



Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Geoscience 335 (2003) 391–400



Géomatériaux

Découverte de niveaux phosphatés associés à des restes de vertébrés dans les dépôts carbonatés du Coniacien–Santonien du Jabal Abtar : épisode précoce de la phosphatogenèse sénonienne des Palmyrides (Syrie centrale)

A. Khaled Al Maleh^a, Nathalie Bardet^{b,*}

^a Département de géologie, faculté des sciences, université de Damas, Damas, Syrie

^b Département « Histoire de la Terre », UMR 8569 du CNRS, Muséum national d'histoire naturelle, 8, rue Buffon, 75005 Paris, France

Reçu le 9 octobre 2002 ; accepté le 3 mars 2003

Présenté par Jean Dercourt

Résumé

L'étude sédimentologique des dépôts carbonatés du membre Rmah-I (Coniacien–Santonien) du Jabal Abtar, centre des Palmyrides sud (Syrie centrale), a permis la découverte de niveaux phosphatés, associés à des restes de vertébrés marins, qui témoignent d'un épisode précoce de la phosphatogenèse sénonienne dans les Palmyrides. La succession séquentielle a montré l'avancement progressif de la transgression sénonienne. La sédimentation phosphatée s'est produite dans un environnement marin néritique peu profond et assez ouvert. La sédimentation condensée a pu favoriser la phosphatogenèse. *Pour citer cet article* : A.K. Al Maleh, N. Bardet, C. R. Geoscience 335 (2003).

© 2003 Académie des sciences. Publié par Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Discovery of phosphatic levels with vertebrate remains in the Coniacian–Santonian carbonated sediments of Jabal Abtar: early episode of the Senonian phosphatogenesis in the Palmyrides (central Syria). Sedimentologic study of carbonated sediments of the Rmah-I member (Coniacian–Santonian) of Jabal Abtar, central southern Palmyrides (Central Syria), uncovers phosphatic levels, associated with marine vertebrate remains, that give evidence of an early episode of the Senonian phosphatogenesis in the Palmyrides. Sedimentary sequence analysis reveals a gradual marine transgression during the Senonian. Phosphatic sedimentation occurred in a shallow neritic marine environment almost connected with the open sea. Condensed sedimentation could have contributed to the phosphatogenesis. *To cite this article*: A.K. Al Maleh, N. Bardet, C. R. Geoscience 335 (2003).

© 2003 Académie des sciences. Publié par Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : sédimentologie ; phosphates ; carbonates ; vertébrés ; Sénonien ; Palmyrides ; Syrie

Keywords: sedimentology; phosphates; carbonates; vertebrates; Senonian; Palmyrides; Syria

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : bardet@mnhn.fr (N. Bardet).

Abridged English version

1. Introduction

During parts of the Senonian and the Palaeogene, the southern Tethys margin was characterized by a highly phosphatic sedimentation whose levels currently outcrop in North Africa and Middle East, where they are exploited as economical resources [12].

Phosphatic deposits are relatively widespread in Syria, notably in the Palmyrides Chain [3,4,10]. The NE–SW-striking Palmyrides Chain, located in Central Syria (Fig. 1) is built up mainly by Cretaceous sediments extensively studied [2,10,11,13–15] (Fig. 2). These Cretaceous sediments contain the bulk of the phosphate rock resources of Syria, which are mainly of Late Campanian age and are part of the Sawwaneh Formation (Soukhneh Group).

A detailed sedimentological study of the lower part of the underlying Rmah Formation (Rmah-I member) of Jabal Abtar zone (central Syria) uncovers the discovery of Santonian phosphatic levels, associated with marine vertebrate remains (Figs. 3 and 4), which evidence an early episode of the Senonian phosphatogenesis in Syria. Lateral comparisons of Rmah-I sediments at the Palmyrides scale enabled palaeogeographical precisions for the Coniacian–Santonian to be conducted.

2. Lithology and facies analysis

In the Rmah-I member, north of Jabal Abtar, seven lithologic levels grouped into three parts have been identified (Figs. 3 and 4). *Coccolithes* identification by C. Muller gives a precise Santonian age to the upper levels 4 to 7, which include two vertebrate-bearing phosphatic beds (5b, 5d) (Figs. 3 and 4). The following characteristics have to be pointed out: (1) benthonic organisms are abundant in the lower part of the Rmah-I member and decrease in size and percentage upward; (2) calcareous nannoplanktons characteristic of the levels 4, 6 and 7 (Fig. 4, 18–20) are present along with small benthonic foraminifera, whereas planktonic foraminifera are very rare (Fig. 3); (3) clastic elements (quartz grains and pebbles) with densely compacted texture are characteristic of the two vertebrate-bearing phospharenitic beds (5b, 5d).

3. Vertebrates

Large marine vertebrate remains have been found in the two upper levels of Santonian age (5b, 5d): a selachian tooth, possibly belonging to the sclerorhynchid *Onchosaurus pharao* (id. H. Cappetta), a species known from the Late Cretaceous of Africa and Brazil [9]; an humerus (Fig. 4, 8) of a primitive chelonoid marine turtle about 2 m long, comparable to Late Cretaceous chelonoids from North America [16], France [5] and youngest Syrian phosphates [7]; six associated cervical vertebrae (Fig. 4, 5–7) of an elasmosaurid, a plesiosaur family well diversified and widespread during the Late Cretaceous [6]. All these remains indicate a shallow marine environment.

4. Sedimentary environments and sequences – phosphatogenesis

During the Senonian, the environment remained neritic and shallow to limited in depth (Fig. 3). Six sedimentary sequences reflect the gradual widespread of the Senonian transgression during Coniacian–Santonian times. The Santonian is characterized by limited deepening and relative sea opening, which became obvious in Campanian time during the deposition of the Rmah-II member. Three stages of phosphatogenesis occurred in the Jabal Abtar area, the most important corresponding to the two Santonian vertebrate-bearing levels (5b, 5d). The above-mentioned sea opening, associated to both the transgression and the well-known local condensed sedimentation, could have contributed into the genesis of the phosphatic deposits. The phosphate-accompanying clastic elements are probably derived from the Hamad uplift, which was submerged by the Senonian Sea invasion after a long emergence during the Mesozoic [2,3,8,13,14].

5. Correlation of the Rmah-I deposits in the Palmyrides

The comparisons between the Rmah-I member deposits outcropping in the Palmyrides (Figs. 5 and 6) emphasize the following main points: (1) the lack of the phosphatic beds (5b, 5d) of Jabal Abtar in all other Palmyrides sections (Fig. 5); (2) an increase in the southern Palmyrides of the deposits thickness accompanied by important facies changes from Jabal

Abtar toward both the northeast (dolomites) and the southwest (mainly marls) (Fig. 5); (3) deposits from northern Palmyrides are notably thicker than those of the southern Palmyrides and are mainly represented by pelagic facies (Fig. 6).

6. Conclusion

The lithofaciologic and sedimentologic characteristics of the Coniacian–Santonian carbonated deposits (Rmah-I member) in central Palmyrides expressed an important and gradual marine transgression during the Senonian. This transgression spread southward to immerse the Hamad uplift, emergent throughout most of the Mesozoic [2,13,14]. This palaeogeographic evolution could have contributed to the formation of phosphatic deposits in the central part of the southern Palmyrides during the Santonian.

The facies lateral changes observed in the southern Palmyrides Coniacian–Santonian sediments (Fig. 5) are closely related to local structures developed on the Hamad uplift margins and to the degree of opening and/or isolation of the environments from the open sea, whereas the prevailing pelagic sedimentation in the northern Palmyrides is related to the axis of the subsiding basin in this area since Coniacian–Santonian times (Fig. 6).

The early stage of the phosphatogenesis discovered in the Jabal Abtar, as well as similar phosphatogenesis phenomena mapped in the Coniacian–Santonian of the Kurd Dagh region of northwestern Syria [1], confirm that an Early-Senonian phosphatogenesis occurred in some sectors of the Syrian platform as soon as the Coniacian–Santonian. In the Palmyrides, this early stage emphasizes that the important role of this sector in the formation of the well-known Campanian phosphates [2–4,7,13] was initiated at least since the Santonian.

1. Introduction

Durant une partie du Sénonien et du Paléogène, la marge sud de la Téthys a été l'objet d'une intense sédimentation phosphatée. Ces niveaux phosphatés affleurent actuellement dans toute l'Afrique du Nord et le Proche-Orient, où ils sont exploités à des fins économiques [12].

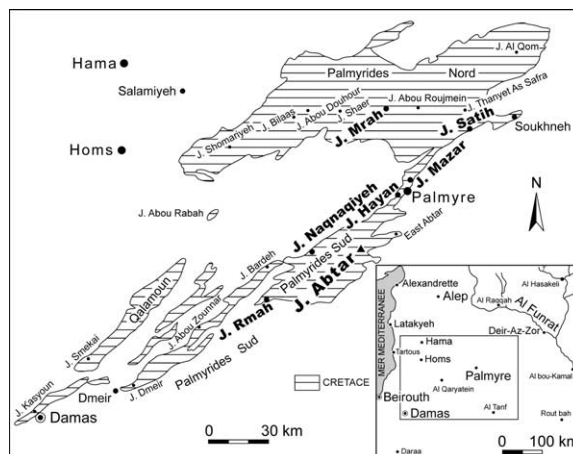


Fig. 1. Carte de localisation du Crétacé et des principales coupes du membre Rmah-I (Coniacien–Santonien) de la chaîne des Palmyrides.

Fig. 1. Location map of the Cretaceous and of the main sections of Rmah-I member (Coniacian–Santonian) of the Palmyrides Chain.

Les dépôts phosphatés sont relativement abondants en Syrie et affleurent surtout dans la chaîne des Palmyrides, le Nord de la chaîne côtière et localement dans le Kurgh Dagh [3,4,10]. La chaîne des Palmyrides, orientée NE–SW, occupe le centre de la Syrie (Fig. 1) et est constituée essentiellement de sédiments crétacés, abondamment étudiés [2,10,11,13–15] (Fig. 2). Les dépôts du Sénonien sensu lato se répartissent en deux unités lithostratigraphiques [2,3,13,14] (Fig. 2) : (a) le groupe de Soukhneh (Coniacien–Campanien), comprenant la formation de Rmah – caractérisée par la fréquence des bancs de silice –, et la formation de Sawwaneh – caractérisée par la fréquence des phosphates ; (b) la formation du Bardeh (Maastrichtien–Éocène inférieur), essentiellement marneuse. La formation de Sawwaneh contient l'essentiel des réserves de phosphates de Syrie, essentiellement d'âge Campanien supérieur, qui sont exploités dans deux mines principales (Sawwaneh et Khneifiss) situées au sud-ouest de Palmyre [4,10].

Un travail de recherche (dans le cadre d'un projet accepté par l'université de Damas en 2001) a été mené par le premier auteur ; il concernait l'étude sédimentologique de séries phosphatées et carbonatées du Crétacé syrien. Le secteur central des Palmyrides sud, et plus particulièrement la région du Jabal Abtar (Fig. 1), a été traité prioritairement, en raison du

rôle primordial joué par ce secteur dans l'histoire géologique de la région palmyrienne durant tout le Mésozoïque [2,8,13,14] et dans la genèse des phosphates [2,3,8,13].

L'étude sédimentologique détaillée de la partie inférieure de la formation de Rmah (membre Rmah-I), dans le secteur du Jabal Abtar, a permis la découverte de niveaux phosphatés d'âge Santonien – associés à des restes de vertébrés marins (déterminés par le deuxième auteur) –, qui témoignent d'un épisode précoce de la phosphatogenèse sénonienne dans les Palmyrides. L'âge des dépôts a été précisé, grâce à l'étude des nannofossiles calcaires. Les caractères litho-faciologiques, ainsi que les environnements et les séquences sédimentaires de l'ensemble des dépôts du Coniacien–Santonien de la région du Jabal Abtar, sont décrits pour la première fois (Figs. 3 et 4). La corrélation des dépôts du membre Rmah-I à l'échelle des

Palmyrides a permis d'affiner le cadre paléogéographique du Coniacien–Santonien.

2. Lithologie, analyse des faciès, nannofossiles calcaires

Les dépôts du membre Rmah-I sont essentiellement carbonatés et d'âge Coniacien–Santonien [2,13] (Figs. 2 et 3). Ils sont caractérisés par d'importantes variations de puissance et de faciès (Figs. 5 et 6).

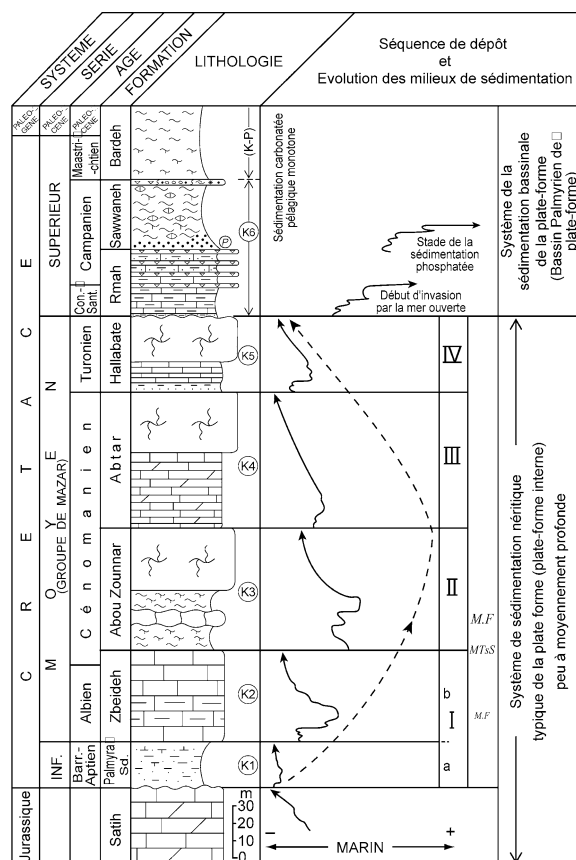


Fig. 2.

Fig. 2. Colonne lithostratigraphique schématique du Crétacé des Palmyrides, avec les grands caractères de l'évolution sédimentologique. Légende des Figs. 2, 3, 5 et 6 : 1, calcaire stratifié ; 2, calcaire massif ; 3, calcaire oolithique ; 4, calcaire bioclastique ; 5, calcaire coquillier ; 6, calcaire argileux ; 7, marne ; 8, marne calcaire ; 9, dolomie stratifiée ; 10, calcaire dolomitique ; 11, craie ; 12, (a) calcaire crayeux, (b) marne crayeuse ; 13, grès ; 14, argile ; 15, (a) galets, (b) conglomérat ; 16, silex ; 17, phosphate ; 18, glauconie ; 19, biostrome ; 20, stratification ondulée ; 21, (a) nodule calcaire, (b) laminations ; 22, ravinement ; 23, terriers ; 24, nodules de silex ou de silicification ; 25, algues (rouges et /ou vertes) ; 26, échinodermes ; 27, fossiles benthiques ; 28, fragments de fossiles benthiques ; 29, rudistes ; 30, mollusques hémipélagiques minuscules à test mince (lamellibranches et gastéropodes) ; 31, lamellibranches ; 32, gastéropodes ; 33, ammonites ; 34, bélemnites ; 35, lamellibranches pélagiques ; 36, foraminifères (a) benthiques, (b) planctoniques ; 37, (a) microplancton, (b) nannoplancton calcaire ; 38, vertébrés ; 39, restes de poissons ; 40, quartz ; 41, lithoclaste ; 42, mudstone ; 43, wackestone ; 44, packstone ; 45, grainstone ; 46, inondation maximale ; 47, surface de transgression maximale.

Fig. 2. Schematic Cretaceous lithostratigraphic column of the Palmyrides, with the main characters of the sedimentological evolution. Legend Figs. 2, 3, 5 and 6 : 1, stratified limestone ; 2, massive limestone ; 3, oolitic limestone ; 4, bioclastic limestone ; 5, coquina limestone ; 6, argillaceous limestone ; 7, marl ; 8, marly limestone ; 9, stratified dolomite ; 10, dolomite limestone ; 11, chalk ; 12, (a) chalky limestone, (b) marly limestone ; 13, sandstone ; 14, clay ; 15, (a) pebbles, (b) conglomerate ; 16, flint, chert ; 17, phosphate ; 18, glauconite ; 19, biostrome ; 20, undulated stratification ; 21, (a) lenticular limestone, (b) laminations ; 22, grooving ; 23, burrows ; 24, flint or silicification nodules ; 25, algae (red and/or green) ; 26, echinoderms ; 27, benthic fossils ; 28, benthic fossil fragments ; 29, rudists ; 30, tiny hemipelagic molluscs with thin test (lammellibranchs and gastropods) ; 31, lamellibranchs ; 32, gastropods ; 33, ammonites ; 34, belemnites ; 35, pelagic lamellibranchs ; 36, foraminifers (a) benthic, (b) planktonic ; 37, (a) microplankton, (b) calcareous nannoplankton ; 38, vertebrates ; 39, fish remains ; 40, quartz ; 41, lithoclast ; 42, mudstone ; 43, wackestone ; 44, packstone ; 45, grainstone ; 46, maximum flooding ; 47, maximum transgression surface.

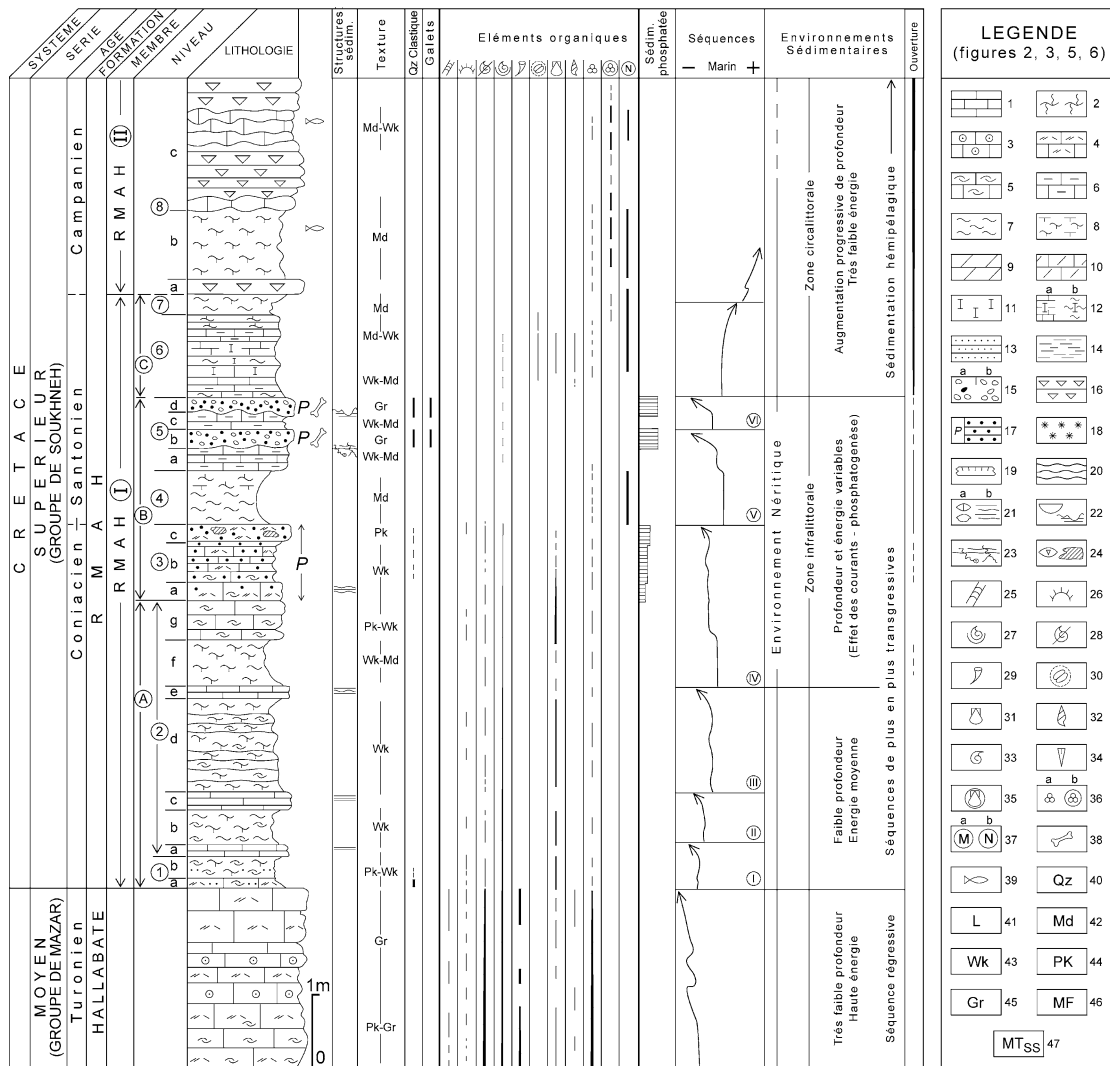


Fig. 3. Coupe des dépôts du membre Rmah-I (Coniacien–Santonien) au nord du Jabal Abtar, avec indications des principaux caractères lithofaciologiques et sédimentologiques.

Fig. 3. Section of the Rmah-I member sediments (Coniacian–Santonian) in the northern part of Jabal Abtar, with the main lithofaciological and sedimentological characters.

La coupe a été effectuée au nord du Jabal Abtar (coordonnées : N34°17'863", E37°58'923", altitude 650 m). La puissance totale des dépôts est de 8,30 m (Figs. 3 et 4, 2). Sept niveaux lithologiques pouvant être groupés en trois parties (appelées respectivement A, B, C de bas en haut) ont été mis en évidence (Fig. 3). La partie inférieure, «A» (niveaux 1 et 2), est constituée par des calcaires marneux et des marnes fossilifères, légèrement quartzueux à la base, avec de

minces intercalations de calcaire dur (niveaux 2a, c, e), souvent finement laminé. La partie moyenne «B» (niveaux 3 à 5) est caractérisée par des bancs calcaréo-phosphatés (niveau 3) et phosphatés (niveaux 5b et 5d). Ces deux bancs phosphatés (5b et 5d) incluent des galets carbonatés remaniés, centimétriques et souvent calcaires (Fig. 4, 3–4), des grains fins à grossiers de quartz clastique (Fig. 4, 12–14), et ont livré des ossements de vertébrés marins (Fig. 4, 5–

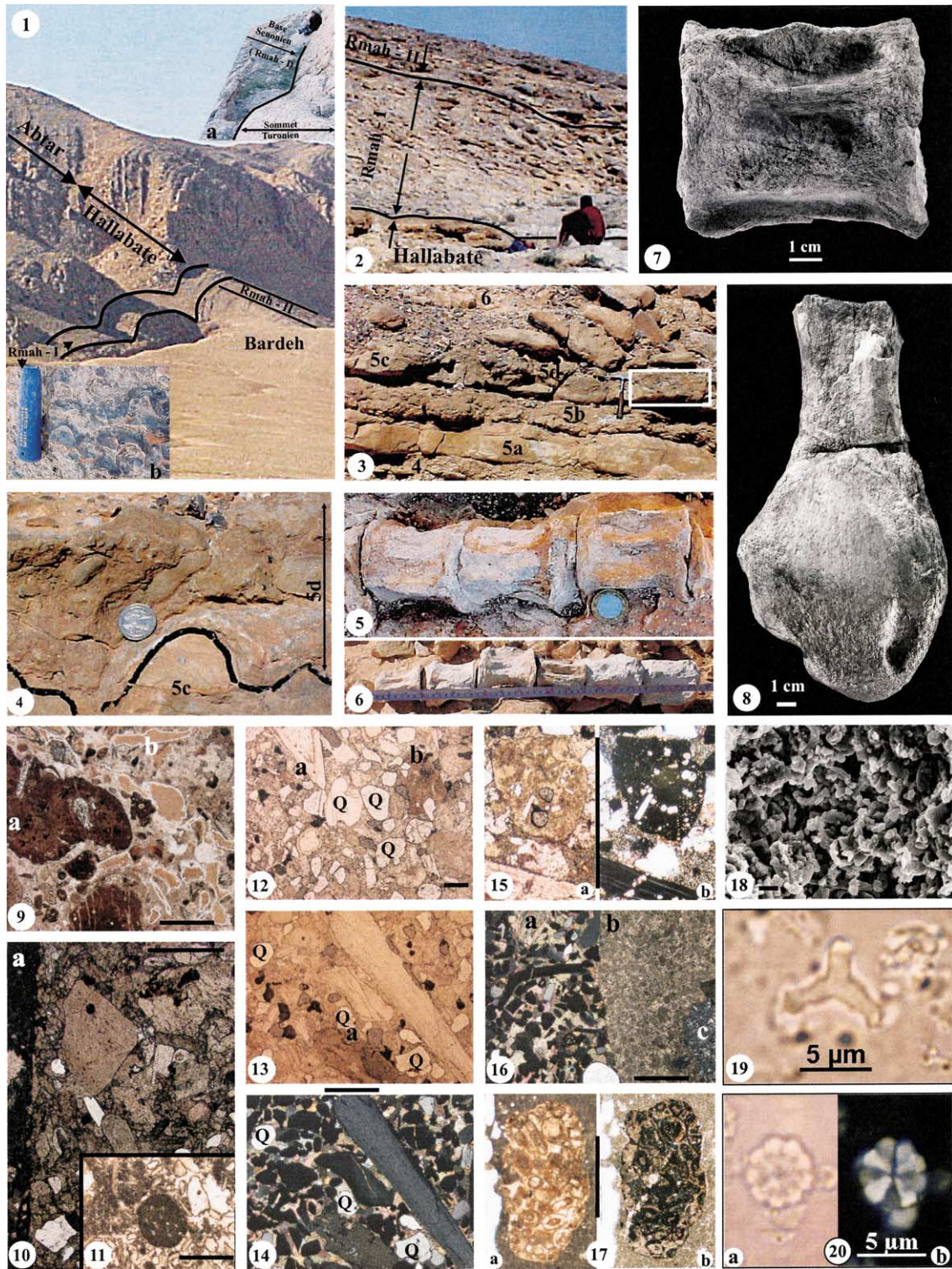


Fig. 4.

8). Un ravinement léger (5b) ou fort (5d) caractérise leur surface inférieure (Fig. 4, 4). La partie supérieure «C» (niveaux 6 et 7) est essentiellement marneuse et calcaréo-argileuse à marno-crayeuse. Elle se différencie clairement de la base du membre supérieur Rmah-II, caractérisé par des bancs de silex (Fig. 4, 2).

En plus des caractères lithologiques et faciologiques illustrés (Fig. 3), les faits suivants méritent d'être soulignés :

- (1) les faciès biomicritiques de la partie inférieure «A» se caractérisent par une diminution en montant dans la série de la taille et de la fréquence des éléments organiques, souvent associée au développement de petits foraminifères benthiques ;
- (2) les faciès biomicritiques de la partie supérieure «C» comprennent des mollusques millimétriques à tests minces (gastéropodes, lammellibranches), associés à de petits foraminifères benthiques et à de très rares foraminifères planctoniques ;
- (3) les niveaux marneux et calcaréo-argileux (niveaux 4, 6 et 7) des deux parties «B» et «C» contiennent des nannofossiles calcaires (Fig. 4, 18–20), indiquant un âge Santonien (dét. C. Muller) ; cette datation est basée sur la présence d'*Eprolithus floralis*, *Marthasterites furcatus*, *Lithastrinus grillii*, *Reinhardtites anthophorus* et *Eiffellithus eximius* (Fig. 4, 19–20) ;
- (4) les calcaires phosphatés du niveau 3 contiennent 20 à 35% d'éléments phosphatés (fragments osseux, coprolithes, *pellets*), associés à des éléments bioclastiques divers (Fig. 3) ; la silification caractérise le banc sommital (3c) (Fig. 4, 9) ;
- (5) les deux bancs phosphatés (5b, 5d) à restes de vertébrés sont des phosphoarénites et des phosphorudites dont les éléments phosphatés (40–55%) sont des fragments osseux (Fig. 4, 10, 12–14), avec de rares *pellets* phosphatés et des grains de sédiments carbonatés épigénéisés (Fig. 4, 12b, 13a et 15), consolidés par un ciment calcitique sparitique

Fig. 4. 1. Flanc nord-est du Jabal Hayan : succession des différentes unités et formations lithostratigraphiques. (a) Contact Turonien–Sénonien ; (b) biostrome à ostréidés du membre Rmah-I. 2. Flanc nord du Jabal Abtar : succession lithologique des dépôts du membre Rmah-I (Coniacien–Santonien). Le reste des photos (à l'exception de la prise 17) concerne les dépôts du Jabal Abtar section. 3. Niveau 5 : succession lithologique montrant les deux bancs phosphatés (5b et 5d) à restes de vertébrés. 4. Niveau 5 (détail de la photo 3) : ravinement à la base du banc 5d et galets calcaires remaniés. 5 et 6. Niveau 5b : vertèbres articulées d'un plésiosaure en place dans le banc encaissant et après extraction. 7. Plésiosaure (détail de la photo 6) : vue ventrale de la vertèbre située le plus à gauche de la photo 6. 8. Tortue Chelonioida : vue dorsale d'un fragment d'humérus droit. L'échelle est de 1 mm pour toutes les photos de microfaciès (9 à 17). 9. Niveau 3c : coprolithes phosphatisés riches en matière organique et ciment silicifié. (a) Microorganismes (petits lamellibranches, spicules d'éponge ?) ; (b) fragments siliceux. 10. Niveau 5b : fragments osseux ; (a) bord d'un galet biomicritique. 11. Niveau 5b : microfaciès biosparitique à coprolithes de crustacé «*Favreina*» dans un galet remanié. 12–14. Niveau 5d : microfaciès à ciment sparitique et grains clastiques du quartz (Q) montrant la fréquence des éléments osseux (12a : dent de poisson) ainsi que des débris de sédiments carbonatés phosphatisés (12b, 13a). 15. Niveau 5d : sédiment micritique à inclusions de microorganismes (petits foraminifères, spicules) et grain phosphaté d'épigénie (a, L.N.; b, L.P.). 16. Niveau 5d : texture jointive à ciment sparitique (a), bord d'un galet pel-biomicrosparitique (b) avec un noyau siliceux (c). 17. Niveau 4 (Jabal Hayan) : lithoclaste phosphatisé à structure oolithique (?) (a, L.N.; b, L.P.). 18. Niveau 4 : nannofaciès des marnes au MEB. À noter la fréquence des coccolithes et la nanoporosité élevée (échelle : 5 µm). 19. Niveau 4 : *Marthasterites furcatus* (Deflandre in Deflandre et Fert 1954) Deflandre (1959). 20. Niveau 4 : *Eprolithus floralis* (Stradner, 1962) Stover (1966) (a, L.N.; b, L.P.).

Fig. 4. 1. Northeastern flank of Jabal Hayan: succession of the different lithostratigraphic units and formations. (a) Turonian–Senonian boundary; (b) ostreid biostrom of the Rmah-I member. 2. Northern flank of Jabal Abtar: lithologic sequence of Rmah-I member (Coniacian–Santonian). All other photographs (except n° 17) concern Jabal Abtar section. 3. Level 5: lithological succession showing the two vertebrate bearing phosphatic beds (5b and 5d). 4. Level 5 (detail of photo 3): intensively ravined base of the upper phosphatic bed 5d and reworked calcareous pebbles. 5 and 6. Level 5b: articulated vertebrae of a plesiosaur in the matrix and after extraction. 7. Plesiosaur (detail of photo 6): ventral view of the leftmost located vertebra. 8. Chelonioid turtle: dorsal view of a right humerus fragment. Scale equals 1 mm for all photos of microfacies (9 to 17). 9. Level 3c: phosphatic coprolithes rich in opaque organic matter and silicified cement. (a) Microorganisms (small lamellibranchs, sponge spicules?); (b) siliceous fragments. 10. Level 5b: bone fragments; (a) edge of a biomicritic pebble. 11. Level 5b: biosparite microfacies with "Favreina" crustacean coprolithes in a limestone pebble. 12–14. Level 5d: microfacies with sparitic cement and detrital quartz grains (Q) displaying the relative abundance of bony elements (12a: fish tooth), as well as fragments of phosphatised carbonate (12b, 13a). 15. Level 5d: micritic limestone with microfossil inclusions (small foraminifera, spicules) and epigenetic phosphatic grain (a, N.L.; b, P.L.). 16. Level 5d: texture with sparitic cement (a) and a pel-microsparite limestone pebble (b) with a siliceous core (c). 17. Level 4 (Jabal Hayan): phosphatised lithoclast with oolithitic (?) structure (a, N.L.; b, P.L.). 18. Level 4: marl nannofacies in SEM micrographs. Note the coccolithes abundance and high porosity (scale: 5 µm). 19. Level 4: *Marthasterites furcatus* (Deflandre in Deflandre et Fert 1954) Deflandre (1959). 20. Level 4: *Eprolithus floralis* (Stradner, 1962) Stover (1966) (a, N.L.; b, P.L.).

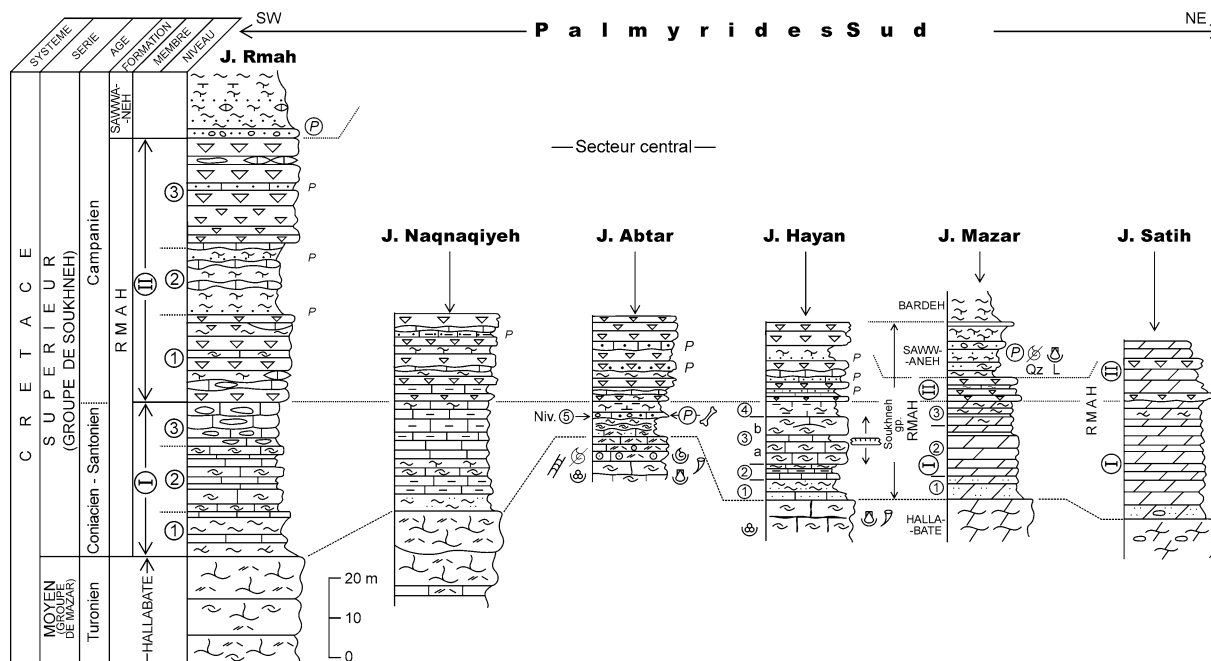


Fig. 5. Corrélations des coupes du membre Rmah-I dans les Palmyrides sud.

Fig. 5. Correlations between Rmah-I member sections in southern Palmyrides.

(Fig. 4, 12–16); leur structure est grenue à grains moyens à grossiers, voire conglomératique locale (Fig. 4, 3 et 4);

- (6) les galets remaniés dans les deux bancs phosphatés (5b, 5d) ont des faciès variés (Fig. 4, 10, 11 et 16), qui rappellent ceux du Turonien des Palmyrides [2,13,14].

3. Vertébrés

Plusieurs restes de grands vertébrés marins ont été découverts dans les niveaux phosphatés (5b et 5d) du membre Rmah-I. La dent fragmentaire de sélacien peut être attribuée au sclérhorhynchidé *Onchosaurus pharao* (dét. H. Cappetta), espèce connue dans le Turonien du Niger, le Santonien d'Égypte ainsi que dans le Sénonien du Congo, de l'Angola et du Brésil [9]. L'humérus droit de tortue est aplati dorso-ventralement et possède une forme légèrement sinusoïdale en vue latérale. L'animal devait mesurer environ 2 m de long. La face articulaire distale est étendue et porte deux condyles individualisés. La face

dorsale porte distalement un foramen ectépicondylaire en forme de large gouttière (Fig. 4, 8). L'ensemble de ces caractères suggère une tortue marine Chelonoidea assez primitive, dont le degré d'adaptation à la vie aquatique est comparable à celui de *Toxochelys* du Santonien–Maastrichtien d'Amérique du Nord [16] et de chélonioïdes indéterminés du Turonien de France [5] et des phosphates plus récents de Syrie, région d'Al Bardeh [7]. Les six vertèbres de plésiosaure, d'environ 10 cm de longueur chacune, ont été trouvées en articulation anatomique (Fig. 4, 5 et 6). Elles portent ventralement des foramens nourriciers caractéristiques des plésiosaures (Fig. 4, 7). Il s'agit de vertèbres cervicales montrant les principaux caractères apomorphiques des élasmosauridés : faces articulaires amphiplates et en forme de « 8 » horizontal, longueur plus importante que la largeur et que la hauteur, présence de crêtes longitudinales sur les faces latérales [6]. Les Elasmosauridae étaient très diversifiés et mondialement répandus durant le Crétacé supérieur. L'ensemble de ces restes indique un environnement néritique en accord avec les données sédimentologiques.

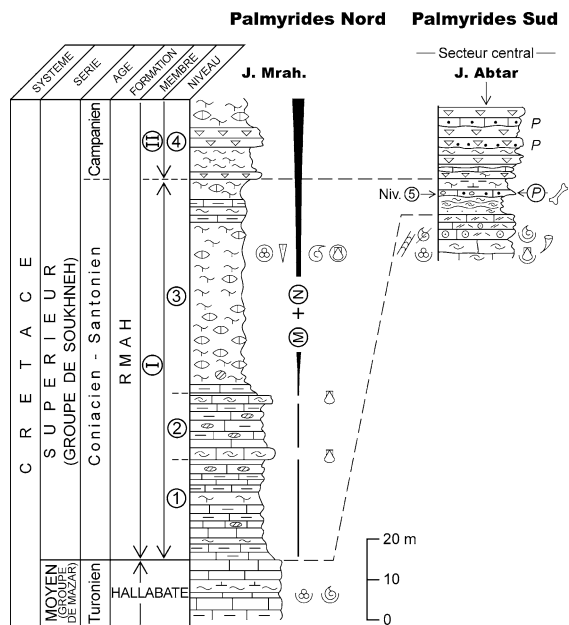


Fig. 6. Corrélation des dépôts du membre Rmah-I entre la coupe du Jabal Abtar (Palmyrides sud) et celle du Jabal Mrah (Palmyrides nord).

Fig. 6. Correlation of Rmah-I member sediments between Jabal Abtar section (southern Palmyrides) and Jabal Mrah one (northern Palmyrides).

4. Environnements et séquences sédimentaires ; phosphatogénèse

Durant le Sénonien, l'environnement marin est resté généralement néritique. Six grandes séquences sédimentaires traduisent la progression de la transgression sénonienne durant le Coniacien–Santonien. Une légère augmentation de profondeur, liée à une liaison avec la mer ouverte, caractérise les environnements du Santonien (Fig. 3). Le Campanien est marqué par le maximum d'approfondissement et d'ouverture, avec le dépôt des sédiments hémipélagiques du membre Rmah-II.

Trois stades de phosphatogénèse ont eu lieu dans la région du Jabal Abtar, les deux derniers, plus prononcés, correspondant aux dépôts des deux bancs phosphatés (5b et 5d), d'âge Santonien, à restes de vertébrés (Figs. 3 et 4, 5–8). L'ouverture associée à la transgression, ainsi que la sédimentation condensée bien connue dans ce secteur central des Palmyrides sud [2,3,8,13,14], ont probablement favorisé la

phosphatogénèse et la sédimentation phosphatée. Les éléments clastiques (galets, quartz) associés aux deux bancs phosphatés (5b, 5d) ont probablement comme source le Hamad Uplift, qui est resté émergé pendant une grande partie du Mésozoïque, avant d'être envahi par la mer au Sénonien [2,3,7,8,13]. L'arrivée de ces apports clastiques a pu être un facteur défavorable à la phosphatogénèse [12].

5. Corrélations des dépôts du Rmah-I dans les Palmyrides

Des levés de coupes des dépôts du membre Rmah-I, respectivement au nord-est (Jabal Hayan, Fig. 4, 1) et au sud-ouest (Jabal Rmah) du Jabal Abtar, ainsi que les données déjà disponibles du membre Rmah-I dans l'ensemble des Palmyrides [2,13], ont permis de dresser des corrélations stratigraphiques (Figs. 5 et 6), dont il ressort les faits marquants suivants :

- (1) les niveaux phosphatés (5b et 5d) décrits dans le Jabal Abtar sont absents du reste des Palmyrides ;
- (2) dans les Palmyrides sud (Fig. 5), la puissance des dépôts augmente progressivement, à partir du Jabal Abtar, dans les deux sens nord-est et sud-ouest. Tandis que le Nord-Est des Palmyrides sud (Jabal Mazar, Jabal Satih) montre un développement massif de dolomies, le Sud-Ouest (Jabal Rmah) comprend surtout des dépôts marneux et calcaréo-argileux ; à noter également le développement important de calcaires coquilliers (Fig. 4, 1b) et la présence de quelques lithoclastes phosphatisés dans le niveau 4 (Fig. 4, 17) de la coupe de Jabal Hayan ;
- (3) dans les Palmyrides nord (Jabal Mrah), les dépôts sont nettement plus épais que dans les Palmyrides sud (Fig. 6) et sont surtout représentés par des faciès marneux et des calcaires argileux, contenant des faunes pélagiques diverses.

6. Conclusion

Les dépôts carbonatés du Coniacien–Santonien (membre de Rmah-I) du secteur central des Palmyrides sud (région du Jabal Abtar) ont enregistré l'avancée progressive de la transgression du Sénonien (Fig. 3). Cette grande transgression, connue à l'échelle

régionale [11,13,15] et se traduisant par l'invasion du Nord de la plate-forme Arabe par la Téthys [1–3,8,13], a pu s'étendre au Sud syrien, pour finalement recouvrir le Hamad Uplift, longuement émergé au Sud du Bassin palmyrien durant le Mésozoïque [2,3,7,8,13]. Cette évolution paléogéographique a pu créer des environnements favorables à la genèse des dépôts phosphatés dans le secteur central des Palmyrides sud, tout particulièrement pendant le Santonien.

Les changements latéraux de faciès des dépôts du Coniacien–Santonien des Palmyrides sud (Fig. 5) reflètent l'influence du bord nord du Hamad Uplift, ainsi que le degré de communication de l'environnement avec la mer ouverte. En effet, le Sud-Ouest (Jabal Rmah) correspond à un environnement plus ouvert que le Nord-Est (Jabal Mazar à Jabal Satih), qui se caractérise par un isolement plus marqué et des circulations limitées. Quant aux Palmyrides nord (Fig. 6), elles sont caractérisées par l'amorce de l'individualisation de l'axe subsident du bassin palmyrien du Sénonien et par une sédimentation essentiellement pélagique.

L'épisode précoce (Santonien) de phosphatogenèse mis en évidence dans le secteur central des Palmyrides Sud (Jabal Abtar), ainsi que ceux déjà signalés dans le Coniacien–Santonien de la région du Kurd Dagh, dans le Nord-Ouest syrien [1], confirment que la phosphatogenèse sénonienne s'est manifestée dans certains secteurs de la plate-forme syrienne dès le Coniacien–Santonien. Dans les Palmyrides, cette phase précoce indique donc que le rôle majeur joué par le secteur central des Palmyrides sud au Campanien dans la genèse des grands dépôts phosphatés [2,3,7,8,13] était déjà amorcé au Santonien.

Remerciements

Le premier auteur tient à remercier les autorités de l'université de Damas, la direction et les personnels du Département de géologie sédimentaire (UPMC) ainsi que F. Baudin, P. D'Arco, J.-P. Bellier, Y. Radwan, M. Mouty, H. Cappetta, X. Pereda Suberbiola, P. Blanc et C. Muller pour leurs aides précieuses dans la réalisation de son programme de recherche. Les deux auteurs remercient vivement M. Troy, C. Abrial, A. Lethiers (CNRS, UPMC) ainsi que H. Lavina, P. Loubry et D. Serrette (CNRS, MNHN) pour la réalisation technique et infographique de la note.

Références

- [1] A.K. Al Maleh, Les phosphates sénoniens du Nord-Ouest syrien, C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. D 278 (1974) 1003–1006.
- [2] A.K. Al Maleh, M. Mouty, The sedimentologic and paleogeographic evolution of the Palmyridean region during Cretaceous, in: G.A. Saffarini, et al. (Eds.), *Geology of Jordan and Adjacent Areas*, Proc. 3rd. Jordanian Geol. Conf. Spec. Publ., 3, Jordanian Geol. Association, 1988, pp. 213–244.
- [3] A.K. Al Maleh, M. Mouty, Lithostratigraphy of Senonian phosphorite deposits in the Palmyridean region and their general sedimentological and paleogeographical framework, in: A. Lijima, A.M. Abed, R.E. Garrison (Eds.), *Siliceous Phosphatic and Glaucomitic Sediments of the Tertiary and Mesozoic*, Proc. 29th Int. Geol. Congr., Part C, VSP, Utrecht, 1994, pp. 225–232.
- [4] S. Atfeh, The phosphorites resources of Syria, in: A.J.G. Notholt, R.P. Sheldon, D.F. Davidson (Eds.), *Phosphate deposits of the World*, Vol. 2, Phosphate rock resources, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1989, pp. 357–362.
- [5] N. Bardet, X. Pereda Suberbiola, G. Badillet, A primitive Chelonoid turtle from the Late Cretaceous of Touraine, France, *Bull. Soc. géol. France*, Paris 167 (2) (1996) 257–262.
- [6] N. Bardet, P. Godefroit, J. Sciau, A new elasmosaurid genus from the Upper Lias of southwestern France, *Palaeontology* 42 (5) (1999) 927–952.
- [7] N. Bardet, H. Cappetta, X. Pereda Suberbiola, M. Mouty, A.K. Al Maleh, A.M. Ahmad, O. Khrata, N. Gannoum, The marine vertebrate faunas from the Late Cretaceous phosphates of Syria, *Geol. Mag.* 137 (3) (2000) 269–290.
- [8] G. Brew, M. Barazangi, A.K. Al Maleh, T. Sawaf, Tectonic and geologic evolution of Syria, *Geo Arabia* 6 (4) (2001) 573–616.
- [9] H. Cappetta, Mesozoic and Cenozoic Elasmobranchii, Chondrichthyes II, in: H.P. Schultze (Ed.), in: *Handbook of Paleichthyology*, Vol. 3B, Gustav Fisher Verlag, Stuttgart, New York, 1987, 193 p.
- [10] Commission de l'énergie atomique (Syrie), Aalam Al-Zarra, Publication spéciale, n° 43, 1996, pp. 1–138.
- [11] L. Dubertret, Liban, Syrie et bordure des pays voisins. Tableau stratigraphique avec carte géologique au millionième, *Notes et Mémoires sur le Moyen-Orient* 8 (1966) 251–358.
- [12] J. Lucas, L. Prévôt-Lucas, Tethyan phosphates and bioproducts, in: A.E.M. Nairn, et al. (Eds.), in: *Ocean Basins and Margins, Tethys Ocean*, Vol. 8, Plenum Press, New York, 1996, pp. 367–391.
- [13] M. Mouty, A.K. Al Maleh, Geological Study of the Palmyrides, rapport of the contract n°140/N, Ministry of Petroleum and Minerals Ressources, 1983, Damascus, Syria, 4 vols, 950 p., 3 atlas, 35 maps.
- [14] M. Mouty, A.K. Al Maleh, H. Aboulaban, Le Crétacé moyen de la chaîne des Palmyrides (Syrie centrale), *Geodiversitas* (sous presse).
- [15] V.P. Ponikarov, et al., *The Geology of Syria. Part I. Stratigraphy, Igneous Rocks and Tectonics*, Ministry of Industry, Damascus, Syria, 1967, 229 p.
- [16] R. Zangerl, The vertebrate fauna of the Selma Formation of Alabama. Part IV: The turtles of the family Toxochelyidae, *Fieldiana, Geol. Mem.* 3 (4) (1953) 137–277.