 49: Diagramme longueur (L)-largeur(l) des M1 supérieures de la lignée <i>Paraethomys</i> <i>anomalous</i> ; <i>P. cf. rbiae</i> <i>P. cf. filfilae</i> , du Pliocène supérieur au Pléistocène moyen. Les quatre schémas représentent respectivement une M1 du Lac Ichkeul, d'Irhoud.....	83
Figure 50: Biochronologie du site de l'Oued Sarrat à l'aide de la distribution verticale des rongeurs et une comparaison avec les biozonations du Nord d'Afrique	84
Figure 51: Trace de Weathering sur un ossement d'un microvertébré du site d'Oued Sarrat	91
Figure 52: Digestion modérée + racine sur une vertèbre d'un microvertébré du site de l'Oued Sarrat.....	91
Figure 53: Digestion extrême sur une vertèbre caudale d'un rongeur du site de l'Oued Sarrat	92
Figure 54: Discamation sur un os long d'un microvertébré du site de l'Oued Sarrat	92
Figure 55: Trace de Manganèse sur des ossements de microvertébrés du site de l'Oued Sarrat	93

Figure 56: Trace de piétinement sur des ossements d'un microvertébré du site de l'Oued Sarrat94

Figure 57: Traces des racines + corrosion sur des ossements de microvertébrés du site de l'Oued Sarrat94

Liste des tableaux

Tableau 1: Mesures (mm) effectuées sur des molaires de <i>Mus</i> actuelles et fossiles. (Stoezel, 2009, modifiée).....	53
Tableau 2: Mésure des molaires des <i>Paraethomys</i> d'Oued Sarrat	55
Tableau 3: Mesures (mm) effectuées sur des molaires de <i>Lemniscomys</i> actuelles et fossiles. (Stoezel, 2009, modifiée).....	57
Tableau 4: Mesure des molaires des <i>Meriones</i> de l'Oued Sarrat.....	60
Tableau 5: Mesures (mm) effectuées sur des molaires de <i>Meriones</i> actuelles et fossiles (Stoezel, 2009, modifiée).....	60
Tableau 6: Mesure du molaire d' <i>Eliomys</i> d'Oued Sarrat.....	62
Tableau 7: La liste du matériels étudiés attribués au amphibiens dans le site d'Oued Sarrat...60	
Tableau 8: Nombre des restes de poissons de l'Oued Sarrat	77
Tableau 9: Mesure de la surface de M1 (Lx1) en fonction du temps chez <i>Paraéthomys</i> dans les sites au nord d'afrique.....	81
Tableau 10: Composition minéralogique des coquilles des mollusques de l'Oued Sarrat	87
Tableau 11: Compositions minéralogiques des coquilles actuelles.....	87
Tableau 12: Composition minéralogique des marnes d'Oued Sarrat	88
Tableau 13: Composition chimique des coquilles des mollusques de l'Oued Sarrat	89
Tableau 14: Composition chimique des coquilles de mollusques actuels de l'Oued Sarrat....	89
Tableau 15: Composition chimique des argiles d'Oued Sarrat	90

Résumé

L'étude des microvertébrés provenant du site d'Oued Sarrat, situé au Nord-ouest de la Tunisie, nous a permis l'identification de 24 espèces composées par 9 rongeurs (*Mus* aff. *spretus*, *M.* cf. *hamidae*, *Paraethomys rbiae*, *Praomys* sp. , *Meriones* sp., *Dipodillus* (*Gerbillus*) *compestris*, *Eliomys* sp., *Arvicanthis* sp. et *Dendromus* sp.), 3 espèces d'anoures (*Discoglossus pictus*, *Bufo mauritanicus* et *Pelophylax saharicus*), 1 chelonien (*Emys* sp./*Mauremys* sp.), 8 squamates [2 lézards (*Eumeces* sp., Lacertidae indet. De petite taille), 2 morphotypes des colubridés (*Macroprotodon* sp. et *Hemorrhoids* sp.), 1 espèce de Colubridae s.l. (*Coronella* sp./*Telescopus* sp.), 2 Natricidae (*Natrix natrix* et *N. maura*), 1 vipéridae (*Macrovipera/Daboia* sp.)], 1 espèce de *Eryciné* (Boidae), 1 espèce de poisson d'eau douce de la famille des cyprinidae et 1 oiseau de petite taille appartenant à la famille des Passeriformes.

La biochronologie de la série de l'Oued Sarrat a été réalisée à partir de la répartition verticale des espèces marqueurs de microvertébrés ainsi que l'association de toute la faune récoltée.

L'espèce index *Paraéthomys rbiae* possède une occurrence ne dépassant pas la limite Pléistocène inférieur-Pléistocène moyen dans tous les sites Nord-africains indique que le site est daté : base du Pléistocène moyen, environ 700 milles ans, correspondant à la base du chron normal Brunhes.

Une étude paléomagnétique réalisée sur des échantillons du site a révélé que la polarité est normale (N), donc ceci concorde bien avec les résultats obtenus par les méthodes biochronologiques.

La présence de plusieurs espèces des microvertébrés qui dépendent à un milieu aquatique pour leurs survies, comme l'espèce *Natrix maura*, l'espèce *Discoglossus pictus* et les poissons d'eau douce de la famille des cyprinidés, indiquent que la région d'Oued Sarrat présentait à l'époque un milieu recouvert des marécages voir un paléolac alimenté par des chenaux et des oueds.

Les analyses minéralogiques et géochimiques ont montré que ces sédiments ont été déposés dans un milieu d'assez forte énergie très probablement fluviale.

La présence des espèces des genres *Bufo*, *Pelophylax*, *Discoglossus*, *Natrix* en plus des espèces d'affinité tropicale comme *Arvicanthis* sp. Dendromurinae et Ericinae dans les sédiments d'Oued Sarrat indique qu'à l'époque cette région a évolué sous un climat plus humide et plus chaud qu'aujourd'hui et la pluviométrie dépassait 1500 mm/an.

Abstract

The study of the microvertebrates from Oued Sarrat site, located in the north-west of Tunisia, allowed us to identify 24 species composed by 9 rodents (*Mus* aff. *spretus*, *M. cf. hamidae*, *Paraethomys rbiae*, *Praomys* sp., *Meriones* sp., *Dipodillus (Gerbillus) compestris*, *Eliomys* sp., *Arvicanthis* sp. and *Dendromus* sp.), 3 species of anurans (*Discoglossus pictus*, *Bufo mauritanicus* and *Pelophylax saharicus*), 1 chelonian (*Emys* sp./*Mauremys* sp.), 8 squamates [2 lezards (*Eumeces* sp., Lacertidae indet. Small size), 2 morphotypes of colubrids (*Macroprotodon* sp. and *Hemorrhoids* sp.), 1 species of Colubridae s.l. (*Coronella* sp./*Telescopus* sp.), 2 Natricidae (*Natrix natrix* and *N. maura*), 1 viperidae (*Macrovipera / Daboia* sp.)], 1 species of Erycinea (Boidae), 1 species of freshwater fish of the Cyprinidae family and 1 small bird belonging to the Passeriformes family.

The biochronology of the Oued Sarrat series was carried out from the vertical distribution of species of microvertebrates as well as the association of all the collected fauna.

The species index *Paraethomys rbiae* has an occurrence not exceeding the Lower Pleistocene-Middle Pleistocene limit in all North African sites indicates that the site is dated to the beginning of the Middle Pleistocene, about 700 ky, corresponding to the base of the normal chron Brunhes.

A paleomagnetic study carried out on samples from the site revealed that the polarity is normal.

The presence of several species of microvertebrates that depend on an aquatic environment for their survival, such *Natrix maura*, *Discoglossus pictus* and the freshwater fish of the cyprinid family, indicate that the region of Oued Sarrat at the time presented an environment covered with swamps or even a paleolac fed by channels and oueds.

Mineralogical and geochemical analyzes have shown that these sediments were deposited in a fairly high energy environment, most likely fluvial.

The presence of species of the genera *Bufo*, *Pelophylax*, *Discoglossus*, or *Natrix*, in addition to tropical affinity species such as *Arvicanthis* sp. Dendromurinae and Ericinae in the sediments of Oued Sarrat indicate that at the time this region evolved under a more humid and warmer climate than nowadays and the rainfall exceeded 1500 mm / year.

Resum

L'estudi dels microvertebrats del jaciment d'Oued Sarrat, situat al nord-oest de Tunísia, ens va permetre identificar 24 espècies compostes per 9 rosegadors (*Mus* aff. *spretus*, *M. cf. hamidae*, *Paraethomys rbiae*, *Praomys* sp., *Meriones* sp., *Dipodillus (Gerbillus) compestris*, *Eliomys* sp., *Arvicanthis* sp. I, *Dendromus* sp.), 3 espècies d'anurs (*Discoglossus pictus*, *Bufo mauritanicus* i *Pelophylax saharicus*), 1 queloni (*Emys* sp./*Mauremys* sp.), 8 escamats [2 sargantanes (*Eumeces* sp., Lacertidae indet. Small size), 2 morfotips de colubrids (*Macroprotodon* sp. i *Hemorrhoids* sp.), 1 espècie de Colubridae s.l. (*Coronella* sp./*Telescopus* sp.), 2 Natricidae (*Natrix natrix* i *N. maura*), un viperidae (*Macrovipera / Daboia* sp.)], 1 espècie d'Erycinea (Boidae), 1 espècie de peix d'aigua dolça de la família dels Cyprinidae i una petita au pertanyent a la família de les Passeriformes.

La biocronologia de la sèrie Oued Sarrat es va dur a terme a partir de la distribució vertical d'espècies de microvertebrats, així com de l'associació de tota la fauna recollida.

La espècie índex *Paraethomys rbiae* té una ocurrència que no supera el límit del Pleistocè inferior-Pleistocè mitjà en tots els jaciments del nord d'Àfrica, i indica que el lloc està datat a la base del Pleistocè mitjà, 700 ka, corresponent a la base del chron normal Brunhes.

L'estudi paleomagnètic realitzat en mostres del jaciment va revelar que la polaritat és normal.

La presència de diverses espècies de microvertebrats que depenen d'un medi aquàtic per a la seva supervivència, com les espècies *Natrix maura*, *Discoglossus pictus* i els peixos d'aigua dolça de la família dels ciprínids, indiquen que la regió d'Oued Sarrat presentava un entorn cobert de pantans o fins i tot d'un paleolac alimentat per canals i rius.

Les anàlisis mineralògiques i geoquímiques han demostrat que els sediments es dipositaven en un entorn energètic força elevat, molt probablement fluvial.

La presència d'espècies dels gèneres *Bufo*, *Pelophylax*, *Discoglossus*, i *Natrix*, a més d'espècies d'afinitat tropical com *Arvicanthis* sp., Dendromurinae, i Ericinae als sediments d'Oued Sarrat, indiquen que aquesta regió va evolucionar sota un clima més humit i càlid que l'actual i les precipitacions van superar els 1500 mm / any.

Resumen

El estudio de los microvertebrados del yacimiento de Oued Sarrat, situado en el noroeste de Túnez, nos permitió identificar 24 especies compuestas por 9 roedores (*Mus* aff. *spretus*, *M.* cf. *hamidae*, *Paraethomys rbiae*, *Praomys* sp., *Meriones* sp., *Dipodillus* (*Gerbillus*) *compestris*, *Eliomys* sp., *Arvicanthis* sp., y *Dendromus* sp.), 3 especies de anuros (*Discoglossus pictus*, *Bufo mauritanicus* y *Pelophylax saharicus*), 1 quelonio (*Emys* sp./*Mauremys* sp.), 8 escamados [2 lagartijas (*Eumeces* sp., Lacertidae indet. Small size), 2 morfotipos de colúbridos *Macroprotodon* sp. y *Hemorrhhois* sp.), 1 especie de Colubridae S.L. (*Coronella* sp./*Telescopus* sp.), 2 Natricidae (*Natrix natrix* y *N. maura*), un Viperidae (*Macrovipera* / *Dabo* sp.), 1 especie de Erycinea (Boidae), 1 especie de pez de agua dulce de la familia Cyprinidae y una pequeña ave perteneciente a la familia de las Passeriformes.

La biocronología de la serie Oued Sarrat se llevó a cabo a partir de la distribución vertical de especies de microvertebrados, así como de la asociación de toda la fauna recogida.

La especie índice *Paraethomys rbiae* tiene una ocurrencia que no supera el límite del Pleistoceno inferior-Pleistoceno medio en todos los yacimientos del norte de África, e indica que el lugar está datado en la base del Pleistoceno medio, 700 ka, correspondiente a la base del Chron normal Brunhes.

El estudio paleomagnético realizado en muestras del yacimiento reveló que la polaridad es normal.

La presencia de varias especies de microvertebrados que dependen de un medio acuático para su supervivencia, como las especies *Natrix maura*, *Discoglossus pictus* y los peces de agua dulce de la familia de los ciprínidos, indican que la región de Oued Sarrat presentaba un entorno cubierto de pantanos o incluso de un paleolago alimentado por canales y ríos.

Los análisis mineralógicos y geoquímicos han demostrado que los sedimentos se depositaban en un entorno energético muy elevado, muy probablemente fluvial.

La presencia de especies de los géneros *Bufo*, *Pelophylax*, *Discoglossus*, y *Natrix*, además de especies de afinidad tropical como *Arvicanthis* sp., *Dendromurinae*, y Ericinae, en los sedimentos de Oued Sarrat, indican que esta región evolucionó bajo un clima más húmedo y cálido que el actual y las precipitaciones superaron los 1500 mm / año.

Abréviations

FSB : Faculté des Sciences de Bizerte

IPHES : Institut Catalan de Paléoécologie Humaine et Evolution Sociale, Tarragone

URV : Université Rovira et Virgili, Tarragone

MNHN : Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris

MH : Musée de l'Homme, Paris

ETAP : Entreprise Tunisienne des Activités Pétrolières

MEB : Microscope Electronique à Balayage

Chapitre I : Introduction générale

Introduction générale

Le Quaternaire est globalement connu par les phases froides ou de glaciations, alternées par des phases interglaciaires. Il est connu par plusieurs épisodes de changements climatiques, bien enregistrés et documentés dans le registre géologique et paléontologique des séries marines et des séries continentales.

Les limites chronologiques du Quaternaire se présentent sur plusieurs modèles. Pillans & Naish (2004) ont résumé les différentes options chronostratigraphiques du Quaternaire (Figure 1).

Le Quaternaire se définirait donc ainsi :

- 1) c'est une unité chronostratigraphique / géochronologique exprimée comme un système ou une période à part entière ;
- 2) le Quaternaire doit être placé au-dessus du Néogène (en suivant la règle qu'une unité plus importante ne peut pas être incluse dans une unité plus petite) ;
- 3) la limite chronologique inférieure du Quaternaire est fixée à 2,6 Ma (coïncidant avec les limites de l'évènement de Gauss-Matuyama) ;
- 4) la base du Quaternaire coïncide avec la base du Pléistocène, ce qui implique le décalage de la limite inférieure du Pléistocène à 2,6 Ma ;
- 5) le Gélasién est déplacé vers le Pléistocène inférieur (Brugal *et al.*, 2007; Riccardi, 2009).

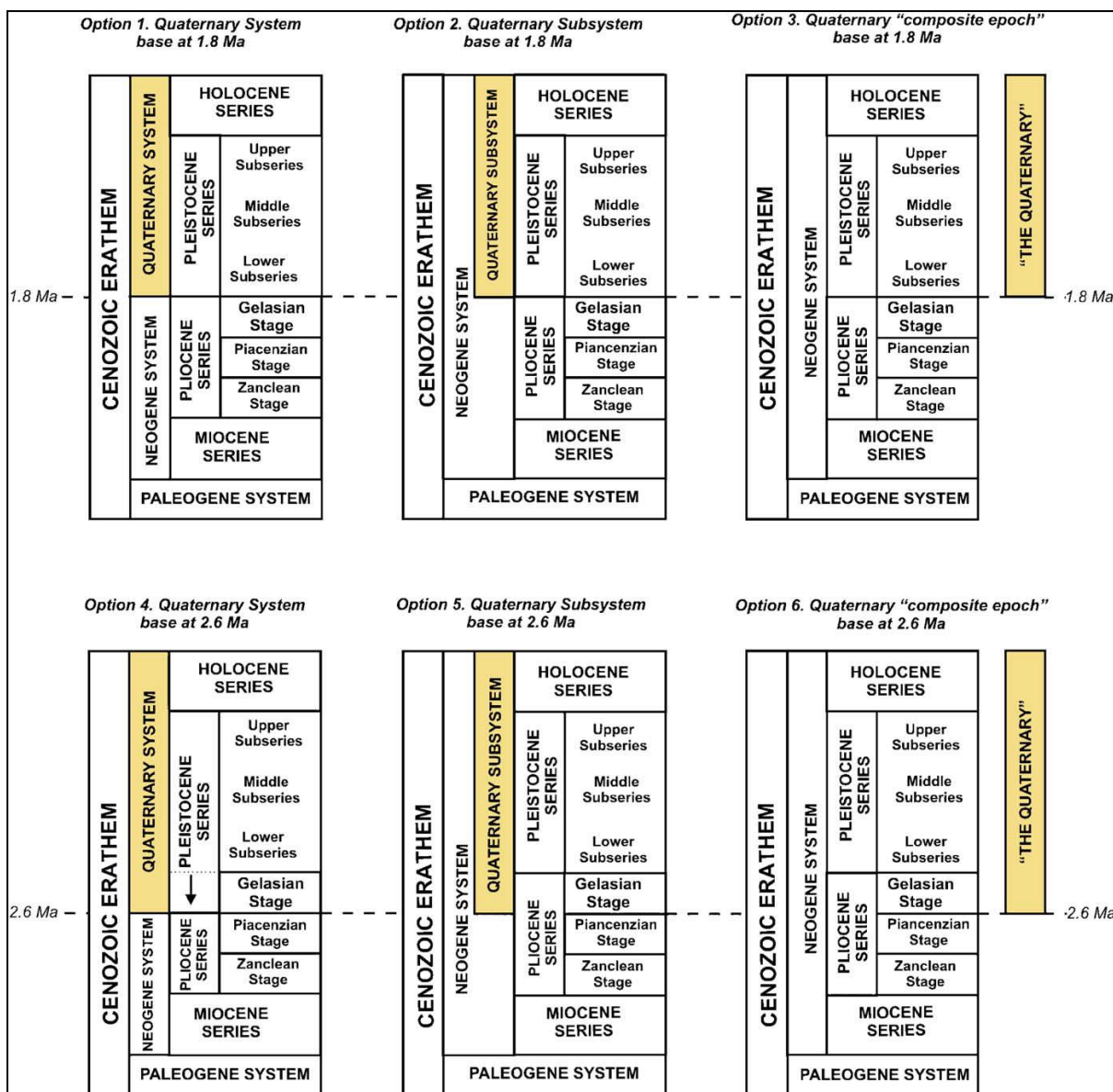


Figure 1: Option chronostratigraphiques du Quaternaire (d'après Pillans & Naish, 2004).

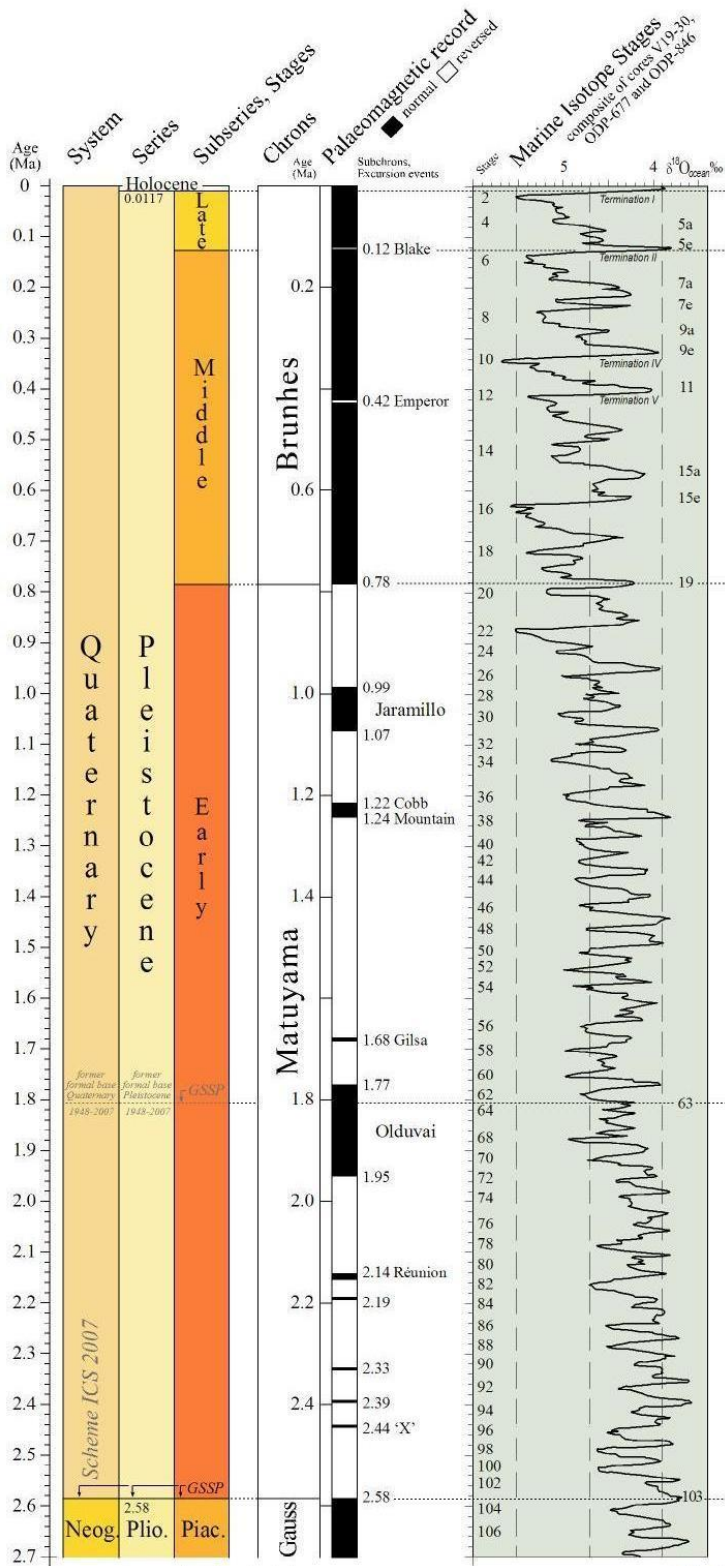


Figure 2: Tableau chronostratigraphique synthétique du Quaternaire (étages géologiques, divisions paléomagnétiques et courbe isotopique de l'Oxygène) (d'après Gibbart *et al.*, 2007).

Dans les régions méditerranéennes et tropicales, il est préférable de raisonner en termes de périodes humides ou arides plutôt qu'en termes de périodes glaciaires ou interglaciaires Stoetzel (2009), du fait que les calottes glaciaires n'ont jamais atteint ces latitudes au cours du Quaternaire.

Ce présent travail, se consacre à l'étude des microvertébrés fossiles provenant du site d'Oued Sarrat (région de Tajerouine), d'âge Pléistocène moyen. Ceci entre dans le cadre d'un projet de recherche tuniso-espagnol dirigé par Mr. Bienvenido Martínez-Navarro de l'IPHES et Mme Narjess Karoui-Yaakoub de la FSB.

En Tunisie, la série marine pléistocène, est largement étudiée tandis que pour la série continentale, n'a pas cessé de nous livrer tous ses secrets, vu le nombre réduits des sites continentaux. Avec l'évolution et l'avancée des nouvelles méthodes technologiques, il est possible de pousser les recherches plus loin, pour en extraire des résultats plus précis et plus proches de la réalité.

A l'échelle mondiale, plusieurs sites de dépôts continentaux ont été étudiés avec des méthodes pluridisciplinaires. En Afrique du nord les travaux sont focalisés souvent sur les macrovertébrés, tandis que les microvertébrés ont été rarement étudiés, citons quelques exemples comme : Jaeger (1975, 1976), Geraad (1994, 1995, 2010), et Stoetzel (2009).

Chapitre II : Objectifs du travail

Objectifs

L'objectif de notre travail est l'étude de toute l'association de microvertébrés fossiles provenant des sédiments pléistocènes de l'Oued Sarrat. Donc on essayera de:

- identifier, de décrire et de présenter une systématique des assemblages de la microfaune,
- dater les sédiments de l'excavation à partir des assemblages des microvertébrés,
- proposer un découpage biostratigraphique local, basé sur l'évolution verticale des espèces indicatrices ou stratigraphiques, calé par la biochronologie régionale (nord africaine), la magnétostratigraphie et la géochronologie,
- étudier la taphonomie des ossements et en déduire les agents responsables des phénomènes post mortem et ceux qui seraient à l'origine de l'accumulation de ces assemblages,
- essayer de reconstituer le paléoenvironnement de dépôt de ces microvertébrés qui vivaient en association avec les macrovertébrés et la malacofaune,
- en déduire le paléoclimat,
- faire une corrélation entre la biogéographie locale et celle de tout le Nord d'Afrique.
- essayer de cartographier (de différencier) ces dépôts sur la carte géologique de la région.

Chapitre III : Le site d'Oued Sarrat

III.1 : Cadre géographique

Le site d'Oued Sarrat se localise dans le Nord-Ouest de la Tunisie à proximité de la frontière Algéro-Tunisienne. Le secteur est situé à l'extrémité Nord de la feuille de Kalaat Snan, d'échelle 1/50 000, environ 10 km au Sud-Ouest de la ville de Tajerouine, 15km du Nord-Est de Kalaat Snan et 1km au Nord du village de Mahjouba (**Fig.3**).

La région est bien desservie par le réseau routier de Tajerouine au Nord, qui s'articule sur la route GP17 reliant Tajerouine au Kef et à Tunis. Le secteur est accessible par la route GP18, qui se bifurque de la GP17, au point kilométrique 145 du côté de Tajerouine puis par une piste de 4km du côté Ouest du point de croisement. Le bassin versant d'Oued Sarrat possède une superficie d'environ 2188 km².

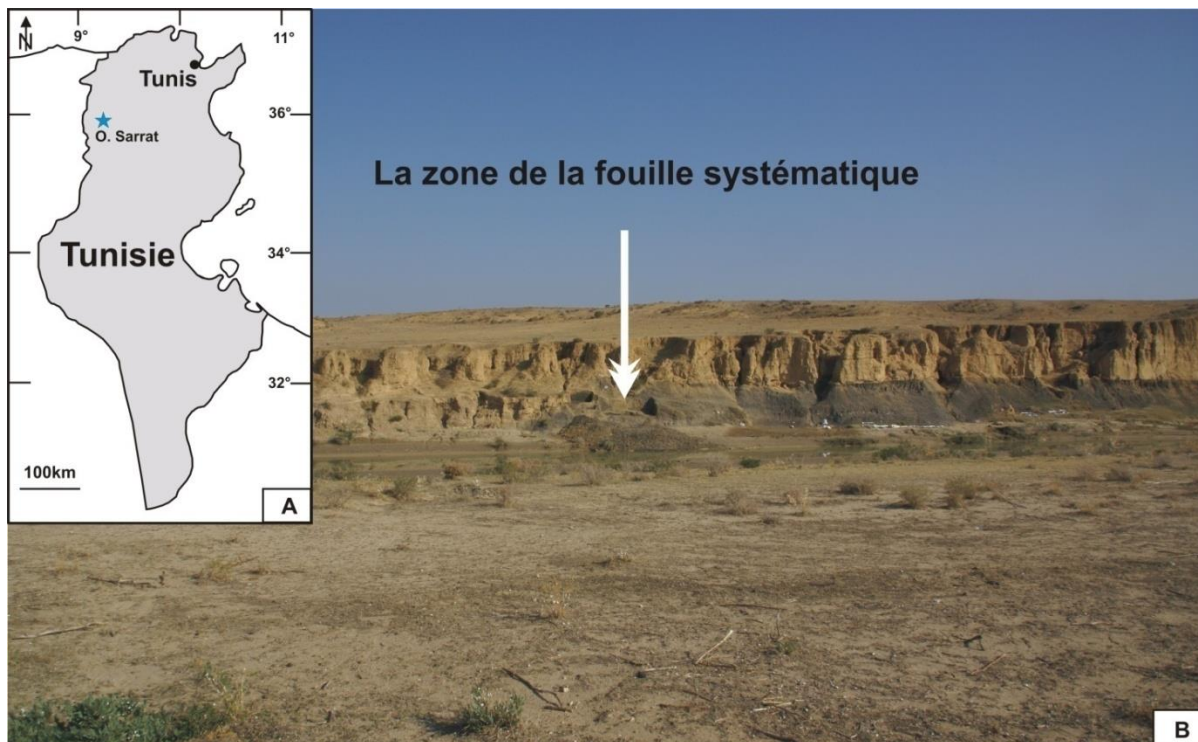


Figure 3: Localisation géographique de la zone d'étude en Tunisie.

III. 2 : Cadre géologique

La région fait partie d'une zone intermédiaire entre l'Atlas Central et l'Atlas septentrional de la Tunisie à diapirs et fossés d'effondrement. Elle est dominée par des structures plissées entrecoupées par des bassins d'effondrement correspondant au fossé de kalaa el khasba et de Rouhia. Localement le secteur étudié se situe au niveau du fossé de Kalaa Khasba (**Fig.4**).

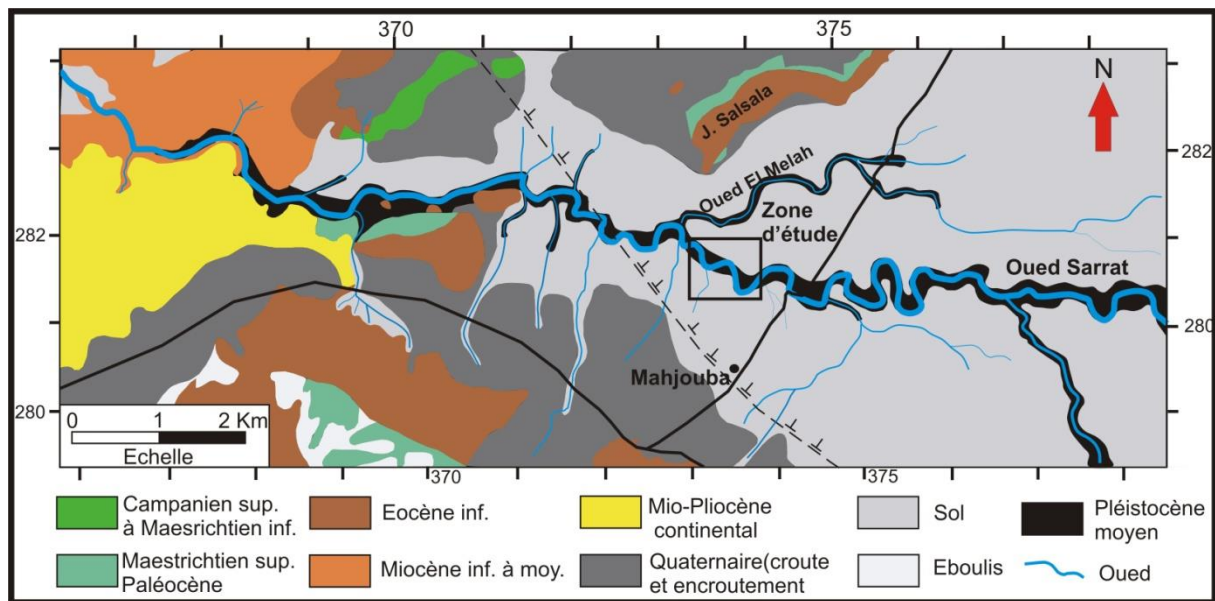


Figure 4: Localisation du secteur d'étude sur un extrait de la carte géologique de Kalaat Snan

III. 3 : Contexte structural

La région d'étude constitue la jonction entre la zone des diapirs et la partie septentrionale de l'Atlas Tunisien central à fossés. Elle est située à l'extrémité SO du sillon tunisien vers le sud de la partie Nord occidentale de la Tunisie, à proximité de la frontière Algérienne, entre les reliefs du Kef au Nord et le massif de Thala au Sud. Des pointements triasiques au NO, viennent coiffer les faciès en affleurement le long d'un couloir de direction NE-SO.

Plus au Sud, prennent lieu des structures plissées à grand rayon de courbure, recoupées selon une direction conjuguée NO-SE par des fossés d'effondrement (**Fig.5**).

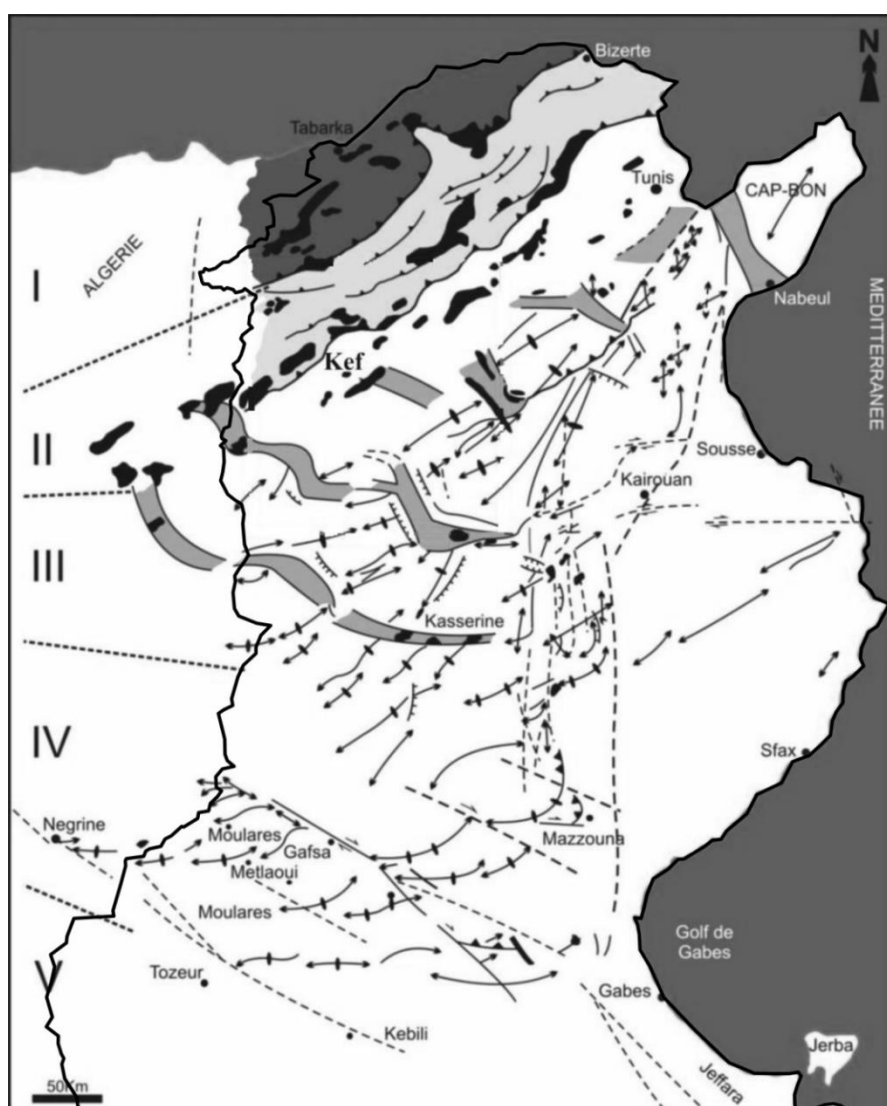


Figure 5: Localisation de la zone d'étude sur la carte structurale du Nord de la Tunisie (Solignac, 1927; Rouvier, 1977; Castany, 1951; Zargouni, 1985).

III. 4 : Contexte climatique

Actuellement, en Tunisie il existe cinq zones bioclimatiques, allant du Saharien à l'humide supérieur (Fig. 6), ce découpage est basé essentiellement sur la pluviométrie et les températures hivernales et estivales (Smaoui, 2015).

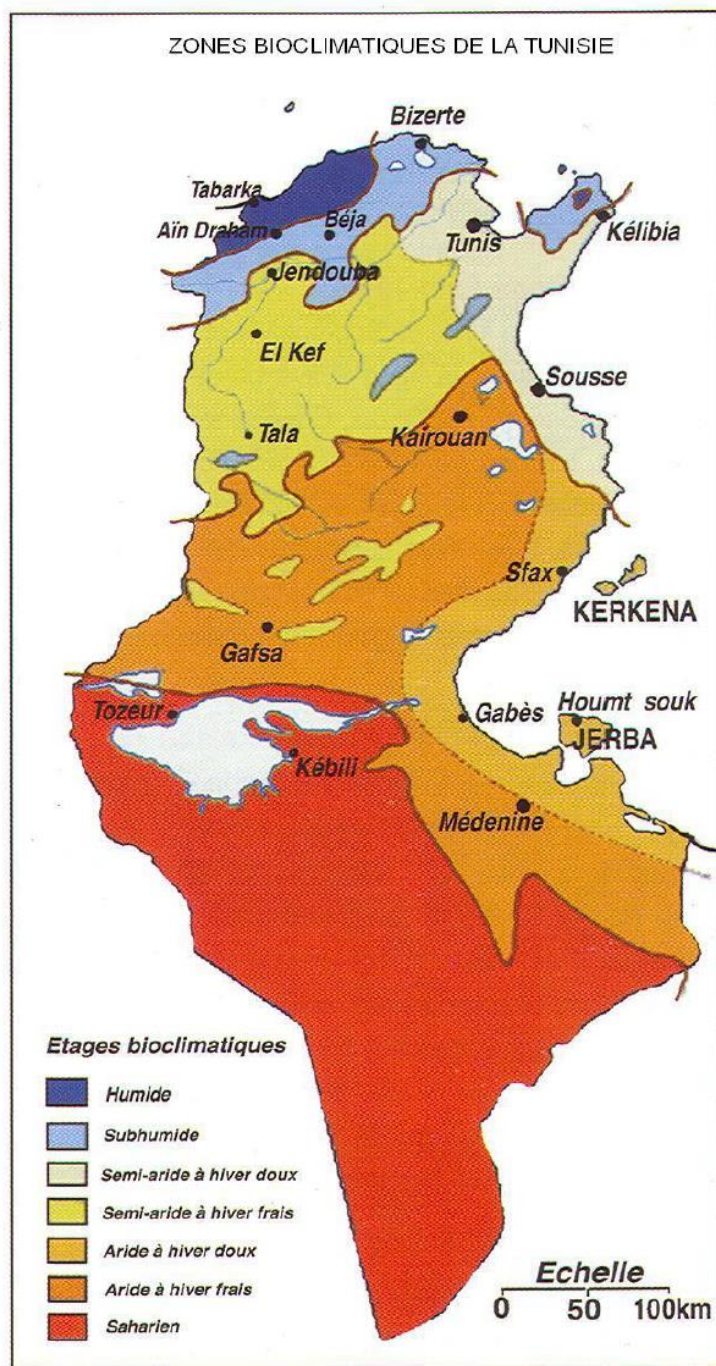


Figure 6: Carte des zones bioclimatiques de la Tunisie (in Smaoui, 2015))

La zone d'étude appartient aujourd'hui à l'étage bioclimatique semi-aride dont la pluviométrie annuelle varie entre 500 et 600 mm et une température annuelle moyenne entre 16 et 17 °c).

III. 5 : Etude de la série stratigraphique

La série stratigraphique affleurante à Oued Sarrat est composée de trois grands niveaux de part et d'autre de chaque rive (**Fig. 7**).

A la base, on note la présence d'un niveau remarquable de couleur noir, qui se compose de conglomérats, de graviers, de sables fins, de limons et des argiles compactes de couleur gris-noir, lacustre / palustre. Ce niveau est d'âge Pléistocène inférieur-moyen, dont l'épaisseur dépasse largement les 10 mètres. Cette couche sombre, est riche en ossements de grands mammifères comme *Bos*, *Gazella*, *Equus*, *Canis* (Martinez-Navarro et al., 2014 ; Amri et al., 2017) et en petits vertébrés en association avec d'abondants tests de mollusques représentés essentiellement par des gastéropodes et des bivalves (Karoui-Yaakoub et al., 2016). Les outils de l'industrie lithique Acheulienne sont parfaitement présents, nombreux et bien conservés, parfois, ils se trouvent juste au-dessous ou à côté des ossements.

Ce niveau noir est totalement imperméable et sur lequel la rivière coule de manière permanente. Il s'étend au centre de l'Oued Sarrat, sur plusieurs kilomètres de longueur.

Au-dessus de ce niveau palustre noir, s'est déposé de manière non conforme, un niveau de terrasses de couleur grise, épais d'environ 10 mètres alternant avec des niveaux marrons, devenant plutôt marrons clairs vers le sommet. Ce niveau est composé par des conglomérats, des sables et des argiles. Egalement, il est riche en ossements de petits et de grands vertébrés et en fragments de lamellibranches et de gastéropodes. Des exemplaires de l'industrie lithique atérienne sont vraiment très présents.

Les deux niveaux (décrits ci-dessus) sont surmontés par un niveau nettement sableux, de couleur jaune et dépassant les trois mètres d'épaisseur. Ces sables renferment des gastéropodes appartenant surtout au genre *Helix*. Ce niveau est intensément érodé et il est daté Holocène. En surface et au sommet de la série, se trouvent des restes et des indices témoignant de l'industrie capsienne.

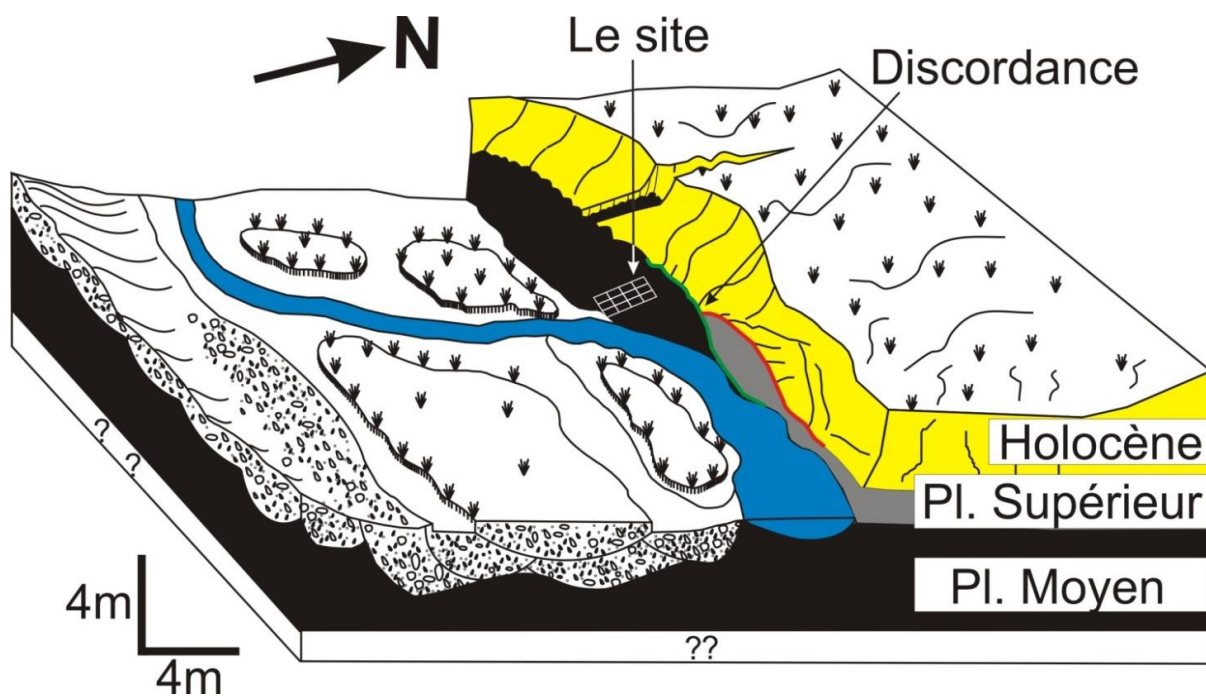


Figure 7: Bloc diagramme schématisant le site d'Oued Sarrat à l'état actuel (Amri et al. 2017).

III. 6 : Etudes (travaux) antérieurs réalisées

1. Paléomagnétisme

En 2010 et 2011, plusieurs échantillons ont été pris au niveau des séries du Pléistocène de l'Oued Sarrat, aux environs des zones proches du lieu de la découverte du crâne de *Bos primigenius*, au sein de la zone de la fouille. D'autres échantillons ont été pris, environ 2 km à l'ouest de cet affleurement, sur la rive droite de la rivière (Fig. 8). L'étude magnétostratigraphique a été réalisée au laboratoire de paléomagnétisme du SCT de l'Institut Jaume Alméra du CSIC à l'Université de Barcelone sous la direction du spécialiste Prof. Oriol Oms. (Annexes III-Article1)

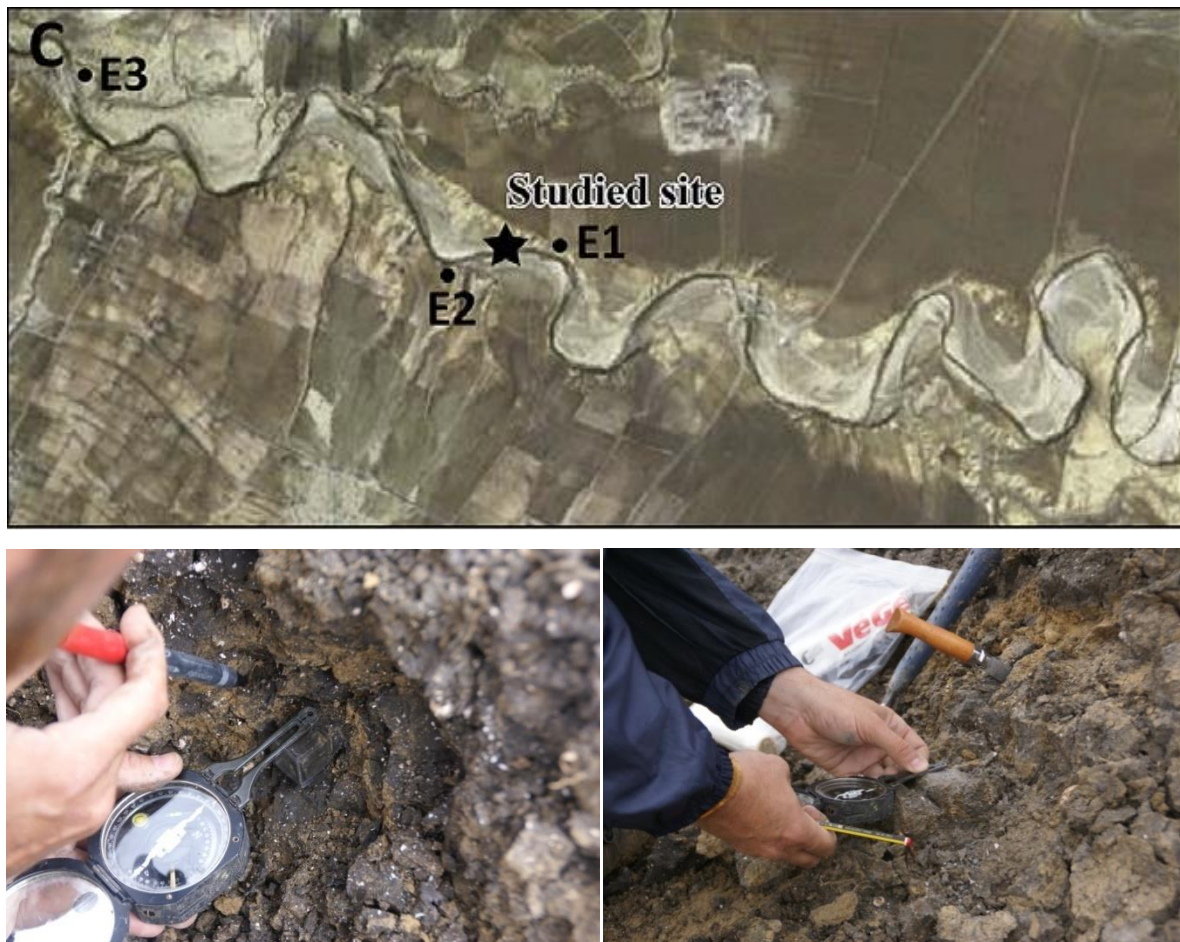


Figure 8: Echantillonnage pour l'étude paléomagnétisme.

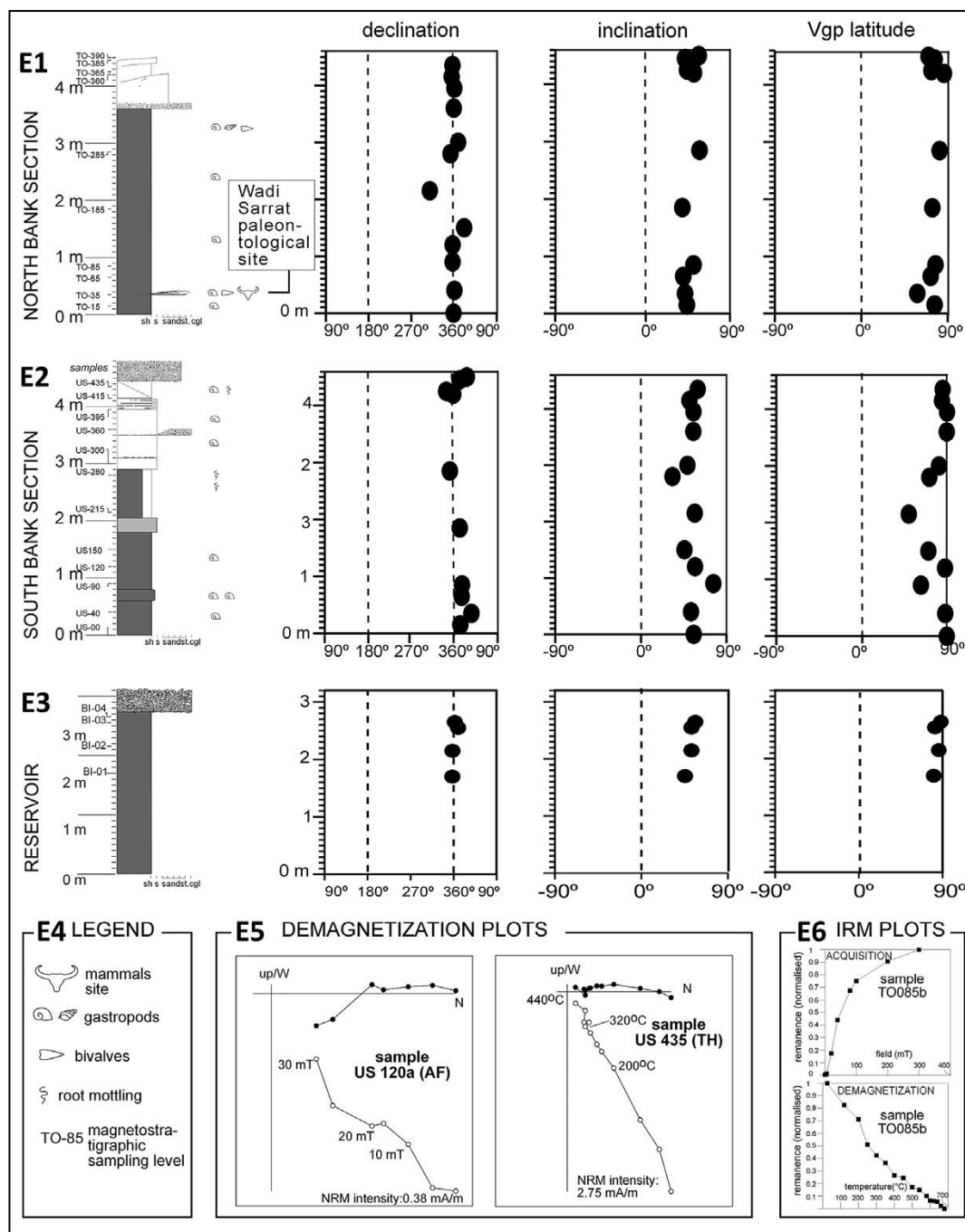


Figure 9: Résultats des analyses magnétostratigraphiques (Martínez-Navarro et al., 2014).

Le résultat du traitement de ces échantillons avec différentes méthodes, indique que toute la série échantillonnée, aussi bien le niveau noir que les niveaux supérieurs gris et marron, superposés en discordance sur le niveau sous-jacent, présentent un magnétisme normal, qui les incluent dans le chronomagnétique Brunhes. Donc il est certain que le niveau noir a un âge proche de la base de ce chrono, daté de 0,78 Ma, marquant la base du Pléistocène moyen, alors que les niveaux supérieurs correspondent au Pléistocène supérieur.

2. Matériel lithique

De nombreuses industries lithiques (lames, nucléus et fragments de taille) ont été récoltées pendant les deux campagnes de fouilles (**Figs. 10, 11, 12 et 13**), aussi bien durant la fouille systématique du niveau noir, que durant la prospection du niveau noir et des niveaux gris et marron supérieurs. L'étude préliminaire réalisée sur les éléments lithiques retrouvés au niveau de la coupe de la fouille indique, que les pièces récoltées dans le niveau noir correspondent au complexe technologique du Mode 2 ou Acheuléen. En revanche, les outils provenant des niveaux gris et marron supérieurs correspondent plutôt, au technocomplexe Atérien typique du Paléolithique moyen nord-africain. En surface, d'abondantes industries lithiques, ont été également identifiées et correspondent au Capsien, typique du Mésolithique de la Tunisie. (Annexes III-Article1).

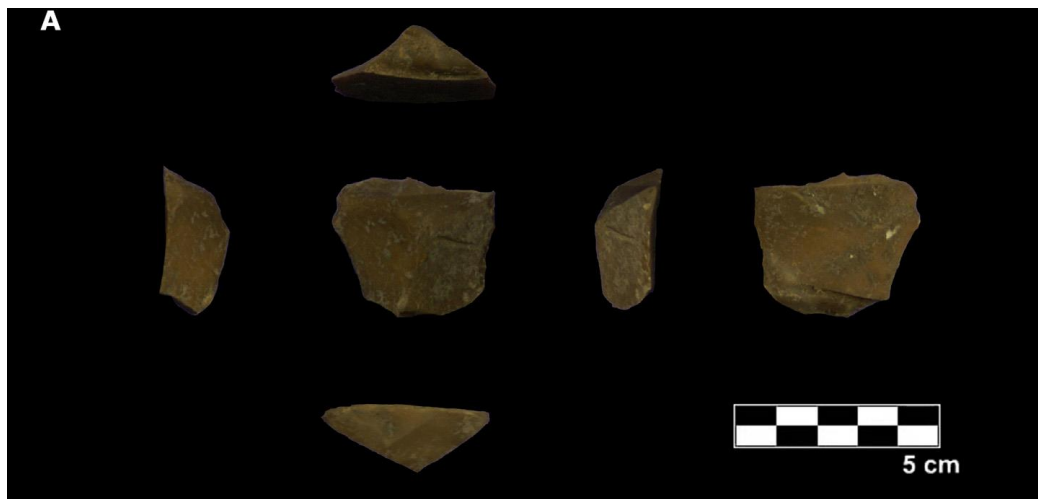


Figure 10: Eclats Acheuliens du site d'Oued Sarrat (Martínez-Navarro et al., 2014, Annexes III-Article1).



Figure 111: Nucléus Acheuliens du site d'Oued Sarrat (Martínez-Navarro et al., 2014).



Figure 122: Nucleus et éclats Acheuliens du site de l'Oued Sarrat



Figure 13: Eclats Acheuliens du site de l'Oued Sarrat

3. Les macrovertébrés

La série d'Oued Sarrat a livré un matériel fossile très riche et assez diversifié, appartenant aux macrovertébrés avec une certaine abondance des restes des bovidés.

Parmi les espèces identifiées on cite : *Bos primigenius* (Martinez-Navarro et al., 2014 et Annexes III-Article1) (**Fig. 14**), *Canis othmanii sp. nov.* (Amri et al. 2017) (**Fig.15**), Suidae indet., *Hippopotamus sp.*, *Gazella sp.*, *Ceratotherium simum*, *Equus sp.*, *Panthera leo*, *Camelus sp.*, Caprini indet.(Annexes III-Article1 et Annexes III-Article3)



Figure 14: *Bos premigenius* (Martinez-Navarro et al., 2014, Annexes III-Article1)

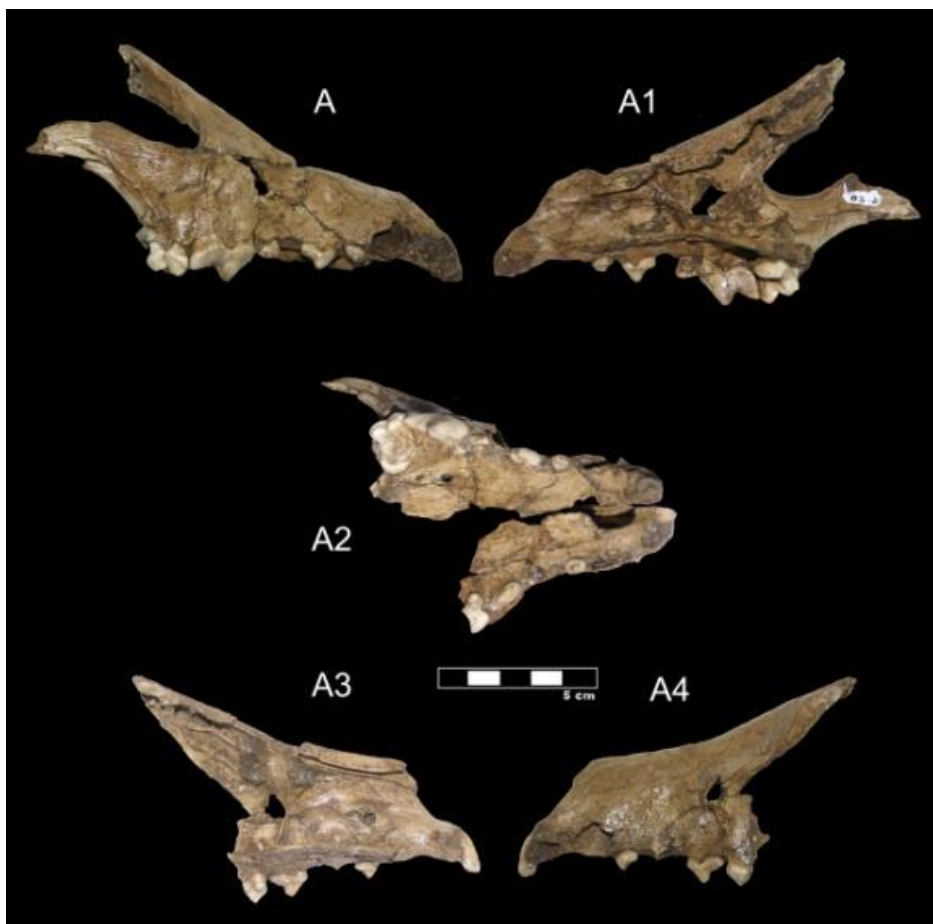


Figure 15: *Canis othmanii* (Amri et al. 2017, Annexes III-Article3)

4. La malacofaune :

Dans le site d'Oued Sarrat un assemblage de malacofaune est composé par 6 espèces de gastéropodes terrestres et une seule espèce de bivalve aquatique (Karoui-Yaakoub et al. 2016, Annexes III-Article2). Cette association plaide en faveur pour un milieu aquatique terrestre comme un bord de lac peu profond a marécageux et un climat a influence méditerranéenne.



Figure 16: Malacofaune d'Oued Sarrat (Karoui-Yaakoub et al. 2016, Annexes III-Article2).

Terrestres:

1,2: *Helix melanostoma* (Draparnaud, 1801), 3, 4: *Sphincterochila baetica* (Rossmassler, 1854),

5, 6: *Eobania vermiculata* (Müller, 1774), 7, 8 : *Xerosecta cespitum* (Draparnaud, 1801)

9, 10: *Ceruella virgata* (Da Costa, 1778), 11, 12: *Rumina decollata* (Linnaeus, 1758)

Aquatiques: 13, 14, 15: *Unio ravoisieri* (Deshayes, 1847)

Chapitre IV : Méthodologie

1. Travaux de terrain : Excavation et échantillonnage

Nous avons commencé notre étude sur le terrain par une excavation systématique du niveau noir lacustre /palustre, exactement au niveau de l’affleurement où fût trouvé le crâne de *Bos primigenius* (Martínez-Navarro et al., 2014), en mettant en place un système cartésien de carrés métriques (**Fig.17**).

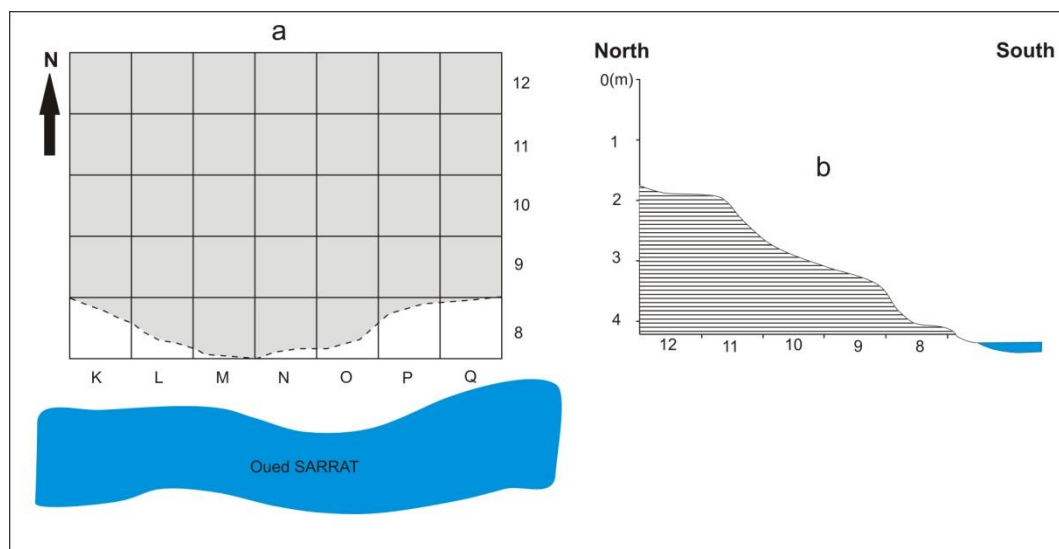


Figure 17: Système de quadrillage pour la fouille systématique. a) vue de dessus, b) vue de profil.

Cette fouille systématique est accompagnée d’une cartographie détaillée de tous les matériaux paléontologiques et archéologiques récupérés en utilisant des fiches individuelles pour chaque carré. Sur les fiches sont notées les informations suivantes : coordonnées spatiales (X, Y et Z) direction, pendage, identification, observations et dessin correspond sur papier millimétré à échelle 1:5. Egalement des photographies de toutes les pièces intéressantes ont été prises in situ (**Fig. 18**).

Dans l’objectif de localiser et de cartographier tous les lieux contenant les restes paléontologiques et/ou archéologiques, nous avons veillé à la réalisation d’une prospection systématique de tous les affleurements pléistocènes le long du bassin de l’Oued Sarrat.

Afin d’assurer une chronologie la plus précise possible, nous avons réalisé des colonnes stratigraphiques détaillées, complétées par des études paléomagnétiques et palynologiques, qui se sont combinées avec les travaux biostratigraphiques,

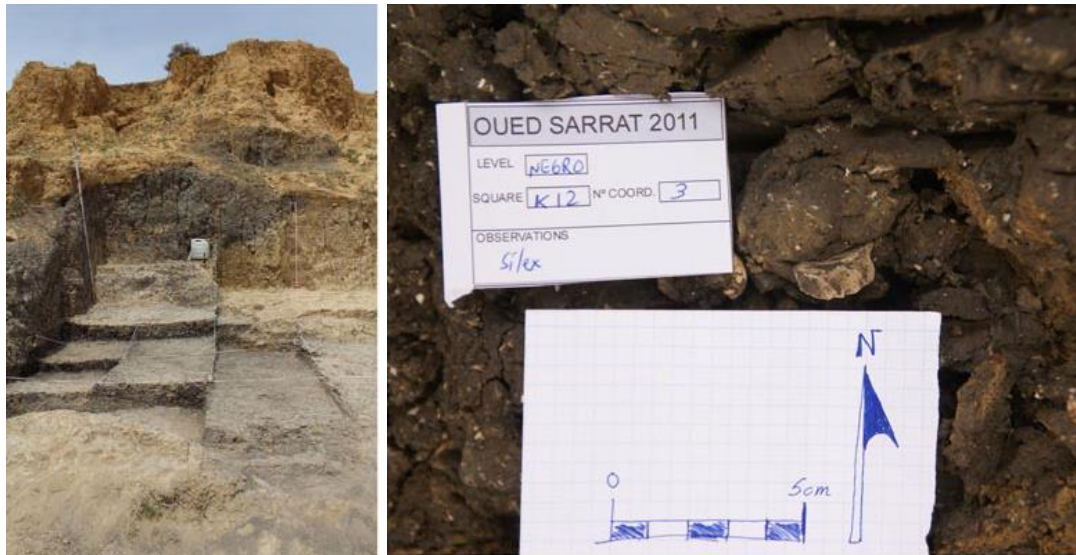


Figure 18: a) Profil de la fouille montrant les carrés métriques. b) Feuille d'informations individuelles pour chaque carré.

Des études systématiques des restes de macrovertébrés retrouvés sont en cours de réalisation, ainsi qu'une comparaison métrique et morphologique avec d'autres faunes quaternaires nord africaines.

L'ensemble des sédiments provenant de l'excavation a été préalablement étiqueté pour que chaque carré, soigneusement et séparément récupéré dans une cuvette, puis trempé dans l'eau pendant quelques heures (**Figs. 19**).



Figure 19: a) Séchage des sédiments. B) trempage des sédiments dans des cuvettes.

Par la suite, ces sédiments sont lavés, sur le terrain, à travers une série de tamis dont les mailles sont de 2 et 0.5 mm de diamètres, à l'aide d'une station de pompage d'eau (**Fig. 20**). Le résidu ainsi obtenu dans le tamis est séché à l'air libre et récupéré dans des sachets bien fermés et référencés.



Figure 20: Lavage des sédiments à travers des tamis.

2. Travail aux laboratoires : (Tri, identification, biométrie, statistique et illustration)

Au laboratoire les différents résidus obtenus, sont traités selon les étapes suivantes :

- Le tri du matériel sous la loupe binoculaire pour extraire et séparer les ossements des microvertébrés, les pièces lithiques et les coquilles des invertébrés, par la suite, chaque groupe identifié, est conservé dans une boîte en plastique.
- Les ossements des microvertébrés sont ensuite, séparés par groupe puis par famille dans d'autres petites boîtes pour être déterminés et identifiés anatomiquement et taxonomiquement.
- Les molaires des microvertébrés sont minutieusement, mesurées sous une loupe binoculaire munie d'une caméra digitale reliée à l'ordinateur. Les paramètres à mesurer sont la longueur (L), la largeur (l) et le contour des dents (**Fig. 21**). Ces mesures biométriques sont ensuite classées dans des tableaux, sous Microsoft Excel pour mieux faciliter les comparaisons et les calculs statistiques.

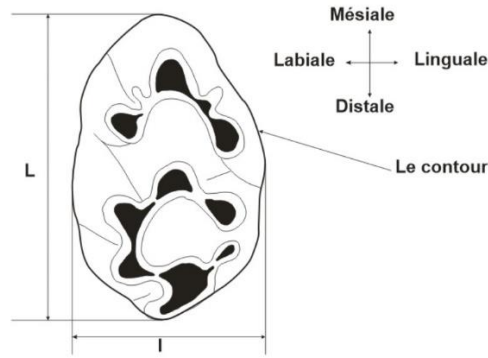


Figure 21: Les paramètres de mesures sur une première molaire supérieure (M1) des muridae.

Les ossements et les molaires les mieux conservés sont photographiés à l'aide d'une caméra digitale à l'IPHES et au MNHN à Paris, et au microscope électronique à balayage (MEB) du laboratoire de microscopie de l'ETAP.

Dans notre identification et classification des Microvertébrés, nous avons utilisé et adopté les nomenclatures de **Michaux (1991)** pour les Murinae; de **Tong (1989)** pour les Gerbillinae; de **Poitevin (1984)** et **Reumer (1984)** pour les Soricidae; de **Cheddadi (1986)** pour les Gliridae; de **Bailon (1991, 1999)** pour les amphibiens et de **Szindlar (1984)** et **Schleich *et al.* (1996)** pour les reptiles.

a. Les micromammifères

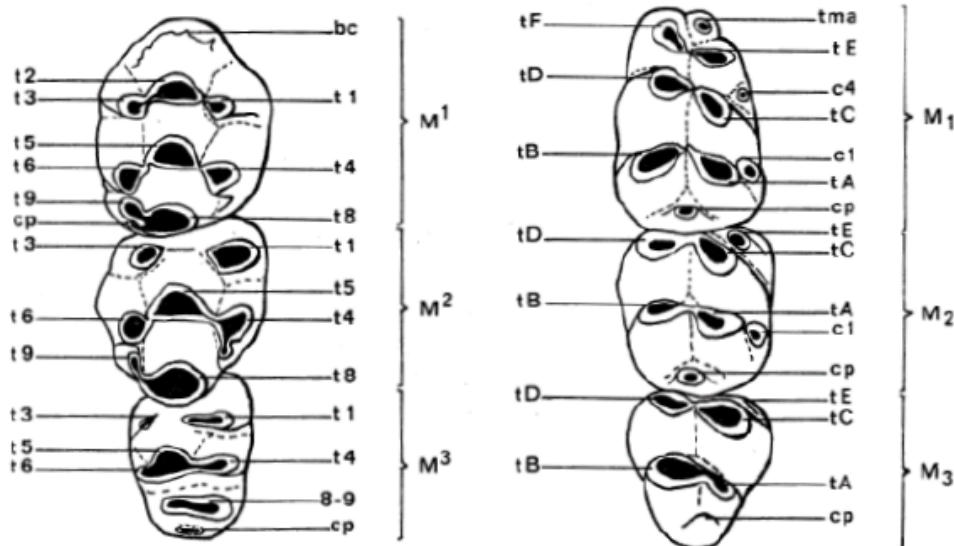


Figure 22: Nomenclature dentaire des Murinae. Vue occlusale. D'après Michaux (1971) in Sabatier (1979).

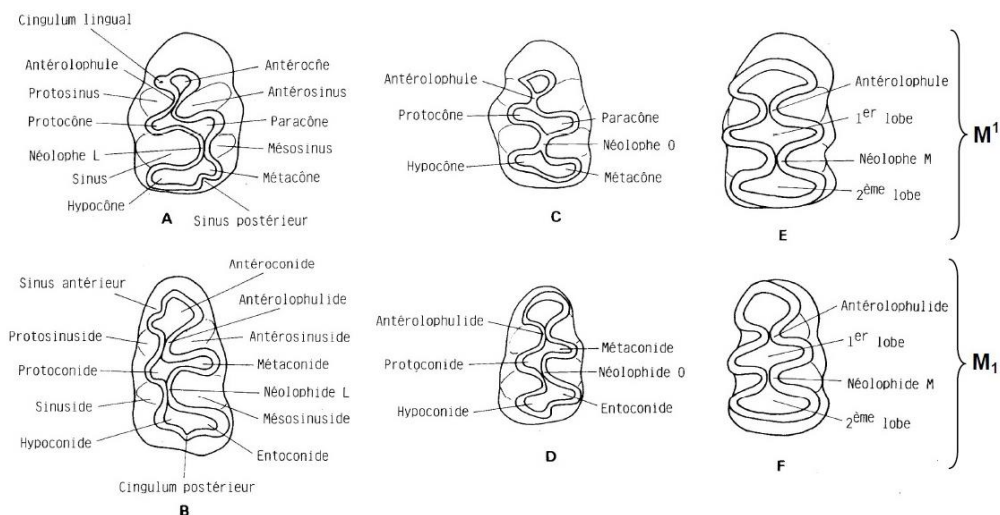


Figure 23: Nomenclature dentaire des Gerbillinae. Vue occlusale (d'après Tong 1989).

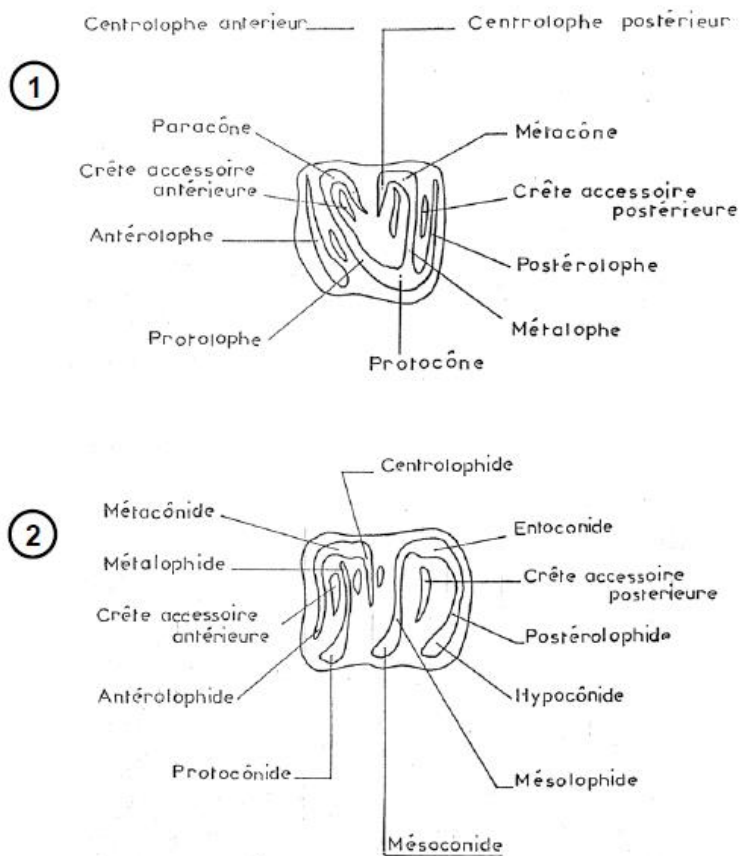


Figure 24: Nomenclature dentaire des Gliridae. Vue occlusale. 1= molaire supérieure ; 2= molaire inférieure (d'après Cheddadi, 1986).

b. Les Amphibiens

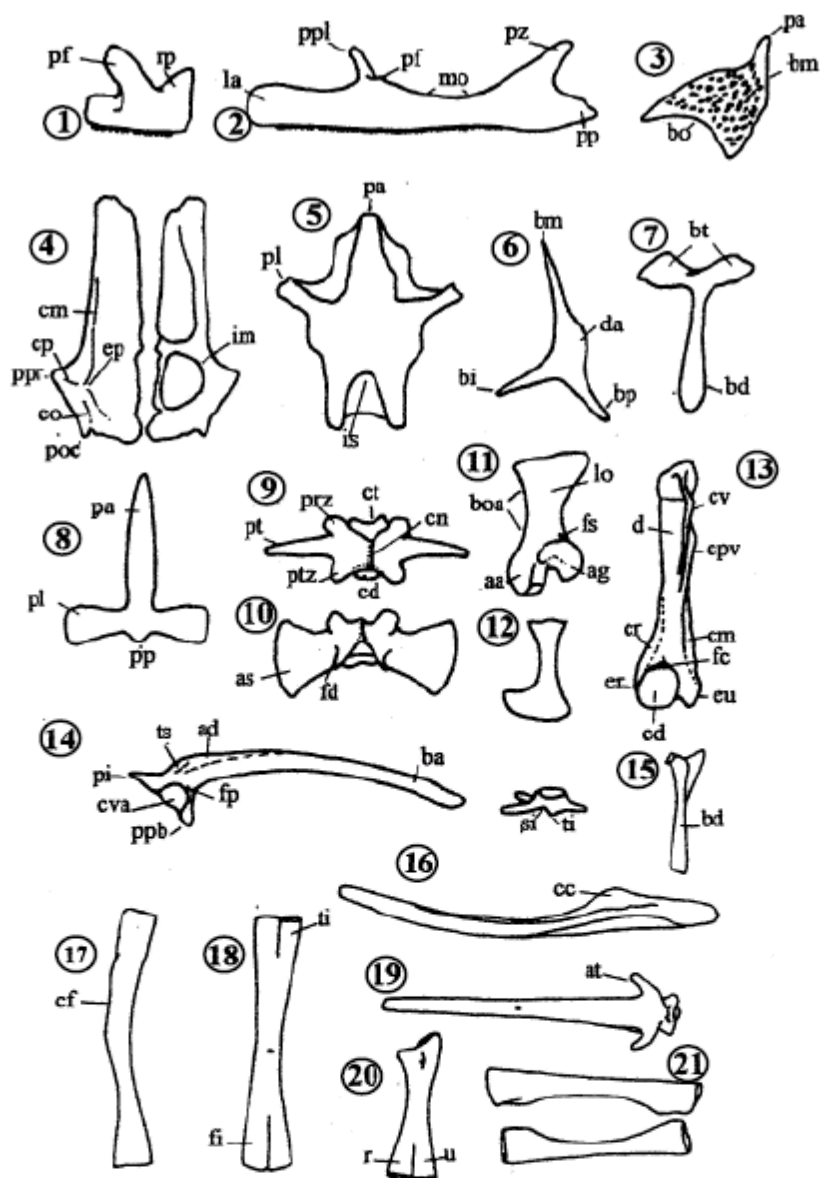


Figure 25: Nomenclature ostéologique des principaux éléments squelettiques d'Anoures (d'après Bailon 1999). 1 : Prémaxillaire : pf : processus frontal ; rp : région palatine. 2 : Maxillaire : la=lame antérieure ; mo=marge orbitaire ; pf=processus frontal ; pp=processus postérieur ; ppl=processus palatin ; pz=processus zygomatique. 3 : Nasal : bm= bord médial ; bo=bord orbitaire ; pa= processus antérieur. 4 : Frontopariétal : co crête occipitale ; cm= crête médiale ; cp= crête pariétale ; ep= éminence pariétale ; im= impression endocranienne de la région mésencéphalique ; poc= processus occipital ; ppr= processus prootique. 5 : Sphénethmoïde : is= incisura semielliptica ; pa= processus antérieur ; pl= processus latéral. 6 : Ptérygoïde : bi= branche interne ; bm= branche maxillaire ; bp= branche postérieure ; da= dilatation alaire. 7 : Squamosal : bd= branche descendante ; bt = branche transverse. 8 : Parasphénoïde : pa = processus antérieur ; pl = processus latéral ; pp = processus postérieur. 9 : vertèbre dorsale : cd = condyle ; cn = crête neurale ; ct = cotyle ; prz = prézygapophyse ; pt = processus transverse ; ptz = postzygapophyse. 10 : Vertèbre sacrée : as = apophyse sacrée ; fd= fosse dorsale. 11 : Scapula : aa= apophyse acromiale ; ag= apophyse glénoïde ; boa= bord antérieur ; fs= fosse supraglénoidale ; lo= lame osseuse. 12 : Coracoïde. 13 : Humérus : cd= condyle ; cm= crête mésiale ; cpv= crête paraventrals ; cr= crête radiale ; cv= crête ventrale ; d= diaphyse ; er= épicondyle radial ; eu= épicondyle ulnaire ; fc= fosse cubitale. 14 : Ilium : ad= aile dorsale ; ba= branche antérieure ; cva=

cavité acétabulaire ; fp= fosse précétabulaire ; pi= processus ischien ; ppb= processus pubien ; si= silion interiliaque ; ti= tubercule interiliaque ; ts= tubérosité supérieure. 15 : Clavicule : bd= branche descendante. 16 : Angulaire s.l. : cc= crête coronoïde. 17 : Fémur : cf= crête fémorale. 18 : Tibio-fibula : fi= fibula et ti= tibia. 19 : Urostyle : at= apophyse transverse. 20 : Radio-ulna : r= radio et u = ulna. 21 : Os du tarse.

c. Les Reptiles

- Les Serpents

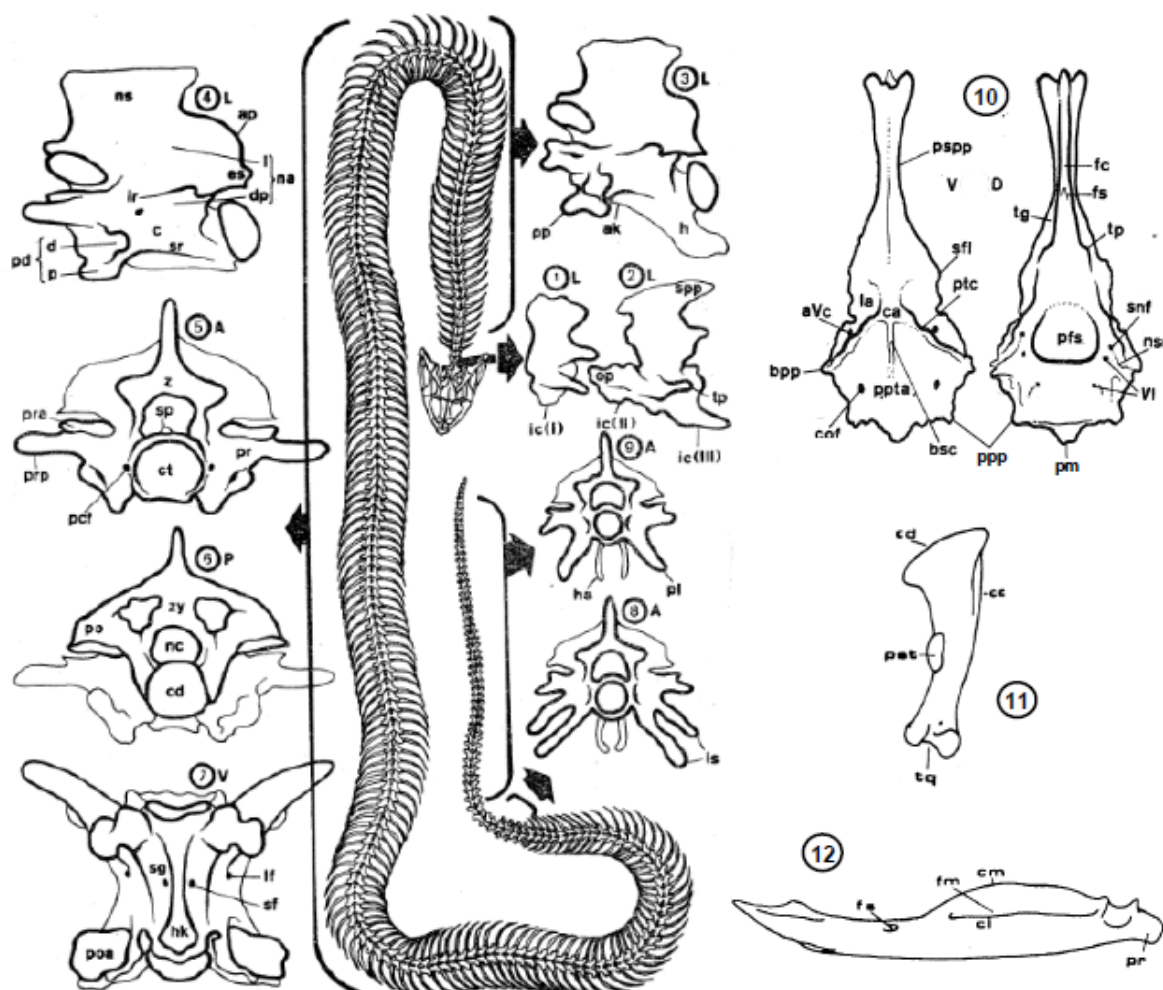


Figure 26: Nomenclature ostéologique de quelques éléments squelettiques de Serpents (d'après Bailon 1991, Szindlar 1984). 1= atlas, ic(I) = intercentrum I ; 2= axis, ic (II), Ic (III) = intercentrum II et III, op=processus odontoïde, spp=processus spinal, tp= processus transverse de l'atlas (pleurapophyse); 3= vertèbre cervicale, ak= déclinaison antérieure, h= hypapophyse, pp= processus parapophysaire ; 4-7= vertèbre troncale, vues latérale (4-L), antérieure (5-A), postérieure (6-P) et ventrale (7-V), ap= processus aliforme (ptérapophyse), c= centrum, cd= condyle, ct= cotyle, d= diapophyse, dp= partie descendante de l'arc neural, es= épine épizygapophysaire, hk= carène hémale, ir= crête inter-zygapophysaire, I=laminae (tectum), If= foramen latéral, na= arc neural, nc= canal neural, ns= épine neurale, p= parapophyse, pcf= foramen paracotyloïde, pd= paradiapophyse, po= post-zygapophyse, poa= surface articulaire post-zygapophysaire, pr= pré-zygapophyse, pra=surface

articulaire pré-zygapophysaire, prp= processus pré-zygapophysaire, sf= foramen subcentral, sg= sillon subcentral, sp=processus subneural, sr= crête subcentrale, z= zygosphène, zy= zygantrum ; 8= vertèbre cloacale, ls= lymphapophyse ; 9= vertèbre caudale, ha= hémapophyse, pl= pleurapophyse ; 10= parabasisphénoïde, vues ventrale (V) et dorsale (D), aVc=foramen vidien, bpp=processus basiptyergoïde, bsc=crête basisphénoïde, ca=aire centrale, cof=foramen commun, fc=crête frontale, fs=tubercule frontal, la= aire latérale, nsn=encoche du nerf sympathique, pfs=fosse pituitaire, pm=processus médial, ppp=processus pariéto-prootique, ppta=aire post-ptérygoïde, pspp=processus parasphénoïde, sfl=processus suborbital, snf=foramen du nerf sympathique, tg=sillon trabéculaire, tp=processus trabéculaire, VI=foramens du nerf abducens ; 11= carré, cc=crête du carré, cd=crête dorsale, pst=processus stapédial, tq=trochlea quadrati ; 12= articulaire, cl=crête latéral, cm=crête médiale, fm=fosse mandibulaire, fs=foramen supra-angulaire, pr=processus rétro-articulaire.

• Les Sauriens

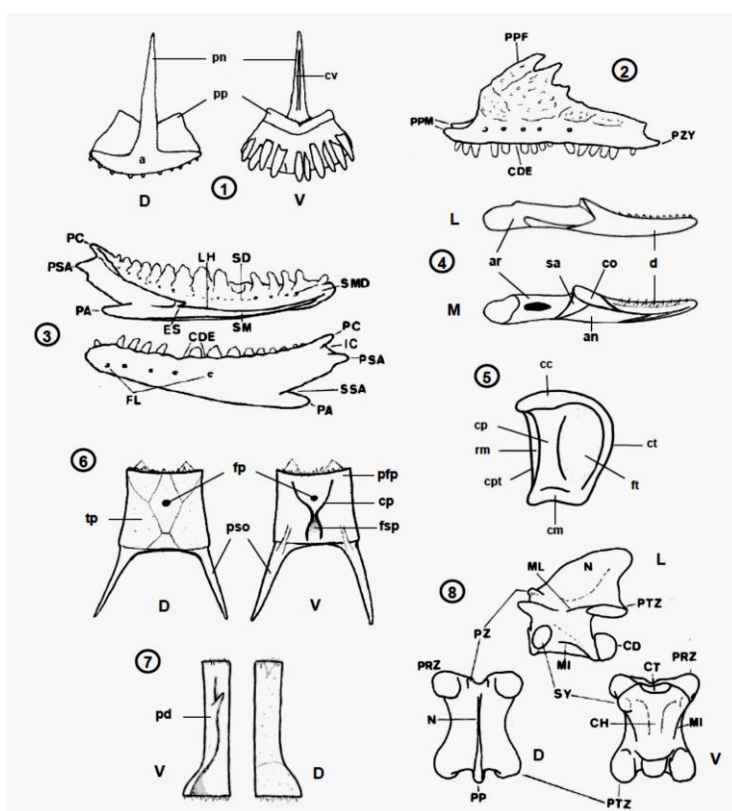


Figure 27: Nomenclature ostéologique de quelques éléments squelettiques de Sauriens.
 D'après Bailon (1991) et Schleich et al. (1996).

- Les Chéloniens

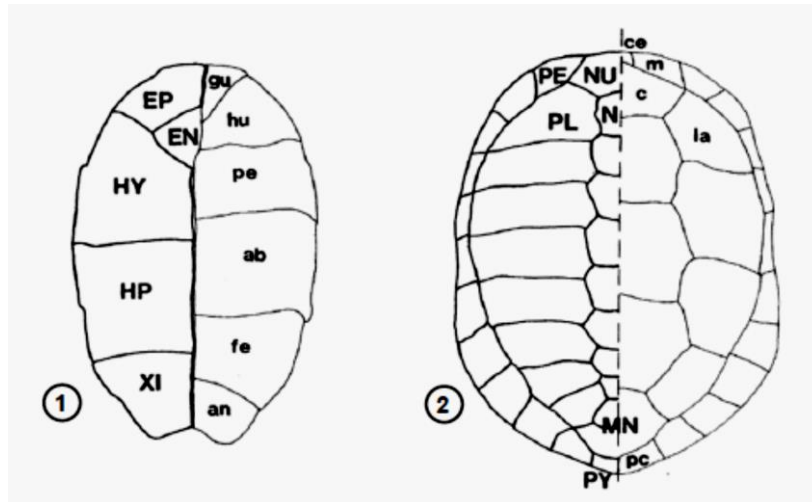


Figure 28: Nomenclature des plaques de Chéloniens, d'après Schleich et al. (1996).

Majuscules= parties osseuses, miniscules= parties cornées. 1= plastron, EP= épiplastron, EN= entoplastron, HY= hyoplastron, HP= hypoplastron, XI= xiphoplastron, gu= gulare, hu= humérale, pe= pectorale, ab= abdominale, fe= fémorale, an= anale ; 2 = carapace, NU= nuchale, N= neurale, PE= périphérique, PL= pleurale, MN= métaneurale, PY= pygale, ce=cervicale, c=centrale, la= latérale, pc= postcentrale, m= marginale.

3. Observations taphonomiques préliminaires:

Dans notre observation taphonomique préliminaire, nous nous sommes principalement basés sur les travaux de Andrews (1990), Andrews & Evans (1983), Denys (1985), Denys & Mahboubi (1992), Denys *et al.* (1987, 1992, 1996, 1997), Fernández-Jalvo (1996), Fernández-Jalvo *et al.* (1992, 1998), Pinto Llona & Andrews (1999), Sánchez *et al.* (1997), Stoetzel (2009) et Fernández-Jalvo & Andrews (2016). Afin de mieux observer et reconnaître les surfaces osseuses, nous avons utilisé la loupe binoculaire et réalisé des photos sous Microscope Electronique à Balayage.

Cependant, nous avons constaté la présence de rares travaux taphonomiques réalisés sur les micromammifères d'Afrique du Nord (Denys & Mahboubi, 1992 ; Denys *et al.*, 1987, 1996, Stoetzel (2009)), et encore moins sur l'herpétofaune (Stoetzel 2009). Ceci, peut limiter certaines de nos interprétations et conclusions.

Chapitre V : Résultats et Discussions

Résultats et Discussions

V.1. Les rongeurs

Ordre RODENTIA (Bowdich, 1821)

Sous-Ordre MYOMORPHA (Brandt, 1855)

Famille MURIDAE (Illiger, 1811)

Sous-Famille MURINAE (Illiger, 1811)

Genre *Mus* (Linné, 1758)

Espèce *Mus* aff. *spretus*

Espèce *Mus* cf. *hamidae*

Le genre *Mus* est connu en Afrique du Nord depuis le Pliocène, le matériel disponible nous a permis de distinguer deux espèces différentes de ce genre. 160 molaires récupérées possèdent les caractéristiques morphologiques évoluées qui nous ont permis de différencier les spécimens d'Afrique du Nord à partir du début du Pléistocène (*M. haouzi*) et du début du Pléistocène moyen (*M. hamidae*). Il y a ceux, qui nous permettent d'attribuer ce matériel à une forme archaïque des espèces actuelles *Mus spretus*. D'autres molaires récupérées ont des caractéristiques morphologiques similaires à *M. hamidae* du Pléistocène moyen de la Grotte Rhinocéros du Maroc (Geraads, 1994).

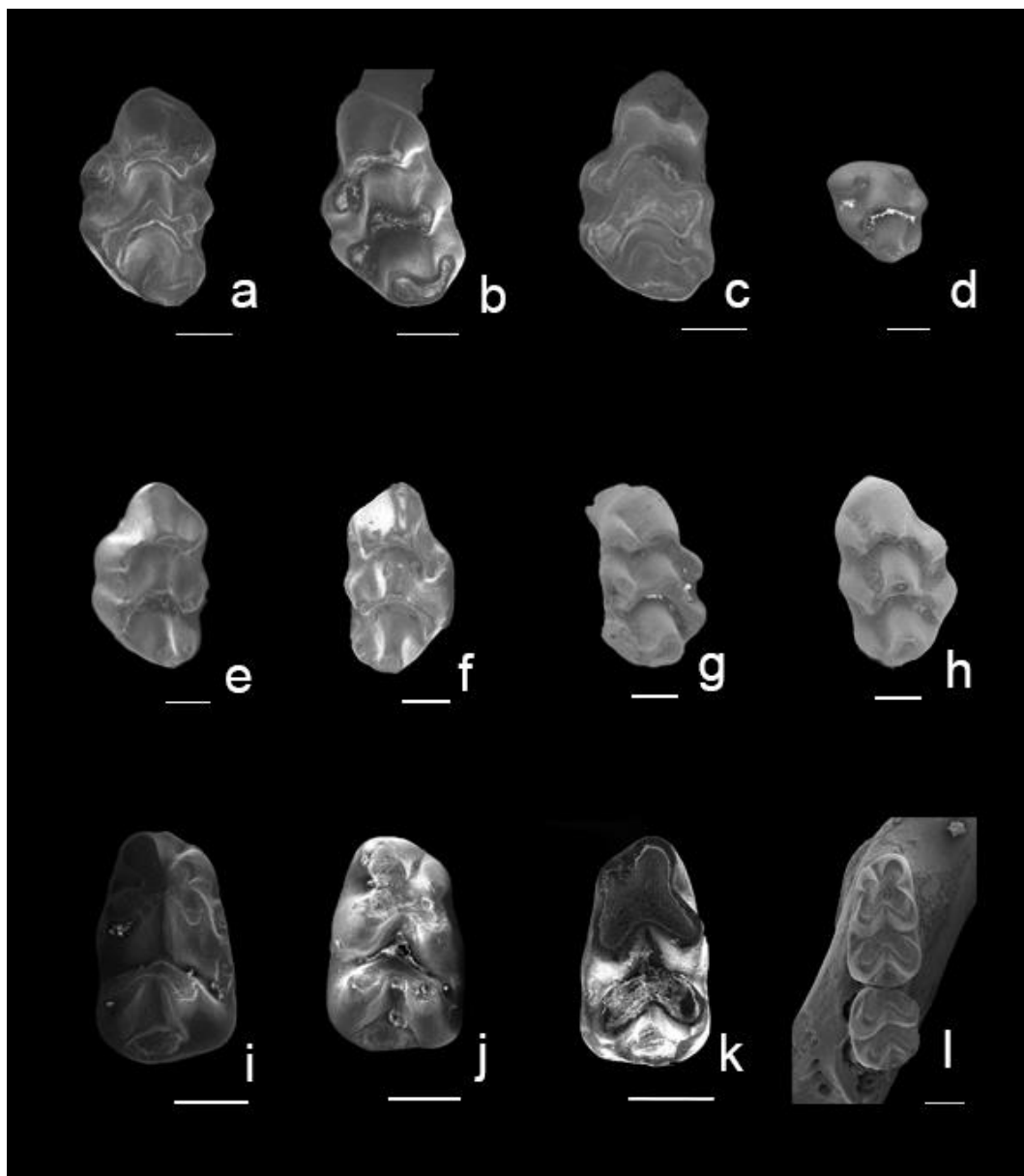


Figure 29: Exemples des Molaires de *Mus* du site d'Oued Sarrat : a,b,c,e= M1G ; d=M2G ; f,g,h=M1D ; i,j= m1D ; k=m1G ; l=m1-m2G

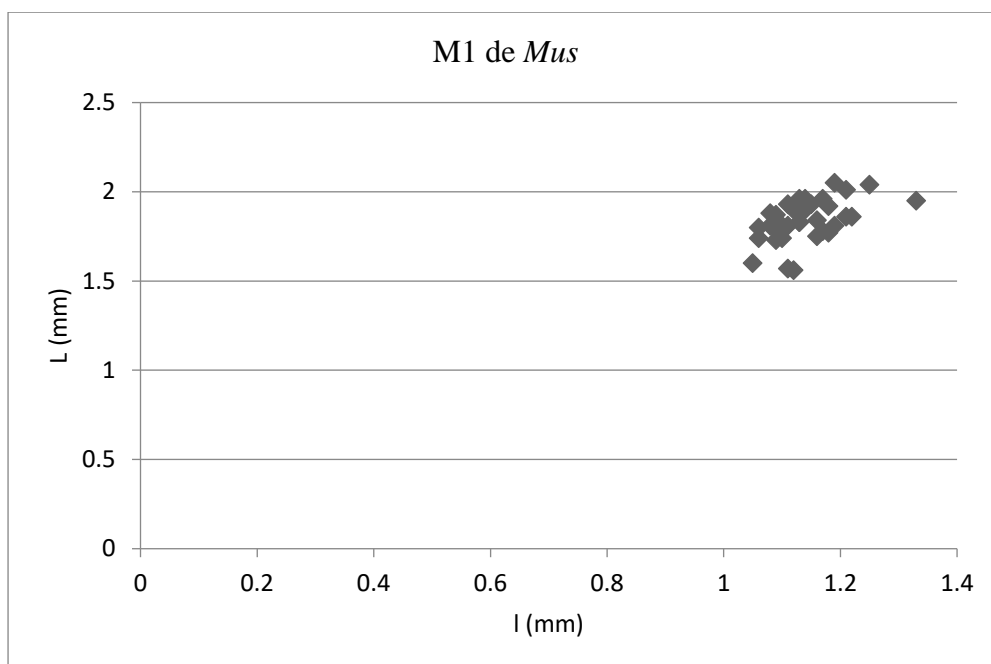


Figure 30: Graphiques bivariés (Longueur x largeur) des premières molaires supérieures de *Mus* d'Oued Sarrat.

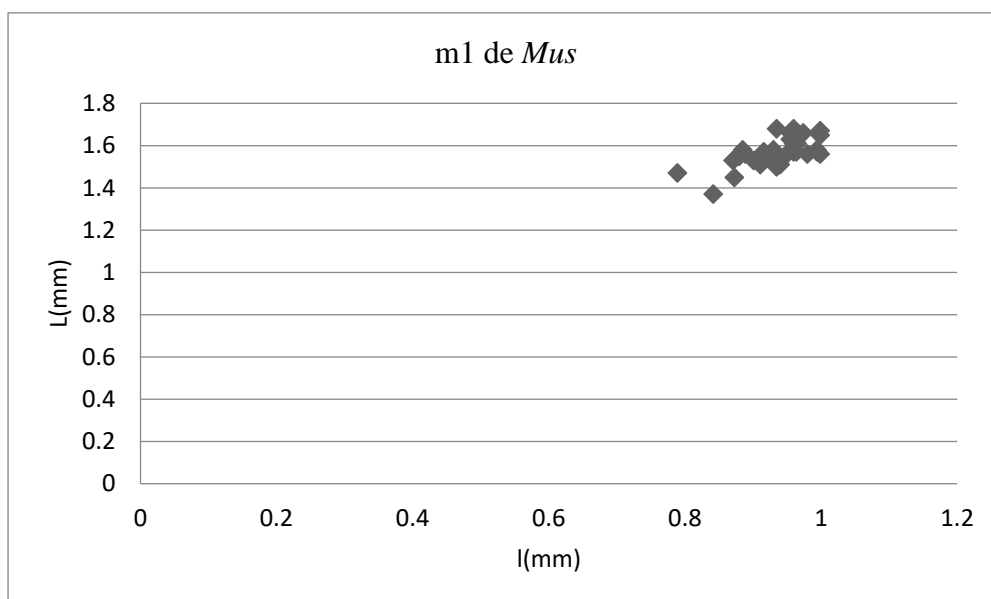


Figure 31: Graphiques bivariés (Longueur x largeur) des premières molaires inférieures de *Mus* d'Oued Sarrat.

Tableau 1: Mesures (mm) effectuées sur des molaires de *Mus* actuelles et fossiles. (Stoetzel, 2009, modifiée)

			M1 supérieure			m1 inférieure		
Espèce	Origine	Référence	N	L moy	l moy	N	L moy	l moy
<i>M. spretus</i>	Actuel-Maroc	Stoetzel 2009 –ISEM	42	1,81	1,12	4 1	1,53	0,93
<i>M. musculus</i>	Aïn Mefta(Pl. moy. Algérie)	Jaeger, 1975	15	1.98	1,18 5	1 5	1,59	0,99
<i>M. musculus</i>	Salé (Pl. moy. Maroc)	Jaeger, 1975	3	1.84	1.17	9	1.54	0.92
<i>M. musculus</i>	Irhoud Néanderthal (Pl. moy.-sup. Maroc)	Jaeger, 1975	2	1.725	1.19 5	3 7	1.585	0.97
<i>M. musculus</i>	Aïn Bahya(Pl. moy. Maroc)	Cheddadi, 1986				7	1,46	0,9
<i>M. cf spretus</i>	Doukkala(Pl. Sup. Maroc)	Darviche et al., 2006				1 7	1,58	0,94
<i>M. haouzi</i>	Irhoud Ocre (Pl. inf. Maroc)	Jaeger, 1975	24	1,7	1,1	1 7	1,49	0,9
<i>M. haouzi</i>	Abdallah (Pl. inf.-moy. Maroc)	Jaeger, 1975	13	1,74	1,10 5	1 9	1,57	0,93
<i>M. jotterandi</i>	Irhoud Derbala Virage (Pl. moy. Maroc)	Jaeger, 1975	13	1,99	1,06	1 0	1,465	0,915
<i>M. hamidae</i>	Oulad Hamida 1 (Pl. moy. Maroc)	Geraads, 1994,2002	6	1,85	1,12	1 5	1,45	0,89
<i>M. spretus</i>	EH2 Total	Stoetzel 2009	132	1,88	1,17	263	1,59	0,98
<i>Mus</i>	Oued Sarrat (Pléistocène moy)	Présent travail-Oued Sarrat	160	1,83	1,14		1,56	0,93

Genre *Paraethomys* Petter, 1968

Espèce *Paraethomys rbiae* (Jaeger 1975)

Le genre *Paraethomys* est connu en Afrique du Nord depuis la fin du Miocène (environ 8 millions d'années (Geraads, 2010). Avec *P. miocaenicus* qui évolue au Pliocène supérieur en *P. anomalus* et donne au Pléistocène la succession *P. chickeri* – *P. rbiae* – *P. tighennifae* – *P. darelbeidae* – *P. filfilae*.

Il s'agit d'une évolution progressive qui au cours des six millions d'années a permis de distinguer au moins six stades diachroniques ayant une valeur spécifique (Chaline & Mein 1979).



Figure 32: Exemples des molaires de *Paraethomys* du site d'Oued Sarrat. a,b,c= M1G; d=M1D *Paraethomys* cf. *rbiae* de l'Oued Sarrat (Fig. 32) est dimensionnellement et morphologiquement semblable aux représentants de cette espèce dans d'autres sites d'âge base du Pléistocène moyen (environ 0.7 Ma) d'Afrique du Nord, tels que Sidi Abdallah, Oued Krémia, et Djebel Ressay (Renaud, 1999 ; Raynal, 2001). À l'exception de Sidi Abdallah Jaeger, 1975 et Mein, 1992, ont proposé un âge égal à la base du Pléistocène moyen (environ 0.7Ma). Dans tous les cas les échantillons provenant de l'Oued Sarrat sont plus petits que les représentants typiques de cette espèce au cours de la fin du Pléistocène moyen (*P. ras* et *P. tighennifae*) (Geraads, 1994 ; Geraads, 1995). Étant donné, qu'au Nord de l'Afrique, la tendance évolutive vers une augmentation de la taille des molaires continue à être observée dans la lignée *Paraethomys* (Renaud, 1999), un âge supérieur à ces sites est suggéré pour le site de l'Oued Sarrat.

Tableau 2: Mésure des molaires des *Paraethomys* d'Oued Sarrat

	N	Longueur	largeur
M1	6	2,52-2,97 (2,79)	2,02-2,15 (2,1)
m1	2	2,64-2,79 (2,71)	1,64-2,02 (1,83)
M2	4	2,2-2,39 (2,31)	1,96-2,19 (2,09)
m2	2	2,02-2,21 (2,11)	1,71-2,24 (1,97)

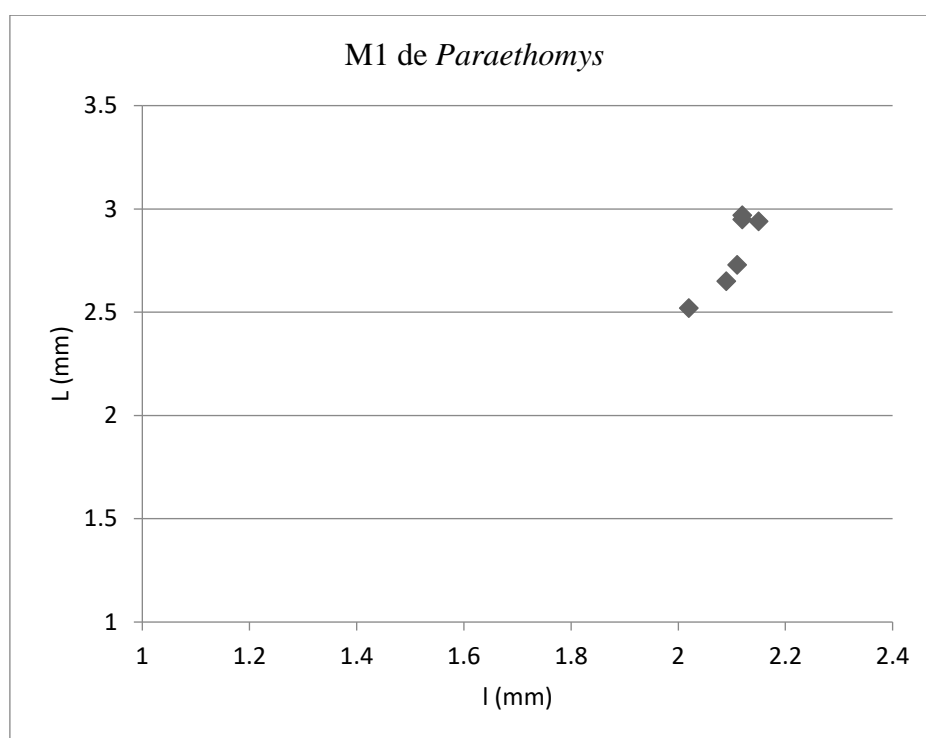


Figure 33: Graphiques bivariés (Longueur x largeur) des premières molaires supérieures de *Paraethomys* du site d'Oued Sarrat.

Genre *Arvicanthis*

Espèce *Arvicanthis* sp.

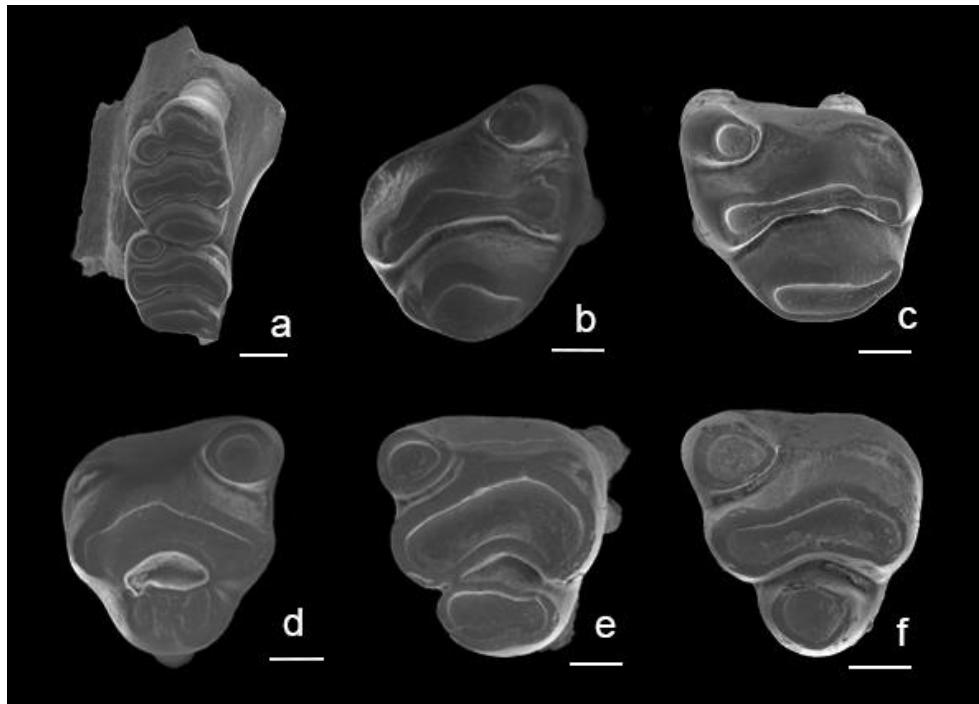


Figure 34: Exemples des Molaires d'*Arvicanthis* sp.

Genre *Lemniscomys* (Trouessart, 1881)

Espèce *Lemniscomys barbarus* (Linné, 1766)

A l'état fossile, le genre *Lemniscomys* est connu depuis le Pliocène en Afrique de l'Est (Wessellmann, 1984 in Kowalski & Rzebik-Kowalska, 1991).

Diagnose : Les molaires découvertes à Oued Sarrat (**Fig.35**) sont de même taille que celles mesurées dans d'autres sites en Afrique du Nord (**Tab. 3**) et présentent une morphologie semblable à celle de *Lemniscomys barbarus*.



Figure 35: Exemples des molaires de *Lemniscomys barbarus* d'Oued Sarrat. a= M1D; b= m1-m2-m3G

Les molaires supérieures possèdent des tubercules hauts et ronds, peu fusionnés latéralement, relativement bien alignés transversalement, et sans crête stéphanodonte. La première molaire inférieure possède un tE peu décalé et pratiquement de même taille que les 3 autres tubercules antérieurs, une liaison entre tE-tF et tC-tD peu développée, un tubercule distal (cp) de petite taille et un tubercule accessoire c1 très proche de tA, devenant confluent avec ce dernier avec l'usure.

Tableau 3: Mesures (mm) effectuées sur des molaires de *Lemniscomys* actuelles et fossiles. (Stoetzel, 2009, modifiée)

Espèce	Origine	Référence	M1 supérieure			m1 inférieure		
			N	L moy	l moy	N	L moy	l moy
<i>Lemniscomys barbarus</i>	Actuels-Maroc, Algérie	Stoetzel 2009-MNHN	19	2,43	1,74	18	2,23	1,41
<i>Lemniscomys barbarus</i>	Irhoud Néanderthal (Pl. moy.-sup. Maroc)	Jaeger, 1975	1	2,47	1,84	5	2,24	1,53

<i>Lemniscomys barbarus</i>	Irhoud Lanz 3 (Pl. moy. Maroc)	Jaeger, 1975				3	2,24	1,5
<i>Lemniscomys</i>	Maroc elharhoura2	Stoetzel 2009	3	2,42	1,74	1	2,25	1,44
<i>Lemniscomys</i>	Oued Sarrat Pléistocène moyen	Présent travail (Oued Sarrat)	1	2,65	1,83	1	2,23	1,47

Sous-Famille GERBILLINAE (Gray, 1825)

Genre *Dipodillus* (Lataste, 1881)

Sous-Genre *Petteromys* (Pavlinov, 1982)

Espèce *Dipodillus (Petteromys) campestris* (Loche, 1867)

Le genre *Gerbillus* apparaît au Maghreb au cours du Pliocène (Jebel Mellah, Tunisie, Tong 1989 ; Ahl al Oughlam, Maroc, Geraads 1995). L'espèce *Dipodillus (Gerbillus) campestris* est connue à l'état fossile dès le Pléistocène inférieur (Jebel Ressay, Tunisie, Mein & Pickford 1992 ; Carrière Thomas 1, Maroc, Tong 1989).

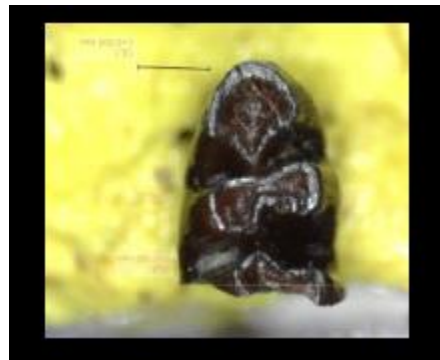


Figure 36: *Dipodillus campestris* de l'Oued Sarrat . m1G (fragmentée)

Genre *Meriones* (Illiger, 1811)

Sous-Genre *Pallasiomys* (Heptner, 1933)

Espèce *Meriones (Pallasiomys) shawii* (Duvernoy, 1842)

Le genre *Meriones* est apparu au Nord de l'Afrique dès le début du Pléistocène moyen (Tighennif, Algérie: Tong 1989; Thomas 1, Maroc: Tong 1989). 7 molaires ont été récupérées dans le site de l'Oued Sarrat, les caractéristiques morphologiques sont indicatrices du genre *Meriones* (**Fig. 37**).

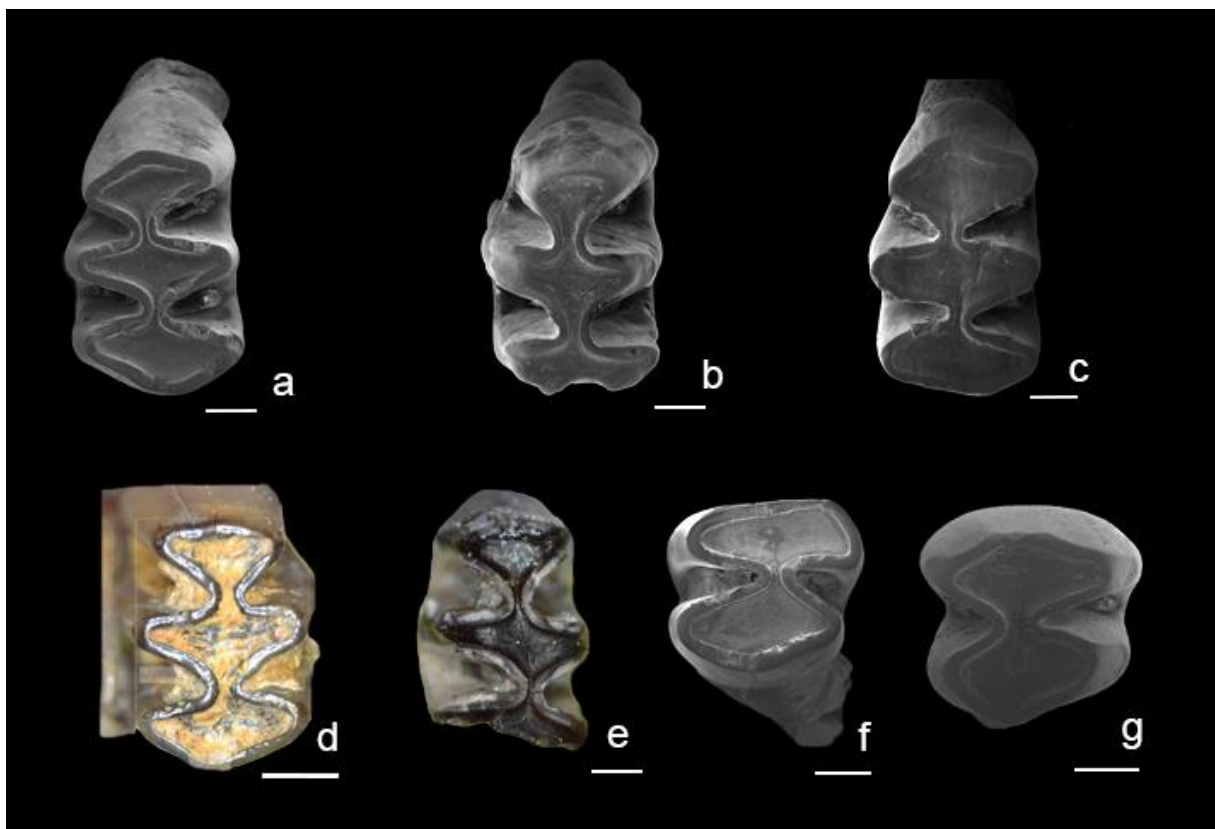


Figure 37: Exemples de molaires de *Meriones* du site de l'Oued Sarrat. a,b,c,d,e= M1D; f,g= M2

Tableau 4: Mesure des molaires des *Meriones* de l'Oued Sarrat

	N	Longueur	Largeur
M1	4	2,75-2,33 (2,46)	1,85-1,52 (1,63)
M2	2	1,67-1,46 (1,56)	1,81-1,66 (1,73)
m2	1	1,26 (1,26)	1,1 (1,1)

Tableau 5: Mesures (mm) effectuées sur des molaires de *Meriones* actuelles et fossiles (Stoetzel, 2009, modifiée)

			M1 supérieure			m1 inférieure		
Espèce	Origine	Référence	N	L moy	l moy	N	L moy	l moy
<i>Meriones shawii</i>	Actuelles-Maroc	Stoetzel 2009-MNHN	34	3,62	2,07	35	2,83	1,87
<i>M. shawii</i>	Actuelles	Tong, 1989	?	3,45	2,24	?	2,79	2,22
<i>M. grandis</i>	Actuelles-Maroc	Stoetzel 2009-MNHN	10	3,42	1,99	9	2,71	1,85
<i>M. crassus</i>	Actuelles-Maroc, Algérie, Tunisie	Stoetzel 2009-MNHN	12	3,14	1,79	11	2,51	1,67
<i>M. libycus</i>	Actuelles-Maroc, Algérie, Tunisie	Stoetzel 2009-MNHN	11	3,15	1,88	11	2,58	1,74
<i>M. shawii</i>	Irhoud Néanderthal (Pl. moy.-sup. Maroc)	Tong, 1989	6	3,3	2,08	17	2,82	1,87
<i>M. shawii</i>	Aïn Mefta (Pl. moy. Algérie)	Tong, 1989	3	3,29	2,14	15	3,06	2
<i>M. shawii</i>	Fossiles-El Harhoura 1 (Pl. sup. Maroc)	Aouraghe & Abbassi, 2002	5	2,99	2,07	3	3,04	1,96

<i>M. maximus</i>	Thomas3= Oulad Hamidal (Pl. moy. Maroc)	Tong, 1989	3	4,11	2,67	6	3,78	2,48
<i>M. maghrebianus</i>	Irhoud Derbala Virage(Pl. moy. Maroc)	Tong, 1989	110	3,46	2,18	103	3,17	1,97
<i>M. maghrebianus</i>	El Melah (Pl. inf. Algérie)	Tong, 1989	3	3,12	1,94	1	2,71	1,75
<i>M. maghrebianus</i>	Thomas 1 (Pl. moy Maroc).	Tong, 1989	7	3,21	1,99	6	3	1,89
<i>M. maghrebianus</i>	Salé (Pl. moy. Maroc)	Tong, 1989	3	3,28	2,07	3	3,04	1,83
<i>M. maghrebianus</i>	Sidi Abderrahmane 2(Pl. moy.-sup. Maroc)	Tong, 1989	56	3,65	2,27	34	3,31	2,05
<i>M. maghrebianus</i>	Sidi Abderrahmane 1(Pl. moy.-sup. Maroc)	Tong, 1989	14	3,56	2,29	11	3,28	2,06
<i>Meriones</i>	El Harhoura2	Stoetzel 2009	551	3,39	2,02	507	3	1,86
<i>Meriones</i>	Oued Sarrat Pléistocène moyen	Présent travail (Oued Sarrat)	4	2,46	1,63	-	-	-

D'après le Tableau 5 on remarque que les dimensions des M1 des *Meriones* récoltées dans le site de l'Oued Sarrat sont nettement plus petites que celles récupérées dans d'autres sites de l'Afrique du Nord.

Sous-Ordre SCIUROMORPHA (Brandt, 1855)

Famille GLIRIDAE (Muirhead, 1819)

Sous-Famille LEITHIINAE (Lydekker, 1895)

Genre *Eliomys* (Wagner, 1840)

Espèce *Eliomys* sp.

Le genre *Eliomys* est connu en Afrique du Nord depuis le Miocène, alors qu'en Tunisie, celles de formes proches des espèces actuelles n'apparaissent qu'au pléistocène moyen (Djebel Ressas 2 et 7, Mein & Pickford, 1992). Le record d'*Eliomy* (de forme proche que celle des espèces actuelles) de l'Oued Sarrat est le plus ancien reste de ce taxon au Nord d'Afrique. Dans le site de l'Oued Sarrat nous avons identifié une seule molaire isolée et bien conservée montrant toutes les caractéristiques du genre *Eliomys*.

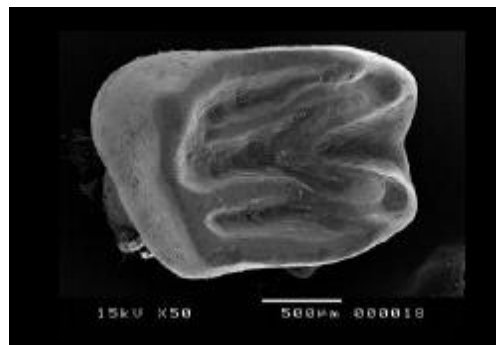


Figure 38: M2 supérieure droite d'*Eliomys* sp.

Tableau 6: Mesure du molaire d'*Eliomys* d'Oued Sarrat

	N	Longueur	largeur
M2	1	1,34	1,69

Family Nesomyidae (Major, 1897)

Dendromurinae (Allen, 1939)

Dendromus (Smith, 1829)

Espèce *Dendromus* sp.



Figure 39 : m1 inférieure droite d'un *Dendromus* sp.

Une seule molaire inférieure droite (m1d) a été récolté, en bon état de conservation, les dimensions de cette molaire sont : L=1,45 mm et l =0,84 mm.

La présence d'une espèce appartenant à la famille de Dendromurinae est la première mention dans tous les sites au Nord d'Afrique, cette espèce est d'affinité tropicale.

V.2. Les amphibiens

Il existe 7 espèces actuelles d'amphibiens en Tunisie composé par un seul Urodèle (*Pleurodeles nebulosus*) et six Anoures (*Hyla meridionalis*, *Bufo bufo*, *Bufo (Amietophrynus) mauritanicus*, *Bufo boulengeri*, *Discoglossus pictus* et *Pelophylax saharicus*) (Ben Hassine 2012). Par contre à l'état fossile, les amphibiens en Tunisie sont mal connus, et la première étude préliminaire des amphibiens est celle du site d'Oued Sarrat (Martinez-Navarro et al., 2014 et Annexes III-Article1).

Dans notre travail un total de 313 restes fossiles des amphibiens (**Tab. 7**) avec un NMI égal a 37 appartenant aux espèces suivantes (*Discoglossus pictus*, *Bufo mauritanicus* et *Pelophylax saharicus*).

Tableau 7: La liste du matériels étudiés attribués au amphibiens dans le site d'Oued Sarrat :

	<i>Discoglossus pictus</i>	<i>Bufo mauritanicus</i>	<i>Pelophylax saharicus</i>	Indet.	Tot.
Humerus	28	1	8	12	49
Ilion	41	5	6	16	68
Urostyle	12	3	6	1	22
Radio ulna	21	3	6	2	32
Sacral vertebra	7	2	0	3	12
Trunk vertebra	1	3	1	6	11
Tibio fibula	21	6	8	0	35
Atlas	1	0	0	0	1
Ph+tarse	0	0	0	78	78
Maxilaire	0	0	0	1	1
Escapula	0	0	0	2	2
Femur	0	0	0	2	2
NR total	132	23	35	123	313
NMI	22	3	6	10	37

Classe: Amphibia Gray, 1825
Ordre : Anura Fischer von Waldheim, 1813
Famille : Alytidae Fitzinger, 1843
Genre : *Discoglossus* Otth, 1837
Espèce : *Discoglossus pictus* (grenouille peinte) Otth, 1837

Matériels examinés:

15 humérus droits et 13 gauches,
22 Ilions gauches et 19 droits,
13 radio-ulna gauches et 8 droites,
12 urostyles,
7 sacral vertebrae,
1 atlas,
1 trunk vertebra

Matériels de comparaison :

Discoglossus pictus (A.Tegrier) L.c=58 (MNHN)

Discoglossus pictus 1909-233 s2 M1-t6 (MNHN)

Répartition et habitat

La grenouille peinte est dispersée dans les pays du Maghreb et dans les îles de la Sicile, Malte et Gozo. L'espèce est assez fréquente dans le Nord et le Centre de la Tunisie où elle se reproduit dans pratiquement tous les types d'habitat: les marais temporaires, les marécages temporaires, les mares permanentes et temporaires, les champs inondés, les fossés, les mares, les ruisseaux temporaires et permanents et les flaques se trouvant dans les lits de ruisseaux secs. En Tunisie, la moyenne annuelle des précipitations varie de 100 (zones désertiques) à 1500 mm (zones tempérées) et la température moyenne annuelle varie de 16 à 21 ° C (Sicilia et al., (2009). En Afrique du Nord, *D. pictus* a été mentionnée dès le Pléistocène moyen (environ 600 Milliers d'années) dans le site d'Oulad Hamida 1 (Maroc) (Hossini, 2001).

Description ostéologique

L'**humérus** possède une diaphyse relativement droite en vue ventrale, une crête paraventrals et radiale (modérément développée) et un condyle sphérique décalé légèrement vers l'extérieur par rapport à l'axe diaphysaire.

La diaphyse est droite en vue ventrale (Bailon 1999), présence d'une crête paraventrals et d'un condyle déplacé vers l'extérieur par rapport à l'axe diaphysaire (Bailon 1999), présence d'une crête radiale modérément développée et avec un bord incurvé ventralement (Bailon 1999).

Le radio-ulna présente une partie médiane relativement gracile (étranglement), accentuant l'aspect évasé des parties distales. En vue antérieure/frontale, les deux parties distales sont alignées l'une derrière l'autre. Et sont relativement petits par rapport à ceux de *Bufo* et *Rana*,

Les tibio-fibula de *Discoglossus* sont particulièrement allongés et minces au niveau de la portion centrale et ils présentent un axe longitudinal légèrement incurvé.

Ilion: L'ilion est un élément très caractéristique, il possède une aile dorsale relativement basse, incurvée médialement et prolongée postérieurement par la tubérosité supérieure.

Le processus ischien conservé est long et le bord interne de la surface de jonction avec l'ischien et le pubis porte un tubercule et un sillon interiliaque. En dessous de la tubérosité supérieure, la fosse supracétabulaire (= fossula tuberis superioris, sensu Rocek, 1994) est bien développée et présente parfois des petits foramens dans sa partie concave antérieure. L'angle entre le bord antérieur de la tubérosité supérieure et le bord dorsal du processus ischien est relativement ouvert (environ 120°). Les ilions présentent sur la branche antérieure une crête dorsale relativement basse, incurvée médialement et prolongée postérieurement par une tubérosité supérieure faiblement globuleuse et allongée antéro-postérieurement. La *pars ascendens* (processus ischien) constitue une pointe postérodorsale longue et la *pars descendens* (processus pubien) est réduite et peu visible en vue latérale. Une fosse supra-acétabulaire peu profonde est présente. En vue postérieure, la surface de la jonction ischiopubienne possède un tubercule et un sillon inter-iliaque bien développés.

Les urostyles présentent des expansions osseuses de chaque côté de la région antérieure (relativement longues et cylindriques), deux cotyles antérieures et une crête neurale très réduite présentant un ilion en vue dorsale. Et les cotyles d'articulations sont légèrement aplati dorso-ventralement

Les caractéristiques assez nettes et la petite taille du matériel récolté d'Oued Sarrat nous permettent de l'attribuer avec prudence à l'espèce *discoglossus pictus*.

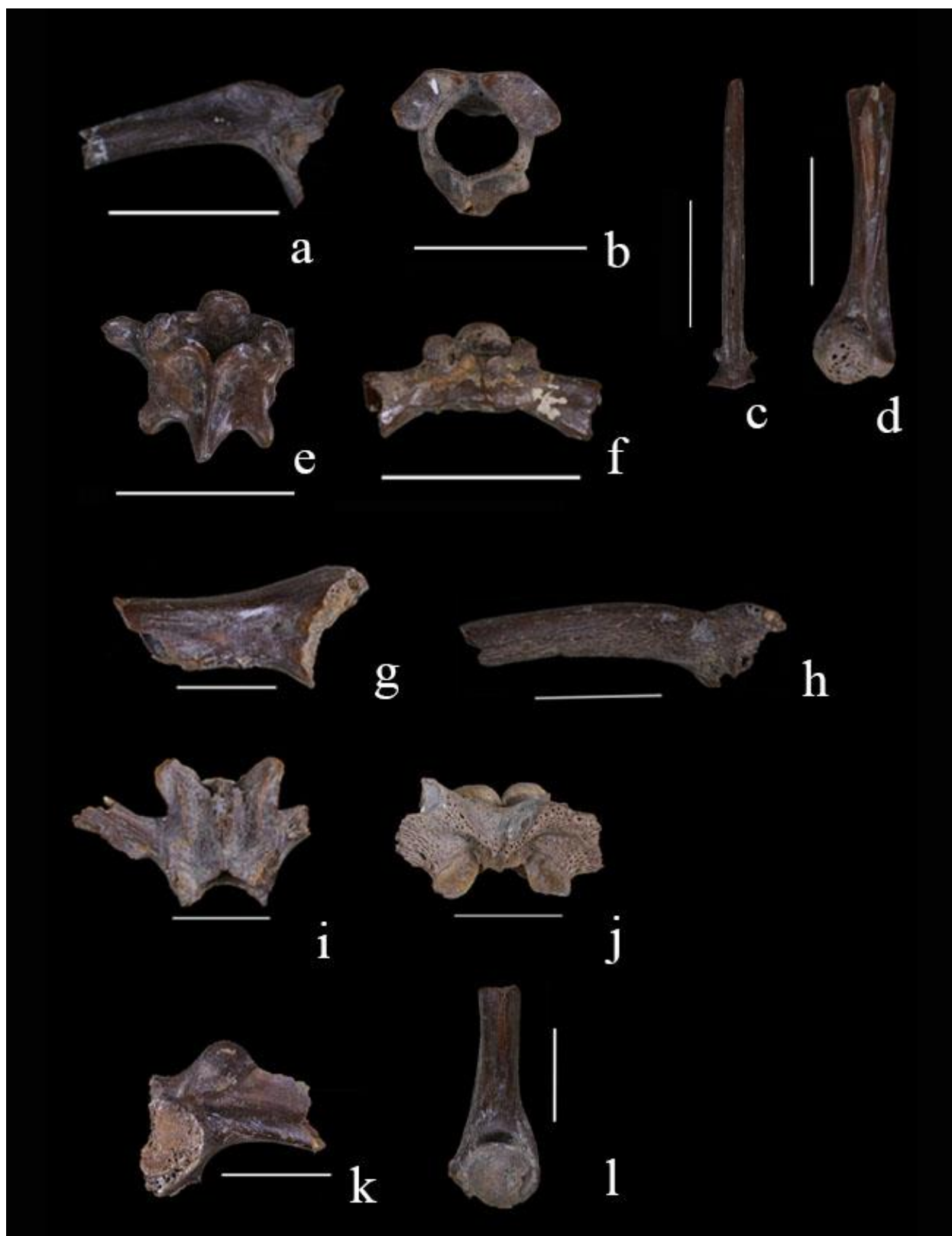


Figure 40 : Les amphibiens d'Oued Sarrat ; a-f *Discoglossus pictus* ; g-j *Bufo* ; k, l *Pelophulax saharicus*

Famille Bufonidae Gray, 1825

Genre *Bufo* Laurenti, 1768

Espèce : *Bufo mauritanicus* Schlegel, 1841

Matériels étudiés :

- 1 humérus droit,
- 2 ilions droits et 3 gauches,
- 2 radio-ulna droits et 1 gauche,
- 3 urostyles,
- 3 vertèbres dorsales,
- 2 vertèbres sacrées

Matériels de comparaison :

Bufo mauritanicus A. 6035 S2-M1-t9 (MNHN)

Bufo mauritanicus 1907-385 S2-M1-t9 (MNHN)

Bufo bufo 1871-179 S2-M1-t9

Bufo mauritanicus BHC-BuMa6 (IPHES)

Bufo bufo s. l. BHC-BuBus13 (IPHES)

-Ilion : absence d'une crête dorsale

-Présence d'une tubérosité supérieure bilobée

-Présence d'une fosse préacétabulaire (Bailon et Aouraghe 2002)

-Vertèbre sacrée : présence de deux condyles arrondis (en vue post) bien individualisé et séparés l'un de l'autre

-Présence de cotyle (allongée, aplatie dorso-ventralement)

-Les apophyses sacrées sont aplaties

-Présence d'une fosse dorsale dans la zone d'intersection des apophyses sacrées avec l'arc neural

-Vertèbre dorsale : les apophyses sont aplaties dorso-ventralement

-Urostyle : l'urostyle est dépourvu d'apophyses transverses

-Présence de deux cotyles d'articulations avec la vertèbre sacrée (Bailon 1999)

-Crête neurale modérément développée et cotyles d'articulations avec la vertèbre sacrée légèrement étirées transversalement (Bailon 1999)

Ces caractères, sont typique du genre *Bufo*, et les comparaisons de ces éléments provenant d'Oued Sarrat avec des éléments de *Bufo mauritanicus* actuelle récolté près du site OS et avec des éléments des *B. mauritanicus* actuelle du Maroc (collection MNHN) et des éléments de *B. bufo* (MNHN) nous a permis l'identification et l'attribuer a *B. mauritanicus*.

Chez *B. mauritanicus*, les vertèbres troncales possèdent des apophyses transverses aplaties dorsoventralement et sont généralement munies de petites expansions osseuses lamellaires sur leur bord antérieur. Chez *B. bufo*, elles sont cylindriques et ne possèdent pas d'expansions lamellaires. La vertèbre sacrée possède une fosse dorsale dans la zone d'insertion des apophyses sacrées avec l'arc neural chez *B. mauritanicus*, fosse qui n'existe pas chez *B. bufo*. L'urostyle a de faibles expansions osseuses longitudinales chez *B. mauritanicus*, tandis que chez *B. bufo* celles-ci sont le plus souvent absentes. Le fémur est plus svelte chez *B. mauritanicus* que chez *B. bufo* et, chez le premier, la crête fémorale est plus longue, unique et à bord généralement tranchant, tandis que chez *B. bufo*, elle est plus courte et divisée, constituant une surface triangulaire.

Chez *B. mauritanicus*, les ilions se caractérisent par la présence d'une fosse préacétabulaire, d'une tubérosité dorsale bilobée ou trilobée et d'une limite antérieure de la pars descendens presque verticale ; ainsi, l'angle formé par cette structure et la branche iliaque est très proche de 90°. (Bailon et Aouraghe 2002)

Family RANIDAE Rafi nesque, 1814

Genre *Pelophylax* Fitzinger, 1843

Espèce *Pelophylax saharicus* (Boulenger in Hartert, 1913)

Matériels étudiés :

- 3 humérus droits et 5 gauches,
- 4 ilions droits et 2 gauches,
- 6 urostyles,
- 2 radio-ulna droits et 4 gauches,
- 1 vertèbre dorsale.

Matériels de comparaison:

Rana (Pelophylax) kl.esculenta 19X 2002,num. 1 (MNHN)

Rana kl.esculenta 19X 2002,num. 8 (MNHN)

Rana sahárica (Nord d'Afrique) (MNHN)

Rana viridis 1888-104 S2-M1-t14 (MNHN)

Rana esculenta 1896-399 num.87 S2-M1-t14 (MNHN)

Le genre *Pelophylax* regroupe toutes les grenouilles vertes et se caractérise par une distribution géographique assez large en Europe et en Afrique du Nord.

En Tunisie ce genre est représenté par l'espèce *Pelophylax saharicus* (grenouille verte d'Afrique du Nord). Actuellement, cette espèce est la plus abondante en Tunisie (Amor et al. 2013) et qui se trouve dans tous les étages bioclimatiques.

Iliion: l'extrémité distale de l'aile dorsale présente une tubérosité supérieure bien différenciée et globuleuse, caractéristique du groupe des grenouilles vertes. Présence d'une crête dorsale très développée et absence de sillon interiliaque

L'angle entre le bord antérieur de la tubérosité supérieure et le bord dorsal du processus ishien est très légèrement supérieur à 90°, alors que chez *Discoglossus*, il est plus ouvert (environ 120°) (Blain, 2009).

Humérus: la diaphyse des humérus est robuste, droite et les humérus des individus mâles portent une crête mésiale courte et transversale: caractéristique des grenouilles vertes (Blain, 2009). La condyle est sphérique et situé dans le prolongement de l'axe diaphysaire

Urostyles :

-présence d'une crête dorsale haute et longue

-Arc neural étroit

-Cotyles articulaire circulaires

V.3. Les reptiles

Actuellement en Tunisie il existe 64 espèces de reptiles appartenant à 44 genres et 16 familles. A l'état fossiles peu des travaux sur les reptiles du plio-pléistocènes continentale en Tunisie, cela a rendu difficile la détermination spécifique du matériel récolté. La première étude préliminaire de reptiles quaternaires est celle du site d'Oued Sarrat (Martínez-Navarro et al., 2014, Annexes III-Article1)

Famille des Natricidae Bonaparte, 1840

Genre *Natrix* Laurenti, 1768

Espèce *Natrix maura* (Linnaeus, 1758)

Matériels de comparaison:

Natrix maura (Gr. Esp., MNHN)

Natrix maura (BHC- IPHES)

Malpolon monspessulanus 1928-232, S3-M8-368 (MNHN)

Espèce *Natrix natrix* (Linnaeus, 1758)

Matériels de comparaison:

Colubridae-*Natrix natrix* 2002-37 (MNHN)

Natrix natrix (BHC-IPHES)

- *Colubrine* indet.

Aux moins deux morphotypes de colubridés :

Macroprotodon sp. and *Hemorrhoids* sp. (**Fig. 41**).

Matériels de comparaison:

Hemorrhoids hippocripis (Gr-MNHN)

Macroprotodon (cucullatus) mauritanicus 3-B-Baleares-86 (MNHN)

Macroprotodon (cucullatus) mauritanicus 10-A-Baleares-86 (MNHN)

Macroprotodon cucullatus 1938-809 (MNHN)

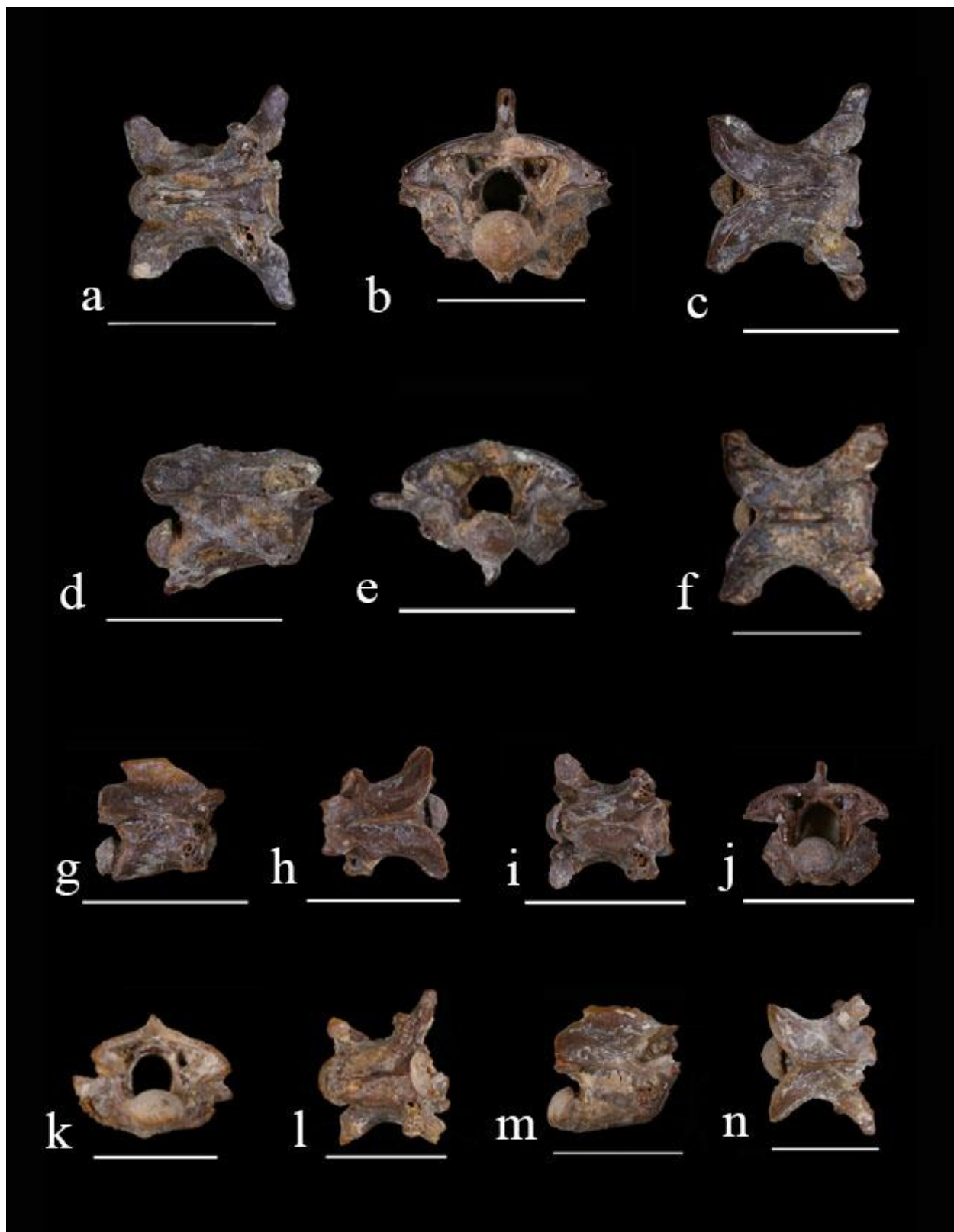


Figure 41: a-c *Natrix natrix*; d-f *N. maura*; g, h, i, j *Macroprotodon* sp.; k, l, m, n *Hemorrhhois* sp.

Viperidae : *Macrovipera* / *Daboia*

Matériels de comparaison :

Viperidae *Cerates* sp. 2002-53 (MNHN)

Vipera aspis 1967-100, S2-M2-T31 (MNHN)

Vipera lebetina obtusa (LC=91cm, LT=103,5cm; MNHN)

Actuellement cette espèce est réponde dans les régions méditerranéennes et semi-arides d'Afrique du nord, c'est une espèce caractéristique sub-humides et semi-arides du Nord d'Afrique (Geniez *et al.*, 2004).

Erycinae (Boidae)

Matériels de comparaison :

Eryx sp. num: 2005-58 (MNHN)

Affinité tropicale

Colubridae s.l. : *Coronella* sp./ *Telescopus* sp. (**Fig. 42**).

Matériels de comparaison :

Coronella gironica (Granada-27-05-91-VF3694-56, MNHN)

Telescopus fallax (Col. A-T, MNHN)

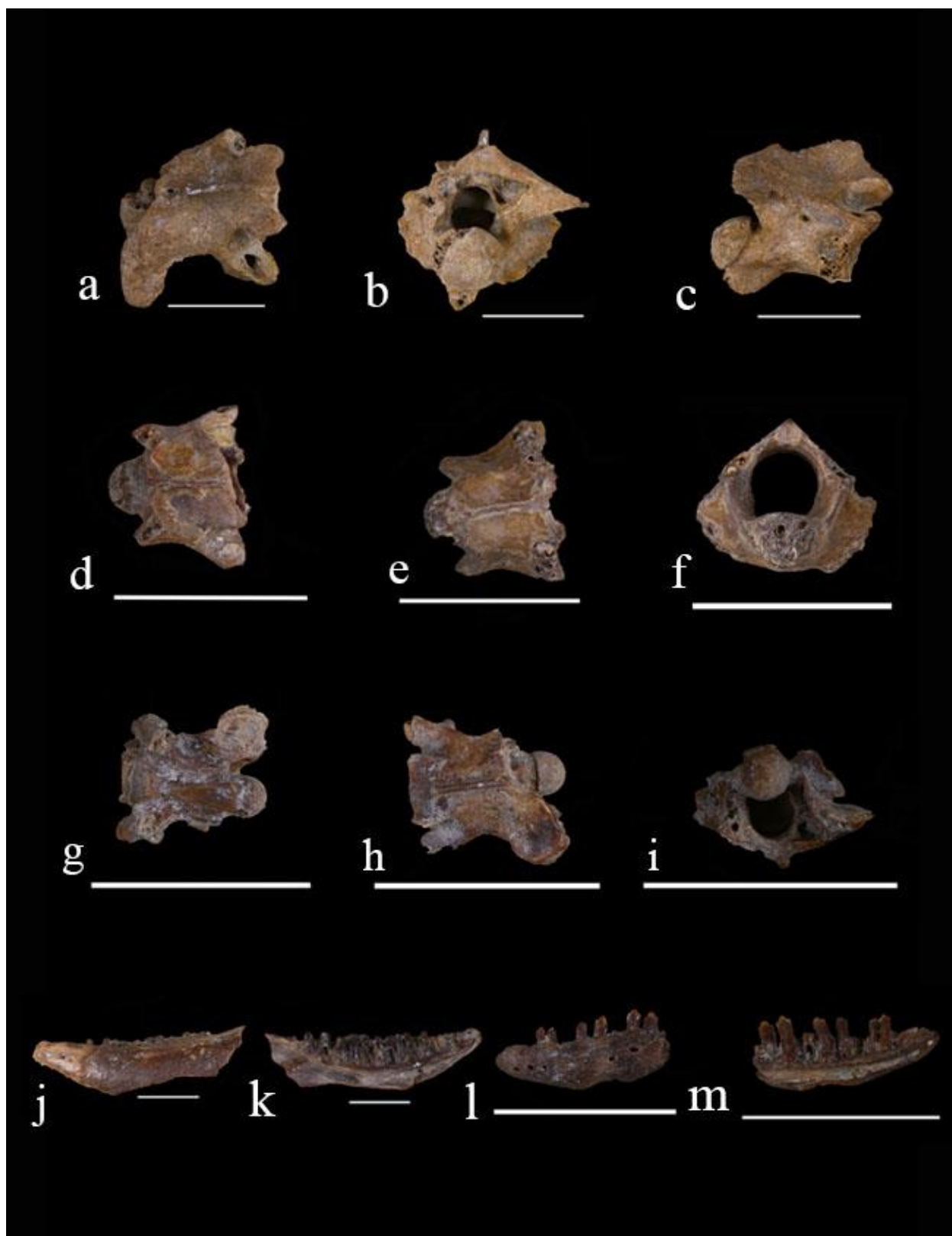


Figure 42 : a,b,c *Macrovipera* sp./*Daboia* sp.; d, e, f *Erycinae* (boidae) ; g, h,i *Coronella* sp./*Telescopus* sp. ; j,k *Eumeces* sp. dentaire gauche ; l,m Lacertidae indet. Dentaire gauche.

- *Emys sp./Mauremys leprosa* (Fig. 43).

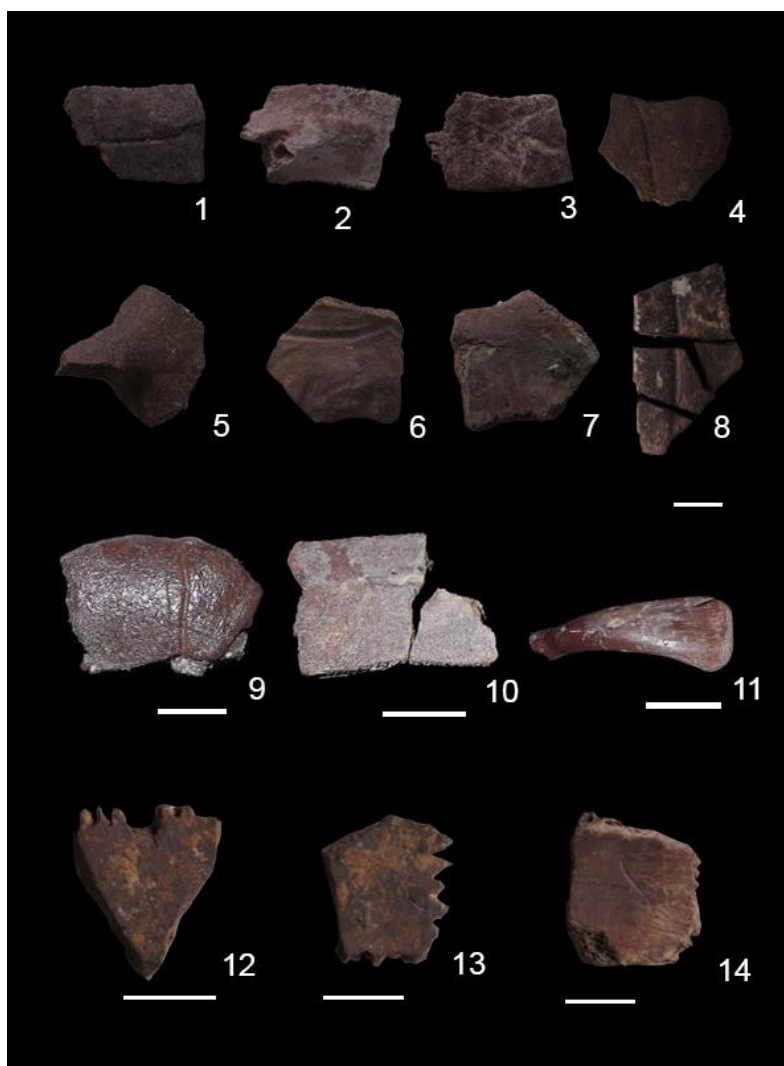


Figure 42: *Emys* ou *Mauremys* : 1-10, 12-14: Fragments des plaques. 11: fragment d'humérus. Echelle =5mm

Espèce *Eumeces* sp. (Scincidae)

Matériels de comparaison :

Eumeces algeriensis 1894-410 (MNHN)

Eumeces algeriensis 1902-490 (MNHN)

Maxillaire et dentaires : les dents sont pleurodentes, isodontes, cylindriques, monocuspides et avec des apex émoussés robustes (Fig. 44).



Figure 43: *Eumeces* sp.

- **Espèce *Lacertidae* indet** (de petite taille)

Matériels de comparaison :

Psammodromus algirus (MNHN)

Matériel étudiés :

	Mand.	Maxi.	premaxilaire	fragments de mandi/maxilaire		MNI
<i>Eumeces</i>	7	1	1	19		4
<i>Lacertidae</i> indet.	3	2	0	6		2
tot.	10	3	1	25	39	6

La famille des lacertidae se caractérise principalement par la présence de dents sur le dentaire et le maxillaire du type pleurodonte. Elles sont nombreuses, cylindriques et bi- ou tricuspides, avec une cuspide centrale bien développée. Le dentaire possède un canal de Meckel très largement ouvert en vue médiale (Blain et Bailon 2003). (Fig. 45)

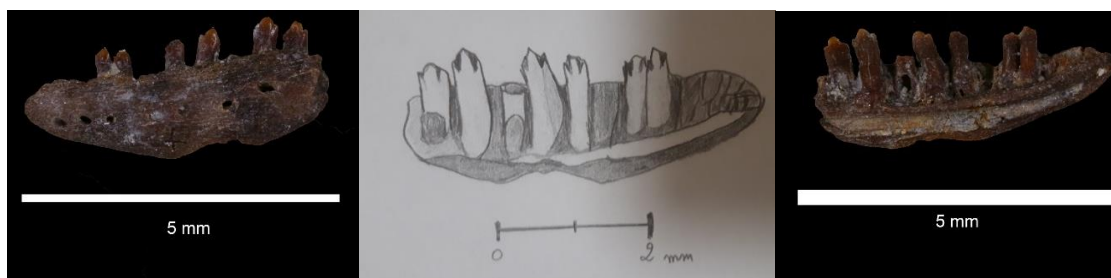


Figure 44: Lacertidae indéterminé.

V.4. Les poissons

Les poissons fossiles d'eau douce (lac, étendues, rivières) en Afrique du Nord restent jusqu'aujourd'hui mal connus, leurs études sont exhaustives ou sommaires et leurs enregistrements dans les sites se limitent juste en quelques éléments anatomiques.

Matériel de l'Oued Sarrat (Tab. 8, Fig. 46).

Tableau 8: Nombre des restes de poissons de l'Oued Sarrat

	NR
Dents pharyngiennes	520
Vertèbres	235
Os pharyngien	16
Epines	52
Total	823

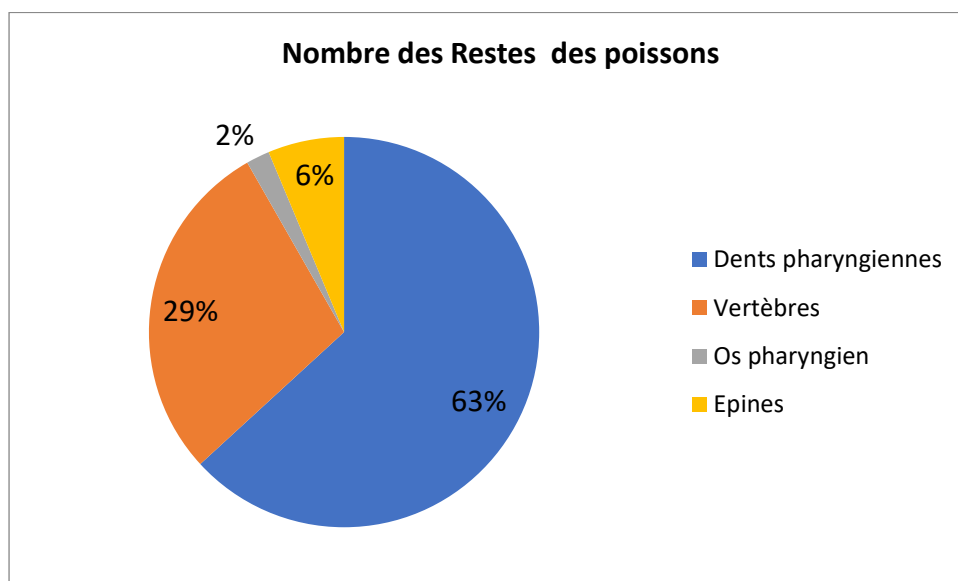


Figure 45: Proportion relative des éléments squelettiques des poissons du site de l'Oued Sarrat

Dans ce travail l'étude des restes des poissons issus et récupérés de la même façon que les autres microvertébrés, l'identification des restes des poissons et leurs taxonomies est réalisée en se basant sur les travaux de Lepiksaar (1994) et Winfield & Nelson (1991), la photographie des éléments est réalisée à l'aide des caméras digitale à l'IPHES.

Le matériel des poissons (Fig. 47) issu de l'excavation du site de l'Oued Sarrat est attribué au genre *Barbus* sp., appartenant à la famille des cyprinidés. Ces poissons d'eau douce sont très répandus au Nord d'Afrique et colonisent les fleuves, les rivières et les lacs d'eau douce.

Vue le manque de référentiel et collection ostéologique de comparaison, la détermination spécifique demeure difficile.

Le nombre de reste NR est celui des éléments identifiables et le MNI ne sont pas pris en compte vue la difficulté et le nombre inconstant des éléments pour chaque individu.

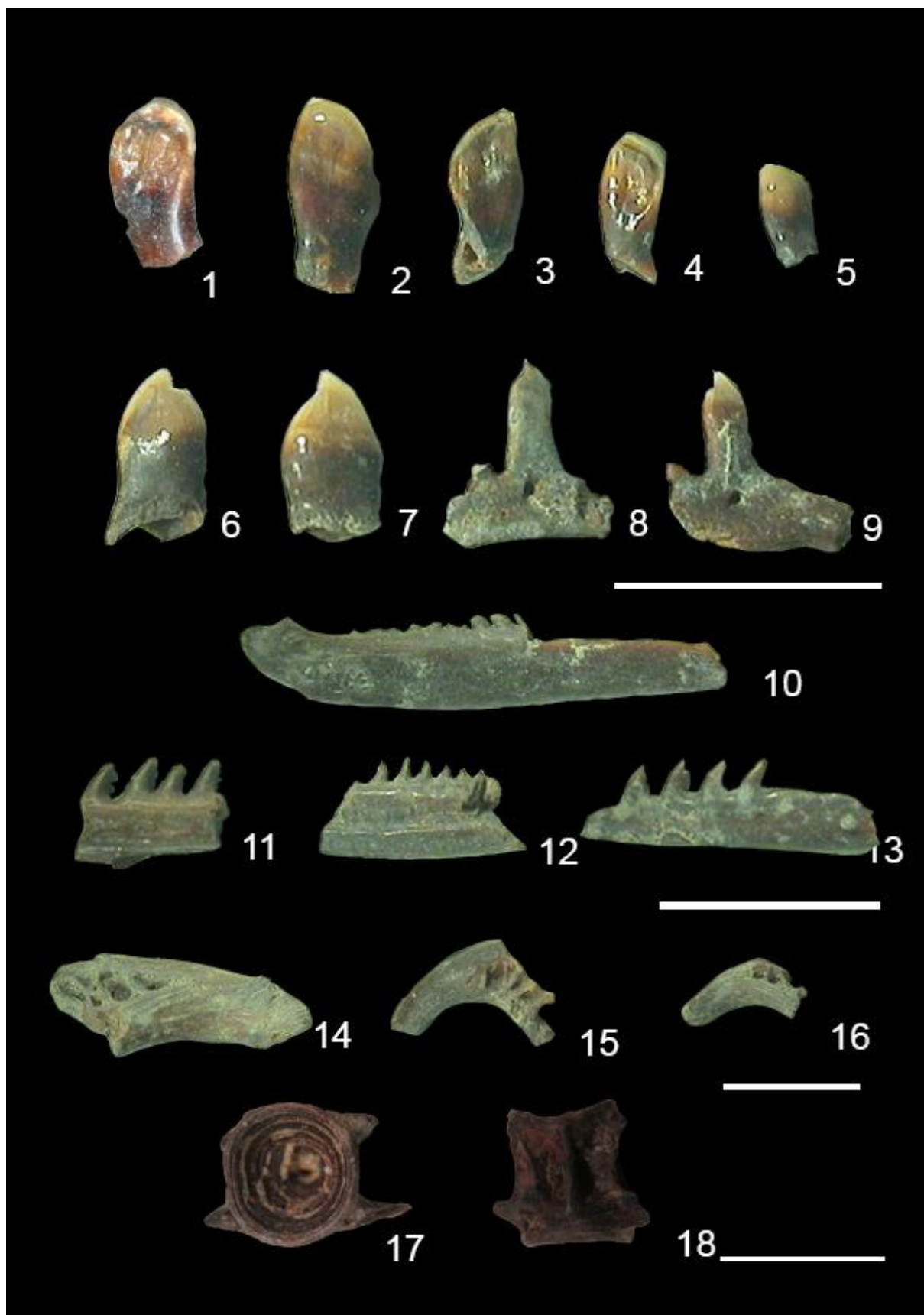


Figure 46: 1-9: dents pharyngiennes isolées. ; 10-13 : fragments des épines ; 14-16 : os pharyngien ; 17-18 : vertèbres.

Chapitre VI : Biochronologie

Biochronologie

Pour l'étude biochronologique on a utilisé la répartition verticale des toutes les espèces identifiées dans le sédiment de l'Oued Sarrat et en les comparant avec la répartition effectuée dans plusieurs sites au nord d'afrique.

Tableau 9: Mesure de la surface de M1 (Lxl) en fonction du temps chez *Paraéthomys* dans les sites au nord d'afrique.

Sites	Espèces	M ¹ (Lxl)	Age	References
Salé	<i>P. darelbeide</i>	9.51	0.3 Ma	Jaeger, 1975
Aïn Mefta	<i>P. darelbeide</i>	10.51	0.3 Ma	Jaeger, 1975
D. Ressas 7	<i>P. darelbeide</i>	10.11	0.3 Ma	Mein, 1992
D. Ressas 2	<i>P. tighenifae</i>	8.73	0.6 Ma	Mein, 1992
Thomas	<i>P. tighenifae</i>	7.93	0.6 Ma	Jaeger, 1975; Mein, 1992
Oulad Hamida 1	<i>P. tighenifae</i>	7.69	0.6 Ma	Geraads, 1994; Raynal, 2001
Irhoud Neanderthal	<i>P. ras</i>	7.64	0.6 Ma	Jaeger, 1975; Renaud, 1999
Oued Sarrat	<i>P. cf. rbiae</i>	6.25	0.7 Ma	ce travail
Oued Sarrat	<i>P. cf. rbiae</i>	5.76	0.7 Ma	ce travail
Oued Sarrat	<i>P. cf. rbiae</i>	5.53	0.7 Ma	ce travail
Oued Sarrat	<i>P. cf. rbiae</i>	5.09	0.7 Ma	ce travail
Oued Sarrat	<i>P. cf. rbiae</i>	6.37	0.7 Ma	ce travail
Oued Sarrat	<i>P. cf. rbiae</i>	6.57	0.7 Ma	ce travail
D. Ressas 5	<i>P. rbiae</i>	7.22	0.7 Ma	Mein, 1992
Oued Krémia	<i>P. rbiae</i>	6.92	0.7 Ma	Mein, 1992
D. Ressas 8	<i>P. rbiae</i>	6.69	0.7 Ma	Mein, 1992
D. Ressas 6	<i>P. rbiae</i>	6.45	0.7 Ma	Mein, 1992
Sidi Abderahman 2	<i>P. darelbeide</i>	9.94	0.9 Ma	Jaeger, 1975; Renaud, 1999
Derbala Virage	<i>P. tighenifae</i>	8.38	1 Ma	Jaeger, 1975; Renaud, 1999

Sidi Abdallah	<i>P. rbiae</i>	7.51	1.5 Ma	Jaeger, 1975; Renaud, 1999
D. Ressas 1	<i>P. chikeri</i>	6.04	1.6 Ma	Mein, 1992
Irhoud Ocre	<i>P. chikeri</i>	5.48	1.6 Ma	Jaeger, 1975
Bulla Regia 1	<i>P. chikeri</i>	4.73	1.8 Ma	Jaeger, 1975
Ahl al Oughlam	<i>P. chikeri</i>	4.65	2.5 Ma	Geraads, 1994; Raynal, 2001
Oued Athmenia	<i>P. athmeniae</i>	3.73	3.5 Ma	Coiffait, 1981
Lac Ichkeul	<i>P. cf. debruijini</i>	3.70	4 Ma	Jaeger, 1975

Le genre *Paraethomys* montre une évolution rapide au cours du plio- pléistocène ce qui lui qualifie d'un bon marqueur de cette époque. Étant donné que la tendance continue vers une augmentation de la taille des molaires est observée dans la lignée *Paraethomys* au Nord d'Afrique (Renaud, 1999) (Tab. 9 et Fig. 48).

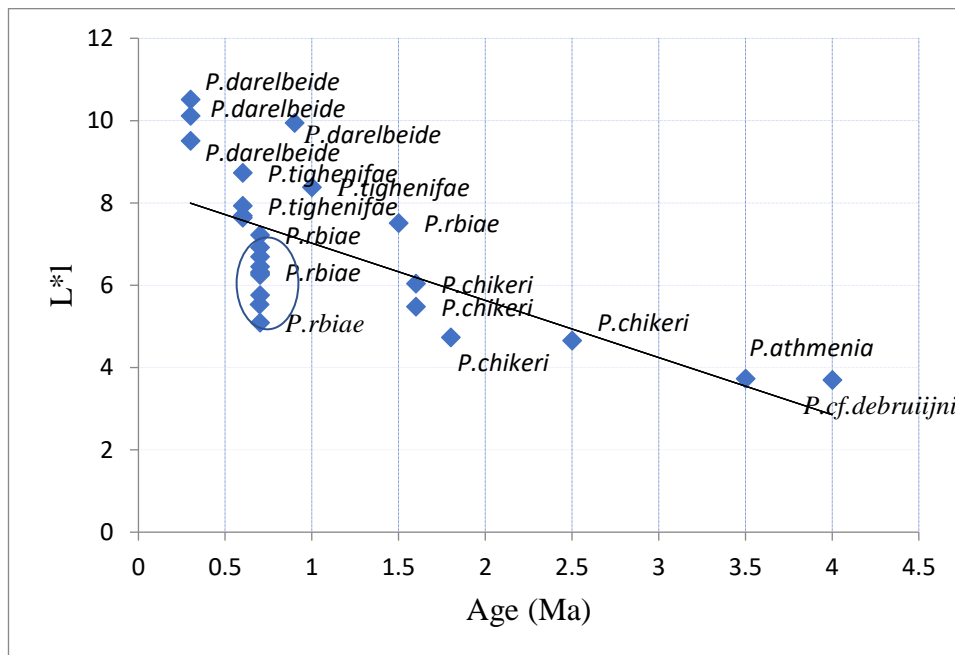


Figure 47: Graphiques bivariés (Surface (L x l) x Age) des premières molaires supérieures de *Paraethomys* des sites du Nord d'Afrique.

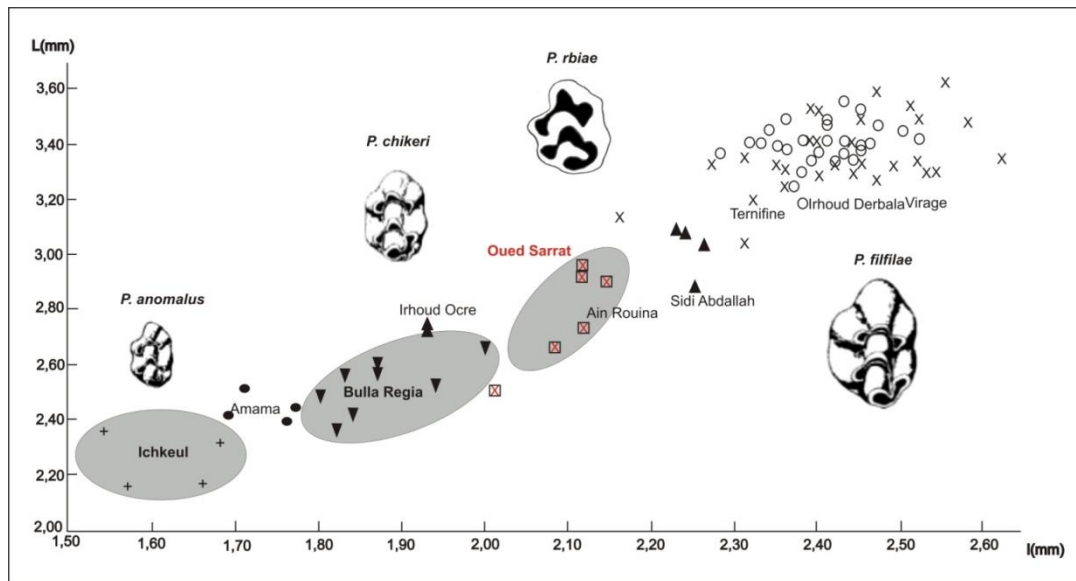


Figure 48: Diagramme longueur (L)-largeur (l) des M1 supérieures de la lignée *Paraethomys anomalous*; *P. cf. rbiae* *P. cf. filfilae*, du Pliocène supérieur au Pléistocène moyen. Les quatre schémas représentent respectivement une M1 du Lac Ichkeul, d'Irhoud

La Biochronologie de la série de l'Oued Sarrat a été basée sur la répartition verticale des espèces marqueurs. *Paraéthomys rbiae* possède une occurrence ne dépassant pas la limite Pléistocène inférieur-Pléistocène moyen dans tous les sites Nord-africains. Les deux genres *Eliomys* et *Meriones* sont apparus en Afrique du Nord, à la base du Pléistocène moyen. La présence simultanée de *P. rbiae*, *Eliomys* et *Meriones* indique que l'âge du site est : base du Pléistocène moyen, soit environ 700 milles ans (**Fig.50**).

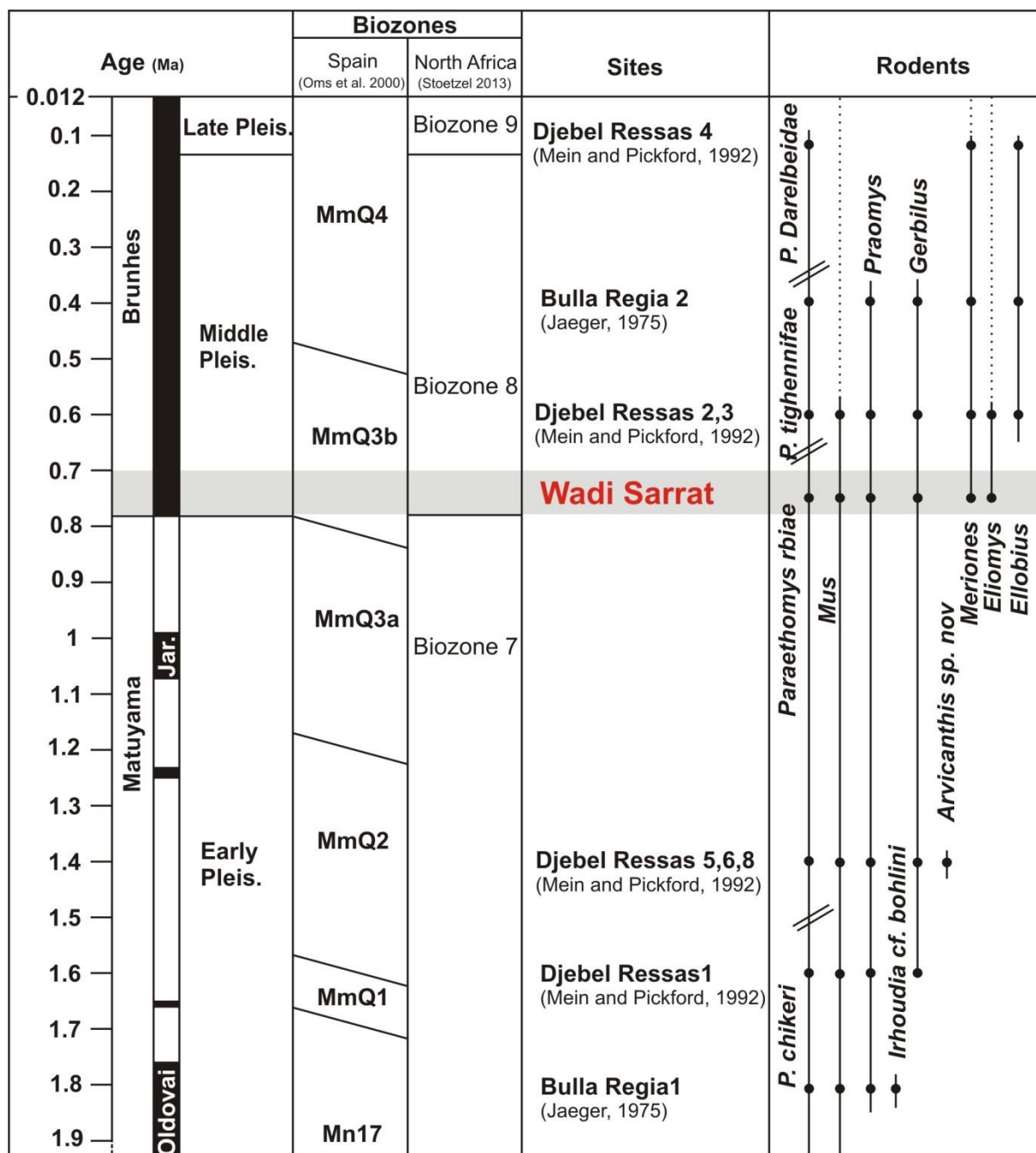


Figure 49: Biochronologie du site de l'Oued Sarrat à l'aide de la distribution verticale des rongeurs et une comparaison avec les biozonations du Nord d'Afrique

Chapitre VII : Reconstitution du Paléoenvironnement

Reconstitution du Paléoenvironnement

Analyses géochimiques et minéralogiques des sédiments de l'Oued Sarrat

I. Données minéralogiques et géochimiques

Les analyses minéralogiques et géochimiques ont concerné à la fois les tests de mollusques (gastéropodes et bivalves) ainsi que les sédiments du Pléistocène moyen et supérieur du site de l'Oued Sarrat. L'objectif est de remonter aux conditions paléoenvironnementales et reconstruire le milieu de dépôt.

I.1. Cortège minéralogique

I.1.1. Minéralogie des tests des gastéropodes et des bivalves

Les résultats des analyses minéralogiques de l'ensemble des espèces récoltées (Tableaux 10, 11) indiquent un cortège minéralogique dominé par l'aragonite associée à de faibles quantités de calcite, de silice, d'hématite et de Goethite. Nous estimons que l'abondance quasi totale de l'aragonite indique que les tests n'ont pas encore ou peu subi de transformations minéralogiques liées aux phénomènes de fossilisation comme en témoigne l'absence ou le faible contenu en calcite, d'autre part les très faibles pourcentages de silice, de goethite et d'hématite sont à relier à l'existence d'impuretés et de sédiments piégés dans les loges ou adhérent à la surface des coquilles.

I.1.2. Minéralogie des sédiments

L'analyse du cortège minéralogique des sédiments sur poudre brute, montre que tous les échantillons analysés OS1, OS2, OS3 et OS4 (Tableau 12), possèdent les caractéristiques d'un mélange à dominance siliceuse et calcitique contenant une faible fraction gypseuse présente dans l'ensemble des sédiments analysés et une fraction aragonitique de 11.65 % dans l'échantillon OS4.

Le couplage calcite-silice reflète à priori, les caractéristiques d'un sédiment détritique où la calcite est à rattacher vraisemblablement aux fragments lithoclastiques avec une faible contribution des débris de tests aragonitiques comme en témoigne le faible contenu en aragonite de l'échantillon OS4.

Tableau 10: Composition minéralogique des coquilles des mollusques de l'Oued Sarrat

	Fe₂O₃% Hematite	CaCO₃% aragonite	CaCO₃% calcite	FeO(OH)% Goethite	SiO₂% Silice
<i>Xerosecta cespitum</i>	0.132%	92.90%	0	0	5.99%
<i>Cerneuella virgata</i>	4.19%	89.57%	0	0	5.44%
<i>Eobania vermiculata</i>	4.70%	84.26%	0	0	9.97%
<i>Helix melanostoma</i>	2.34%	74.48%	10.54%	0	6.21%
<i>Sphenctriouchila beitica</i>	0	90.89%	0	7.89%	0
<i>Rumina decollata</i>	0.20%	82.48%	9.50%	0	0
<i>Unio ravoisieri</i>	0.18%	89.33%	0	0	4.13%

Tableau 7: Compositions minéralogiques des coquilles actuelles

	Fe₂O₃% Hematite	CaCO₃% aragonite	CaCO₃% calcite	FeO(OH)% Goethite	SiO₂% Silice
<i>Xerosecta cespitum</i>	3,79%	81,35%	0	0	11%
<i>Cerneuella virgata</i>		63,30%	12,7 3%	3,29%	13,69%
<i>Eobania vermiculata</i>	0, 83%	43,76%	27,18%	0	23,05%
<i>Helix melanostoma</i>	0	29,43%	34,55%	0	27,91%
<i>Sphincterochela beitica</i>	2,57%	58,37%	6,88%	0	17,32%
<i>Rumina decolata</i>	0	67,62%	21,30%	0	13,11%
<i>Unio ravoiserie</i>	6,80%	82,62%		0	2,71%

Tableau 8: Tableau. : Composition minéralogique des marnes d'Oued Sarrat

	CaCO ₃ % Aragonite	CaCO ₃ % Calcite	Al ₂ O ₃ %	FeO(OH)%	CaSO ₄ %	SiO ₂ %
OS1	0	40.27	1.12	7.65	3.57	36.53
OS2	0	43.31	2.94	5.54	3.66	29.05
OS3	0	51.89	2.78	7.95	0	27.20
OS4	11.65	34.12	0	6.65	0	18.98

Interprétation

L'absence de signaux nets de minéraux argileux dans les spectres analysés ainsi que l'abondance de la fraction calci-siliceuse reflète un milieu d'assez forte énergie très probablement fluvial subissant par moments des conditions d'aridité favorables à la formation des minéraux évaporitiques (voir Annexes II).

Traçage géochimique

Analyses sur les tests de gastéropodes et bivalves

Les résultats présentés dans le tableau 13 confirment les données minéralogiques avec une composition dominée par les carbonates de calcium exprimée par les fortes teneurs en CaO et CO₂ reflètent un chimisme d'élaboration des tests d'organismes en milieu continental, clairement confirmé par l'absence de MgO. Généralement le MgO est présent dans les tests d'organismes élaborés en milieu marin avec des teneurs en Mg variant de 12 à 18%. Il est cependant à signaler que pour les espèces pléistocènes de *Unio ravoisieri*, la teneur en Mg est égale à zéro, cependant, les analyses en Mg des espèces actuelles montrent une teneur en Mg égale à 2.31% (Tableau 14). Cette faible teneur en Mg, est loin d'atteindre les valeurs caractéristiques des espèces franchement marines. Ce taux en Mg, pourrait être relié à une certaine aptitude de l'espèce, de fixer le Mg à partir des eaux fluviales. Cette aptitude pourrait indiquer un changement possible dans le comportement de ces espèces.

D'autre part, les teneurs en SiO₂, FeO₃, Al₂O₃, sont aussi reliées comme cela été signalé, lors de l'étude minéralogique, aux impuretés lithologique piégées essentiellement dans les loges des espèces d'hélicidés.

Tableau 9: Composition chimique des coquilles des mollusques de l'Oued Sarrat

	CaO %	Al ₂ O ₃ %	CO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	MgO %
<i>Xerosecta cespitum</i>	53.53	3.74	37.17	0.12	5.45	0
<i>Cerneuella virgata</i>	51.60	3.31	36.21	3.86	5.01	0
<i>Eobania vermiculata</i>	49.21	3.87	33.61	4.27	9.05	0
<i>Helix melanostoma</i>	48.84	1.07	36.95	4.79	5.73	0
<i>Sphencterochilla beitica</i>	52.29	3.33	36.72	6.88	0.00	0
<i>Rumina decollata</i>	56.16	1.31	42.38	0.16	0.00	0
<i>Unio ravoisieri</i>	52.50	5.05	34.65	3.66	0.00	0

Tableau 104: Composition chimique des coquilles de mollusques actuels de l'Oued Sarrat

	CaO%	Al ₂ O ₃ %	MgO %	CO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	SO ₃ %	SiO ₂ %	H ₂ O%	TiO ₂ %
<i>Xerosecta cespitum</i>	47,53	0,56	0	35,74	3,72	0	10,93	0	1,52
<i>Cerneuella virgata</i>	46,52	1,88	0	34,15	2,52	0	14,64	0,28	0
<i>Eobania vermiculata</i>	45,30	0,91	0	34,37	0,68	0	18,74	0	0
<i>Helix melanostoma</i>	43,55	0,74	0	33,72	0	0	21,98	0	0
<i>Sphencterochi la beitica</i>	46,55	5,29	0	32,91	2,11	0	13,14	0	0
<i>Rumina decolata</i>	49,62	2,24	0	36,05	0	0	12,09	0	0
<i>Unio ravoisarie</i>	50,18	6,51	2,31	33,47	5,32	0	2,21	0	0

Analyse des sédiments

Les résultats présentés dans le tableau 15, reflètent clairement l'origine silico-calcitique et détritique des sédiments avec des pourcentages excédant les 90% pour cette fraction.

Couplées aux proportions très faibles en Al_2O_3 , environ 3%, toutes les données militent en faveur d'un milieu fluviatile ou le vannage hydrique semble être peu favorable à la sédimentation de la fraction ultrafine des minéraux argileux. Le chimisme continental est clairement attesté par l'absence de magnésium dans tous les sédiments analysés : teneur en $MgO=0$, (**Tableau 15**).

Tableau 115: Composition chimique des argiles d'Oued Sarrat

	CaO %	Al ₂ O ₃ %	CO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	SO ₃ %	SiO ₂ %	MgO%
OS1	35.85	0.85	26.96	5.17	2.14	27.49	0
OS2	35.38	2.94	26.87	4.84	1.63	27.05	0
OS3	35.64	3.51	26.78	8.10	-	25.25	0
OS4	41.66	-	32.68	5.98	-	18.98	0

Conclusion et discussion

Sans prétendre être affirmatives, dans l'absence des traceurs géochimiques appropriés et d'analyses fines (O18, C13, Br, Bo, Sr..), les données du traçage minéralogique et géochimique effectuées sur les sédiments et sur les tests, convergent pour prédire l'établissement des conditions paléoécologiques et du paléoenvironnement, imputables à un milieu de dépôt fluviatile, d'assez haute énergie où la fraction ultrafine des minéraux argileux fait remarquablement défaut. L'absence d'indicateurs du chimisme marin tel que le magnésium que ce soit dans les sédiments ou dans les tests d'organismes, enregistre la contribution quasi-totale d'eaux météoriques continentales sans aucune influence marine. Un tel environnement est cependant affecté par des épisodes d'aridification intermittentes comme cela est attesté par la présence de minéraux évaporitiques tel que le gypse dans le cas où ce dernier s'avère non diagénitique.

B/ Observations préliminaires taphonomique :

Weathering



Figure 50: Trace de Weathering sur un ossement d'un microvertébré du site d'Oued Sarrat

Digestion + racines



Figure 51: Digestion modérée + racine sur une vertèbre d'un mirovertébré du site de l'Oued Sarrat

Digestion extrême



Figure 52: Digestion extrême sur une vertèbre caudale d'un rongeur du site de l'Oued Sarrat

Discamation

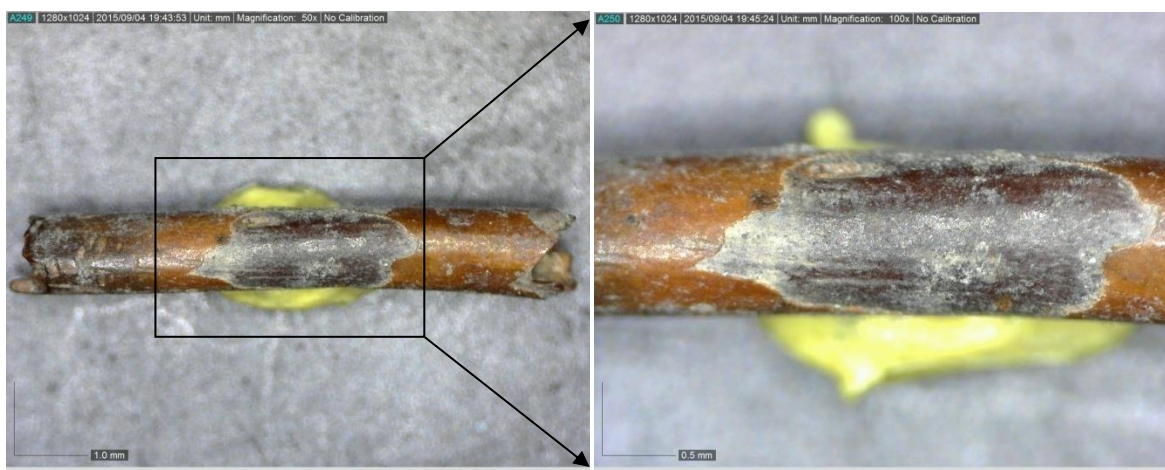


Figure 53: Discamation sur un os long d'un microvertébré du site de l'Oued Sarrat

Trace de Manganèse

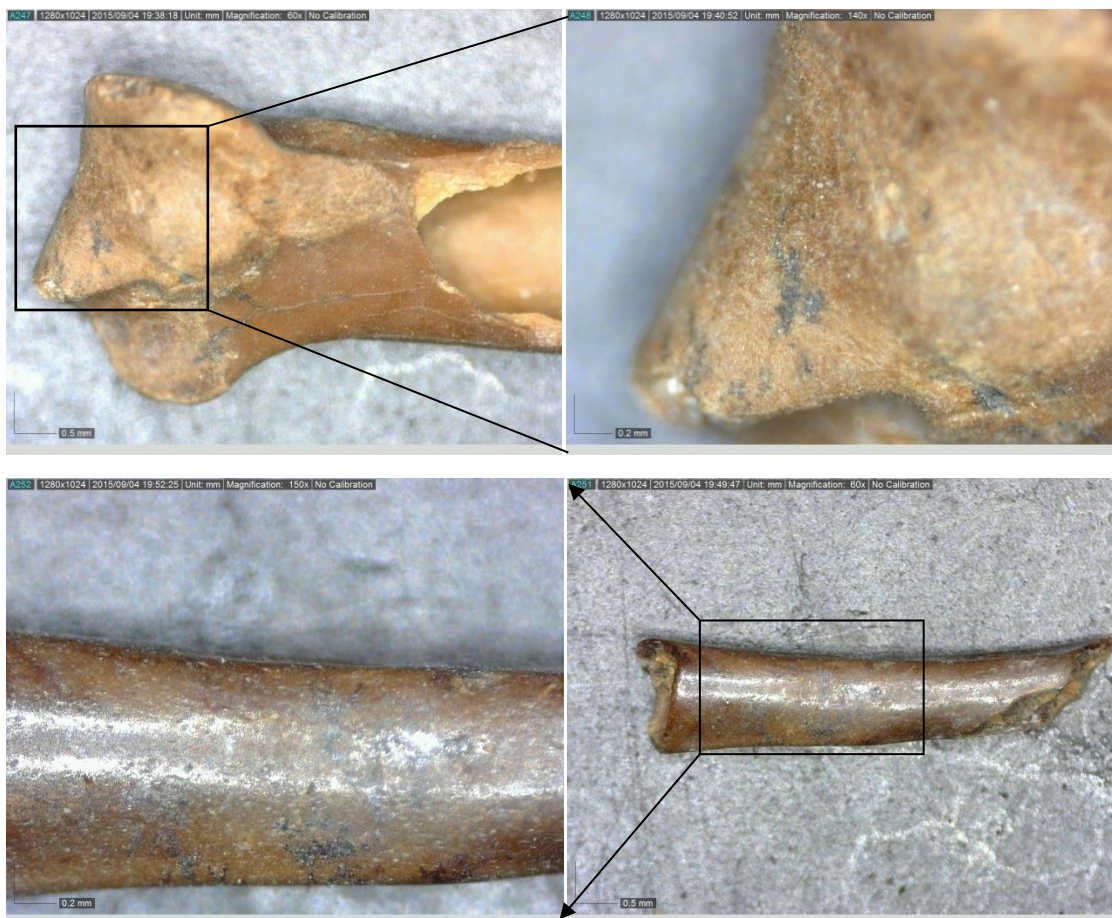


Figure 54: Trace de Manganèse sur des ossements de microvertébrés du site de l'Oued Sarrat

Piétinement

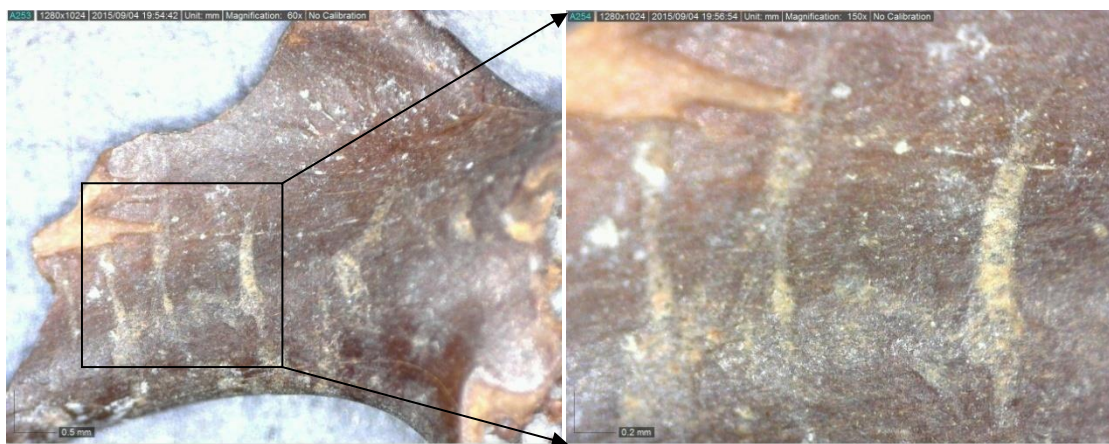


Figure 55: Trace de piétinement sur des ossements d'un microvertébré du site de l'Oued Sarrat

Racine + corrosion



Figure 56: Traces des racines + corrosion sur des ossements de microvertébrés du site de l'Oued Sarrat

Chapitre VIII : Conclusion générale

Conclusion générale

L'étude des microvertébrés provenant du site de l'Oued Sarrat est la première réalisée en Tunisie, en utilisant les différentes méthodes de systématique, de biochronologie, de taphonomie et de paléoécologie sur plusieurs groupes, les rongeurs, les amphibiens, les reptiles et les poissons.

Sur le plan systématique

Cette faune étudiée de l'Oued Sarrat, s'est avérée assez abondante groupées en une vingtaine de taxons identifiés.

Les ossements des microvertébrés récoltés sont nombreux et nous avons pu récolter plus que 10 milles pièces. D'après les observations, les analyses et les mesures morphométriques, réalisés sur ce matériel faunique, nous avons pu identifier 24 espèces classées en 9 rongeurs (*Mus* aff. *spretus*, *M.* cf. *hamidae*, *Paraethomys rbiae*, *Praomys* sp., *Meriones* sp., *Dipodillus* (*Gerbillus*) *compestris*, *Eliomys* sp., *Arvicanthis* sp. et *Dendromus* sp.), 3 espèces d'anoures (*Discoglossus pictus*, *Bufo mauritanicus* et *Pelophylax saharicus*), 1 chelonien (*Emys* sp./*Mauremys* sp.), 8 squamates [2 lézards (*Eumeces* sp., Lacertidae indet. De petite taille), 2 morphotypes des colubridés (*Macroprotodon* sp. et *Hemorhois* sp.), 1 espèce de Colubridae s.l. (*Coronella* sp./*Telescopus* sp.), 2 Natricidae (*Natrix natrix* et *N. maura*), 1 vipéridae (*Macrovipera/Daboia* sp.)], 1 espèce de *Eryciné* (Boidae) 1 seule espèce de poisson d'eau douce appartenant à la famille des Cyprinidés et aux genre *Barbus* ; et 1 seule espèce d'oiseaux appartenant à la famille des Passériformes.

Sur le plan stratigraphique

La biochronologie de la série de l'Oued Sarrat a été réalisée à partir de la répartition verticale des espèces marqueurs de microvertébrés ainsi que l'association de toute la faune récoltée.

L'espèce index *Paraéthomys rbiae* possède une occurrence ne dépassant pas la limite Pléistocène inférieur-Pléistocène moyen dans tous les sites Nord-africains. L'association de cette espèce avec les deux genres *Eliomys* et *Meriones* (apparus au Nord d'Afrique vers la base du Pléistocène moyen) indique que le site est daté: base du Pléistocène moyen, environ 700milles ans, correspondant à la base du chron normal Brunhes.

Une étude paléomagnétique réalisée sur des échantillons du site a révélé que la polarité est normale (N), donc ceci concorde bien avec les résultats obtenus par les méthodes biochronologiques.

Sur le plan paléoenvironnement

Au début du Pléistocène moyen, la présence de plusieurs espèces des microvertébrés qui dépendent à un milieu aquatique pour leurs survies, comme l'espèce *Natrix maura*, l'espèce *Discoglossus pictus* et les poissons d'eau douce de la famille des cyprinidés, indiquent que la région d'Oued Sarrat présentait à l'époque un milieu recouvert des marécages voir un paléolac alimenté par des chenaux et des oueds, et ceci est confirmé par la présence des restes des hippopotames (qui sont des macrovertébrés qui dépendent aussi à une surface aquatique permanentes pour leurs survies).

Les analyses minéralogiques et géochimiques ont montré que ces sédiments ont été déposés dans un milieu d'assez forte énergie très probablement fluviale ou le vannage hydrique semble être peu favorable à la sédimentation de la fraction ultrafine des minéraux argileux et que ce milieu subissait par moments des conditions d'aridité favorables à la formation des minéraux évaporitiques. Le chimisme continental est clairement attesté par l'absence de magnésium dans tous les sédiments analysés.

Sur le plan paléoclimat

La présence des restes fossiles des espèces des genres *Bufo*, *Pelophylax*, *Discoglossus*, *Natrix* et les espèces d'affinité tropicale comme *Arvicanthis* sp., *Dendromurinae* et *Ericinae* dans les sédiments d'Oued Sarrat indique qu'à l'époque cette région a évolué sous un climat plus humide et plus chaud qu'aujourd'hui et la pluviométrie dépassait 1500 mm/an (la région d'Oued Sarrat appartient aujourd'hui à l'étage bioclimatique semi-aride dont la pluviométrie annuelle varie entre 500 et 600 mm et une température annuelle moyenne entre 16 et 17 °c).

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- ABDEL RAHMAN A.E.H., DUCROZ J.-F., MITCHELL A., LAMB J., CONTRAFATTO G., DENYS C., LECOMPTE E. & TAYLOR P.J. (2008).** Phylogeny and historical demography of economically important rodents of the genus *Arvicanthis* (Mammalia: Muridae) from the Nile Valley: of mice and men. *Biological Journal of the Linnean Society*, 93(3): 641-655.
- AMRI L., BARTOLINI LUCENTI S., MTIMET M.S., KAROUI-YAAKOUB N., ROS-MONTOYA S., ESPIGARES M.P., BOUGHDIRI M., BEL HAJ ALI N. & MARTÍNEZ-NAVARRO B. (2017).** *Canis othmanii* sp. nov. (Carnivora, Canidae) from the early Middle Pleistocene site of Wadi Sarrat (Tunisia). *C.R. Palevol*, 16 (7) : 774-782.
- ANDREWS P. (1990).** *Owls, caves and fossils*. Natural History Museum Publications, London, 231 p.
- ANDREWS P. & NESBIT EVANS E.M. (1983).** Small Mammals bone accumulations produced by Mammalian carnivore. *Paleobiology*, 9: 289-307.
- AOURAGHE H. (2006) :** Histoire du peuplement paléolithique de l'Afrique du Nord et dynamique des interactions entre l'homme et son environnement. *Comptes Rendus Palevol*, 5(1-2) : 237-242.
- ARAMBOURG C. (1968).** Les vertébrés du pléistocène de l'Afrique du Nord.
- AULAGNIER S. (1992).** Zoogéographie des Mammifères du Maroc : de l'analyse spécifique à la typologie de peuplement à l'échelle régionale. Thèse d'Etat, Université Montpellier 2.
- BAILON S. (1991).** Amphibiens et reptiles du pliocène et du Quaternaire de France et d'Espagne : mise en place et évolution des faunes. Thèse de Doctorat, Université Paris VII, 499 p.
- BAILON S. (1999).** Différenciation ostéologique des anoures (Amphibia, Anura) de la France. In J. Desse et N. Desse-Berset (Eds) *Fiches d'ostéologie animale pour l'archéologie. Série C : Varia*, Valbonne : centre de Recherches Archéologiques- CNRPS, 38p.
- BAILON S. & AOURAGHE H. (2002).** amphibiens, chéloniens et squamates du Pléistocène Supérieur d'El Harhoura I (Témara, Maroc). *Geodiversitas*, 24(4) : 821-830.
- BARAHANA F. & BARBADILLO L.J. (1997).** Identification of some Iberian lacertids using skull characters. *Rev. Esp. Herp.* (11), 47-62.
- BEN HASSINE J. (2012).** Répartition géographique et affinités écologiques des Amphibiens de Tunisie. *Rev. Écol. (Terre Vie)*, vol (67) : 437-457.

- BLAIN H.A. (2009).** Contribution de la paléoherpétofaune (Amphibia et Squamate) à la connaissance de l'évolution du climat et du paysage du Pliocène supérieur au Pléistocène moyen d'Espagne. *Treballs del Museu de Geologia de Barcelona*, 16, 39-170.
- BRUGAL J.P., LIMONDIN-LOZOUET N. & SÉMAH F. (2007).** Q5 International Meeting. The Quaternary: boundaries and particularities. *Quaternaire*, 18(1), Avant-propos.
- CASTANY G., 1951.** Etude géologique de l'Atlas tunisien oriental. Annales Mines et Géologie, Tunis, n. ° 8, Volume 4, Thèse Doctorat ès Sciences, Paris.
- CHALINE J. & MEIN P. (1979).** Les rongeurs et l'évolution. Doin éditeurs, Paris, 235 p.
- CHALINE J. (1970).** La signification des rongeurs dans les dépôts Quaternaires. In : Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire. Volume 7, N° 4, 1970. pp.229-241.
- CHEDDADDI A. (1986).** Les rongeurs d'âge Pléistocène moyen du site de l'Aïn Bahya (Skhirat – Maroc atlantique) : implications stratigraphiques et paléoécologiques. Thèse de Doctorat, Ecole Normale Supérieure, Rabat-Souissi, Maroc.
- CHUBERT G., JOLY F., GIGOUT M., MARCAIS J., MARGAT J. & RAYNAL R. (1956).** Essai de classification du Quaternaire continental du Maroc. *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 243 : 504-506.
- COIFFAIT-MARTIN B. & COIFFAIT P.-E. (1981).** Découverte d'un gisement de micromammifères d'âge pliocène dans le bassin de Constantine (Algérie). Présence d'un muridé nouveau : *Paraethomys athmeniae* n. sp. *Palaeovertebrata* 11, 1–15.
- COIFFAIT-MARTIN B. (1991).** Contribution des rongeurs du Néogène d'Algérie à la biochronologie mammalienne d'Afrique Nord-Occidentale. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Nancy 1.
- COPPENS Y. (1971).** Les vertébrés villafranchiens de Tunisie: gisements nouveaux, signification. *C. R. Acad. Sci. Paris, série D*, 273 : 51-54.
- COQUE R. & JAUZEIN A. (1965).** Le Quaternaire moyen de l'Afrique du Nord. In: *Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire* - Volume 2 - Numéro 2 - 1965. pp. 117-132.
- CRUSAFONT PAIRO M. (1979).** les girafidés du bled Douarah (Ouest de Gafsa, Tunisie). *Notes Services géologique de Tunisie* N 44.
- DENYS C. (1985).** Paleoenvironmental and paleobiogeographical significance of the fossil rodent assemblages of Laetoli (Pliocene, Tanzania). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 52 : 77- 97.

- DENYS C., GERAADS D., HUBLIN J.J. & TONG H. (1987).** Méthode d'étude taphonomique des microvertébrés. Application au site Pléistocène de Tighenif (Algérie). *Archeozoologia*, 2 : 53-82.
- DENYS C, KOWALSKI K. & DAUPHIN Y. (1992).** Mechanical and Chemical alterations of skeletal tissues in a recent Saharian accumulation of faeces from *Vulpes rueppelli* (Carnivora, Mammalia). *Acta zool. Cracov.*, 35(2) : 265-283.
- DENYS C., KOWALSKI K. & DAUPHIN Y. (1996).** Mechanical and chemical alterations of skeletal tissues in a recent Saharian accumulation of faeces from *Vulpes reppelli* (Carnivora, Mammalia). *Acta Zool. Cracov.*, 35(2): 265-283.
- DENYS C., DAUPHIN Y. & FERNANDEZ-JALVO Y. (1997).** Apports biostratigraphiques et paléocéologiques de l'étude taphonomique des assemblages de micromammifères. Bilan et perspectives. *Geobios*, 20 : 197-206.
- DENYS C. & MAHBOUBI M. (1992).** Altérations structurales et chimiques des éléments squelettiques de pelotes de régurgitation d'un rapace diurne. *Bull Mus natl Hist nat*, section A, 14(1): 229-249.
- DODSON P. & WEXLAR D., (1979).** Taphonomic investigations of owl pellets. *Palaeobiology*, 5, 275-284.
- DUMITRU M. & GABRIEL C. (2006).** Data on some small mammals of Tunisia [Results of the "Punia" 2006 expedition].
- FERNANDEZ-JALVO Y. (1996).** Small mammal taphonomy and the middle Pleistocene environments of Dolina, northern Spain. *Quaternary International*, 33: 21-34.
- FERNANDEZ-JALVO Y. & P. ANDREWS (1992).** Small Mammal Taphonomy of Gran Dolina, Atapuerca (Burgos), Spain. *Journal of Archaeological Science*, 19: 407-428.
- FERNANDEZ-JALVO Y. & P. ANDREWS (2016).** Atlas of Taphonomic Identifications; 1001+ Images of Fossil and Recent Mammal Bone Modification. *Vertebrate Paleobiology and Paleoanthropology Series*. DOI 10.1007/978-94-017-7432-1. Springer. 356p.
- FERNANDEZ-JALVO Y., DENYS C., ANDREWS P., WILLIAMS T., DAUPHIN Y., & HUMPHREYS L. (1998).** Taphonomy and palaeoecology of Olduvai Bed-1 (Pleistocene, Tanzania). *Journal of Human Evolution*, 34: 137-172.
- FOURNET A (1971).** Les gisements à faune Villafranchienne de Tunisie. *Notes Service Géologique Tunisie*, N 34.
- GEERAADS D. (1995).** Rongeurs et insectivores (Mammalia) du Pliocène final de Ahl Al Oughlam (Casablanca, Maroc). *Geobios* 28 (1), 99–115.
- GERAADS D. (1982).** Paléobiogéographie de l'Afrique du Nord depuis le Miocène Terminal, d'après les grands Mammifères. *Geobios, memoires special* n°6: 473-481.

- GERAADS D. (1994).** Rongeurs et Lagomorphs du Pléistocène moyen de la Grotte des Rhinocéros, Carrière Oulad Hamida 1 à Casablanca, Maroc. *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.* **191(2)**, 147–172.
- GERAADS D. (2010).** Biogeographic relationships of Pliocene and Pleistocene North-western African mammals. *Quaternary International* 212(2010), pp. 159-168.
- GERAADS D. (1989).** Vertébrés fossiles du Miocène supérieur du Djebel Krechem El Artsouma (Tunisie centrale). Comparaisons biostratigraphiques.
- GIBBARD P.L., BOREHAM S., COHEN K.M. & MOSCARIELLO A. (2007).** *Global chronostratigraphical correlation table for the last 2.7 million years v. 2007b.*, Subcommission on Quaternary Stratigraphy, Department of Geography, University of Cambridge, Cambridge, England.
- GENIEZ P., MATEO J. A., GENIEZ M. et PETHER J. (2004).** The amphibians and reptiles of the Western Sahara. Edition Chimaira. 229p.
- HOSSINI S. (2002).** La faune d'anoures Marocains du Miocène au Pléistocène et ses rapports avec celle de la même époque au Sud-Ouest européen : Hypothèses sur l'origine des anoures au Maroc. Thèse de Doctorat d'Etat. Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences de Meknes, 243p.
- JAEGER J-J. (1975b).** Les faunes de mammifères et les hominidés fossiles du Pléistocène Moyen du Maghreb. *In* Etude de certains milieux du Maroc et de leur Evolution récente, II, Travaux de la R.C.P., 249, CNRS, p. 265- 290.
- JAEGER J-J. (1975).** Les rongeurs (Mammalia, Rodentia) du Plio-Pléistocène d'Afrique ; Interet biostratigraphique et paléoclimatique.
- JAEGER J-J. (1975).** Evolution des Rongeurs, du Miocène à l'actuel, en Afrique Nord-Occidentale. Thesis Univ. Montpellier.
- JAEGER J-J. (1977^a).** Les rongeurs du Miocène moyen et supérieur du Maghreb. *Palaeovertebrata*, 8(1) : 1-166.
- KAROUI-YAAKOUB N., MTIMET M.S., BEJAOUI S., AMRI L., KHALLOUFI N., BEN AISSA L., & MARTÍNEZ-NAVARRO B. (2016).** Middle-to-Late Pleistocene malacofauna from the archaeo-paleontological site of Oued Sarrat (Tajerouine area, NW Tunisia). *Arab J Geosci*, 9:345. DOI 10.1007/s12517-016-2310-4.
- KAROUI-YAAKOUB N., MTIMET M.S., BEJAOUI S., MARTÍNEZ-NAVARRO B. (2018).** Paleoenvironmental reconstruction of the Pleistocene site of Oued Sarrat (Northwestern Tunisia) using mineralogical and geochemical data. *Journ.Geol.Geograph.Geoecology*, 27(2), 316-322. doi:10.15421/111855.
- KERR R.A. (2009).** The Quaternary Period wins out in the end. *Science*, 324 (5932) : 1249.

- KOWALSKI K. & RZEBIK-KOWALSKA B. (1991).** *Mammals of Algeria*. Zaklad Narodowy im. Ossolinskih – Wydawnictwo, Wroclaw, Poland, 370p.
- LE HOUEROU H.N. (1997).** Climate, flora and fauna changes in the Sahara over the past 500 million years. *Journal of Arid Environments*, 37 : 619-647.
- LIBOIS R.M., MICHAUX J.R., RAMALHINHO M.G., MAUROIS C., & SARA M. (2001).** On the origin and systematics of the northern African wood mouse (*Apodemus sylvaticus*) populations: a comparative study of mtDNA restriction patterns. *Can. J. Zool.* 79: 1503–1511.
- MARTÍNEZ-NAVARRO B., KAROUY-YAAKOUB N., OMS O., AMRI L., LÓPEZ-GARCÍA J-M., ZERAI K., BLAIN H.A, MTIMET M.S, ESPIGARES P., BEN HAJ ALI N., ROS-MONTOYA S., BOUGHDIRI M., AGUSTÍ J., AMMAR H., MAALAOUI K., OM EL KHIR O., SALA R., OTHMANI A., HAWAS R., GÓMEZ-MERINO G., SOLÈ A., CARBONELL E., & PALMQVIST P. (2014).** The early Middle Pleistocene archeopaleontological site of WadiSarrat (Tunisia) and the earliest record of *Bos primigenius*. *Quaternary Science Reviews*, 90, 37-46.
- MASCARELLI A.L. (2009).** Quaternary geologists win timescale vote. *Nature*, 459(4): 624.
- MEIN P. & PICKFORD M. (1992).** Gisements karstiques pléistocènes au Djebel Rerras, Tunisie. *C.R. Acad. Sci. Paris, Série II*, 315 : 247-253.
- MICHAUX J.R., MAGNANOU E., PARADIS E., NIEBERDING C. & LIBOIS R. (2003).** Mitochondrial phylogeography of the Woodmouse (*Apodemus sylvaticus*) in the Western Palearctic region. *Molecular Ecology*, 12(3) : 685-697.
- MISTROT V. (2000).** Les micromammifères : marqueurs de l’anthropisation du milieu. *Études rurales*, p. 153-154
- MTIMET M.S., KAROUY-YAAKOUB N., LOPEZ-GARCIA J.M., BLAIN H-A., AGUSTI J., AMRI L., & MARTINEZ-NAVARRO B. (2014).** The early Middle Pleistocene microvertebrate assemblage from Wadi Sarrat (Tunisia). XVII World UISPP Congress 2014 Burgos, 1-7. September. Volume des abstracts, pp.100-101.
- MTIMET M.S., KAROUY-YAAKOUB N., BÉJAOU S., AMRI L., BEN AISSA L., GRIRA C & MARTÍNEZ-NAVARRO B. (2017).** Paleoenvironmental reconstruction by mineralogical and geochemical analyses: case study from the archeopaleontological site of Oued Sarrat (NW of Tunisia, Tejerouine). 1st Atlas Georesources International Congress. AGIC 2017. 20-22 March, 2017, Hammamet, Tunisia.
- LEPIKSAAR, J., (1994).** Introduction to osteology of fishes for paleozoologists. Publicat. No press, 75 p.
- PAT VICKERS R. (1974).** Significance of the tertiary avifaunas from Africa (with emphasis on a mid to late Miocene avifauna from southern Tunisia). *Annals of the Geological survey of Egypt-* Vol. IV, (pp. 167-210).

- PILLANS B. & NAISH T. (2004).** Defining the Quaternary. *Quaternary Science Reviews*, 23: 2271-2282.
- PINTO LLONA A. C. & ANDREWS P.J. (1999).** Amphibian taphonomy and its application to the fossil record of Dolina (middle Pleistocene, Atapuerca, Spain). *Palaogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 149: 411-429.
- POITEVIN F. (1984).** Biogéographie et écologie des crocidures méditerranéennes (insectivores, Soricidés) *Crocidura russula* (Hermann, 1780) et *Crocidura suaveolens* (Pallas, 1811). Ecole Pratique des Hautes Etudes, Mémoires et Travaux de l'Institut de Montpellier n°14, 98 p.
- RAYNAL J.P., SBIHI ALAOUI F.Z., GERAADS D., MAGOGA L. & MOHI A. (2001).** The earliest occupation of North-Africa: the Moroccan perspective. *Quat. Int.* 75, 65–75.
- RENAUD S., BENAMMI M. & JAEGER J.J. (1999).** Morphological evolution of the murine rodent *Paraethomys* in response to climatic variations (Mio-Pleistocene of North Africa). *Paleobiology*, 25, 369–382.
- REUMER J.W.F. (1984).** Ruscinian and early Pleistocene Soricidae (Insectivora, Mammalia) from Tegelen (The Netherlands) and Hungary. *Scripta Geologica*, 73 : 173p.
- RICCARDI A.C. (2009).** Formal ratification letter of base Quaternary and Pleistocene at 2.6 ma written by Prof. Alberto C. Riccardi, President of the International Union of Geological Sciences, to Prof. Paul R. Bown, Secretary of the International Commission on Stratigraphy.
- ROBINSON P. (1986).** Very hypsodont antelopes from the Beglia Formation (central Tunisia), with a discussion of the Rupicaprini. Contribution to Geology, University of Wyoming, Special Paper.,p. 305-315, 1 fig., 2 tables,
- ROUVIER H. (1977).** Géologie de l'extrémité nord tunisienne. Thèse Doctorat, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI, France.
- SANCHEZ V., DENYS C. & FERNANDEZ-JALVO Y. (1997).** Origine et formation des accumulations de microvertébrés de la couche 1^a du site du Monte di Tuda (Corse, Holocène). Contribution à l'étude taphonomique des micromammifères. *Geodiversitas*, 19(1) : 129-157.
- SCHLEICH H., KÄSTLE W. & KABISCH K. (1996).** Amphibians and reptiles of north africa. Koeltz Scientific Books, Germany, 630 p.
- SMAOUI A. (2015).** Bioclimat et Végétation de la Tunisie et des régions prospectées pendant le 12^{ème} ITER *Mediterraneum* de OPTIMA. — *Bocconea* 27(1): 13-20.
- SOLIGNAC M. (1927).** Étude géologique de la Tunisie septentrionale, Dir. Gen. Trav. Publ.,Tunis, Thèse d'État, Lyon, 1-756.

- STOETZEL E. (2009).** Les Microvertébrés du site d'occupation humaine d'El Harhoura 2 (Pléistocène supérieur – Holocène, Maroc) : Systématique, Evolution, Taphonomie et Paléoécologie. Thèse de Doctorat. Muséum National d'Histoire Naturelle. Paris.
- STOETZEL E. (2013).** Late Cenozoic micromammal biochronology of northwestern Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 392 (2013) 359–381.
- SZYNDLAR Z. (1984).** Fossil snakes from Poland. *Acta Zoologica Cracoviensia*, 28 : 1– 56.
- TONG H. (1989).** Origine et évolution des *Gerbillidae* (Mammalia, Rodentia) en Afrique du Nord. *Mémoires de la Société Géologique de France* n°155, 120 p.
- VAN DE WEERD A. (1976).** Rodent faunas of the Mio-Pliocene continental sediments of the teruel-Alfambra region, Spain. *Utrecht Micropaleontological bulletins*, Special publication.
- WEISROCK A. (1983).** Sur la notion de Pluvial au Maghreb et péninsule ibérique, *Actes Coll. AGSO Bordeaux, Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, 34 : 137-149.
- WESSELMAN H.B. (1984).** The Omo Micromammals: Systematics and Paleoecology of Early Man Sites from Ethiopia. *Contrib. Vert. Evol.*, 7: 1–219.
- WESSELS W. (2009).** Miocene rodent evolution and migration Muroidea from Pakistan, Turkey and Northern Africa.
- WINFIELD I.J. and NELSON J.S. (1991).** Cyprinid Fishes: Systematics. biology and exploitation. Springer Netherlands; Ed.
- ZARGOUNI F. (1985).** Tectonique de l'Atlas méridional de Tunisie. Evolution géométrique et cinématique des structures en zones de cisaillement. Thèse de doctorat, 304p. Univ. Louis Pasteur Strasbourg

Annexes

Annexes I : Les mesures effectuées sur les molaires des rongeurs.

Tableau des mesures des molaires du genre *Mus* ;

Num	L M1	IM1
1	1.902	1.162
2	1.8	1.177
3	1.879	1.238
4	1.803	1.104
5	1.854	1.177
6	1.888	1.194
7	1.985	1.191
8	1.955	1.197
9	1.957	1.226
10	1.945	1.243
11	1.791	1.154
12	2.097	1.27
13	1.711	1.122
14	1.911	1.14
15	1.851	1.136
16	1.834	0.934
17	2.017	1.244
18	1.978	1.175
19	2.078	1.253
20	2.168	1.223
21	1.911	1.17
22	1.966	1.133
23	1.886	1.123
24	1.87	1.11
25	1.968	1.213
26	1.899	1.167
27	2.04	1.15
28	2.1	1.2
29	1.834	1.199
30	2	1.127
31	/	/
32	1.82	1.08
33	1.923	1.126
34	2.05	1.25
35	1.844	1.134
36	1.971	1.171
37	1.853	1.203
38	1.889	1.142
39	2	1.185
40	1.82	1.1
41	2.06	1.24

42	2.003	1.245
43	1.777	1.09
44	1.68	1.02
45	1.818	1.151
46	1.74	1.093
47	1.69	1.143
48	1.95	1.119
49	1.83	1.15
50	1.744	1.129
51	1.923	1.164
52	2.018	1.2
53	1.908	1.145
54	1.826	1.136
55	1.959	1.213
56	1.966	1.185
121	1.81	1.092
122	1.943	1.198
123	1.733	1.098
124	1.957	1.181
125	1.875	1.072
126	1.812	1.218
127	1.874	1.125
128	1.819	1.216
129	/	1.204
Moy.	1.901	1.162031

Num	Lm1	lm1
57	1.736	0.996
58	1.523	0.958
59	1.586	0.888
60	/	/
61	1.498	0.948
62	1.574	0.973
63	1.592	0.945
64	1.542	0.937
65	1.56	0.92
66	1.662	1.016
67	1.546	0.905
68	1.716	1.035
69	1.701	1.025
70	1.635	0.955
71	1.695	0.926
72	1.63	0.98
73	1.49	0.889
74	1.648	0.987

75	1.487	0.91
76	1.515	0.936
77	1.666	1.021
78	/	/
79	1.575	0.967
80	1.58	1.009
81	1.587	0.967
82	1.593	0.974
83	1.608	0.914
84	1.501	0.912
85	1.536	0.938
86	1.566	0.917
87	1.525	0.893
88	1.611	0.976
89	1.563	0.981
90	1.655	0.978
91	1.564	0.921
92	1.565	0.912
93	1.57	1
94	1.6	0.9
95	1.549	0.973
96	/	/
97	1.64	0.974
98	1.642	0.985
99	1.665	1.025
100	1.674	0.967
101	1.536	0.928
102	1.654	0.991
103	1.556	0.982
usée 104	1.434	0.822
105	1.635	0.996
106	1.604	0.981
107	1.51	0.934
108	1.578	0.957
109	1.638	0.964
110	1.612	0.992
111	1.702	1.027
112	1.634	0.998
113	1.595	0.924
114	1.549	0.897
115	1.606	0.964
116	1.587	0.916
117	1.621	0.947
118	1.458	0.849
119	1.64	0.945
120	1.643	0.876

130	1.686	1.047
131	1.777	1.056
132	1.68	1.022
133	1.52	0.997
134	1.609	0.959
135	1.611	0.964
136	1.667	1.036
137	1.531	0.971
138	1.53	0.948
139	1.423	0.868
140	1.583	0.981
141	1.4	0.905
142	1.663	1.036
143	1.667	1.017
Moy.	1.593467	0.959067

<i>Arvicanthis</i>		
M1		
Num.	LM1	IM1
1	3.24	2.42
2	3.12	2.25
3	3.2	2.34
4	3.13	2.22
5	3.12	2.29
6	2.97	2.16
7	2.91	2.2
8	3.18	2.2
21	3.31	2.31
22		
23	3.23	2.22
24	3.01	2.34
Moy.	3.129091	2.268182

<i>Paraethomys</i>		
M1		
Num.	LM1	IM1
1	3.01	2.25
2	3.08	2.14
3	2.8	2.11
4		
5	3	2.14

6	2.7	2
7	2.57	2
8	3.05	2.17
9	3.04	2.01
27	2.83	2.06
28	2.9	2.01
Moy.	2.898	2.089

	Num	LM2	IM2
	1	1.236	0.977
	2	1.219	0.916
	3	1.121	0.994
	4	/	/
	5	1.344	1.06
	6	1.262	0.984
	7	1.317	1.046
	8	1.28	0.998
	9	1.265	1.027
	10	1.264	1.015
	11	1.492	1.067
	12	1.227	0.976
	13	1.448	1.165
	14	1.28	0.976
	15	1.199	0.966
	16	1.256	1.036
	17	1.308	0.981
	18	1.283	0.967
	19	1.178	0.905
	20	1.244	1.02
	21	1.221	0.936
	22	1.312	0.999
	23	1.123	0.991
	24	1.261	1.028
	25	1.325	1.059
	26	1.281	0.972
	27	1.178	0.929
	28	1.244	1.024
	29	1.344	1.118
	30	1.265	1.004
	31	1.291	0.996
	32	1.332	1.101
	33	1.211	1.035
	34	1.21	0.936

	35	1.328	0.904
	36	1.37	0.965
	37	1.284	0.976
	38	1.295	1.02
	39	1.198	0.883
	40	1.316	1.021
	41	1.276	0.975
Moyenne		1.2722	0.9987

Num	Lm2	lm2
42	1.103	0.942
43	1.131	0.959
44	1.075	0.945
45	1.113	0.963
46	1.008	0.845
47	1.112	1.011
48	1.109	0.935
49	1.173	0.965
50	1.248	1.051
51	1.131	0.976
52	1.082	0.958
53	1.131	0.9
54	1.114	0.903
55	1.179	0.885
56	1.03	0.93
57	1.226	0.981
58	1.042	0.918
59	1.048	0.992
60	1.285	0.905
61	1.093	0.943
62	1.068	0.934
63	1.183	1.017
64	1.086	0.939
65	1.129	0.931
66	1.158	0.946
67	1.006	0.894
68	1.215	1.002
69		

Annexes II : Analyse minéralogique et géochimique

Compositions chimiques (Wt%).

Oxyde Mesuré Calculé Différence

=====

CO2 .00 34.65 .0

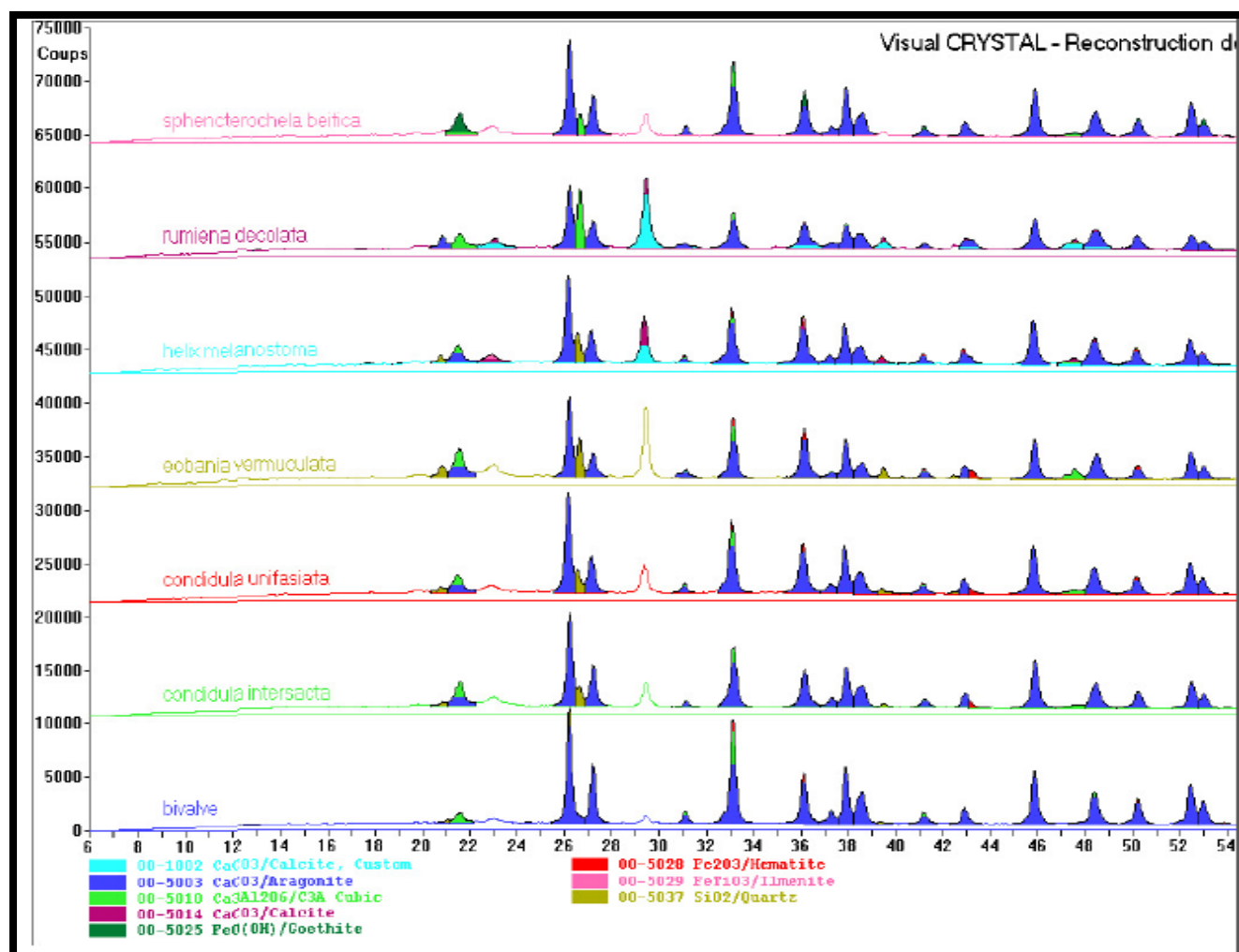
Al2O3 .00 5.05 .0

SiO2 .00 4.13 .0

CaO .00 52.50 .0

Fe2O3 .00 3.66 .0

Total .00 100.00



Compositions chimiques (Wt%).

Oxyde Mesuré Calculé Différence

=====

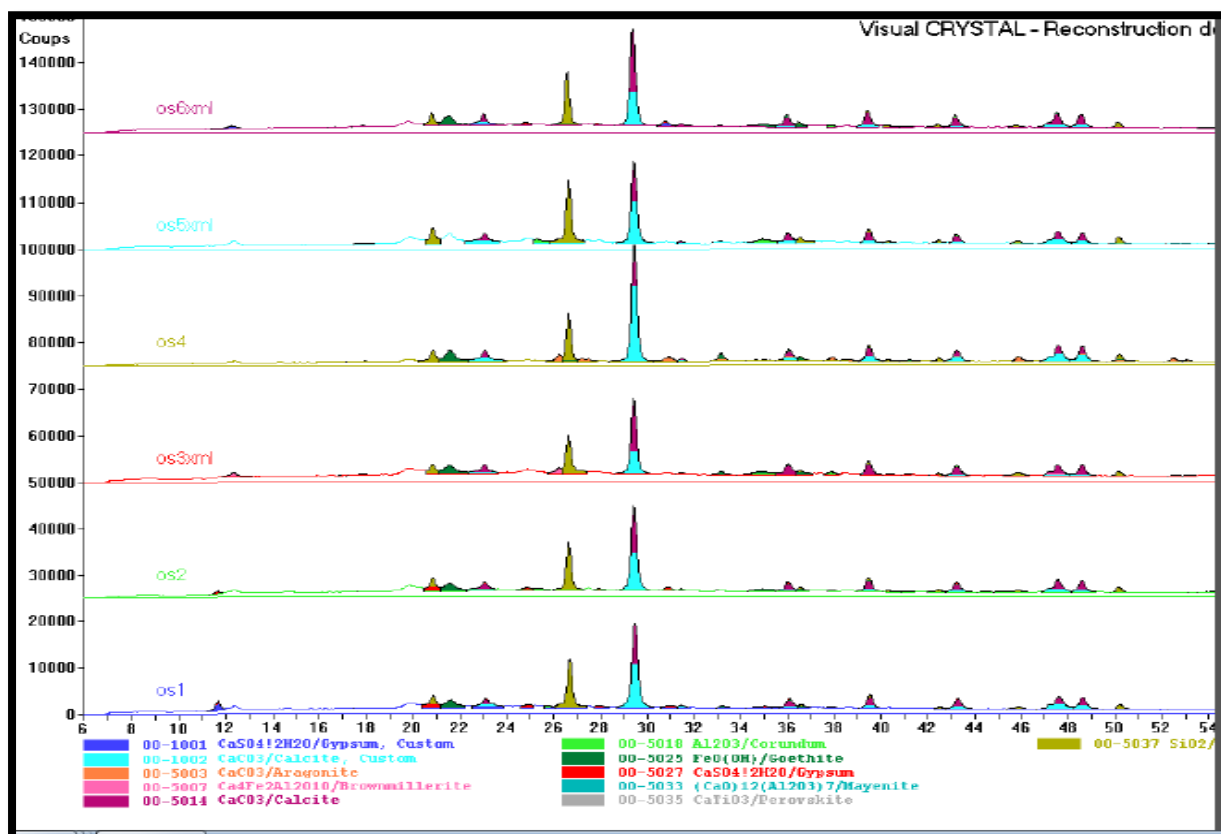
H2O .00 .67 .0

CO2 .00 32.68 .0

SiO2 .00 18.98 .0

CaO .00 41.66 .0

TiO2 .00 .02 .0



Compositions chimiques (Wt%).

Oxide Meas. Calcul. Difference

CO2 .00 32.91 .0

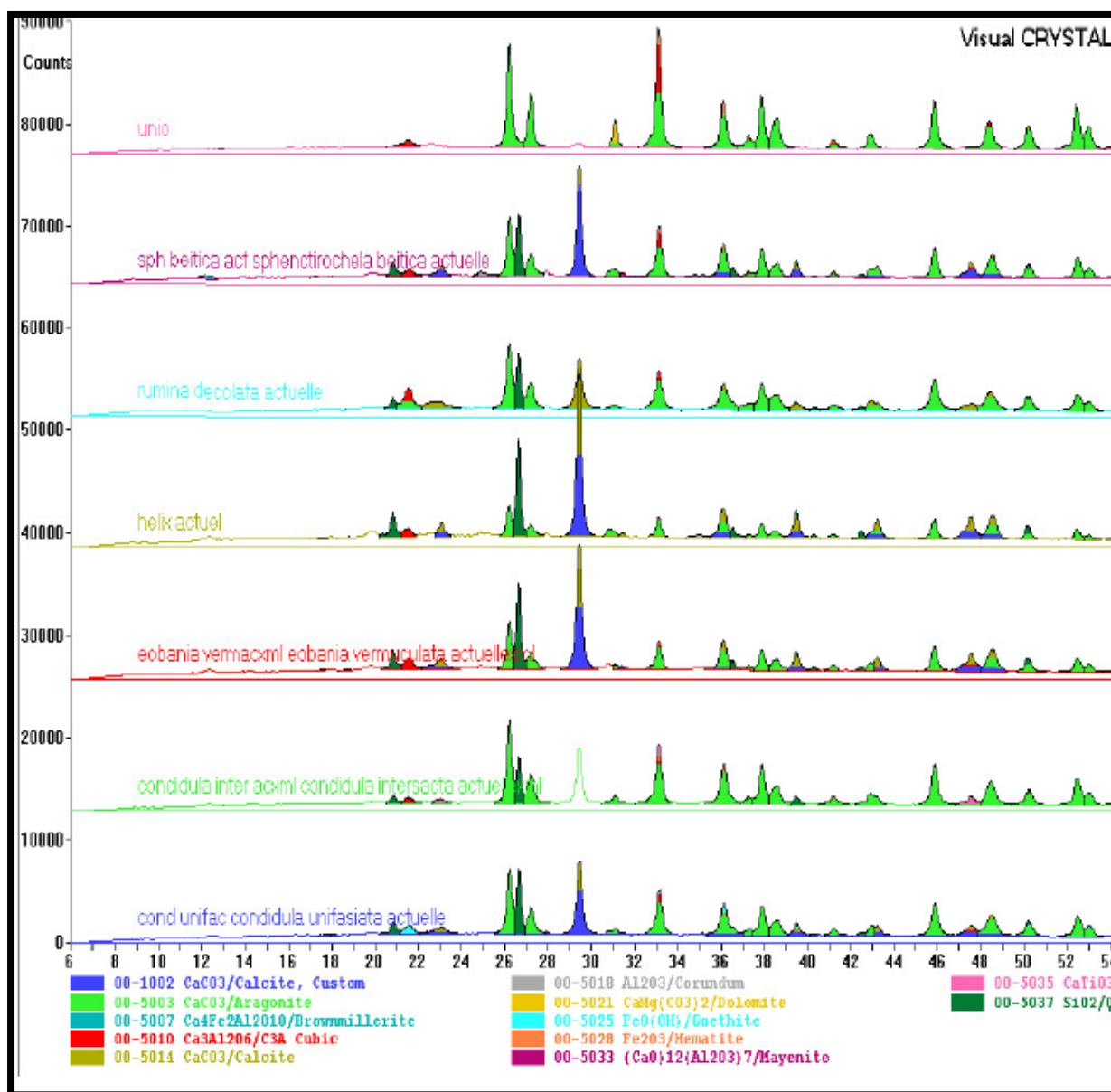
Al2O3 .00 5.29 .0

SiO2 .00 13.14 .0

CaO .00 46.55 .0

Fe2O3 .00 2.11 .0

Sum .00 100.00



Annexe III : Les publications du site d'Oued Sarrat :

1- Annexe III-Article 1

Quaternary Science Reviews 90 (2014) 37–46



Contents lists available at ScienceDirect

Quaternary Science Reviews

journal homepage: www.elsevier.com/locate/quascirev



The early Middle Pleistocene archeopaleontological site of Wadi Sarrat (Tunisia) and the earliest record of *Bos primigenius*



Bienvenido Martínez-Navarro^{a,b,c,*}, Narjess Karoui-Yaakoub^d, Oriol Oms^e, Lamjed Amri^d, Juan Manuel López-García^f, Kamel Zerai^g, Hugues-Alexandre Blain^{b,c}, Moncef-Saïd Mtimet^d, María-Patrocínio Espigares^{h,k}, Nebiha Ben Haj Aliⁱ, Sergio Ros-Montoya^h, Mabrouk Boughdiri^d, Jordi Agustí^{a,b,c}, Hayet Khayati-Ammar^j, Kamel Maalaoui^j, Maahmoudi Om El Khir^{i,j}, Robert Sala^{b,c}, Abdelhak Othmani^d, Ramla Hawasⁱ, Gala Gómez-Merino^b, Àlex Solè^b, Eudald Carbonell^{b,c}, Paul Palmqvist^k

^a ICREA, Barcelona, Spain

^b IPHES, Institut Català de Paleocologia Humana i Evolució Social, C/ Marcell·lí Domingo s/n, 43007 Tarragona, Spain

^c Area de Prehistòria, Universitat Rovira i Virgili (URV), Avda. Catalunya 35, 43002 Tarragona, Spain

^d Faculté des Sciences de Bizerte, Département de Géologie, Université de Carthage, 7021 Bizerte, Tunisia

^e Departament de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, Spain

^f Sezione di Scienze Preistoriche e Antropologiche, Dipartimento di Studi Umanistici, Università degli Studi di Ferrara, C. so Ercole I d'Este, 32, 44100 Ferrara, Italy

^g Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Sfax, Département de Géographie, Université de Sfax, 3023 Sfax, Tunisia

^h Museo de Prehistoria y Paleontología, 18858 Orce, Spain

ⁱ Faculté des Sciences de Tunis, Département de Géologie, Université de Tunis El Manar, 2092 El Manar, Tunisia

^j Office National des Mines, Ministère de l'Industrie, 2035 La Chargaïa, Tunisia

^k Departamento de Ecología y Geología, Universidad de Málaga, Campus Teatinos, 29071 Málaga, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 11 January 2014

Accepted 20 February 2014

Available online

Keywords:

Bos primigenius

Pelorovis

Acheulian

Early Middle Pleistocene

Tunisia

Africa

ABSTRACT

Here we describe the new, rich lacustrine paleontological and archeological site of Wadi Sarrat (Le Kef, northeastern Tunisia), dated to the beginning of the Middle Pleistocene, ~0.7 Ma, by a combination of paleomagnetism and biochronology. This locality preserves the earliest record of auroch, *Bos primigenius*, the ancestor of the worldwide extant domestic cattle species *Bos taurus*, which is represented by a nearly complete, giant-sized cranium (specimen OS1). Both the cranial anatomy and the size of this specimen reflect the phylogenetic legacy inherited from its ancestor, the late Early Pleistocene African *Bos buiaensis*, recorded in the eastern African paleoanthropological site of Buia, Eritrea (1.0 Ma). Given that the latter species is an evolved form of the classical Early Pleistocene African buffalo *Pelorovis oldowayensis*, the finding of *B. primigenius* at Wadi Sarrat shows that the genus *Bos* evolved in Africa and dispersed into Eurasia at the beginning of the Middle Pleistocene, which coincides with the spread of the Acheulian technocomplex in northern Africa and Europe. Therefore, the lineage of *Pelorovis-Bos* has been part of the human ecological landscape since the appearance of the genus *Homo* in the African Early Pleistocene.

© 2014 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

The Wadi Sarrat Basin (Le Kef Province, northwestern Tunisia) has an extension of 2188 km² and an average altitude of 700 m above sea level. It is EW oriented and surrounded by calcareous

mountains of Cretaceous (Aptian) and Eocene age (Fig. 1A–C). This sedimentary basin was formed at the end of the Early Pleistocene and was endorheic, with a central shallow lake, during the Middle Pleistocene. It contains a Pleistocene clastic succession >10 m thick. The stratigraphic series is built up of: a) a lower palustrine–lacustrine dark unit, which is now the normal base of the Wadi Sarrat riverbed and shows meandering morphology, being exposed for >5 km in the surface; and b) an upper fluvial brown unit. A conglomerate bed located 3 m below the top of the lower unit (Fig. 1D and E1) has yielded a large, mostly complete cranium

* Corresponding author. IPHES, Institut Català de Paleocologia Humana i Evolució Social, C/ Marcell·lí Domingo s/n, 43007 Tarragona, Spain. Tel.: +34 696507513.
E-mail addresses: bienvenido.martinez@icrea.cat, bienvenido@iphes.cat (B. Martínez-Navarro).

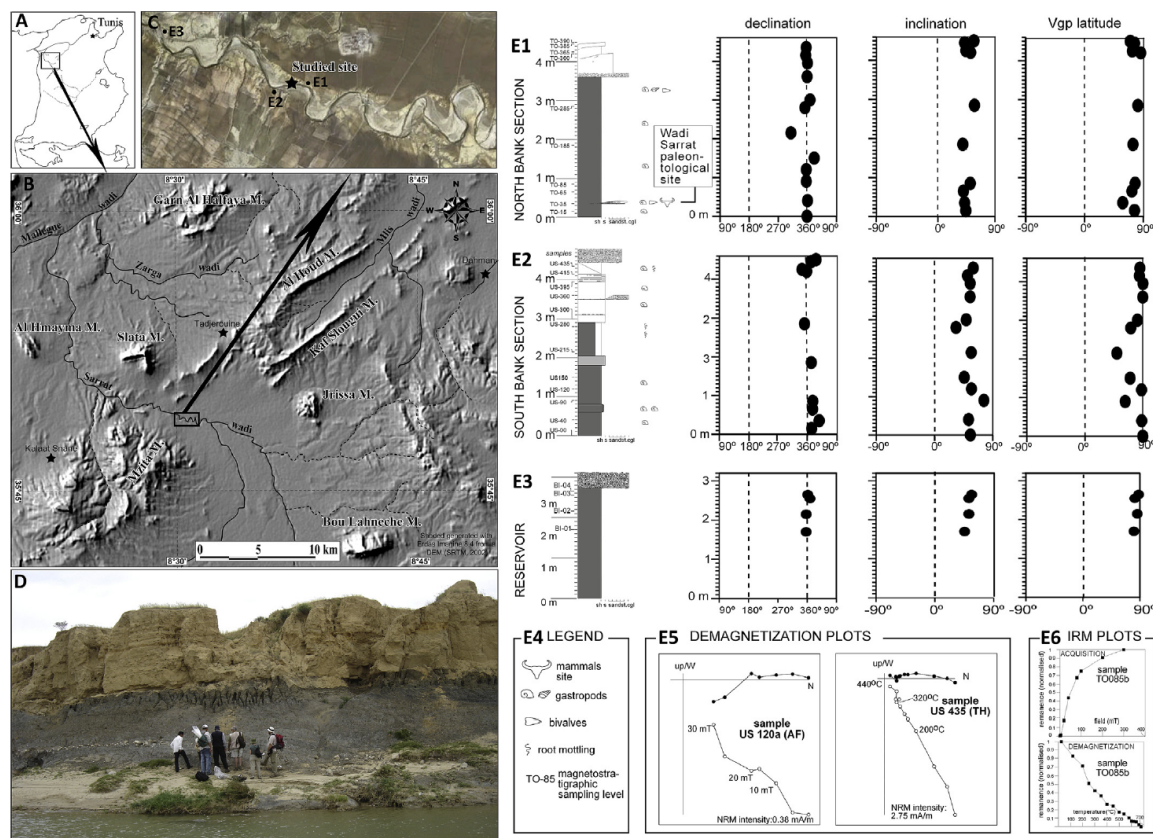


Fig. 1. A. Geographic situation of the Wadi Sarrat Basin. B. Topographic view of the basin. C. Aerial view of the site, showing the meanders of the river on the palustrine black deposits. D. Lower lacustrine–palustrine dark unit (where the *Bos primigenius* cranium OS1 was found) and upper fluvial brown unit (lower and upper part of the cliff, respectively). E. Wadi Sarrat lithostratigraphy and paleomagnetism (E1, E2, E3: sections from the points marked in C), respectively; E4: figure legend; E5: examples of demagnetization plots, alternating fields and thermal demagnetization to the left and right, respectively; E6: IRM acquisition and demagnetization curves). Calculated paleofield values (declination, inclination and latitude of the VGP) indicate clear normal polarities throughout the whole stratigraphic sections.

of *Bos primigenius*, associated with other small and large vertebrates, and Acheulian tools.

2. Materials and methods

2.1. Survey and excavation

The basin was studied systematically, with a complete survey of the river valley outcrops, recording with a GPS in the stratigraphy all the archaeological and paleontological findings (24 fossil vertebrates and 6 lithic artifacts). A systematic methodological excavation of 29 m² was undertaken at the area where the cranium of *B. primigenius* (OS1) was unearthed (coordinates x: 0454811 and y: 3963837), providing 129 fossil bones, 30 lithic artifacts, and 3 charcoal remains. The bones and teeth of small vertebrates (mammals, amphibians, reptilians, and aves) were collected after washing and sieving the sediment; later, the entire concentrate was screened with a binocular magnifying glass.

2.2. Systematic paleontology

Systematic studies of the Wadi Sarrat fauna have been based on appropriate anatomical and traditional metric data for the accurate

characterization of both fossil bones and teeth. In the near future, morphometric analyses of selected species will be performed using landmark-based methods of geometric morphometrics (e.g., superposition of procrustes and relative warp analyses) and outline-based techniques (e.g., eigenshape and Fourier analyses), which will allow their more detailed taxonomic and paleoecological characterization (Martínez-Navarro et al., 2007; Palmqvist et al., 2007, 2011; Figueirido et al., 2011).

2.3. Archeological studies (typology and technology)

Typological and technological studies of the lithic artifacts were developed with the same methodology as the one used in the studies of systematic paleontology, which allows a better understanding of the common and uncommon pattern of the different lithic assemblages found during the Pleistocene.

2.4. Magnetostratigraphy

Paleomagnetic measurements were carried out at the Laboratory of paleomagnetism of the SCT of the Barcelona University – CSIC. Samples underwent a stepwise demagnetization process using both thermal (TH) and alternating field (AF) methods. TH

demagnetization was accomplished with the thermal demagnetizer TSD-1 (Schonstedt) and AF with alternating field demagnetizer D-Tech 2000 (ASC Scientific). Remanence measurements were carried out in a triaxial cryogenic magnetometer for rock measurements (2G). Some preliminary rock magnetic experiments were also carried out in order to characterize the carriers of the Natural Remanent Magnetization (NRM) by studying the Isothermal Remanent Magnetization (IRM) acquisition and further thermal demagnetization. For the IRM acquisition, stepwise fields were applied until 300 mT with a pulse magnetizer IM10-30 (ASC Scientific).

Most of IRM seems to have been acquired around 200 mT and from its thermal demagnetization. Remanence is observed to be reduced some 50% at temperatures slightly higher than 200 °C. Above this temperature, remanence decrease is relatively steady, indicating that remanence contribution is not dominated by a specific magnetic mineral. Demagnetization results evidenced a very stable demagnetization behavior throughout the entire process.

3. Faunal assemblage from the Wadi Sarrat site

An important assemblage of fossil vertebrates has been unearthed from the lower palustrine–lacustrine dark unit. It is composed of several fossil bones and teeth of large mammals, including one carnivore (*Canis* sp., jackal size), two perissodactyls (*Ceratotherium simum* and *Equus* sp. small-middle size), and four artiodactyls (*Suidae* indet., *Hippopotamus* sp., *Bos primigenius*, and *Gazella* sp.). In addition, several fossil teeth of seven small mammals species have been found, including one insectivora (*Crociodura* sp.) and six rodents (*Mus* aff. *spretus*, *Mus* cf. *hamidae*, *Paraethomys* cf. *rbiae*, *Praomys* sp., *Meriones* sp., and *Eliomys* sp.), and there are also some bone fragments from other small vertebrates such as one freshwater fish (Cyprinidae indet.), two anurans [*Discoglossus pictus* (Alytidae) and *Bufo bufo* (Bufonidae)], one terrapin [*Emys* sp., or *Mauremys* sp.], three squamates [an indeterminate small lacertid or scincid lizard, *Natrix maura* (Natricidae), and an indeterminate colubrid snake (Colubridae)], and one small-sized bird (Passeriformes indet.) (see Table S1, Figs. 2–5).

4. Archeology

Six lithic tools were recovered *in situ* during the survey from the Black level of the Wadi Sarrat site and thirty were found during the systematic excavation of the *B. primigenius* cranium locality. The most significant tools are a flake (OS11.N10-5; Fig. 6A) found in the excavation and a core (OS11.PR-29; Fig. 6B) found *in situ* downstream 2 km away from the site. Several flakes were removed from core OS11.PR-29. The orientation of these removals evidences a knapping strategy organized around the core's periphery. The resulting sinuous and irregular edge was effectively used as a striking platform, and removal negatives also served as striking surfaces. The organization of the knapping and the dimensions of both, the core and the removed flakes, fall within the variability of the Mode 2 or Acheulian technological complex.

5. Chronology

The age of the Wadi Sarrat lower palustrine–lacustrine dark unit and site were evaluated by combined magnetostratigraphy and micromammal biostratigraphy.

5.1. Magnetostratigraphy

Three sections were magnetostratigraphically sampled (E1, E2 and E3 in Fig. 1). The first is located on the northern side of the



Fig. 2. Some large mammal remains identified at Wadi Sarrat. A. Right palate of *Canis* sp. (OS10-02, syst. excav.). B. Right upper DP2 of *Equus* sp. (OS10-06, surv.). C. Distal phalanx of *Equus* sp. (OS13-38, syst. excav.). D. Skull fragment with both horn cores of *Gazella* sp. (OS13-102, surv.) (Syst. excav.: systematic excavation; Surv.: survey).

creek (Wadi) and includes the locality where the *B. primigenius* cranium was unearthed. The second is situated 200 m downstream, on the southern wall of the creek. Finally, the third section is located further downstream 2 km away from the site.

Values of declination, inclination and latitude of virtual geomagnetic pole (VGP) series clearly indicated that only normal polarities are found throughout the three sections studied (Fig. 1E). Taking into account the general chronologies provided by the faunal contents (see below), magnetostratigraphic data indicate that the three sections at Wadi Sarrat are placed above the Brunhes–Matuyama boundary, aged 0.78 Ma.

5.2. Biostratigraphy

The small mammals assemblage, collected from systematic excavations at the *B. primigenius* cranium locality, includes one insectivore and six rodent taxa, as mentioned above.

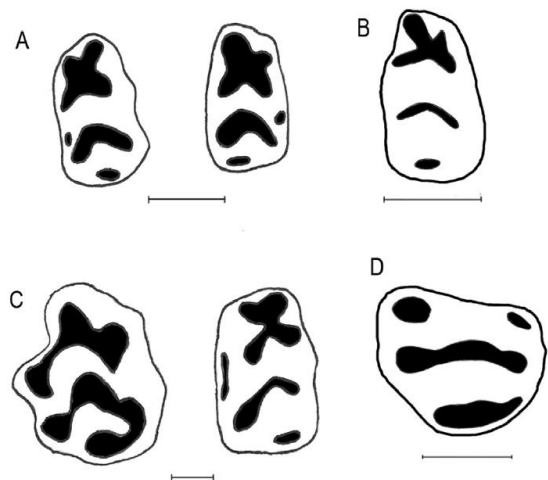


Fig. 3. Some small mammal remains identified at Wadi Sarrat. A: left and right M_1 teeth from *Mus* aff. *spretus*. B: right M_1 from *Mus* cf. *hamidae*. C: right M_1 and left M_1 from *Paraethomys* cf. *rbiae*. D: right M_2 from *Praomys* sp. Scale bars represent 1 mm.

From a biochronological point of view, the most significant taxa are: *Mus* aff. *spretus*, *Mus* cf. *hamidae*, *Paraethomys* cf. *rbiae*, *Praomys* sp., and *Meriones* sp. (Fig. 3).

The genus *Mus* is known in North Africa since the Pliocene. The newly excavated material allowed us to distinguish two different species belonging to this genus. Two teeth show evolved morphological features that help to differentiate the North African specimens dated to the Early Pleistocene (*Mus haouzi*) and the Early–Middle Pleistocene (*M. hamidae*). This allows us to ascribe the specimens to an archaic form of the living species *M. spretus*. Another tooth has morphological characteristics similar to those of the Middle Pleistocene *M. hamidae* from the Grotte Rhinoceros, Morocco (Geraads, 1994). However, due to the scarcity of remains, it has been assigned to *Mus* cf. *hamidae*.

The genus *Paraethomys* is known in North Africa since the end of the Miocene epoch (around 8 Ma (Geraads, 2010). *Paraethomys* cf. *rbiae* from Wadi Sarrat is metrically and morphologically similar to the representatives of this species in other basal Middle Pleistocene sites from North Africa, such as Sidi Abdallah, Oued Krémia, and Djebel Ressas 6 and 8. With the exception of Sidi Abdallah, a basal Middle Pleistocene age (ca 700 ka) has been proposed for these sites (Jaeger, 1975; Mein and Pickford, 1992). In any case, the specimens from Wadi Sarrat are smaller than the typical late Middle Pleistocene representatives of the species (*P. tighennifae* and

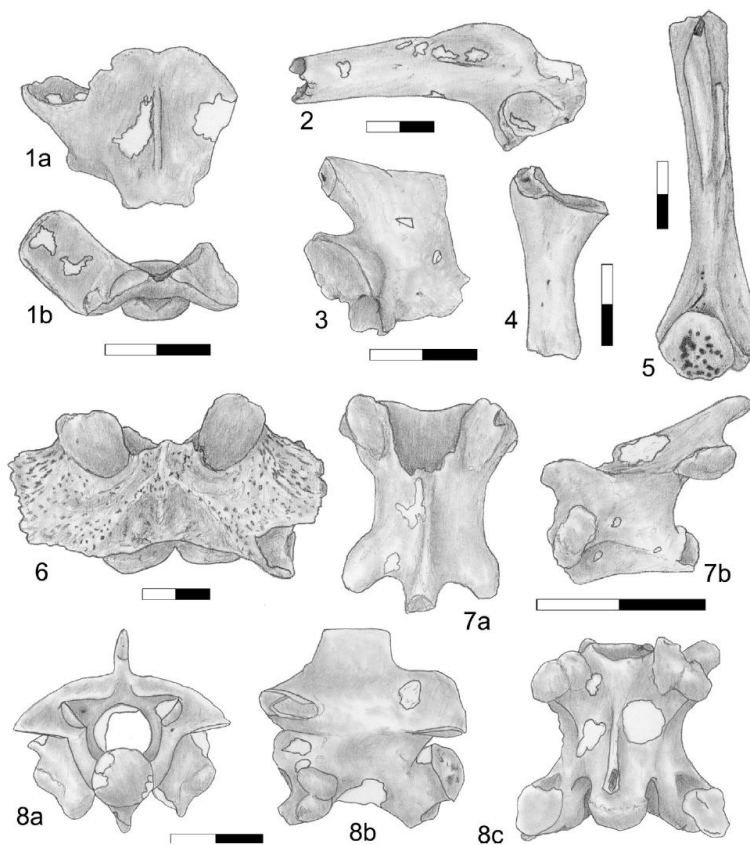


Fig. 4. Amphibians and squamates from Wadi Sarrat. 1–5: *Discoglossus pictus*, 1. Atlas in ventral (1a) and anterior (1b) views; 2. Left ilium; 3. Right scapula; 4. Radius-ulna; 5. Right humerus of a male; 6. *Bufo bufo*, sacrum; 7. *Lacertilia* indet., vertebra in dorsal (7a) and left lateral (7b) views; 8. *Natrix maura*, trunk vertebra in posterior (8a), left lateral (8b) and ventral (8c) views. Scale bars represent 2 mm.

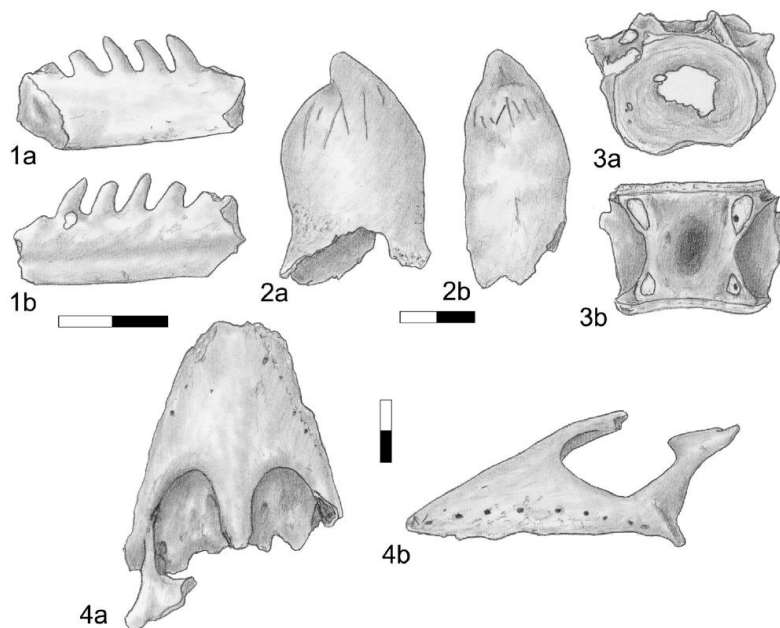


Fig. 5. Fishes and birds from Wadi Sarrat. 1–3: Cyprinidae indet., 1. Fragment of fin spine; 2. Isolated anterior pharyngeal teeth; 3. Vertebra; 4. Passeriformes indet., upper jaw in dorsal (4a) and left lateral (4b) views. Scale bars represent 2 mm.



Fig. 6. A) Flake OS11.N10-5, found during systematic excavations at the *Bos primigenius* cranium locality; B) Core OS11.PR-29, found *in situ* during surveying in the upper boundary of the black level, 2 km west of the *Bos primigenius* cranium locality.

P. ras) (Geraads, 1994, 1995) (Table S2). Given the trend toward a progressive increase in molar tooth size observed in the *Paraethomys* lineage in North Africa (Renaud et al., 1999), an age older than these sites is suggested for Wadi Sarrat.

Furthermore, the genus *Praomys* appeared in North Africa during the Early Pleistocene and disappeared at the beginning of the Middle Pleistocene with the arrival of Saharan species (Stoetzel, 2009). Only one upper second molar has been attributed to this genus, but this tooth has morphological features that allow us to ascribe it to *Praomys*.

Finally, the genus *Meriones* appeared in North Africa during the beginning of the Middle Pleistocene (Stoetzel, 2009). Only one fragmented tooth showing morphological features characteristic of *Meriones* has been recovered from Wadi Sarrat.

Therefore, considered as a whole, the small mammals assemblage from Wadi Sarrat suggests that the site should be close to 700 ka (Table S2, Fig. 7) which is in agreement with paleomagnetic evidence.

6. Paleocology and paleoclimatology

Climatic and paleoecological data are basically supported by the record of reptiles and amphibians present at this site (Fig. 4). All the species of both classes found at Wadi Sarrat are first cited as fossils in Tunisia, and for some of them, their record at the site may correspond also to their earliest occurrence in North Africa. *Discoglossus pictus* was found at the early Middle Pleistocene site (ca 600 ka) of Oulad Hamida 1 (Morocco) (Raynal et al., 2001; Stoetzel, 2009). *Bufo bufo* is recorded in the late Middle Pleistocene–early Late Pleistocene of Doukkala 1 and 2 (Morocco) (Stoetzel, 2009), and in the latest Pleistocene of El Harhoura 1 and 2 (Morocco) (Bailon and Aouraghe, 2002; Stoetzel, 2009). Mentions of terrapins in the fossil record of North Africa are quite rare. *Emys* sp. has been cited in the Pliocene of Ichkeul (Tunisia), *Mauremys leprosa* in the early Pleistocene of Aïn Boucherit (Algeria), in the Middle or Late Pleistocene of Doukkala 1 and 2 (Morocco), and *Emys/Mauremys* in the Holocene of Guenfouda (Morocco) (Stoetzel,

2009). Fossils of *Natrix maura* have been mentioned in North Africa during the latest Pleistocene or Holocene of Guenfouda and El Harhoura 2 (Stoetzel, 2009).

The common toad (*B. bufo*) is distributed throughout most of Europe, southern Siberia (east to Lake Baikal), the Near East, and North Africa, where it is a relict species in the moist and cold mountain areas of Morocco, Algeria and Tunisia (Schleich et al., 1996). In Tunisia, it is a rare species and seems to be present only in the westernmost part of the Mejerda Mountains. The only citation of *B. bufo* (Sicilia et al., 2009) in Tunisia corresponds to a mean annual precipitation of 1500 mm and a mean annual temperature of 17 °C (temperate zone). Nowadays, *B. bufo* lives only in North Africa in the sub-humid bioclimatic level (Sicilia et al., 2009). However, El Kef area is currently included in the semi-arid bioclimatic level, which has a mean annual precipitation comprised between 600 and 500 mm, and mean annual temperatures between 16 and 17 °C. Consequently, the fossil assemblage, considered as a whole, may suggest that the site was formed during a period of more humid and temperate climate than today. Such moister climatic conditions may be related to an interglacial period of the Middle Pleistocene (Dupont and Hooghiemstra, 1989; Stoetzel, 2009).

The relative abundance of freshwater fishes, frogs (*D. pictus*), terrapins (*Emys* sp., or *Mauremys* sp.) and colubrids (*N. maura*), as well as the presence of the megaungulate *Hippopotamus* sp., all document the presence of a lacustrine environment, with a permanent water sheet and abundant aquatic vegetation and bank wild grass. The landscape would have been represented by an alternation of open dry meadows (*Discoglossus*, *Crocidura*, and the ungulates *Gazella* sp., *B. primigenius*, *Equus* sp., and *C. simum*) and open woodlands, as suggested by the presence of murids (*Praomys*, *Paraethomys* and *Mus*), the gliroid *Eliomys* and the common toad (*B. bufo*).

7. The cranium OS1 of *Bos primigenius*

7.1. Anatomical description

The cranial specimen, large and robust, is mostly complete (Table 1, Fig. 8 and Fig. S1). It preserves the posterior part of the face, with most of the upper part of both orbital cavities, and a nearly complete neurocranium with both horn cores preserved complete, a right palatal fragment with a well-marked facial tubercle, the second and third molars (M^2 and M^3), the alveoli of the third and fourth premolars, and of the first molar, and a left palatal fragment with part of the first molar and a root of the second one. The nasals and praemaxilla are both absent. Significant anatomic features are: 1) thick and elongated frontal bones, joined by a marked interfrontal suture; 2) an intercornual protuberance covering the nuchal crest; 3) deep temporal and mandibular fossae; 4) a low and wide occipital bone, with a poorly developed external line; 5) a marked temporal line; 6) a visible nuchal line; 7) a robust nuchal crest; 8) very robust condyles; 9) the base of horn cores situated in the postero-lateral region of the cranium; 10) well marked cornual process necks; 11) very robust horn cores, with the antero-posterior diameter longer than the dorso-ventral one, going a little backward, outward, and then turning forward and a little upward; and 12) prismatic molars with a thick enamel layer, pronounced styles, a distal fossa with a distal spur, and the presence of another small fold in the enamel of the metaconule disto-lingual region.

This cranial specimen corresponds to a large-sized individual, with an estimated body mass in excess of 1000 kg (see below), and is the oldest well-preserved fossil that may be confidently attributed to *B. primigenius* BOJANUS 1827.

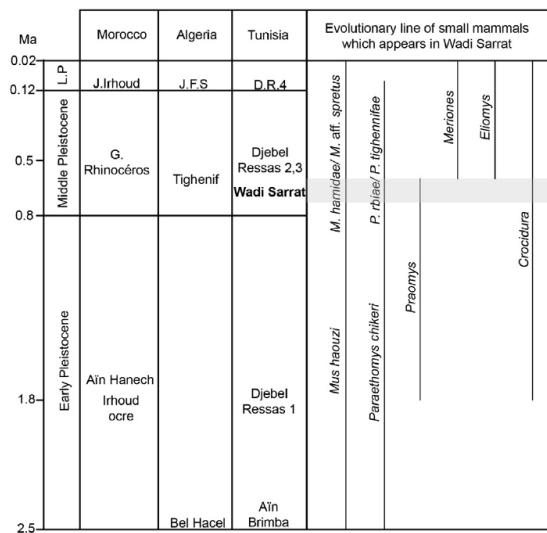


Fig. 7. Biochronological evaluation of the Wadi Sarrat site based on the small mammals assemblage and its comparison with other North African Pleistocene sites (Mein and Pickford, 1992; Geraads, 1994, 2010). The gray square indicates the relative chronological position of the Wadi Sarrat site, close to 700 Ka.

Table 1
 Measurements (in mm and degrees) of the cranium specimen OS1 of *Bos primigenius* from Wadi Sarrat (Tunisia) compared to the type specimen DAN 244 of *Bos buiaensis* from Buia (Eritrea) (Martínez-Navarro et al., 2010).

	OS1	DAN 244
Maximum transversal diameter at upper margin of orbits	300.0 (approx.)	277.0
Transversal diameter at supraorbital foramina	148.4	123.0
Transversal diameter postorbital constriction	250.0 (approx.)	212.3
Transversal diameter at horn-core bases	290.0	138.0
Maximum transversal diameter at occipital	300.0 (approx.)	224.0
Maximum transversal diameter the outer curves of the horn cores	1300.0	
Transversal diameter between the horn-core tips	845.0	
Height top foramen magnum–nuchal crest	91.5	111.0
Height top foramen magnum–top cranium	205.0	
Total cranium height (base–frontal)	242.0	225.0
Transversal diameter at the occipital condyles	155.8	
Transversal diameter at the posterior tuberosities	94.5	
Transversal diameter at the anterior tuberosities	46.9	
Basioccipital–basisphenoid angle	30°	30°

	Left OS1	Right OS1	DAN 244
Circumference at the base of the horn core	385.0	390.5	
Internal length of the horn core	860.0	820.0 (without apex)	
External length of the horn core	1120.0	1115.0 (without apex)	1080.0
Antero–posterior diameter at horn-core base	139.8	144.3	89.5
Dorso–ventral diameter at horn-core base	93.6	92.8	122.8

Teeth	L	WAL	WPL
r. M ² OS1	32.1	–	29.0
r. M ³ OS1	36.9	28.7	25.0
r. M ² DAN 244	30.0	–	29.8
r. M ³ DAN 244	36.6	29.5	27.7

7.2. Body mass estimation for the *Bos primigenius* cranium OS1

The correlation between body mass (BM) and skeletal measurements in living mammals has enabled paleontologists to obtain reliable estimates of body size for extinct species, usually using log-transformed bivariate least squares regression equations (Palmqvist et al., 2002). A dataset of craniodental measurements of living artiodactyls, perissodactyls and hyracoids (Mendoza et al., 2002) has been used for adjusting simple and multiple regression equations of high predictive power for estimating the mass of bovids and other extinct ungulates (Mendoza and Palmqvist, 2006; Mendoza et al., 2006). However, the low preservational completeness of cranium OS1 precluded the use of most of these equations, because very few metric variables could be estimated in the fossil specimen. For this reason, and given that the occipital region of the cranium is the best preserved anatomical portion, a new set of equations was adjusted using a metric variable of the craniodental dataset for the living ungulates (Mendoza et al., 2002), cranial height (SB, measured from the base of the foramen magnum to the top of the occipital region) (Mendoza et al., 2006). These equations were adjusted separately with single regression (SR) analyses by ordinary least squares (OLS) for logarithmically transformed data of BM on craniometric variable SB in ruminants ($N = 97$ species), bovids ($N = 69$) and bovines ($N = 18$). However, both the equations for ruminants and bovids overestimated systematically the mass of the largest living species of *Bos*, which actual BM values are situated well below the lower confidence limit of the regression lines. For

this reason, these equations were discarded and the estimate for the OS1 cranium from Wadi Sarrat was based exclusively on the following one, adjusted only with the species of the subfamily Bovinae:

$$\text{Log}_{10}(\text{BM}) = 0.231 (\pm 0.183) + 2.147 (\pm 0.181)\text{Log}_{10}\text{SB},$$

$$r^2 = 0.897, F_{1,17} = 140.077, p < 0.00001, \text{ s.e.} = 0.14948,$$

$$\%SE = 41.08, \%PE = 26.02$$

This equation (Fig. 9) provides a size estimate of 1603.4 kg for OS1, which indicates that this cranium belonged to a very large-sized individual. However, it is worth noting that although the equation adjusted has a relatively low percent mean prediction error (% PE = 26.02) and provides size estimates for most living species that are close to their actual values (Table S3), the estimate obtained for OS1 could be somewhat biased. The reason is that this early member of *Bos* was clearly very large and, among the living bovines, the masses predicted for the largest species, the gaur (*Bos gaurus*) and the water buffalo (*Bubalus bubalis*), 1266.3 and 1149.3 kg, respectively, are in both cases overestimated by approximately 60% compared to their actual masses, 755 and 725 kg, respectively (Table S3). This means that a BM value slightly in excess of 1000 kg would probably be a more realistic estimate for the *B. primigenius* specimen from Wadi Sarrat. In any case, the BM estimates provided by this equation for other large-sized fossil bovines (e.g., *Pelorovis* from 'Ubeidiyah, Israel, >2500 kg; *Bos buiaensis* from Buia, Eritrea, >1350 kg) are all in agreement with previous estimates based on anatomical and metric comparisons (Martínez-Navarro et al., 2007, 2010, 2012).

It could be argued, however, that the length and width measurements of the preserved upper molars M² and M³ could be also used for adjusting SR functions by OLS that allow predicting BM in bovines. However, although the length of the lower molar tooth row is a good mass predictor for ungulates (Mendoza et al., 2006) and bovids (Mendoza and Palmqvist, 2006), the equations derived from the dimensions of single teeth do not provide accurate estimations for the living bovines, as their percent mean errors (>40%) are well above the one of the equation used here, based on cranial height.

8. Discussion and conclusions

The origin of the genus *Bos* is subject to continuous debate. Although its hybridization with *Bison* is possible (Polziehn et al., 1995), it shows important differences in skull and postcranial anatomy (Gee, 1993; Martínez-Navarro et al., 2007). In this context, the phylogeny of bovine species based on amplified fragment length polymorphisms (AFPL) (Buntjer et al., 2002) shows a tree in which bison and yak species (*Bison bison*, *Bison bonasus* and *Poephagus grunniens*) are grouped separately from oxen (*Bos taurus*, *Bos indicus* and *B. gaurus*), and also from the Asian and African buffaloes *Bubalus* and *Syncerus*, respectively. More specifically, a molecular tree obtained from the combined analysis of three markers (cytochrome b, subunit II of the cytochrome c oxidase and promoter of the lactoferrin) (Hassanin and Ropiquet, 2004) has shown a sister-group relationship between the yak (*P. grunniens*) and the American bison (*B. bison*), and a clustering of the kouprey (*Bos sauveli*) with the two other Indochinese wild cattle species, banteng (*Bos javanicus*) and gaur (*B. gaurus*). The analysis of 128 new complete mitochondrial genomes of Cetartiodactyla (Hassanin et al., 2010) suggests a closer relationship among *B. taurus* and *B. indicus*, on the one hand, and Eurasian *B. bonasus*, on the other. In contrast, American *B. bison* relates more closely to Asian *P. grunniens*, and both cluster with a group formed by *B. javanicus*

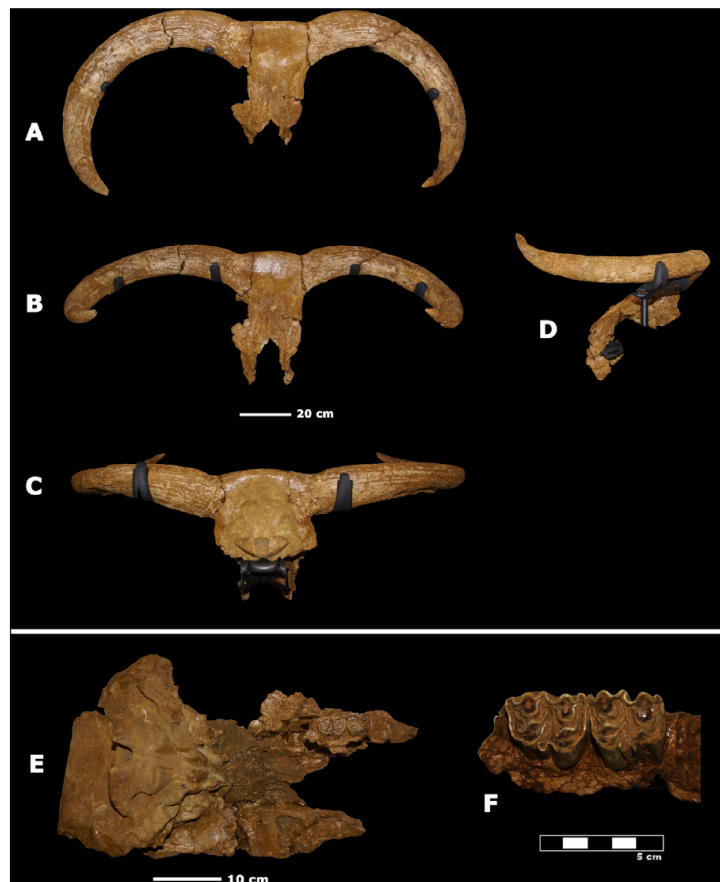


Fig. 8. Cranium OS1 of *Bos primigenius* from Wadi Sarrat. A) Upper view; B) frontal view; C) posterior view; D) left lateral view; E) augmented basal view; and F) detailed occlusal view of the right upper second and third molars.

birmanicus, *B. gaurus* and *B. javanicus javanicus*. However, it must be noted that these results are somewhat biased by introgression of mtDNA from *B. bison* in *B. bonasus* as well as among *B. gaurus* and the subspecies of *B. javanicus*. Finally, a molecular phylogeny for the members of the tribe Bovini, based on amino acid variation and neighbor joining analysis, has confirmed that American bison is more closely related to yak than to oxen (MacEachern et al., 2009). However, it is worth noting that some authors (Gentry, 1978; Groves, 1981) considered *Bos*, *Bibos*, *Bison* and *Poephagus* as subgenera of the genus *Bos*. Similarly, other researchers also included in this group the Late Pliocene–Early Pleistocene genus *Leptobos*, considering it also as a subgenus (Brugal, 1985; Moyà-Solà, 1987), and a form of *Leptobos* was proposed to be the ancestor of the Pleistocene genera *Bison*, *Bos* and *Bibos* (Duvernois, 1990). However, the cranial anatomy of *Bos* is too highly derived as to be considered the result of a direct anagenetic evolution from any form of *Leptobos*.

Based on an anatomical and morphometric study of the cranium and dentition of the large bovines, a new phylogeny for the genus *Bos* was proposed (Martínez-Navarro et al., 2007), considering its evolution separately in Africa, and not in Eurasia as for the lineage *Leptobos*–*Bison*. The ancestor of *Bos* is the Olduvai buffalo *Pelorovis oldowayensis* (Reck, 1928). The genus *Pelorovis sensu stricto* (which

would only include the early Pleistocene forms ascribed to *Pelorovis*) was synonymized with *Bos*, including all the forms of this lineage in the genus *Bos*. Later, Martínez-Navarro et al. (2010) described the new species *B. buiaensis* at the eastern African paleoanthropological site of Buia (Eritrea), dated 1.0 Ma. The new large-sized member of *Bos* described in that site (Table 1 and Table S3) has a robust cranium, which shows an advanced anatomy, with the horn-cores more separated at the base than in *Pelorovis oldowayensis* but less than in *B. primigenius*, and situated in the latero-posterior position of the frontal bones. As a result, Martínez-Navarro et al. (2010) proposed that *B. buiaensis* was the oldest modern large form of the genus *Bos* and distinguished the following species in the genus: A) *Bos turkanensis* for the early Pleistocene African forms, with a cranium which is proportionately more elongated and a primitive dentition that shows a marked spur in the distal face of the metaconule of the upper molars; B) *Bos oldowayensis* for the late Early Pleistocene forms of Africa and the Levantine Corridor younger than the Olduvai normal subchron and older than the Jaramillo normal subchron, which is usually larger and has a cranium more robust than in *B. turkanensis*; C) *B. buiaensis* for the latest Early Pleistocene forms of Africa and the Middle East; and D) *B. primigenius* for the Middle Pleistocene–Holocene forms from Africa and Eurasia.

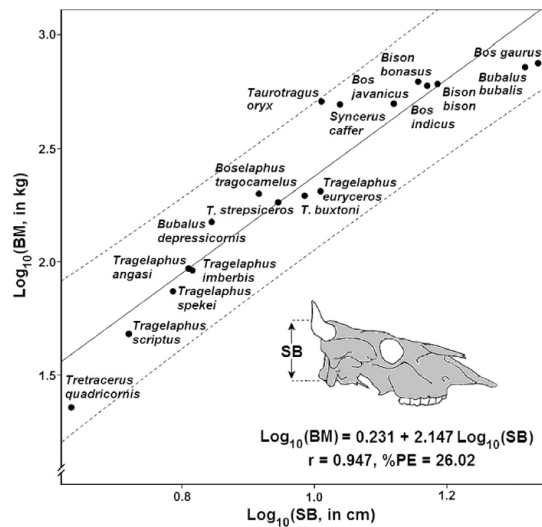


Fig. 9. Bivariate regression of body mass (BM) on occipital height (SB) in different members of the subfamily Bovinae (Mendoza et al., 2006). The dashed lines indicate the $p < 0.05$ limits above and below the regression line. The masses estimated with the regression function for the living bovines are in all cases within the 95% confidence interval around the equation.

This classification has received some criticism (i. ex. Gentry, 2010), but the finding of the earliest evidence of a true modern representative of *Bos*, *B. buiaensis* at 1.0 Myr ago in Buia, Eritrea (Martínez-Navarro et al., 2010), which is older than any other records of *Bos* in Asia, gives credibility to this interpretation.

In this context, the large-sized specimen OS1 from Wadi Sarrat, a site located in the 36° parallel, is one of the largest fossil crania of *B. primigenius* ever found, which is of similar chronology to the skulls from Asbole, Ethiopia (Geraads et al., 2004) ascribed to *Bos* sp., and from Geshar Benot Ya'aqov, Israel (Martínez-Navarro and Rabinovich, 2011), and the postcranial specimens ascribed to *Bos?* cf. *bubaloides* from Tighenif, Algeria (Geraads, 1981), all three of which have been dated to the beginning of the Middle Pleistocene. This giant specimen from Wadi Sarrat can't be related to a latitudinal adaptation to cold climates, as proposed for the Late Pleistocene individuals from northern Europe, Russia or China (Everton, 1975; Zong, 1984; Ekström, 1993), following Bergmann's rule. In contrast, its enormous size must reflect a phylogenetic legacy inherited from its ancestor, the giant East African buffalo *B. buiaensis*, which evolved from *B. oldowayensis*, a species previously named as *Pelorovis oldowayensis* (Reck, 1928; Martínez-Navarro et al., 2007, 2010, 2012; Martínez-Navarro and Rabinovich, 2011).

Finally, it is worth noting that the origin and evolution of the genera *Bos* and *Homo* are parallel in time and space, and the dispersal of *B. primigenius* overlaps in both time and space with the cultural expansion of the Acheulian technocomplex from East Africa into North Africa and Eurasia during the latest Early Pleistocene and the beginning of the Middle Pleistocene (Martínez-Navarro et al., 2007, 2010; Jiménez-Arenas et al., 2011; Martínez-Navarro and Rabinovich, 2011). This dispersal event is evidenced in recent human populations by haplotype trees for mitochondrial DNA, Y-chromosomal DNA, two X-linked regions and six autosomal regions, which show a major expansion event out of Africa 0.84–0.42 Myr ago, characterized by interbreeding rather than replacement of earlier populations (Templeton, 2002).

Acknowledgments

This study has been supported by grants CGL-2008-04896-E, 2010-12138-E, 2010-15326/BTE and 2011-30334/BTE, post-doc grant JCI-2009-04026 for J.M.L-G (all Spanish Ministries of Economy and Competitiveness), AECl-PCI A1/037481/11 (Spanish Ministry of Foreign Affairs), GENCAT 2009 SGR 324 (Generalitat de Catalunya, Spain), and P11-HUM-7248 (Junta de Andalucía, Spain). The logistics and facilities provided by the Bizerte Faculty of Sciences (Carthage University) and the National Office of Mines (ONM) from Tunisia are much appreciated. Technical support for paleomagnetism was kindly provided by B. Beamud and Y. Almar (SCT UB). P.-E. Moullé assisted the team at the beginning of the project on 2008. We thank Professors M. Sakly and A. Ben Haj Amara (former and current Deans of the Faculty of Sciences at Bizerte) and Mr. M. Ben Haj Ali (former Central Technical Director of the National Office of Mines, Tunisia) for their personal support to the project. D. Barsky corrected the English version of the manuscript. Finally, we thank the anonymous reviewers of the original manuscript for their insightful comments.

Appendix A. Supplementary material

Supplementary data related to this article can be found at <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.02.016>.

References

- Bailon, S., Aouraghe, H., 2002. Amphibiens, chéloniens et squamates du Pléistocène Supérieur d'El Harhoura I (Témara, Maroc). *Geodiversitas* 24, 821–830.
- Brugal, J.P., 1985. Le *Bos primigenius* BOJ. 1827 du Pléistocène Moyen des grottes de Lunel Viel (Hérault). *Bull. Mus. Anthropol. Prehist. Monaco* 28, 7–62.
- Buntjer, J.B., Otsen, M., Nijman, I.J., Kuiper, M.T.R., Lenstra, J.A., 2002. Phylogeny of bovine species based on AFLP fingerprinting. *Heredity* 88, 46–51.
- Dupont, L.M., Hooghiemstra, H., 1989. The Saharan–Sahelian boundary during the Brunhes chron. *Acta Bot. Neerl.* 38, 405–415.
- Duvernois, M.-P., 1990. Les *Leptobos* (Mammalia, Artiodactyla) du Villafranchien d'Europe occidentale. Systématique, évolution, biostratigraphie, paléoécologie. *Doc. Lyon* 113, 1–213.
- Ekström, J., 1993. The late Quaternary history of the urus (*Bos primigenius* Bojanus 1827) in Sweden. *Lundqua Thesis* 29, 1–129.
- Everton, R.F., 1975. A *Bos primigenius* from Charterhouse Warren Farm, Blagdon, Mendip (ST 4935 5445). *Proc. Univ. Bristol Spelaeol. Soc.* 14, 75–82.
- Figueirido, B., MacLeod, N., Krieger, J., De Renzi, M., Pérez-Claros, J.A., Palmqvist, P., 2011. Constraint and adaptation in the evolution of carnivore skull shape. *Paleobiology* 37, 490–518.
- Gee, H., 1993. The distinction between postcranial bones of *Bos primigenius* Bojanus 1927 and *Bison priscus* Bojanus 1927 from the British Pleistocene, and the taxonomic status of *Bos* and *Bison*. *J. Quat. Sci.* 8, 79–92.
- Gentry, A.W., 1978. Bovidae. In: Maglio, J.V., Cooke, H.B.S. (Eds.), *Evolution of African Mammals*. Harvard Univ. Press, pp. 264–278.
- Gentry, A.W., 2010. Bovidae. In: Werdelin, L., Sanders, J. (Eds.), *Cenozoic Mammals of Africa*. University of California Press, pp. 747–803 (Chapter XXXVIII).
- Geraads, D., 1981. Bovidae et Giraffidae (Artiodactyla, Mammalia) du Pléistocène de Ternifine (Algérie). *Bull. Mus. Natl. d'Hist. Nat. Paris* 4(8)C (1), 47–86.
- Geraads, D., 1994. Rongeurs et lagomorphes du Pléistocène moyen de la Grotte des Rhinocéros, Carrière Oulad Hamida 1 à Casablanca, Maroc. *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.* 191, 147–172.
- Geraads, D., 1995. Rongeurs et insectivores (Mammalia) du Pliocène final de Ahl al Oughlam (Casablanca, Maroc). *Geobios* 28, 99–115.
- Geraads, D., 2010. Biogeographic relationships of Pliocene and Pleistocene North-western African mammals. *Quat. Int.* 212, 159–168.
- Geraads, D., Alemseged, Z., Reed, D., Wynn, J., Roman, D.C., 2004. The Pleistocene fauna (other than Primates) from Asbole, lower Awash Valley, Ethiopia, and its environmental and biochronological implications. *Geobios* 37, 697–718.
- Groves, G.B., 1981. Systematic relationship of the Bovini (Artiodactyla, Bovidae). *Z. Zool. Syst. Evol.* 4, 264–278.
- Hassanin, A., Deluc, F., Ropiquet, A., Hammer, C., Jansen van Vuuren, B., Matthee, C., Ruiz-García, M., Catzeflis, F., Areskog, V., Thanh Nguyen, T., Couloux, A., 2010. Pattern and timing of diversification of Cetartiodactyla (Mammalia, Laurasiatheria), as revealed by a comprehensive analysis of mitochondrial genomes. *Comp. Rend. Biol.* 335, 32–50.
- Hassanin, A., Ropiquet, A., 2004. Molecular phylogeny of the tribe Bovini (Bovidae, Bovinae) and the taxonomic status of kouprey, *Bos sauveli* Urbain 1937. *Mol. Phylog. Evol.* 33, 896–907.

- Jaeger, J.J., 1975. Evolution des rongeurs, du Miocène à l'actuel, en Afrique Nord-Occidentale (Thesis). Univ. Montpellier.
- Jiménez-Arenas, J.M., Santonja, M., Botella, M., Palmqvist, P., 2011. The oldest handaxes in Europe: fact or artefact? *J. Archaeol. Sci.* 38, 3340–3349.
- MacEachern, S., McEwan, J., McCulloch, A., Mather, A., Savin, K., Goddard, M., 2009. Molecular evolution of the Bovini tribe (Bovidae, Bovinae): is there evidence of rapid evolution or reduced selective constraint in domestic cattle? *BMC Genom.* 10, 179. <http://www.biomedcentral.com/1471-2164/10/179>.
- Martínez-Navarro, B., Belmaker, M., Bar-Yosef, B., 2012. The Bovid assemblage (Bovidae, Mammalia) from the Early Pleistocene site of 'Ubeidiya, Israel: biochronological and paleoecological implications for the fossil and lithic bearing strata. *Quat. Int.* 267, 78–97.
- Martínez-Navarro, B., Pérez-Claros, J.A., Palombo, M.R., Rook, L., Palmqvist, P., 2007. The Olduvai buffalo *Pelorovis* and the origin of *Bos*. *Quat. Res.* 68, 220–226.
- Martínez-Navarro, B., Rabinovich, R., 2011. The fossil Bovidae (Artiodactyla, Mammalia) from Gesher Benot Ya'aqov, Israel: out of Africa during the Early–Middle Pleistocene transition. *J. Hum. Evol.* 60, 375–386.
- Martínez-Navarro, B., Rook, L., Papini, M., Libsekal, Y., 2010. A new species of bull from the Early Pleistocene paleoanthropological site of Buia (Eritrea): parallelism on the dispersal of the genus *Bos* and the Acheulian culture. *Quat. Int.* 212, 169–175.
- Mein, P., Pickford, M., 1992. Gisements karstiques pléistocènes au Djebel Ressay, Tunisie. *C.R. Acad. Sci. Paris* 315, 247–253.
- Mendoza, M., Janis, C.M., Palmqvist, P., 2002. Characterizing complex craniodental patterns related to feeding behaviour in ungulates: a multivariate approach. *J. Zool.* 258, 223–246.
- Mendoza, M., Janis, C.M., Palmqvist, P., 2006. Estimating the body mass of extinct ungulates: a study on the use of multiple regression. *J. Zool.* 270, 90–101.
- Mendoza, M., Palmqvist, P., 2006. Characterizing adaptive morphological patterns related to habitat use and body mass in Bovidae (Mammalia, Artiodactyla). *Acta Zool. Sin.* 52, 971–987.
- Moyà-Solà, S., 1987. Los bóvidos (Artiodactyla, Mammalia) del yacimiento del Pleistoceno inferior de Venta Micena (Orce Granada, España). *Paleontología i Evolució. Mem. Espec.* 1, 181–236.
- Palmqvist, P., Mendoza, M., Arribas, A., Gröcke, D.R., 2002. Estimating the body mass of Pleistocene canids: discussion of some methodological problems and a new 'taxon free' approach. *Lethaia* 35, 358–360.
- Palmqvist, P., Torregrosa, V., Pérez-Claros, J.A., Martínez-Navarro, B., Turner, A., 2007. A re-evaluation of the diversity of Megantereon (Mammalia, Carnivora, Machairodontinae) and the problem of species identification in extinct carnivores. *J. Vert. Paleontol.* 27, 160–175.
- Palmqvist, P., Martínez-Navarro, B., Pérez-Claros, J.A., Torregrosa, V., Figueirido, B., Jiménez-Arenas, J.M., Patrocínio-Espigares, M., Ros-Montoya, S., De Renzi, M., 2011. The giant hyena *Pachycrocuta brevirostris*: modelling the bone-cracking behavior of an extinct carnivore. *Quat. Int.* 243, 61–79.
- Polzehl, R.O., Strobeck, C., Sheraton, J., 1995. Bovine mtDNA discovered in North American Bison populations. *Conserv. Biol.* 9, 1638–1643.
- Raynal, J.P., Sbihi Alaoui, F.Z., Geraads, D., Magoga, L., Mohi, A., 2001. The earliest occupation of North-Africa: the Moroccan perspective. *Quat. Int.* 75, 65–75.
- Reck, H., 1928. *Pelorovis oldowayensis* nov. gen. nov. sp. In: *Wissenschaft, Ergebnisse der Oldoway-Expedition, 1913*, pp. 56–67 (N.F., 3).
- Renaud, S., Benammi, M., Jaeger, J.J., 1999. Morphological evolution of the murine rodent *Paraethomys* in response to climatic variations (Mio-Pleistocene of North Africa). *Paleobiology* 25 (3), 369–382.
- Schleich, H.H., Kastle, W., Kabisch, K., 1996. *Amphibians and Reptiles of North Africa*. Koeltz, Scientific Publishers, Koenigstein.
- Sicilia, A., Marrone, F., Sindaco, R., Turki, S., Arculeo, M., 2009. Contribution to the knowledge of Tunisian amphibians: notes on distribution, habitat features and breeding phenology. *Herpetol. Notes* 2, 107–132.
- Stoetzel, E., 2009. Les microvertébrés du site d'occupation humaine d'El Harhoura 2 (Pléistocène supérieur–Holocène, Maroc): systématique, évolution, taphonomie et paléocologie (Ph.D. these). Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.
- Templeton, A.R., 2002. Out of Africa again and again. *Nature* 416, 45–51.
- Zong, G., 1984. A record of *Bos primigenius* from the Quaternary of the Aba Tibetan Autonomous Region. *Vertebr. Palasiatica* 22 (3), 239–245.

2- Annexe III-Article2 :

Arab J Geosci (2016) 9:345
DOI 10.1007/s12517-016-2310-4



ORIGINAL PAPER

Middle-to-Late Pleistocene malacofauna from the archeopaleontological site of Oued Sarrat (Tajerouine area, NW Tunisia)

Narjess Karoui-Yaakoub¹ · Moncef Said Mtimet¹ · Semeh Bejaoui¹ · Lamjed Amri¹ ·
Noureddine Khalloufi¹ · Lassaad Ben Aissa¹ · Bienvenido Martínez-Navarro^{2,3,4}

Received: 16 June 2015 / Accepted: 11 January 2016
© Saudi Society for Geosciences 2016

Abstract The malacofauna collected from the archeopaleontological site in Oued Sarrat (Tajerouine area, NW Tunisia) is the first reference from the Middle and Late Pleistocene stratigraphic series in Tunisia. These malacologic assemblages are abundant but little diversified; they are considered as continental, lakeside, and fluvial ecosystem forms. They are associated with bones of small and large vertebrates and lithic artifacts. The dominant species of gastropods are *Cernuella virgata* (Da Costa, 1778), *Xerosecta cespitum* (Draparnaud, 1801), and *Sphincterochila baetica* (Rossmässler, 1854) which are typical of the Mediterranean regions. The abundance of these pulmonate terrestrial gastropods indicates a post-mortem transport of shells by floods and fluvial channels. The only bivalve, *Unio ravoisieri* (Deshayes, 1847), still common in the rivers of northern Tunisia, characterizes a typical lakeside environment, with relatively low energy. Considering the recently discovered associated vertebrate remains, their occurrence corroborates the onset of a paleoenvironment landscape with swamps, or even a shallow freshwater paleolake with close forests. Hence, this environment also inhabited by a diversity of large mammal species and other abundant microvertebrates and invertebrates was a

support for human survival within these northern African latitudes.

Keywords Malacofauna · Middle-Late Pleistocene · Paleoenvironment · Acheulian · Oued Sarrat · NW Tunisia

Introduction

A few and disparate thematic works have dealt with the Pleistocene deposits of Tunisia. In O. Sarrat (Tajerouine area), the first invertebrate collection was produced by the North American paleontologist Pr. Robertson during the 1970s. These were assigned to Neogene. To our knowledge, no systematic excavation with stratigraphic sampling and rigorous marking was undertaken. During the year 2008, a megavertebrate remain of a previously unknown skull was gathered by an amateur non paleontologist; this imposed the necessity to check and evaluate the value and potential scientific contribution of the site paleontological content. Soon after, a Tunisian-Spanish project implying pluridisciplinary specialists has been established. The first investigations in this archeopaleontological site has revealed promising small- and large-vertebrate data, with a special interest to the species *Bos primigenius*, where the worldwide earliest representative of this bovid species has been reported by our team together with lithic artifacts of the Acheulian technocomplex (Martínez-Navarro et al. 2014). The chronology of this site was also established on paleomagnetism and biochronological data from microvertebrates (Martínez-Navarro et al. 2014; Mtimet et al. 2014). In continuation of these works, the present paper aims to describe the first Quaternary continental mollusks documented in northwestern Tunisia. Associated with the archeopaleontological remains, these also serve to

✉ Narjess Karoui-Yaakoub
narjess1999@yahoo.fr; Narjess.ElKarouiYaakoub@fsb.mu.tn

¹ Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences de Bizerte, Université de Carthage, Jarzouna, 7021 Bizerte, Tunisia

² ICREA, Barcelona, Spain

³ Institut Català de Paleocologia Humana i Evolució Social, Campus Sescelades URV (Edifici W3), 43007 Tarragona, Spain

⁴ Àrea de Prehistòria, Universitat Rovira i Virgili (URV), Avda. Catalunya, 35, 43002 Tarragona, Spain

Published online: 21 April 2016

Springer

characterize and reconstruct the Middle and Late Pleistocene paleoenvironments of the Oued Sarrat basin.

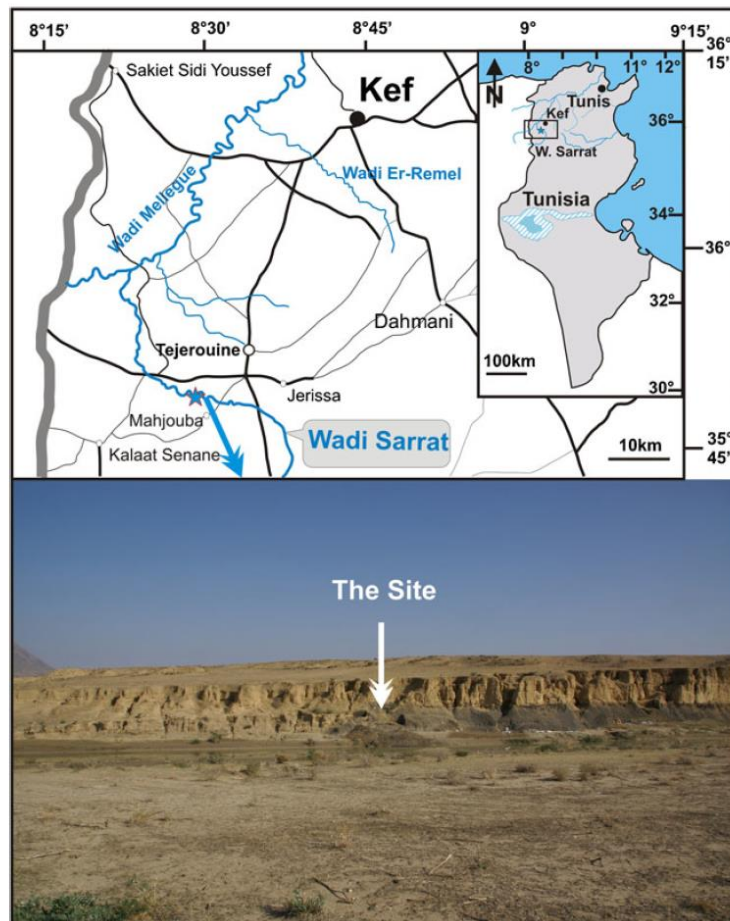
The Oued Sarrat bearing—site location

Close to the Algerian border, the Oued Sarrat area of north-western Tunisia is located about 10 km to the southwest of Tajerouine city and 1 km to the north of the Mahjouba village. This river is a tributary of O. Mellegue that belongs to the 2188-km² O. Sarrat basin at 700 m above the sea level. The geomorphological context consists of an intermediate zone between the central and the northern Atlas of Tunisia, dominated by folded structures interspersed with rift basins corresponding to the kalaa el Khasba and Rouhia depressions (Buroillet and Sainfeld 1956). The Middle and Late Pleistocene stratigraphic series crop out on both sides of Oued Sarrat (Fig. 1).

Lithological succession and accompanying paleontological content

The Pleistocene stratigraphic series of Oued Sarrat (OS) are represented by three levels (Fig. 2). At the base, a compact layer of gray-black marl exceeds 4 m in thickness. This layer revealed a rich and a very diverse vertebrate fauna (Martinez-Navarro et al. 2014; Mtimet et al. 2014): a mostly complete skull with both horn cores of *B. primigenius* together with other remains of *Canis* sp. (jackal size), two perissodactyls (*Ceratotherium simum* and *Equus* sp. small-middle size), four artiodactyls (*Suidae* indet., *Hippopotamus* sp., and *Gazella* sp.), one insectivora (*Crocidura* sp.), six rodents (*Mus* aff. *spretus*, *Mus* cf. *hamidae*, *Paraethomys* cf. *rbiae*, *Praomys* sp., *Meriones* sp., and *Eliomys* sp.), some bone fragments of a small freshwater fish (*Cyprinidae* indet.), two anurans [*Discoglossus pictus* (*Alytidae*) and *Bufo bufo* (*Bufo* indet.)], one terrapin (*Emys* sp. or *Mauremys* sp.), three squamates [an indeterminate small lacertid or scincid lizard, *Natrix maura*

Fig. 1 Top: Geographic location of the study area. Bottom: panoramic of the site with the systematic excavation in the center



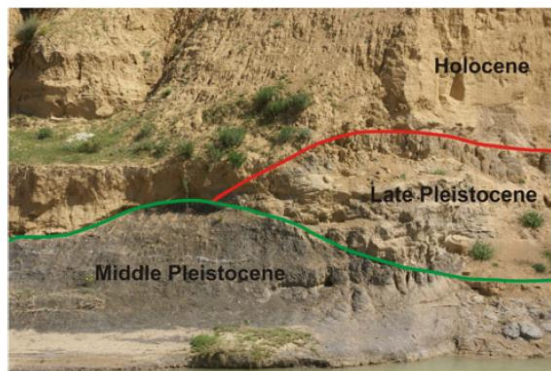


Fig. 2 The unconformity between the Middle and Late Pleistocene and between the Late Pleistocene and Holocene (Martínez-Navarro et al. 2014)

(Naticidae), and an indeterminate colubrid snake], and one small-sized bird (indet. Passeriforms).

In association with this fauna, some lithic tools, corresponding to the Acheulian technocomplex, have been gathered after a systematic excavation within this stratigraphic level. These marls also yielded very rich invertebrate assemblages from the OS1 and OS2 samples, mainly gastropod and bivalve mollusks. This level is dated as Lowermost Middle Pleistocene (~0.7 Ma) using fossil rodent association and magnetostratigraphy (Martínez-Navarro et al. 2014; Mtimet et al. 2014).

Underlined by an erosive discontinuity, another 2-m-thick clayey level, less compact and light gray in color (OS3), was dated as Late Pleistocene. This level is also rich in vertebrate fauna (*Panthera cf. leo*, Elephantidae indet., *Gazella* sp., indet. Suidae) and invertebrates (bivalves, gastropods) (Martínez-Navarro et al. 2014; Amri 2011, 2014; Mtimet et al. 2014; Bejaoui 2014).

Both marly levels are topped by a yellow to brownish sandy level, exceeding 4 m in thickness (OS4) where Holocene gastropods were collected (Martínez-Navarro et al. 2014).

Materials and methodology

The fieldwork was carried out during two periods, in 2011 and in 2013. A systematic methodological excavation of 30 m² was undertaken in the area where was discovered *B. primigenius*. This grid area from the investigated site underwent a systematic excavation with a wise marking. This required the establishment of a Cartesian system of metric squares with detailed mapping of the recovered materials. On individual sheets for each of the squares were mentioned useful informations (direction, dip, spatial coordinates *x*, *y*, and *z*, all with a photography of the interesting fossil remains). The cleared sediment samples (which may reach the volume of 30 m³) were sieved through 2- and 5-mm meshes, and the

paleontological content was carefully dried in situ. A preliminary sorting of the residues depended on their size and nature. For the malacological fauna, the number of shell specimens per sediment volume is noted. All gathered specimens were observed under a binocular microscope.

The minimum numbers of individuals (MNI) for molluscan remains are calculated by counting the frequency of a restricted number of nonrepetitive elements (NREs), the spire of gastropods and hinge of bivalves. Species identification and paleoecological interpretation were based on the reference works of Germain (1930); Favre (1927); Sparks (1961); Lozek (1964); Puisségur (1976); Kemey and Cameron (1979); Kemey et al. (1983, 1999); Rousseau (1990); Fechter and Falkner (1990); Limoldin-Lazouet (1997); Limoldin-Lazouet and Antoine (2001) and Limoldin-Lazouet et al. (2002).

Systematic paleontology of the malacofauna

The malacofauna is not very diversified; only seven species belonging to four families and six genera were identified. They include six terrestrial gastropods and a single aquatic bivalve (freshwater mussel) (Figs. 3 and 4). All the collected specimens are hosted in the laboratory of Stratigraphic Paleontology of the Earth Science Department of the Faculty of Bizerte in Tunisia.

Family: Helicidae Rafinesque, 1815

Genus: *Helix* Linnaeus, 1758

Species: *Helix melanostoma* (Draparnaud, 1801)

Fig. 4(1 and 2)

Synonymy

Helicigona melanostoma Coutagne (1882 and 1892)

Helix melanostoma Ziano and Stévanovitch (1992)

Helix melanostoma Aubry (2003)

Material

The MNI varies between 21 (Middle Pleistocene) and 98 (Late Pleistocene).

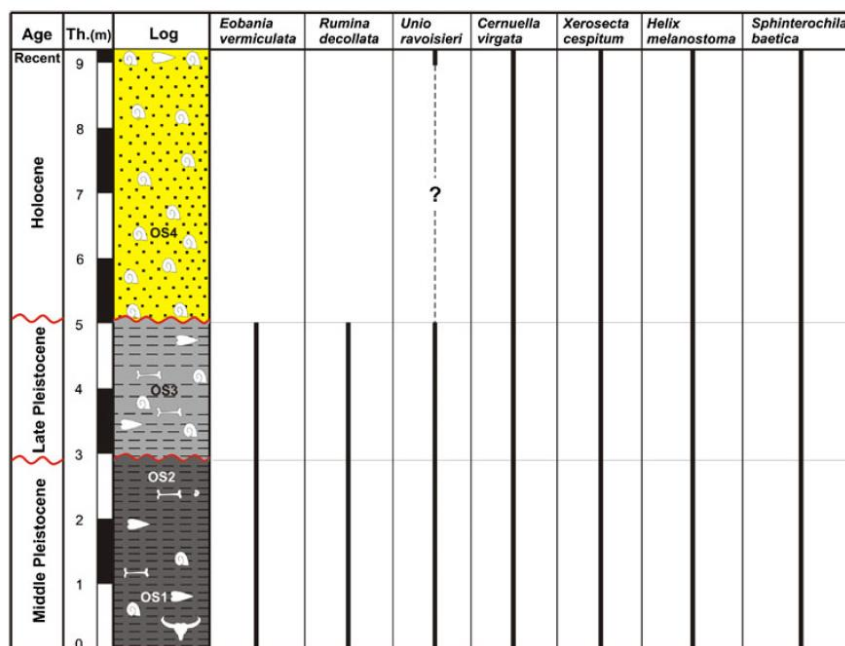
Description

A beige shell, highly globular potbellied, rough-looking and showing more marked striations on the last whorl. The spiral side is very convex with a slightly high spire, consisting of fast-growing four whorls. The last whorl is very large and convex; the sutures are deep and slightly oblique. Low apex, fairly at the same level as the last whorl. The umbilical face is convex with a very small umbilicus. The aperture is rounded to angular towards the summit with a labial edge slightly thickened. The columellar edge is curved, flattened, and robust. The original purple pigmentation can be fossilized in some individuals. *H. melanostoma* is collected in the Middle and Late Pleistocene with a notable abundance at the base of the series.

Dimensions: height 30 to 50 mm, width 25–40 mm, and aperture 20 to 30 mm.

Geographical distribution and paleoecology

Fig. 3 Vertical distribution of mollusk species found in the Oued Sarrat stratigraphic series



H. melanostoma is a common species in western and southern Mediterranean countries. It is recorded in Morocco, Algeria, Libya, Egypt, south of France, and Spain. It lives in the plains, fields, and farmlands with a preference for humid microhabitats. It is quite abundant in northern Tunisia (Magnin 1991b).

Family: Sphincterochilidae Zilch, 1960

Genus: *Sphincterochila* Ancey, 1887

Species: *Sphincterochila baetica* (Rossmässler, 1854)

Fig. 4(3 and 4)

Synonymy

Helix baetica Rossmassler 1854

Material

Forty-seven individuals were collected from the Middle Pleistocene marls and 110 individuals from the Late Pleistocene level.

Description

Robust and smooth, beige to reddish shell, slightly tapered and typically convex with a blunt apex. The spire consists of five to six whorls, with a relatively fast growth and shallow sutures. The final whorl is rounded and well developed. The umbilicus is covered; the aperture is round, crescent-shaped with a thick labial edge, blunt, and slightly reflected outward.

Dimensions: height 16 to 22 mm, width 12 to 18 mm, and aperture 5 to 11 mm.

Geographical distribution and paleoecology

S. baetica is known at the southeast of Spain (Andalucia, Almería, Murcia), at the north of Morocco, and at the northwest of Algeria.

This species is found in arid to semi-desert environments, living on the hills of steppe vegetation, both on the coast and inland. It prefers the desert mountains and rocky areas (Magnin 1988a; Abbes et al. 2011).

Genus: *Eobania* Hesse, 1913

Species: *Eobania vermiculata* (Müller, 1774)

Fig. 4(5 and 6)

Synonymy

Helix vermiculata O.F. Müller, 1774

Helix concolor De Cristofori & Jan. 1832

Helix linusae Calcara, 1846

Material

Seventy-nine individuals (22 from the Middle Pleistocene marls and 57 from the Late Pleistocene).

Description

Beige to whitish shell, fat, slightly convex on the spiral side and almost flattened on the aperture. The spire consists of five slightly convex whorls in which the first three have a faster growth and shallow sutures. The last whorl lowers sharply at the aperture which is flattened and very stretched. The labrum is blunt, little reflected, and completely overlapping the umbilicus. The columellar edge is elongated and widened.

Dimensions: width 22 to 30 mm, height 14 to 27 mm, and aperture from 7 to 11 mm.

Fig. 4 1 and 2 *Helix melanostoma* (Draparnaud, 1801); 3 and 4 *Sphincterochila baetica* (Rossmassler, 1854); 5 and 6 *Eobania vermiculata* (Müller, 1774); 7 and 8 *Cerņuella virgata* (Da Costa, 1778); 9 and 10 *Xerosecta cespitum* (Draparnaud, 1801); 11 and 12 *Rumina decollata* (Linnaeus, 1758); 13 and 14 *Unio ravoisieri* (Deshayes, 1847); and 15 *Unio ravoisieri* fossilized in the sediment of the Middle Pleistocene with welded valves. Scale bar = 10 mm



Geographical distribution and paleoecology

Typically Mediterranean (Morocco, Algeria, Tunisia, Spain, France, Italy, and Greece), *E. vermiculata* prefers calcareous rocks and dry locations. It is a thermophilic species, abundant in the shrub and brushy areas. It often protects itself against solar radiation hiding under vegetation or under stones. To aestivate, it settles on the trunk or branches of shrubs.

Family: Hygromiidae Tryon, 1866

Genus: *Cerņuella*, Schlüter, 1838

Species: *Cerņuella virgata* (Da Costa, 1778)

Fig. 4(7 and 8)

Synonymy

Helix aglameta J. Mabille, 1882

Helix lutulenta Locard, 1899

Helix augustiniana Bourguignat, 1880

Helix balteata Pollonera, 1892

Material

The MNI is respectively 1372 and 1844 (Fig. 5).

Description

Whitish gray shell, globular to relatively depressed form with tight longitudinal and well-marked striations. High spire formed by five to six convex whorls, the outer being large and rounded. The aperture is often circular, rarely oval, with a labial and flared edge. The columellar edge is curved and reflected on the deep and narrow umbilicus.

Dimensions: width 5 to 9 mm, height 3 to 6 mm, and aperture 3 to 7 mm.

Geographical distribution and paleoecology

Known from dry habitats, in sandy dunes and on calcareous substrates, linked to herbal plants, roadsides, cultivated fields, and railways. It is widespread in coastal regions of the Mediterranean Sea [Morocco, Algeria (Damerđji 1990), Tunisia] and in the central and western European coasts from

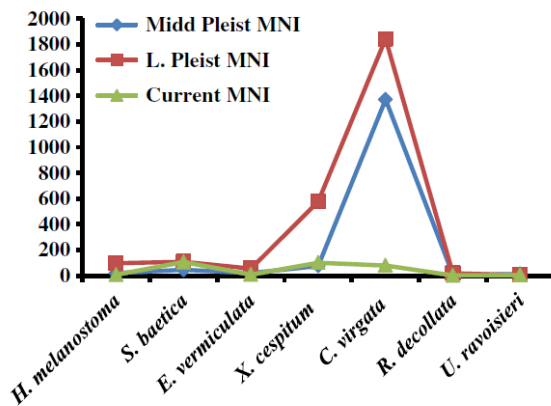


Fig. 5 Representation of the minimum number of individuals (MNI) of species of mollusks of the Oued Sarrat site in the Middle Pleistocene, Late Pleistocene, and present

Netherlands to Spain including the British Isles (Kerney et al. 1999; Manganelli et al. 1995; Gittenberger 1993).

Species: *Xerosecta cespitum* (Draparnaud, 1801)

Fig. 4(9 and 10)

Synonymy

Helix cespitum Draparnaud, 1801

Material

The minimum number of individuals equals to 77 in the Middle Pleistocene marls. In the Late Pleistocene, the MNI becomes more important and it reaches 577 individuals (Fig. 5).

Description

Whitish gray thin shell, slightly globular and flattened with a low spire and tight and well-marked longitudinal striations. The spire is formed by five to six not very convex whorls and with quite marked sutures. The last whorl is large and rounded or slightly keeled. The aperture is nearly round to slightly stretched with a sharp edge and a flared lip. The columellar edge is curved and reflected on the deep umbilicus, leaving an apparent part of the inner winding of the penultimate whorl.

Dimensions: width 8 to 25 mm, height 6 to 19 mm, and opening 5 to 10 mm.

X. cespitum is represented by minimum numbers of individuals equal to 77 and 577, respectively.

Geographical distribution and paleoecology

X. cespitum is frequent in wastelands, margins of roads, and arable fields and on rock rubble with grasses; it occurs but not commonly in mountains. This species is known from the western part of the Mediterranean basin, in Spain, Italy, Sardinia, Corsica and southern France, Belgium, in North Africa, and Morocco to Tunisia (Gargominy 2011).

Family: Subulinidae P. Fischer & Crosse, 1877

Genus: *Rumina* Risso, 1826

Species: *Rumina decollata* (Linnaeus, 1758)

Fig. 4(11 and 12)

Synonymy

Helix decollata Linnaeus, 1758;

Bulimus decollatus var. *truncata* Mousson 1854

Rumina decollata var. *sahárica* Pallary 1901

Material

This species is represented by minimum numbers of individuals equal to 10 and 20, respectively.

Description

Elongated brownish beige shell with a spire consisting of four to six whorls, slightly convex. The last whorl larger than the others with more or less deep sutures. The apex, when observed (in very young specimen), is widely truncated. The test is more or less solid and ornamented of irregular slanting and longitudinal striations. The aperture is inclined and oval and the peristome is generally straight. The columella is fairly straight, sometimes slightly curved and truncated at the base. The umbilicus is completely covered.

Dimensions: height 45 mm, diameter 14 mm, and aperture 6 to 11 mm.

Geographical distribution and paleoecology

R. decollata is typical of several regions from northern and southern of the Mediterranean Sea. It occurs in dry areas but prefers humid microhabitats under rocks, grasses, and shrubs and at slopes, edge ditches, and past gardens (Issel 1914; Carr 2002).

Family: Unionidae Rafinesque, 1820

Genus: *Unio* Philipsson, 1788

Species: *Unio ravoisieri* (Deshayes, 1847)

Fig. 4(13 and 15)

Synonymy

Unio ravoisieri var. *issericus*, Kobelt, 1884

Unio zenaticus Letourneux & Bourguignat, 1887

Unio seurati Kobelt-Van Damme, 1984

Material

The minimum number of individuals varies between 13 and 6.

Description

Elongated whitish, equivalve and inequilateral shell with a prominent apex (umbo) and finely striated, characterized by isolated and few tubercles. The upper edge is rectilinear whereas the lower edge is generally arched with a sinuous depression. The posterior U-shaped edge is descending and narrow. The impressions of the anterior muscles are clearly separated; whereas, the posterior ones are not very marked with a lacking pallial sinus. On the left valve, the two lateral teeth are lamellar, often curved and sculpted. Both cardinal teeth are separated by a shallow dimple.

Dimensions: The length can exceed 100 mm. Average length 92, average height 46.5, average convexity 31 mm. The height/length ratio (*L/H*) varies between 1.8 and 2.1.

Geographical distribution and paleoecology

In the Maghreb, this species colonizes not only the rivers of the northern Atlassic mountains (Khalloufi and Boumaïza

2005, 2007) but also the coastal rivers of the Atlantic and the Iberian Peninsula (Ghamizi 1998).

U. ravoisieri is known to colonize permanent and temporary water flows, with fast or slow current. It adapts at low to slightly high salinity (between 1 and 4 psu). It is currently found in association with fish of the *Cyprinidae* family (Khalloufi et al. 2011). This is confirmed in Oued Sarrat (Mtimet, thesis in progress).

Quantitative analysis and malacofauna distribution

As shown in Fig. 3, the gathered malacofauna species from O. Sarrat span the Middle and Late Pleistocene. Higher, *E. vermiculata*, *R. decollata*, and *U. ravoisieri* reach the Holocene levels but are no longer documented above, while *H. melanostoma*, *S. baetica*, *X. cespitum*, and *C. virgata* are well known in present-day biotopes. Rare specimens of *U. ravoisieri* were found in sediments of a tributary of Oued Sarrat. This freshwater species is Holocene in age. A standardized quantitative study of Middle and Late Pleistocene mollusks is shown in Fig. 5.

In the Middle Pleistocene sediments, a clear spectrum dominance of *C. virgata* (1372 specimens, 88 %) and *X. cespitum* (77 individuals, 5 %) is easily noted. The unique bivalve species *Unio ravoisieri* is represented by only 13 specimens.

In the Late Pleistocene levels, *H. melanostoma*, *S. baetica*, *E. vermiculata*, *C. virgata*, *X. cespitum*, and *R. decollata* dominate. Within this assemblage, *C. virgata* (1844 individuals, 68 %), *X. cespitum* (577 individuals, 21 %), and *S. baetica* (110 individuals, 4 %) are highly represented. Compared to the Middle Pleistocene, *S. baetica* and mainly *H. melanostoma* become abundant but still less represented than the other Late Pleistocene accompanying species. The remaining components of the spectrum are scarce with 6 to 57 individuals. The bivalve species *U. ravoisieri* becomes notably scarce (6 individuals).

From this quantitative overview, in the Middle and Late Pleistocene, *Cermuella* and *Xerosecta* genera dominate the malacofauna spectrum in western Tunisia.

S. baetica, still scarce in Middle Pleistocene, became a little more abundant in Late Pleistocene. The species *C. virgata*, *X. cespitum*, and *S. baetica* that dominate the assemblage since the Middle Pleistocene characterize Mediterranean, hot and dry environments with rainy periods. These are xerothermic species known to live in dry and arid environments and bind strongly to herbaceous plants. The relative abundance of gastropods in the Middle and Late Pleistocene may indicate a phase of maximum development of vegetation in the region. Both species, *H. melanostoma* and *E. vermiculata*, are lowly represented; they would have had some difficulties to colonize natural habitat. Their low occurrence may be interpreted as due to human predation. Nevertheless, our available data are not sufficient enough to discuss this hypothesis considering

that such an activity is recorded for only upper Pleistocene times. In fact, these two species are closely related to human activities and anthropized environments (Magnin 1988b).

The abundance of pulmonate terrestrial gastropods corroborate the onset of lacustrine and/or continental with a possible post-mortem transport of gastropod shells by floods and fluvial channels. Some authors consider the Mediterranean climate is characterized by a hot dry summer with main rainfalls during autumn (e.g., Daget 1980). This would have taken an often stormy character, inducing a certain fragility of soil and vegetation cover (Collective 1984; Quézel and Médail 2003a, b).

The unique bivalve species *U. ravoisieri*, although very rare in Oued Sarrat, may characterize an openly subaquatic environment (freshwater), typically lakeside, with a relatively low energy or a landscape covered by a shallow paleolake, or over permanent or temporary waterway. The presence of welded valves of *U. ravoisieri* can be considered as witness of no transportation but an in situ fossilization (Fig. 4(15)).

Conclusion

The mollusk assemblages of Oued Sarrat are first documented from a series of Middle-Late Pleistocene in NW Tunisia. This recently discovered site, rich in lithic and fossil material (vertebrates and invertebrates), fills a gap in our knowledge concerning the Middle and Late Pleistocene mollusk associations in Tunisia. Our assemblages include shells from both terrestrial and lacustrine and fluvial ecosystems indicating that, during Middle to Late Pleistocene times, the site of Oued Sarrat would have shown a landscape covered with swamp and forest or even a paleolake of shallow freshwater. In continuation of our previous work conclusions, this lake was powered by channels and, certainly, around the lake, there inhabited abundant different large mammal species, together with other small vertebrates and invertebrates that were consumed for human survival.

The present-work preliminary data gathered from this archeopaleontological site foreshadow the fact that the Oued Sarrat of NW Tunisia is still far from delivering all of its prehistorical secrets. Further researches may focus on linking the occurrence of these malacofauna with the human onset indexes as recently interpreted by Mtimet et al. 2014.

Some taxonomic attributions of Pleistocene mollusks are still a matter of debate among specialists. Future fieldwork would allow a wiser taxonomic revision based on more representative mollusk collections in central and southern Tunisia as well as from other Maghreb countries. Paleobiological analyses of taxa morphological variations and stratigraphic distributions can be useful for wider paleobiogeographic interpretations aiming prehistorical and ecological reconstructions.

Acknowledgments This work was supported by grants CGL2010-12138-E and CGL2010-15326/BTE (Spanish Ministry of Economy and Competitiveness), AEI-PCI A1/037481/11 (Spanish Ministry of Foreign Affairs), and GENCAT 2014 SGR 901 (Generalitat de Catalunya, Spain). The logistics were provided by the Bizerte Faculty of Sciences (Carthage University) and the National Office of Mines (ONM).

The authors are grateful to Prs. Nicole Limondin, Eike Neubert, Henk K. Mienis, and Amina Damerdj, specialists in malacofauna, for valuable discussions. Professor Ijed Moussa, teacher at the Institut "Hautes Etudes Commerciales de Carthage," is warmly thanked for her kind assistance in the English revision of a first draft of this paper.

References

- Abbes I, Noura S, Neubert E (2011) Sphincterochilidae from Tunisia, with a note on the subgenus Rima Pallary, 1910 (Gastropoda, Pulmonata). *ZooKeys* 151:1–15. doi:10.3897/zookeys.151.2264 www.zookeys.org.
- Amri L (2011) Etude paléontologique préliminaire des vertébrés quaternaires du nord ouest de la Tunisie (Oued Sarrat). Master Thesis, Univ Carth Fac Sc Bizerte, 100 pp
- Amri L (2014) Etude paléontologique des grands mammifères quaternaires d'Oued Sarrat (Nord-Ouest de la Tunisie). International Master in QUATERNARY AND PREHISTORY, 101 pp. Universitat Rovira i Virgili Departament d'Història i Història de l'Art. Màster en Arqueologia del Quaternari i Evolució Humana
- Bejaoui S (2014) Les mollusques continentaux d'oued sarrat (nord ouest de la Tunisie), paleoecologie et paleoenvironnement du Pleistocene. Mémoire de Master, Univ Carth Fac Sc Bizerte, 103 pp
- Burrollet PF, Sainfeld P (1956) Notice explicative, Tajerouine, Feuille n° 50, Carte géologique de la Tunisie, 36 pp
- Carr R (2002) Geographical variation of taxa in the genus *Rumina* (Gastropoda: Subulinidae) from the Mediterranean region. *J Conchol* 37(5):569–577
- Collective (1984) Hommage à Pierre Birot. La mobilité des paysages méditerranéens, Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, Toulouse, 387 pp
- Daget J (1980) Importance de la Dynamique des populations en Écologie des eaux douces. In : Dynamique de populations et qualité de l'eau. Éd. Gauthier - Villars. Paris, 1–15
- Damerdj A (1990) Contribution à l'Etude Biosystématique des Mollusques Gastéropodes Pulmonés Terrestres de la Région de Tlemcen. République Algérienne démocratique et populaire, Institut National D'enseignement Supérieur de biologie, Thèse de Magister en Biologie, Ecologie Animale, 219 pp
- Favre J (1927) Les mollusques post-glaciaires et actuels du Bassin de Genève, Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève, Ge&Cie, Genève. 40:434 pp. (ed). Inst of Archaeology, Univ Coll London.1–12
- Fechter R, Falkner G (1990) Steinbach's Naturführer: Weichtiere. Mosaik Verlag, München, 142–143, 260–261
- Gargominy O (2011) *Xerosecta cespitum*. IUCN red list of threatened species. Version 2013.2. International union for conservation of nature. Retrieved 19 May 2014
- Germain L (1930) Mollusques terrestres et fluviatiles, 1. Faune de France, Paul Lechevalier, Paris. 21:477 pp
- Ghamizi M (1998) Les mollusques des eaux continentales du Maroc: Systématique, Bioécologie: Thèse de Doctorat d'Etat es- Sciences, Fac Sci Semlalia Marrakech, 555 pp
- Gittenberger E (1993) On *Cermea virgata* (Da Costa, 1778) and two Iberian *Xerosecta* species (Mollusca: Gastropoda Pulmonata: Hygromiidae). *Zool Med Leiden* 67 (18), 30.vii.:295–302, figs. 1–26. ISSN 0024-0672
- Issel A (1914) Lembi fossiliferi quaternari e recentinella Sardegna meridionale. *R.Ac.Dei XXXV*:3:297–313
- Kerney MP, Cameron RAD (1979) A field guide to land snails of Britain and North-West Europe. Collins, London, 288 pp
- Kerney MP, Cameron RAD, Jungbluth JH (1983) Die Lands chnecken Nordund Mitteleuropas. Ein Bestimmungsbuch für Biologen und Naturfreunde. Verlag PaulParey, Hamburg, p 384
- Kerney MP, Cameron RAD, Bertrand A (1999) Guide des escargots et limace d'Europe, Les guides du naturaliste. Delachaux et Niestlé, Paris, 370 pp
- Khalloufi N, Boumaïza M (2005) Première note sur la présence d'*Anodontacygnea* (Linnaeus, 1758) (Mollusca, Bivalva, Unionidae) en Tunisie. *Zool Baetica* 16:21–29
- Khalloufi N, Boumaïza M (2007) Première citation et description de quatre Pulmonés de Tunisie (Mollusca, Orthogastropoda). *Bull Soc Zool Fr* 132(3):191–204
- Khalloufi N, Toledo C, Machordom A, Boumaïza M, Araujo R (2011) The unionids of Tunisia: taxonomy and phylogenetic relationships, with redescription of *Unio ravoisieri* Deshayes, 1847 and *U. durieui* Deshayes, 1847. *J Molluscan Stud* 1–13
- Limoldin-Lozouet N (1997) Mollusca in archaeological context: tools for palaeoenvironmental reconstructions. The example of « Le Closeau », a prehistoric site in the Seine valley (France). *Heldia* 4(5):166–171
- Limoldin-Lozouet N, Antoine P (2001) Palaeo-environmental changes inferred from malacofaunas in the Lateglacial and Early Holocene fluvial sequence at Conty (northern France). *Boreas* 30(2):148–164
- Limoldin-Lozouet N, Bridault A, LeRoryer C, Ponel P, Antoine P, Chaussé C, Munaut AV, Pastre JF (2002) Evolution des écosystèmes de fond de vallée en France septentrionale au cours du Tardiglaciaire : l'apport des indicateurs biologiques. In: Bravard J-P, Magny M (eds) Les Fleuves ont une histoire. Paléoenvironnement des rivières et des lacs français depuis 15 000 ans. Errance, Paris, 45–62
- Lozek V (1964) Late Weichselian-Holocene sediments and soils in mid-European calcareous areas. *Antropozoikum* 22:88–112
- Magnin F (1991) Mollusques continentaux et histoire quaternaire des milieux méditerranéens (Sud-Est de la France, Catalogne). Thèse de Doctorat, UFR des Sciences géographiques et de l'aménagement. Université d'Aix-Marseille II, Aix-en-Provence, 364 pp
- Magnin F (1988a) Edifices travertineux et malacofaune. Bilan des recherches effectuées dans le cadre de l'ATP. Travaux 1988; n°XVII. Les édifices travertineux de l'environnement dans le Midi de la France. In: Vaudour J (ed) UA 903 CNRS et ATPPIREN, Aix-en-Provence. 229–232
- Magnin F (1988b) Les mollusques terrestres. Dossiers Histoire et Archéologie : le village gaulois de Martigues 128, 97 pp
- Manganelli G, Bodon M, Favilli L, Giusti F (1995) Gastropoda Pulmonata. In: Minelli A, Ruffo S, La Posta S (eds) Checklist delle specie della fauna italiana, vol 16. Edizioni Calderini, Bologna, pp 1–60
- Martínez-Navarro B, Karoui-Yaakoub N, Oms O, Amri L, López-García JM, Zeräi K, Blain H-A, Mtimet MS, Espigares MP, Ben Haj Ali N, Ros-Montoya S, Boughdiri M, Agustí J, Khayati-Ammar H, Maalaoui K, Maahmoudi OK, Sala R, Hawas R, Palmqvist P (2014) The early Middle Pleistocene archeopaleontological site of Oued Sarrat (Tunisia) and the earliest record of *Bos primigenius*. *Quat Sci Rev* 90:37–46
- Mtimet MS, Karoui-Yaakoub N, López-García JM, Blain H-A, Agustí J, Amri L, Martínez-Navarro B (2014) The early Middle Pleistocene microvertebrate assemblage from Wadi Sarrat (Tunisia). XVII World UISPP Congress 2014 Burgos, 1–7. September, Vol abst 100–101

- Puisségur JJ (1976) Mollusques continentaux quaternaires de Bourgogne. Significations stratigraphiques et climatiques. Rapport avec d'autres faunes boréales de France, Mémoires géologiques de l'Université de Dijon. Do in Editeurs, Dijon, 241 pp
- Quézel P, Médail F (2003a) Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Elsevier SAS, Paris, 571 pp
- Quézel P, Médail F (2003b) Que faut-il entendre par "forêts méditerranéennes"? Forêt Méditerr XXIV(1):11–31
- Rousseau L (1990) Réponses des malacofaunes terrestres quaternaires aux contraintes climatiques en Europe septentrionale. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol 69:113–124
- Sparks BL (1961) The ecological interpretation of Quaternary non-marine mollusca. Proc Linnean Soc Lond 172:71–80

3- Annexe III-Article 3 :

C. R. Palevol 16 (2017) 774–782



Contents lists available at ScienceDirect

Comptes Rendus Palevol

www.sciencedirect.com



General Palaeontology, Systematics, and Evolution (Vertebrate Palaeontology)

Canis othmanii sp. nov. (Carnivora, Canidae) from the early Middle Pleistocene site of Wadi Sarrat (Tunisia)



Canis othmanii sp. nov. (Carnivora, Canidae) du site de Wadi Sarrat (Tunisie), base du Pléistocène moyen

Lamjed Amri^a, Saverio Bartolini Lucenti^{b,c}, Moncef Saïd Mtimet^a,
Narjess Karoui-Yaakoub^a, Sergio Ros-Montoya^d, Maria-Patrocínio Espigares^d,
Mabrouk Boughdiri^a, Nebiha Bel Haj Ali^e, Bienvenido Martínez-Navarro^{f,g,h,*}

^a Département des sciences de la Terre, faculté des sciences de Bizerte, université de Carthage, 7021 Bizerte, Tunisia

^b Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra, Università di Pisa, Via S. Maria 53, 56126 Pisa, Italy

^c Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze, Via G. La Pira 4, 50121 Firenze, Italy

^d Departamento de Ecología y Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga, Málaga, Spain

^e Département des sciences de la Terre, faculté des sciences de Tunis, université de Tunis El Manar, Tunis, Tunisia

^f IPHES, Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social, C/Marcel·lí Domingo s/n, 43007 Tarragona, Spain

^g Area de Prehistoria, Universitat Rovira i Virgili (URV), Avda. Catalunya 35, 43002 Tarragona, Spain

^h ICREA, Pg. Lluís Companys 23, 08010 Barcelona, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 26 January 2017

Accepted after revision 3 May 2017

Available online 29 July 2017

Handled by Lars vanden Hoek Ostende

Keywords:

Canidae

Quaternary

Biogeography

Tunisia

Africa

ABSTRACT

The North African fossil record of the family Canidae is scarce and scattered and for this reason poorly known. This is particularly true for the genus *Canis*, fossils of which only come from a few sites of Morocco and Algeria. Here, we provide the description of the first material of *Canis* from the early Middle Pleistocene site of Wadi Sarrat (Tunisia), recovered in association with other fossil mammal taxa and Acheulian lithic artifacts. A cranial specimen is described and compared to other fossil and extant canid species by anatomical and morphometric analyses. The specimen shows cranio-dental morphologies and proportions considerably different from other fossil and extant African canids. Remarkably, its proportions resemble more closely those of Eurasian Early-Middle Pleistocene taxa, e.g., *Canis mosbachensis* Soergel, 1925, although its principal morphological features cannot be referred to any of the known Eurasian taxa. Therefore, we suggest to ascribe this material to a new species of canid, *Canis othmanii* sp. nov. The presence of new species of *Canis* with Eurasian affinities in the northern part of the African continent has a high significance for the fossil record of this region, as well as strong implications on the paleobiogeography of canids during the Middle Pleistocene.

© 2017 Académie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

* Corresponding author at: IPHES, Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social, C/Marcel·lí Domingo s/n, 43007 Tarragona, Spain.

E-mail address: bienvenido.martinez@icrea.cat (B. Martínez-Navarro).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.crpv.2017.05.004>

1631-0683/© 2017 Académie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

R É S U M É

Mots clés :
Canidae
Quaternaire
Biogéographie
Tunisie
Afrique

Les fossiles nord-africains de la famille Canidae sont rares et dispersés, et pour cette raison mal connus. Cela est particulièrement vrai pour le genre *Canis*, dont les fossiles proviennent seulement de quelques sites marocains et algériens. Nous rapportons ici la description des premiers fossiles de *Canis* du Pléistocène moyen ancien de Wadi Sarrat (Tunisie), trouvés en association avec d'autres taxons de mammifères fossiles et d'industries lithiques Acheuléennes. Un spécimen crânien est décrit et comparé avec d'autres espèces de canidés fossiles et modernes, grâce à des analyses anatomiques et morphométriques. Le spécimen présente une morphologie crânio-dentaire et des proportions considérablement différentes de celles des autres canidés africains fossiles et modernes. Remarquablement, ses proportions se rapprochent plus étroitement de celles des taxons du Pléistocène inférieur–moyen d'Eurasie, par exemple *C. mosbachensis*, bien que ses principales caractéristiques morphologiques ne puissent être référées à aucun des taxons eurasiens connus. Par conséquent, nous suggérons d'attribuer ce matériel à une nouvelle espèce de canidé, *Canis othmanii* sp. nov. La présence de nouvelles espèces de *Canis* avec des affinités eurasiennes dans la partie nord du continent africain a une grande importance pour le registre fossile de cette région, ainsi que de fortes implications pour la paléobiogéographie des canidés durant le Pléistocène moyen.

© 2017 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

1. Introduction

The genus *Canis* appears in North America during the late Miocene (Miller and Carranza-Castañeda, 1998). The earliest Asian records of *Canis* spp. come from the Yushe Basin (Shanxi Province, China), identified by Tedford et al. (1991) as *Canis* cf. *etruscus*, date to approximately 3.4 Ma. Subsequently, the radiation and dispersion of canids was considerably rapid in the whole Eurasian continent, with various species that developed different dietary adaptations and different sizes (Sotnikova and Rook, 2010). In Europe, the earliest species described are *Canis etruscus* Major, 1877 and *Canis arnensis* Del Campana, 1913. They appeared in the continent around 2.0–1.8 Ma (Bartolini Lucenti and Rook, 2016; Cherin et al., 2014), thriving especially in its southern part. The latter taxon, in particular, displays morphometric feature and proportions close to the extant *Canis aureus*. The characteristics of its dentition testify to a generalized diet, probably comparable to that of the golden jackal. The phylogenetic relationships with other fossil species and modern taxa are still doubtful.

The first appearance of canids in North Africa is represented by a jaw fragment from the Mio-Pliocene deposit of Lissasfa (Raynal et al., 1999). Further evidence of mandibles and isolated teeth of medium-sized canids comes from the latest Pliocene deposits of Ahl-al-Oughlam in Morocco. Initially, they were ascribed to *Canis* sp. (see Geraads, 1997) and later to *Nyctereutes* (Geraads, 2008). A large canid, approximately the size of a wolf, was reported as *Canis africanus* in the early Early Pleistocene site of Ain Hanech, Algeria (Arambourg, 1979), although it was thereafter ascribed to *Lycaon lycaonoides* (Kretzoi, 1938) in Martínez-Navarro and Rook (2003). Apart from these, records of canids in North African Pleistocene sites are not well documented in literature. In recent years, the archeopaleontological study at the early Middle-Late Pleistocene site of Wadi Sarrat revealed the presence of large faunal assemblage, including a cranium of *Canis* from the

black level, in association with Acheulian lithic artefacts (Martínez-Navarro et al., 2014).

Nowadays, because of the scanty materials and scarce bibliographic references, the evolutionary history and biochronology of canids in North Africa are still matter of debate. In this study, we report the discovery and discuss the results of the analyses on the cranio-dental material of *Canis* from Wadi Sarrat, showing some interesting insights to the Pleistocene diversity of canids from this region.

2. Geological setting, paleontological and archeological record

The Wadi Sarrat basin is located in northwestern Tunisia, close to the Algerian border (Fig. 1). It has an extension of 2188 km² and an average altitude of 700 meters above sea level. It is oriented east-west and surrounded by calcareous mountains of Cretaceous (Aptian) and Eocene age. This sedimentary basin was formed at the end of the early Pleistocene and was endorheic, with a central hallow lake, during the middle Pleistocene.

The Wadi Sarrat Basin has a rich continental Pleistocene record. The fossil bed is situated within a more than 6 m thick palustrine black series of more than 5 km of exposure, and it is composed of conglomerates, gravels, sands, silts, and clays. Above a discontinuity, it is superposed by a brown sedimentary series dominated also by conglomerates, gravels, sands, and clays.

The partial cranium of *Canis* (OS10-02) was found in a conglomerate level, 4 m below the top of the Black series, close to the river bed, at 2 meters from the systematic excavation undertaken during years 2010, 2012 and 2014 (Martínez-Navarro et al., 2014).

The fossil assemblage of large mammals of Wadi Sarrat is dominated clearly by the record of abundant remains of a primitive *Bos primigenius*. The fauna from the early middle Pleistocene black level, dated 0.7 Ma, is composed by *Suidae* indet., *Hippopotamus* sp., *Bos primigenius*, *Gazella* sp.,

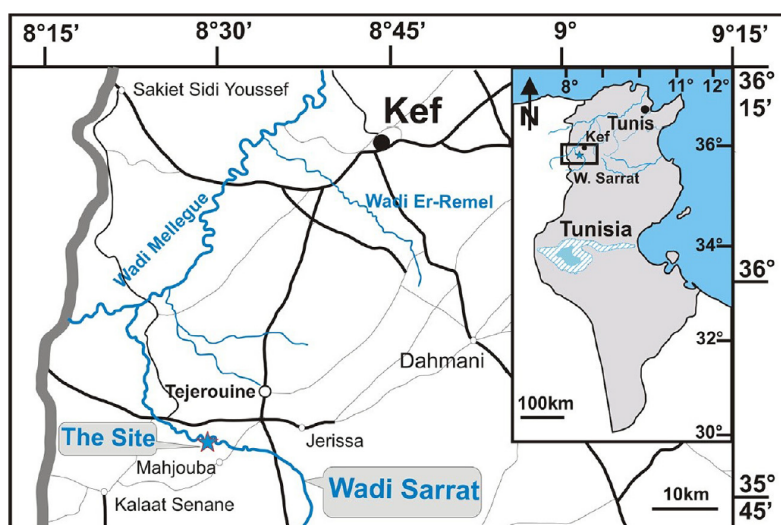


Fig. 1. Geographic localization of the Wadi Sarrat basin.
 Fig. 1. Localisation géographique du bassin de Wadi Sarrat.

Ceratotherium simum and *Equus* sp.; in addition to these larger taxa, seven small mammals species have been determined (i.e. one of the order Eulipotyphla, *Crocidura* sp., and six rodents, *Mus* aff. *spretus*, *Mus* cf. *hamidae*, *Paraethomys* cf. *rbiae*, *Praomys* sp., *Meriones* sp. and *Eliomys* sp.), as well as also other small vertebrates such as one fresh water fish (Cyprinidae indet.), two anurans (the Alytidae *Discoglossus pictus* and the common toad, *Bufo bufo*), one terrapin (*Emys* sp. or *Mauremys* sp.), three squamates [an indeterminate small lacertid or scincid lizard, *Natrix maura* (Natricidae), and an indeterminate colubrid snake (Colubridae)], and one small-sized bird (Passeriformes indet.). Also there is a rich malacofauna assemblage, composed of six gasteropods (*Cermeilla virgata*, *Xerosecta cespitum*, *Sphincterochila baetica*, *Helix melanostoma*, *Eobania vermiculata* and *Rumina decollate*) and only one bivalve (*Unio ravoisieri*) (see Karoui-Yaakoub et al., 2016; Martínez-Navarro et al., 2014; Mtimet et al., 2014).

A combination of paleomagnetic data together with the record of small mammals from the black level of Wadi Sarrat at the locality, where the earliest *Bos primigenius* cranium and the *Canis* cranium were found, indicates that the site can be confidently dated to the base of the Middle Pleistocene, around ~0.7 Ma (Martínez-Navarro et al., 2014).

The climatic and paleoecological data are basically supported by the good record of reptiles, amphibians and mollusks. The presence of *Bufo bufo* indicates that the site of Wadi Sarrat was under the influence of a warmer climate and wetter than it is today, probably tropical hot and humid. Consequently, the fossil assemblage, considered as a whole, may suggest that the site was formed during a period of more humid and temperate climate than today. Such moister climatic conditions may be related to an interglacial period of the Middle Pleistocene (Martínez-Navarro et al., 2014; Karoui-Yaakoub et al., 2016).

Some lithic tools were recovered *in situ* (flakes, fragments of nucleus, etc.) during three seasons of systematic excavation in Wadi Sarrat. In the black level, associated with several fossil bones, including a craniums of *Bos primigenius* and *Canis*, evidence was found of a knapping strategy organized around the core's periphery. The lithic assemblage of core and the removed flakes, falls within the variability of the Mode 2 or Acheulian technological complex (Martínez-Navarro et al., 2014).

3. Materials and methods

The specimen OS10-02, included in this study, comes from the site of Wadi Sarrat and is housed at the Museum of the National Office of Mines (ONM), Tunis.

Comparative material of Early Pleistocene canids here considered are those held in the Museum of Natural Sciences of Florence (Geology and Paleontology Section) (Italy), and in the Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont (Campus de Universitat Autònoma de Barcelona, Cerdanyola del Vallès, Barcelona, Spain). Material of the following extant species housed in the Institut Català de Paleoeologia Humana i Evolució Social-IPHES (Tarragona, Spain) and in the "La Specola" Zoology Section of the Museum of Natural History of Florence were used for comparative purpose: *Canis aureus* Linnaeus, 1758, *Canis anthus* (Cuvier, 1820), *Lupulella mesomelas* (Schreber, 1775), *Lupulella adusta* (Sundevall, 1847), *Lycaon pictus* (Temminck, 1820), and *Canis lupus* Linnaeus, 1758. Moreover, additional comparison material of extant and fossil species was taken from literature (Bartolini Lucenti and Rook, 2016; Bartolini Lucenti et al., 2017; Cherin et al., 2014; Geraads, 2011; Geraads et al., 2004; Martínez-Navarro and Rook, 2003; Petrucci et al., 2012, 2013; Tedford et al., 2009; Werdelin and Lewis, 2005).

Table 1
 Dimensions of two maxillary fragments of *Canis othmanii* sp. nov. (OS10-02). All measurements are in mm.

Tableau 1
 Dimensions des deux fragments maxillaires de *Canis othmanii* sp. nov. (OS10-02). Toutes les mesures sont en mm.

	Right		Left	
	L	W	L	W
I 1	–	–	4,31	5,35
P 1	7,38	4,42	6,54	4,4
P 2	11,06	4,67	–	–
P 3	–	–	12,32	4,9
P 4	20,54	10,38	20,65	11,09
M 1	14,46	18,81	–	–
P 1-P 4	55,29	–	–	–

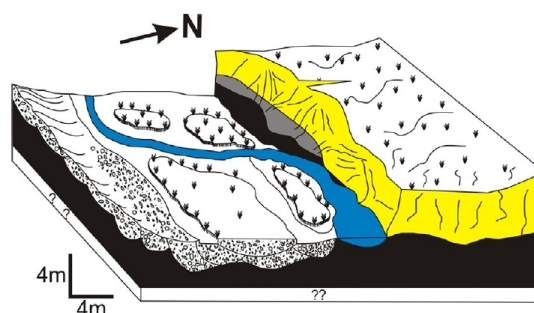


Fig. 2. Bloc diagram of the geologic layers present in the Wadi Sarrat site.
Fig. 2. Bloc diagramme des couches géologiques représentées dans le site de Wadi Sarrat.

All measurements were made by a digital caliper (with approx. error of ± 0.05 mm). The photos were taken using a digital camera that has a resolution of 18 megapixels and selected photos were edited using Adobe Photoshop CS2.

In this study, we use log-ratio diagrams (Simpson, 1941; Simpson et al., 1960) in order to visualize in a clear and simple way the differences in size and proportions of the *Canis* material from Wadi Sarrat in comparison to extant and fossil canids from Eurasia and Africa. In these graphs, we

plot log-transformed measurements of the taxon against those of a standard taxon (*C. lupus*). On the vertical axis, are reported the morphological descriptions, whereas on the horizontal axis there are the differences between values. We can therefore easily visualize the relative size differences of all taxa (corresponding to the distance between the reference taxon and other taxa).



Fig. 3. Cranium (OS10-02) of *Canis othmanii* sp. nov.: A: right lateral view (published in Fig. 2A of Martínez-Navarro et al., 2014); B: right medial view; C: occlusal view; D: left medial view; E: left lateral view. The scale bar equals 5 cm.

Fig. 3. Crâne (OS10-02) de *Canis othmanii* sp. nov. : A : vue latérale droite (publiée sur la Fig. 2A de Martínez-Navarro et al., 2014) ; B : vue médiale droite ; C : vue occlusale ; D : vue médiale gauche ; E : vue latérale gauche. L'échelle représente 5 cm.

3.1. Abbreviations

3.1.1. Cranial and dentognathic abbreviations

P1, first upper premolar; **P2**, second upper premolar; **P3**, third upper premolar; **P4**, fourth upper premolar; **M1**, first upper molar; **M2**, second upper molar.

3.1.2. Institutional and collection

FSB, Faculty of Science of Bizerte, Tunisia; IGF, Museum of Natural History, Geology and Paleontology section, University of Florence (Italy); IPHES, Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social, Tarragona, Spain; MZUF, Museum of Natural History, “La Specola” Zoology section, University of Florence (Italy); ONM, National Office of Mines, Tunisia; OS, Wadi Sarrat.

4. Systematic paleontology

Order Carnivora [Bowditch, 1821](#)
 Suborder Caniformia [Kretzoi, 1938](#)
 Family Canidae [Fischer, 1817](#)
 Subfamily Caninae [Fischer, 1817](#)
 Tribe Canini [Fischer, 1817](#)
 Genus *Canis* [Linnaeus, 1758](#)

Canis othmanii sp. nov.

Holotype: Cranium with both palates OS10-02, with right maxillary fragment preserving P1-P2, distal part of the P3 and P4–M1 and left maxillary preserving I1, P1, P3, and the mesial portion of P4.

Biometric data of the holotype: see [Table 1](#).

Derivatio nominis: it is dedicated to the discoverer of the fossil and the site, Abdelhak Othmani, who together with his family are long-time owners of the land where the site of Wadi Sarrat is located, and have been great supporters of this research.

Type locality: the early Middle Pleistocene black level of Wadi Sarrat; UTM coordinates: X 0454811, Y 3963837; Kef province, Tunisia ([Fig. 2](#)).

4.1. Description

Cranium. OS0-02 ([Fig. 3](#)) shows exclusively the maxillae, both palates and the long right nasal bone. It is small but robust. In lateral view, the skull profile seems to be quite steep, and the maxillo-frontal suture seems very high. The palate seems to be rather wide.

Upper dentition. The only incisor preserved is a robust and wide I1. Its occlusal surface is worn. Both canines are missing, but their alveoli show a rather consistent mesio-distal enlargement (e.g., the alveolus of the left canine is 12.8 mm long). The first upper premolar is single-rooted, has a conical crown and a quite elongated talon. It is low-crowned and enlarged bucco-lingually. The P2 is elongated mesio-distally and does not present any distal accessory cusp. The P3 is slightly longer than the P2 and it presents a small distal accessory cusp behind the protocone. The right P3 is broken and the mesial alveolus shows signs of reabsorption. In the upper carnassial, the protocone slightly

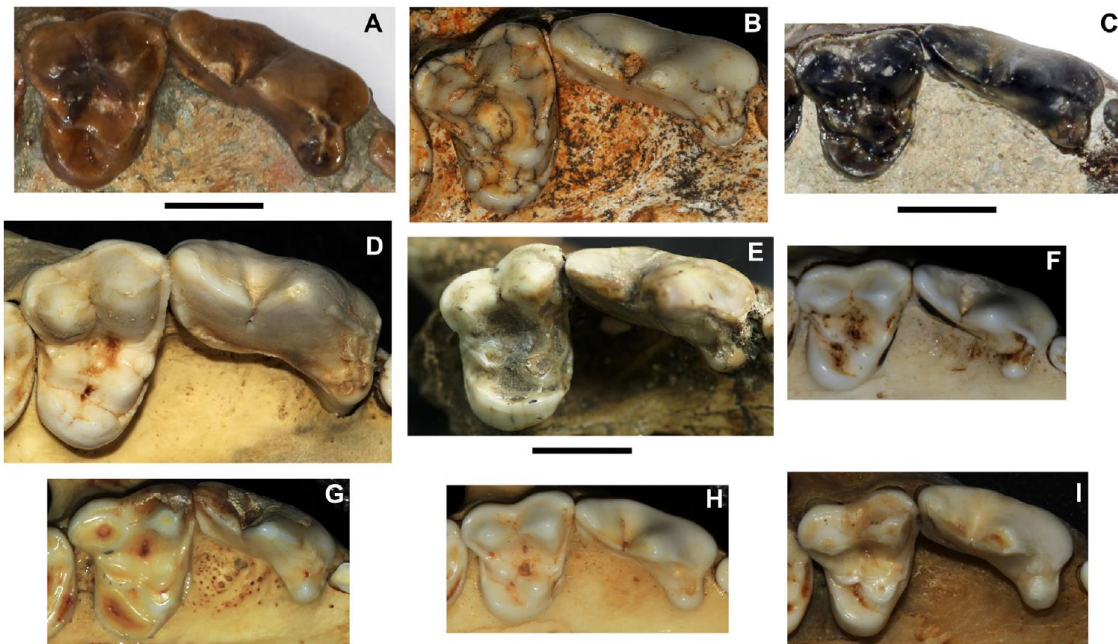


Fig. 4. The upper carnassial and M1 of some extant and fossil species. A. *C. etruscus* (IGF 12867V). B. *C. mosbachensis* (DE 2 ac). C. *C. arnensis* (IGF 7919V). D. *C. lupus* (MZUF 11874). E. *C. othmanii* (OS10-02). F. *C. anthus* (MZUF 1842). G. *L. adusta* (MZUF 8496). H. *L. mesomelas* (MZUF 1898). I. *C. aureus* (MZUF 11880). The scale bar equals 1 cm.

Fig. 4. Carnassière supérieure et M1 de quelques espèces fossiles et modernes. A. *C. etruscus* (IGF 12867V). B. *C. mosbachensis* (DE 2 ac). C. *C. arnensis* (IGF 7919V). D. *C. lupus* (MZUF 11874). E. *C. othmanii* (OS10-02). F. *C. anthus* (MZUF 1842). G. *L. adusta* (MZUF 8496). H. *L. mesomelas* (MZUF 1898). I. *C. aureus* (MZUF 11880). Les échelles correspondent à 1 cm.

projects mesially compared to the mesial border of the tooth. The metastylar blade is rather low and elongated mesio-distally. The P4 shows a strong lingual cingulum. The M1 is elongated bucco-lingually with a rather enlarged and rounded talon, which is poorly arched distally. The paracone and the metacone are almost equal in size. On the mesio-buccal margin, the parastyle is prominent. On the talon, the well-developed metaconule and the worn protocone and protoconule are evident. The hypocone is only slightly individualized from the lingual cingulum.

The measurements are shown in the Table 1.

4.2. Morphological comparisons

The P4 presents an individualized protocone, which projects slightly beyond the mesial margin of the tooth, unlike *C. aureus*, *C. anthus*, *L. mesomelas* or *C. lupus*. This feature also contrasts with the condition seen in European Early Pleistocene canids like *Canis mosbachensis* Soergel, 1925 from Pirro Nord, Cueva Victoria and Untermassfeld or with *C. arnensis* and *C. etruscus* from Upper Valdarno, where the protocone lies at level of the mesial margin of the P4 or is placed more lingually. The mesial projection of the P4 protocone is similar to that of *L. adusta*, but the latter canid has a stouter protocone compared to that of

the *Canis* specimen from Wadi Sarrat. The metastylar blade is elongated mesio-distally, similar to *C. arnensis*, although the paracone is higher than in that species (Bartolini Lucenti and Rook, 2016).

The M1 is particular in shape as its talon is large mesio-distally and not arched backwards as in other extant or fossil canids (see Fig. 4). Moreover, the mesio-distal breadth of the trigon is similar to that of the talon, whereas in modern species the talon is generally narrower (see Fig. 4). In this regard, the canid from Wadi Sarrat is closer to *C. mosbachensis* from Pirro Nord, although the M1 of the latter species shows other features (e.g., the larger paracone compared to the metacone; a round and large protocone basin; a prominent cingulum in the mesial and distal side of the tooth; see Bartolini Lucenti et al., 2017) which cannot be found in OS10-02. The metaconule of the M1 is particularly well developed and larger-based compared to the modern African canids (i.e. *C. anthus*, *L. mesomelas*, *L. adusta*), the golden jackal (*C. aureus*) and the European fossil species *C. etruscus*, *C. mosbachensis* and *C. arnensis*.

Canis othmanii sp. nov. lacks all the hypercarnivorous features shared by wild dog-like canids (e.g., *Lycaon lycaonoides*, *Cuon alpinus*, *Canis africanus*) like the bucco-lingual enlargement of the P4; the strongly larger paracone of the M1 compared to the metacone; the short talon of

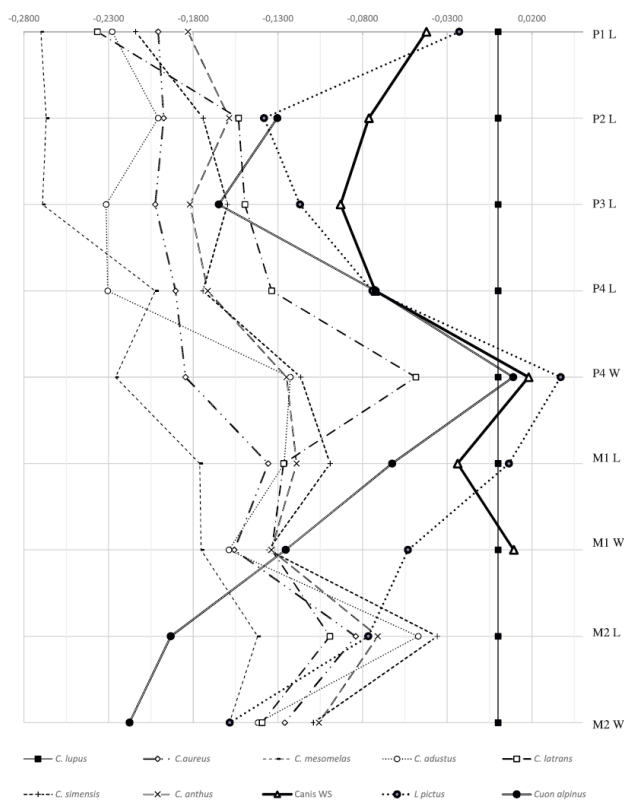


Fig. 5. Log-ratio diagram based on log-transformed mean dental measurements of extant species of *Canis* and *C. othmanii*. *C. lupus* is used as a reference. Tooth measurements taken into consideration are shown on the right side.

Fig. 5. Diagramme *log-ratio* basé sur les mesures dentaires log-transformées des espèces modernes de *Canis* et *C. othmanii*. *C. lupus* est utilisé comme référence. Les mesures dentaires prises en compte sont montrées sur le côté droit.

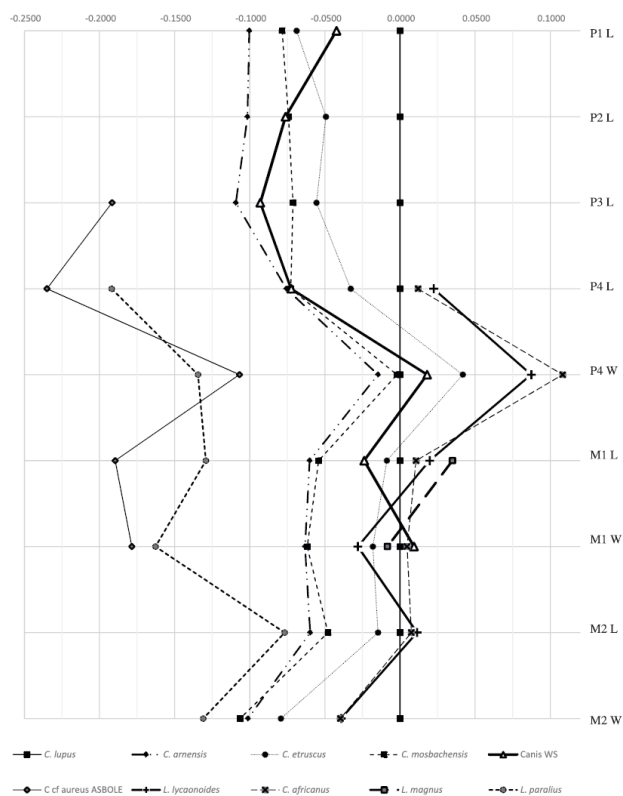


Fig. 6. Log-ratio diagram based on log-transformed mean dental measurements of extant species of *Canis* and *C. othmanii*. Tooth measurements taken into consideration are shown on the right side.

Fig. 6. Diagramme log-ratio basé sur les mesures dentaires log-transformées des espèces modernes de *Canis* et *C. othmanii*. Les mesures dentaires prises en compte sont données sur le côté droit.

the M1 with large protocone and hypocone and a reduced metaconule.

4.3. Morphometric analyses

The morphometric analysis of the dentognathic material of *Canis othmanii* sp. nov. (Figs. 5 and 6) shows important differences with the extant African *L. adusta*, *L. mesomelas*, *C. anthus* and Eurasian *C. aureus*. In fact, its size stands in the middle between that of modern *C. lupus* and that of the smaller jackals, as can be seen from the log-ratio diagram in Figs. 5 and 6. An attribution to the coeval *Lycaon lycaonoides* can be ruled out as the size and proportions of the latter taxon are considerably larger than the African species here considered (Fig. 6). The same can be said about *L. pictus* and *Cuon alpinus*.

As far as African fossil taxa are concerned, the Early Pleistocene *Lupulella paralius* (Geraads, 2011) is smaller, with proportions more similar to modern species, particularly *L. adusta*. In fact, *Lupulella paralius* could represent an early form of this modern jackal. The species *C. africanus* (considered here as separate taxon as in Geraads, 2011, although Martínez-Navarro and Rook, 2003 deemed it as part of *L. lycaonoides*) has proportions very close to *L. lycaonoides* and, as *Lycaon magnus* (Geraads, 2011), is

considerably larger than the canid from Wadi Sarrat. It also shows numerous morphological differences. *Canis cf. aureus* from Asbole (see Geraads et al., 2004) is much smaller in its dental proportions than the species from Wadi Sarrat. The upper dental proportions are, by all means, closer to the Eurasian stock of fossil canids like *C. arnensis*, *C. etruscus* and *C. mosbachensis*.

5. Discussion

5.1. Taxonomic remarks on *Canis othmanii* sp. nov.

The morphometric and anatomical features of *Canis othmanii* sp. nov., show on the one hand, significant distinction from the modern *L. adusta*, *L. mesomelas*, *C. aureus* and *C. anthus* (e.g., larger size; shape of the P4 protocone; length of the M1). On the other hand, we observe that the new species does not possess peculiar hypercarnivorous dental adaptations such as *Canis (Xenocyon) ex gr. falconeri* (sensu Sotnikova, 2001), *L. lycaonoides* and modern *L. pictus* do have.

From our analyses, it is clear that size and proportions of the teeth of *C. othmanii* sp. nov. are closer to those of the European Early-Middle Pleistocene fossil canids (i.e. here *C. arnensis* and *C. etruscus* from Olivola and Upper

Valdarno and *C. mosbachensis* from Pirro Nord, Untermassfeld and Cueva Victoria) rather than to other African fossil and extant species, as shown in Figs. 5 and 6. Nevertheless, the dental morphology of *C. othmanii* shows peculiarities, which cannot be found in other Villafranchian and Epivillafranchian species of both Africa and Eurasia.

5.2. History of Eurafrikan canids

At present, the knowledge of the history and the pattern of the dispersion of Canidae in Africa is scarce, due to several issues, such as the reduced number of sites with canids, their scattered distribution in the continent, number of fossils, etc. (Geraads, 2008; Werdelin and Deghani, 2011). The first attested record in the African continent is nowadays that of *Canis* sp. A from South Turkwel (Kenya), dated approximately between ca 3.58 and 3.2 Ma (Werdelin and Lewis, 2000, 2005). Fossil materials of *Lupulella adusta* are reported from the 3-million-years-old South African site Makapansgat 3 (Ewer, 1956). The characteristic of the upper second molar (M2) and the relative elongation of both molars of *Lupulella adusta* are similar to some material fragments reported from early Early Pleistocene site of Ain Boucherit (Algeria), dated to 2.3 Ma (Arambourg, 1979). A large jackal-like form is also mentioned in several sites in the Late Pleistocene in Morocco, e.g., Dar es Soltane, Doukkala II (Michel and Wengler, 1993), Zourah Cave (Aouraghe, 2000) and Cap Achakar (Ouachaou and Amani, 2002). From the Early Pleistocene site of Ain Hanech (ca. 1.8 Ma), a maxilla of the large canid *Canis* cf. *atrox* (Arambourg, 1979) has been recovered. This specimen has then been assigned to the genus *Lycaon* by Martínez-Navarro and Rook (2003).

According to Geraads (2008), the first record of a living canid in North Africa appears only in the late Middle Pleistocene site of Sidi Abderrahmane (Morocco). The author assigns this material to *C. aureus*, as it “cannot be separated from” this taxon.

The recovered fauna from Wadi Sarrat site is particularly similar to that living in the various extant environments of East Africa, given that some of these taxa are still existing there today.

The material of *Canis* from Wadi Sarrat possess peculiar features and proportions, which are unique among North African canids; this suggests an attribution of the specimen OS10-02 to a new species of *Canis*.

The record in North Africa of a canid with morphometric affinity to Eurasian taxa is, for now, unprecedented for this age and, therefore, this has important implications for the latest early-middle Pleistocene biogeography of canids, not only of Africa but also of the circummediterranean regions, as well as of the entire Eurasia, testifying to the increasing trend of radiation and rapid dispersion of *Canis* spp. in the late Villafranchian/Epivillafranchian (Sotnikova and Rook, 2010).

6. Conclusion

The early Middle Pleistocene mammal assemblage from Wadi Sarrat is similar to that reported from other coeval sites of North Africa, where the genus *Canis* has been known

since the late Pliocene. The morphological and morphometric analyses of the specimen OS10-02 show the closer similarity of this canid to Eurasian Early Pleistocene taxa rather than to North African ones, other African species of the fossil record or to the extant *C. anthus*, *C. aureus*, *L. mesomelas*, *L. adusta* and the modern *Canis lupus*. For these reasons, we ascribe Wadi Sarrat material to *Canis othmanii* sp. nov. The record of a new taxon in a North African deposit with Eurasian affinities, during the Middle Pleistocene, opens an unprecedented scenario on the evolutionary history, biogeography and dispersion of canids in the Old world.

Acknowledgments

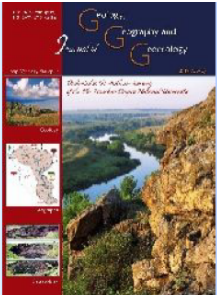
This study has been supported by grant CGL2016-80975-P (Spanish Ministry of Economy and Competitiveness), AEI-PCI A1/037481/11 (Spanish Ministry of Foreign Affairs), GENCAT 2014 SGR 901 (Generalitat de Catalunya, Spain). The logistics and facilities provided by the Bizerte Faculty of Sciences (Carthage University) and the National Office of Mines (ONM) from Tunisia are much appreciated. We thank Professors M. Sakly and A. Ben Haj Amara (former and current Deans of the Faculty of Sciences at Bizerte) and Mr. M. Ben Haj Ali, Mrs. Hayet Khayati-Ammar, the late Mr. Mounir Riahi, and all the staff of the National Office of Mines, Tunisia, for their support to the project. The authors are deeply thankful to Prof. L. Rook for his advice and support, which both improved this manuscript. The kindness and availability of the curators of the Museum of Natural History of Florence, Elisabetta Cioppi and Paolo Agnelli, respectively, of the “Geology and Paleontology Section” and of the “La Specola”, Zoological Section, while granting access to the collections of the museum, were much appreciated. Gala Gómez-Merino restored the cranial specimen of *Canis othmanii* sp. nov., H.-A. Blain did the translation into French of the abstract and the figure and table captions. F.A. Portillo helped with the Latin interpretation of the new species name. We thank the Associate Editor, L. van den Hoek Ostende, and one anonymous reviewer for their comments and advices that have improved the quality of the manuscript. Finally, we want to thank Mr. Abdelhak Othmani and all of his family for their hospitality, help and support to this project.

References

- Aouraghe, H., 2000. Les carnivores fossiles d'El Harhoura 1, Temara, Maroc. *Anthropologie* 104, 147–171.
- Arambourg, C., 1979. Les vertébrés villafranchiens d'Afrique du Nord (Artiodactyles, Carnivores, Primates, Reptiles, Oiseaux). *Fondation Singer Polignac, Paris*, pp. 25–61 (141 p.).
- Bartolini Lucenti, S., Rook, L., 2016. A review on the Late Villafranchian medium-sized canid *Canis arnensis* based on the evidence from Poggio Rosso (Tuscany, Italy). *Quat. Sci. Rev.* 151, 58–71.
- Bartolini Lucenti, S., Alba, D.M., Rook, L., Moyà-Solà, S., Madurell-Malapeira, J., 2017. Latest Early Pleistocene wolf-like canids from the Iberian Peninsula. *Quat. Sci. Rev.* 162, 12–25.
- Bowditch, T.E., 1821. An Analysis of the Natural Classification of Mammalia, for Use of Students and Travelers. Paris, J. Smith, pp. 115 pp.
- Cherin, M., Bertè, D.F., Rook, L., Sardella, R., 2014. Re-defining *Canis etruscus* (Canidae, Mammalia): a new look into the evolutionary history of Early Pleistocene dogs resulting from the outstanding fossil record from Pantalla (Italy). *J. Mam. Evol.* 21, 95–110.

- Cuvier, F., 1820. Le Chacal de Sénégal, Femelle. In: Geoffroy, St., Hilaire, E., Cuvier, F. (Eds.), *Histoire Naturelle des Mammifères Paris*. A. Belin, pp. 1–3.
- Del Campana, D., 1913. I cani pliocenici di Toscana. *Tipografia successori fratelli Nistri*.
- Ewer, R.F., 1956. The fossil Carnivores of the Transvaal caves: Canidae. *Proc. Zool. Soc. London* 126, 97–119.
- Fischer von Waldheim, G., 1817. *Adversaria zoologica. Mémoires de la Société impériale des naturalistes de Moscou* 5, 357–472.
- Geraads, D., 1997. Carnivores du Pliocène terminal de Ahl al Oughlam (Casablanca, Maroc). *Geobios* 30 (1), 127–164.
- Geraads, D., 2008. Plio-Pleistocene Carnivora of northwestern Africa: a short review. *C. R. Palevol* 7, 591–599.
- Geraads, D., 2011. A revision of the fossil Canidae (Mammalia) of northwestern Africa. *Palaeontology* 54 (2), 429–446.
- Geraads, D., Alemseged, Z., Reed, D., Wynn, J., Roman, D.C., 2004. The Pleistocene fauna (other than Primates) from Asbole, lower Awash Valley, Ethiopia, and its environmental and biochronological implications. *Geobios* 37 (6), 697–718.
- Karoui-Yaakoub, N., Mtimet, M.S., Bejaoui, S., Amri, L., Khalloufi, N., Ben Aissa, L., Martínez-Navarro, B., 2016. Middle-to-Late Pleistocene malacofauna from the archaeo-paleontological site of Oued Sarrat (Tajerouine area, NW Tunisia). *Arab. J. Geosci.* 9, 345. <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-016-2310-4>.
- Kretzoi, M., 1938. Die Raubtiere von Gombaszög nebst einer Übersicht der Gesamtfauna (Ein Beitrag zur Stratigraphie des Altquartärs). *Annales Musei Nationalis Hungarici, Pars Mineralogica, Geologica Palaeontologica* 31, 88–157.
- Linnaeus, C., 1758. *Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*. Tomus I. Editio Decima, reformata. Laurentius Salvius, Stockholm.
- Major, C.I.F., 1877. Considerazioni sulla fauna dei mammiferi pliocenici e post-pliocenici della Toscana. *Atti. Soc. Toscana. Sci. Nat. Mem.* 3, 207–227.
- Martínez-Navarro, B., Rook, L., 2003. Gradual evolution in the African hunting dog lineage. Systematic implications. *C. R. Palevol* 2, 695–702.
- Martínez-Navarro, B., Karoui-Yaakoub, N., Oms, O., Amri, L., López-García, J.-M., Zerai, K., Blain, H.A., Mtimet, M.S., Espigares, P., Ben Haj Ali, N., Ros-Montoya, S., Boughdiri, M., Agustí, J., Ammar, H., Maalaoui, K., Om El Khir, O., Sala, R., Othmani, A., Hawas, R., Gómez-Merino, G., Solé, A., Carbonell, E., Palmqvist, P., 2014. The early Middle Pleistocene archeopaleontological site of WadiSarrat (Tunisia) and the earliest record of *Bos primigenius*. *Quat. Sci. Rev.* 90, 37–46.
- Michel, P., Wengler, L., 1993. Un site paléontologique avec des vestiges archéologiques : La carrière Doukkala II (Région de Temara, Maroc atlantique) [Paléocologie des faunes et contribution à la connaissance du comportement humain]. *Paleo* 5, 11–41.
- Miller, W.E., Carranza-Castañeda, O., 1998. Late Tertiary canids from Central Mexico. *J. Paleont.* 72, 546–556.
- Mtimet, M.S., Karoui-Yaakoub, N., López-García, J.M., Blain, H.-A., Agustí, J., Amri, L., Martínez-Navarro, B., 2014. The early Middle Pleistocene microvertebrate assemblage from Wadi Sarrat (Tunisia). In: XVII World UISPP Congress, 2014 Burgos, 1–7. September, pp. 100–101 (Volume des abstracts).
- Ouachau, B., Amani, F., 2002. Les Carnivores des gisements néolithiques et protohistoriques du Nord du Maroc. *Quaternaire* 13 (1), 79–87.
- Petrucci, M., Romiti, S., Sardella, R., 2012. The Middle-Late Pleistocene Cuon Hodgson, 1838 (Carnivora, Canidae) from Italy. *Boll. Soc. Paleont. Ital.* 51 (2), 138.
- Petrucci, M., Cipullo, A., Martínez-Navarro, B., Rook, L., Sardella, R., 2013. The late Villafranchian (Early Pleistocene) carnivores (Carnivora, Mammalia) from Pirro Nord (Italy). *Palaeontograph. Abt. A*, 113–145.
- Raynal, J.P., Lefevre, D., Geraads, D., El Graoui, M., 1999. Contribution du site paléontologique de Lissasfa (Casablanca, Maroc) à une nouvelle interprétation du Mio-Pliocène de la Méseta. *C. R. Acad. Sci. Paris Ser. IIa* 329 (8), 617–622.
- Simpson, G.G., 1941. Large Pleistocene felines of North America. *Amer. Mus. Novitates* 1136, 1–27.
- Schreber, J.C.D., 1775. Die Säugethiere in Abbildungen nach der Natur mit Beschreibungen (Erster Theil): Der Mensch Der Affe. Der Maki. Die Fledermaus. Erlangen: Verlag Wolfgang Walther.
- Simpson, G.G., Roe, A., Lewontin, R.C., 1960. *Quantitative zoology*. Harcourt Brace, New York.
- Soergel, W., 1925. Die Säugetierfauna des altdiluvialen Tonlages von Jockgrim in des Pfalz. *Zeits. Deut. Geol. Ges.* 77, 405–438.
- Sotnikova, M.V., 2001. Remains of Canidae from the lower Pleistocene site of Untermaßfeld. In: Kahlke, R.D. (Ed.), *Das Pleistozän von Untermaßfeld bei Meiningen (Thüringen) Teil. 2*. Habelt Verlag, Bonn, pp. 607–632.
- Sotnikova, M., Rook, L., 2010. Dispersal of the Canini (Mammalia, Canidae: Caninae) across Eurasia during the Late Miocene to Early Pleistocene. *Quatern. Int.* 212, 86–97.
- Sundevall, C.J., 1847. Nya mammalia från Sydafrika Öfversigt af Kongl. Vetenskapsakademiens Förhandlingar. 3, 118–121.
- Tedford, R.H., Flynn, J.L., Qiu, Z., Opdyke, H., Doens, W.R., 1991. Yushe basin, China, Paleomagnetically calibrated mammalian biostratigraphic standard for the Late Neogene of eastern Asia. *J. Vert. Paleontol.* 11, 519–526.
- Tedford, R.H., Wang, X., Taylor, B.E., 2009. Phylogenetic systematics of the north american fossil caninae (Carnivora: Canidae). *Bull. Amer. Mus. Nat. Hist.*, 1–218.
- Temminck, C.J., 1820. Sur le genre Hyène, et description d'une espèce nouvelle, découverte en Afrique. *Ann. Gen. Sci. Physiques* 3, 46–57.
- Werdelin, L., Lewis, M.E., 2000. Carnivora from the South Turkwel hominid site, northern Kenya. *J. Paleontol.* 74 (06), 1173–1180.
- Werdelin, L., Lewis, M., 2005. Plio-Pleistocene Carnivora of eastern Africa: species richness and turnover patterns. *Zool. J. Linn. Soc.* 144, 121–144.
- Werdelin, L., Dehghani, R., 2011. Carnivora. In: *Paleontology and geology of Laetoli: human evolution in context*. Springer, Netherlands, pp. 189–232.

4- Annexe III-Article 4 :

	Journal of Geology, Geography and Geoecology Journal home page: geology-dnu-dp.ua	ISSN 2617-2909 (print) ISSN 2617-2119 (online) Journ.Geol.Geograph. Geoecology, 27(2),316-322 doi:10.15421/111855
---	--	--

Narjess Karoui-Yaakoub, Moncef Said Mtimet
Semeh Bejaoui, Bienvenido Martínez-Navarro

Journ.Geol.Geograph.Geoecology, 27(2), 316-322

Paleoenvironmental reconstruction of the Pleistocene site of Oued Sarrat (Northwestern Tunisia) using mineralogical and geochemical data

Narjess Karoui-Yaakoub¹, Moncef Said Mtimet¹, Semeh Bejaoui¹, Bienvenido Martínez-Navarro^{2,3,4}

¹*Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences de Bizerte, Université de Carthage, Jarzouma, 7021 Bizerte, Tunisia, narjess1999@yahoo.fr*

²*ICREA, Barcelona, Spain*

³*Institut Català de Paleoecologia Humana i Evolució Social. Campus Sescelades URV (Edifici W3), 43007 – Tarragona, Spain*

⁴*Àrea de Prehistòria, Universitat Rovira i Virgili (URV). Avda. Catalunya, 35. 43002 - Tarragona, Spain*

Received 07.05.2018;

Received in revised form 27.07.2018;

Accepted 01.06.2018

Abstract. The mineralogical and geochemical analyses of Pleistocene sediments and mollusk shells (gastropods and bivalves) from the archaeopaleontological site of Oued Sarrat (Tejerouine, NW Tunisia) permitted us to determine the paleoenvironmental conditions and to reconstruct the local depositional environment during the Middle and

Late Pleistocene. The mineralogical cortege of the sediments, for all the analyzed samples, records the characteristics of a mixture of silica and calcite dominance with a small fraction of gypsum and aragonite. The mineralogical analyses of all mollusk species reflect a cortege dominated by aragonite, associated with low amounts of calcite, silica, hematite and goethite. We consider that the dominance of aragonite indicates that the tests have not yet or little undergone mineralogical transformations linked to the phenomena of fossilization, as evidenced by the absence or low calcite content. On the other hand, the low percentages of silica, goethite and hematite are probably related to the existence of impurities and sediments trapped in lodges, or adhered to the shell surface. The mineralogical data confirm a composition dominated by calcium carbonates, expressed by high contents of CaO and CO₂, reflecting a chemical test of organisms' development in continental environment. This kind of environment is characterized by the absence of MgO, which is usually present in the organisms' tests developed in marine environment. However, the contents of SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃ are related, as it was reported during the mineralogical study, to the lithological impurities trapped mainly in the lodges of helicids. Mineralogical and geochemical data tracing, carried out on sediments and tests, converge to deduce the establishment of paleoenvironment attributable to fluvial deposition of sufficiently high energy where the ultrafine fractions of clay minerals are remarkably lacking. The absence of indicators of marine chemistry such as magnesium in sediments and in the tests of organisms confirms almost total contribution of the continental meteoric water without marine influence. Such environment, however, is affected by intermittent episodes of aridity as attested by the presence of evaporate minerals such as gypsum and aragonite.

Key words: Environment reconstruction, Geochemistry, Mineralogy, Pleistocene, Oued Sarrat, Tunisia

Палео-екологічна реконструкція плейстоценового місцезнаходження Оуд Саррат (північно-західний Туніс) з використанням мінералогічних та геохімічних даних

Нарьес Каруї-Яакуб¹, Монсеф Саїд Мтімєт¹, Семех Беджу¹, Бенвенідо Мартінез-Наварро^{2,3,4}

¹*Департамент наук в Ла-Терре, факультет наук Бізера, Карфагенський університет, Ярзуна, 7021 Бізерта, Туніс, narjess1999@yahoo.fr*

²*ICREA, Барселона, Іспанія*

³*Каталонський інститут палеоекології людини та соціальної еволюції. Campus Sescelades URV (Edifici W3), 43007 - Таррагона, Іспанія*

⁴*Доісторична область, Університет Ровіра і Вергілі (URV). Avda Каталонія, 35. 43002 - Таррагона, Іспанія*

Анотація. У мінералогічному та геохімічному аналізах плейстоценових осадів та черепашок молюсків (червоногих та двостулкових) з археопалеонтологічного об'єкта Оуд-Саррат (Тейчеруїн, Північний Туніс) дозволили визначити палеоекологічні умови навколишнього середовища та реконструювати локальне осадове середовище протягом середнього та пізнього плейстоцену. Мінералогічна послідовність відкладів для всіх аналізованих зразків фіксує характеристики суміші кремне-

зему та домінуючого кальшиту із незначною кількістю гіпсу та арагоніту. Мінералогічний аналіз усіх видів молосків відображає послідовність, в якій домінують арагоніт, пов'язаний з низькою кількістю кальшиту, кремнезему, гематиту та гетиту. Ми вважаємо, що домінування арагоніту вказує на те, що досліджені зразки ще не зазнали або зазнали незначних мінералогічних перетворень, пов'язаних з явищами літифікації, про що свідчать відсутність або низький вміст кальшиту. З іншого боку, низький вміст кремнезему, гетиту і гематиту, ймовірно пов'язаний з існуванням змішування і захоплення осади у базальному шарі, або прикріплення до поверхні оболонки черепашки. Мінералогічні дані підтвердили склад, в якому переважають карбонати кальцію, що відбивається високим вмістом CaO і CO₂ та відображає хімічний склад організмів, які розвивалися у континентальних умовах. Цей вид середовища характеризується відсутністю MgO, який зазвичай присутній у досліджуваних організмах, що розвивалися у морському середовищі. Однак вміст SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃ є пов'язаним, як встановлено мінералогічними дослідженнями, літологічно неоднорідними сумішами в норках геліцидів. Досліджені мінералогічні і геохімічні дані, які отримані по осадах і зразках, свідчать про встановлення особливостей палеосередовища у зв'язку із флювіальними потоками достатньо високої енергії, в яких суттєво бракує надтонких фракцій глинястих мінералів. Відсутність у осадах і зразках організмів індикаторів утворення їх у морському середовищі, таких як магній, підтверджують майже повне привнесення континентальної атмосферної води без впливу морської. Втім, такі умови екологічного середовища зумовлені впливом періодичних епізодів аридизації клімату, про що свідчить присутність такого евапоритового мінералу як гіпс.

Ключові слова: охорона навколишнього середовища, геохімія, мінералогія, плейстоцен, Туніс

1. Introduction. The archaeopaleontological site of Oued Sarrat (Tejerouine, NW Tunisia) was discovered in 2014 and a large amount of vertebrate data was added for North Africa, with a special discovery of the aurochs *Bos primigenius* (Martínez-Navarro et al., 2014) and *Canis othmanii* (Amri et al., 2017). The Quaternary continental molluscs from this site were studied for the first time by Karoui-Yaakoub et al. (2016). Here we present mineralogical and geochemical data obtained from the Pleistocene sediments and molluscs tests (gastro-

pods and bivalves) of Oued Sarrat with the aim of reconstructing the Middle and Late Pleistocene paleoenvironments of the Oued Sarrat basin.

2. Geographical and geological setting. Oued Sarrat is located in the northwestern part of Tunisia, 10 km southwestwards from the Tejerouine (Fig. 1). This region belongs to an intermediate zone between the Central and the Northern Atlas of Tunisia, with diapirs and rifts. It is dominated by folded structures interspersed with rift basins corresponding to the kalaa el Khasba and Rouhia Depression.

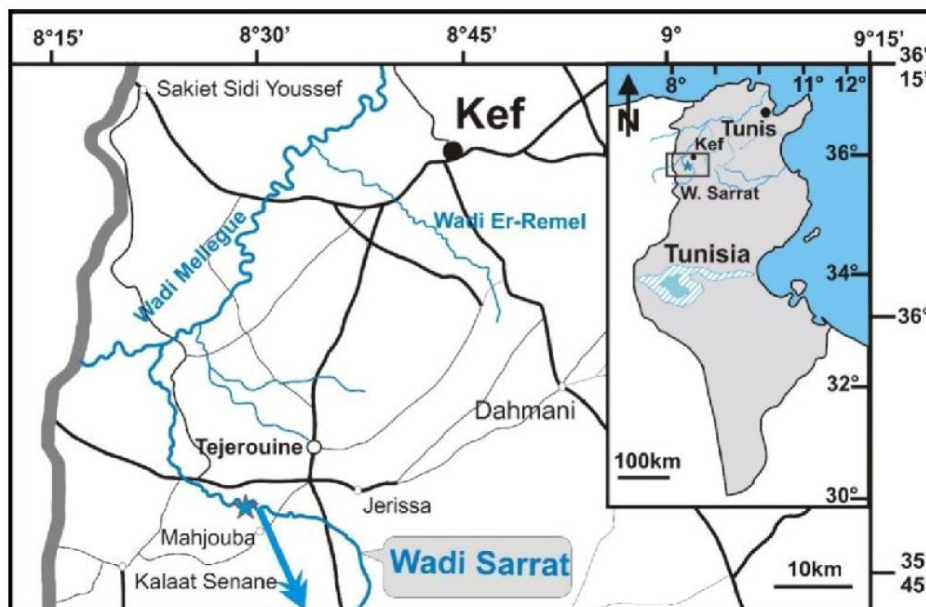


Fig. 1. Geographic location of the study area

The Pleistocene series of Oued Sarrat are composed of three units (Fig. 2). At the base, there are four meters of gray-black marl (OS1 and OS2). This layer is rich on vertebrate fauna, in particular *Bos primigenius* and *Canis othmanii*. This level is dated as beginning of the Middle Pleistocene (~0.7 Ma) by magnetostratigraphy and the presence of

fossil remains of rodents (Martínez-Navarro et al., 2014; Mtimet et al., 2014). It should be noted that these marls are rich in invertebrate fossils, specifically gastropods and bivalves.

Above, a second clay level (2m) overcomes the first black level unconformably. It is less compact and dated to the Late Pleistocene (OS3). This

level is rich in invertebrate fossils – bivalves (*Unio ravoisieri*) and gastropods (*Xerosecta cespitum*, *Cermeilla virgata*, *Eobania vermiculata*, *Helix melanostoma*, *Sphincterochila baetica*, *Rumina*

decollata) (see Amri, 2014; Bejaoui, 2014; Martínez-Navarro et al., 2014; Mtimet et al., 2014; Karoui-Yaakoub et al., 2016; Amri et al., 2017).

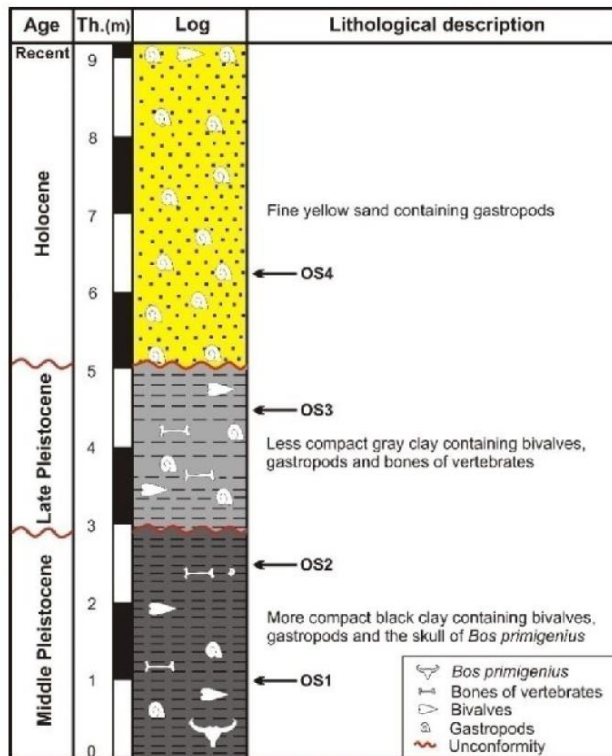


Fig. 2. Stratigraphic synthesis of the Oued sarrat series (in Karoui-Yaakoub et al., 20116)

At the top of the section (Fig. 3), a second disconformity is registered by the deposition of the third level, yellow to slightly brownish marl about 4

m in thickness (OS4). It yielded gastropods of Holocene age (Martínez-Navarro et al., 2014; Karoui-Yaakoub et al., 2016).

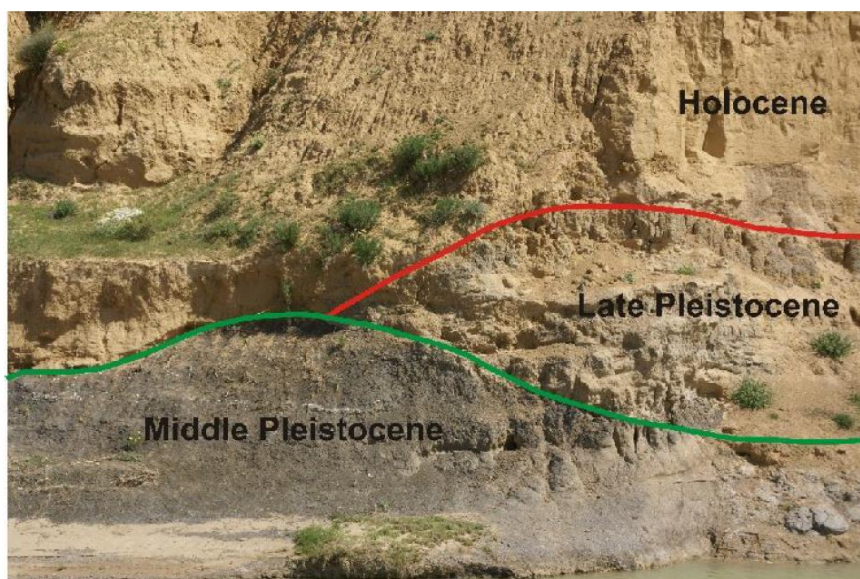


Fig. 3. The unconformity between the Middle and Late Pleistocene and between the Late Pleistocene and Holocene (Martínez-Navarro et al., 2014)

3. Materials and methods. Shells of gastropods and bivalves were sampled following the described Middle and Late Pleistocene stratigraphic series, which is outcropped on both sides of the Oued Sar-rat.

The mineralogical and geochemical studies were performed on clay sediments from three levels yielding malacofauna. Two samples (OS1 and OS2) come from the Middle Pleistocene level, one sam-

ple (OS3) – from the Late Pleistocene level, and another one (OS4) – from Holocene marls.

4. Results of the study

4.1. Mineralogical cortege

4.1.1. Mineralogy on bivalves and gastropods

The results of mineralogical analyses of all registered mollusc species reflect a cortege dominated by mineral aragonite associated with low amounts of calcite, silica, hematite and goethite (Tab. 1, Fig. 4).

Table 1. Mineralogical composition of mollusk shells of Oued sarrat

	FeO3% Hematite	CaCO ₃ % Aragonite	CaCO ₃ % Calcite	FeO(oh)% Goethite	SiO ₂ % Quartz
<i>Xerosecta cespitum</i>	0.132%	92.90%	0	0	5.99%
<i>Cerneuella virgata</i>	4.19%	89.57%	0	0	5.44%
<i>Eobania vermiculata</i>	4.70%	84.26%	0	0	9.97%
<i>Helix melanostoma</i>	2.34%	74.48%	10.54%	0	6.21%
<i>Sphincterochila baetica</i>	0	90.89%	0	7.89%	0
<i>Rumina decollata</i>	0.20%	82.48%	9.50%	0	0
<i>Unio ravoisieri</i>	0.18%	89.33%	0	0	4.13%

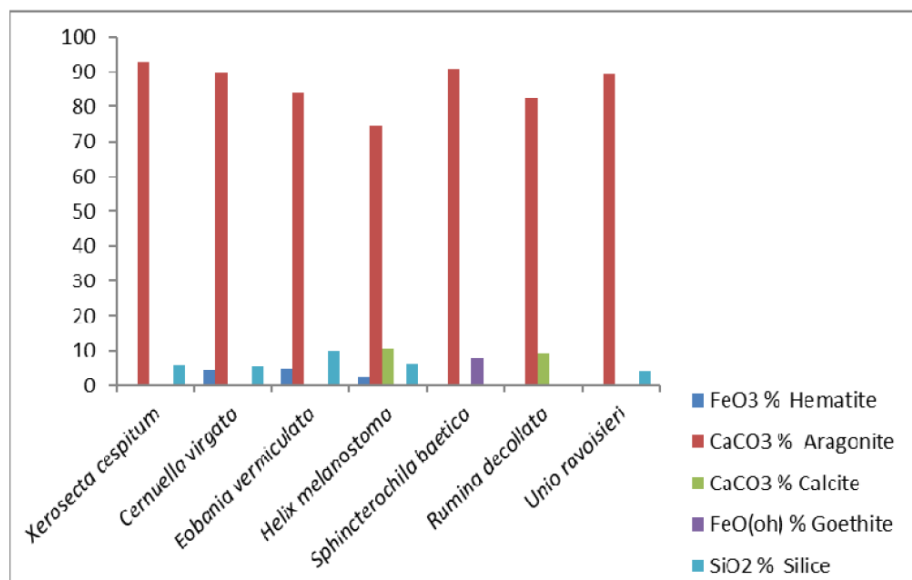


Fig. 4. Histogram of mineralogical composition of mollusk shells of Oued sarrat

We consider that the abundance of aragonite indicates that the shells have not yet undergone mineralogical transformations related to fossilization phenomena as evidenced by the absence or low

content of calcite. We interpret the presence of traces of silica, goethite and hematite as due to the existence of sediment trapped in the dressing or binding to the surface of the shell.

4.1.2. Sediment mineralogy

The mineralogical cortege of the sediments, for all the analyzed samples, records a mixture of silica and calcite dominance containing a small fraction of gypsum and an aragonite fraction of 11.65% in the sample OS4 (Tab.2, Fig.5). The cal-

cite-silica reflects initially the characteristics of a detrital sediment in which calcite is likely related to lithoclastic fragments with low contribution of aragonitic debris, as evidenced by the low content of aragonite in the sample OS4.

Table 4. Chemical composition of clays in Oued sarrat

	CaCO3% Aragonite	CaCO3% Calcite	Al2O3%	FeO(oh)%	CaSO4%	SiO2%
OS1	0	40.27	1.12	7.65	3.57	36.53
OS2	0	43.31	2.94	5.54	3.66	29.05
OS3	0	51.89	2.78	7.95	0	27.20
OS4	11.65	34.12	0	6.65	0	18.98

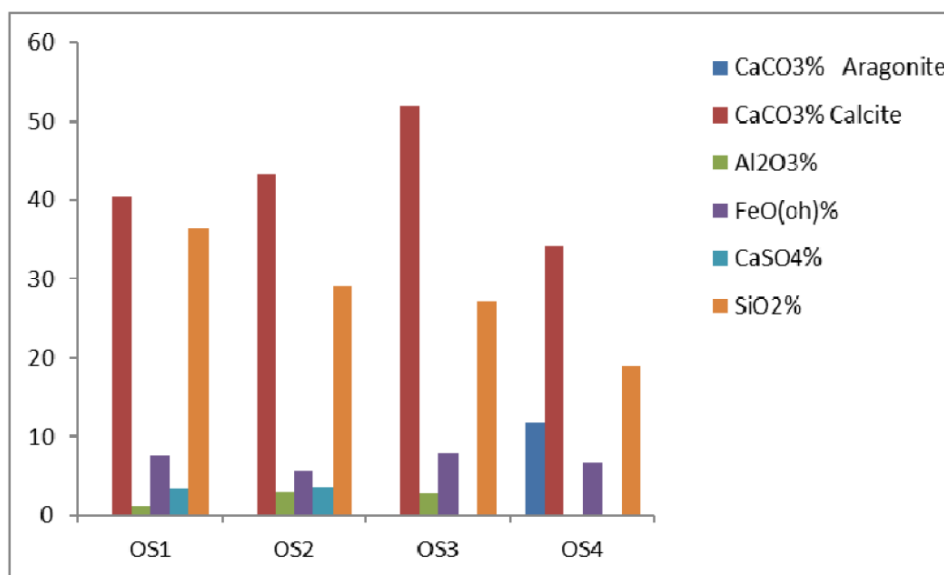


Fig. 5. Histogram of mineralogical composition of marl of Oued sarrat

4.1.3. Interpretation

The absence of clear clayey minerals signals in the analyzed spectra, as well as the abundance of calcified siliceous fraction, reflects a fairly high-energy fluvial environment undergoing at times of arid conditions favorable to the formation of evaporitic minerals.

4.2. Geochemical tracing

4.2.1. Analysis on shells of gastropods and bivalves

The results presented in Table 3 confirm the mineralogical data with a composition dominated by calcium carbonates, expressed by high contents of CaO and CO₂. This reflects a chemical test on development of organisms in a continental environment clearly confirmed by the absence of MgO, which is usually present in the organisms' tests

developed in a marine environment, with an Mg content varying from 12 to 18%. However, it should be noted that in Pleistocene tests for the species *Unio ravoisieri*, the Mg content is equal to zero, although the analysis of the extant species shows that this values is equal to 2.31% (Tab.3, Fig.6). This low Mg content is far from reaching the characteristic values of completely marine species. This Mg rate could be linked to a certain ability of the species to obtain this element from the fluvial waters. This ability indicates a possible change in the behaviour of above mentioned species. On the other hand, the contents of SiO₂, FeO₃, Al₂O₃, are also comparable, as it was reported during the mineralogical study, to the lithological impurities trapped mainly in the lodges of helicides.

Table 3. Chemical composition of Pleistocene mollusk shells of Oued sarrat

	CaO %	Al2O3 %	CO2 %	Fe2O3 %	SiO2 %	MgO%
	Pleisto	Pleisto	Pleisto	Pleisto	Pleisto	Pleisto
<i>Xerosecta cespitum</i>	53.53	3.74	37.17	0.12	5.45	0
<i>Ceruellea virgata</i>	51.60	3.31	36.21	3.86	5.01	0
<i>Eobania vermiculata</i>	49.21	3.87	33.61	4.27	9.05	0
<i>Helix melanostoma</i>	48.84	1.07	36.95	4.79	5.73	0
<i>Sphincterochila baetica</i>	52.29	3.33	36.72	6.88	0.00	0
<i>Rumina decollata</i>	56.16	1.31	42.38	0.16	0.00	0
<i>Unio ravoisieri</i>	52.50	5.05	34.65	3.66	0.00	0

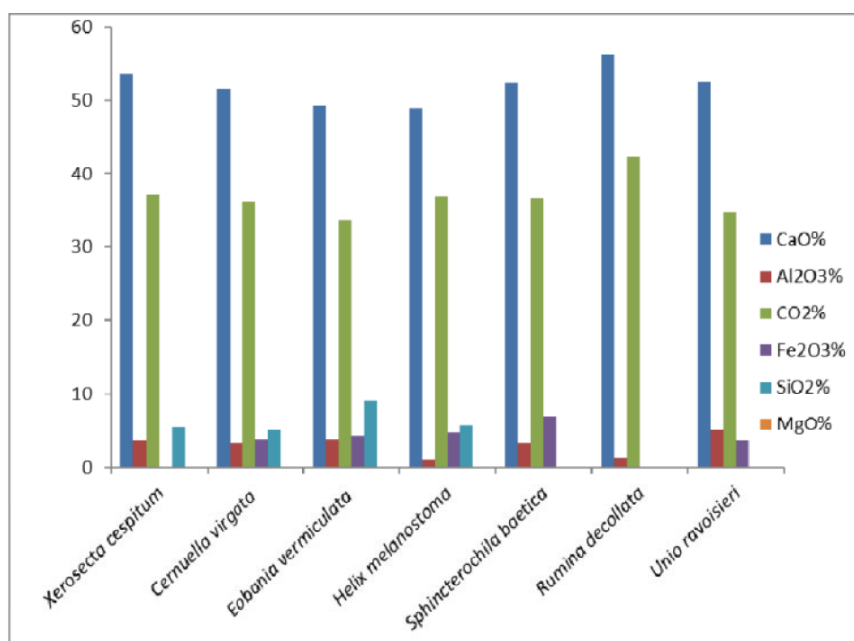


Fig. 6. Histogram of chemical composition of Pleistocene mollusk shells of Oued sarrat

4.2.2. Sedimentological analysis

The results presented in Table 4 reflect the original sand-calcitic and detrital sediments exceeding 90% for this fraction. Coupled with very low proportions of Al₂O₃, about 3%, all data allow us to assume a fluvial environment where the water win-

nowing seems to be unfavorable to the sedimentation of the ultrafine fraction of the clayey minerals. The continental chemistry is demonstrated by the absence of magnesium in all analyzed sediments (MgO = 0; Tab. 4, Fig. 7).

Table 4. Chemical composition of clays in Oued sarrat

	CaO %	Al2O3 %	CO2 %	Fe2O3 %	SO3 %	SiO2 %	MgO%
OS1	35.85	0.85	26.96	5.17	2.14	27.49	0
OS2	35.38	2.94	26.87	4.84	1.63	27.05	0
OS3	35.64	3.51	26.78	8.10		25.25	0
OS4	41.66		32.68	5.98		18.98	0

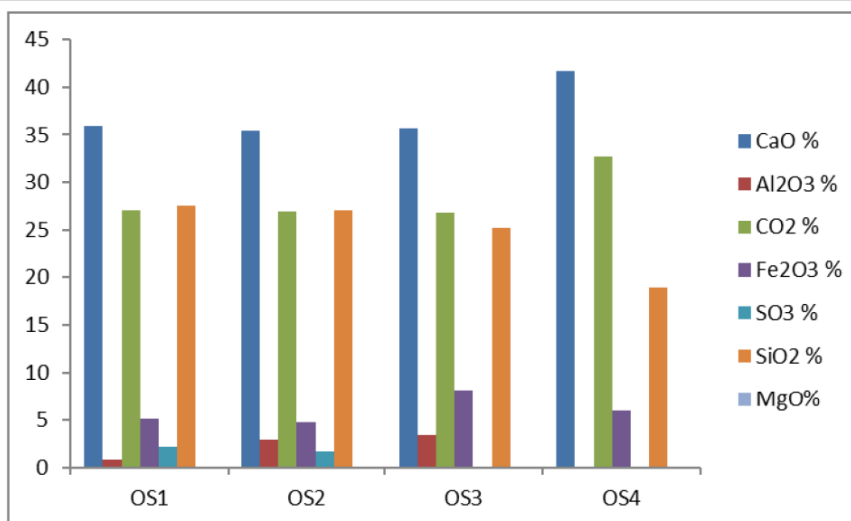


Fig.7. Histogram of chemical composition of clays in Oued sarrat

4.3. Interpretation of mineralogical and geochemical data

Mineralogical and geochemical data tracing, carried out on sediments and tests, allow us to conclude the establishment of a paleoenvironment attributable to fluvial deposition of sufficiently high energy where the ultrafine fraction of clayey minerals is remarkably lacking. The absence of indicators of marine chemistry, such as magnesium, in sediments and in the molluscs' tests confirms the almost total contribution of the continental meteoric waters without marine influence. Such environment, however, is affected by intermittent episodes of aridity as evidenced by the presence of evaporates such as gypsum.

5. Conclusion

Mineralogical and geochemical analyses confirm previously obtained paleoecological results (Martínez-Navarro et al., 2014; Karoui-Yaakoub et al., 2016; Amri et al., 2017). The depositional environment was definitely neither marine nor lagoonal, but rather fluvial due to continental meteoric waters in a hot climate.

The Oued Sarrat site is dated in time frame from the Middle to the Late Pleistocene, a landscape covered with swamp and forest, or even shallow freshwater lake. The latter was powered by channels and, certainly, around the lake there inhabited abundant different large mammalian species together with other small vertebrates and invertebrates that were probably consumed for human survival.

References

Amri, L., 2014. *Etude paléontologique des grands mammifères quaternaires d'Oued Sarrat (Nord-*

Ouest de la Tunisie). International Master Thesis in QUATERNARY AND PREHISTORY [Unpublished], 101 p.

Amri, L., Bartolini Lucenti, S., Mtimet, M.S., Karoui-Yaakoub, N., Ros-Montoya, S., Espigares, M.P., Boughdiri, M., Bel Haj Ali, N., Martínez-Navarro, B., 2017. *Canis othmanii* sp. nov. (Carnivora, Canidae) from the early Middle Pleistocene site of Wadi Sarrat (Tunisia). *Comptes Rendus Palevol*, 16(7), 774-782. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crpv.2017.05.004>

Bejaoui, S., 2014. *Les mollusques continentaux d'Oued Sarrat (nord ouest de la Tunisie), paleoecologie et paleoenvironnement du Pleistocene*. Mémoire de Master [Unpublished], 103.

Karoui-Yaakoub, N., Mtimet, M.S., Bejaoui, S., Amri, L., Khalloufi, N., Ben Aissa, L., Martínez-Navarro, B., 2016. Middle-to-Late Pleistocene malacofauna from the archeopaleontological site of Oued Sarrat (Tajerouine area, NW Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 345. <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-016-2310-4>

Martínez-Navarro, B., Karoui-Yaakoub, N., Oms, O., Amri, L., López-García, J.M., Zeräi, K., Blain, H.A., Mtimet, M.S., Espigares, M.P., Ben Haj Ali, N., Ros-Montoya, S., Boughdiri, M., Agustí, J., Khayati-Ammar, H., Maalaoui, K., Maahmoudi, O.K., Sala, R., Hawas, R., Palmqvist, P., 2014. The early Middle Pleistocene archeopaleontological site of Oued Sarrat (Tunisia) and the earliest record of *Bos primigenius*. *Quaternary Science Reviews*, 90, 37-46. <http://10.1016/j.quascirev.2014.02.016>

Mtimet, M.S., Karoui-Yaakoub, N., López-García, J.M., Blain, H.A., Agustí, J., Amri, L., Martínez-Navarro, B., 2014. The early Middle Pleistocene microvertebrate assemblage from Wadi Sarrat (Tunisia). In: XXX (ed.), *XVII World UISPP Congress 2014 Burgos*, 1-7 September. Volume of abstracts, p. 100-10.