



Paléontologie générale (Biostratigraphie)  
Découverte de Jurassique supérieur et d'un niveau marin  
du Barrémien dans les « couches rouges » continentales  
du Haut Atlas central marocain :  
implications paléogéographiques et structurales

André Charrière <sup>a,\*</sup>, Hamid Haddoumi <sup>b</sup>, Pierre-Olivier Mojon <sup>c</sup>

<sup>a</sup> 2, rue du Récantou, 34740 Vendargues, France

<sup>b</sup> Laboratoire de paléontologie, stratigraphie et sédimentologie, département de géologie, faculté des sciences, université Mohammed-I<sup>er</sup>, 60000 Oujda, Maroc

<sup>c</sup> Chemin du Martinet 9, CH-1007 Lausanne, Suisse

Reçu le 1<sup>er</sup> février 2005 ; accepté après révision le 18 avril 2005

Disponible sur internet le 09 juin 2005

Présenté par Michel Durand-Delga

## Résumé

Des associations significatives de charophytes et d'ostracodes ont été récoltées dans l'unité médiane (formation des Iouaridène) des « couches rouges » continentales jurassico-crétacées du Haut Atlas central marocain. Dans son stratotype, situé dans le synclinal des Iouaridène, et aussi dans le synclinal de Ouauouzarht, la partie inférieure de la formation des Iouaridène a livré les charophytes *Porochara kimmeridgensis* et *Dictyoclavator ramalhoi*, permettant de dater, pour la première fois, une sédimentation continentale d'âge Jurassique supérieur (Oxfordien?–Kimméridgien) dans le Haut Atlas central. Par ailleurs, des ostracodes, récoltés dans la partie supérieure de la même formation, indiquent une ingression marine au Barrémien inférieur. Ces données biostratigraphiques permettent de préciser l'âge de certains niveaux à restes et traces de Dinosaures, d'améliorer les reconstitutions paléogéographiques, de reconnaître la position stratigraphique de deux épisodes d'épanchements magmatiques et de contraindre les modèles structuraux évolutifs de la chaîne Atlasique au Mésozoïque. Ainsi, le domaine central du Haut Atlas marocain peut désormais être intégré pendant le Jurassique supérieur et le Crétacé inférieur à la marge de l'Atlantique central en expansion. **Pour citer cet article : A. Charrière et al., C. R. Palevol 4 (2005).**

© 2005 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

## Abstract

**First record of the Upper Jurassic and of a marine Barremian intercalation in the continental 'redbeds' from the central Moroccan High Atlas: palaeogeographic and structural implications.** Meaningful assemblages of charophytes and ostracods have been collected in the intermediate unit (Iouaridene Formation) of the Jurassic–Cretaceous 'redbeds' from the central Moroccan High Atlas. In the type locality of the Iouaridene syncline and also in the Ouauouzarht syncline, the lower part

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : [andre.charriere@cegetel.net](mailto:andre.charriere@cegetel.net) (A. Charrière).

of the above-mentioned formation has yielded the charophytes *Porochara kimmeridgensis* and *Dictyoclavator ramalhoi*, allowing us to underline for the first time an Upper Jurassic continental sedimentation (Oxfordian?–Kimmeridgian) in the central High Atlas. Moreover, ostracods collected in the upper part of the formation quoted indicate an early marine ingression in the Lower Barremian. These biostratigraphic data allow us to precise the dating for the Dinosaurs' remains and tracks, to improve the palaeogeographical reconstructions, to recognize the stratigraphic position of two extrusive magmatic events B1 and B2 as well as to constrain the structural and evolutionary patterns of the Atlasic Belt during the Mesozoic period. **To cite this article: A. Charrière et al., C. R. Palevol 4 (2005).**

© 2005 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

*Mots clés* : « Couches rouges » continentales ; Charophytes ; Ostracodes ; Biostratigraphie ; Jurassique supérieur ; Barrémien ; Haut Atlas ; Maroc

*Keywords*: Continental 'redbeds'; Charophytes; Ostracods; Biostratigraphy; Upper Jurassic; Barremian; High Atlas; Morocco

## Abridged English version

### Geologic and stratigraphic framework

Since the Middle Jurassic to the Middle Cretaceous, continental 'redbeds' (Fig. 1A) were deposited on the main part of the Atlasic area (central and eastern High Atlas, Middle Atlas), whereas the place of the western High Atlas remained in marine coastal sedimentary conditions connected with the opening of the central Atlantic. The stratigraphic series of the 'redbeds' in the central High Atlas (Fig. 1B) is well known since the basic studies [14] used to elaborate the geologic maps of this area [17,19,21,25] and constituted by three successive lithologic formations: the Guettioua formation, with coarse sandstones and Dinosaur remains [27,28], the Iouaridene Formation, with more finely detrital sediments (silts, pelites, marls), and the Jbel Sidal Formation, mainly constituted by sandstones. These deposits apparently unfossiliferous were assigned to various stratigraphic positions from the Middle Jurassic (Bathonian?–Callovian) until to the Lower Cretaceous [26].

Our recent studies on the field (A.C. and H.H.) and micropalaeontological analyses (P.-O.M.) supplied however new biostratigraphic data in the intermediate unit of the 'redbeds' (Iouaridene Formation) with significant consequences for the cartography, the palaeontology and the palaeogeography.

### Lithostratigraphy and new micropalaeontological data

#### Iouaridene syncline

In its stratotype [18], the Iouaridene Fm. is thick of about 1000 m. In its lower part, which was solely studied (section, Fig. 2 B), the bottom has yielded the charo-

phyte *Porochara hians* from the Dogger [5]. Above, red marls are overlapped by a set of repeated sequences with palaeosoils and mud-cracks, showing besides on its top remarkable Dinosaur tracks [9]. Still above, about 200 m from the bottom, we collected numerous microfossils, as lacustrine Ostracods (mainly *Cypridea suprajurassica* and *C. mohandi*), and charophytes, as *Porochara kimmeridgensis* and *Dictyoclavator ramalhoi*, which indicate undoubtedly the Kimmeridgian [10,22,23].

#### Ouaouizarht syncline

In the lower member of the Iouaridene Fm. (section, Fig. 3B), the first samples over the basalts B1 have supplied small shells of lacustrine bivalves (*Unio* sp.) and ostracods (*Cypridea* spp.) as well as gyrogonites of *Porochara kimmeridgensis* indicating the Oxfordian or the Kimmeridgian. Above, other samples (W3, W18, W19) allowed to find again the same lacustrine ostracods (*Cypridea* spp. and some others) and charophytes *Porochara kimmeridgensis* and *Dictyoclavator ramalhoi* from the Kimmeridgian. Furthermore, near Ouaouizarht (Fig. 3A and C, samples W39, W34), brown marly layers in the upper member of the same formation have yielded ostracods showing Eurasian and Gondwanian affinities as well as a mainly brackish palaeoenvironment and a Lower Cretaceous age, which is confirmed in sample W34 by marine ostracods *Trachyleberididae* linked to the Lower Barremian [23].

### Biostratigraphy and correlations

The collection of *Porochara hians* in the bottom of the Iouaridene Formation is related to the Middle Jurassic, whereas the first marly sequence can be linked either to the Oxfordian or the Kimmeridgian and the

discovery of *Porochara kimmeridgensis* and especially *Dictyoclavator ramalhoi* over the palaeosoils with mud-cracks proves undoubtedly the first occurrence of the Kimmeridgian in the continental «Red Beds» from the central High Atlas [23]. Furthermore, the upper part of this same formation can also be attributed there to the Lower Barremian after marine ostracods [23]. Thus, the Iouaridene Fm. results from a long period of sedimentary record including about 50 Ma, unlike the eastern High Atlas and Middle Atlas, which remained emerged and subjected to erosion during most of the Upper Jurassic and Lower Cretaceous.

#### *Discussion on the results*

##### *Cartographic corrections*

An immediate implication of the available new datings involves a revision of the undifferentiated stratigraphic attribution (Bathonian?–Callovian) assigned to the Iouaridene Fm. and the overlapping Jbel Sidal Fm. on diverse regional geologic maps on 1:100 000.

##### *Relative chronology for the Dinosaurs' remains and tracks*

Firstly, the Middle Jurassic Age for the Dinosaur skeletons and bones found in the Guettioua Fm. is confirmed. On the other hand, the famous tracks of herbivorous and carnivorous Dinosaurs in the lower Iouaridene Fm must be connected with the Upper Jurassic (Oxfordian?–Kimmeridgian).

##### *Relative dating for the magmatic events B1 and B2*

The new biostratigraphic data obtained allow as well the relative dating for the Jurassic–Cretaceous basalts recognized in the Atlas Mountains from Morocco (Fig. 3A and C), the first one (B1) in the Middle Jurassic (Dogger) and the second one (B2) in the Lower Cretaceous (Barremian).

##### *New data for the structural geology*

The assumption of syntectonic sedimentation only during the Middle Jurassic [14,17,24] must be partly reconsidered. Indeed, significant syntectonic sedimentation was also active during the Upper Jurassic and the Lower Cretaceous, most particularly in the Barremian. Accordingly, the recent geodynamic model [3] subdividing the Mesozoic of the Atlas Mountains into a syn-rift period from the Trias to the Middle Jurassic

and a post-rift period starting in the Upper Cretaceous must be therefore revised.

##### *Palaeogeographic and geodynamic implications*

The dating of the Kimmeridgian entails an important corrective on the current palaeogeographic maps [7]. Moreover, the Barremian marine indications implicate the occurrence of coastal lagoons connected with the opening of the central Atlantic. Thus, the central High Atlas area must not be any more considered as a Tethyan gulf, but as belonging to the spreading margin of the central Atlantic.

#### *Conclusions*

Meaningful collections of charophytes and ostracods prove the first occurrence of Upper Jurassic continental lacustrine deposits (Oxfordian?–Kimmeridgian) besides a Lower Barremian marine ingression in the central High Atlas.

These new biostratigraphic data allow us to attribute the localities with Dinosaur tracks to the Upper Jurassic and the magmatic event B2 to the Barremian. These new relative datings involve integration into the previous data of a significant Upper Jurassic and Barremian syntectonic sedimentation.

So, the results exposed here entail that during the Upper Jurassic and Lower Cretaceous times, the central area of the Moroccan High Atlas was located on the spreading oceanic margin of the central Atlantic.

## **1. Cadre géologique et stratigraphique**

Alors que le Haut Atlas occidental (Fig. 1A) demeurerait le siège d'une sédimentation margino-littorale atlantique, sur la plus grande partie du domaine atlasique (Haut Atlas central et oriental, Moyen Atlas), des « couches rouges » continentales se sont déposées après la fermeture, au cours du Jurassique moyen, des sillons marins atlasiques ouverts au nord-est et à l'est, en direction du domaine téthysien [8]. Ainsi, dans le Haut Atlas central, un important ensemble de « couches rouges » affleure largement dans plusieurs cuvettes synclinales (Fig. 1B) entre les dépôts marins du Bajocien–Bathonien inférieur et ceux de l'Aptien.

### *1.1. Les « couches rouges » du Haut Atlas central*

La stratigraphie des « couches rouges » du Haut Atlas central est bien connue depuis l'élaboration des cartes

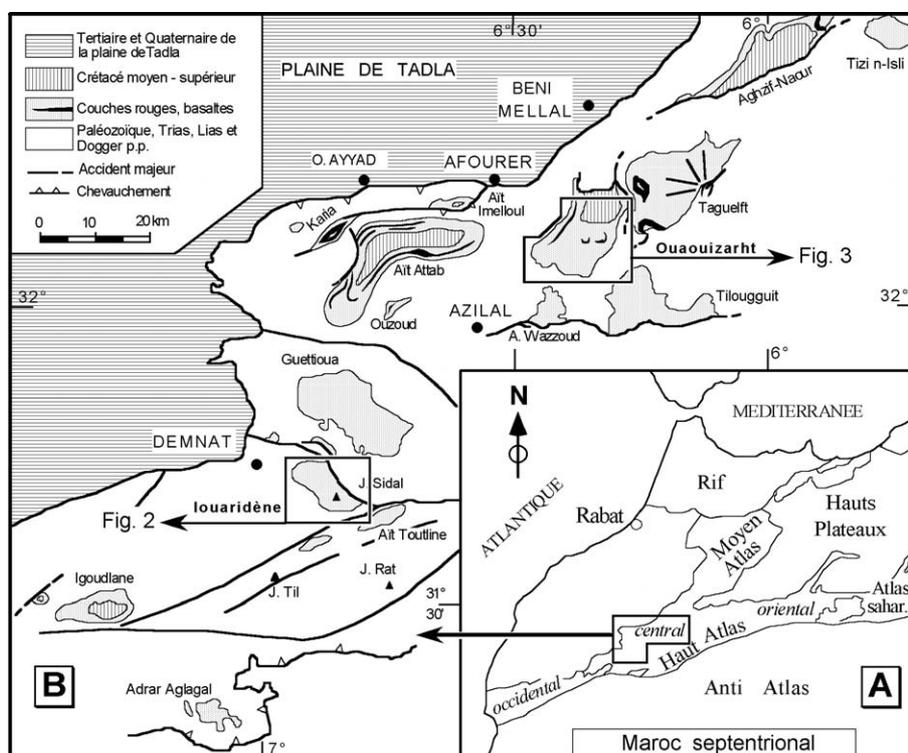


Fig. 1. (A) Plan de situation de l'aire étudiée (Haut Atlas central); (B) carte géologique schématique du Haut Atlas central et position des synclinaux à « couches rouges ».

Fig. 1. (A) Location map of the studied area (central High Atlas Mountains); (B) schematic geologic map of the central High Atlas Mountains and location of the synclines with 'redbeds'.

géologiques de cette région [17,19,21,25]. Succédant aux derniers dépôts marins [30], de plus en plus confinés, trois formations continentales sont représentées [14], avec, de bas en haut: la formation des Guettioua, la formation des Iouaridène et la formation du Jbel Sidal (Fig. 3C). Cette dernière est recouverte par l'Aptien marin (formation d'Aït Tafelt) [33], suivi d'une récurrence lagunaire (formation d'Ouaouizarht) précédant la vaste transgression du Cénomanién supérieur-Turonien (formation d'Aït Attab) [1].

La formation des Guettioua, représentée dans la plupart des synclinaux, est essentiellement formée de conglomérats, de grès ou de silts de couleur souvent rouge sombre, en alternance avec des couches pélitiques versicolores. Elle correspond à des dépôts de plaine alluviale à deltaïque, à chenaux fluviaux. Dans le synclinal de Tilaougguit, à une centaine de mètres de la base de la formation, un niveau silto-gréseux a livré [27] le squelette, presque complet du dinosaure sauropode *Atlasaurus imelakei* [28].

La formation des Iouaridène est cartographiée [17] et définie [18] dans le synclinal du même nom, situé au sud-est de Demnat (Fig. 1B). Elle comporte successivement : un membre inférieur à pélites et marnes rouge violacé à rouge orangé, avec des bancs indurés de grès fins, à toit présentant des fentes de dessiccation et parfois des traces de Dinosaures [9] ; un membre supérieur, plus argileux et brun, à intercalations dolomitiques ayant livré [6] des associations palynologiques à *Classopollis*. Dans d'autres synclinaux (Aït Attab, Ouaouizarht), ce membre supérieur présente d'importantes assises gypseuses.

La formation du Jbel Sidal, également définie [14,18] dans le synclinal des Iouaridène, est une formation détritico-gréseuse à dominante gréseuse. Elle est constituée d'une succession de barres silteuses ou gréseuses violacées, à niveaux lenticulaires conglomératiques, séparées par des dépôts pélitiques. Sa limite supérieure correspond dans ce synclinal à la surface d'érosion actuelle. Lorsque la partie supérieure de la

formation est conservée (synclinaux d'Aït Attab, Aït Imelloul et Ouauizarht), on constate une apparition localisée de niveaux dolomitiques parfois fossilifères [11] et un passage vertical à la sédimentation marine aptienne, débutant par un premier niveau de marnes vertes à foraminifères et ostracodes marins [2].

### 1.2. Des attributions stratigraphiques très contradictoires

Les « couches rouges » continentales du domaine atlasique central et oriental, rarement fossilifères, ont fait l'objet d'attributions stratigraphiques très variables tout au long du XX<sup>e</sup> siècle [26]. Dans le Haut Atlas central, cette série a été attribuée dans son intégralité au Crétacé inférieur [31], en raison de sa position sous l'Aptien daté et des indications géochronologiques fournies par les basaltes intercalés dans le haut de la série. En revanche, ces « couches rouges » ont été rapportées [14] dans leur intégralité au Jurassique moyen (Bathonien–?Callovien), d'après leur superposition aux séries marines du Bajocien supérieur–Bathonien inférieur, l'âge des Dinosauriens de la première formation continentale et l'apparente continuité sédimentaire entre ces trois formations. Sur la carte géologique du Maroc [35], ces terrains sont regroupés sous la terminologie de « Jurassique gréseux rouge ».

À la suite d'études de terrain (A.C. et H.H.) et d'analyses micropaléontologiques (P.-O.M.), nous apportons de nouveaux éléments de datation dans l'unité intermédiaire des « couches rouges » (formation des Iouaridène) du sud-ouest au nord-est du Haut Atlas central. Ces repères biostratigraphiques sont situés respectivement dans les parties basale et supérieure de la formation des Iouaridène. Les différentes conséquences de ces nouvelles datations sont envisagées et la position paléogéographique de ce segment du domaine atlasique, situé entre les domaines téthysien (nord-est) et atlantique (sud-ouest), est réexaminée.

## 2. Lithostratigraphie et données micropaléontologiques nouvelles

### 2.1. Synclinal des Iouaridène

La formation des Iouaridène, bien développée au nord-ouest de la structure synclinale (Fig. 2A), avoi-

sine 1000 m d'épaisseur, et seule sa partie inférieure (environ 250 m) a été étudiée (coupes, Fig. 2B). Elle débute par une série essentiellement marneuse (a), de couleur rouge vif dont la base a livré (IO 4-5-6) *Porochara hians* du Dogger. La série se poursuit par un ensemble (b) de séquences cycliques formées de pélites (3 à 5 m d'épaisseur) et de silts dolomitiques (décimétriques), couronnés de polygones de dessiccation, parfois associés à des rides. Les deux dernières séquences présentent, en particulier, de spectaculaires empreintes et pistes de Dinosauriens, notamment de Sauroptiles géants [9]. Au-dessus se développe un nouvel ensemble marneux rubéfié (c), comprenant, à environ 60 m au-dessus des empreintes citées, un niveau à écailles et dents de poissons constituant un horizon-repère représenté dans d'autres structures synclinales [18]. Dans ce niveau lenticulaire et au-dessus, plusieurs prélèvements (IO E-F-G-H, IO 20) se sont révélés riches en microfossiles, parmi lesquels, notamment, des ostracodes lacustres comme *Cypridea suprajurassica* et *C. mohandi*, deux nouvelles espèces récemment décrites [23], ainsi que des charophytes comme *Porochara kimmeridgiensis* et surtout *Dictyo-*

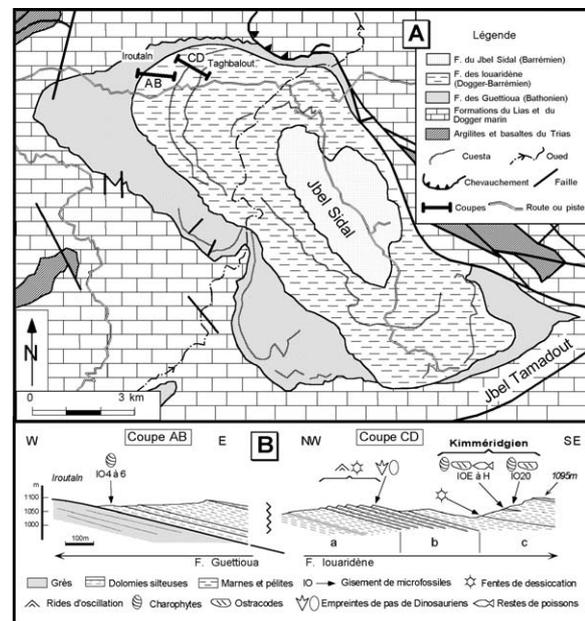


Fig. 2. (A) Synclinal des Iouaridène (d'après [17], simplifié) ; (B) coupes et position des échantillons fossilifères dans le membre inférieur de la formation des Iouaridène.

Fig. 2. (A) Iouaridène syncline (after [17], simplified); (B) sections and position of the fossiliferous samples in the lower member of the Iouaridène Formation.

*clavator ramalhoi*, indiquant indubitablement le Kimmérien [10,22,23].

## 2.2. Synclinal de Ouaouzarht

### 2.2.1. Les « couches rouges » du Jurassique supérieur (Fig. 3B)

Sur le flanc nord-ouest du synclinal de Ouaouzarht (Fig. 3A), la formation des Iouaridène présente une épaisseur de l'ordre de 400 m. La dernière barre grés-conglomératique rouge sombre de la formation des Guettioua est recouverte d'une dizaine de mètres de

basaltes verdâtres. Au-dessus d'une paléosurface d'altération météorique, le membre inférieur de la formation des Iouaridène présente successivement des dolomies de remplissage des fissures d'altération des basaltes, des microconglomérats et grès à bancs strato-décroissants, un second niveau de dolomies à *slumps*, et enfin un grès sombre. Près de la base de la série marneuse sus-jacente (W0 5-6-7-8-9, W13-13C) ont été récoltés de petits bivalves laguno-lacustres, apparentés au genre *Unio*, des ostracodes, dont *Cypridea* spp., ainsi que des gyrogonites de *Porochara kimmeridgensis*, espèce pouvant se rapporter à l'Oxfordien ou au Kim-

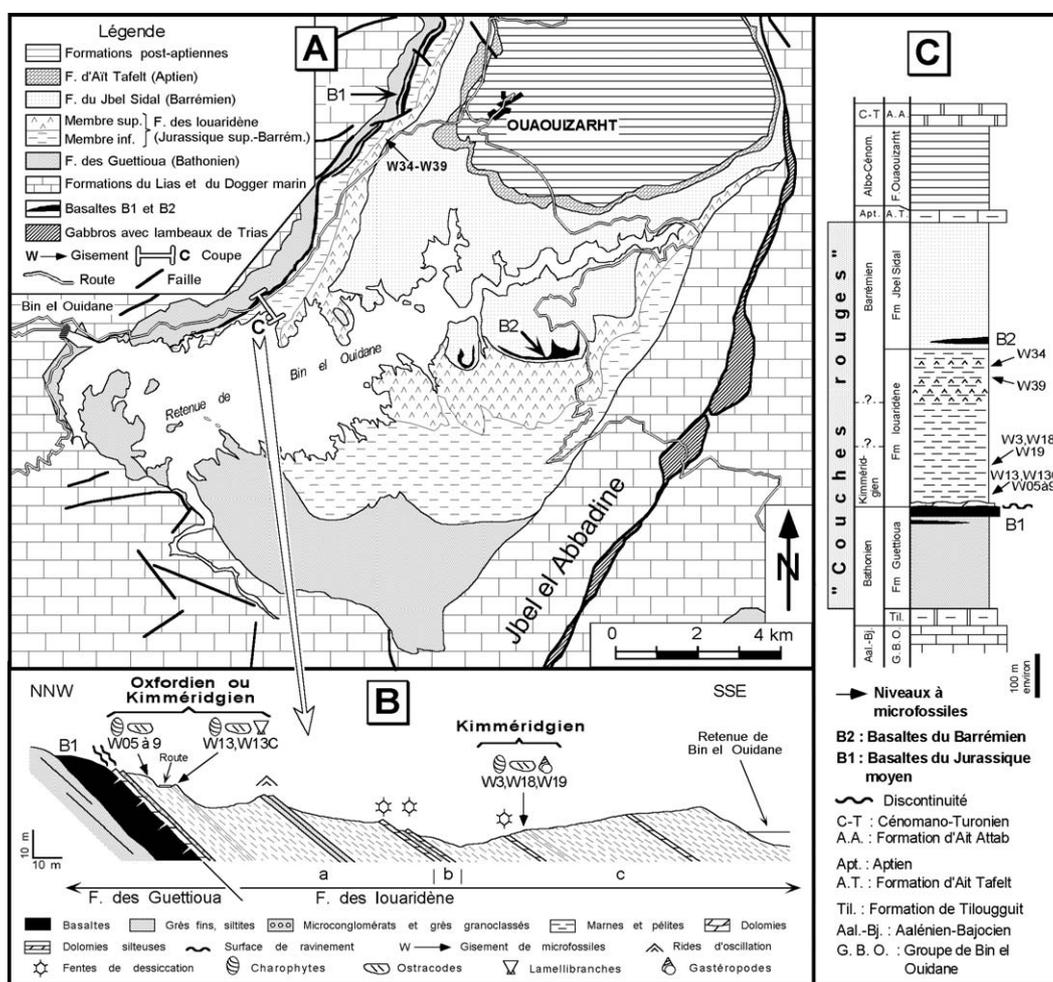


Fig. 3. (A) Synclinal de Ouaouzarht (d'après [25], modifié) ; (B) coupe dans le flanc nord ; (C) colonne stratigraphique synthétique et position des échantillons fossilifères dans la formation des Iouaridène.

Fig. 3. (A) Ouaouzarht syncline (after [25], modified) ; (B) section in the northern slope ; (C) comprehensive geologic log and position of the fossiliferous samples in the Iouaridène Formation.

mériidgien [23]. La série marneuse (a) est suivie d'alternances (b) de pélites rouges et de petits bancs décimétriques silto-carbonatés, coiffés d'une surface à polygones de dessiccation, faciès équivalents à ceux du synclinal des Iouaridène, mais d'épaisseur considérablement réduite. La série se poursuit avec des marnes rubéfiées (c), où un échantillonnage (W3, W18, W19) a permis de retrouver les mêmes ostracodes lacustres (*Cypridea* spp. et diverses autres formes), ainsi que les charophytes *Porochara kimmeridgensis* et *Dictyo-clavator ramalhoi* du Kimmériidgien. La suite de la série vers le SSE est masquée par la retenue de Bin el Ouidane jusqu'à l'apparition des assises gypseuses (membre supérieur de la formation des Iouaridène)

### 2.2.2. Les « couches rouges » du Crétacé inférieur (Fig. 3C)

Dans la partie nord-orientale du synclinal (Fig. 3A) où le membre supérieur de la formation des Iouaridène est verticalisé, affleurent des « couches rouges » créta-cées. Au-dessus de la masse gypseuse principale, des niveaux marneux de couleur marron (W39) et grisâtre (W34), ont livré, comme à Aït Attab, des faunes d'ostracodes laguno-lacustres d'affinités eurasiatique (*Fabarella* et *Cetacella* spp.), gondwanienne (*Salvadoriella*, *Petrobrasia*, *Reconcavona*, *Hourcqia* et *Paracypridea* spp., *Cypridea* [*Sebastianites*?] aff. *mataensis* et *Candona*? aff. *gregaria*) ou mixtes (*Darwinula* spp.), indiquant des paléomilieus essentiellement saumâtres ainsi que le Crétacé inférieur non basal, un âge confirmé dans W34 par une association d'ostracodes marins *Trachyleberididae* (*Strigosocythere* cf. *strigosa*, *Rehacythereis* sp., *Protocythere* sp.), apparentés à des formes du Barrémien inférieur de l'Europe occidentale [23].

## 3. Biostratigraphie et corrélations

### 3.1. Nouvelles données biostratigraphiques

La récolte de *Porochara hians* à la base de la formation des Iouaridène dans le synclinal des Iouaridène indique le Jurassique moyen, cette espèce ayant été décrite [5] dans le Bathonien-Callovien inférieur de la formation d'El Mers du Moyen Atlas, au-dessous d'un niveau marin à *Praekurnubia crusei* et *Pseudocyclamina maynci*.

Dans le synclinal d'Ouaouizarht, la première séquence marneuse à *Porochara kimmeridgensis* peut

sans précision être attribuée, soit à l'Oxfordien, soit au Kimmériidgien. En revanche, la découverte, avec *P. kimmeridgensis*, de *Dictyo-clavator ramalhoi*, au-dessus de la série à polygones de dessiccation à Iouaridène et Ouaouizarht, démontre indubitablement, pour la première fois, la présence de Kimmériidgien dans les « couches rouges » continentales du Haut Atlas central. Enfin, une passée à la partie supérieure de la formation des Iouaridène est datée à Ouaouizarht par des ostracodes marins du Barrémien inférieur [23].

Grâce à ces acquis biostratigraphiques, la marge d'incertitude concernant l'âge des « couches rouges » du Haut Atlas central se réduit considérablement. La formation des Iouaridène correspond à un enregistrement sédimentaire étalé dans le temps, sur environ 50 Ma, et le passage Jurassique-Crétacé est à rechercher au sein de cette formation.

### 3.2. Corrélations entre les synclinaux du Haut Atlas central

L'âge Barrémien inférieur de la partie supérieure de la formation des Iouaridène établi par les ostracodes à Ouaouizarht et par *Globator mutabilis* [23] à Aït Attab précise l'intervalle de datation (Hauterivien supérieur-Barrémien inférieur) précédemment obtenu dans le synclinal d'Aït Attab [13]. La formation du Jbel Sidal sus-jacente débute donc dans le Barrémien, âge retrouvé dans le synclinal d'Aït Imelloul (Fig. 1B), avec la présence de *Globator trochiliscoides* et *Atopochara trivolvus triquetra*, permettant d'identifier plus précisément le Barrémien supérieur.

La question de l'âge de la base de la formation des Iouaridène est plus complexe. Dans la partie sud-est du synclinal des Iouaridène (Fig. 2A) et la partie est du synclinal de Ouaouizarht (Fig. 3A), à l'approche des rides anticlinales, les couches inférieures de la formation sont biseautées par les niveaux supérieurs, qui reposent alors sur différents niveaux des « couches rouges » sous-jacentes, voire sur le Dogger marin ou le Lias. Ainsi, selon les sites considérés, les premiers dépôts sédimentaires de la formation des Iouaridène peuvent être d'âges variés dans une même cuvette synclinale. A fortiori, d'une cuvette synclinale à l'autre, se manifeste un diachronisme de la base de la formation : Dogger à Iouaridène, Oxfordien ou Kimmériidgien à Ouaouizarht, Hauterivien-Barrémien inférieur? à Aït Attab d'après les faunes d'ostracodes laguno-lacustres

(analogues à celles de W39-W34), ainsi que l'espèce de charophyte nouvellement décrite *Feistiella atlantis* [23].

Finalement, si le sommet de la formation des Iouaridène paraît de même âge (Barrémien inférieur) à l'échelle des marqueurs biostratigraphiques utilisés, sa base apparaît comme nettement diachrone (du Dogger au Crétacé inférieur), en raison d'une extension progressive des dépôts sur des aires et des rides précédemment exondées et dénuées de sédimentation.

### 3.3. Corrélations avec le Haut Atlas oriental et le Moyen Atlas

Dans ces parties orientales et septentrionales du domaine atlasique, il existe le plus souvent une lacune entre les dépôts du Bathonien et ceux du Barrémien. Toutefois, on rencontre localement des dépôts fluviatiles lenticulaires, atteignant quelques dizaines de mètres d'épaisseur. Ce sont les « conglomérats inférieurs de l'Oued el Atchane » [4], formant deux cônes alluviaux de piémont de part et d'autre de la ride du Tichoukht dans le Moyen Atlas, et la « formation de Ksar Metlili » [12] de la limite Jurassique–Crétacé du Haut Atlas oriental, constituée d'une alternance de grès, de pélites et de lentilles carbonatées. Dans la partie supérieure de l'une de ces lentilles, recelant un gisement de micromammifères [32], nous avons récolté la charophyte *Porochara maxima*, permettant de confirmer une datation dans l'intervalle Tithonien terminal–Berriasien [23].

Hormis ces dépôts localisés, les segments orientaux du domaine atlasique sont demeurés émergés pendant l'essentiel du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur [4,12], ce qui dénote une histoire paléogéographique nettement distincte de celle du Haut Atlas central, qui apparaît désormais comme le siège d'une intense subsidence entre le Dogger et le Barrémien.

## 4. Discussion des résultats

### 4.1. Rectifications cartographiques

Une conséquence immédiate des datations réalisées dans le Haut Atlas central est une révision des attributions stratigraphiques sur les différentes cartes géologiques régionales. Ainsi, la feuille d'Afourer [31] sures-

time la part du Crétacé inférieur. Par ailleurs, l'âge Bathonien–?Callovien donné à la formation des Iouaridène et à la formation du Jbel Sidal sus-jacente, doit aussi être reconsidéré sur les autres cartes géologiques régionales [17,19,21,25]. Enfin, les affleurements de « Jurassique rouge gréseux » figurés sur la carte au 1:1 000 000 du Maroc [35] comprennent pour une bonne partie (formation des Iouaridène *p.p.* et formation du Jbel Sidal) des terrains d'âge Barrémien.

### 4.2. Datation par encadrement des niveaux à restes et empreintes de Dinosauriens

Les squelettes et ossements découverts dans la formation des Guettioua [27,28] et rapportés au Bathonien–?Callovien voient leur âge confirmé par la présence de *Porochara hians*, également récoltée au-dessus de restes de dinosaures dans le Moyen Atlas [5]. Les célèbres niveaux à pistes et empreintes de Dinosauriens carnivores et herbivores du membre inférieur de la formation des Iouaridène, dans son stratotype [9] et dans les synclinaux voisins [15], sont à rapporter au Jurassique supérieur, soit à l'Oxfordien, soit au Kimméridgien. Enfin, la présence d'un enregistrement sédimentaire dans un intervalle de temps allant du Dogger au Barrémien laisse augurer de l'importance future de ces séries continentales nord-sahariennes pour l'étude des vertébrés terrestres du Mésozoïque.

### 4.3. Datation relative des événements magmatiques B1 et B2

Les événements magmatiques B1 et B2 peuvent être calés biostratigraphiquement. Ainsi, la datation de  $169 \pm 6$  Ma du basalte B1 [34] est compatible avec l'attribution chronostratigraphique à l'Oxfordien ou au Kimméridgien des sédiments recouvrant la coulée (Fig. 3B). Quant aux épanchements B2, leur âge Barrémien est précisé. Ces résultats retrouvent ceux obtenus dans le synclinal d'Aït Attab [13], et apportent des arguments en faveur de l'existence de deux événements magmatiques majeurs [33], l'un au Dogger et l'autre au Barrémien.

### 4.4. Nouvelles contraintes d'ordre structural

La conception d'une tectonique synsédimentaire limitée au Jurassique moyen [14,16,24] doit être par-

tiellement reconsidérée, la mobilité des bassins étant pour une bonne part associée à une tectonique d'âge plus récent. L'importance quantitative des dépôts subaériens (de 400 à 1000 m) des synclinaux du Haut Atlas central dans un intervalle d'environ 50 Ma allant du Dogger au Barrémien peut relever d'une tectonique synsédimentaire continue durant le Jurassique supérieur, comme l'admettent tacitement certains auteurs [20,29]. Toutefois, les nouveaux repérages stratigraphiques permettent d'établir qu'une subsidence importante des bassins s'est produite au cours du Crétacé inférieur et notamment durant le Barrémien. Enfin, la question se pose de savoir comment placer les « couches rouges » nouvellement datées du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur dans le modèle géodynamique récent [3] subdivisant l'histoire mésozoïque de l'Atlas en une période syn-rift allant du Trias au Jurassique moyen et une période post-rift débutant au Crétacé supérieur.

#### 4.5. Implications paléogéographiques

Les cartes paléogéographiques du domaine péri-téthysien [7] ne figurent pas, au Jurassique supérieur, de dépôts continentaux sur la bordure nord-ouest du craton saharien. Les découvertes du Kimméridgien dans le Haut Atlas central, du Tithonien terminal–Berriasien dans le Haut Atlas oriental et la mise en évidence d'une ingression marine dès le Barrémien permettront des amendements significatifs de la paléogéographie des secteurs considérés.

## 5. Conclusions

Des récoltes de charophytes et d'ostracodes permettent d'établir, pour la première fois, la présence du Jurassique supérieur continental (Oxfordien ?–Kimméridgien) dans les « couches rouges » du Haut Atlas central et d'y dater une première ingression marine du Barrémien. De ces nouveaux repères découlent les datations, relatives, de niveaux à Dinosauriens, d'épisodes volcaniques (Dogger et Barrémien) et la mise en évidence d'une sédimentation syntectonique, particulièrement importante durant la période barrémienne.

La découverte, dans l'unité intermédiaire (formation des Iouaridène) des « couches rouges », d'indices marins diffus au-dessus des gypses, dans le synclinal d'Ouaouzarht (ostracodes) ainsi que dans le synclinal

d'Aït Attab (petits foraminifères Lituolidés), démontre que la série évaporitique ne dérive pas de dépôts de playas ou de lacs salés intracontinentaux, mais relève plutôt d'une sédimentation de lagunes côtières, alimentées temporairement par des communications marines ténues. Or, au Barrémien, les zones immergées étaient limitées, d'une part, au nord-est du Maroc, dans le futur domaine rifain et son avant-pays oriental, et d'autre part, à l'Ouest, sur la façade atlantique. Du fait de la proximité de ce dernier secteur et du caractère littoral de la sédimentation du Haut Atlas occidental, l'alimentation des lagunes du Haut Atlas central ne peut provenir que de l'Atlantique. Le Haut Atlas central ne doit donc plus être considéré uniquement comme un fond de golfe téthysien, mais doit être rattaché paléogéographiquement et structuralement, au Crétacé inférieur, à la marge atlantique.

Ainsi, au découpage du système atlasique jurassique [8] en deux segments (l'un occidental sous influence atlantique et l'autre d'affinité téthysienne) fait suite, après le Dogger, un découpage en trois segments. Le segment médian (Haut Atlas central) caractérisé par un enregistrement sédimentaire important au Jurassique supérieur et au Crétacé inférieur ainsi que par des influences marines au Barrémien, se différenciant des segments atlasiques orientaux (Moyen Atlas et Haut Atlas oriental) restés émergés, et s'intégrant avec le Haut Atlas occidental à la marge de l'Atlantique central en cours d'expansion.

## Références

- [1] B. Andreu, Les Ostracodes du Crétacé moyen (Barrémien à Turonien), le long d'une transversale Agadir–Nador (Maroc), *Strata* (Toulouse) (Sér. 2) 14 (1991) 1–765.
- [2] B. Andreu, J.-P. Colin, H. Haddoumi, A. Charrière, Les ostracodes des « couches rouges » du synclinal d'Aït Attab, Haut Atlas central, Maroc: systématique, biostratigraphie, paléocologie, paléobiogéographie, *Rev. Micropaléontol.* (Paris) 46 (4) (2003) 193–216.
- [3] W. Beauchamp, R.W. Allmendinger, M. Barazangi, M. Demnati, M. El Alji, M. Dahmani, Inversion tectonics and the evolution of the High Atlas Mountains, Morocco, based on a geological–geophysical transect, *Tectonics* 18 (2) (1999) 163–184.
- [4] A. Charrière, Discontinuités entre les « couches rouges » du Jurassique moyen et du Crétacé inférieur dans le Moyen Atlas (Maroc), *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II* 315 (1992) 1389–1396.

- [5] A. Charrière, F. Dépêche, M. Feist, N. Grambast-Fessard, M. Jaffrezo, B. Peybernès, M. Ramalho, Microfaunes, microfiores et paléoenvironnements successifs dans la formation d'El Mers (Bathonien–?Callovien) du synclinal de Skoura (Moyen Atlas, Maroc), *Geobios* 27 (2) (1993) 157–174.
- [6] B. Courtinat, J. Jenny, *Diadocypressacites moghrebiensis* n. gen., n. sp., un nouveau palyno-taxon dans le Bathonien du Haut Atlas (Maroc), *Rev. Micropaléontol. (Paris)* 27 (2) (1984) 88–97.
- [7] J. Dercourt, M. Gaetani, B. Vrielynck, E. Barrier, B. Bijou-Duval, M.-F. Brunet, J.-P. Cadet, S. Crasquin, M. Sandulescu, in: *Atlas Peri-Tethys, Paleogeographical Maps*, 2000.
- [8] R. du Dresnay, Sédiments jurassiques du domaine des chaînes atlasiques du Maroc, *Symposium Sédimentation Jurassique Ouest européen*, Paris, 1977, Assoc. Sédimentol. Fr., Publ. Spéc. 1 (1979) 345–365.
- [9] J.-M. Dutuit, A. Ouazzou, Découverte d'une piste de Dinosaur saurope sur le site d'empreintes de Demnate (Haut Atlas marocain), *Écosystèmes continentaux du Mésozoïque*, *Mém. Soc. géol. France (N.S.)* 139 (1980) 95–102.
- [10] N. Grambast-Fessard, M. Ramalho, Charophytes du Jurassique supérieur du Portugal, *Rev. Micropaléontol. (Paris)* 28 (1) (1985) 58–66.
- [11] H. Haddoumi, Les couches rouges (Bathonien à Barrémien) du synclinal des Ait Attab (Haut Atlas central, Maroc) ; étude sédimentologique et stratigraphique, thèse de 3<sup>e</sup> cycle, université Nancy-1, 1988, 133 p. (en dépôt à l'université de Nancy).
- [12] H. Haddoumi, Les formations détritiques « couches rouges » (Bathonien et Crétacé inférieur) de la région d'Anoual (Haut Atlas oriental, Maroc) : sédimentologie, stratigraphie et paléogéographie, thèse, université Mohammed-I<sup>er</sup>, Oujda, 1998, 229 p., 25 pl. (en dépôt à la Soc. géol. France).
- [13] H. Haddoumi, A. Charrière, M. Feist, B. Andreu, Nouvelles datations (Hauterivien supérieur–Barrémien inférieur) dans les « couches rouges » continentales du Haut Atlas central marocain; conséquences sur l'âge du magmatisme et des structurations mésozoïques de la chaîne Atlasique, *C. R. Palevol* 1 (2002) 259–266.
- [14] J. Jenny, A. Le Marrec, M. Monbaron, Les couches rouges du Jurassique moyen du Haut Atlas central (Maroc) : corrélations lithostratigraphiques, éléments de datation et cadre tectono-sédimentaire, *Bull. Soc. géol. France, Sér. 7* 23 (6) (1981) 627–639.
- [15] J. Jenny, A. Le Marrec, M. Monbaron, Les empreintes de pas de Dinosauriens dans le Jurassique moyen du Haut Atlas central (Maroc) : nouveaux gisements et précisions stratigraphiques, *Geobios* 14 (3) (1981) 427–431.
- [16] J. Jenny, Dynamique de la phase tectonique synsédimentaire du Jurassique moyen dans le Haut Atlas central (Maroc), *Eclol. geol. Helv.* 77 (1) (1984) 143–152.
- [17] J. Jenny, Carte géologique du Maroc à 1:100 000, feuille Azilal, *Notes Mém. Serv. géol. Maroc* 339 (1985).
- [18] J. Jenny, Livret-guide de la carte d'Azilal, *Notes Mém. Soc. géol. Maroc* 339 bis (1988) 1–104.
- [19] J.A. Jossen, Carte géologique du Maroc à 1:100 000, feuille Zawyat Ahançal, *Notes Mém. Serv. géol. Maroc* 353 (1990).
- [20] E. Laville, Évolution sédimentaire, tectonique et magmatique du bassin jurassique du Haut Atlas (Maroc) : modèle en relais multiples de décrochements, thèse, université Montpellier-2, 1985, 165 p., 2 cartes (en dépôt à la Soc. géol. France).
- [21] A. Le Marrec, Carte géologique du Maroc à 1:100 000, feuille Demnat, *Notes Mém. Serv. géol. Maroc* 338 (1985).
- [22] P.O. Mojon, Les Formations mésozoïques à Charophytes (Jurassique moyen–Crétacé inférieur) de la marge téthysienne nord-occidentale (Sud-Est de la France, Suisse occidentale, Nord-Est de l'Espagne). *Sédimentologie, micropaléontologie, biostratigraphie*, *Géol. Alpine (Grenoble)*, *mém. H.S.* 41 (2002) 1–386.
- [23] P.O. Mojon, H. Haddoumi, A. Charrière, Nouvelles données sur les Charophytes et Ostracodes du Jurassique–Crétacé de l'Atlas marocain, in: P.O. Mojon (Ed.), *Recherches sur la Pongée mésozoïque*, Digit Presse, Lausanne, Suisse, 2005, pp. 4–47.
- [24] M. Monbaron, Précisions sur la chronologie de la tectogenèse atlasique, exemple du domaine atlasique mésogéen du Maroc, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II* 294 (1982) 883–886.
- [25] M. Monbaron, Carte géologique du Maroc à 1:100 000, feuille Béni-Mellal, *Notes Mém. Serv. géol. Maroc* 341 (1985).
- [26] M. Monbaron, Un serpent de mer : le problème des « couches rouges » du Haut Atlas marocain, le point de la situation, *Actes Soc. jurass. Émulation, Porrentruy, Suisse* (1988) 73–92.
- [27] M. Monbaron, P. Taquet, Découverte du squelette complet d'un grand Cétiosaure (Dinosaur saurope) dans le bassin jurassique moyen de Tilougguit (Haut Atlas central, Maroc), *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II* 292 (1981) 243–246.
- [28] M. Monbaron, D.A. Russell, P. Taquet, *Atlasaurus imelakei* n.g., n. sp., a brachiosaurid-like saurope from the Middle Jurassic of Morocco, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA* 329 (1999) 519–526.
- [29] A. Piqué, L. Aït Brahim, R. Aït Ouali, M. Amrhar, M. Charroud, C. Gourmelen, E. Laville, F. Rekhiss, P. Tricart, Évolution structurale des domaines atlasiques du Maghreb au Méso-Cénozoïque ; le rôle des structures héritées dans la déformation du domaine atlasique de l'Afrique du Nord, *Bull. Soc. géol. France* 169 (6) (1998) 797–810.
- [30] J.-P. Rebouillat, Les milieux de sédimentation et les étapes de la transgression du Dogger dans la région de Demnat, Haut Atlas central (Maroc), thèse 3<sup>e</sup> cycle, université de Dijon, 1983, 173 p. (en dépôt à l'université de Dijon).
- [31] J.-P. Rolley, Carte géologique du Maroc à 1:100 000, feuille Afouret (Haut Atlas central), avec notice explicative, *Notes Mém. Serv. géol. Maroc* 247 & 247 bis (1977–1978) 1–103.
- [32] D. Sigogneau-Russell, M. Monbaron, E. De Kaenel, Nouvelles données sur le gisement à Mammifères mésozoïques du Haut Atlas marocain, *Geobios* 24 (4) (1990) 461–483.
- [33] A. Souhel, Le Mésozoïque dans le Haut Atlas de Beni-Mellal (Maroc) ; stratigraphie, sédimentologie et évolution géodynamique, *Strata (Toulouse)* Ser. 2 27 (1996) 1–235.
- [34] M. Westphal, R. Montigny, R. Thuizat, C. Bardon, A. Bossert, R. Hamzeh, J.-P. Rolley, Paléomagnétisme et datation du volcanisme permien, triasique et crétacé du Maroc, *Can. J. Earth Sci.* 16 (11) (1979) 2150–2164.
- [35] X.X., Carte géologique du Maroc à 1:1 000 000, *Notes Mém. Serv. géol. Maroc* 260 (1985).