



Paléontologie systématique (Micropaléontologie)

## Radiolaires mésozoïques de la formation de Kermanshah (Iran)

*Mesozoic radiolarians from the Kermanshah formation (Iran)*

Farzad Gharib, Patrick De Wever\*

Muséum national histoire naturelle (MNHN) et Geological survey of Iran, 43, rue Buffon, 75005 Paris, France

## I N F O A R T I C L E

## Historique de l'article :

Reçu le 12 mars 2009

Accepté après révision 31 mai 2010

Disponible sur internet le 15 septembre 2010

Présenté par Philippe Taquet

## Mots clés :

Radiolarite

Radiolaire

Téthys

Mésozoïque

Iran

Kermanshah

Monsoon

## Keywords:

Radiolarite

Radiolarian

Tethys

Mesozoic

Iran

Kermanshah

Monsoon

## R É S U M É

Les radiolarites de Kermanshah, Iran occidental, appartiennent à un vaste complexe siliceux caractéristique de la Téthys mésozoïque. Ces ensembles siliceux sont soit associés à des cortèges ophiolitiques, qu'ils ont permis de dater, soit appartiennent à des ensembles sédimentaires dont le milieu de sédimentation est généralement celui d'un sillon très long et très étroit en zone intertropicale, qui bénéficiait de l'apport nutritif d'*upwellings* pilotés par des moussons. Le sillon commençait au sud avec la série d'Hawasina (Oman), se prolongeait vers le nord avec celui de Pichakun (Iran du Sud), de Kermanshah (Iran occidental) et se terminait avec celui de Kocali (Turquie). Les radiolarites ont été datées dans ces différentes parties du sillon à l'exception de celui de Kermanshah. Le travail présenté ici comble cette lacune et permet de noter : que des niveaux sont datés par les radiolaires du Pliensbachien inférieur, pour les plus anciens, jusqu'au Turonien pour les plus récents.

© 2010 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

## A B S T R A C T

Radiolarites are one of the characteristic facies of the Tethyan Mesozoic realm. In western Iran, the Kermanshah radiolarites belong to a vast siliceous complex characteristic of the Mesozoic rocks of the Tethys region. These siliceous sequences are associated either with ophiolitic outcrops, which allow us to date them, or to sedimentary sequences that were deposited in a long and narrow basin in an intertropical zone, which benefited from the nutritional content of upwellings driven by monsoons. This basin extended from the Hawasina series (Oman) in the south, continued northward into the series of Pichakun (South Iran) and Kermanshah (western Iran) and ended with the Kocali series (Turkey). Radiolarites were dated in these different parts of the basin except in Kermanshah. The present work fills this gap and reveals that several levels can be dated by radiolarians from the Lower Pliensbachian, for the oldest ones, up until the Turonian for the youngest.

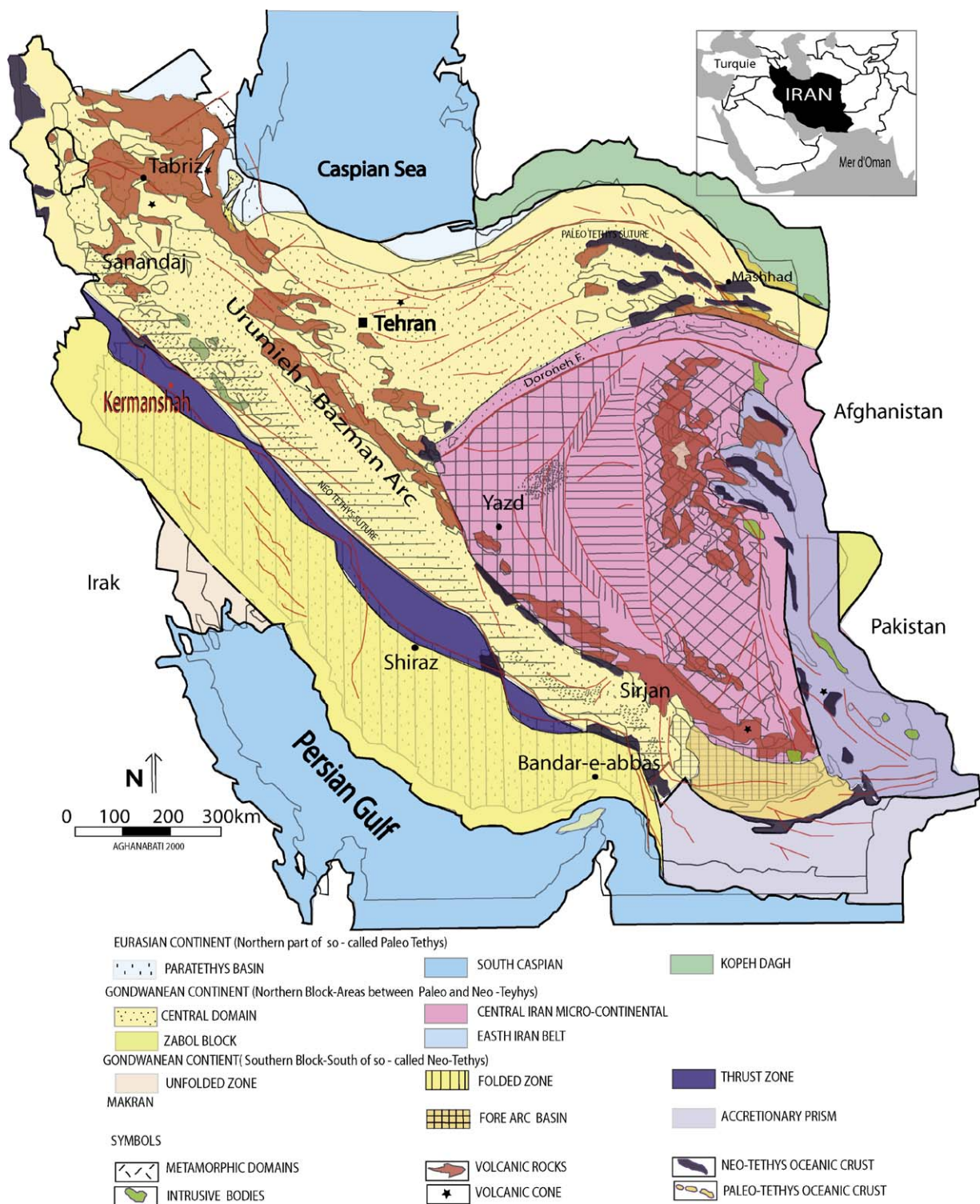
© 2010 Académie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

## Abridged English version

Radiolarites are one of the characteristic facies of the Tethyan Mesozoic realm. Because they are found associated with an ophiolitic complex it was proposed (Steinmann, 1905) in the beginning of the nineteenth century that

\* Auteur correspondant.

Adresses e-mail : farzad.gharib@yahoo.com (F. Gharib),  
pdewever@mnhn.fr (P. De Wever).



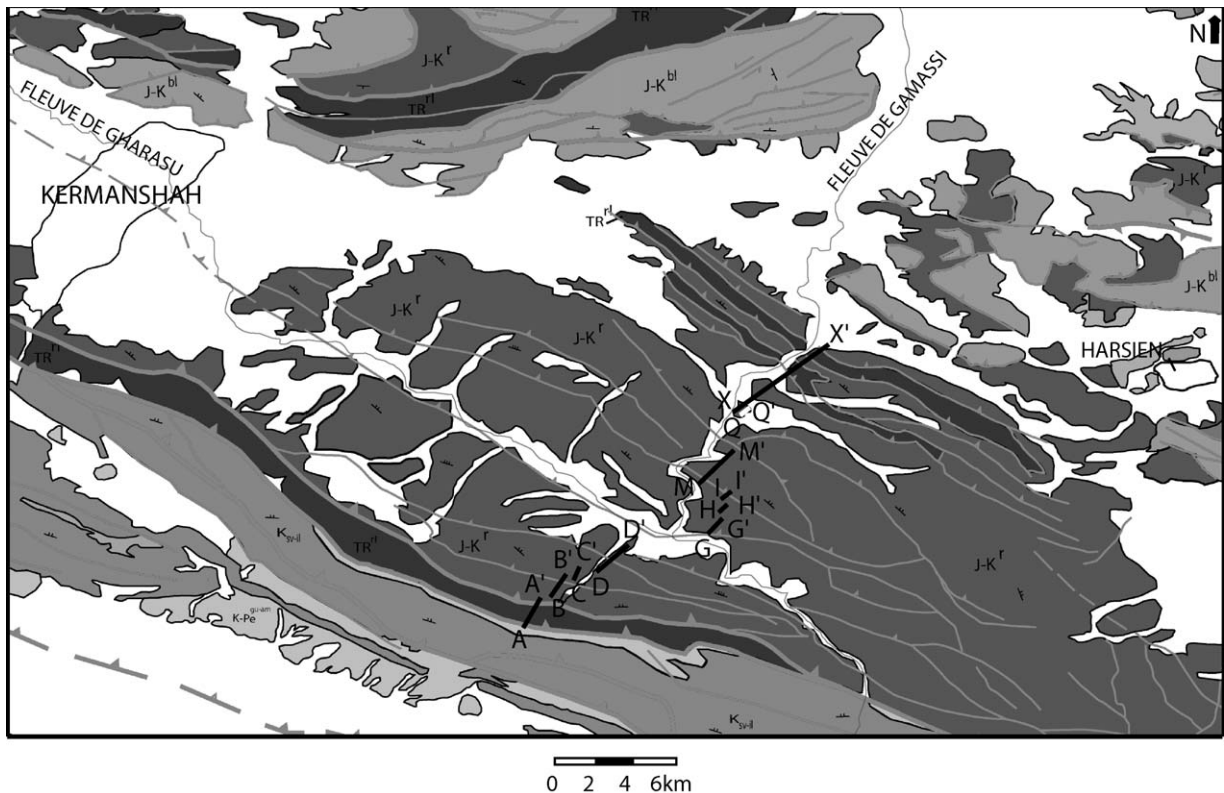
**Fig. 1.** Principales unités géologiques constitutives de l'Iran (d'après la carte de Kermanshah au 1/250 000).

**Fig. 1.** Main geological units of Iran (from the map of Kermanshah 1/250 000).

they were genetically associated with the silica given off by volcanic activity. This idea endured for decades, even though today there are no siliceous sediments along mid-ocean ridges. Fifteen years ago, it was proposed that radiolarites would rather be comparable to zones of high bioproductivity such as those related to upwellings (De Wever et al., 1994). Such an association can be found off Peru, where siliceous sediments (rich in diatoms and radiolarians) lie on the continental platform no deeper than one or two hundred meters (De Wever et al., 1995).

In Iran, the Kermanshah radiolarite belongs to an important siliceous complex of Mesozoic age (Figs. 1 and 2). This sedimentary pile was deposited in a long and narrow basin (Dercourt et al., 1993; Ricou and Marcoux, 1980; Ricou et al., 1977) in an intertropical zone (De Wever et al., 1994). This sedimentary basin was part of the Tethyan Ocean and bordered the eastern edge of Gondwana. It extended from the Hawasina region (Oman) in the south, through Pichakun (South Iran, Neyriz series) and Kermanshah (western Iran), and ended in the Kocali basin (Turkey). Its approxi-

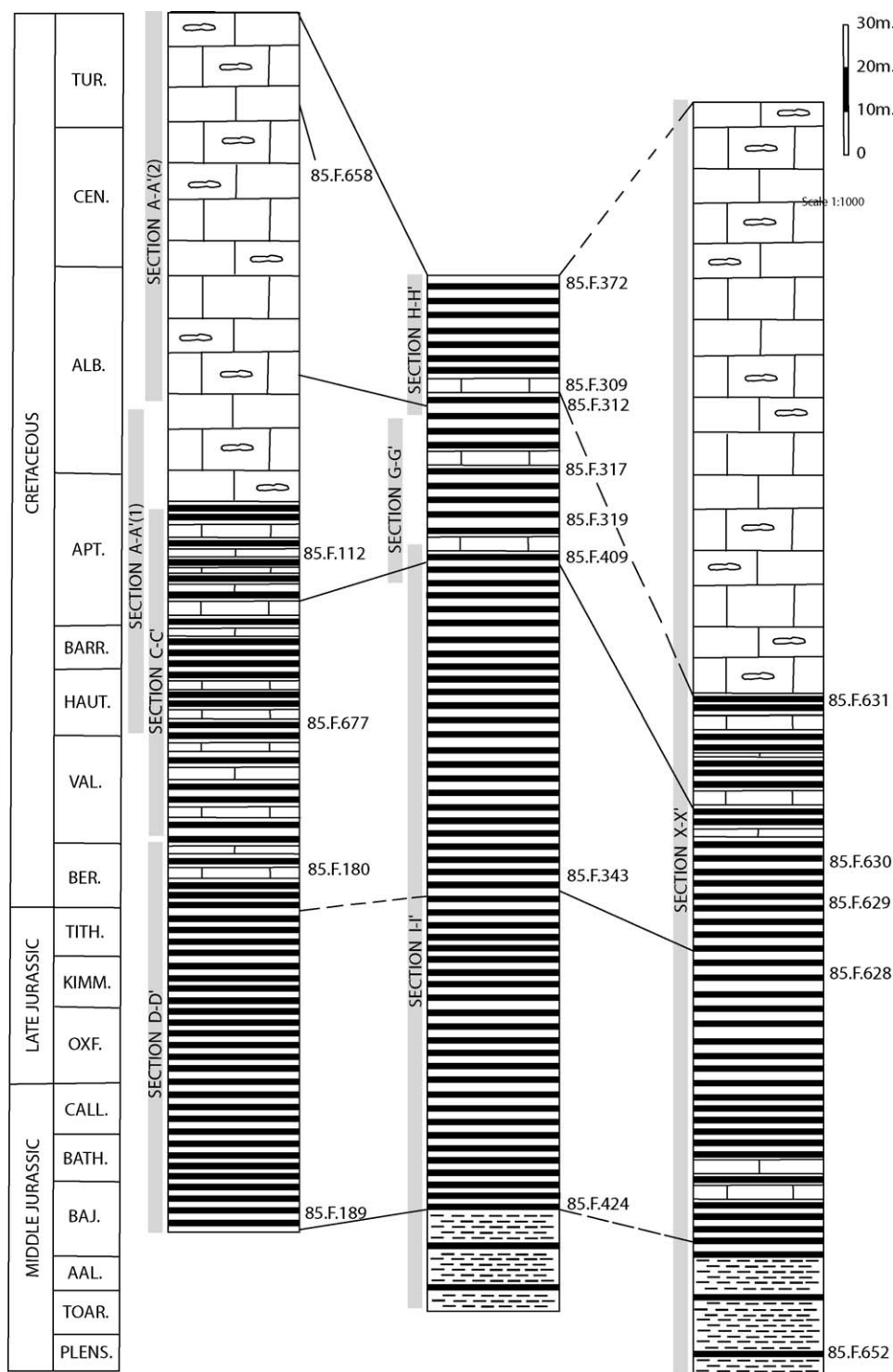
mate length covered more than 3000 km for a width of two or three hundred kilometres. These trenches have been compared to the gulf of Baja California (western part of Mexico) and the Owen basin in the western Indian Ocean (De Wever et al., 1994). These basins show the same size, the same latitude range and the same high biosilica productivity due to upwellings. The Owen basin seems to be a favourite example because its bioproductivity is driven by monsoons. Monsoons are due to the juxtaposition of a landmass and watermass in a latitudinal position (current examples are Texas, north of the Gulf of Mexico, Sierra Leone north of the Gulf of Guinea, in West Africa, Australia, and Bangladesh north of the Gulf of Bengal). These monsoons were active in Northwest Tethys along the huge borderline, more than 12,000 km long in a latitudinal position that separated a landmass in the north from the Tethyan Ocean in the south. These seasonal changes were able to trigger upwelling currents in the western part of the Tethys Ocean as the Indian monsoon currently drives seasonal upwelling in the Somalia and Owen basins (De Wever et al., 1994). This cyclic organisation would explain



**Fig. 2.** Carte géologique simplifiée des radiolarites de la région de Kermanshah (à l'ouest sur la figure). La série des coupes levées constitue une traversée de la zone des radiolarites le long de la rivière Gamassi, au nord (coupes XX' à GG'), puis dans une vallée sèche vers le sud (coupes AA' à DD'). Par un relais entre chaque coupe, selon les affleurements disponibles, l'ensemble de la zone a été échantillonné. TRl: calcaires et radiolarites triasiques de la Formation des radiolarites; TRl: calcaires triasiques de la Formation de Bisetun; J-Kbl: calcaire Jurassique-Crétacé de la Formation de Bisetun; J-Kr: radiolarites et calcaires Jurassique-Crétacé de la Formation des Radiolarites; chaîne plissée du Zagros; Ksv-il: calcaires crétacés; K-Pegu-am: grès et flyschs crétacés-paléocènes.

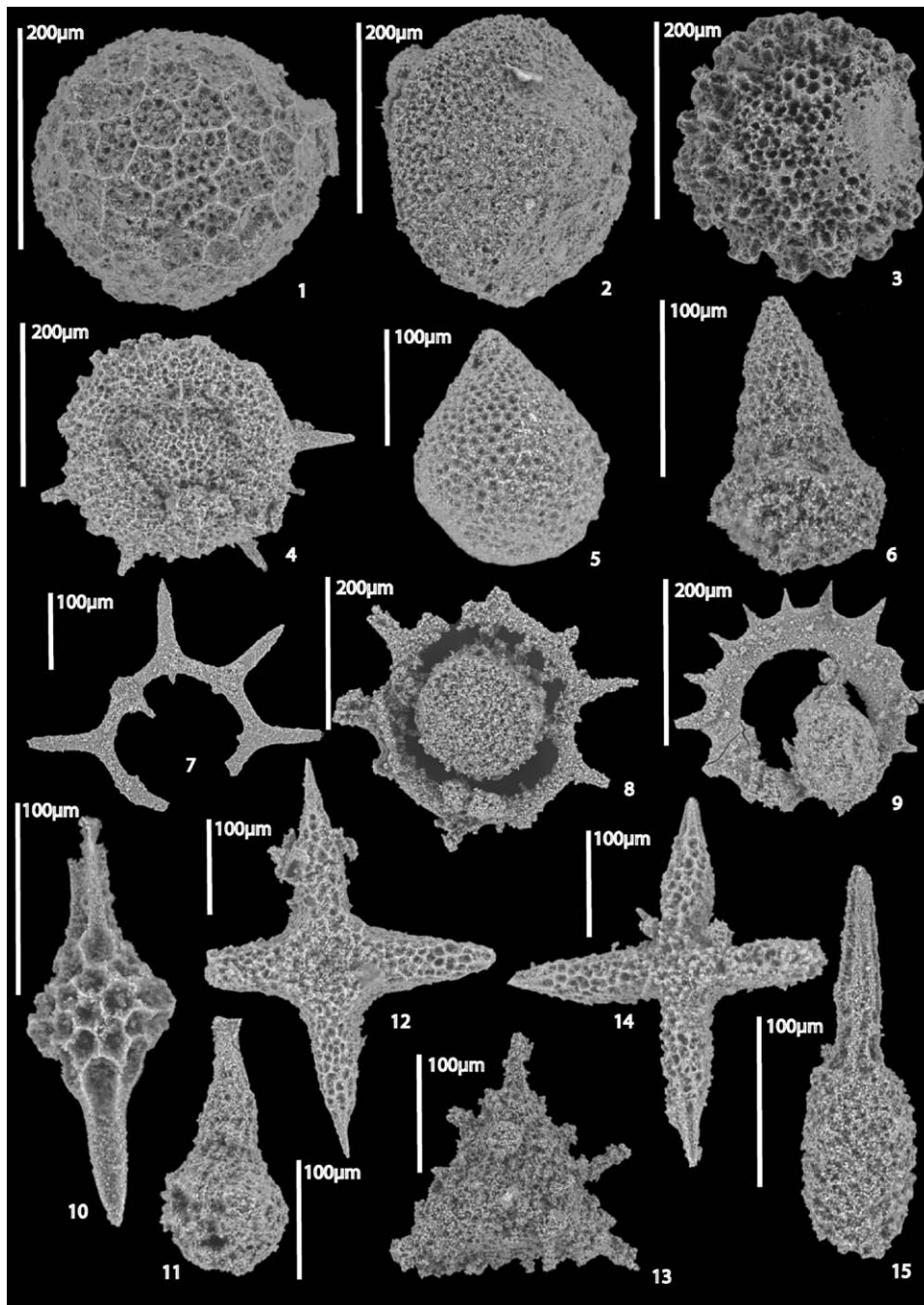
**Fig. 2.** Geological map of the Radiolarite Formation in the Kermanshah region. The set of collected sections represents a complete cross section of the whole Radiolarite formation, along the Gamassi River, northwardly (sections XX' to GG'), and in a dry valley southwardly (sections AA' to DD'). From one section to the other, the take over allows a complete collection of samples. TRl: Triassic limestone and radiolarite from the Radiolarite Formation; TRl: Triassic limestone from the Bisetun formation; J-Kbl: Jurassic-Cretaceous limestone from Bisetun Formation; J-Kr: Jurassic-Cretaceous radiolarite and limestone from Radiolarite Formation; Zagros fold-thrust belt; Ksv-il: Cretaceous limestones; K-Pegu-am: Cretaceous to Paleocene sandstones and flysch.





**Fig. 3.** Colonnes lithologiques composites des secteurs occidentaux, centraux et orientaux de la zone à radiolarites. Les coupes (A-A', B-B'... X-X') ont été localisées stratigraphiquement selon les âges fournis par les radiolaires. Pour chacune, les numéros de quelques échantillons ayant permis d'obtenir un âge ont été localisés. L'épaisseur totale de la série est estimée à près de 300 m. Le contenu paléontologique de l'échantillon le plus ancien et le plus récent est fourni sur la Fig. 4.

**Fig. 3.** Composite lithological columns of western, central and eastern sectors of the Radiolarite Formation. Sections (A-A', B-B'... X-X') are stratigraphically located according to the age obtained with radiolarians. For each one, numbers of some corresponding samples are provided. The total thickness is estimated to be close to 300 m. Radiolarian content of the oldest and youngest sample is provided on Fig. 4.



**Fig. 4.** Plaque de quelques radiolaires identifiés. Nous avons choisi d'illustrer ici ceux qui bornent la série des radiolarites, dans les âges les plus jeunes et les plus anciens. Pour chaque photo sont fournies : le nom d'espèce et le numéro d'échantillon. Le grossissement est mentionné sur la figure. 1. *Archaeoceanosphaera*? *mellifera* O'DOHERTY, (85.F.356); 2. *Patellula verteroensis* (PESSAGNO), (85.F.356); 3. *Praeconocaryomma yakounensis* CARTER, (85.F. 652); 4. *Patellula ecliptica* O'DOHERTY, (85.F.372); 5. *Minocapsa globosa* MATSUKA, (85.F.512); 6. *Pseudoristola megaglobosa* YEH, (85.F. 652); 7. *Praehexasaturnalis tetradiradius* KOZUR ET MOSTLER, (85.F.640); 8. *Acanthocircus tympanum* O'DOHERTY, (85.F.658); 9. *Acanthocircus venetus* (SQUINABOL), (85.F.372); 10. *Zartus mostleri* PESSAGNO ET BLOME, (85.F.427); 11. *Religa globosa* WHALEN ET CARTER, (85.F. 652); 12. *Crucella cachensis* PESSAGNO, (85.F.372); 13. *Paronaella communis* (SQUINABOL), (85.F.658); 14. *Crucella euganea* (SQUINABOL), (85.F.372); 15. *Protopsisium gesponsa* DE WEVER, (85.F. 652).

**Fig. 4.** Plate of some strategic radiolarians found in the Radiolarite Formation (from the oldest and youngest parts). For each picture are provided: species name, and sample number. The magnification is reported on the plate.

the alternation of chert with shales and/or carbonate (De Wever, 1987).

Radiolarite series were dated in different places of the Tethyan ocean, either those related with ophiolites, from the westernmost part (De Wever, 1984; De Wever and Cabry, 1981; De Wever and Dercourt, 1985; De Wever et al., 1985, 1987a, 1987b) up to the eastern part, or those radiolarites belonging to sedimentary series (Bechennec et al., 1990; Blechschmidt et al., 2004; De Wever and Cordey, 1986; De Wever and Miconnet, 1985; De Wever and Origlia-Devos, 1982a, 1982b; Gorican, 1994) and specifically those from the set of trenches from the South Hawasina basin to the north via the Pichakun. No direct age has been yet proposed in Kermanshah.

The Kermanshah nappes are an excellently preserved example of a deep-water Mesozoic basin developed on the southern Tethyan margin. Radiolarite successions (circa 250–300 m thick) consisting of radiolarian cherts, shales and carbonate deposits are beautifully exposed. Because most carbonates are crystallized microfossils are poorly preserved; radiolarians are virtually the only fossils that can enable age determination. Indeed more than one hundred fifty thin sections were made in limestones but none of them allow us to identify any age diagnostic microfossil.

The present work fills this gap and enables several levels to be dated. Radiolarians were extracted from the rock according to the usual techniques (chlorhydric and hydrofluoric acids). They were identified and dated based on

| Échantillon 85.F.652                | HETTANGIAN |       | SINEMURIAN |       | PLIENSBA. |       | TOARCIAN |        |       | AAL. |
|-------------------------------------|------------|-------|------------|-------|-----------|-------|----------|--------|-------|------|
|                                     | lower      | upper | lower      | upper | lower     | upper | lower    | middle | upper |      |
| <i>Katroma ninstintsi</i>           |            |       |            |       |           |       |          |        |       |      |
| <i>Paronaella skowkoneensis</i>     |            |       |            |       |           |       |          |        |       |      |
| <i>Eucyrtidellum omanojaponicum</i> |            |       |            |       |           |       |          |        |       |      |
| <i>Williridellum ferum</i>          |            |       |            |       |           |       |          |        |       |      |
| <i>Lantus obesus</i>                |            |       |            |       |           |       |          |        |       |      |
| <i>Zhamoidellum yehae</i>           |            |       |            |       |           |       |          |        |       |      |
| <i>Praeconocaryomma yakounensis</i> |            |       |            |       |           |       |          |        |       |      |
| <i>Praeconocaryomma whiteavesi</i>  |            |       |            |       |           |       |          |        |       |      |
| <i>Homoeoparonaella reciproca</i>   |            |       |            |       |           |       |          |        |       |      |
| <i>Parahsuum simplum</i>            |            |       |            |       |           |       |          |        |       |      |
| <i>Parahsuum izeense</i>            |            |       |            |       |           |       |          |        |       |      |
| <i>Archaeodictyomitra sp.B</i>      |            |       |            |       |           |       |          |        |       |      |
| <i>Religa globosa</i>               |            |       |            |       |           |       |          |        |       |      |
| <i>Protopsiium gesponsa</i>         |            |       |            |       |           |       |          |        |       |      |
| <i>Pseudoristola megaglobosa</i>    |            |       |            |       |           |       |          |        |       |      |

| Échantillon 85.F.372                     | A.U.1 | A.U.2 | A.U.3 | A.U.4 | A.U.5 | A.U.6 | A.U.7 | A.U.8 | A.U.9 | A.U.10 | A.U.11 | A.U.12 | A.U.13 | A.U.14 | A.U.15 | A.U.16 | A.U.17 | A.U.18 | A.U.19 | A.U.20 | A.U.21 |
|------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <i>Patellula ecliptica</i>               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <i>Crucella cachensis</i>                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <i>Acanthocircus venetus</i>             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <i>Patellula verteroensis</i>            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <i>Acanthocircus tympanum</i>            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <i>Crucella euganea</i>                  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <i>Pseudoaulophacus putahensis</i>       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <i>Patellula helios</i>                  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <i>Dictyomitra multicostata</i>          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <i>Pessagnobrachia fabiani</i>           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <i>Eostichomitra bonum</i>               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <i>Pseudoacanthosphaera spinosissima</i> |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <i>Triactoma hexeris</i>                 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <i>Dictyomitra formosa</i>               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <i>Triactoma cellulosa</i>               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |

**Fig. 5.** Radiolaires identifiés dans les échantillons (85F 372 et 85F652), le plus ancien et le plus récent rencontrés lors de la présente étude sur les radiolarites de Kermanshah. L'échantillon 85F652 provient de la coupe X-X' à l'est du domaine, à proximité de la carrière de Shams-abad. La répartition stratigraphique des radiolaires est obtenue à partir des informations livrées par Gorican et al. (2006). L'échantillon 85F372 provient de la coupe H-H', au milieu du bassin. Les extensions stratigraphiques des radiolaires rencontrés dans cet échantillon nous conduisent à retenir un âge Turonien inférieur selon l'échelle fournie par O'Dogherty (1994); il correspond à sa Zone à Superbum.

**Fig. 5.** Radiolarains identified in the oldest and youngest samples (85F 372 et 85F652). Sample 85F652 is from section X-X' east of the domain, close to the Shams-abad quarry. Stratigraphic ranges of radiolarians were obtained from data yielded by Gorican et al. (2006). Sample 85F372 is from section H-H', in the middle part of the basin. The stratigraphic ranges of the identified radiolarians indicate an Early Turonian age according to the biostratigraphic scale published by O'Dogherty (1994); it corresponds to its Superbum Zone.

the well-established and widely-used low-latitude radiolarian zonations of Baumgartner et al., 1995; Alavi, 2004), Jud (Jud, 1994) and O'Dogherty (1994) with addition of some recent works, mainly the Atlas published by Gorican and co-authors in 2006 (Gorican et al., 2006) for older levels (Lower Jurassic). The oldest radiolarians, such as *Katroma nintintsi*, *Praeconocaryomma yokounensis*, *Praeconocaryomma whiteaves*, *Pseudoristola megaglobosa*... are not younger than Early Pliensbachian according to the dating provided by Gorican et al. (2006), and the youngest, among which are *Patellula eclipctica*, *Crucella cachensis*, *Acanthocircus tympanum*, *Eostichomitra bonum*, *Pseuduoacanthosphaera spinosissima* (Figs. 3, 4 and 5) allow us to date AU 21 according to the zonation proposed by O'Dogherty (1994) which is Early Turonian.

These ages are well in accordance with ages obtained with radiolarians in the Hawasina basin (Blechs Schmidt et al., 2004; De Wever et al., 1990a), where this facies was present from the Permian to the Upper Cretaceous. In southern Iran, in the Neyriz basin (Pichakun chain), some dates were reported by Keshani (1997) from Valanginian to Lower Cenomanian. More recently Gorican et al. (2007) studied 5 sections from the same basin and dated radiolarians from Bajocian (Aalenian?) up to Turonian. The oldest ages were encountered from West to East of the basin, while the youngest ones were found only in the central part, more silica rich than adjoining parts. An estimate of the relative proportion of chert vs carbonate has been conducted. It appears (Fig. 3) that the central part of the basin is mainly siliceous, while the eastern and western ones are more carbonate rich, especially in the upper part, from Late Aptian to Early Turonian. This disposition would suggest that the two sides of the basins were symmetrical and equally preserved today.

## 1. Introduction

Les chaînes alpines résultent de la convergence des continents africain et européen et de l'écrasement d'un domaine interposé entre ces deux continents. Cette orogénie comporte 3 éléments majeurs, appelés rameaux :

- le rameau septentrional (rameau Alpidique) est une dépendance du continent européen, avec les caractéristiques de ce domaine (orogénèse hercynienne, Permien continental, séries mésozoïques à intercalations de détritiques, etc.). Les Carpates, les Balkans, les Pontides, le Caucase et l'Elbourz, en Iran, appartiennent à ce rameau ;
- le rameau méridional (rameau Dinarique) en diffère totalement, avec des séries permien et mésozoïques franchement marines (présence de sillons à radiolarites) sans discordance hercynienne ; ce rameau se situe en bordure du continent africain. Les Dinarides, les Hellénides, les Taurides et le Zagros, en Iran, appartiennent à ce rameau ;
- en certains points de ces chaînes alpines, ces deux rameaux sont séparés par des blocs continentaux (intermédiaires), interprétés comme des microcontinents et regroupés en rameau médian. Ce sont les massifs du Rhodope, de l'Anatolie centrale (bloc de Kirshehir), d'Iran central et le bloc du Lout en Iran.

La chaîne du Zagros est donc intéressante puisque :

- les rapports de la chaîne avec le continent africain ne sont pas masqués par la mer (cas des Hellénides ou des Taurides) ;
- les unités à radiolarites et ophiolites y ont été reconnues ;
- la chaîne du Zagros était bordée au nord-est par des éléments intermédiaires (Iran central) ou alpidiques (Elbourz).

Contrairement au secteur hellénico-taurique où la chaîne décrit des arcs successifs, le Zagros est rectiligne sur près de 2000 km, avant de passer en direction du sud-est aux chaînes arquées du Makran et du Baloutchistan. Le long de la chaîne, deux secteurs présentent des affleurements importants de radiolarites et d'ophiolites : dans la partie méridionale, la région de Neyriz et dans la partie septentrionale, la région de Kermanshah. La région de Neyriz fut étudiée par Ricou (1974), celle de Kermanshah le fut par Braud (1987).

La chaîne du Zagros semble résulter de l'affrontement direct de plaques continentales. Les unités à radiolarites et surtout les massifs ophiolitiques représentent des zones de sutures qui résultent de fermeture d'espaces océaniques du domaine téthysien. De ce fait, l'âge, la position et la nature des séries permettent de reconstituer la paléogéographie (océans et marges continentales), et de retracer les conditions de formation de la Téthys.

Les séries à radiolarites ont été datées en différents endroits de l'océan téthysien, qu'elles soient associées aux ophiolites (De Wever, 1984 ; De Wever et Caby, 1981 ; De Wever et Dercourt, 1985 ; De Wever et al., 1985, 1987a, 1987b) ou qu'elles appartiennent à des séries sédimentaires (Bechennec et al., 1990 ; Blechs Schmidt et al., 2004 ; De Wever et Cordey, 1986 ; De Wever et Miconnet, 1985 ; De Wever et Origlia-Devos, 1982a, 1982b ; Gorican, 1994), en particulier celles qui se sont déposées dans un jeu de goudtières allant du bassin Hawasina, au sud, au bassin de Pichakun, au nord.

Jusqu'alors aucun âge n'avait été obtenu pour celles de la région de Kermanshah.

## 2. La chaîne du Zagros

La chaîne du Zagros, de direction NW–SE, s'étend longitudinalement du détroit d'Hormuz au sud-est, jusqu'au lac Van (Turquie orientale) au nord-est. Dans le sens transversal, elle va des plis bordiers, à l'ouest, jusqu'à la zone de Sanandaj-Sirjan, vers l'est. La chaîne du Zagros résulte du rapprochement tectonique de domaines fort différents. De nombreux travaux de synthèse ont été consacrés au Zagros, ceux de Ricou (1974), Ricou et al. (1977), de Braud (1987) et Alavi (1994, 2004), Ghasemi et Talbot (2006) étant les plus accessibles.

Le Zagros externe, celui de plis bordiers (*Folded belt*) est interprété par tous les auteurs comme la couverture sédimentaire de la plate-forme arabe, plissée après le Miocène au cours de l'orogénèse finale du Zagros. À la suite de Ricou (1968) dans la région de Neyriz et des travaux en Oman (Glennie et al., 1973), les résultats obtenus dans la région de Kermanshah (Braud, 1987) confirment l'allochtonie de ces séries. Les unités à radiolarites sont accompagnées par

une nappe calcaire (calcaires de Bisetun), analogue aux « exotiques » d'Oman. La faille principale du Zagros représente une frontière entre la zone du Zagros et la zone de Sanandaj-Sirjan.

### 3. La zone de Sanandaj-Sirjan s.l.

La zone de Sanandaj s.l. comprend les collines et montagnes, de direction NW–SE, s'étendant du détroit d'Hormuz (région de Bandar Abbas), précisément à partir de la faille de Minab au sud-est jusqu'au lac Urumieh au nord-ouest (à côté de la Turquie). Elle s'étend sur près de 1500 km, pour une largeur d'environ 150 à 250 km. Au sud-ouest, cette zone jouxte la zone de Zagros. Son extension nord-est est difficile à définir, à cause des dépôts tertiaires et quaternaires qui la masquent. Cette difficulté est renforcée par le fait que l'on observe des changements de faciès et une déformation complexe des couches (Sheikholeslami et al., 2008).

La zone de Sanandaj-Sirjan s.l., comprend plusieurs parties qui sont, du sud-ouest vers le nord-est, de l'extérieur vers l'intérieur de la zone :

- la sous-zone des radiolarites (supposées mésozoïques). Elle s'étend de la zone de Kocali (Turquie) au nord-ouest jusqu'à celle d'Hawasina (Montagnes d'Oman) au sud-est, en passant par celles de Kermanshah, Neyriz-Pichakun (Iran) ;
- la sous-zone de Bisetun qui domine, vers l'est la ville de Kermanshah. Cette sous-zone contient des calcaires massifs du Trias supérieur – Crétacé supérieur. Ceux de la base se sont déposés en environnement néritique, ceux du sommet en environnement pélagique. On la compare aux exotiques d'Oman ;
- la sous-zone des ophiolites, présente à Kermanshah et à Neyriz. Les ophiolites de Kermanshah sont datées de 81–86 Ma (Cénomanien). Celles de Neyriz ont environ 87,5 Ma (Cénomanien) ;
- la « sous-zone latérale » qui contient des volcanites du Jurassique supérieur au Crétacé inférieur. Ces volcanites existent tout au long de la zone de Sanandaj-Sirjan ;
- la sous-zone de déformation complexe, métamorphique avec des roches plutoniques.

Le présent travail concerne une coupe transversale de la totalité du domaine à radiolarites de la partie nord de la chaîne : celle de la région de Kermanshah (anciennement appelée Bakhtaran). Cette zone, à l'Ouest du pays, se trouve à proximité de la frontière irakienne. (Fig. 1). La zone de Kermanshah fait partie (Dercourt et al., 1993 ; Marcoux et Ricou, 1979 ; Ricou et Marcoux, 1980 ; Ricou et al., 1977) d'un ensemble de bassins allongés (env. 2500 km) et étroits d'une centaine de kilomètres. Les anciens bassins à radiolarites s'étendaient, de la latitude 15–20°S, ce qui correspond aujourd'hui aux Montagnes d'Oman (Série d'Hawasina) jusqu'à 5° Nord, en Turquie (zone de Kocali) en passant par le Pichakun (Neyriz) et Kermanshah, tous les deux en Iran. L'origine de la silice a longtemps été débattue. Deux grandes hypothèses étaient envisagées.

Depuis Steinmann (1905) qui avait été frappé de la fréquente association des radiolarites et des ophiolites, on

admettait un lien génétique avec le volcanisme et des exhalaisons de silice dans l'eau, mais alors comme le souligne Braud (1987) la non-proximité d'ophiolites à Kermanshah posait problème. En effet dans le cas qui nous intéresse, les ophiolites se trouvent de l'autre côté de la ride de Bisetun. De surcroît, nulle part dans la nature actuelle, on n'observe de sédimentation siliceuse à proximité immédiate d'une ride océanique.

D'autres auteurs supposaient une origine continentale pour la silice, mais alors pourquoi la trouvait-on limitée à des bassins allongés et étroits ?

Plus récemment, il a été proposé que la sédimentation qui s'y opérait pouvait être comparée avec la fraction biogène que l'on observe aujourd'hui dans les golfes de Basse Californie ou mieux encore, dans le bassin d'Owen, au Nord-Ouest de l'Océan indien (De Wever et al., 1994, 2001). La forte productivité planctonique serait liée au fonctionnement de puissants *upwellings*. En effet, si dans la nature actuelle, on n'observe nulle part une abondance d'organismes siliceux, ni dans la plancton, ni dans le sédiment, à proximités de rides médio-océaniques, on observe, en revanche, des sédiments très riches en organismes siliceux partout où de puissants *upwellings* fonctionnent, tel celui au large du Pérou qui montre des sédiments à radiolaires et diatomées sous une tranche d'eau qui n'excède pas quelques 100 à 200 m (De Wever et al., 1995). En effet, la productivité planctonique y est telle que les eaux sont acidifiées, ce qui fait remonter la CCD à quelques dizaines de mètres seulement, comme l'atteste la partie distale de la plate-forme au large du Pérou (De Wever, 1997 ; De Wever et al., 1994, 1995, 2001). La bioprodutivité siliceuse du bassin d'Owen, du Nord-Ouest de l'Océan indien, est pilotée par des moussons. Les moussons sont dues à la juxtaposition de grandes masses de terre et de mer dont la limite est en position latitudinale. Les exemples actuels en sont le Texas, au Nord du golfe du Mexique, le Sierra Leone, au Nord du Golfe de Guinée, ou encore au Bangladesh, au Nord du Golfe du Bengale. De très puissantes moussons étaient actives dans le triangle téthysien au Mésozoïque, étant donné la longueur gigantesque de la côte qui séparait l'océan téthysien de l'Eurasie : plus de 12 000 km. Cette mousson devait être très forte, même en l'absence de l'accélérateur himalayen que l'on connaît aujourd'hui.

Aujourd'hui, les *upwellings* du bassin de Somalie et du bassin d'Owen sont encore pilotés par la mousson indienne. Une telle liaison au Mésozoïque avec les variations climatiques expliquerait les alternances de silice avec les shales ou carbonates (De Wever, 1987 ; De Wever et al., 1986).

### 4. Les radiolarites de Kermanshah

#### 4.1. Aire d'affleurement et extension des radiolarites

Les radiolarites de Kermanshah représentent un ensemble d'unités constituées principalement de formations radiolaritiques auxquelles sont associées des calcaires et des formations bréchiques. Elles constituent une bande d'affleurements presque continus, d'orientation NW–SE, sur plus de 150 km de long. La ville de Kermanshah est installée sur ces radiolarites. Dans leur plus grande lar-



geur (vallée de la Gamasiab), ces radiolarites couvrent une vingtaine de kilomètres. Elles y déterminent des collines au relief assez mou, étagées entre 1300 et 1800 m d'altitude, et de couleur rouge ou rousse prédominante.

En direction du nord-ouest, elles ne forment plus qu'une bande de 2 à 5 km de large. À l'opposé en direction de sud-est, elles disparaissent sous leur couverture tertiaire (elle-même chevauchée par des nappes) (Fig. 2).

En Iran, il n'existe que deux régions où affleurent largement ces unités à radiolarites du Zagros : celle de Kermanshah au nord-ouest (province du Kurdistan et du Lourdistan) et celle de Neyriz au sud-est (province du Fars).

L'histoire géologique de cet ensemble peut être résumée en trois périodes :

- au Paléozoïque, le Nord du Gondwana présente une ouverture océanique ;
- la plaque iranienne est séparée du Gondwana à partir du Permien supérieur, par suite de l'ouverture de la Téthys ;
- à la fin du Mésozoïque, la Téthys se ferme, et la zone de Sanandaj-Sirjan avec le complexe métamorphique et les ophiolites Téthysiennes coulisent le long de la plaque Arabique du Gondwana.

Les radiolaires des niveaux siliceux ont été particulièrement bien étudiés en Oman (nappes d'Hawasina) par plusieurs vagues successives de radiolaristes. Il y eut d'abord les travaux de De Wever et al. (1988a, 1988b, 1988c, 1990a) avec l'équipe du BRGM (Bechennec et al., 1990), puis ceux de Gorican et al. (2007) avec celle de Guillocheau et presque simultanément ceux de Dumitrica avec l'équipe de Blechschmidt de l'Université de Berne (Blechschmidt et al., 2004). Il y a été montré (De Wever et al., 1988a, 1988b) que les radiolarites surmontant les basaltes en coussins s'installaient dès le Permien, ce qui représente une contrainte majeure pour les reconstructions paléogéographiques. Une nette différenciation, précoce, entre plate-forme (sédiments récifaux) et bassin (radiolarites, turbidites) existait donc dès la base du Permien supérieur. Elle suggère qu'il ait existé une flexure de la plate-forme dès le Permien et une zone de *rifting* au nord-est de la plate-forme gondwanienne : le bassin d'Hamrat Duru (sphénochasme téthysien) entre l'Arabie et les blocs gondwaniens d'Iran. En Iran, dans la zone de Neyriz (Pichakun), Keshani (1997) avait signalé des radiolaires qu'elle attribuait au Valanginien supérieur au Cénomanién inférieur. Gorican et al. (2007) ont montré, à partir des radiolaires, que ces séries existaient au moins du Bajocien inférieur (Aalénien sommital possible) au Turonien (Coniacien possible). Du Crétacé supérieur a été parfois attribué à la totalité de la série. Nous avons prélevé une centaine d'échantillons de calcaires intercalés, mais nous n'avons trouvé aucun *Globotruncana* ; les calcaires sont généralement très largement cristallisés.

## 5. Les coupes étudiées

Afin d'avoir une bonne idée de l'ensemble du domaine radiolaritique nous avons choisi d'étudier une coupe à travers la totalité du domaine radiolaritique, là où il est le plus large.

Nous l'avons étudié le long de la rivière Gamassi et la dépression qui la prolonge au sud-ouest. Selon les affleurements disponibles, 541 échantillons ont été prélevés sur 10 coupes allant du mont Sefid (Kuh-e-Sefid), au sud, à la carrière de Shamsabad, au nord-est. (Fig. 2 et 3) ; elles sont nommées successivement A-A', B-B' etc.

Sur les 541 échantillons prélevés, tous ont été traités à l'acide chlorhydrique puis fluorhydrique, selon les techniques aujourd'hui classiques chez les radiolaristes (De Wever et al., 2001). Quatre-cent cinq d'entre eux ont livré des radiolaires, mais seul une partie d'entre eux est identifiable, si bien que seulement 108 ont permis d'obtenir un âge. La conservation des radiolaires est en général médiocre. L'échantillon le plus riche (85F631) a fourni 21 espèces identifiées. Au total 217 espèces de radiolaires ont été identifiées, appartenant à 101 genres et 42 familles (voir une sélection, Fig. 4).

### 5.1. Âges

Les âges obtenus s'étalent du Pliensbachien au Turonien. Nous avons choisi de ne fournir ici que le contenu des deux âges extrêmes : ech.85F652 et ech. 85F372 (Fig. 5).

Les coupes sont toutes très plissées. Il a donc été impossible d'effectuer une biozonation locale. Pour chaque coupe nous n'avons retenu, en bilan, que les âges des niveaux les plus anciens et les plus récents. Ces âges s'accordent bien avec ceux déjà connus plus au sud. L'âge sommital est le même (Turonien), alors que l'âge le plus ancien était daté du Bajocien inférieur dans la série de Pichakun ; il est ici du Pliensbachien inférieur.

Des niveaux de calcaires avaient été rapportés au Trias par Braud (1987) sur la foi de *Galeanella* « analogues à celles décrites par Brönnimann et al. (1973) dans le Trias supérieur ». En dépit de nombreuses lames minces réalisées, ces organismes n'ont pas pu être reconnus. On ne peut donc exclure que des niveaux du Trias existent, d'autant plus que des jaspes à radiolaires du Trias ont été datés par les radiolaires plus au sud dans les sillons d'Hawasina (De Wever et al., 1988a, 1990a), et plus vers le nord-ouest, dans celui du Lagonegro (Italie [De Wever et Miconnet, 1985b ; De Wever et al., 1990b]).

Le Jurassique moyen a été daté dans les parties occidentale, centrale et orientale du bassin de Kermanshah ; partout y existent des faciès siliceux. Les âges les plus récents, fournis par les radiolaires ont été obtenus dans la partie centrale, là où les faciès siliceux semblent les plus abondants.

Afin d'estimer la proportion relative des faciès siliceux et calcaires dans ces différentes parties, nous avons trouvé prudent de ne considérer que les parties de coupes où les niveaux nous semblaient les plus continus. Les épaisseurs et âge correspondants ont été reportés sur la Fig. 3.

Les coupes contiennent des calcaires cristallisés, des shales et des jaspes en proportion variable. Il ressort de l'analyse que la proportion de calcaire est plus élevée à l'ouest est à l'est. Le centre est plus homogène et constitué essentiellement de silice. Ce fait s'explique facilement, si l'on admet que les deux bordures du sillon radiolaritique, moins profondes, permettaient le dépôt de sédiments calcaires. On notera d'ailleurs que ceux-ci sont constitués en

large proportion de microbrèches qui correspondent donc probablement à des résédimentation lors d'instabilités des bordures.

## Remerciements

Ce travail é été possible grâce au programme MEBE animé par Eric Barrier et à la collaboration menée avec le service géologique d'Iran, notamment en la personne de monsieur Abdullah Saïdi. Lors des études de terrain, nous avons bénéficié du soutien logistique du service géologique d'Iran. Les analyses à Paris ont pu être effectuées grâce au soutien du ministère des affaires étrangères français qui a doté d'une bourse le séjour français de l'un des auteurs (FG). Le travail sur les radiolaires a beaucoup profité des échanges que nous avons pu avoir avec Mme Spela Gorican, directrice de l'Institut de paléontologie de Ljubljana (Slovénie) et du professeur Luis O'Dogherty lors de son séjour et pour leurs revues du manuscrit. L'ensemble du travail a été mené dans le cadre de l'équipe de recherche UMR 7207 CR2P « Centre de recherche sur la paléobiodiversité et les paléoenvironnements » au Muséum national d'histoire naturelle.

## Références

- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics* 229, 211–238.
- Alavi, M., 2004. Regional Stratigraphy of the Zagros Fold thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *Am. J. Sci.* 304, 1–20.
- Baumgartner, P.O., O'Dogherty, L., Gorican, S., Urquhart, E., Pillveut, A., De Wever, P., 1995. Middle Jurassic to Lower Cretaceous Radiolaria of Tethys: occurrences, Systematics Biochronology. *Mémoires de Géologie (Lausanne)*, 1172.
- Bechennec, F., Le Metour, J., Rabu, D., Bourdillon-de-Grissac, C., De Wever, P., Beurrier, M., Villey, M., 1990. The Hawasina Nappes: stratigraphy, palaeogeography and structural evolution of a fragment of the south-Tethyan passive continental margin. *The Geology and Tectonics of the Oman region*. In: Robertson, A.H.F. et al. (Eds.), Geological Soc. London 49, 213–223.
- Blechschimidt, I., Dumitrica, P., Matter, A., Krystyn, L., Peters, T., 2004. Stratigraphic architecture of the northern continental margin-mesozoic Hamrat duru group Hawasina complex, Oman. *Georabia*, vol.9, n° 2, 81–132.
- Braud, J., 1987. La suture du Zagros au niveau de Kermanshah (Kurdistan Iranien): reconstitution paléogéographique, évolution géodynamique, magmatique et structurale. In: Thèse d'État. Géodiffusion, 5, Univ. Orsay, Mem, 489 p.
- Brönimann, P., Cadet, J.P., Ricou, L.E., Zaninetti, L., 1973. Révision morphologique et émendation du genre triasique *Galeanella* Kristan-Tollman (foraminifère) et description de *Galeanella panticae*, n.sp. (Dinarides yougoslaves et Zagros Iran). *Verh. Geol. B. A. Wien*, Heft 3, 411–435.
- Dercourt, J., Ricou, L.E., Vrielynck, B., 1993. Atlas Tethys Paléoenvironnemental maps. Gauthier Villars, 307.
- De Wever, P., 1984. Triassic radiolarians from the Darno area (Hungary). *Acta Geologica Hungarica* 27 (3–4), 295–306.
- De Wever, P., 1987. Radiolarites rubanées et variations de l'orbite terrestre. *Bull. Soc. géol. France* 4 (8 (III)), 957–960.
- De Wever, P., 1997. Radiolarites mésozoïques ; des idées reçues aux idées acquises. *Geobios*, M. S 20, 207–219.
- De Wever, P., Caby, R., 1981. Datation de la base des schistes lustrés postophiolitiques par des radiolaires (Oxfordien supérieur – Kimméridgien moyen) dans les Alpes Cottiennes (Saint-Véran, France). *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II* 292, 467–472.
- De Wever, P., Cordey, F., 1986. Datation par les Radiolaires de la formation des radiolarites s.s. de la série du Pinde-Olonos (Grèce): Bajocien (?) – Tithonique. *Marine Micropaleontology*, 11. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, pp. 113–127.
- De Wever, P., Dercourt, J., 1985. Les Radiolaires triasico-jurassiques marqueurs stratigraphiques et paléogéographiques dans les chaînes alpines périméditerranéennes : une revue. *Bull. Soc. géol. France* 5 (8 (I)), 653–662.
- De Wever, P., Miconnet, P., 1985. Datations directes des radiolarites du bassin du Lagonegro (Lucanie Italie méridionale): implications et conséquences. *Revista Española de Micropaleontologia*, vol. XVII, num 3, 373–402.
- De Wever, P., Origlia-Devos, I., 1982a. Datations nouvelles par les Radiolaires de la série des Radiolaires s.l. du Pinde-Olonos, (Grèce). *C. R. Acad. Sc. Paris, Ser. II* 294, p.399–404.
- De Wever, P., Origlia-Devos, I., 1982b. Datation par les Radiolaires des niveaux siliceux du Lias de la série du Pinde-Olonos (Formation de Drimos, Péloponnèse et Grèce continentale). *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II* 294, 1191–1198.
- De Wever, P., Azema, J., Fourcade, E., 1994. Radiolaires et Radiolarites, production primaire, diagenèse et paléogéographie. *Bull. Centres rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine*, Pau 18, 1–63.
- De Wever, P., Baumgartner, P.O., Polino, R., 1987a. Précision sur les datations de la base de Schistes Lustrés postophiolitiques dans les Alpes Cottiennes. *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II* 305, 487–491.
- De Wever, P., Bourdillon-de-Grissac, C., Bechennec, F., 1988a. Permian age from radiolarites of the Hawasina nappes, Oman Mountains. *Geology*. Boulder 16, 912–914.
- De Wever, P., Bourdillon-de-Grissac, C., Bechennec, F., 1988b. Découverte de radiolarites permienues au bord sud de la Téthys (nappes d'Hawasina, Sultanat d'Oman). *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II* 307, 1383–1388.
- De Wever, P., Bourdillon-de-Grissac, C., Bechennec, F., 1990a. Permian to Cretaceous radiolarian biostratigraphic data from the Hawasina Complex, Oman Mountains. *The Geology and Tectonics of the Oman Region*. In: Robertson, A.H.F., Searle, M.P., Ries, A. (Eds.), Geological Society Special Publication, 49, pp. 225–238.
- De Wever, P., Bourdillon-de-Grissac, C., Beurrier, M., 1988c. Radiolaires sénoniens de la Nappe de Samail (Oman). *Rev. Micropaléontol.*, Paris 31 (3), 166–177.
- De Wever, P., Bourgeois, J., Caulet, J.P., Fourtanier, E., Barron, J., Dumitrica, P., 1995. Stratigraphic significance of siliceous microfossils collected during NAUTIPERC dives (off Peru, 5°–6°S). *Marine Micropaleontology* 24, 287–305.
- De Wever, P., Danelian, T., Durand-Delga, M., Cordey, F., Kito, N., 1987b. Datations des radiolarites post-ophiolitiques de Corse alpine à l'aide des Radiolaires. *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II* 305, 893–900.
- De Wever, P., Duee, G., El Kadiri, K., 1985. Les séries stratigraphiques des klipptes de Chrafate (Rif septentrional, Maroc) témoins d'une marge continentale subsidente au cours du Jurassique-Crétacé. *Bull. Soc. géol. France* 3 (8 (I)), 363–379.
- De Wever, P., Dumitrica, P., Caulet, J.P., Nigrini, C., Caridroit, M., 2001. Radiolarians in the sedimentary record. *Gordon and Breach Science Publ.* 533.
- De Wever, P., Martini, R., Zaninetti, L., 1990b. Datation paléontologiques des radiolarites du Lagonegro (Formation du Monte Facito, Italie méridionale). Individualisation dès le Trias moyen de bassins pélagiques en Téthys occidentale. *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II* 310, 583–589.
- De Wever, P., Ricou, L.-E., Fourcade, E., 1986. La fin brutale de l'optimum radiolaritique au Jurassique terminal : l'effet de la circulation océanique. *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II* 302 (9), 665–671.
- Ghasemi, A., Talbot, C.J., 2006. A new tectonic scenario for the Sanadja-Sirjan Zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences* 26, 683–693.
- Glennie, K.W., Boeuf, M.G.A., Hughes-Clarke, M.W., Moody-Stuart, M., Pilaar, W.F.H., Reinhardt, B.M., 1973. Late Cretaceous nappes in Oman Mountains and their geologic evolution. *Am. Assoc. Petr. Bull.* 57 (1), 5–27.
- Gorican, S., 1994. Jurassic and Cretaceous radiolarian biostratigraphy and sedimentary evolution of the Budva Zone (Dinarides Montenegro). *Mémoires de Géologie (Lausanne)* 18, 177.
- Gorican, S., Carter, E.S., Dumitrica, P., AWhalen, P., SHori, R., De Wever, P., O'Dogherty, L., Matsuoka, A., Guex, J., 2006. Catalogue and systematics of Pliensbachian, Toarcian and Aalenian radiolarian genera and species. *ZALOBZA ZRC*, 446.
- Gorican, S., Robin, C., Guillocheau, F., Razin, P., Mosaffa, R.H., 2007. Age of radiolarian cherts in the Pichakun basin (South-east Zagros Range, Iran). *International symposium of Middle East Basins Evolution*, 2, Abst. C49.
- Jud, R., 1994. Biochronology and systematics of Early Cretaceous Radiolaria of the western Tethys. *Mémoires de Géologie (Lausanne)* 19, 148.
- Keshani, F., 1997. Biostratigraphy studies of Radiolaria in the Neyriz area, Thèse. Islamic Azad University, 239.
- Marcoux, J., Ricou, L.-E., 1979. Classification des ophiolites et des radiolarites alpinoméditerranéennes d'après leur contexte paléogéographique et structural. Implications sur leur signification géodynamique. *Bull. Soc. géol. France* 7 (XXI), 655–658.

- O'Dogherty, L., 1994. Biochronology and paleontology of Mid-Cretaceous Radiolarians from Northern Apennines (Italy) and Betic Cordillera (Spain). *Mémoires de Géologie* (Lausanne) 21, 413.
- Ricou, L.E., 1968. Sur la mise en place au Crétacé supérieur d'importantes nappes à radiolarites et ophiolites dans les monts Zagros (Iran). *C.R. Acad. Sci. Paris Ser. D* 267, 2272–2275.
- Ricou, L.-E., 1974. L'étude géologique de la région de Neyriz (Zagros iranien) et l'évolution structurale des Zagrides. Thèse d'état. Université Paris-Sud Orsay, 321.
- Ricou, L.-E., Marcoux, J., 1980. Organisation générale et rôle structural des radiolarites et ophiolites le long du système alpino-méditerranéen. *Bull. Soc. geol. France* 1 (7 (22)), 1–14.
- Ricou, L.E., Braud, J., Brunn, J.H., 1977. Le Zagros. *Mém. Hors série Soc. geol. France* 8.
- Sheikholeslami, M.R., Piqué, A., Mobayen, P., Sabzehei, M., Bellon, H., Hashem Emami, M., 2008. Tectono-metamorphic evolution of the Neyriz metamorphic complex, Quri-Kore-Sefid area (Sanandaj-Sirjan Zone SW Iran). *Journal of Asian Earth Sciences* 31, 504–521.
- Steinmann, G., 1905. Geologische Beobachtungen in den Algen in den Alpen 11. Die Schardt'sche Überfaltungstheorie und die geologische Bedeutung der Tiefseeabsätze und der ophiolitischen Massengesteine. *Ber. natf. Ges.* 16, 18–67.