

The Abiod at Ellès (Tunisia): stratigraphies, Campanian-Maastrichtian boundary, correlation

[The Abiod Formation at Ellès (Tunisia):
tripartite lithology, biohorizons based on globotruncanids and ammonites,
duration, location of Campanian-Maastrichtian boundary,
correlation with Kalaat Senan and the Tercis (France) stratotype]

Francis ROBASZYNSKI¹

Moncef MZOUGHİ²

Abstract: In central Tunisia near the village of Ellès is Wadi Ed Dam. There the Abiod Formation, underlain by the Kef marls and capped by the El Haria marls, crops out in an almost uninterrupted exposure about 286 m thick. In view of its possible use as a regional litho- and bio- stratigraphic reference section for the southern border of the Tunisian trough it is examined in detail here. Fossils studied include foraminifera (115 samples representing 6 micropaleontologic zones, see chart) and ammonites. The biohorizons established are based on the first (FO) or last occurrence (LO) of certain species of planktonic foraminifers in addition to the FO of already established foraminiferal zonal markers. Ammonite markers found include both the FO and LO of some forms, or just one or the other.

The location of the Campanian-Maastrichtian (Cp-Ma) boundary time line at Ellès is established by comparison with that determined at Kalaat-Senan and with that of the international stratotype of Tercis (France), ratified by the International Union of Geological Sciences.

At Kalaat-Senan the Cp-Ma boundary is set at the lower third of the upper indurated limestone bar of the Abiod Formation - the Ncham Member. Its location at Kalaat-Senan is based on the upper limit of occurrence of *Nostoceras (Nostoceras) hyatti* and *Pseudokossmaticeras brandti* together with the FO of *Nostoceras magdadiae*, a Maastrichtian ammonite. At Ellès several of these same markers are present, along with the respective planktonic foraminiferal zones.

The length in years of some lithologic units and paleontologic zones in the Upper Cretaceous succession of wadi Ed Dam was calculated using cyclostratigraphy. The Abiod Formation represents 13.2 Ma, the *Radotruncana calcarata* Zone 0.79 Ma, and the *Nostoceras (Bostrychoceras) polyplacum* Zone 0.97 Ma. A proposed subdivision of the Upper Campanian is recommended at the base of the *Bostrychoceras* Zone.

LI *et alii*'s 1999 proposal for fixing the location of the Cp-Ma boundary at the top of a limestone bed in the El Haria marls is reviewed.

Key Words: Campanian-Maastrichtian; Abiod Formation; Central Tunisia; Ellès; Tercis; Kalaat Senan; globotruncanids; ammonites.

Citation: ROBASZYNSKI F. & MZOUGHİ M. (2010).- The Abiod at Ellès (Tunisia): stratigraphies, Campanian-Maastrichtian boundary, correlation [L'Abiod d'Ellès (Tunisie) : stratigraphies, limite Campanien-Maastrichtien et corrélation].- Carnets de Géologie / Notebooks on Geology, Brest, Article 2010/04 (CG2010_A04)

Résumé : L'Abiod d'Ellès (Tunisie) : stratigraphies, limite Campanien-Maastrichtien et corrélation.- En Tunisie centre-nord, près d'Ellès, l'oued Ed Dam expose un enregistrement sédimentaire quasi continu de la Formation Abiod encadrée par la Formation Kef au-dessous et la Formation El Haria au-dessus. Cette Formation Abiod, tripartite, a été étudiée pour servir de référence litho-biostratigraphique régionale sur la bordure sud-est du Sillon tunisien où elle atteint près de 286 m. Le contenu en foraminifères planctoniques d'une série d'échantillons est reporté sur un tableau de distribution et soutient une division en 6 biozones micropaléontologiques. Les positions des ammonites récoltées sont repérées par rapport à la succession lithologique. Plusieurs biohorizons sont décrits qui correspondent aux premières et dernières présences de foraminifères, par exemple de *Radotruncana calcarata*, et aux émergences des marqueurs de zones comme *Globotruncana ventricosa*, *Gansserina gansseri* et *Contu-*

¹ □ Université de Mons, Faculté Polytechnique, 9 rue de Houdain, 7000 Mons (Belgium)
francis.robaszynski@umons.ac.be

² □ ETAP, Entreprise Tunisienne d'Activités Pétrolières, Laboratoire de Biostratigraphie, Centre de Recherche et de Développement Pétroliers La Chargaia II, Tunis (Tunisia)
mzoughi@etap.com.tn

Manuscript online since August 27, 2010

sotruncana contusa ainsi que les premières et/ou les dernières présences de plusieurs ammonites marqueurs comme *Nostoceras (Bostrychoceras) polyplacum*, *Pseudokossmaticeras brandti* et *Nostoceras (Nostoceras) hyatti*.

L'un des points d'ancrage de la succession stratigraphique étant la limite Campanien-Maastrichtien (Cp-Ma), on définira la position de cette ligne-temps à Ellès par comparaison avec la coupe de Kalaat Senan et celle du stratotype international de Tercis (France) ratifiée par l'Union internationale des sciences géologiques.

À Kalaat Senan, la limite Cp-Ma est placée au tiers inférieur de la barre supérieure de l'Abiod ou Membre Ncham, au sommet de la Zone à *N. (N.) hyatti*, contenant *P. brandti*, ammonites de la partie supérieure du Campanien, et à l'apparition de *Nostoceras magdadiae*, ammonite de la partie inférieure du Maastrichtien. À Ellès, plusieurs de ces marqueurs ont été retrouvés comme aussi les zones de foraminifères planctoniques à *Radotruncana calcarata*, à *Globotruncana falsostuarti*, à *Gansserina gansseri* et à *Contusotruncana contusa*.

En utilisant l'outil cyclostratigraphique, la durée des diverses unités lithologiques et celle de quelques zones paléontologiques sont précisées : la durée totale de dépôt de la Formation Abiod à Ellès est mesurée à 13,2 Ma, celle de la Zone à *R. calcarata* à 0,79 Ma et celle de la Zone à *N. (B.) polyplacum* à 0,97 Ma. Une limitation du Campanien supérieur à la base de la Zone d'ammonite à *N. (Bostrychoceras) polyplacum* est proposée.

La position de la limite Cp-Ma proposée par LI *et alii* en 1999 au sommet d'une série de bancs calcaires dans la Formation El Haria est discutée.

Mots-Clefs : Campanien-Maastrichtien ; Formation Abiod ; Tunisie centrale ; Ellès ; Tercis ; Kalaat Senan ; globotruncanidae ; ammonites.

1. Introduction (F.R.)

In north central Tunisia the Abiod Formation marks its location in the upper portion of the Late Cretaceous very clearly by its effect on the topography: a double line of low hills separated by a slight median depression. This morphology reflects the general tripartite composition of the Formation: a lower bar of indurated white limestone, intermediate turquoise marls and an upper bar again of white limestone. The assemblage is of Campanian-Maastrichtian age and therefore includes the boundary between the two geologic stages. In accordance with changes in criteria during the last century this limit was at first placed near the top of the lower limestone, then at about the middle of the intermediate marls or at the base or at the top of the upper limestone. These fluctuations in position were due to the absence of an international agreement regarding the criteria for the location of the boundary between the stages.

Today, the section at Tercis (Landes, France) contains the international stratotype of the Campanian-Maastrichtian boundary. A number of discrete but confirmatory criteria were involved in the selection of this site and approval of the exact location of the boundary. In September, 1999, they were approved by the Working Group on the Maastrichtian; in June, 2000, they were recommended by the International Subcommittee on Cretaceous Stratigraphy; in December, 2000, they were adopted by the International Commission on Stratigraphy and ratified by the International Union of Geological Sciences in February 2001 (ODIN, 2002).

Using this section for comparison, and employing several biostratigraphic indices, it is now possible to locate more precisely the **Campanian-Maastrichtian boundary** in north central Tunisia. It is in the **lower third of the upper limestone bar of the Abiod Formation**.

This location is well defined in the areas where the Abiod Formation approaches an almost unbroken exposure which is the case for several sections in north central Tunisia (the "Sillon tunisien" "Tunisian trough" of BOLZE *et alii*, 1952). Good examples occur at El Kef (BUROLLET, 1956) where, as macrofossils are relatively rare, the distribution of microfossils, in particular that of the planktonic foraminifers was emphasized (DALBIEZ, 1955, 1956). They served also at Kalaat Senan where the ammonites seem to be more numerous and planktonic foraminifers too are abundant (ROBASZYSKI *et alii*, 2000).

In localities other than those of north central Tunisia the Abiod Formation presents itself less commonly in its "classic" tripartite aspect: sometimes the lower bar is less well developed, sometimes the upper bar is less prominent, and in other localities the formation is an almost monolithic entity, as is the case in certain sections north of Kairouan and in wells in the plain southeast of Kairouan. In order to date more precisely these different lithologies of the Abiod Formation, a section at the southeast edge of the "Tunisian trough" in which sedimentation appears to have been continuous was studied first. It is the Ellès section, about 45 km southeast of El Kef. There, as at Kalaat Senan the beds of limestone and marly limestone contain macrofossils, among them ammonites, along with planktonic foraminifers visible in thin sections, while the marls yield profuse numbers of isolated planktonic foraminifers. The vertical distribution of the planktonic species and the zonation derived therefrom constitutes the basis for stratigraphic attributions in successions where the thickness of the Abiod Formation is greatly reduced, either by lacunae or by the development of a uniformity in lithology caused by an increase in the content of limestones. Later, more precise attributions will make possible isochronic paleo

geographic maps that may serve to find lithologic or structural events favorable to the entrapment of fluids such as hydrocarbons.

In what follows, these points are taken up successively:

- the lithology and macropaleontologic content of the Abiod Formation at Ellès, especially that of the ammonites;
- the content of species of planktonic foraminifers, their vertical distribution, the zonation developed therefrom, along with the time lines defined by the first and/or the last occurrences of marker species;
- the location of the time line provided by the Campanian-Maastrichtian boundary as it is defined at the Tercis stratotype, at Kalaat Senan and at Ellès along with several micro- and macropaleontologic biohorizons;
- the duration of the diverse lithologic and biostratigraphic entities using the cyclostratigraphic tool as it was conceived by HENNEBERT *et alii* (2009);
- a discussion of the location of the *Radotruncana calcarata* (CUSHMAN) Zone in the Abiod Formation and the placement of the Campanian-Maastrichtian boundary as it was sited at Ellès in the articles by LI and KELLER (1998) and by LI *et alii* (1999).

In a statement of conclusions, the value of several macro- and micropaleontologic horizons will be emphasized for they constitute time lines usable for improving the correspondence of outcrop sections at least in central Tunisia as well as their help in the correlation of petroleum research wells.

2. Lithostratigraphy of that part of the Campanian-Maastrichtian in the Ellès section and position of some ammonites (F.R.)

2.1. Previous work

Rakia SAÏD (now Mme BENZARTI-SAÏD) studied the Cretaceous-Paleogene boundary of the Ellès section and presented the findings in her thesis of 1978. She analyzed the limestone-marl alternances at the top of the upper bar of the Abiod Formation along with the marls at the base of the El Haria Formation. She noted the presence of planktonic foraminifera near the top of the upper bar (the upper limit of our Ncham Member) and in the alternances above (our Gouss Member) among which we retain the species "*Globotruncana stuarti*, *falsostuarti*, *gagnebini* (= *aegyptiaca*), *arca*, *contusa-patelliformis*, *fornicata*, *linneiana*, *ventricosa* and *Rugoglobigerina hexacamerata*" the association characterizing her "Lower Maastrichtian" (an interpretation still valid today, at least in part) and, higher, in her "Upper Maastrichtian" in addition to these species, the presence of "*Globotruncana*

gansseri, *G. contusa-galeoidis*, *Globotruncanella havanensis* and *Trinitella scotti* and then *Abathomphalus mayaroensis*". Note that no "*Globotruncana calcarata*" is reported in the El Haria Formation marls, a point that will be useful later in our § 4. 6

In the explanation accompanying the Ebba Ksour 1: 50,000 geologic sheet, LEHOTSKY (1979) gives a succinct description of a good outcrop of the Abiod Formation in the sector called El Magoula (or El Mazoula, his page 11). It is undoubtedly the succession that we studied in detail. LEHOTSKY considers it to be representative, and capable of "serving as an example" of the Abiod Formation in the northeastern portion of the sheet. For him, the thickness of the entire Formation is 235 m, while our measurement is in the neighborhood of 286 m. The author had clearly recognized its tripartite aspect and noted the presence of ammonites of the genus *Bostrychoceras* near the top of the lower bar and as well the presence of "*Globotruncana calcarata*" in the "membre marneux moyen" (middle marly member). The chronostratigraphic interpretation is based on the micropaleontologic interpretations of A.-L. MAAMOURI and P. BESÈME of the Tunisian Geologic Survey. They called the lower bar "Upper Campanian", the "membre marneux moyen" "Upper Campanian (upper part)" and the upper bar "Lower Maastrichtian". This evaluation, as will be seen further on, agrees in part with our interpretation, the difference being that we put the Campanian-Maastrichtian boundary well within the upper bar, where it is located on the basis of ammonite collections.

The more recent publications of LI & KELLER (1998) and of LI *et alii* (1999) must also be mentioned. The authors state that in the Ellès section -exactly the same one as that discussed below- the upper limit of the "*Globotruncanella calcarata*" Zone (for them the Campanian-Maastrichtian boundary) is near the top of the "limestones" that must be the upper bar of the Abiod. Later they put the boundary in "grey marly shales" with "limestone layers", that is to say probably in the El Haria marls. Both are contestable as we shall discuss farther on.

2.2. The lithologic succession and the macrofaunas of the Abiod Formation at Ellès

About 2 km west of the village of Ellès, wadi Ed Dam offers an almost continuous section of the Abiod Formation. It rests on the Kef marls Formation and is capped by the El Haria marls, that are also completely exposed (Fig. 1). The section was measured using a Jacob's staff 1.50 m long with a sighting device capable of measuring thicknesses to within few per cent. Marls and limestones were sampled regularly for the collection of isolated foraminifera or the preparation of thin sections. In all 115 samples were collected from the 359 m of partial measured sections of which 286 m represent the Abiod Formation. During and after the lithologic

examination of the succession there was an active search for macrofossils and several of them that are particularly significant will be reported on.

Remarks. Among the macrofossils we shall emphasize particularly the ammonites we collected during lithologic studies. At certain levels they are not rare at Ellès. They will provide, in part, support for the establishment of correlations with the Kalaat Senan section which is some 60 km southwest of Ellès. However, the Ellès section has been the source of collections of ammonites much more important and more systematic than ours. They were made by Stijn GOOLAERTS (KLU, Leuven, Belgium) for his thesis on the Campanian-Maastrichtian ammonites of Tunisia and will have numerous plates illustrating the species found (unpublished, 2010).

In addition, some inoceramids, also collected during field work, were submitted to the late Annie DHONDT (Royal Institute of Natural Sciences of Brussels). The several species cited here have determinations that she told us about before her disappearance on 1 September 2006.

Other macrofossils were collected during field work (some echinoids, bivalve and brachiopod fragments) but they are sparse in number and their poor preservation has resulted in their not having been submitted to specialists for examination.

The lithologic description has benefited from previous work by ROBASYNSKI *et alii* (2000) in the Kalaat Senan region where the Abiod Formation was subdivided into seven members, from top to bottom:

Formations	Members	Previous names
El Haria Fm.: marls	Gouss Mb.: upper alternances Ncham Mb.: limestone bar Gourbeuj Mb.: alternances	upper bar
Abiod Formation	Akhdar Mb.: intermediate marls Mahdi Mb.: alternances Haraoua Mb.: limestone bar Assila Mb.: basal alternances	middle marls lower bar
Kef Fm.: marls		

In the literature the "lower bar" corresponds to the Assila and Haraoua members to which the Mahdi Member is often attached, while the "upper bar" corresponds to the Ncham and Gouss members (often with the Gourbeuj Member). According to the authors the "middle marls" refers to the Akhdar Member (and sometimes, but rarely or in part to the alternances of the Mahdi and Gourbeuj members). Seven partial sections have been described and designated ELA to ELG. The first three do not have any beds in common whereas the four others do, so on the ground they permit easy matching, so establishing continuity in the lithologic succession is not difficult (Fig. 2).

Kef Formation (named by FOURNIÉ, 1978). Section ELA (Fig. 2): marls with limestone beds. Seen for 9 m on the left bank of wadi Ed Dam. They are greenish-gray marls, almost flat-lying, with a 60 cm limestone at the base and farther up several beds of marly limestone ranging from 10 to 30 cm in thickness.

Abiod Formation (named by BUROLLET *et alii*, 1954). Partial sections ELB, ELC, ELD, ELE, ELF and a part of ELG (Fig. 2): two bars of lime-

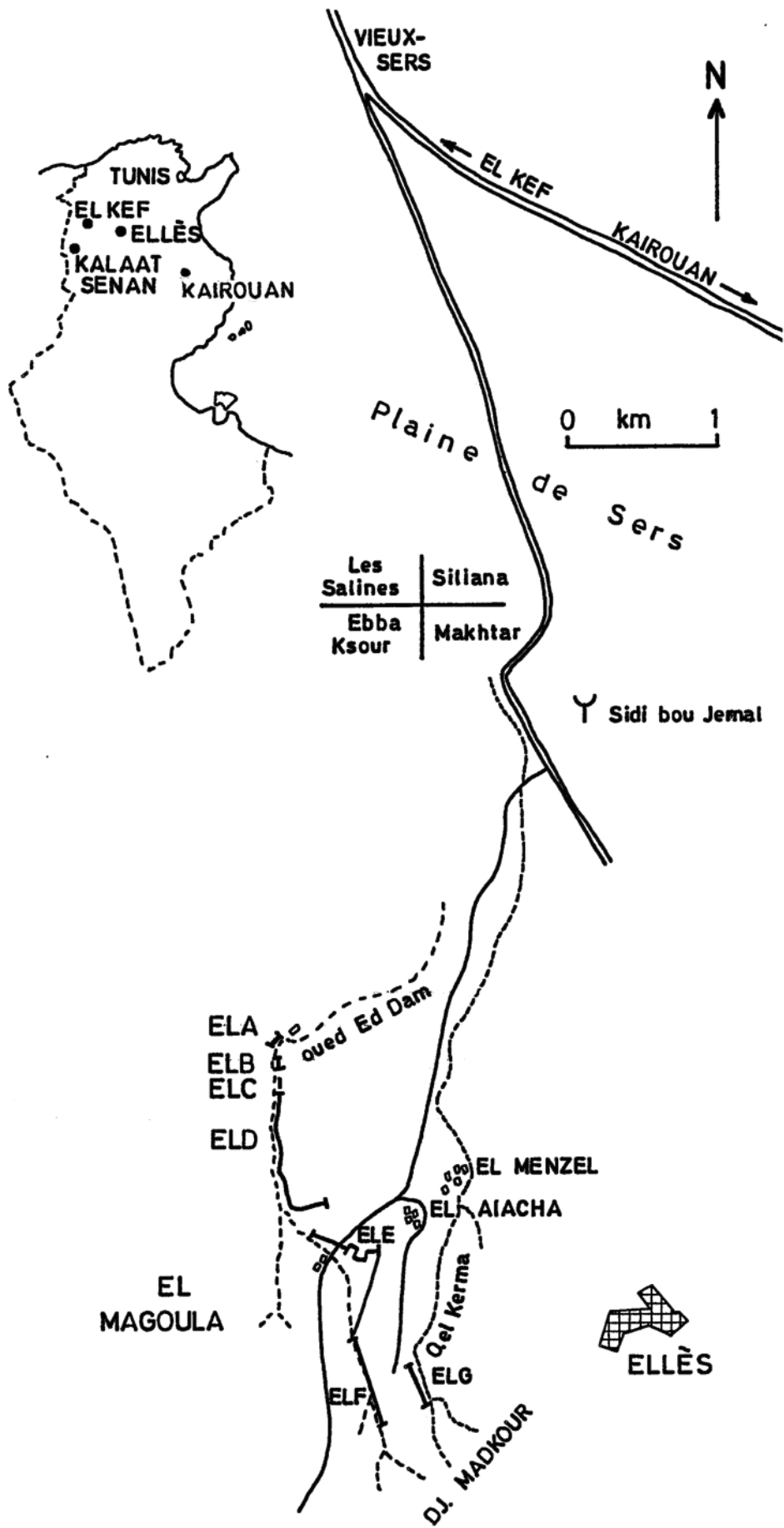
stone bounded at the base and top by alternances framing intermediate marls. ROBASYNSKI *et alii* (2000) distinguish several members.

Assila Member (sections ELB and ELC): basal alternances, about 13 m accessible, probably a total of 17 to 20 m.

These are the first limestone beds visible at the downstream end of wadi Ed Dam, above the Kef marls. Stratigraphic continuity is not assured visually between the three partial sections ELA, ELB and ELC. However, as the dip is very low, it may be assumed (if the existence of important faulting is excluded because the limestones are not fractured more than is normal and the succession is not incoherent) that the interruptions in visibility do not represent more than a few meters. The limestones grayish-white, well-indurated with a conchoidal fracture are interbedded with marly limestones, their thicknesses measured in decimeters.

► **Figure 1:** Geographic location of the Ellès section of the Abiod Formation (F.R.).

Figure 1: Situation géographique de la coupe de la Formation Abiod d'Ellès (F.R.).



Haraoua Member (section ELD, from 0 to 70 m): the lower limestone bar, 70 m.

Section ELD in wadi Ed Dam starts at a cross-road. From there the section is almost unbroken until its contact with the El Haria Formation. Southeast dip increases regularly to reach about 10°, and locally a little more up to 12°.

In its topographic expression the Haraoua Member is a belt of hills made up of several tens of meters of white limestones in beds 20 to 90 cm thick, more or less amalgamated and with stratification commonly slightly undulant. These limestones are separated by interbeds of marly limestone 10 to 20-30 cm thick. The limestones, grayish white to white, are compact with a conchoidal fracture. In thin section foraminifers are numerous in a wackestone matrix. Impressions of inoceramids from 10 to 20 cm in diameter and trace fossils of the *Zoophycos* group are not rare.

Mahdi Member (section ELD, from 70 to 87 m): 17 meters of alternances

The thick limestones of the Haraoua Member grade progressively down to 20 and 30 cm, already a little more marly and grayer, alternating with beds of gray marly limestone 0 to 30 cm thick, generally altered and leached. The first occurrence of the ammonite *Nostoceras (Bostrychoceras) polyplacum* ROEMER was found in ELD 76 and two levels were recognized and followed laterally, in particular the one at 79.4 m.

Akhdar Member (section ELE from 22 to 99 m): turquoise greenish blue marls, 77 m.

The argillaceous content of the marl interbeds increases progressively, along with their thickness which attains 50 to 80 cm between the limestones that become more marly too. Several levels yield more ammonite fragments *N. (B.) polyplacum*, *Nostoceras (Didymoceras)* sp. and *Pachydiscus (P.)* sp. found between ELE 26.80 and ELE 45.00 with very numerous examples at level ELE 32.70, which is near a paved road. The last occurrence of *N. (B.) polyplacum* is at about ELE 45.00.

From 40 to 80 m the marl beds increase in thickness, up to several meters. Above 80 m, limestone beds are more numerous. Several ammonites, among them *Pachydiscus* sp., were still present at ELE 80.50 and 81.00. Note that the planktonic foraminifer *Radotruncana calcarata* is present at least between ELE 43.50 and 73.50, that is more than 30 m at least.

Gourbeuj Member (section ELF from 21 to 30m): 9 m of alternances.

The succession begins with a bed of white compact limestone 65 cm thick, succeeded by 18 or 19 beds of limestone ranging in thickness from 20 to 50 cm separated by interbeds of about 30 cm that decrease in thickness upward to 10 cm and eventually to 5 cm. The wadi Ed

Dam waterfall exposes all of it very clearly. An ammonite fragment of the genus *Pseudokossmaticeras* was collected at the base of the member, another specimen, out of place, was found between ELF 13 and 25. With reservations, another fragment at the base of the Gourbeuj Member, its identification requiring confirmation, appears to be *Nostoceras (Nostoceras)* cf. *hyatti* STEPHENSON (personal communication of Stijn GOOLAERTS, unpublished, 2010).

Ncham Member (ELF section, 30 to 115 m): upper limestone bar.

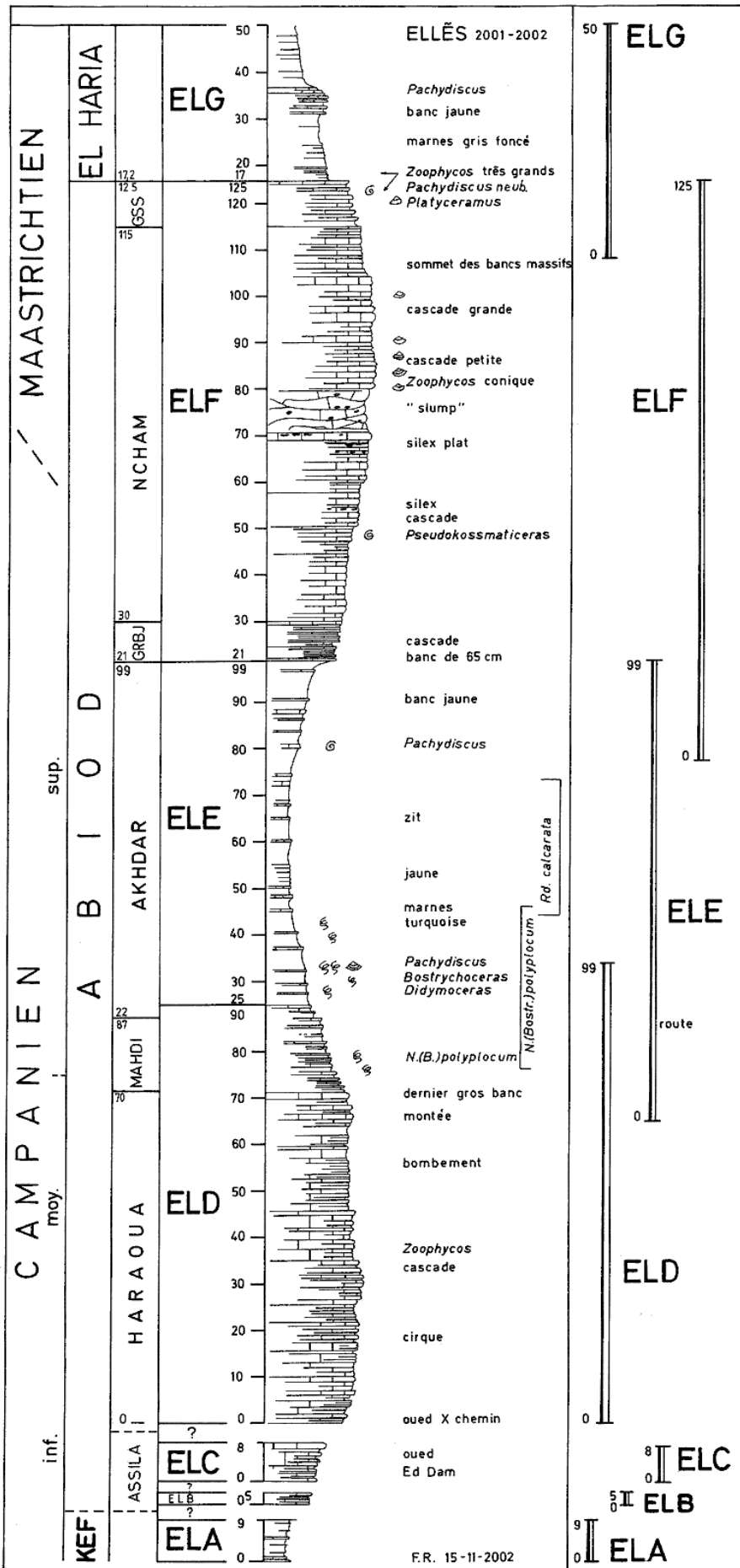
The limestones are of four different types, from bottom to top:

- at the base from 30 to 54 m, about 24 m; the beds commonly range around a half meter in thickness, separated by marly limestones from 5 to 10-15 cm. Two ammonites were found, an impression of *Pseudokossmaticeras brandti* (REDTENBACHER) at ELF 48.50, the other in relief at 48.30, of *Pachydiscus* sp.;
- from 54 to 70 m, some 16 m; the beds of limestone become thicker (1.00 to 1.20 m) and the interbeds are reduced to a few centimeters. In addition, levels with nodules of black flint (yellow after alteration) are present at the 54.00, 66.00 and 70.00 levels and there is a flat bed of flint at 68.40 m;
- from 70 to about 80m, that is over almost 10 m; limestones without parallel stratification that were involved in slumping, without much apparent displacement. These limestones too contain nodules of flint distributed chaotically;
- from 80 to 115 m, some 35 m; massive meter- or more-sized beds of white to grayish white compact limestone with no flints separated by interbeds measured in centimeters. Numerous impressions of large inoceramids (10 to 20 cm) visible (determined by the late Annie DHONDT): *Trochoceras nahoriaensis* (KOCIUBYNSKI), *T. ianjonaensis* (SORNAY), *T. radiosus* (QUAAS) along with a species of smaller size: *Endocostea* cf. *ghadamesensis* (TROEGER & ROEHLICH). Between 90 and 92 m the first ammonite of the species *Pachydiscus neubergicus* (von HAUER) cf. *in* HENNEBERT *et alii* (2009).

In thin sections all of these limestones have a micritic matrix in which numerous planktonic foraminifera and some benthonic forms are preserved in a wackestone type texture along with various other bioclasts.

► **Figure 2:** Synthetic lithologic succession derived from the partial sections of the Abiod Formation at Ellès (F.R.).

Figure 2: Succession lithologique synthétique à partir de coupes partielles de la Formation Abiod à Ellès (F.R.).



40 m, between 43 and 44 m and at 46.80 and 48 m.

To summarize, several **biohorizons** with a **time-line** value are of great importance in making regional or larger scale correlations:

- the levels at which *Nostoceras* (*Bostrychoceras*) *polyplacum* appears and becomes extinct;
- the level of greatest abundance of *Pseudokossmaticeras brandti*;
- the levels at which *Nostoceras* (*Nostoceras*) cf. *hyatti* appears and becomes extinct.

2.3. Cyclostratigraphy and the duration of litho- and biostratigraphic units

A recent publication has shown that the cyclostratigraphic method is a tool worthy of confidence as a measure of the time required for the deposition of a litho- or biostratigraphic unit when the sedimentation was rhythmic, as it is in the Abiod Formation (HENNEBERT *et alii*, 2009). We shall review successively the three entities: upper bar, intermediate marls and lower bar. The time values given are based on fig. 8 in HENNEBERT *et alii* (2009). They are summarized in Table 1 where the T100 column represents the time based on the $\pm 100,000$ years eccentricity cycles and the T20 column the time deduced from precession cycles of $\pm 20,000$ years. Line "66" indicates the most probable position of the Campanian-Maastrichtian boundary and line "76" shows the level at which *N. (Bostrychoceras) polyplacum* appears.

Remark: In Table 1 the values of T100 and T20 restated in their respective columns are taken from a reading of the graphic of Fig. 8 of HENNEBERT *et alii* (2009) and appear with two significant figures after the period. In the 2 columns that follow the mean values $(T100+T20)/2$ and the durations of deposition of the members derived therefrom are produced by a simple calculation which sometimes produces 3 figures after the comma, the last obviously without significance. The last column posts a probable duration of deposition for each member of the Abiod Formation while taking into account the uncertainty between the durations derived from T100 and those from T20.

Upper bar, mean duration in Ma (= million years) $(T100+T20)/2$

Gouss Member (10 m): 0.325 Ma

Ncham Member (85 m): 3.975 Ma

Gourbeuj Member (9 m): 0.475 Ma

That is a total mean duration of 4.775 Ma for the upper limestone bar, which represents a sedimentation rate of uncompact strata of $10400 \text{ cm} \div 4775 \text{ ky} = 2.17 \text{ cm/ky}$

Intermediate marls

Akhdar Member (77 m): 2.40 Ma

This represents rate of sedimentation for uncompact strata of $7700 \text{ cm} \div 2400 \text{ ky} = 3.20 \text{ cm/ky}$

Lower bar

Mahdi Member (17 m): 0.425 Ma

Haraoua Member (70 m): 5.175 Ma

Assila Member ("18" m): 0.425 Ma

(the Assila Member was not taken into account in the measurement of alternances because it is poorly exposed at the bottom of wadi Ed Dam; here we assume that its aspect and its thickness, apparently approximating those of the Mahdi Member, make it likely that its duration too may have been similar). In this way a total mean duration for the deposition of the lower limestone bar of 6.025 Ma may be accepted (whether 5.20 to 6.85 Ma when taking uncertainties into account), so the mean rate of deposition of uncompact sediments of $10500 \text{ cm} \div 6025 \text{ ky} = 1.74 \text{ cm/ky}$

In total, the time required for the deposition of the Abiod Formation, consisting of the lower bar, the intermediate marls and the upper bar is in the neighborhood of 13.2 Ma for 286 m of strata.

Radotruncana calcarata Zone

Again using fig. 8 in HENNEBERT *et alii* (2009) for calculations concerning *calcarata*:

T100: $3.90 - 3.30 = 0.60 \text{ Ma}$

T20: $3.60 - 2.65 = 0.95 \text{ Ma}$

That gives a mean of 0.77 Ma for the minimum duration of the zone.

However, going back to the table of basic calculations (unpublished) that served to construct Fig. 8, T100 is 765 ky long and T20 is 830 ky long, which is in accordance with the measurements based on Fig. 8 as closely as they can be read and give a mean value of 0.79 Ma which will be used here.

Nostoceras (Bostrychoceras) polyplacum Zone

Many specimens of the *polyplacum* group were collected in the partial sections ELD and ELE with a range from ELD 76 to ELE 45. Using fig. 8 or better the basic calculations table, T100 is 988 ky and T20 is 964 ky, for a mean of 976 ky or 0.97 Ma.

3. The planktonic foraminifera (M.M. & F.R.)

In sections ELA to ELG 115 samples were taken in 395 m of partial sections, that when synthesized totaled 323 m of which 281 m of the Abiod Formation were sampled. Knowing that there are some gaps in visibility at the base, the total thickness of the Abiod Formation can be estimated to be about 286 m. 82 of the samples were sufficiently marly to be washed, preceded by wetting in hydrogen peroxide to insure that the microfossils were freed. The other samples of limestone or marly limestones were thin-sectioned or treated with acetic acid. If all the information obtained from the overlapping partial sections is grouped, the isolated specimens and those in thin section are dis-

tributed over 86 sampling levels all indexed on Fig. 3.

The determination of the whole specimens were made by M.M. and F.R. using the figures and the criteria in the Atlas of Upper Cretaceous Planktonic Foraminifera (ROBASZYNSKI *et alii*, 1984). The preparation of specimens for scanning by the ETAP electronic microscope in Tunis was done by F.R.

3.1. Stratigraphic range

In the entire section 28 main taxa were indexed of which 6 were very rare or of uncertain determination. Certain species are distributed throughout the whole of the succession like *Globotruncanita stuartiformis* (DALBIEZ), *Globotruncana orientalis* EL NAGGAR, *Globotruncana arca* (CUSHMAN), *Globotruncana linneiana* (d'ORBIGNY), *Globotruncana bulloides* VOGLER, *Contusotruncana fornicata* (PLUMMER), while others have a sharply defined range and so constitute important stratigraphic points of reference (Fig. 3). Among these marker species may be cited:

- *Globotruncanita elevata* (BROTZEN): abundant in the Kef marls, it is well represented in the lower bar (in thin section) and becomes extinct at the start of the Akhdar intermediate marls.

- *Contusotruncana patelliformis* (GANDOLFI): the first specimens derived from a differentiation of *C. fornicata* appear at the transition from the Kef marls to the Abiod limestones and the last representatives occur near the top of the Akhdar marls. Nevertheless, the "patelliformis" morphology must certainly continue upward into the Ncham limestones but in thin section a good specific determination requires a strictly axial section which is rare.

- *Globotruncana ventricosa* WHITE: the first forms close to this species are already present in the Haraoua bar, but its development is very clear starting in the Mahdi alternances, and continuing throughout the Akhdar marls to the top of the section.

- *Globotruncana aegyptiaca* NAKKADY, *Radotruncana subspinosa* (PESSAGNO), *Globotruncanita pettersi* (GANDOLFI) and *Globotruncana falsostuarti* SIGAL: these taxa appear in the Mahdi alternances or at the base of the Akhdar marls then continue development to the top of the section.

- *Radotruncana calcarata* (CUSHMAN): the total range of the species in the Akhdar marls is between ELE 43.50 and 73.70 m, over about 30 m at least. The

species is well and easily recognized because of the presence of tubuliform expansions on the chambers of the last whorl.

- *Globotruncanita angulata* (TILEV), *Gansserina gansseri* (BOLLI) and *Gansserina wiedenmayeri* (GANDOLFI): these species are rare but are present in the upper part of the Akhdar marls, then in the Gourbeuj alternances, the Ncham limestones and higher. The emergence of *G. gansseri* is discussed later at § 4. 2.

- *Archaeoglobotruncana* cf. *kefiana* (SALAJ & MAAMOURI): rare small forms resembling this taxon were noted in the transition from the Akhdar marls to the Gourbeuj alternances but they are fragmentary so a specific determination is uncertain.

- *Globotruncanita stuarti* (de LAPPARENT): at Ellès, the first specimens occur near the base of the upper Ncham bar (but at Kalaat Senan these specimens -although rare- are already present from the Mahdi Member upward).

- *Contusotruncana contusa* (CUSHMAN): some rare specimens referred to this species have been noted in thin sections of the Ncham upper bar and then as isolated specimens in several samples of the El Haria marls. These forms have a rather high spire that brings them close to *C. contusa* or to a very evolved *C. patelliformis* but rather closer to the gamut of *C. contusa*. The part of the section studied does not go high enough in the El Haria marls to reach the levels in which typical *C. contusa* appear, very conical and with a very large number of whorls along with *Abathomphalus mayaroensis* (BOLLI) and *Racemiguembelina fructifera* (EGGER), their existence reported by SAÏD (1978).

Plates 1 to 5 figure the species encountered in the whole of the Ellès section.

3.2. Zonation, biohorizons and time-lines using planktonic foraminifers

Using the first and last occurrences of marker species, a zonation by planktonic foraminifera can be made that is very close to the one proposed by ROBASYNSKI *et alii* (2000) for the Kalaat Senan region.

The abbreviations for zones as defined in the ROBASYNSKI *et alii*, Atlas, 1984.

- IZ = Interval Zone
- PRZ = Partial Range Zone
- TRZ = Total Range Zone

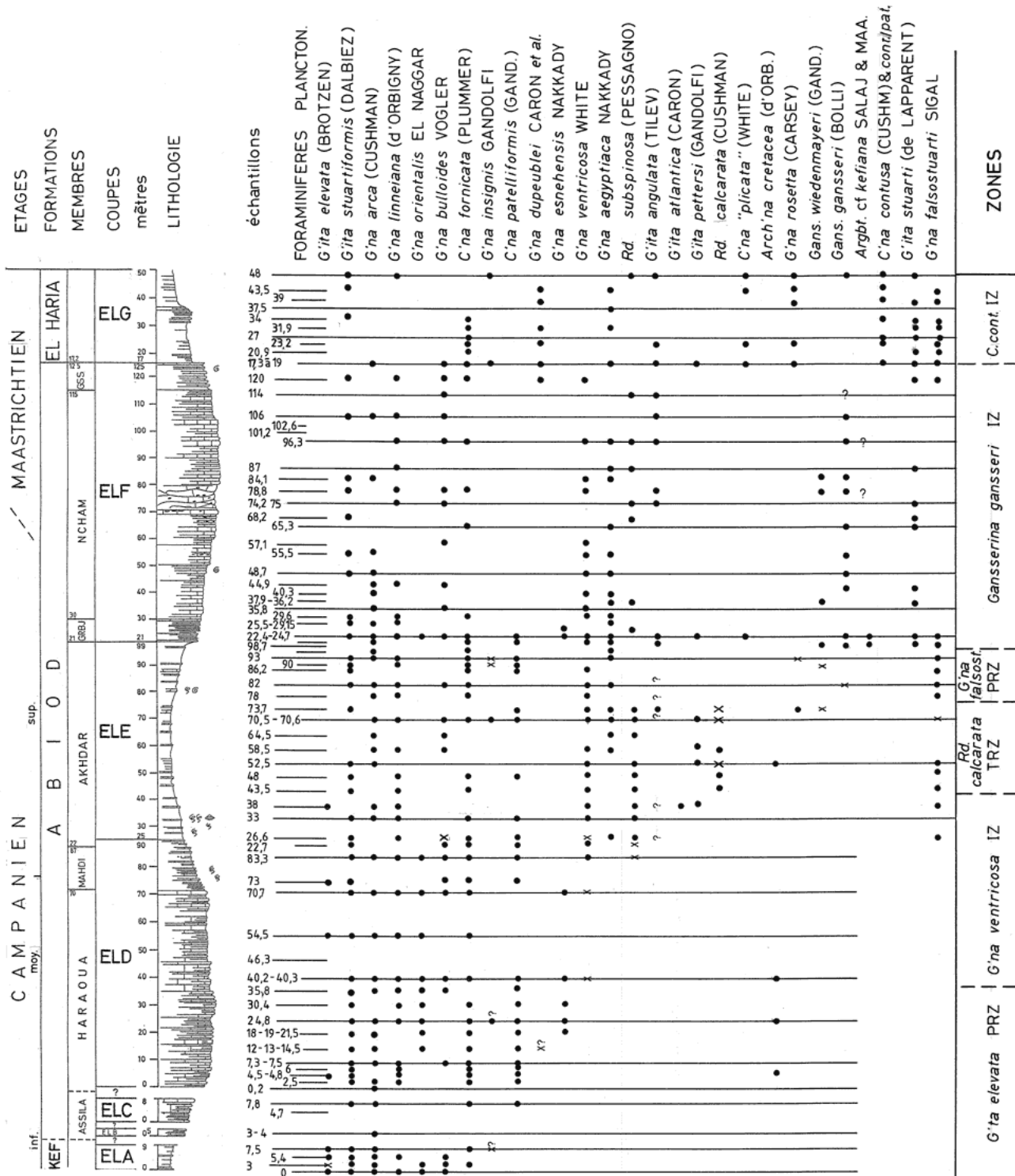


Figure 3: Vertical ranges of the principal planktonic foraminifera of the Ellès section (F.R. & M.M.). Arch'na: *Archaeoglobigerina*; Argbt: *Archaeoglobitrunca*; C'na: *Contusotruncana*; Gans.: *Gansserina*; G'ita: *Globotruncanita*; G'na: *Globotruncana*; Rd.: *Radotruncana*.

Figure 3: Distribution verticale des principaux foraminifères planctoniques de la coupe d'Ellès (F.R. & M.M.). Arch'na : *Archaeoglobigerina* ; Argbt : *Archaeoglobitrunca* ; C'na : *Contusotruncana* ; Gans. : *Gansserina* ; G'ita : *Globotruncanita* ; G'na : *Globotruncana* ; Rd. : *Radotruncana*.

From bottom to top there are thus:

- *Globotruncanita elevata* PRZ: upper limit defined by the beginning of *Globotruncana ventricosa*;

- *Globotruncana ventricosa* IZ: defined as being between the beginning of *G. ventricosa* and that of *R. calcarata*;
- *Radotruncana calcarata* TRZ: defined by the total range of the species;

- *Globotruncana falsostuarti* PRZ: defined as the tract between the end of *R. calcarata* and the appearance of *G. gansseri*;

- *Gansserina gansseri* IZ: defined as being between the appearance of *G. gansseri* at Ellès (in the alternances of the Gourbeuj Member at the base of the Ncham upper bar) and the appearance of *C. contusa*;

- *Contusotruncana contusa* IZ: base defined by the first appearance of the species.

Remark: it must be made clear that in the Kalaat Senan section (ROBASZYNSKI *et alii*, 2000), the first *Globotruncana ventricosa* were already present at the top of the Kef marls, which thus involves a *Globotruncana ventricosa* Zone that extends farther downward.

To summarize, among the biostratigraphic events described above, if the biohorizons with an international value are to be pointed out, **three time-lines** with identical positions in the Ellès and Kalaat Senan sections may be selected:

- the extinction of *Globotruncana elevata* which is more or less coincident with the first occurrence of *Radotruncana calcarata* near the base of the Akhdar marls;

- the extinction of *Radotruncana calcarata* a little above the middle of the Akhdar marls;

- the almost synchronous appearances of *Gansserina gansseri* and *Globotruncana angulata* near the top of the Akhdar marls.

4. The location of the Campanian-Maastrichtian boundary (F.R.)

4.1. History

The location of the Campanian-Maastrichtian boundary (Cp-Ma) in the Abiod Formation has fluctuated considerably in accordance with the views of the successive authors.

Originally for de GROSSOUVRE (1901) working outside of Tunisia, "*Turrilites polyplocus*" is found in the Campanian, but toward the base of his "upper Campanian" because this author did not recognize the existence of the Maastrichtian.

PERVINQUIÈRE (1907) considers that the zone with *Bostrychoceras polyplocus* is in limestones that "correspond to the Upper Campanian beds" but that "several authors place it even in the Maastrichtian".

A little later HAUG (1911) restores the *B. polyplocus* Zone but places it at the base of his "Maestrichtien" (without explaining exactly what criterion he had chosen to support his choice).

In 1941 (p. 270) MARIE is the first to make popular the use of "*Globotruncana calcarata*" as a marker of the "Lower Campanian". Later the

taxon would move up to the terminal portion of the Upper Campanian (CUSHMAN, 1946; KIKOINE, 1945, 1947; DESTOMBES & MARIE, 1947; SIGAL 1952; cf. AUROUZE & de KLASZ, 1954).

In his thesis BUROLLET (1956) took up again the problem of the location of the Cp-Ma boundary, bringing up HAUG's concept (1911: a Zone of *B. polyplocus* at the base of the "Maestrichtien") and that of the micropaleontologists (the Campanian ends with the extinction of "*Globotruncana calcarata*", that is a little above abundant *Bostrychoceras polyplocus*).

The concept of the micropaleontologists ("the last *Globotruncana calcarata* = end of the Campanian") will be adopted by most of the geologists working on North African sections among them DALBIEZ (1955), BUROLLET & SAINFELD (1956), SIGAL (1967, 1977, 1987), SALAJ (1969), LEHOTSKY (1979), BELLIER *et alii* (1983), ROBASYNSKI *et alii* (1984), BEN FERJANI *et alii* (1990), M'RABET *et alii* (1995).

However, starting in 1980 (p. 101) SALAJ, re-viewing the Kef section, places the base of the Maastrichtian not at the extinction of "*Globotruncana calcarata*" but just above the level that yielded the ammonite *Pseudokossmaticeras brandti* found at the bottom of the upper bar and at that time considered by WIEDMANN as characteristic of a "high Campanian" (WIEDMANN, 1974, *in litteris* cited by SALAJ, p. 101).

Continuing in this sense, SALAJ & MAAMOURI (1982) bring up the small planktonic foraminifer *Rugotruncana kefiana* n. sp. (attributed later to the genus *Archaeoglobittruncana* by SALAJ & MAAMOURI (1984) which cohabits with *Pseudokossmaticeras brandti*, the two taxa thus indicative of the "Campanian". At that time they put the Cp-Ma boundary near the top of the upper bar of the Abiod, there where, according to them, the first *Globotruncana falsostuarti* appear. SIGAL (1952) cited this species. In his "Maestrichtien" (but according to us is already present lower down in the Akhdar marls).

This positioning of the Cp-Ma boundary at the top or around the middle of the upper bar was restated by SALAJ (1983) and by SALAJ & MAAMOURI (1984).

Returning to the presence of *Pseudokossmaticeras brandti* at the bottom of the upper bar, this time WIEDMANN considers it a marker of the basal Maastrichtian, referring to THIEDIG & WIEDMANN (1976) *in* SALAJ & WIEDMANN (1989, p. 303). This age determination affects that of *Archaeoglobittruncana kefiana* -it cohabits with *P. brandti*- so that it too must indicate a basal Maastrichtian age.

This determination was retained by NEGRA & M'RABET (1992) for the Kalaat Senan section where the base of the *A. kefiana* Zone designates the base of the Maastrichtian and corresponds fairly closely to the base of the upper bar.

Nevertheless, three years later, M'RABET *et alii*

(1995) support the opinion that the Campanian ends with the upper limit of the "*Globotruncana calcarata*" Zone, although DALI (1995) in the explanation of the Gafour sheet, puts the Cp-Ma boundary near the top of the lower bar and so attributes to the Maastrichtian the intermediate alternances in which he does not report the presence of *G. calcarata*.

In the Kalaat Senan area, the Upper Cretaceous was revised by ROBASYNSKI *et alii* (2000) who place **the Cp-Ma boundary in the lower third of the Ncham upper bar**, at the articulation between the extinction of the ammonite *Nostoceras* (*Nostoceras*) cf. *hyatti* STEPHENSON (uppermost Campanian) and the appearance of the ammonite *Nostoceras* (*Nostoceras*) aff. *magdadiae* LEFELD & UBERNA (basal Maastrichtian). In so doing the criteria recommended by the International Subcommission on Cretaceous Stratigraphy (RAWSON *et alii*, 1996) were strictly observed. Remember that *Nostoceras magdadiae* is a species defined from the base of the Maastrichtian in the Prairie Bluff Chalk of Alabama and Mississippi (COBBAN & KENNEDY, 1995). For these two authors, in Europe the base of the Maastrichtian is at the first occurrence of *Belemnella lanceolata* where this belemnite immediately overlies an assemblage of ammonites with *N. hyatti*. This indicates that it is the extinction of *N. hyatti* that constitutes a time line representing the base of the Maastrichtian in the Prairie Bluff Chalk and it is followed immediately by the entry of *N. magdadiae*.

This limit for the Cp-Ma boundary which corresponds to the top of the *Nostoceras hyatti* Zone is a little higher than the last *Pseudokossmaticeras brandti* (this species is manifestly Late Campanian according to the study of HANCOCK & KENNEDY, 1993 and KENNEDY *et alii*, 2001).

In the Ncham wadi section, *P. brandti* has been collected along with *N. hyatti* at the base of the upper bar, in the alternances of the Gourbeuj Member. In addition, at Kalaat Senan *N. hyatti* has been found higher up - in the Ncham limestones - in the lower third of the upper bar (ROBASZYNSKI *et alii*, 2000).

This conception of the location of the Cp-Ma boundary was accepted and used by JARVIS *et alii* (2002) in their study of the Abiod sequence from El Djebil at El Kef.

4.2. The stratotype of the Campanian-Maastrichtian boundary at Tercis (Landes, France) compared with that at Ellès

In 1995, at the Brussels Symposium dedicated to the limits of the stages of the Cretaceous, the International Subcommission on Cretaceous stratigraphy recommended the choice of the former quarry at Tercis as the location of a GSSP (Global Standard Stratotype, Section and Point) - named PSM (Point Stratigraphique Mondial) by ODIN *et alii*, 2005 - for the Campanian-Maastrichtian boundary (RAWSON *et alii*, 1996), adapting a proposal by the Working Group on the Maastrichtian. In February 2001

the decision was ratified by the International Union of Geological Sciences (*in* ODIN & LAMAURELLE, 2001). At the same time an 881 pages volume was published presenting a multi-disciplined characterization of the Cp-Ma transition at Tercis (edited by ODIN with 70 authors, 2001) which was succeeded by several notes summarizing the principal results (ODIN & LAMAURELLE, 2001; ODIN, 2002; cf. ROBASYNSKI, 2002).

The succession at Tercis is interesting for it houses coexistent groups of paleontologic key species: ammonites, planktonic foraminifers, nanofossils, dinoflagellates, etc. in a continuous limestone facies.

Among the biostratigraphic criteria made evident at Tercis those involving ammonites and planktonic foraminifers are referred to here because some of them are found in central Tunisia, cf. Fig. 4, a fact that renders it feasible to make comparisons and correlations between Tercis and the two Tunisian sections at Kalaat Senan and Ellès:

- the *Nostoceras* (*Bostrychoceras*) *polyplacum* Zone with the index species well represented;
- the *Nostoceras hyatti* Zone, the last one of the Campanian succession. The index species is also well represented and it is accompanied by the ammonite *Pseudokossmaticeras brandti* near the lower limit of its range;
- the *Pachydiscus neubergicus* Zone with the index species appearing in the lower part of the Maastrichtian;
- *Radotruncana calcarata* appears in the upper part of the *N. (B.) polyplacum* Zone and becomes extinct below the *N. hyatti* Zone, that is, well below the Campanian-Maastrichtian boundary.

On the other hand, several biohorizons of planktonic foraminifers in the Ellès section are not proposed as criteria for long distance correlation, as follows.

The biohorizon based on the appearance of *Rugoglobigerina scotti* at Tercis

ARZ & MOLINA (2001) cite the species and consider it "an excellent index fossil" of proximity to the Campanian-Maastrichtian boundary and propose it as a zonal index. However, several factors militate against the use of this species as an international zonal index although it is usable at a regional level as for example Tercis and the nearby areas of Spain:

- the species *scotti* is a *Rugoglobigerina*, a genus in which the surface of the chambers is marked by pustules aligned in a "meridional pattern" (for example see Figs. 4abc on Plate 50 *in* ROBASYNSKI *et alii*, 1984). The specimen figured by ARZ & MOLINA (2001) pl. II, figs. 4-5, does not appear to show this character (although it is quite clear in *Rugoglobigerina hexacamerata* of their pl. I, figs. 9-11);

• accepting nevertheless that their figure is that of the species *scotti*, if their distribution table of Fig. 1 is consulted this taxon seems to be rare and in this regard its value as a marker of an international zone is somewhat limited.

The biohorizon based on the appearance of *Contusotruncana contusa* at Tercis

Here the problem of specific determination lies essentially in the concept of species. Indeed, *C. contusa* is the final term in an anagenetic evolutionary series in which three morphologic "species" were erected to demarcate this continuum. *C. fornicata*—>*C. patelliformis*—>*C. contusa* (cf. text-fig. 5 in ROBASZYNSKI *et alii*, 1984; FONDECAVE-WALLEZ, 1988a). In this series the convexity of the spiral side increases gradually from the Santonian to the end of the Maastrichtian, that is for almost 20 Ma. In the species *C. fornicata* the spire is low to moderately high and the diameter is generally between 0.3 and 0.5 mm; in *C. patelliformis* the spire becomes moderately high to high and the diameter ranges from 0.5 to 1 mm; and finally in *C. contusa* the spire is very high with a large number of whorls and an undulated surface, with a very large diameter, commonly between 0.7 and 1.5 mm. As in all anagenetic lineages there are many intermediaries between these "type species", that are particularly numerous between *C. patelliformis* and *C. contusa*. Furthermore, the morphotypes evolved from *fornicata* coexist after the first *patelliformis* are differentiated and the two forms continue to coexist after the first differentiation of *contusa* and of other closely related species like *C. walfischensis* and *C. plicata* (see phylogenetic table of text-fig. 8 in ROBASZYNSKI *et alii*, 1984). A "profile index" could be established to categorize the morphologic limits of the forms discussed using the Height (H) and the Diameter (D) relationships of the spire, but this would not take into account possible variations in morphology caused by paleobathymetric, paleoecologic and paleo- geographic conditions. Even a method of "grade dating" has been tried in order to establish a "numerical age" using the measurements of such indices (FONDECAVE-WALLEZ, 1988a, 1988b), a method that has been contested several times because it is "irreconcilable with the paleontologic data and regional observations" and is not capable of giving ages with a precision of around 0.1 Ma, for it did not detect a tectonic redoubling of several Ma in Pyrenean sections (BILOTTE, 1994; BILOTTE *et alii*, 1999).

Thus, any paleontologist can determine the typical morphotypes of *fornicata*, *patelliformis* and *contusa* ... but he will always have difficulties in naming the intermediate forms associated with the species types: such is the case when a form is to be named that is described qualitatively as an "evolved *patelliformis*" or a "first *contusa*".

As an example we have calculated the H/D

index of a certain number of morphotypes considered by several authors as representatives of "type species" thus constituting reference points in the anagenetic series *fornicata*—>*patelliformis*—>*contusa* and chosen to be photographed and published. The index is calculated below using measurements taken on specimens figured in the **Atlas** of planktonic foraminifers of the Upper Cretaceous (ROBASZYNSKI *et alii*, 1984) and in the plates of ION & ODIN (2001) listed as **I. & O.**

C. fornicata

Atlas:	pl. 38,	fig. 1b	H/D = 0.34
		fig. 2b	H/D = 0.40
		fig. 3b	H/D = 0.33
		fig. 5b	H/D = 0.34
		mean in the Atlas: 0.35	
I. & O.:	pl. VI,	fig. 129	H/D = 0.37 (" <i>fornicata</i> A")
		fig. 136	H/D = 0.51 (" <i>fornicata</i> B")

C. patelliformis

Atlas:	pl. 39,	fig. 2b	H/D = 0.51	
		fig. 1b	H/D = 0.55	
		fig. 3b	H/D = 0.58	
		mean in the Atlas: 0.54		
I. & O.:	pl. VII,	fig. 148	H/D = 0.57	
		pl. VI,	fig. 140	H/D = 0.55 (" <i>fornicata</i> B / <i>contusa</i> ")
			fig. 137	H/D = 0.62 (" <i>fornicata</i> B / <i>contusa</i> ")

C. contusa

Atlas:	pl. 36,	fig. 2b	H/D = 0.55
		fig. 1b	H/D = 0.61
	pl. 37,	fig. 1b	H/D = 0.71
		fig. 2b	H/D = 0.76
		fig. 3b	H/D = 0.86
mean in the Atlas: 0.70			
I. & O.:	pl. VI,	fig. 144	H/D = 0.58
		pl. VII,	fig. 146

Although the results have no statistical value because the number of specimens is too small, it can be seen, nevertheless, that the authors chose morphotypes that qualitatively are quite typical.

The figures posted above are worthy of commentary:

- with an index of 0.51 the "*fornicata* B" of I&O trends toward the morphologic tendencies of *patelliformis*;
- the "*fornicata* B/*contusa*" (fig. 140) of I&O could equally well be placed in the *patelliformis* group, while the specimen of fig. 140 is already in the *contusa* group;
- taking into consideration only the profile index, the *contusa* of figs. 144 (index 0.58) and 146 (index 0.59) approach *patelliformis*; however, at least for the *contusa* of 146 (the photograph of specimen 144 does not show the number of whorls) the specimen is certainly a *contusa* for the view of the spiral face of 146 shows a large number of whorls and an undulated surface, two major characteristics of the species *C. contusa*. Consequently, it is understandable that the

profile index may give an immediate indication of the convexity of a form but the final determination cannot be made solely on the basis of this index, particularly for *C. contusa*: other specific criteria must also be taken into account such as size, the number of whorls, the aspect of the chamber surfaces, the elongation of chambers, the presence or absence of sutures in relief between the chambers, etc.

Moreover, to make possible a more complete comparison with the other planktonic elements in the Tercis section, it would have been interesting for the "intermediaries" to have been figured, for example the "*patelliformis/contusa*" reported by CARON & ODIN (2001, Fig. 1, p. 336), or the "*contusa*" immediately below and above the Campanian-Maastrichtian boundary of ARZ & MOLINA (2001, Fig. 1, p. 342), or again the "*fornicata* B" and the "*patelliformis*" near the Campanian-Maastrichtian boundary of ION & ODIN (2001, Fig. 2, p. 353). It would then have been feasible to ascertain that the different authors all had the same concept of *contusa*.

In no way do these remarks denigrate the value of the Campanian-Maastrichtian boundary as it was conceived: a limit set by many criteria, defined by the arithmetic mean of the position of a dozen biohorizons from six important paleontologic groups. Even if the concepts of species has been somewhat modified by later paleontologic studies, the position of the "Golden Spike" must always set the base of the Maastrichtian at Tercis at level 115.2. It is surely there where the interest of this concept of limits based on many criteria proposed by ODIN (2002) - that is, not to rely on the appearance of a "magic" taxon, in this case the occurrence of the ammonite *Pachydiscus neubergicus*- is most appropriate. The earliest occurrence of this species was noted at level 116.1 by COURVILLE & ODIN (2001), but a morphologic continuum exists between *P. neubergicus* and its ancestor *P. perfidus* (KENNEDY & SUMMESBERGER, 1986; ODIN in ODIN *et alii*, § 9, 2001), in the same fashion as that linking *C. patelliformis* and *C. contusa*, and everyone knows how difficult it is to set a limit in a continuum. It is in this way that after the first comparisons of the Tercis sections with those of the Vistula (WALASZCZYK, 2004), MACHALSKI (2005), repeated in MACHALSKI *et alii* (2007), using his personal criteria was led to consider that "*P. neubergicus*" might be present at Tercis at level 98.2 (he finds the form figured on Pl. VI, 45 that COURVILLE & ODIN in 2001 called *P. perfidus/neubergicus* to be a "*P. neubergicus*"). If the limit remains at 115.2 that determination would have *P. neubergicus* appear in the terminal beds of the Campanian and that *N. (N.) hyatti* would encroach the basal Maastrichtian. Thus for him, as for all of those favorable to the use of the appearance of one taxon to define the base of a stage, the fact of making the appearance of *P. neubergicus* older would make obligatory a change in the position of the

"Golden Spike", that is to go against the decision of the IUGS to stabilize the limits of the stage. Furthermore, each new collection or each modification in the concept of species would bring changes that would cause a perpetual yoyo. But in any case, before questioning a decision of the IUGS that would have heavy consequences involving the stability of many limits and in particular that of the Campanian-Maastrichtian, would it not be better to review what is essentially the criteria that define a species, particularly where anagenetic evolution is involved, as is the case for *perfidus* and *neubergicus* ?. For that review a large team of specialists on this group of fossils gather using for discussion a collection of the species concerned.

The *Gansserina gansseri* Zone at Tercis

In the standard zonation of planktonic foraminifers (ROBASZYNSKI coord. in HARDENBOL *et alii*, 1998), the first occurrence of the species *G. gansseri* is reported at the base of the *N. hyatti* Zone. The *G. gansseri* Zone extends throughout the upper part of the Campanian and the lower part of the Maastrichtian; the species continues upward almost to the top of the Maastrichtian. This distribution of the species in the upper part of the Campanian is seen in Tunisia where it is controlled by its relationships to the ammonites at both Kalaat Senan and Ellès.

At Tercis, the first occurrence of the species *G. gansseri* seems to be younger when the contributions of the several authors who worked on the section are examined.

- CARON & ODIN (2001) do not report the species to be present (but the sampling is a preliminary study and the few washed samples available indicate that "index species" were rare).
- ARZ & MOLINA (2001) do not report the species either.
- ION & ODIN (2001) report the species present but 50 meters above the Campanian-Maastrichtian boundary.
- Remember that previously SIMMONS *et alii* (1996) did not note *G. gansseri* in the Tercis section and that WARD & ORR (1997) cite it only very high in the section, well above the Campanian-Maastrichtian limit as it was later defined in ODIN ed. (2001).

The only record of *G. gansseri* in the vicinity of the Campanian-Maastrichtian boundary in the Tercis quarry appears in the distribution table of planktonic foraminifers in fig. 3 of the note by Peybernès *et alii* (1997). The species is listed there at level 112, that is a little below that of the GSSP -or the PSM of ODIN *et alii*, 2005- of the Campanian-Maastrichtian limit which is at level 115.2, then much higher in the vicinity of levels 132 and 158. In any event, in the absence of illustrations or of specimens of the reported presence at level 112 (the number of specimens is not given) and in hopes that

this or these figures will be published, it is not possible to consider this first citation of *G. gansseri* as confirmed.

4.3. The Campanian-Maastrichtian boundary at Kalaat Senan

Near the village of Kalaat Senan in the sections of wadies Assila, Gourbeuj and Ncham the Abiod Formation is strongly developed with a thickness of nearly 500 m (ROBASZYNSKI *et alii*, 2000). From the biostratigraphic findings the vertical ranges of the markers found also at the Tercis stratotype can be extracted for comparison. It is this list that appears in Figure 4:

- *N. (B.) polyplacum* extends over a thickness of more than 60 m, from the top of the limestones of the Haraoua lower bar to the lower third of the Akhdar marls;
- *Radotruncana calcarata* over more than 80 m, the first coexisting with the last *N. (B.) polyplacum*;
- *Gansserina gansseri*, although rare, is already present at the top of the Akhdar intermediate marls and then in the Ncham limestones and above;
- *Pseudokossmaticeras brandti*, rare, is present in the alternances of the Gourbeuj Member;
- *Nostoceras* cf. *hyatti* was detected at several levels distributed over about 60 m from the Gourbeuj alternances to the lower third of the Ncham limestones.

So at Kalaat Senan the Cp-Ma limit is placed where the Campanian ammonite *Nostoceras* cf. *hyatti*, is replaced by the Maastrichtian ammonite *Nostoceras* aff. *magdaliae*, that is appreciably in the lower third of the Ncham upper bar.

4.4. The Campanian-Maastrichtian boundary at Ellès

Several biostratigraphic markers of short vertical range were located in the section (Fig. 4):

- *Nostoceras (Bostrychoceras) polyplacum* is present at the top of the lower bar (near the middle of the Mahdi Member at ELD 76) up to the base of the intermediate marls (Akhdar Member around EL 45) that is, over a thickness of more than 30 m;
- the ammonite *Pseudokossmaticeras brandti* is present at the base of the Gourbeuj Member and some 20 meters above the base of the upper limestone bar (Ncham Member);
- the ammonite *Nostoceras* cf. *hyatti* was detected at the base of the Gourbeuj Member, that is at the base of the upper bar, so is more or less coincident with the first *P. brandti*;
- *Radotruncana calcarata* is known over a thickness of a little more than 30 m in the middle portion of the Akhdar

marls (ELE 43.5 to 73.7);

- *Gansserina gansseri*, although rare, was nevertheless determined from isolated specimens in several samples from the uppermost beds of the Akhdar marls and then in the marly beds of the Gourbeuj alternances and in thin section, in the Ncham limestones and higher.

4.5. Suggestion regarding an Upper Campanian substage

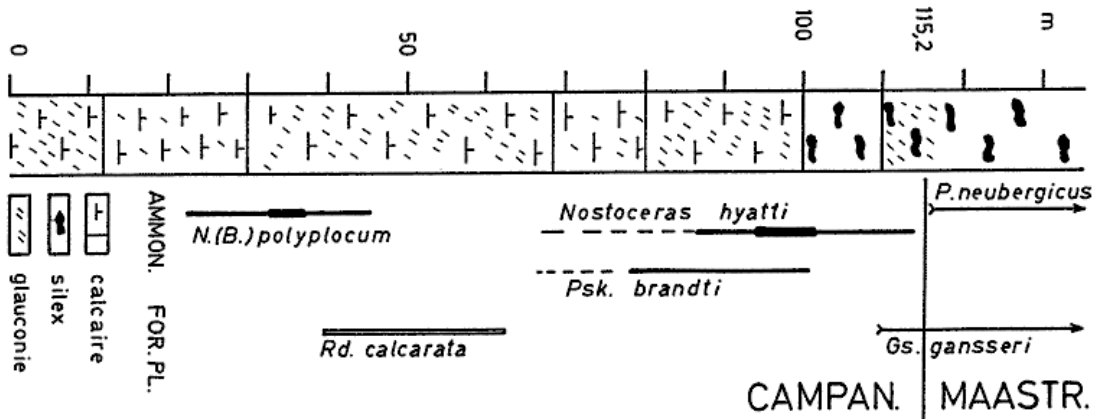
According to the concepts developed at the Brussels Symposium of 1995 (HANCOCK & GALE, 1996), the appearance of the ammonite *Placentoceras bidorsatum* was proposed as a criterion for the base of the Campanian, near the extinction of the crinoid *Marsupites testudinarius* which in turn is slightly before the appearance of *Broinsonia parca* and after the appearance of *Globotruncanites elevata*. As for the top of the Campanian it is coincident with the base of the Maastrichtian, a limit based on multicriteria where the appearance of *Pachydiscus neubergicus* - near the first occurrence of *Belemnella lanceolata* takes over as *Nostoceras hyatti* disappears at the top of the Campanian. A Campanian bounded in this way would have a duration of about 11 Ma (ODIN & ODIN, 1990; ODIN, 1994; ODIN *in* REMANE *et alii*, 2000; ODIN & WALASZCZYK, 2003), for 12.2 Ma \pm 1 (in HARDENBOL *et alii*, 1998) and for \pm 12.9 Ma \pm 1.3 (stratigraphy.org, chart 2009, where it is indicated as lying between 70.6 Ma \pm 0.6 and 83.5 Ma \pm 0.7), which averages out as about 12 Ma. In addition, if the division of the stage into three substages (Lower, Middle and Upper) of approximately equal length is accepted (HANCOCK & GALE, 1996), the length of a substage should be in the neighborhood of 4 Ma.

If the *Nostoceras (Bostrychoceras) polyplacum* ammonite Zone is assigned the upper part of the Campanian (cf. for example "Upper" with *Nostoceras (Bostrychoceras) polyplacum* in KÜCHLER & ODIN, 2001; or in KÜCHLER *et alii*, 2001, fig. 8), it is possible at Ellès to measure the time elapsed between the biohorizon based on the first occurrence of *N. (B.) polyplacum* at about ELD 76 (or ELE 12) and the Campanian-Maastrichtian boundary at about ELF 66 (cf. § 4. 4). On Table 1 this length of time is the sum of that part of the Mahdi Member above level 76 ($11/17 \times 0.425 = 0.275$ Ma) + the Akhdar Member (2.40 Ma) + the Gourbeuj Member (0.475 Ma) + that part of the Ncham Member below level 66 (1.70 Ma), a total of 4.85 Ma, a value that is more than 4 Ma but is not incompatible with what was anticipated.

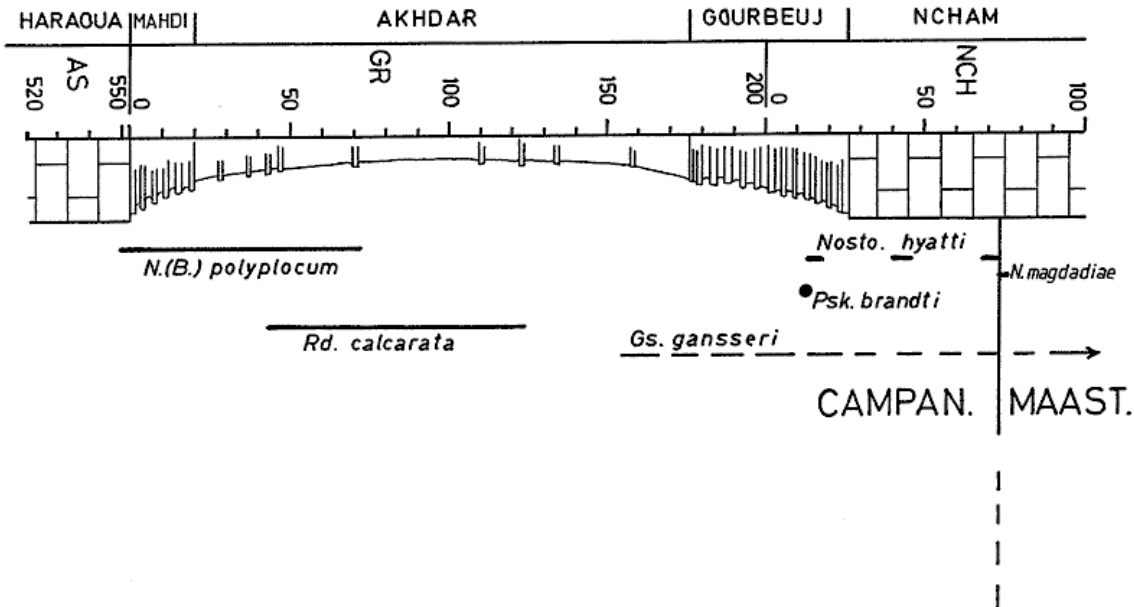
► **Figure 4:** Location of the Campanian-Maastrichtian boundary at Ellès as related to that of the International stratotype of Tercis (Landes, France) and to that of the Kalaat Senan section in Tunisia (F.R.).

Figure 4: Position de la limite Campanien-Maastrichtien à Ellès par comparaison avec le stratotype international de Tercis, Landes, France et avec la coupe de Kalaat Senan en Tunisie (F.R.).

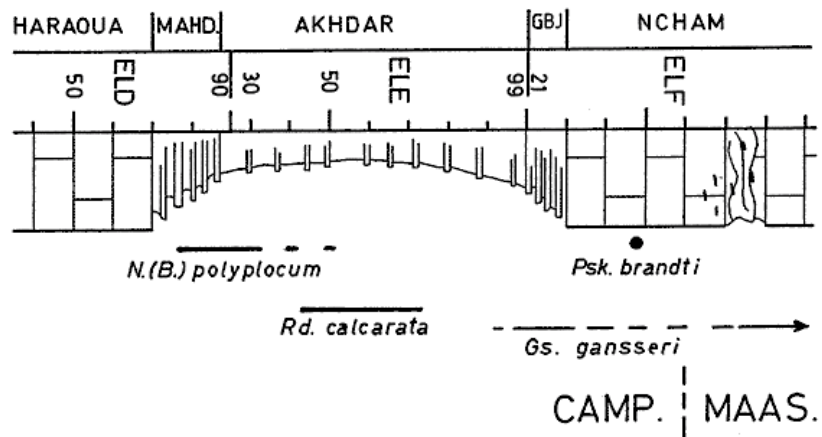
TERCIS
(ODIN éd., 2001)



KALAAAT SENAN
(ROBASZYNSKI et al., 2000)



ELLÈS
(ce travail)



Such a proposal adds to a suggestion expressed and supported by NIEBURH (2004) who writes: "The cosmopolitan *N. (B.) polyplacum* seems to be the ideal index for the definition of the base of the Upper Campanian Substage in Europe and the Russian Platform."

If a closer approach to the 4 Ma value is wanted, instead of selecting the first occurrence of *N. (B.) polyplacum* as the base of the Campanian, its level of disappearance could be used, that is at about ELD 45 about 0.9 to 1 Ma higher. But that case abandons the conception of an Upper Campanian as generally understood in a large part of the literature concerning Boreal and Tethyan domains. In general these works include the *N. (B.) polyplacum* Zone in the upper part of the Campanian.

In summary, if recognition of the base of the Upper Campanian is restricted to the first occurrence of ***Nostoceras (Bostrychoceras) polyplacum* such an "Upper Campanian" would have a length of about 4.8 Ma** which to begin with would satisfy the proposal for a tripartite division of the stage into substages of approximately equal length and secondly agree with current usage of this biohorizon in literature.

Placement of the boundary between Lower and Middle Campanian remains to be accomplished. If the Middle Campanian is to have a duration of about 4 Ma, at Ellès that would be represented by 60 to 70 m of Haraoua limestones and the Lower/Middle contact would be between ELD 10 and 15. It is unfortunate that at Ellès there is neither an ammonite nor a planktonic foraminifer biohorizon at these levels: the biohorizon of the first occurrence of *Globotruncana ventricosa* is 30 m higher, at ELD 42, and at Kalaat Senan, the entry of the nanofossil *Ceratolithoides aculeus* in AS 474 is lower, at the bottom of the upper bar. (AS 474 base of the coccolith Zone CC20 according to GARTNER in ROBASYNSKI *et alii*, 2000, p. 431).

4.6. Discussion of the Cp-Ma boundary at Ellès in two prior publications

Two publications concerning the Cretaceous of Ellès have been published quite recently, one in 1998 by LI & KELLER, the other in 1999 by LI *et alii*. In these two communications based on planktonic foraminifers the Campanian-Maastrichtian boundary is placed at two discrete levels neither one corresponding to that proposed here. The indigence of lithologic columns and the fact that facies are not related to formations makes it difficult to understand clearly some of the biozonal and chronostratigraphic interpretations proposed by the authors. Let us see about these successively in the two publications.

In LI & KELLER (1998), the Campanian-Maastrichtian boundary is set at the top of the "*Globotruncanita calcarata*" Zone. However, at the very least several elements seem to be expediences.

- If the limestones noted between 0 and 3 of the lithologic column of their fig. 5 represents the upper bar of the Abiod Formation (for above come marls that should belong to the El Haria Formation), it appears astonishing to find "*Globotruncanita calcarata*" there, for this species is confined -at least in the Abiod Formation, tripartite as it is at Ellès- to the lower and middle portions of the Akhdar marls, that is almost 150 m below the upper bar of the Abiod.

The image of the specimen taken as an example (fig. 1 in their pl. 1) is indeed a *R. calcarata* and the species is said to range over about 10 m to constitute their "CF10" biozone. But what would be absent above a true *R. calcarata* Zone, all of the upper limestone bar of the Abiod (Gourbeuj, Ncham and Gouss members), and these do not appear on the sketch of their lithologic column.

To explain the presence of this species it must be accepted either that these "*calcarata*" are reworked (which is difficult to believe because the species is distributed over ten meters and even though it is known that the two basal meters of the El Haria member contain many bioclasts) or that it is simply an error in the collection of samples that may not have been carried out under the best of conditions, the 10 meters with *calcarata* having come from a lower part of the section. Knowing the importance of this species as a marker in the Upper Cretaceous biostratigraphy of Tunisia, the reader would have the right to expect that this odd location of a *R. calcarata* Zone immediately under the El Haria marls should at least have been discussed by the two authors. In any event the value of their figs. 2, 3, 5 along with the conclusions drawn therefrom are found to be null.

- Furthermore, in the distribution table of their fig. 5 it is difficult to comprehend that there is no *Radotruncana subspinoso*, a species that is often associated with "*Gt. calcarata*". This absence should have incited the authors to question their biostratigraphy which does not conform with what is well-known regionally and to review their sampling procedures.

- The Cp-Ma limit is placed (p. 78) at the LA of "*Globotruncanita calcarata*", using as a reference ROBASYNSKI *et alii*'s Atlas (1984). But in 1995 ROBASYNSKI & CARON published a revision of Cretaceous zonation by planktonic foraminifers taking into account the recommendations of the Brussels symposium (RAWSON *et alii*, 1996) who place the Campanian-Maastrichtian boundary at the top of the *N. hyatti* Zone, more or less coincident with the first occurrence of *Pachydiscus neubergicus*

and not at the top of the *Radotruncana calcarata* Zone.

In Li *et alii* (1999, p. 239) the Campanian-Maastrichtian boundary is placed this time at the appearance of the foraminifer *Rugoglobigerina hexacamerata* BROENNIMAN (while referring to the magnetic reversal C32N at the DSPD 525A site, which is several thousands of kilometers distant in the Atlantic of the southern hemisphere) that is well above the base of the marls (El Haria) at the last of "5 beds" as depicted on their fig. 4b. This choice would indicate that all of the upper bar of the Abiod as well as 15 to 20 m of the basal El Haria marls are Campanian (while macropaleontologic data from ammonites clearly support a much lower Cp-Ma boundary).

As for the appearance of *Rugoglobigerina hexacamerata*, this species was reported from Ellès as early as 1978 near the base of the El Haria marls (SAÏD, sample 33B) as "lower Maastrichtian". It was also found at Kalaat Senan at the base of the El Haria marls, and even lower still at the top of the Akhdar marls and in the Gourbeuj alternances (GONZÁLEZ DONOSO & LINARES in ROBASZYNSKI *et alii*, 2000). Unless intended for use as an acme zone, it does not appear judicious to choose this appearance as a proxy for a stage limit, a limit that in any event is manifestly lower than that proposed by the authors.

5 - Conclusions (F.R. & M.M.)

In lithologic terms, the Ellès section reveals that the Abiod Formation is tripartite, bounded below by the Kef marls and above by the El Haria marls. In the countryside it is expressed as two resistant limestone bars separated by a marl-filled depression. The lower bar, about 105 m thick, is made up of the basal Assila alternances, followed by the Haraoua limestones (70 m) and ends with Mahdi alternances. The intermediate unit, the Akhdar Member, is 77 m of characteristically tinted turquoise marls. The upper bar, 104 m thick, begins with the Gourbeuj alternances, followed by the thick-bedded Ncham limestones (85 m) and ends with Gouss alternances.

Several biohorizons, defined by micro- and macrofossils constituting time lines, are excellent tools for correlation.

Among the microfossils, the first occurrences of marker planktonic foraminifers establish a zonation of international scope with the succession from oldest to youngest as follows: IZ of *Globotruncanita elevata*, IZ of *Globotruncana ventricosa*, TRZ of *Radotruncana calcarata*, PRZ of *Globotruncana falsostuarti*, IZ of *Gansserina gansseri*, IZ of *Contusotruncana contusa*. To these must be added the first occurrences of *Radotruncana subspinosa* (a little before that of *R. calcarata*), of *Globotruncanita angulata* (a little before that of *G. gansseri*) and of *Archaeoglobitrunca cf. kefiana* (near the base of the upper bar).

Among the macrofossils the ammonites were the prime target for collection and several biohorizons are well defined: the short stratigraphic range of *Nostoceras (Bostrychoceras) polyplacum* from the middle of the Mahdi alternances to the end of the first quarter of the Akhdar marls; the *Nostoceras (N.) cf. hyatti* level at the bottom of the upper bar, the beds with *Pseudokossmaticeras brandti* in the lower quarter of the Ncham limestones; the beds with *Pachydiscus (P.) neubergicus* in the upper third of the Ncham limestones.

The conjunction in the occurrence of several of these time lines permits a relatively more precise dating of the several lithologic units and particularly a correlation of series in far-distant basins.

Thus, when paleogeographic maps are constructed -for example those that might be established in Tunisia for each of the principal members of the Abiod- the use of well-controlled time lines synchronous with and usable on an international scale would permit well constrained time-times to be drawn with results capable of locating surfaces favorable to exploration for petroleum.

Taking into consideration the several marker biohorizons, the **Campanian-Maastrichtian boundary** is about 50 m above the first occurrences of *G. gansseri* and of *N. hyatti* and 15-20 m above the beds with *P. brandti*, that is at the top of the first third of the Ncham bar. The position of this limit is compared to and correlated with that established in the Kalaat Senan section (the same markers and appreciably the same vertical ranges of macro- and microfossils) and with that of the Tercis stratotype in France (thanks to the biohorizon markers *N. (B.) polyplacum*, *N. hyatti*, *P. brandti* and *R. calcarata*).

In Tunisia, combining information derived from lithologic units and biohorizons, the tripartite Abiod at Ellès constitutes an ensemble nearly 286 m thick which is very clearly expressed in the morphology of the terrain. It represents pelagic marine sedimentation that lasted for about 13.2 million years, according to cyclostratigraphic calculations.

The lower bar (Assila + Haraoua + Mahdi), 105 m thick, represents deposition during about 6 Ma with a mean rate of non-compacted sedimentation of 1.7 cm/ky. The Akhdar intermediate marls, 77 m thick, represent a deposition time of about 2.4 Ma, with the deposition of non-compacted sediments at the rate of 3.2 cm/ky. For the upper bar (Gourbeuj + Ncham + Gouss) its 104 m thickness represents deposition for about 4.7 Ma with a mean rate of accumulation of non-compacted sediments of 2.1 cm/ky. The Gourbeuj alternances and the lower third of the Ncham limestones are Upper Campanian while the upper two-thirds of the Ncham limestones are already Lower Maastrichtian.

If a ternary division of the Campanian stage with subdivisions of approximately equal length is accepted, it is proposed that an **Upper Campanian** be defined of which the base would be taken at the appearance of the ammonite *N. (B.) polyplacum* and the top, that is the lower limit of the Maastrichtian, would be coincident with the extinction of *Nostoceras hyatti*. Measured by cyclostratigraphy such an Upper Campanian would have a length of about 4.8 Ma of a total length for the Campanian of about 12 Ma.

Several paleontologic zones indicate the total vertical distribution of several markers and have a global value. These are the TRZ with *N. (B.) polyplacum* which includes the top of the lower bar and the lower third of the Akhdar marls, about 34 to 36 m and 0.9 to 1 Ma; the TRZ with *P. brandti* from the Gourbeuj alternances to the lower quarter of the Ncham; the TRZ with *N. hyatti* which also starts in the Gourbeuj alternances, and continues into the lower third of the Ncham where its extinction marks the Campanian-Maastrichtian boundary; the TRZ with *R. calcarata*, from the middle of the Akhdar marls where it is known for at least 30 m with a minimum deposition time of about 0.8 Ma.

Taking these contributions into account, a **critical reading** of two notes published a decade ago was carried out regarding a part of the Ellès section and in particular the controversial placement of the Campanian-Maastrichtian boundary.

Acknowledgments

The determination of planktonic foraminifera in thin sections benefited from the vast experience of Madam Michèle CARON who received one of us (M.M.) at the University of Friburg (Switzerland). The generic relationships of ammonites collected from the partial sections were confirmed or defined in the course of discussions with the doctoral candidate Stijn GOOLAERTS (University of Leuven, Belgium). In the field, geological surveys, sampling and the collecting of macrofauna was completed by the two authors assisted by Mourad BOUGHANMI and Taoufik MEKKAOUI (ETAP) as well as by Moheddine BEN YAHIA (Kalaat Senan). Thanks to all of them for their assistance. The scanning electron microscope photographs were made by one of us (F.R.) using the apparatus of the ETAP Research Center in Tunis and we thank that company for authorizing its use. The draft benefited from constructive remarks and suggestions by Jochen KUSS, by an anonymous reader and by Dr Gilles Serge ODIN who participated in clarifying discussions at several stages in the revision of the final text. We thank all three and Nestor SANDER for the translation in English.

L'Abiod d'Ellès (Tunisie) : stratigraphies, limite Campanien-Maastrichtien et corrélation

[La Formation Abiod à Ellès (Tunisie) :
composition lithologique tripartite,
biohorizons de globotruncanidés et d'ammonites,
durée, position de la limite Campanien-Maastrichtien,
corrélation avec Kalaat Senan et le stratotype de Tercis (France)]

Francis ROBASYNSKI ¹

Moncef MZOUGH ²

Résumé : En Tunisie centre-nord, près d'Ellès, l'oued Ed Dam expose un enregistrement sédimentaire quasi continu de la Formation Abiod encadrée par la Formation Kef au-dessous et la Formation El Haria au-dessus. Cette Formation Abiod, tripartite, a été étudiée pour servir de référence litho-biostratigraphique régionale sur la bordure sud-est du Sillon tunisien où elle atteint près de 286 m. Le contenu en foraminifères planctoniques d'une série d'échantillons est reporté sur un tableau de distribution et soutient une division en 6 biozones micropaléontologiques. Les positions des ammonites récoltées sont repérées par rapport à la succession lithologique. Plusieurs biohorizons sont décrits qui correspondent aux premières et dernières présences de foraminifères, par exemple de *Radotruncana calcarata*, et aux émergences des marqueurs de zones comme *Globotruncana ventricosa*, *Gansserina gansseri* et *Contusotruncana contusa* ainsi que les premières et/ou les dernières présences de plusieurs ammonites marqueurs comme *Nostoceras (Bostrychoceras) polyplacum*, *Pseudokossmaticeras brandti* et *Nostoceras (Nostoceras) hyatti*.

L'un des points d'ancrage de la succession stratigraphique étant la limite Campanien-Maastrichtien (Cp-Ma), on définira la position de cette ligne-temps à Ellès par comparaison avec la coupe de Kalaat Senan et celle du stratotype international de Tercis (France) ratifiée par l'Union internationale des sciences géologiques.

À Kalaat Senan, la limite Cp-Ma est placée au tiers inférieur de la barre supérieure de l'Abiod ou Membre Ncham, au sommet de la Zone à *N. (N.) hyatti*, contenant *P. brandti*, ammonites de la partie supérieure du Campanien, et à l'apparition de *Nostoceras magdadiae*, ammonite de la partie inférieure du Maastrichtien. À Ellès, plusieurs de ces marqueurs ont été retrouvés comme aussi les zones de foraminifères planctoniques à *Radotruncana calcarata*, à *Globotruncana falsostuarti*, à *Gansserina gansseri* et à *Contusotruncana contusa*.

En utilisant l'outil cyclostratigraphique, la durée des diverses unités lithologiques et celle de quelques zones paléontologiques sont précisées : la durée totale de dépôt de la Formation Abiod à Ellès est mesurée à 13,2 Ma, celle de la Zone à *R. calcarata* à 0,79 Ma et celle de la Zone à *N. (B.) polyplacum* à 0,97 Ma. Une limitation du Campanien supérieur à la base de la Zone d'ammonite à *N. (Bostrychoceras) polyplacum* est proposée.

La position de la limite Cp-Ma proposée par Li et alii en 1999 au sommet d'une série de bancs calcaires dans la Formation El Haria est discutée.

Mots-Clefs : Campanien-Maastrichtien ; Formation Abiod ; Tunisie centrale ; Ellès ; Tercis ; Kalaat Senan ; globotruncanidae ; ammonites.

Citation : ROBASYNSKI F. & MZOUGH M. (2010).- L'Abiod d'Ellès (Tunisie) : stratigraphies, limite Campanien-Maastrichtien et corrélation [The Abiod at Ellès (Tunisia): stratigraphies, Campanian-Maastrichtian boundary, correlation].- Carnets de Géologie / Notebooks on Geology, Brest, Article 2010/04 (CG2010_A04)

Abstract: The Abiod at Ellès (Tunisia): stratigraphies, Campanian-Maastrichtian boundary, correlation.- In central Tunisia near the village of Ellès is Wadi Ed Dam. There the Abiod Formation, underlain by the Kef marls and capped by the El Haria marls, crops out in an almost uninterrupted exposure about 286 m thick. In view of its possible use as a regional litho- and bio- stratigraphic reference section for the southern border of the Tunisian trough it is examined in detail here. Fossils studied include foraminifera (115 samples representing 6 micropaleontologic zones, see chart) and

¹ Université de Mons, Faculté Polytechnique, 9 rue de Houdain, 7000 Mons (Belgique)
francis.robaszynski@umons.ac.be

² ETAP, Entreprise Tunisienne d'Activités Pétrolières, Laboratoire de Biostratigraphie, Centre de Recherche et de Développement Pétroliers La Charguia II, Tunis (Tunisie)
mzoughi@etap.com.tn

Manuscrit en ligne depuis le 27 Août 2010

ammonites. The biohorizons established are based on the first (FO) or last occurrence (LO) of certain species of planktonic foraminifers in addition to the FO of already established foraminiferal zonal markers. Ammonite markers found include both the FO and LO of some forms, or just one or the other.

The location of the Campanian-Maastrichtian (Cp-Ma) boundary time line at Ellès is established by comparison with that determined at Kalaat-Senan and with that of the international stratotype of Tercis (France), ratified by the International Union of Geological Sciences.

At Kalaat-Senan the Cp-Ma boundary is set at the lower third of the upper indurated limestone bar of the Abiod Formation - the Ncham Member. Its location at Kalaat-Senan is based on the upper limit of occurrence of *Nostoceras (Nostoceras) hyatti* and *Pseudokossmaticeras brandti* together with the FO of *Nostoceras magdadiae*, a Maastrichtian ammonite. At Ellès several of these same markers are present, along with the respective planktonic foraminiferal zones.

The length in years of some lithologic units and paleontologic zones in the Upper Cretaceous succession of wadi Ed Dam was calculated using cyclostratigraphy. The Abiod Formation represents 13.2 Ma, the *Radotruncana calcarata* Zone 0.79 Ma, and the *Nostoceras (Bostrychoceras) polyplacum* Zone 0.97 Ma. A proposed subdivision of the Upper Campanian is recommended at the base of the *Bostrychoceras* Zone.

Li et alii's 1999 proposal for fixing the location of the Cp-Ma boundary at the top of a limestone bed in the El Haria marls is reviewed.

Key Words: Campanian-Maastrichtian; Abiod Formation; Central Tunisia; Ellès; Tercis; Kalaat Senan; globotruncanids; ammonites.

1. Introduction (F.R.)

En Tunisie centre-nord, la Formation Abiod marque très bien la partie élevée du Crétacé supérieur en organisant les paysages sous forme de doubles collines séparées par une partie médiane en légère dépression. Cette morphologie correspond à la composition généralement tripartite de la Formation avec une barre inférieure de calcaires blancs, des marnes intermédiaires turquoise et une barre supérieure de calcaires blancs. L'ensemble est d'âge Campanien-Maastrichtien et recèle donc la limite entre ces deux étages géologiques. Suivant des critères qui ont varié au cours du dernier siècle, cette limite a d'abord été située vers le sommet de la barre inférieure, puis vers le milieu des marnes intermédiaires, ou encore à la base de la barre supérieure puis à son sommet. Ces fluctuations étaient dues à ce qu'un accord international n'existait pas sur la position de la frontière entre les deux étages.

Aujourd'hui, après avoir été approuvée par le Groupe de travail sur le Maastrichtien en septembre 1999, recommandée par la Sous-Commission internationale de stratigraphie du Crétacé en juin 2000, adoptée par la Commission internationale de stratigraphie en décembre 2000 et ratifiée par l'Union internationale des Sciences géologiques en février 2001 (in ODIN & LAMAURELLE, 2001), la coupe de Tercis (Landes, France) contient le stratotype international de la limite multicritère entre le Campanien et le Maastrichtien (ODIN, 2002).

Par comparaison avec cette coupe, en utilisant plusieurs index biostratigraphiques on peut maintenant repérer plus précisément la limite Campanien-Maastrichtien en Tunisie centre-nord et la placer au tiers inférieur de la barre calcaire supérieure de la Formation Abiod.

Cette position est bien définie dans les régions où l'enregistrement sédimentaire de la Formation Abiod est le plus continu possible, ce

qui est le cas de plusieurs coupes situées en Tunisie centre-nord ("Sillon tunisien" de BOLZE et alii, 1952). De bons exemples se trouvent localisés à El Kef (BURROLLET, 1956) où, les macrofossiles étant relativement rares, l'accent avait été mis sur la répartition des microfossiles, en particulier les foraminifères planctoniques (DALBIEZ, 1955, 1956), et aussi à Kalaat Senan où les ammonites semblent plus nombreuses en plus des foraminifères planctoniques qui sont également abondants (ROBASZYNSKI et alii, 2000).

En dehors de la Tunisie centre-nord, la Formation Abiod ne se présente plus forcément sous l'aspect tripartite classique : parfois c'est la barre inférieure qui est réduite, parfois la barre supérieure, ou, dans d'autres cas, la Formation présente une succession quasi monolithique comme dans certaines coupes au nord de Kairouan ou dans des sondages de la plaine au sud-est de Kairouan. Afin de dater plus précisément ces différents types d'Abiod, on a d'abord étudié une coupe à sédimentation apparemment continue située sur la bordure sud-est du "Sillon tunisien" : c'est la coupe d'Ellès, à 45 km environ au sud-est d'El Kef. Là, comme à Kalaat Senan, les bancs de calcaires et de calcaires marneux contiennent des macrofossiles, dont des ammonites, ainsi que des foraminifères planctoniques visibles en plaques minces, tandis que les marnes livrent en dégagé des foraminifères planctoniques à profusion. La distribution verticale des espèces planctoniques et la zonation qui en découle constitueront la base pour les attributions stratigraphiques dans des successions où la Formation Abiod est marquée par de fortes réductions d'épaisseur, par des lacunes ou par une uniformisation de la lithologie vers un faciès majoritairement carbonaté. Par la suite, des attributions plus précises permettront de réaliser des cartes paléogéographiques isochrones pouvant servir à localiser des événements lithologiques ou structuraux, favorables à un piégeage de fluides tels les hydrocarbures.

Dans ce qui suit, on abordera successivement :

- la lithologie et le contenu macropaléontologique de la Formation Abiod à Ellès, spécialement les ammonites ;
- les contenus en espèces de foraminifères planctoniques, la distribution verticale de ces microfossiles, la zonation retenue ainsi que les lignes-temps définies par les premières et/ou les dernières présences d'espèces marqueurs ;
- la position de la ligne-temps qu'offre la limite Campanien-Maastrichtien successivement dans le stratotype de Tercis, à Kalaat Senan et à Ellès ainsi que plusieurs biohorizons micro- et macropaléontologiques ;
- la durée de diverses unités lithologiques ou biostratigraphiques par l'utilisation de l'outil cyclostratigraphique tel qu'il a été envisagé par HENNEBERT *et alii* (2009) ;
- une discussion sur la position de la Zone à *Radotruncana calcarata* (CUSHMAN) au sein de la Formation Abiod et la place de la limite Campanien-Maastrichtien telles que situées à Ellès dans les travaux de LI & KELLER (1998) et LI *et alii* (1999).

Dans une conclusion, on fera ressortir la valeur de plusieurs biohorizons macro- et micropaléontologiques qui constituent des lignes-temps utilisables pour relier des coupes à l'affleurement au moins pour la Tunisie centrale ainsi que leur intérêt pétrolier dans la corrélation des sondages de recherche.

2. Lithostratigraphie du Campanien-Maastrichtien *pro parte* dans la coupe d'Ellès et position de quelques ammonites (F.R.)

2.1. Travaux antérieurs

Dans la coupe d'Ellès, la limite Crétacé-Paléogène a été étudiée par Rakia SAÏD (devenue Mme BENZARTI-SAÏD) et présentée dans sa thèse en 1978. À cette occasion, elle avait analysé les alternances calcaires-marnes du sommet de la barre supérieure de la Formation Abiod ainsi que les marnes de la base de la Formation El Haria. Elle avait noté la présence de foraminifères planctoniques dans le haut de la barre supérieure (sommet de notre Membre Ncham) et dans les alternances supérieures (notre Membre Gouss) parmi lesquels on retient les espèces : "*Globotruncana stuarti*, *falso-stuarti*, *gagnebini* (= *aegyptiaca*), *arca*, *contusa-patelliformis*, *fornicata*, *linneiana*, *ventricosa* et *Rugoglobigerina hexacamerata*", association de son "Maastrichtien inférieur" (interprétation toujours valable aujourd'hui, au moins en partie) et, plus haut, dans son "Maastrichtien supérieur", en plus de ces espèces, la présence de "*Globotruncana gansseri*, *G. contusa-galeoidis*, *Globotruncanella havanensis* et *Trinitella*

scotti puis d'*Abathomphalus mayaroensis*". À noter un élément qui nous servira par la suite au § 4.6 : aucune "*Globotruncana calcarata*" n'est signalée dans les marnes de la Formation El Haria.

Dans la notice de la feuille géologique au 1 : 50 000 d'Ebba Ksour, LEHOTSKY (1979) décrit succinctement un bon affleurement de la Formation Abiod dans le secteur dénommé El Magoula (ou El Mazoula, dans sa p. 11). Il s'agit certainement de la succession que nous avons levée de façon détaillée. Il la considère comme représentative et pouvant "servir d'exemple" de la Formation Abiod pour le nord-est de la feuille. Pour lui, la puissance de l'ensemble de la Formation est évaluée à 235 m tandis que nos mesures avoisinent 286 m. L'auteur avait parfaitement observé sa composition tripartite et avait bien noté la présence d'ammonites du genre *Bostrychoceras* vers le sommet de la barre inférieure ainsi que la présence de "*Globotruncana calcarata*" dans le "membre marneux moyen". Quant à l'interprétation chronostratigraphique, celle-ci était fondée sur les déterminations micropaléontologiques de A.-L. MAAMOURI et de P. BESÈME du Service géologique de Tunis, qui attribuent au "Campanien supérieur" la barre inférieure, au "Campanien supérieur (partie supérieure)" le "membre marneux moyen" et au "Maastrichtien inférieur" la barre supérieure. Ce qui, comme on le verra plus loin, correspond en partie à notre interprétation, à la différence près que nous plaçons la limite Campanien-Maastrichtien au sein même de la barre supérieure sur base de récoltes d'ammonites.

Il faut également signaler les publications plus récentes de LI & KELLER (1998) et de LI *et alii* (1999) où les auteurs affirment que, dans la coupe d'Ellès -correspondant exactement à celle qui est présentée ci-après- le sommet de la Zone à "*Globotruncanita calcarata*" (représentant pour eux la limite Campanien-Maastrichtien) se trouve vers le sommet des "limestones" devant représenter la barre supérieure de l'Abiod, et placent, plus tard, cette limite dans les "grey marly shales" à "limestones layers" c'est à dire probablement au sein des marnes El Haria, interprétations contestables que nous discuterons plus loin au paragraphe 4.6.

2.2. La succession lithologique et la macrofaune de la Formation Abiod à Ellès

À 2 km environ à l'ouest du village d'Ellès, l'oued Ed Dam offre une coupe quasi continue de la Formation Abiod, reposant sur la Formation des marnes Kef et supportant la Formation des marnes El Haria complètement exposée elle aussi (Fig. 1). Le métrage de la section a été effectué au moyen d'un bâton de Jacob de 1,50 m muni d'une équerre de visée permettant des mesures d'épaisseurs à quelques pour-cent près. Des marnes et des calcaires ont été régulièrement prélevés pour l'observation de foraminifères dégagés et en plaques minces. Au total,

115 échantillons ont été collectés sur les 395 m des coupes partielles levées dont environ 286 m pour la Formation Abiod. Pendant et après l'examen lithologique de la succession, des macrofossiles ont été recherchés et plusieurs d'entre eux, particulièrement significatifs seront signalés.

Remarques : parmi les macrofossiles, on insistera plus spécialement sur les ammonites que nous avons récoltées au cours des levés lithologiques et qui, dans certains niveaux, ne sont pas rares à Ellès. Elles fourniront, en partie, des arguments positifs dans l'établissement de corrélations avec la coupe de Kalaat Senan située à une soixantaine de km au sud-ouest d'Ellès. Toutefois, il faut signaler que la coupe d'Ellès a fait l'objet de récoltes ammonitologiques beaucoup plus importantes et plus systématiques de la part du doctorant Stijn GOOLAERTS (KUL, Leuven, Belgique) dont les résultats feront partie intégrante de sa thèse en cours sur les ammonites du Campanien-

Maastrichtien de Tunisie qui comportera de nombreuses planches illustrant les espèces rencontrées.

En outre, quelques inocérames, également récoltés au cours des levés, ont été soumis à feu Annie DHONDT (Institut royal des Sciences naturelles de Bruxelles) et les quelques espèces citées ici rapportent des déterminations dont elle nous a fait part oralement avant sa disparition le 1er septembre 2006.

D'autres macrofaunes ont été repérées lors des levés (quelques échinides, des fragments de lamelibranches et de brachiopodes) mais leur faible nombre et leur mauvais état de préservation font qu'elles n'ont pas encore été proposées à l'examen des spécialistes.

La description lithologique a bénéficié des travaux menés antérieurement par ROBASZYNSKI *et alii* (2000) dans la région de Kalaat Senan où la Formation Abiod a été subdivisée en sept membres soit, du haut vers le bas :

Formations	Membres	Dénominations antérieures
Fm. El Haria : marnes		
	Mb. Gouss : alternances supérieures Mb. Ncham : barre calcaire Mb. Gourbeuj : alternances	barre supérieure
Formation Abiod	Mb. Akhdar : marnes intermédiaires Mb. Mahdi : alternances Mb. Haraoua : barre calcaire Mb. Assila : alternances de base	marnes moyennes barre inférieure
Fm. Kef : marnes		

Dans la littérature, la "barre inférieure" correspond aux membres Assila et Haraoua auxquels est souvent joint le Membre Mahdi, tandis que la "barre supérieure" correspond aux membres Ncham et Gouss (avec souvent le Membre Gourbeuj). Suivant les auteurs, les "marnes moyennes" réfèrent au Membre Akhdar (et comprennent parfois, mais rarement - ou *pro parte* -, les alternances des membres Mahdi et Gourbeuj). Sept coupes partielles ont été décrites et nommées ELA à ELG. Les trois premières n'ont pas de parties communes tandis que les quatre suivantes ont toutes des parties chevauchantes qui, *de visu* sur le terrain, permettent des raccords faciles pour établir une succession lithologique continue (Fig. 2).

Formation Kef (nommée par FOURNIÉ, 1978). Coupe ELA (Fig. 2) : marnes à bancs calcaires.

Vues sur 9 m en rive gauche de la partie basse de l'oued Ed Dam, ce sont des marnes gris verdâtre, subhorizontales, admettant un

banc calcaire de 60 cm à la base et, plus haut, plusieurs bancs de calcaire marneux de 10 à 30 cm.

Formation Abiod (nommée par BUROLLET *et alii*, 1954). Coupes partielles ELB, ELC, ELD, ELE, ELF et ELG *pro parte* (Fig. 2) : deux barres calcaires limitées à leur base et à leur sommet par des alternances encadrent des marnes intermédiaires. On y distingue plusieurs membres selon ROBASZYNSKI *et alii* (2000).

Membre Assila (coupes ELB et ELC) : alternances de base, environ 13 m accessibles, 17 à 20 m probables.

Ce sont les premiers bancs calcaires visibles à l'aval de l'oued Ed Dam, au-dessus des marnes Kef. La continuité stratigraphique visuelle n'est pas assurée entre les trois coupes partielles ELA, ELB et ELC. Toutefois, les pendages étant très faibles, on peut admettre (si l'on exclut l'existence de failles importantes par le fait que les calcaires ne sont pas anormalement

fracturés et que la succession n'est pas incohérente) que les lacunes de visibilité ne dépassent pas quelques mètres. Il s'agit de calcaires blanc-gris, tenaces, à cassure conchoïdale, avec des interbanques de calcaire marneux décimétriques.

Membre Haraoua (coupe ELD, de 0 à 70 m) : barre calcaire inférieure de 70 m.

La coupe ELD commence dans l'oued Ed Dam au croisement avec un chemin qui le traverse. À partir de là, la succession est quasiment ininterrompue jusqu'à la Formation El Haria. Le pendage vers le sud-est augmente régulièrement pour atteindre 10° environ et localement parfois un peu plus, jusqu'à 12°.

Le Membre Haraoua apparaît dans le paysage comme une bande de collines formée de plusieurs dizaines de mètres de calcaires en bancs de 20 à 90 cm d'épaisseur, plus ou moins amalgamés et à stratification souvent un peu onduleuse, séparés par des interbanques de calcaire marneux de 10 cm à 20-30 cm. Les calcaires, blanc-gris à blanc, compacts, à cassure conchoïdale, montrent en plaque mince de nombreux foraminifères en texture wackestone. Des empreintes d'inocérames de 10 à 20 cm de diamètre ainsi que des trace-fossiles du groupe des *Zoophycos* n'y sont pas rares.

Membre Mahdi (coupe ELD, de 70 à 87 m) : alternances sur 17 m.

Les gros bancs calcaires du Membre Haraoua passent progressivement à des bancs calcaires de 20 à 30 cm, déjà un peu plus marneux et plus gris, alternant avec des bancs de calcaire marneux gris de 20 à 50 cm généralement altérés et en creux. La première présence de l'ammonite *Nostoceras (Bostrychoceras) polyplacum* ROEMER est repérée à ELD 76 et deux niveaux sont notés puis suivis latéralement, en particulier celui à 79,40 m.

Membre Akhdar (coupe ELE, de 22 à 99 m) : marnes vert-bleu turquoise sur 77 m.

Progressivement, le caractère argileux des interbanques marneux augmente comme aussi l'épaisseur des interbanques qui atteint 50 à 80 cm et sépare les bancs carbonatés devenant eux-mêmes plus marneux. Plusieurs niveaux livrent encore des fragments d'ammonites *N. (B.) polyplacum*, *Nostoceras (Didymoceras) sp.* et *Pachydiscus (P.) sp.* entre ELE 26,80 et ELE 45,00 avec de très nombreux exemplaires à la cote ELE 32,70 m située près de la route goudronnée. Le niveau de la dernière présence de *N. (B.) polyplacum* se trouve vers ELE 45,00.

À partir du mètre 40 jusqu'au mètre 80, les passées marneuses s'épaississent pour atteindre plusieurs mètres. Au-dessus de ELE 80, les bancs calcaires redeviennent plus fréquents. Plusieurs ammonites, dont *Pachydiscus sp.*, sont encore récoltées à ELE 80,50 et 81,00. À noter que le foraminifère planctonique *Radotruncana calcarata* est présent au moins entre ELE 43,50 et 73,70 m soit sur 30 mètres d'épaisseur au minimum.

Membre Gourbeuj (coupe ELF, de 21 à 30 m) : alternances sur 9 m.

La succession commence par un gros banc de calcaire blanc et compact, de 65 cm d'épaisseur, suivi de 18 à 19 bancs de calcaires de 20 à 50 cm séparés par des interbanques d'abord de 30 cm puis de 10 cm et jusqu'à 5 cm d'épaisseur. L'ensemble est traversé en cascade par l'oued Ed Dam. Un fragment d'ammonite appartenant au genre *Pseudokossmaticeras* a été récolté à la base du Membre et un exemplaire, non en place, entre ELF 13 et 25. Sous réserve, un autre fragment situé à la base du Membre Gourbeuj et dont la détermination demande confirmation, correspondrait à *Nostoceras (Nostoceras) cf. hyatti* STEPHENSON (comm. pers., Stijn GOOLAERTS, inédit, 2010).

Membre Ncham (coupe ELF, de 30 à 115 m) : barre calcaire supérieure.

Les calcaires présentent quatre aspects, successivement du bas vers le haut:

- à la base, de 30 à 54 m, soit sur 24 m d'épaisseur, les bancs sont souvent semi-métriques et séparés par des interbanques de calcaire marneux de 5 à 10-15 cm. Deux ammonites ont été trouvées, une empreinte en creux de *Pseudokossmaticeras brandti* (REDTENBACHER) à ELF 48,50 m, l'autre en relief, à 48,30 m de *Pachydiscus sp.* ;

- au-dessus, de 54 à 70 m, soit sur 16 m d'épaisseur, les bancs calcaires deviennent plus épais (1,00 m à 1,20 m) et les interbanques se réduisent à quelques centimètres. En outre, des niveaux de silex, noirs (ou blonds par altération), sont présents à 54,00, 66,00 et 70,00 m et aussi un niveau à silex plat à 68,40 m ;

- de 70 à 80 m environ, soit sur près de 10 m, viennent des calcaires qui ne montrent plus de stratification parallèle et sont affectés par des glissements synsédimentaires intraformationnels ou "slumpings", apparemment sans grand déplacement. Ces calcaires contiennent également des silex en rognons noirs distribués chaotiquement ;

- de 80 à 115 m, soit sur 35 m, on retrouve des gros bancs métriques de calcaires blanc à blanc-gris, compacts, sans silex, séparés par des interbanques centimétriques. De nombreuses empreintes de grands inocérames (10 à 20 cm) sont visibles (déterminations feu Annie DHONDT) : *Trochoceras nahorianensis* (KOCIUBYNSKI), *T. ianjonaensis* (SORNAY), *T. radius* (QUAAS) ainsi qu'une espèce de plus petite taille : *Endocostea cf. ghadamesensis* (TROEGER & ROELICH). Entre 90 et 92 m est localisée la première ammonite de l'espèce *Pachydiscus neubergicus* (VON HAUER) cf. in HENNEBERT *et alii* (2009).

En plaques minces, tous ces calcaires montrent un fond micritique où sont conservés en texture wackestone de nombreux foraminifères planctoniques et quelques formes benthiques ainsi que des bioclastes divers.

Membre Gouss (coupes ELF de 115 à 125 m et ELG de 6 à 17,20 m) : alternances supérieures.

Les interbanques deviennent plus épais et plus marneux, ce qui caractérise le Membre Gouss. À la base, on note encore un exemplaire de *P. neubergicus* tandis que, vers le sommet de ELF, une empreinte d'ammonite de 20 cm de diamètre, assez usée, est trouvée dans les bancs érodés par l'oued à ELF 122,40 m et correspond à un *Pachydiscus* sp.

À 300 m environ à l'est de la coupe ELF, l'oued El Kerma offre une section très bien exposée des deux aspects supérieurs de la barre Ncham (c'est-à-dire environ 10 m de calcaires montrant des glissements synsédimentaires avec des silex et environ 35 m de gros bancs métriques de calcaires sans silex) surmontés des alternances Gouss qui, elles, passent à la Formation El Haria. La partie supérieure du dernier banc calcaire au sommet du Membre Gouss est bien dégagée grâce au déblaiement par l'érosion des premières marnes El Haria sus-jacentes. Ce dernier banc constitue une belle surface structurale qui expose des empreintes d'inocérames et de *Zoophycos* ainsi que diverses bioturbations. En revanche, le sommet de ce banc ne présente aucune recristallisation, ni perforation, ni glauconitisation ou phosphatisation qui pourraient le faire interpréter comme un véritable hardground (comme l'ont malencontreusement qualifié Li et alii, 1998).

Formation El Haria (nommée par BUROLLET, 1956). Coupe ELG, de 17,20 m à 50,00 m et au-delà (cf. Fig. 2) : marnes grises avec quelques bancs carbonatés.

- de 17,20 à 19,00 m : marnes grises, un peu calcarénitiques (bioclastes de lamellibranches et d'échinodermes) à la base, en contact avec le dernier banc de la Formation Abiod. À 17,60 m, 18,10 m, 18,35 m et 18,80 m s'intercalent des bancs de marnes plus carbonatées ; le troisième banc présente une altération jaunâtre en surface et expose de très grands *Zoophycos* (50 à 80 cm) ;

- de 19 à 31 m : marnes grises avec quelques passées plus carbonatées de 10 à 30 cm.

- de 31,00 à 36,70 m : marnes grises admettant 5 petits bancs de calcaires de 30 à 40 cm d'épaisseur, à altération jau-

nâtre en surface, successivement à 32,30 m, 34,10 m, 34,70 m, 35,80 et 36,00 m, succédant à deux petits bancs de calcaires marneux à 31,00 m et 31,50 m. Les bancs à 34,10 m et 34,70 m contiennent d'assez nombreuses ammonites du genre *Pachydiscus*. Les bancs à 35,80 m et 36,00 m sont superposés et le sommet du dernier forme une grande surface sur laquelle s'appuient les marnes sus-jacentes.

Selon le cliché 4B publié par Li et alii (1999), c'est au sommet de ces petits bancs que les auteurs placeraient leur limite Campanien-Maastrichtien (si on utilise leur critère "First Occurrence *Rugoglobigerina hexacamerata*" comme base de leur "Maastrichtien") ;

- de 36,70 à 50,00 m : marnes grises à noirâtres avec quelques rares passées légèrement plus carbonatées vers environ 39 et 40 m, entre 43 et 44 m et à 46,80 et 48,00 m.

Pour résumer, plusieurs **biohorizons** à valeur de **lignes-temps** auront une grande importance pour effectuer des corrélations régionales ou à plus grande échelle avec les ammonites :

- les niveaux d'émergence et d'extinction de *Nostoceras* (*Bostrychoceras*) *polyplocum* ;

- le niveau de plus grande abondance de *Pseudokossmaticeras brandti* ;

- les niveaux d'émergence et d'extinction de *Nostoceras* (*Nostoceras*) cf. *hyatti*.

2.3. Cyclostratigraphie et durée de dépôt des unités litho-et biostratigraphiques

Il a été montré dans une publication récente que la méthode cyclostratigraphique constituait un outil digne de confiance de la mesure du temps de dépôt d'une unité litho- ou biostratigraphique dans le cas d'une sédimentation rythmique comme l'est celle de l'Abiod (HENNEBERT et alii, 2009). Nous verrons successivement les trois ensembles : barre supérieure, marnes intermédiaires et barre inférieure. Les valeurs présentées sont issues de la fig. 8 in HENNEBERT et alii (2009). Elles sont résumées dans le tableau 1 où T100 représente le temps déduit des cycles d'excentricité de $\pm 100\ 000$ ans et T20 le temps déduit des cycles de précession de $\pm 20\ 000$ ans. La ligne "66" indique la position la plus probable de la limite Campanien-Maastrichtien et la ligne "76" indique le niveau d'émergence de *Nostoceras* (*Bostrychoceras*) *polyplocum*.

unités lithologiques		T100	T20	(T100+T20)/2	durée	durée
index	épaisseur	lu	lu	calculé	calculée	admise
		(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)	(Ma)
	ELHARIA					
125		2,65	2,55	2,60±0,05		
	10m GOUSS				0,325±0,025	0,30 à 0,35
115		2,35	2,20	2,275±0,075		
	NCHAM				2,275±0,075	2,20 à 2,35
	85m 66	0	0	0		
					1,70±0,10	1,60 à 1,80
30		-1,80	-1,60	-1,70±0,10		
	9m GOURBEUJ				0,575±0,012	0,56 à 0,58
21/99		-2,30	-2,05	-2,175±0,125		
	77m AKHDAR				2,40±0,05	2,35 à 2,45
87/22		-4,65	-4,50	-4,475±0,075		
	MAHDI				0,275	
	17m 76				0,425±0,175	0,25 à 0,60
					0,15	
70		-5,25	-4,75	-5,00±0,25		
	70m HARAOUA				5,175±0,50	4,67 à 5,67
0		-10,90	-9,45	-10,175±0,75		
	(17m) ASSILA				(0,425±0,15)	(0,27 à 0,57)
		(-11,50)	(-9,70)	(-10,60±0,90)		
	KEF					

Tableau 1 : Durées des membres de la Formation Abiod à partir de l'analyse cyclostratigraphique des alternances qui les composent (selon HENNEBERT *et alii*, 2009). Colonnes T100 et T20 : position des limites des membres dans l'échelle du temps, le 0 étant posé à la limite Campanien-Maastrichtien. Le temps est compté en positif vers le haut et en négatif vers le bas (F.R.)

Remarque : dans le tableau 1, les valeurs de T100 et de T20 reprises dans leurs colonnes respectives proviennent de la lecture du graphique de la fig. 8 de HENNEBERT *et alii* (2009) et apparaissent avec 2 chiffres significatifs après la virgule. Dans les 2 colonnes suivantes les valeurs moyennes $(T100 + T20)/2$ et les durées de dépôt des membres qui en sont déduites sont issues d'un simple calcul qui amène à avoir parfois 3 chiffres après la virgule, le dernier n'étant évidemment pas significatif. La dernière colonne affiche une durée de dépôt vraisemblable qui peut être admise pour chacun des membres de la Formation Abiod en tenant compte de l'incertitude entre les durées issues de T100 et de T20.

Barre supérieure, durées moyennées $(T100+T20)/2$

Membre Gouss (10 m) : 0,325 Ma

Membre Ncham (85 m) : 3,975 Ma

Membre Gourbeuj (9 m) : 0,475 Ma

soit une durée moyenne totale de 4,775 Ma pour les 104 m de la barre calcaire supérieure, ce qui représente un taux moyen de sédimentation non décompactée de 10400 cm : 4775 ka = 2,17 cm/ka (ka = kilo-années)

Marnes intermédiaires

Membre Akhdar (77 m) : 2,40 Ma

ce qui représente un taux moyen de sédimentation non décompactée de 7700 cm : 2400 ka = 3,20 cm/ka

Barre inférieure

Membre Mahdi (17 m) : 0,425 Ma

Membre Haraoua (70 m) : 5,175 Ma

Membre Assila ("18 m") : 0,425 Ma

(en réalité le Mb. Assila n'a pas été pris en compte dans les relevés des alternances par le fait d'une mauvaise exposition au fond de l'oued Ed Dam ; on a admis ici que son allure et son épaisseur étant apparemment voisines de celles du Mb. Mahdi, sa durée pouvait également être voisine de celle de ce dernier). De cette façon, une durée moyenne totale de 6,025 Ma (soit 5,20 à 6,85 Ma en tenant compte des incertitudes) pourrait être acceptée pour le dépôt des calcaires de la barre inférieure, soit un taux moyen de sédimentation non décompactée de 10500 cm : 6025 ka = 1,74 cm/ka.

Au total, le temps de dépôt de la Formation Abiod comprenant barre inférieure, marnes intermédiaires et barre supérieure avoisine les 13,2 Ma pour 286 mètres de couches.

Zone à *Radotruncana calcarata*

En retournant à la fig. 8 *in* HENNEBERT *et alii* (2009), on trouve pour *calcarata* :

T100 : $3,90 - 3,30 = 0,60$ Ma

T20 : $3,60 - 2,65 = 0,95$ Ma

soit une moyenne de 0,77 Ma pour la durée minimale de la zone.

Toutefois, en reprenant le tableau des calculs de base (non publié) ayant servi à élaborer cette fig.8, on relève pour T100 une durée de 765 ka et pour T20 de 830 ka, ce qui comprend la valeur obtenue à partir de la fig. 8, aux approximations de lecture près et donne cette fois une valeur moyenne de 0,79 Ma. C'est celle que nous utiliserons.

Zone à *Nostoceras (Bostrychoceras) polyplocum*

De nombreux spécimens du groupe *polyplocum* ont été repérés dans les coupes partielles ELD et ELE avec une distribution allant dans nos levés de ELD 76 à ELE 45. En partant de la fig.8, ou mieux, à partir du tableau de calcul, on note pour T100 une durée de 988 ka et pour T20 de 964 ka, soit une moyenne de 976 ka ou 0,97 Ma.

3. Les foraminifères planctoniques (M.M. & F.R.)

Dans les sections ELA à ELG, 115 échantillons ont été prélevés sur 395 m de coupes partielles levées représentant une suite synthétique de 323 m dont 281 m d'Abiod échantillonnés. Sachant qu'il existe quelques lacunes de visibilité à la base, on peut estimer l'épaisseur totale de la Formation Abiod à environ 286 m. Sur l'ensemble des échantillons, 82 étaient suffisamment marneux pour subir un traitement par lavage précédé d'un trempage à l'eau oxygénée afin d'assurer le dégagement des microfossiles. Les autres prélèvements de calcaires ou de calcaires marneux ont suivi la filière de préparation en plaques minces ou de traitement à l'acide acétique. Si l'on regroupe les informations fournies par les échantillons des parties chevauchantes des coupes partielles, les spécimens dégagés et en plaques minces se répartissent sur 86 niveaux d'échantillonnage, tous indexés dans la Fig. 3.

Les déterminations du matériel dégagé, réalisées par M.M. et F.R., suivent les figures et les critères exposés dans l'Atlas des foraminifères planctoniques du Crétacé supérieur (ROBASZYNSKI *et alii*, 1984). La préparation des spécimens et leur photographie au Microscope électronique à balayage de l'ETAP à Tunis ont été effectuées par F.R.

3.1. Distribution verticale

Pour toute la section, 28 taxons principaux ont été répertoriés dont 6 très rares ou à détermination incertaine. Certaines espèces sont réparties sur toute la succession comme *Globotruncanita stuartiformis* (DALBIEZ), *Globotruncana orientalis* EL NAGGAR, *Globotruncana arca* (CUSHMAN), *Globotruncana linneiana* (d'ORBIGNY), *Globotruncana bulloides* VOGLER, *Contuso-*

truncana fornicata (PLUMMER), tandis que d'autres ont leur première et/ou leur dernière présence bien localisées et constituent des repères biostratigraphiques importants (Fig. 3). Parmi ces espèces marqueurs on peut citer :

- *Globotruncanita elevata* (BROTZEN) : abondante dans les marnes Kef, elle est bien représentée dans la barre inférieure (vue en plaques minces) et s'éteint au début des marnes intermédiaires Akhdar.

- *Contusotruncana patelliformis* (GANDOLFI) : les premiers spécimens issus d'une différenciation de *C. fornicata* apparaissent à la transition marnes Kef - calcaires Abiod et les derniers sont notés vers le sommet des marnes Akhdar. Toutefois, la morphologie "*patelliformis*" doit certainement se poursuivre plus haut, c'est-à-dire dans les calcaires Ncham mais, en plaques minces, une bonne détermination spécifique nécessite des sections rigoureusement axiales, ce qui est rare.

- *Globotruncana ventricosa* WHITE : les premiers morphes proches de cette espèce se manifestent déjà dans la barre inférieure Haraoua mais le développement de l'espèce est très net dès les alternances Mahdi puis dans les marnes Akhdar et jusqu'au sommet de la coupe.

- *Globotruncana aegyptiaca* NAKKADY, *Radotruncana subspinosa* (PESSAGNO), *Globotruncanita pettersi* (GANDOLFI) et *Globotruncana falsostuarti* SIGAL : ces taxons apparaissent dans les alternances Mahdi ou à la base des marnes Akhdar, puis se développent jusqu'au sommet de la coupe.

- *Radotruncana calcarata* (CUSHMAN) : la distribution verticale totale de l'espèce dans les marnes intermédiaires Akhdar est comprise entre ELE 43,50 et 73,70 m, soit sur au moins 30 mètres. L'espèce se reconnaît très bien par la présence d'expansions tubuliformes des loges du dernier tour.

- *Globotruncanita angulata* (TILEV), *Gansserina gansseri* (BOLLI) et *Gansserina wiedenmayeri* (GANDOLFI) : ces espèces sont rares mais présentes dès la partie élevée des marnes Akhdar, puis dans les alternances Gourbeuj ainsi que dans la barre calcaire supérieure Ncham et au-dessus. L'émergence de *G. gansseri* sera discutée plus loin au § 4.2.

- *Archaeoglobittruncana* cf. *kefiana* (SALAJ & MAAMOURI) : de rares très petites formes faisant penser à ce taxon ont été notées à la transition marnes Akhdar - alternances Gourbeuj mais leur aspect fragmentaire ne permet pas une détermination certaine.

- *Globotruncanita stuarti* (de LAPPARENT) : à Ellès, les premiers spécimens interviennent vers la base de la barre

supérieure Ncham (alors qu'à Kalaat Senan des individus - bien que rares - sont déjà individualisés dès le Membre Mahdi).

- *Contusotruncana contusa* (CUSHMAN) : quelques rares spécimens rapportés à cette espèce ont été remarqués en plaques minces dans la barre supérieure Ncham puis en spécimens dégagés dans plusieurs échantillons des marnes El Haria. Ce sont des formes à spire assez haute qui se rapprochent beaucoup de l'espèce *C. contusa* ou de *C. patelliformis* très évoluée entrant plutôt dans le spectre de *C. contusa*. La partie étudiée de la coupe ne monte pas assez haut dans les marnes El Haria pour voir apparaître les *C. contusa* typiques, très coniques et à très grand nombre de tours ainsi que les *Abathomphalus mayaroensis* (BOLLI) et *Racemiguembelina fruticosa* (EGGER) dont les existences sont signalées par SAÏD (1978).

Les planches 1 à 5 figurent des espèces rencontrées dans l'ensemble de la coupe d'Ellès.

3.2. Zonation, biohorizons et lignes-temps avec les foraminifères planctoniques

En utilisant les premières et dernières présences des espèces marqueurs, on est amené à élaborer une zonation avec les foraminifères planctoniques qui est très proche de celle proposée par ROBASZYNSKI *et alii* (2000) pour la région de Kalaat Senan.

Zones telles que définies dans l'Atlas de ROBASZYNSKI *et alii*, 1984 :

- IZ = Interval Zone ;
- PRZ = Partial Range Zone ;
- TRZ = Total Range Zone.

Du bas vers le haut on a ainsi :

- *Globotruncanita elevata* PRZ : sommet défini par le début de *Globotruncana ventricosa* ;

- *Globotruncana ventricosa* IZ : définie entre le début de *G. ventricosa* et celui de *R. calcarata* ;

- *Radotruncana calcarata* TRZ : définie par la distribution verticale totale de l'espèce ;

- *Globotruncana falsostuarti* PRZ : définie entre la fin de *R. calcarata* et le début de *G. gansseri* ;

- *Gansserina gansseri* IZ : définie entre le début de *G. gansseri* à Ellès (dans les alternances du Membre Gourbeuj, à la base de la barre supérieure Ncham) et l'émergence de *C. contusa* ;

- *Contusotruncana contusa* IZ : base définie par la première présence de l'espèce.

Remarque : il faut relever que dans la coupe de Kalaat Senan (ROBASZYNSKI *et alii*, 2000), les premières *Globotruncana ventricosa* étaient déjà présentes au sommet des marnes Kef, ce qui entraînait une Zone à *Globotruncana*

ventricosa plus développée vers le bas.

Pour résumer, parmi les événements biostratigraphiques décrits ci-dessus, si l'on veut pointer les biohorizons à valeur internationale, on peut retenir **trois lignes-temps** ayant une position identique dans les coupes d'Ellès et de Kalaat Senan :

- l'extinction de *Globotruncanita elevata* qui correspond sensiblement à l'émergence de *Radotruncana calcarata*, vers la base des marnes Akhdar ;

- l'extinction de *Radotruncana calcarata*, un peu au-dessus du milieu des marnes Akhdar ;

- les premières apparitions presque synchrones de *Gansserina gansseri* et de *Globotruncanita angulata*, vers le sommet des marnes Akhdar.

4. La position de la limite Campanien-Maastrichtien (F.R.)

4.1. Historique

La position de la limite Campanien-Maastrichtien (Cp-Ma) a beaucoup fluctué dans la Formation Abiod selon les auteurs successifs.

À l'origine, en dehors de la Tunisie, pour de GROSSOUVRE (1901), "*Turrilites polyplocus*" se trouve dans le Campanien, mais vers le bas de son "Campanien supérieur", puisque l'auteur ne reconnaît pas l'existence du Maastrichtien.

PERVINQUIÈRE (1907) considère que la Zone à *Bostrychoceras polyplocus* se trouve dans des calcaires qui "correspondent aux couches supérieures du Campanien" mais que "divers auteurs placent même dans le Maastrichtien".

Un peu plus tard HAUG (1911) reprend la Zone à *B. polyplocus*... mais la place à la base de son "Maastrichtien" (sans que l'on sache exactement quel est le critère qu'il a retenu pour décider de ce choix).

En 1941 (p. 270), MARIE est le premier auteur à populariser l'espèce de foraminifère "*Globotruncana calcarata*" pour marquer un "Campanien inférieur". Le taxon remontera ensuite dans le Campanien supérieur terminal (CUSHMAN, 1946 ; KIKOINE, 1945, 1947 ; DESTOMBES & MARIE, 1947 ; SIGAL, 1952 ; cf. AUROUZE & de KLASZ, 1954).

Dans sa thèse, BUROLLET (1956) reprend le problème de la position de la limite Cp-Ma suivant que soit utilisé le concept de HAUG (1911 : Zone à *B. polyplocus* à la base du "Maastrichtien") ou celui des micropaléontologistes (le Campanien se termine avec l'extinction de "*Globotruncana calcarata*", c'est à dire un peu au-dessus de *Bostrychoceras polyplocus* abondant).

Le concept des micropaléontologistes (dernière présence de "*Globotruncana calcarata* = fin du Campanien") sera adopté par la plupart des géologues ayant travaillé sur des coupes d'Afrique du Nord parmi lesquels DALBIEZ (1955),

BUROLLET & SAINFELD (1956), SIGAL (1967, 1977, 1987), SALAJ (1969), LEHOTSKY (1979), BELLIER *et alii* (1983), ROBASZYNSKI *et alii* (1984), BEN FERJANI *et alii* (1990), M'RABET *et alii* (1995).

Toutefois, dès 1980 (p. 101), SALAJ, reprenant la coupe du Kef, place la base du Maastrichtien non plus à l'extinction de "*Globotruncana calcarata*" mais juste au-dessus du niveau ayant livré l'ammonite *Pseudokossmaticeras brandti* trouvée à la base de la barre supérieure et considérée alors par WIEDMANN comme caractéristique du "Campanien élevé" (WIEDMANN, 1974, *in litteris* cité par SALAJ, p. 101).

Poursuivant dans ce sens, SALAJ & MAAMOURI (1982) repèrent le petit foraminifère planctonique *Rugotruncana kefiana* n. sp. (attribué plus tard au genre *Archaeoglobittruncana* par SALAJ & MAAMOURI, 1984), qui cohabite avec *Pseudokossmaticeras brandti*, les deux taxons indiquant ainsi le "Campanien". À ce moment, ils placent la limite Cp-Ma vers le haut de la barre supérieure de l'Abiod, là où apparaîtraient selon eux les premières *Globotruncana falsostuarti* que SIGAL (1952) citait dans son "Maëstrichtien" (espèce qui, selon nous, est déjà présente plus bas, dans les marnes Akhdar).

Cette position de la limite Cp-Ma au sommet de la barre supérieure ou vers son milieu est reprise par SALAJ (1983) et SALAJ & MAAMOURI (1984).

Revenant sur la présence de *Pseudokossmaticeras brandti* à la base de la barre supérieure, l'ammonite est cette fois interprétée comme marquant le Maastrichtien basal par WIEDMANN se référant à THIEDIG & WIEDMANN (1976) *in* SALAJ & WIEDMANN (1989, p.303), âge qui rejaillit sur *Archaeoglobittruncana kefiana* -qui cohabite avec *P. brandti*- et qui signerait alors, elle aussi, le Maastrichtien basal.

C'est ce qui a été retenu par NEGRA & M'RABET (1992) pour la coupe de Kalaat Senan où la base de la Zone à *A. kefiana* désigne la base du Maastrichtien et correspond à peu près à la base de la barre supérieure.

Trois années plus tard, M'RABET *et alii* (1995) se rallient pourtant à l'opinion que le Campanien se termine avec la Zone à "*Globotruncana calcarata*", tandis que DALI (1995), dans la notice de la feuille de Gafour, place la limite Cp-Ma vers le sommet de la barre inférieure et attribue au Maastrichtien les alternances intermédiaires dans lesquelles il ne signale pas la présence de *G. calcarata*, ...

Dans la région de Kalaat Senan, le Crétacé supérieur a été révisé par ROBASZYNSKI *et alii* (2000) qui placent **la limite Cp-Ma au tiers inférieur de la barre supérieure Ncham**, à l'articulation entre l'extinction de l'ammonite *Nostoceras (Nostoceras)* cf. *hyatti* STEPHENSON (Campanien terminal) et l'apparition de l'ammonite *Nostoceras (Nostoceras)* aff. *magdadiae* LEFELD & UBERNA (Maastrichtien basal), suivant en cela les critères recommandés par la Sous-commission internationale de

stratigraphie du Crétacé (RAWSON *et alii*, 1996). Rappelons que *Nostoceras magdadiae* est une espèce définie dès la base du Maastrichtien dans la Prairie Bluff Chalk d'Alabama et du Mississippi (COBBAN & KENNEDY, 1995).

Pour ces deux auteurs, la base du Maastrichtien est prise en Europe à l'émergence de *Belemnella lanceolata* où cette bélemnite surmonte immédiatement l'assemblage d'ammonites à *N. hyatti*. Cela veut dire que c'est l'extinction de *N. hyatti* qui constitue la ligne-temps représentant la base du Maastrichtien dans la Prairie Bluff Chalk et elle est suivie par l'entrée de *N. magdadiae*.

Cette limite Cp-Ma qui correspond au sommet de la Zone à *Nostoceras hyatti* se place un peu plus haut que les derniers *Pseudokossmaticeras brandti* (cette dernière espèce étant manifestement dans un Campanien élevé selon l'étude de HANCOCK & KENNEDY, 1993 et KENNEDY *et alii*, 2001).

Dans la coupe de l'oued Ncham, *P. brandti* a été récolté avec *N. cf. hyatti* à la base de la barre supérieure, dans les alternances du Membre Gourbeuj. En outre, *N. cf. hyatti* a été trouvé plus haut dans les calcaires Ncham, au tiers inférieur de la barre supérieure à Kalaat Senan (ROBASZYNSKI *et alii*, 2000).

Cette conception de la limite Cp-Ma a été retenue et suivie par JARVIS *et alii* (2002) dans leur étude de la coupe de l'Abiod d'El Djebil au Kef.

4.2. Le stratotype de la limite Campanien-Maastrichtien à Tercis (Landes, France), comparaison avec Ellès

En 1995, au Symposium de Bruxelles dédié aux limites des étages du système Crétacé, sur proposition du Groupe de travail sur le Maastrichtien, la Sous-commission internationale de stratigraphie du Crétacé a recommandé de choisir l'ancienne carrière de Tercis pour placer le GSSP (Global standard boundary Stratotype, Section and Point) de la limite Campanien-Maastrichtien (RAWSON *et alii*, 1996), encore dénommé PSM (Point Stratotypique Mondial) par ODIN *et alii* (2005). La décision a été ratifiée par l'International Union of Geological Sciences en février 2001 (*in* ODIN & LAMAURELLE, 2001). En même temps, un volume fort de 881 pages a été publié pour caractériser à Tercis une limite Cp-Ma multicritère (ODIN rédacteur et 70 auteurs, 2001), suivi de plusieurs notes synthétisant les principaux résultats (ODIN & LAMAURELLE, 2001 ; ODIN, 2002 ; cf. ROBASZYNSKI, 2002).

La coupe de Tercis est intéressante par la coexistence de groupes et d'espèces paléontologiques-clés comme les ammonites, les foraminifères planctoniques, les nannofossiles, dinoflagellés, etc. dans une succession à faciès calcaire continu.

Parmi les critères biostratigraphiques mis en évidence à Tercis, on retiendra ceux correspondant aux ammonites et aux foraminifères

planctoniques par le fait qu'on retrouve certains d'entre eux en Tunisie centrale, cf. Fig. 4, ce qui permettra d'effectuer des comparaisons et des corrélations entre Tercis et les deux coupes tunisiennes de Kalaat Senan et d'Ellès :

- Zone à *Nostoceras (Bostrychoceras) polyplacum* avec l'espèce index bien représentée ;

- Zone à *Nostoceras hyatti*, dernière zone du Campanien, avec l'espèce index également représentée et accompagnée de *Pseudokossmaticeras brandti* vers le bas ;

- Zone à *Pachydiscus neubergicus* avec l'espèce index émergeant à la partie inférieure du Maastrichtien ;

- *Radotruncana calcarata* apparaît dans la moitié supérieure de la Zone à *N. (B.) polyplacum* et l'espèce s'éteint avant la Zone à *N. hyatti*, c'est à dire bien avant la limite Campanien-Maastrichtien.

En revanche, on ne retiendra pas ici comme critères de corrélation à grande distance de la coupe d'Ellès plusieurs biohorizons relatifs aux foraminifères planctoniques suivants.

Le biohorizon de l'apparition de *Rugoglobigerina scotti* à Tercis

La citation de l'espèce est donnée par ARZ & MOLINA (2001) qui la considèrent comme un "excellent index fossile" de la proximité de la limite Campanien-Maastrichtien et la proposent comme index de zone. Toutefois, plusieurs éléments modèrent l'utilisation de cette espèce en tant qu'index de zone international, quoique valable au niveau régional comme à Tercis et dans l'Espagne proche :

- l'espèce *scotti* est une *Rugoglobigerina*, genre où la surface des loges est caractérisée par des pustules alignées suivant une "meridional pattern" (voir pour exemple figs. 4abc de la pl. 50 in ROBASZYNSKI *et alii*, 1984) ; le spécimen figuré par ARZ & MOLINA (2001), pl. II, figs. 4-5, ne semble pas montrer ce caractère (pourtant bien net chez *Rugoglobigerina hexacamerata* de leur pl. I, figs. 9-11) ;

- en admettant qu'il s'agisse pourtant de l'espèce *scotti*, ce taxon paraît rare si l'on se réfère à leur tableau de distribution de la fig.1 et, dans ce sens, ce choix semble dépasser quelque peu sa valeur comme marqueur de zone international.

Le biohorizon de l'apparition de *Contusotruncana contusa* à Tercis

Ici, le problème de détermination spécifique réside essentiellement dans le concept de l'espèce. En effet, *C. contusa* constitue le dernier terme d'une série évolutive anagénétique où trois "espèces" morphologiques ont été retenues pour jaloner ce continuum : *C. fornicata*—>*C. patelliformis*—>*C. contusa* (cf. text-fig. 5 in ROBASZYNSKI *et alii*, 1984 ; FONDECAVE-

WALLEZ, 1988a). Dans cette série la convexité de la face spirale croît graduellement depuis le Santonien jusqu'à la fin du Maastrichtien, soit pendant près de 20 Ma. Dans l'espèce *C. fornicata* la spire est basse à moyennement haute et le diamètre est généralement compris entre 0,3 et 0,5 mm ; chez *C. patelliformis* la spire devient modérément haute à haute et le diamètre est compris entre 0,5 et 1 mm ; enfin, *C. contusa* se caractérise par une spire très haute, à grand nombre de tours et à surface ondulée, avec un diamètre à valeur élevée, souvent compris entre 0,7 et 1,5 mm. Comme dans toute lignée anagénétique, il existe de nombreux intermédiaires entre ces "espèces-types" et, en particulier entre *C. patelliformis* et *C. contusa*. Par ailleurs, les morphotypes évolués de *fornicata* coexistent après la différenciation des premières *patelliformis* et les deux formes coexistent encore après la différenciation des premières *contusa* et d'autres espèces proches comme *C. walfischensis* et *C. plicata* (cf. tableau phylogénétique de la text-fig. 8 in ROBASZYNSKI *et alii*, 1984). Pour fixer les limites morphologiques des espèces en cause, idéalement, on pourrait envisager de déterminer un "indice de profil" représenté par le rapport hauteur (H) / diamètre (D) de la spire, mais ce serait sans tenir compte des variations possibles des morphologies qui dépendent des conditions paléobathymétriques, paléocéologiques, paléogéographiques etc. Une méthode de "grade datation" a même été tentée pour déduire un "âge numérique" à partir de la mesure d'un tel indice (FONDECAVE-WALLEZ, 1988a, 1988b), méthode qui a été contestée plusieurs fois car "inconciliable avec les données paléontologiques et les observations régionales" et ne pouvant donner des âges à 0,1 Ma près alors qu'un redoublement tectonique de plusieurs Ma n'avait pas été décelé dans des coupes pyrénéennes (BILOTTE, 1994 ; BILOTTE *et alii*, 1999).

Ainsi, tout micropaléontologiste peut déterminer des morphotypes typiques de *fornicata*, de *patelliformis* et de *contusa*, ... mais il aura toujours des difficultés à nommer les intermédiaires situés au voisinage des espèces-types : c'est le cas quand il s'agit de nommer une forme que l'on décrit qualitativement comme une "*patelliformis* évoluée" ou "*première contusa*".

À titre d'exemple, nous avons calculé l'indice H/D d'un certain nombre de morphotypes considérés par différents auteurs comme représentatifs des "espèces-types" constituant les jalons de la série anagénétique *fornicata*—>*patelliformis*—>*contusa* et choisis pour être figurés et publiés. L'indice est calculé ci-dessous à partir de mesures effectuées sur des spécimens figurés dans l'**Atlas** de foraminifères planctoniques du Crétacé supérieur (ROBASZYNSKI *et alii*, 1984) et dans les planches de ION & ODIN (2001) : **I. & O.**

C. fornicata

Atlas :	pl. 38,	fig. 1b	H/D = 0,34
		fig. 2b	H/D = 0,40
		fig. 3b	H/D = 0,33
		fig. 5b	H/D = 0,34
		moyenne pour l'Atlas : 0,35	
I. & O. :	pl. VI,	fig. 129	H/D = 0,37 (" <i>fornicata</i> A")
		fig. 136	H/D = 0,51 (" <i>fornicata</i> B")

C. patelliformis

Atlas :	pl. 39,	fig. 2b	H/D = 0,51	
		fig. 1b	H/D = 0,55	
		fig. 3b	H/D = 0,58	
		moyenne pour l'Atlas : 0,54		
		I. & O. :	pl. VII,	fig. 148
pl. VI,	fig. 140			H/D = 0,55 (" <i>fornicata</i> B / <i>contusa</i> ")
	fig. 137			H/D = 0,62 (" <i>fornicata</i> B / <i>contusa</i> ")

C. contusa

Atlas :	pl. 36,	fig. 2b	H/D = 0,55
		fig. 1b	H/D = 0,61
	pl. 37,	fig. 1b	H/D = 0,71
		fig. 2b	H/D = 0,76
		fig. 3b	H/D = 0,86
	moyenne pour l'Atlas : 0,70		
I. & O. :	pl. VI,	fig. 144	H/D = 0,58
		pl. VII,	fig. 146

Bien que les résultats n'aient pas de valeur statistique, le nombre de spécimens mesurés étant trop faible, on voit néanmoins que les auteurs ont sélectionné des morphotypes qualitativement assez typiques.

Les relevés ci-dessus appellent quelques commentaires :

- avec un indice de 0,51, la "*fornicata* B" de I. & O tendrait vers l'espèce morphologique jalon *patelliformis* ;
- la "*fornicata* B / *contusa*" (fig. 140) de I. & O serait à placer également dans le jalon *patelliformis* tandis que le spécimen de la fig.140 se trouverait déjà dans le spectre de *contusa* ;
- en ne tenant compte que de l'indice de profil, les *contusa* des figs. 144 (indice 0,58) et 146 (indice 0,59) se rapprocheraient de *patelliformis* ; toutefois, tout au moins pour la *contusa* 146 (la photographie du spécimen 144 ne permet pas de voir le nombre de tours), il s'agit plus certainement d'une *contusa* car la vue de la face spirale 146 montre un grand nombre de tours et une surface ondulée, deux caractères majeurs de l'espèce *C. contusa*.

De la sorte, on peut comprendre que l'indice de profil peut donner une indication immédiate sur la convexité d'une forme mais la détermination finale ne peut pas dépendre que de cet indice, notamment pour *C. contusa* : elle doit tenir compte également des autres critères spécifiques comme la taille, le nombre de tours, l'aspect de la surface des loges, l'allongement

des loges, l'existence ou non de sutures en relief entre les loges, *etc.*

En outre et pour réaliser des comparaisons plus complètes avec les autres intervenants planctoniques sur la coupe de Tercis, il aurait été intéressant que des "intermédiaires" aient été figurés, par exemple les "*patelliformis/contusa*" signalés par CARON & ODIN (2001, Fig. 1, p. 336), ou bien les "*contusa*" juste au-dessous et au-dessus de la limite Campanien/Maastrichtien de ARZ & MOLINA (2001, Fig. 1, p. 342), ou encore les "*fornicata* B" et les "*patelliformis*" proches de la limite Campanien/Maastrichtien de ION & ODIN (2001, Fig. 2, p. 353). On aurait alors pu s'assurer que c'est bien le même concept de "*contusa*" qui était pratiqué par les différents auteurs.

Ces remarques n'entachent d'ailleurs en aucune façon la valeur de la limite Campanien-Maastrichtien telle qu'elle a été conçue en tant que limite multicritère, définie par la moyenne arithmétique de la position d'une douzaine de biohorizons issus de six groupes paléontologiques importants. Même si les concepts d'espèce venaient à être quelque peu modifiés par des études paléontologiques ultérieures, la position du "Clou d'Or" (le "Golden Spike" des auteurs anglo-saxons) fixée à Tercis à la cote 115,2 devrait toujours marquer la base du Maastrichtien. C'est bien là tout l'intérêt de ce concept de limite multicritère imaginé par ODIN (2002) de ne pas se focaliser sur "l'apparition" d'un "taxon magique", en l'occurrence l'ammonite *Pachydiscus neubergicus*. En effet, la première présence de cette espèce a été notée à 116,1 par COURVILLE & ODIN (2001) mais il existe un continuum morphologique entre *P. neubergicus* et son ancêtre *P. perfidus* (KENNEDY & SUMMESBERGER, 1986 ; ODIN *in* ODIN *et alii*, § 9, 2001), de la même façon qu'entre *C. patelliformis* et *C. contusa*, et l'on sait combien il est difficile de fixer une limite dans un continuum ! C'est ainsi qu'après les premières comparaisons entre les coupes de Tercis et de la Vistule (WALASZCZYK, 2004), MACHALSKI (2005), repris *in* MACHALSKI *et alii* (2007) en arrive, avec ses critères personnels, à considérer que *P. neubergicus* serait déjà présent à Tercis à 98,2 (pour lui, la forme figurée Pl. VI, 45 comme *P. perfidus/neubergicus* par COURVILLE & ODIN, 2001, serait un *P. neubergicus*). En conservant la limite à 115,2 cela impliquerait que *P. neubergicus* apparaîtrait dans le Campanien terminal tandis que *N. (N.) hyatti* empièterait fortement dans le Maastrichtien si la base du Maastrichtien était descendue à 98,2. Aussi, pour lui comme pour tous ceux favorables à l'utilisation de l'apparition d'un seul taxon pour définir la base d'un étage, le fait de vieillir l'émergence de *P. neubergicus* impliquerait obligatoirement de modifier la position du "Clou d'Or", c'est à dire d'aller à l'encontre de la volonté de l'IUGS de stabiliser les limites d'étage. En outre, chaque nouvelle collecte ou chaque changement de concept d'espèce amènerait à modifier la position des

limites qui seraient entraînées alors dans un yoyo perpétuel. Mais, de toute façon, avant de plonger dans une remise en question d'une décision de l'IUGS qui serait lourde de conséquences quant à la stabilité de nombreuses limites et en particulier de celle du Campanien-Maastrichtien, ne faudrait-il pas revoir ce qu'il en est réellement des critères de définition de l'espèce, surtout dans le cas d'une évolution anagénétique comme c'est le cas entre *perfidus* et *neubergicus* et, pour cela qu'un large éventail de spécialistes de ce groupe fossile se réunisse pour une discussion en face des collections de spécimens.

La Zone à *Gansserina gansseri* à Tercis

Dans la zonation standard des foraminifères planctoniques (ROBASZYNSKI coord. in HARDENBOL *et alii*, 1998), la première présence de l'espèce *gansseri* étant signalée à la base de la Zone à *N. hyatti*, la Zone à *G. gansseri* recouvre la partie supérieure élevée du Campanien et la partie inférieure du Maastrichtien, l'espèce se poursuivant ensuite presque jusqu'au sommet du Maastrichtien. Cette distribution de l'espèce dès la partie supérieure du Campanien est reconnue en Tunisie où elle est contrôlée par rapport aux ammonites tant dans la coupe de Kalaat Senan que dans celle d'Ellès.

À Tercis, la première présence de l'espèce *G. gansseri* semble plus jeune quand on examine les contributions des divers auteurs ayant travaillé sur la coupe.

- CARON & ODIN (2001) ne signalent pas la présence de l'espèce (mais l'échantillonnage correspondait à une étude préliminaire avec peu de matériel lavé disponible qui a montré que les "espèces-indice" étaient rares).
- ARZ & MOLINA (2001) ne signalent pas non plus l'espèce.
- ION & ODIN (2001) remarquent la présence de l'espèce mais près de 50 m au-dessus de la limite Campanien-Maastrichtien.
- Rappelons qu'antérieurement SIMMONS *et alii* (1996) ne notent pas de *G. gansseri* dans la section de Tercis et que WARD & ORR (1997) ne la citent que très haut dans la coupe, largement au-dessus de la limite Campanien-Maastrichtien telle que celle-ci fut définie ultérieurement dans ODIN *réd.* (2001).

• La seule évocation de "*G. gansseri*" aux alentours de la limite Campanien-Maastrichtien dans la carrière de Tercis n'apparaît que dans le tableau de distribution des foraminifères planctoniques de la fig.3 de la note de PEYBERNÈS *et alii* (1997). L'espèce y est notée vers le niveau 112, soit un peu en dessous du GSSP -ou PSM selon ODIN *et alii*, 2005- de la limite Campanien-Maastrichtien (qui se trouve à 115,2), puis nettement plus haut, vers 132 et 158. Toutefois, en l'ab-

sence de figuration du ou des spécimens de la première présence vers le niveau 112 (le nombre de spécimens n'est pas indiqué) et en souhaitant la publication de cette (ces) figuration(s), il n'est pas possible de considérer cette première citation comme avérée.

4.3. La limite Campanien-Maastrichtien à Kalaat Senan

Près du village de Kalaat Senan, dans les coupes des oueds Assila, Gourbeuj et Ncham, la Formation Abiod montre un fort développement avec une puissance de près de 500 m (ROBASZYNSKI *et alii*, 2000). Parmi les résultats biostratigraphiques on peut extraire pour comparaison la distribution verticale des marqueurs identifiés dans le stratotype de Tercis. C'est ce qui apparaît dans la figure 4 où l'on voit :

- *N. (B.) polyplacum* sur plus de 70 m d'épaisseur, du sommet des calcaires de la barre inférieure Haraoua jusqu'au tiers inférieur des marnes intermédiaires Akhdar ;
- *Radotruncana calcarata* sur près de 80 m, les premières coexistant avec les derniers *N. (B.) polyplacum* ;
- *Gansserina gansseri*, bien que rare, est déjà présente au sommet des marnes Akhdar puis dans les calcaires Ncham et au-dessus ;
- *Pseudokossmaticeras brandti*, rare, est présent dans les alternances du Membre Gourbeuj ;
- *Nostoceras cf. hyatti* a été décelé à plusieurs niveaux répartis sur environ 60 m d'épaisseur, depuis les alternances Gourbeuj jusqu'au tiers des calcaires Ncham.

Ainsi, à Kalaat Senan, la limite Cp-Ma est placée là où s'arrête l'ammonite campanienne *Nostoceras cf. hyatti*, prise en relais par l'ammonite maastrichtienne *Nostoceras aff. magdaldiae*, c'est-à-dire sensiblement au tiers inférieur de la barre calcaire supérieure Ncham.

4.4. La limite Campanien-Maastrichtien à Ellès

Plusieurs marqueurs biostratigraphiques à distribution verticale courte ont été repérés dans la coupe (Fig. 4) :

- *Nostoceras (Bostrychoceras) polyplacum* est présent au sommet de la barre inférieure (vers le milieu du Membre Mahdi, à ELD 76) jusqu'à la base des marnes intermédiaires (Membre Akhdar, vers ELE 45), soit sur plus de 30 m d'épaisseur ;
- l'ammonite *Pseudokossmaticeras brandti* est présente à la base du Membre Gourbeuj et à une vingtaine de mètres environ au-dessus de la base de la barre calcaire supérieure (Membre Ncham) ;
- l'ammonite *Nostoceras cf. hyatti* a été décelée à la base du Membre Gourbeuj c'est-à-dire à la base de la barre supérieure, à peu près avec le premier *P. brandti* ;

- *Radotruncana calcarata* est connue sur un peu plus de 30 m dans la partie moyenne des marnes Akhdar (ELE 43,5 à 73,7) ;

- *Gansserina gansseri*, bien que rare, est néanmoins déterminée sur formes dégagées dans plusieurs échantillons au tout sommet des marnes Akhdar, puis dans les passages marneux des alternances Gourbeuj et, en plaques minces, dans les calcaires Ncham puis plus haut.

Ainsi, par comparaison avec la coupe très équivalente de Kalaat Senan, on peut envisager une limite Campanien-Maastrichtien quelque peu au-dessus de *P. brandti*, aux environs du niveau ELF 66 (comme dans HENNEBERT *et alii*, 2009, fig. 3), soit environ au tiers inférieur de la barre calcaire supérieure Ncham.

4.5. Suggestion à propos d'un sous-étage "Campanien supérieur"

Selon les concepts exposés au Symposium de Bruxelles en 1995 (HANCOCK & GALE, 1996), la base du Campanien a été proposée à l'apparition de l'ammonite *Placentoceras bidorsatum*, proche de l'extinction du crinoïde *Marsupites testudinarius* qui, elle, est légèrement antérieure à l'apparition de *Broinsonia parca* et postérieure à l'apparition de *Globotruncanita elevata*. Quant au sommet du Campanien, il correspond à la base du Maastrichtien qui est une limite multicritère où l'émergence de *Pachydiscus neubergicus* -proche de l'apparition de *Belemnella lanceolata*- prend en relais la disparition de *Nostoceras hyatti* au sommet du Campanien. Un Campanien limité de cette façon aurait une durée d'environ 11 Ma (ODIN & ODIN, 1990 ; ODIN, 1994 ; ODIN *in* REMANE *et alii*, 2000 ; ODIN & WALASZCZYK, 2003), de 12,2 Ma \pm 1 (*in* HARDENBOL *et alii*, 1998) et de 12,9 Ma \pm 1,3 (stratigraphy.org, chart 2009, où elle est comprise entre 70,6 Ma \pm 0,6 et 83,5 Ma \pm 0,7), ce qui représente une moyenne d'environ 12 Ma. Par ailleurs, si l'on accepte la proposition d'une subdivision en trois sous-étages (inférieur, moyen et supérieur), de durées sensiblement équivalentes (HANCOCK & GALE, 1996), la durée d'un sous-étage devrait avoisiner les 4 Ma.

En admettant que la Zone d'ammonite à *Nostoceras (Bostrychoceras) polyplacum* soit partie prenante de la partie supérieure du Campanien (cf. par exemple "Upper" *in* KÜCHLER & ODIN, 2001 ; ou *in* KÜCHLER *et alii*, 2001, fig. 8), on peut mesurer à Ellès le temps compris entre le biohorizon de l'émergence de *N. (B.) polyplacum* aux environs de ELD 76 (ou ELE 12) et la limite Campanien-Maastrichtien placée aux environs de ELF 66 (cf. § 4.4). Sur le tableau 1, ce temps est la somme de : la part du Mb. Mahdi au-dessus de la cote 76 (11/17 x 0,425 = 0,275 Ma) + Mb. Akhdar (2,40 Ma) + Mb. Gourbeuj (0,475 Ma) + la part du Mb. Ncham en dessous de la cote 66 (1,70 Ma), ce qui représente un total de 4,85 Ma, valeur qui dépasse 4 Ma mais n'est pas encore incompatible

avec celle attendue.

Une telle proposition rejoint une suggestion exprimée et argumentée par NIEBURH (2004) qui écrit "The cosmopolitan *N. (B.) polyplacum* seems to be the ideal index for the definition of the base of the Upper Campanian Substage in Europe and the Russian Platform."

Si l'on voulait se rapprocher plus de la valeur 4 Ma, au lieu de fixer le niveau d'émergence de *N. (B.) polyplacum* comme base du Campanien supérieur, on pourrait prendre son niveau de disparition c'est à dire aux environs de ELD 45, soit à peu près 0,9 à 1 Ma au-dessus. Mais, dans ce cas, on s'éloignerait résolument de la conception d'une partie supérieure du Campanien telle qu'elle a été comprise dans une grande partie des littératures traitant des domaines boréal ou téthysien qui, elles, incluent généralement la Zone à *N. (B.) polyplacum* dans la partie supérieure du Campanien.

En résumé, en limitant la base d'un Campanien supérieur au biohorizon de l'émergence de ***Nostoceras (Bostrychoceras) polyplacum***, un tel "Campanien supérieur" aurait une durée mesurée d'environ **4,8 Ma**, ce qui satisferait assez bien d'abord à la proposition d'une division tripartite de l'étage en sous-étages de durées à peu près équivalentes et ensuite à l'usage de ce biohorizon dans la littérature.

Il resterait maintenant à placer une coupure entre un Campanien inférieur et moyen. Si l'on voulait un Campanien moyen d'une durée d'environ 4 Ma, à Ellès cela correspondrait à 65 à 70 m de calcaires Haraoua et une limite Campanien inférieur/moyen se situant entre ELD 10 et 15. Malheureusement, à Ellès, il n'y a pas de biohorizon d'ammonite ou de foraminifère planctonique remarquable à ces niveaux (le biohorizon d'apparition de *Globotruncana ventricosa* est environ 30 m plus haut, à ELD 40,2 et, à Kalaat Senan l'entrée de *Ceratolithoides aculeus* en AS 474, base de la Zone à coccolithes CC 20 selon GARTNER *in* ROBASZYNSKI *et alii*, 2000, p. 431, se produit plus bas, à la base de la barre supérieure).

4.6. Discussion de la position de la limite Cp-Ma dans deux publications antérieures sur Ellès

Deux études à propos du Crétacé d'Ellès ont été publiées assez récemment, l'une en 1998 par LI & KELLER, l'autre en 1999 par LI *et alii*. Dans ces deux communications, sur base de foraminifères planctoniques, la limite Campanien-Maastrichtien est placée à deux niveaux différents ne correspondant ni l'un ni l'autre à celui que nous proposons ici. L'indigence des colonnes lithologiques et la non définition des faciès en termes de formations ne permettent pas de comprendre toujours très clairement les interprétations biozonales et chronostratigraphiques proposées par les auteurs. Voyons ce qu'il en est successivement dans les deux publications.

Dans **LI & KELLER (1998)**, la limite Campanien-Maastrichtien est placée au sommet de la Zone à "*Globotruncanita calcarata*". Pourtant, plusieurs éléments semblent pour le moins intrigants.

- Si les calcaires notés entre 0 et 3 de la colonne lithologique de leur fig. 5 représentent le sommet de la barre supérieure de la Formation Abiod (puisqu'au-dessus viennent des marnes devant appartenir à la Formation El Haria), il paraît étonnant d'y trouver "*Globotruncanita calcarata*", cette espèce étant restreinte - dans une Formation Abiod tripartite comme l'est celle d'Ellès - à la partie inférieure à moyenne des marnes intermédiaires Akhdar, soit près de 150 m en dessous du sommet de la barre supérieure de l'Abiod.

La figuration du spécimen pris comme exemple (fig. 1 dans leur pl. 1) est pourtant effectivement une *R. calcarata* et l'espèce serait distribuée sur près de 10 m pour constituer leur biozone "CF 10". Mais, ce qui manquerait au-dessus d'une vraie Zone à *R. calcarata* c'est toute la barre calcaire supérieure de l'Abiod (membres Gourbeuj, Ncham et Gouss) ! ce qui n'apparaît pas sur les croquis de la colonne lithologique.

Pour interpréter cette présence de l'espèce il reste qu'il faudrait admettre, ou bien que ces "*calcarata*" soient des individus remaniés (ce qui est difficile à croire car l'espèce est distribuée sur une dizaine de mètres, même si l'on sait que les deux mètres de base des marnes El Haria à Ellès contiennent beaucoup de bioclastes) ou bien qu'il s'agit tout simplement d'une erreur dans un échantillonnage qui n'aurait pas été réalisé dans les meilleures conditions, les 10 m contenant *calcarata* venant d'une partie plus basse de la coupe. Sachant l'importance que revêt cette espèce marqueur dans la biostratigraphie du Crétacé supérieur tunisien, le lecteur aurait été en droit d'attendre que cette position intrigante d'une Zone à *R. calcarata* juste sous les marnes El Haria soit au moins discutée par les deux auteurs. En tout cas, la valeur de leurs figs. 2, 3, 5 ainsi que celle des conclusions qui en ont été tirées s'en trouvent annulées.

- En outre, dans le tableau de distribution de leur fig. 5, on comprend mal qu'il n'y ait pas de *Radotruncana subspinosa*, espèce si souvent associée à "*Gt. calcarata*", cette "absence" aurait dû inciter les auteurs à se poser des questions au sujet de leur biostratigraphie non conforme à ce qui était bien connu régionalement et à revoir leur échantillonnage.

- La limite Cp-Ma est placée (p. 78) "at the LA of *Globotruncanita calcarata*", ceci en se référant à l'Atlas de ROBASZYNSKI

et *alii* (1984). Or, ROBASZYNSKI & CARON ont publié en 1995 une actualisation de la zonation du Crétacé par les foraminifères planctoniques tenant compte des recommandations du Symposium de Bruxelles (RAWSON *et alii*, 1996) qui placent la limite Campanien-Maastrichtien au sommet de la Zone à *N. hyatti*, sensiblement à l'émergence de *Pachydiscus neubergicus*, et non plus au sommet de la Zone à *Radotruncana calcarata*.

Dans **LI et alii (1999)**, p. 239), la limite Campanien-Maastrichtien est placée cette fois à l'apparition du foraminifère *Rugoglobigerina hexacamerata* BROENNIMAN (en faisant référence à l'inversion magnétique C32N du site DSDP 525A ... qui se trouve à plusieurs milliers de km dans l'Atlantique de l'hémisphère sud), c'est-à-dire largement au-dessus de la base des marnes (El Haria), au dernier des "5 bancs" comme l'indique leur fig. 4B. Ce qui laisserait entendre que la totalité de la barre supérieure de l'Abiod ainsi que les 15 à 20 m de base des marnes El Haria appartiendraient au Campanien (alors que les données macropaléontologiques relatives aux ammonites argumentent clairement une limite Cp-Ma beaucoup plus bas).

Quant à l'apparition de *Rugoglobigerina hexacamerata*, cette espèce a été signalée à Ellès dès 1978 vers la base des marnes El Haria (SAÏD, éch. 33B) dans un "Maastrichtien inférieur". Elle a été trouvée aussi à Kalaat Senan dans la base de la Formation des marnes El Haria et même plus bas encore, au sommet des marnes Akhdar et dans les alternances Gourbeuj (GONZÁLEZ DONOSO & LINARES *in* ROBASZYNSKI *et alii*, 2000). À moins d'utiliser le taxon dans une zone d'acmé, il ne paraît pas judicieux de choisir cette apparition en tant que proxy de limite d'étage, limite qui, de toute façon, se trouve manifestement plus bas que proposé par les auteurs.

5. Conclusions (F.R. & M.M.)

En termes lithologiques, la coupe d'Ellès a révélé une Formation Abiod tripartite, limitée vers le bas par les marnes Kef et, vers le haut, par les marnes El Haria. La Formation se marque dans le paysage par deux barres calcaires séparées par une dépression marneuse. La barre inférieure, épaisse d'environ 105 m est constituée des alternances de base Assila, suivies des bancs calcaires Haraoua (70 m) et se termine par les alternances Mahdi. Les marnes intermédiaires, ou Membre Akhdar, se développent sur 77 m avec leur teinte turquoise caractéristique. La barre supérieure, épaisse de 104 m, commence par les alternances Gourbeuj, suivies des gros bancs calcaires Ncham (85 m) et se termine par les alternances Gouss.

Plusieurs biohorizons définis à partir de micro- et de macrofossiles constituent des lignes-temps qui sont d'excellents outils de corrélation.

Parmi les microfossiles, les premières présences de foraminifères planctoniques marquées fondent une zonation à valeur internationale avec la succession suivante, du plus ancien au plus récent : IZ à *Globotruncanita elevata*, IZ à *Globotruncana ventricosa*, TRZ à *Radotruncana calcarata*, PRZ à *Globotruncana falsostuarti*, IZ à *Gansserina gansseri*, IZ à *Contusotruncana contusa*. Il faut y ajouter les niveaux d'émergence de *Radotruncana subspinosa* (un peu avant celui de *R. calcarata*), de *Globotruncanita angulata* (un peu avant celui de *G. gansseri*) et de *Archaeoglobitrunca* cf. *kefiana* (vers la base de la barre supérieure).

Parmi les macrofossiles, des ammonites ont été surtout récoltées et plusieurs biohorizons sont bien délimités : la courte distribution verticale de *Nostoceras (Bostrychoceras) polyplacum* à partir du milieu des alternances Mahdi jusqu'à la fin du premier quart des marnes Akhdar ; le niveau à *Nostoceras (N.)* cf. *hyatti* à la base de la barre supérieure, les bancs à *Pseudokossmaticeras brandti* dans le quart inférieur des calcaires Ncham ; les bancs à *Pachydiscus (P.) neubergicus* dans le tiers supérieur des calcaires Ncham.

La conjonction de plusieurs de ces lignes-temps permet une datation relative plus précise des diverses unités lithologiques et surtout une corrélation des séries appartenant à des bassins éloi-gnés.

Ainsi, lors de la construction de cartes paléogéographiques – par exemple celles que l'on pourrait établir en Tunisie pour chacun des membres principaux de l'Abiod – l'utilisation de lignes-temps bien contrôlées, synchrones et valables au plan international permettrait des tracés bien contraints temporellement avec des résultats susceptibles de localiser des surfaces favorables à des recherches pétrolières.

En tenant compte des divers biohorizons marqueurs, la **limite Campanien-Maastrichtien**, se situe à environ 50 m au-dessus des apparitions de *G. gansseri* et de *N. hyatti* et à 15-20 m au-dessus des bancs à *P. brandti*, c'est-à-dire au sommet du premier tiers de la barre Ncham. La position de cette limite est comparée et corrélée avec celle établie dans la coupe de Kalaat Senan (mêmes marqueurs et sensiblement mêmes distributions verticales des macro- et des microfossiles) et avec celle du stratotype de Tercis en France (grâce aux biohorizons marqueurs de *N. (B.) polyplacum*, *N. hyatti*, *P. brandti* et *R. calcarata*).

En Tunisie, en combinant les informations issues des unités lithologiques et des biohorizons, l'Abiod tripartite d'Ellès constitue un ensemble puissant de près de 286 m se marquant très clairement dans la morphologie et représentant une sédimentation marine pélagique durant environ 13,2 millions d'années selon les mesures réalisées avec l'outil cyclostratigraphique.

La barre inférieure (Assila + Haraoua +

Mahdi), épaisse de 105 m, représente une durée de dépôt d'environ 6 Ma avec un taux moyen de sédimentation non décompactée de 1,7 cm/ky. Les marnes intermédiaires Akhdar, épaisses de 77 m représentent une durée de dépôt d'environ 2,4 Ma avec un taux moyen de sédimentation non décompactée de 3,2 cm/ka. Pour la barre supérieure (Gourbeuj + Ncham + Gouss), ses 104 m représentent une durée de dépôt d'environ 4,7 Ma avec un taux moyen de sédimentation non décompactée de 2,1 cm/ka. Les alternances Gourbeuj et le tiers inférieur des calcaires Ncham correspondent à la partie supérieure du Campanien supérieur tandis que les deux tiers supérieurs des calcaires Ncham appartiennent déjà à la partie inférieure du Maastrichtien.

Si l'on accepte une division ternaire de l'éta-gé Campanien avec des sous-étages de durées à peu près équivalentes, il est proposé de définir un **Campanien supérieur** dont la base serait prise à l'apparition de l'ammonite *N. (Bostrychoceras) polyplacum* et le sommet, c'est à dire la base du Maastrichtien, correspondrait à l'extinction de *Nostoceras hyatti*. Un tel Campanien supérieur aurait une durée mesurée par cyclostratigraphie d'environ 4,8 Ma pour un étage Campanien d'un peu plus de 12 Ma.

Plusieurs zones paléontologiques désignent la distribution verticale totale de plusieurs marqueurs et ont une valeur globale. Ce sont la TRZ à *N. (B.) polyplacum* qui comprend le sommet de la barre inférieure et le tiers inférieur des marnes Akhdar : environ 34 à 36 m et 0,9 à 1 Ma ; la TRZ à *P. brandti*, à partir des alternances Gourbeuj au quart inférieur de Ncham ; la TRZ à *N. hyatti* qui commence également dans les alternances Gourbeuj, se poursuit jusqu'au tiers inférieur de Ncham où sa dernière présence marque la limite Campanien-Maastrichtien, la TRZ à *R. calcarata*, de la partie moyenne des marnes Akhdar, connue sur au moins 30 m avec un temps de dépôt minimum d'environ 0,79 Ma.

En tenant compte de ces apports, une **lecture critique** a été effectuée de deux notes publiées il y a une décennie à propos d'une partie de la coupe d'Ellès et en particulier sur la position controvérsée de la limite Campanien-Maastrichtien.

Remerciements

La détermination des foraminifères planctoniques en plaques minces a bénéficié de la grande expérience de Madame Michèle CARON qui a reçu l'un d'entre nous (M.M.) à l'Université de Fribourg (Suisse). L'appartenance générique des ammonites récoltées dans les coupes partielles a été confirmée ou définie lors de discussions avec le doctorant Stijn GOOLAERTS (Université de Leuven, Belgique). Sur le terrain, les travaux de levés géologiques, d'échantillonnage et de collecte de macrofaunes ont été réalisés par les deux auteurs avec l'aide de Mourad Bou-

GHANMI et de Taoufikh MEKKAOUI (ETAP) ainsi que de Moheddine BEN YAHIA (Kalaat Senan). Qu'ils soient tous remerciés de leur intervention. Les photographies au Microscope électronique à balayage ont été effectuées par l'un d'entre nous (F.R.) sur l'appareil du Centre de Recherche de l'ETAP à Tunis et nous remercions cet organisme de nous avoir autorisé à l'utiliser. Le

manuscrit a bénéficié des remarques constructives et des suggestions de Jochen KUSS, d'un lecteur anonyme et du Dr Gilles-Serge ODIN qui est intervenu dans des discussions éclairantes à divers stades de la révision du texte final, nous les en remercions tous trois ainsi que Nestor SANDER qui a bien voulu accepter la tâche ingrate de la traduction en anglais.

Bibliographic references - Références bibliographiques

- ARZ J.A. & MOLINA E. (2001).- Planktic foraminiferal quantitative analysis across the Campanian-Maastrichtian boundary at Tercis. *In*: ODIN G.S. (ed., 2001), The Campanian – Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series, 36; Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. C5b, p. 338-348.
- AUROUZE G. & KLASZ I. de (1954).- Contribution à la connaissance du niveau stratigraphique de "*Globotruncana calcarata*". *In* : Association française pour l'Avancement des Sciences, Actes du 73e Congrès.- *Annales de l'Université de Poitiers, 2*, n° 5, 4 p.
- BELLIER J.-P., CARON M., DONZE P., HERM D., MAAMOURI A.L. & SALAJ J. (1983).- Le Campanien sommital et le Maastrichtien de la coupe du Kef (Tunisie septentrionale) : zonation sur base des foraminifères planctoniques.- *Zitteliana*, München, vol. 10, p. 609-611.
- BEN FERJANI A., BUROLLET P.F. & MEJRI F. (1990).- Petroleum geology in Tunisia.- *ETAP* (Entreprise Tunisienne d'Activités Pétrolières), *Mémoire*, Tunis, n° 1, 194 p.
- BILOTTE M. (1994).- Faunes d'ammonites et interprétation des successions sédimentaires du Campanien-Maastrichtien sous-pyrénéen (Ariège, Haute-Garonne). Réfutation d'un modèle fondé sur des âges numériques hypothétiques.- *Géologie de la France*, Orléans, 1994, n° 3, p. 71-80.
- BILOTTE M., ODIN G.S. & RAZIN P. (1999).- Arguments à l'encontre des estimations d'âge biograduelles (et de leur application en chronologie et stratigraphie séquentielle) dans le Sud-Ouest de la France.- *Bulletin de la Société géologique de France*, Paris, vol. 170, n° 4, p. 465-473.
- BOLZE J., BUROLLET P.F. & CASTANY G. (1952).- Le Sillon tunisien. *In* : XIX^e Congrès Géologique International, Monographies régionales, (2e Série : Tunisie), n° 5, 112 p.
- BUROLLET P.F. (1956).- Contribution à l'étude stratigraphique de la Tunisie centrale.- *Annales des Mines et de la Géologie*, Tunis, vol. 18, 350 p.
- BUROLLET P.F., DUMESTRE A., KEPPEL D. & SALVADOR A. (1954).- Unités stratigraphiques en Tunisie centrale.- *Compte rendu du 19^{ème} Congrès géologique international d'Alger*, XXI, p. 243-254.
- BUROLLET P.F. & SAINFELD P. (1956).- Notice explicative de la carte géologique de Tunisie au 50 000e, feuille n° 51 : Tajerouine.- Service de la Carte géologique de la Tunisie, Tunis.
- CARON M. & ODIN G.S. (2001).- Report on a preliminary study of the planktonic foraminifera of the Campanian-Maastrichtian succession at Tercis (Landes, France). *In* : ODIN G.S. (ed., 2001), The Campanian – Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series, 36 ; Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. C5a, p. 334-337.
- COBBAN W.A. & KENNEDY W.J. (1995).- Maastrichtian ammonites chiefly from the Prairie Bluff Chalk in Alabama and Mississippi.- *The Paleontological Society, Memoir*, London, 44, 40 p.
- COURVILLE P. & ODIN G.S. (2001).- Les ammonites spiralées du Campanien et du Maastrichtien de Tercis les Bains (Landes, France). *In* : ODIN G.S. (ed., 2001), The Campanian – Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series, 36 ; Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, p. 529-549.
- CUSHMAN J.A. (1946).- Upper Cretaceous Foraminifera of the Gulf Coastal Plain of the United States and adjacent areas.- *U.S. Geological Survey, Professional Papers*, Washington, 206, 241 p.
- DALBIEZ F. (1955).- The genus *Globotruncana* in Tunisia.- *Micropaleontology*, New York, vol. 1, p. 161-171.
- DALBIEZ F. (1956).- Étude sommaire des microfaunes de la région du Kef. Notice explicative de la Carte géologique de la Tunisie au 50 000e, feuille n° 44 : Le Kef, 33-38.- Service de la Carte géologique de la Tunisie, Tunis.
- DALI T. (1995).- Notice explicative de la Carte géologique de la Tunisie au 50 000e, feuille n° 40 : Gafour.- Service de la Carte géologique de la Tunisie, Tunis, 16 p.

- DESTOMBES J.-P. & MARIE P. (1947).- Résultats stratigraphiques d'un sondage à Peyrehorade (Landes).- *Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France*, Paris, 1947, p. 330-333.
- FONDECAVE-WALLEZ M.-J. (1988a).- Grade-datations sénoniennes : application aux séquences de dépôt du versant sud des Pyrénées centrales.- Thèse de Doctorat es Sciences, Université de Toulouse, 835 p.
- FONDECAVE-WALLEZ M.-J. (1988b).- L'évolution graduelle du profil du test dans la lignée de *Rosita fornicata*. Une nouvelle possibilité de grade-datation au Crétacé supérieur.- *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, Paris, (II), t. 306, p. 1379-1384.
- FOURNIÉ D. (1978).- Nomenclature stratigraphique des séries du Crétacé supérieur au Tertiaire de Tunisie.- *Bulletin des Centres de Recherche Exploration-Production Elf-Aquitaine*, Pau, vol. 2, n° 1, p. 97-148.
- GOOLAERTS S. (2010, inédit/unpublished).- Late Cretaceous ammonites from Tunisia: chronology and causes of their extinction and extrapolation to other areas.- PhD, K.U. Leuven, 388 p., atlas: 84 pls.
- GROSSOUVRE A. de (1901).- Recherches sur la craie supérieure.- Mémoires explicatifs de la Carte géologique détaillée de la France, Ministère des Travaux Publics, Paris, fasc. 1 : 559 p. ; fasc. 2 : p. 560-1013.
- HANCOCK J.M. & GALE A.S. (1996).- The Campanian stage.- *Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Bulletin*, Bruxelles, Sciences de la Terre, vol. 66, Supplement, p. 103-109.
- HANCOCK J.M. & KENNEDY W.J. (1993).- The high Cretaceous ammonite fauna from Tercis, Landes, France.- *Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Bulletin*, Bruxelles, Sciences de la Terre, vol. 63, p. 149-209.
- HARDENBOL J., THIERRY J., FARLEY M.B., JACQUIN T., GRACIANSKY P.-C. de & VAIL P.R. (eds., 1998).- Cretaceous biochronohorizons and zones. *In* : Cretaceous biochronostratigraphy, Chart 5, Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins.- *SEPM (Society for Sedimentary Geology), Special Publication*, Tulsa, n° 60, 786 p.
- HAUG E. (1911).- *Traité de géologie. II : les périodes géologiques.*- A. Colin, Paris, 2021 p.
- HENNEBERT M., ROBASZYNSKI F. & GOOLAERTS S. (2009).- Cyclostratigraphy and chronometric scale in the Campanian - Lower Maastrichtian: the Abiod Formation at Ellès, central Tunisia.- *Cretaceous Research*, London, vol. 30, n° 2, p. 325-338.
- ION J. & ODIN G.S. (2001).- Planktonic Foraminifera from the Campanian-Maastrichtian at Tercis les Bains (Landes, France). *In* : ODIN G.S. (ed., 2001), The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series, 36 ; Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. C5c, p. 349-370.
- JARVIS I., MABROUK A., MOODY R.T.J. & CABRERA S. de (2002).- Late Cretaceous (Campanian) carbon isotope events, sea-level change and correlation of the Tethyan and Boreal realms.- *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Amsterdam, vol. 188, p. 215-248.
- KENNEDY W.J., BILOTTE M. & MORALA A. (2001).- *Pseudokossmaticeras brandti* REDTENBACHER, 1873, an Upper Campanian marker fossil in northern Aquitaine, France.- *Cretaceous Research*, London, vol. 22, n° 2, p. 259-262.
- KENNEDY W.J. & SUMMESBERGER H. (1986).- Lower Maastrichtian ammonites from Neuberg, Steiermark, Austria.- *Beiträge zur Paläontologie von Österreich*, Wien, Band 12, p. 181-242.
- KIKOINE J. (1945).- Étude sur les *Globotruncana* du Bassin d'Aquitaine.- Diplôme d'Études Supérieures, Université de Toulouse, 95 + 4 p.
- KIKOINE J. (1947).- Les *Globotruncana* du Crétacé supérieur Nord-Pyrénéen.- *Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France*, Paris, 1947, n° 1, p. 19-22.
- KÜCHLER T., KUTZ A. & WAGREICH M. (2001).- The Campanian-Maastrichtian boundary in northern Spain (Navarra Province): the Imisoz and Erro sections. *In* : ODIN G.S. (ed., 2001), The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series, 36 ; Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. E3, p. 723-744.
- KÜCHLER T. & ODIN G.S. (2001).- Upper Campanian-Maastrichtian ammonites (Nostoceratidae, Diplomoceratidae) from Tercis les Bains (Landes, France). *In* : ODIN G.S. (ed., 2001), The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series, 36 ; Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. D4e, p. 500-528.
- LEHOTSKY I. (1979).- Carte géologique au 50 000e et notice explicative de la Carte géologique de la Tunisie au 50 000e, feuille n° 52 : Ebba Ksour.- Service de la Carte géologique de la Tunisie, Tunis, 36 p.
- LI L. & KELLER G. (1998).- Diversification and extinction in Campanian-Maastrichtian planktic foraminifera of Northwestern Tunisia.- *Ecolgae geologicae Helvetiae*, Basel, vol. 91, p. 75-102.
- LI L., KELLER G. & STINNESBECK W. (1999).- The Late Campanian and Maastrichtian in northwestern Tunisia : palaeoenvironmental inferences from lithology, macrofauna and ben-

- thic foraminifera.- *Cretaceous Research*, London, vol. 20, n° 2, p. 231-252.
- MACHALSKI M. (2005).- Late Maastrichtian and earliest Danian scaphitid ammonites from central Europe: taxonomy, evolution and extinction.- *Acta Palaeontologica Polonica*, Warszawa, vol. 50, p. 653-696.
- MACHALSKI M., JAGT J.W.M., LANDMAN N.H. & MATCHUROVA-DEKOVA N. (2007).- The highest records of North American scaphitid ammonites in the European Maastrichtian (Upper Cretaceous) and their stratigraphic implications.- *Acta Geologica Polonica*, Warszawa, vol. 57, p. 169-185.
- MARIE P. (1941).- Les foraminifères de la craie à *Belemnitella mucronata* du Bassin de Paris.- *Mémoires du Muséum*, Muséum national d'Histoire naturelle de Paris, (Nouv. Série), t. XII, fasc. 1, 296 p., 37 pls.
- M'RABET A., MEJRI F., BUROLLET P.F., MEMMI L. & CHANDOUL H. (1995).- Recueil des coupes-types de Tunisie.- *ETAP, Mémoire*, Tunis, n° 8B, 123 p.
- NEGRA M.H. & M'RABET A. (1992).- Les faciès riches en matière organique des formations Aleg et Abiod dans le Centre-Nord de la Tunisie. In : Actes des 3e Journées de Géologie tunisienne appliquée à la recherche des hydrocarbures.- *ETAP, Mémoire*, Tunis, n° 5, p. 277-294.
- NIEBURH B. (2004).- Late Campanian nostoceratid ammonites from Lehrte West Syncline near Hannover, northern Germany.- *Acta Geologica Polonica*, Warszawa, vol. 54, p. 473-487.
- ODIN G.S. (1994).- Geological time scale, 1994.- *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, Paris, (II), t. 318, p. 59-71
- ODIN G.S. (Éditeur, 2001).- The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series*, 36 ; *Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, xxviii + 881 p.
- ODIN G.S. (2002).- Définition d'une limite multicritère ; stratigraphie du passage Campanien-Maastrichtien du site géologique de Tercis (Landes, SW France).- *Comptes rendus Géosciences*, Paris, vol. 334, p. 409-414.
- ODIN G.S., COURVILLE P., COBBAN W.A. & MACHALSKI M. (2001).- The Campanian-Maastrichtian ammonite fauna from Tercis (Landes, France); a synthetic view. In : ODIN G.S. (ed., 2001), The Campanian - Maastrichtian stage boundary. Characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents.- *IUGS Special Publication (monograph) Series*, 36 ; *Developments in Palaeontology and Stratigraphy Series*, Amsterdam, 19, chap. D4g, p. 550-561.
- ODIN G.S., GARDIN S., ROBASZYNSKI F. & THIERRY J. (2005).- Les unités de l'histoire géologique ; discussion sur les conventions et l'échelle des temps.- *Annales de la Société géologique du Nord*, Lille, (2ème série), t. 12, p. 63-68.
- ODIN G.S. & LAMAURELLE M.A. (2001).- The global Campanian-Maastrichtian stage boundary at Tercis les Bains, Landes, SW France.- *Episodes*, Beijing, vol. 24, n° 4, p. 229-238.
- ODIN G.S. & ODIN Ch. (1990).- Échelle numérique des temps géologiques.- *Géochronique*, Paris, n° 35, p. 12-21.
- ODIN G.S. & WALASZCZYK I. (2003).- Sur les inocérames de Tercis (Landes, France) : le meilleur outil corrélatif entre Europe et Amérique du Nord autour de la limite Campanien-Maastrichtien / Inoceramids of the site of Tercis (Landes, France): the best correlative tool between Europe and North America across the Campanian-Maastrichtian boundary.- *Comptes rendus Géosciences*, Paris, vol. 335, n° 2, p. 239-246.
- PERVINQUIÈRE L. (1907).- Études de paléontologie tunisienne. I. Céphalopodes des terrains secondaires, système crétacé.- Carte géologique de Tunisie, de Rudeval, Paris, v + 438 p.
- PEYBERNÈS B., FONDECAVE-WALLEZ M.-J., GOURINARD Y. & EICHÈNE P. (1997).- Stratigraphie séquentielle, biozonation par les foraminifères planctoniques, grade-datation et évaluation des taux de sédimentation dans les calcaires crayeux campano-maastrichtiens de Tercis (SW de la France).- *Bulletin de la Société géologique de France*, Paris, vol. 168, p. 143-153.
- RAWSON P.F., DHONDT A.V., HANCOCK J.M. & KENNEDY W.J. (eds., 1996).- Proceedings of the 2nd International Symposium on Cretaceous Stage Boundaries, Brussels 8-16 sept. 1995.- *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique*, Bruxelles, 66 (Supplément), 177 p.
- REMANE J., ICS Subcommissions, FAURE-MURET A. & ODIN G.S. (2000).- International Stratigraphic Chart and Explanatory note.- UNESCO-IUGS Special edition, 31st International Geological Congress, Rio.
- ROBASZYNSKI F. (1998).- Cretaceous biochronohorizons and zones. Planktonic foraminifera. In : HARDENBOL J., THIERRY J., FARLEY M.B., JACQUIN T., GRACIANSKY P.-C. de & VAIL P.R. (eds.), Cretaceous biochronostratigraphy, Chart 5, Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins.- *SEPM (Society for Sedimentary Geology), Special Publication*, Tulsa, n° 60.
- ROBASZYNSKI F. (2002).- The Campanian-Maastrichtian Stage Boundary. Edited by G.S. ODIN. Book review.- *Episodes*, Beijing, vol. 25, p. 215-216.
- ROBASZYNSKI F. & CARON M. (1995).- Foraminifères planctoniques du Crétacé : commentaires de la zonation Europe-Méditerranée.- *Bulletin de la Société géologique de France*, Paris, vol. 166, p. 681-692.
- ROBASZYNSKI F., CARON M., GONZALES J.M., WONDERS

- A.H. (eds.) & European Working Group on Planktonic Foraminifera (1984).- Atlas of Late Cretaceous globotruncanids.- *Revue de Micropaléontologie*, Paris, vol. 26, p. 145-305.
- ROBASZYNSKI F., GONZALES J.M., LINARES D., AMÉDRO F., CARON M., DUPUIS C., DHONDT A. & GARTNER S. (2000).- Le Crétacé Supérieur de la Région de Kalaat Senan, Tunisie Centrale. Litho-biostratigraphie intégrée : zones d'ammonites, de foraminifères planctoniques et de nannofossiles du Turonien supérieur au Maastrichtien.- *Bulletin des Centres de Recherche Exploration Production Elf-Aquitaine*, Pau, vol. 22, n° 2, p. 359-490.
- SAÏD R. (1978).- Étude stratigraphique et micropaléontologique du passage Crétacé-Tertiaire du synclinal d'Ellès (région Siliana-Sers), Tunisie centrale.- Thèse 3ème cycle Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 275 + I-XV p.
- SALAJ J. (1969).- Zones planctoniques du Crétacé et du Paléogène de Tunisie. In : Proceedings of the First International Conference on Planktonic Microfossils, Geneva (1967).- E.J. Brill, Leiden, vol. II, p. 588-593.
- SALAJ J. (1980).- Microbiostratigraphie du Crétacé et du Paléogène de la Tunisie septentrionale et orientale (hypostratotypes tunisiens).- *Geologicky Ustav Dionyza Stura*, Bratislava, 238 p.
- SALAJ J. (1983).- Quelques problèmes taxinomiques concernant les foraminifères planctoniques et la zonation du Crétacé supérieur d'El Kef.- *Geologicky Zbornik, Geologica Carpathica*, Bratislava, vol. 34, p. 187-211.
- SALAJ J. & MAAMOURI A.L. (1982).- *Rugotruncana kefiana* n.sp. (Foraminifera) du Sénonien supérieur d'El Kef.- *Geologicky Zbornik, Geologica Carpathica*, Bratislava, vol. 33, p. 463-479.
- SALAJ J. & MAAMOURI A.L. (1984).- Campanian-Maastrichtian boundary in Tunisia.- *Geologicky Zbornik, Geologica Carpathica*, Bratislava, vol. 35, p. 551-558.
- SALAJ J. & MAAMOURI A.L. (1987).- *Archaeoglobitruncana kefiana* foraminiferal zone of the basal Tethyan Maastrichtian.- *Geologicky Zbornik, Geologica Carpathica*, Bratislava, vol. 38, p. 677-689.
- SALAJ J. & WIEDMANN J. (1989).- The Campanian-Maastrichtian boundary in the El Kef Section, Tunisia. In : WIEDMANN J. (ed.), Cretaceous of the Western Tethys.- Proceedings of the 3rd International Cretaceous Symposium, Tübingen (1987).- E. Schweizerbart'sche Verlagbuch, Stuttgart, p. 299-315.
- SIGAL J. (1952).- Aperçu stratigraphique sur la micropaléontologie du Crétacé.- XIX^e Congrès Géologique International, Monographies régionales, (1^e Série : Algérie), Alger, n° 26, 47 p.
- SIGAL J. (1967).- Essai sur l'état actuel d'une zonation stratigraphique à l'aide des principales espèces de Rosalines (Foraminifères).- *Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France*, Paris, 1967, n° 2, p. 48-50.
- SIGAL J. (1977).- Essai de zonation du Crétacé méditerranéen à l'aide des foraminifères planctoniques.- *Géologie Méditerranéenne*, Marseille, t. 4, n° 2, p. 99-108.
- SIGAL J. (1987).- Une échelle zonale du Crétacé méditerranéen et quelques réflexions suscitées par son établissement particulièrement à propos du Danien.- *Revue de Micropaléontologie*, Paris, vol. 30, n° 1, p. 32-51.
- SIMMONS M.D., WILLIAMS C.L. & HANCOCK J.M. (1996).- Planktonic foraminifera across the Campanian-Maastrichtian boundary at Tercis, SW France.- *Newsletters on Stratigraphy*, Hannover, vol. 34, p. 65-80.
- THIEDIG F. & WIEDMANN J. (1976).- Ammoniten und Alter der höheren Kreide (Gosau) des Krappfeldes in Kärnten (Österreich).- *Mitteilungen aus dem Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Hamburg*, Heft 45, p. 9-27.
- WALASZCZYK I. (2004).- Inoceramids and inoceramid biostratigraphy of the Upper Campanian to basal Maastrichtian of the Middle Vistula Valley, central Poland.- *Acta Geologica Polonica*, Warszawa, vol. 54, p. 95-168.
- WARD P.D. & ORR W. (1997).- Campanian-Maastrichtian ammonite and planktonic foraminiferal biostratigraphy from Tercis, France.- *Journal of Paleontology*, Tulsa, vol. 71, p. 407-418.

Plates - Planches

► **Plate 1:**

Planktonic foraminifera of the Abiod Formation (a: spiral side, b: lateral view, c: umbilical side).

figure 1: *Globotruncanita elevata* (BROTZEN): section ELA 5.4 m; top of the marls of the Kef Formation.

figure 2: *Contusotruncana fornicata* (PLUMMER): section ELD 83.3 m; top of the lower limestone bar, alternances of the Mahdi Member.

figure 3: *Globotruncana ventricosa* (WHITE): section ELE 86.2 m; upper part of the Akhdar intermediate marls.

figure 4: *Globotruncana linneiana* (d'ORBIGNY): section ELE 43.50 m; lower part of Akhdar Member.

Planche 1 :

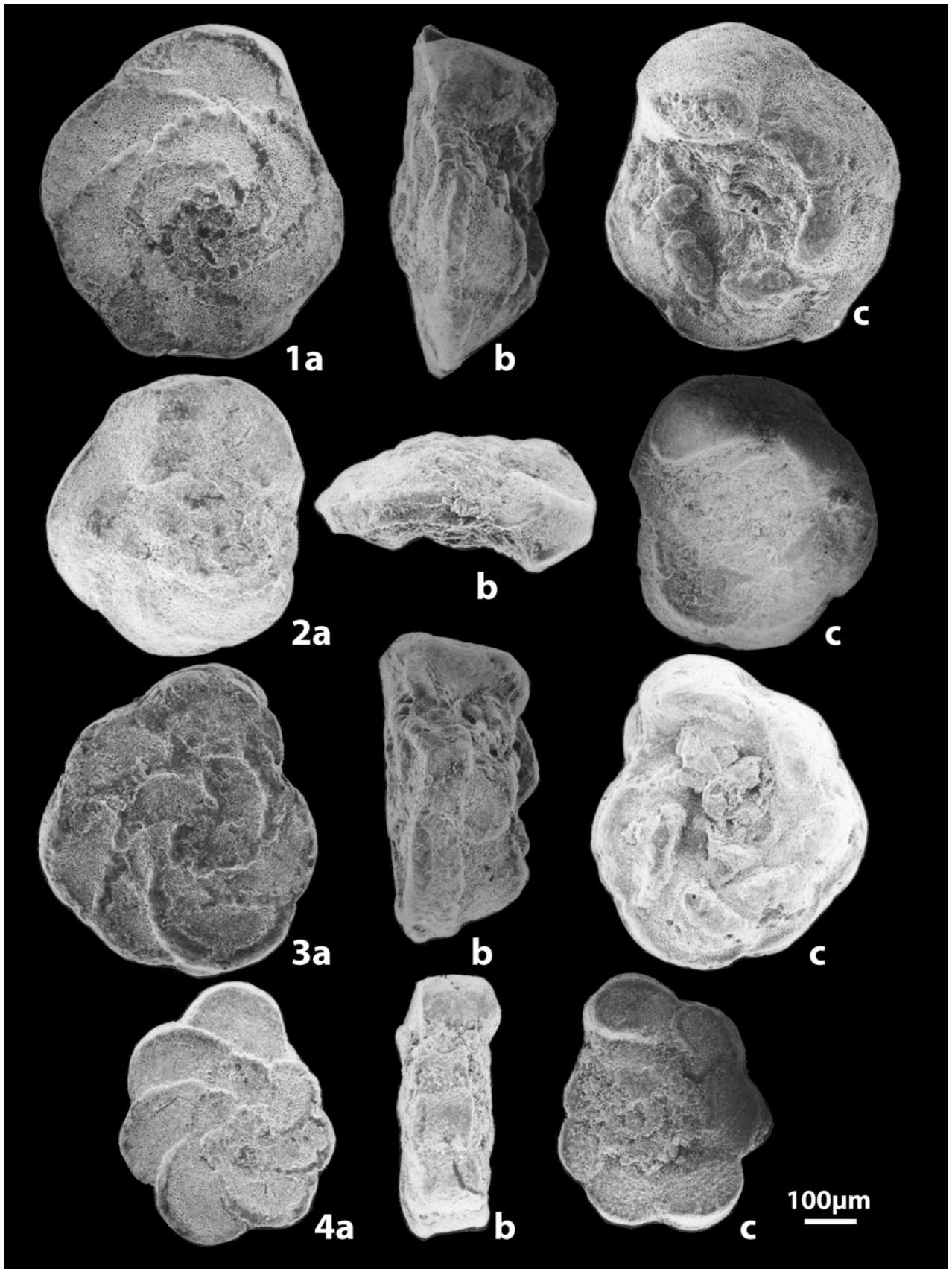
Foraminifères planctoniques de la Formation Abiod à Ellès (a : face spirale ; b : profil ; c : face ombilicale).

figure 1 : *Globotruncanita elevata* (BROTZEN) : coupe ELA 5,4 m ; sommet des marnes de la Formation Kef.

figure 2 : *Contusotruncana fornicata* (PLUMMER) : coupe ELD 83,3 m ; sommet de la barre calcaire inférieure, alternances du Membre Mahdi.

figure 3 : *Globotruncana ventricosa* (WHITE) : coupe ELE 86,2 m ; partie élevée des marnes intermédiaires Akhdar.

figure 4 : *Globotruncana linneiana* (d'ORBIGNY) : coupe ELE 43,50 m ; partie inférieure du Membre Akhdar.



► **Plate 2:**

Planktonic foraminifers of the Abiod Formation at Ellès. (a: spiral side, b: lateral view, c: umbilical side).

figure 1: *Globotruncana dupeblei* CARON, GONZÁLEZ DONOSO, ROBASZYNSKI & WONDERS: section ELG 27 m; lower part of the El Haria Formation.

figure 2: *Globotruncana falsostuarti* SIGAL: section ELE 26.6 m; base of the intermediate Akhdar Member.

figure 3: A form transitional between *Globotruncana arca* CUSHMAN and *Globotruncana orientalis* EL NAGGAR = *Globotruncana stephensoni* PESSAGNO (1 to 2 final chambers with one keel): section ELE 82 m; upper part of the Akhdar marls.

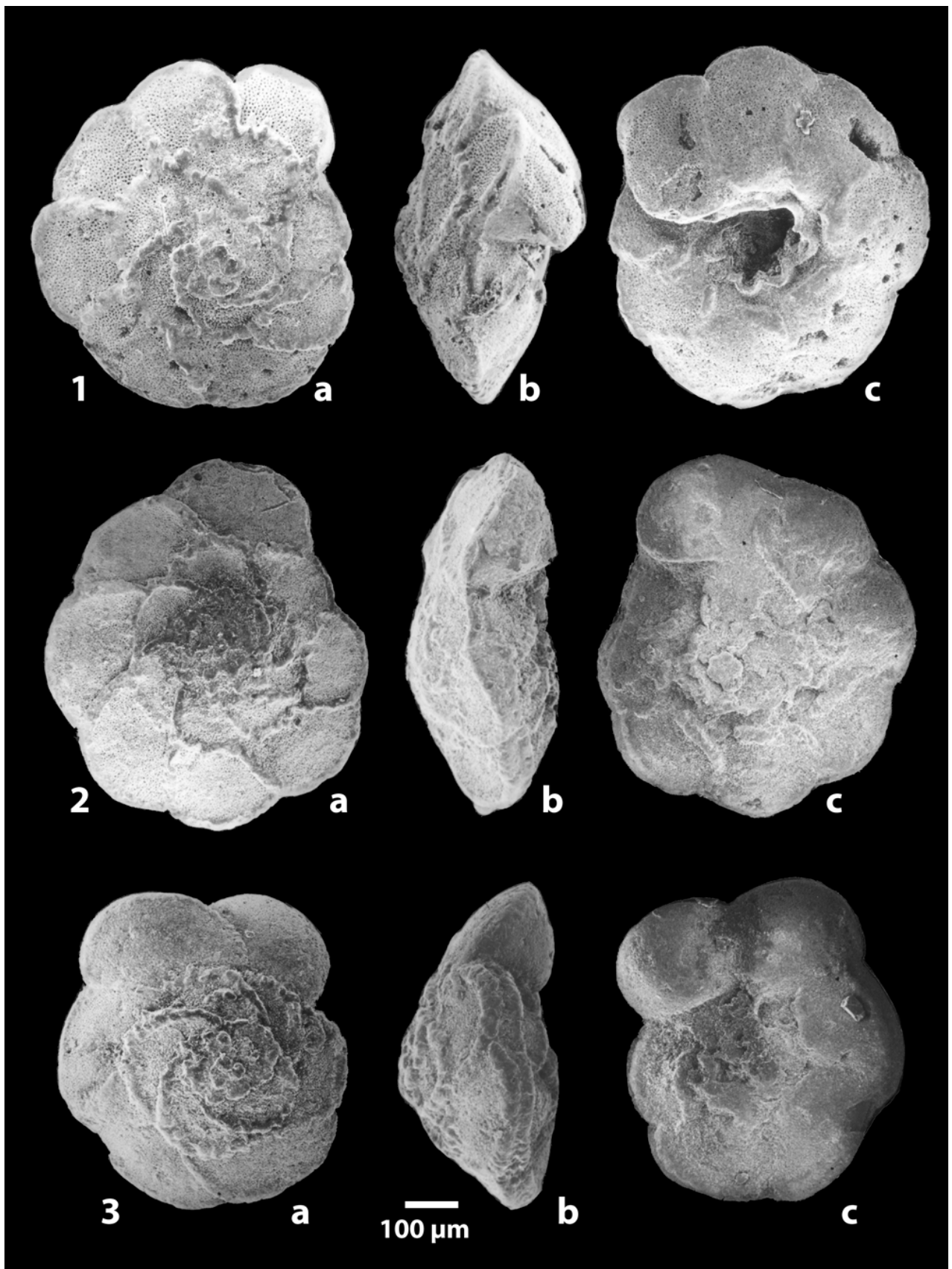
Planche 2 :

Foraminifères planctoniques de la Formation Abiod à Ellès (a : face spirale ; b : profil ; c : face ombilicale).

figure 1 : *Globotruncana dupeblei* CARON, GONZÁLEZ DONOSO, ROBASZYNSKI & WONDERS : coupe ELG 27 m ; partie basse de la Formation El Haria.

figure 2 : *Globotruncana falsostuarti* SIGAL : coupe ELE 26,6 m ; base des marnes intermédiaires Akhdar.

figure 3 : Intermédiaire entre *Globotruncana arca* CUSHMAN et *Globotruncana orientalis* EL NAGGAR = *Globotruncana stephensoni* PESSAGNO (1 à 2 dernières loges unicarénées) : coupe ELE 82 m ; partie élevée des marnes intermédiaires Akhdar.



► **Plate 3:**

Planktonic foraminifers of the Abiod Formation at Ellès. (a: spiral side, b: lateral view, c: umbilical side).

figure 1: *Radotruncana calcarata* (CUSHMAN): section ELE 43.5 m; lower part of the Akhdar intermediate marls.

figure 2: *Radotruncana subspinosa* (PESSAGNO): section ELE 70.5 m; upper part of the Akhdar marls.

figure 3: *Globotruncanita stuartiformis* (DALBIEZ): section ELE 90 m; higher part of the Akhdar marls.

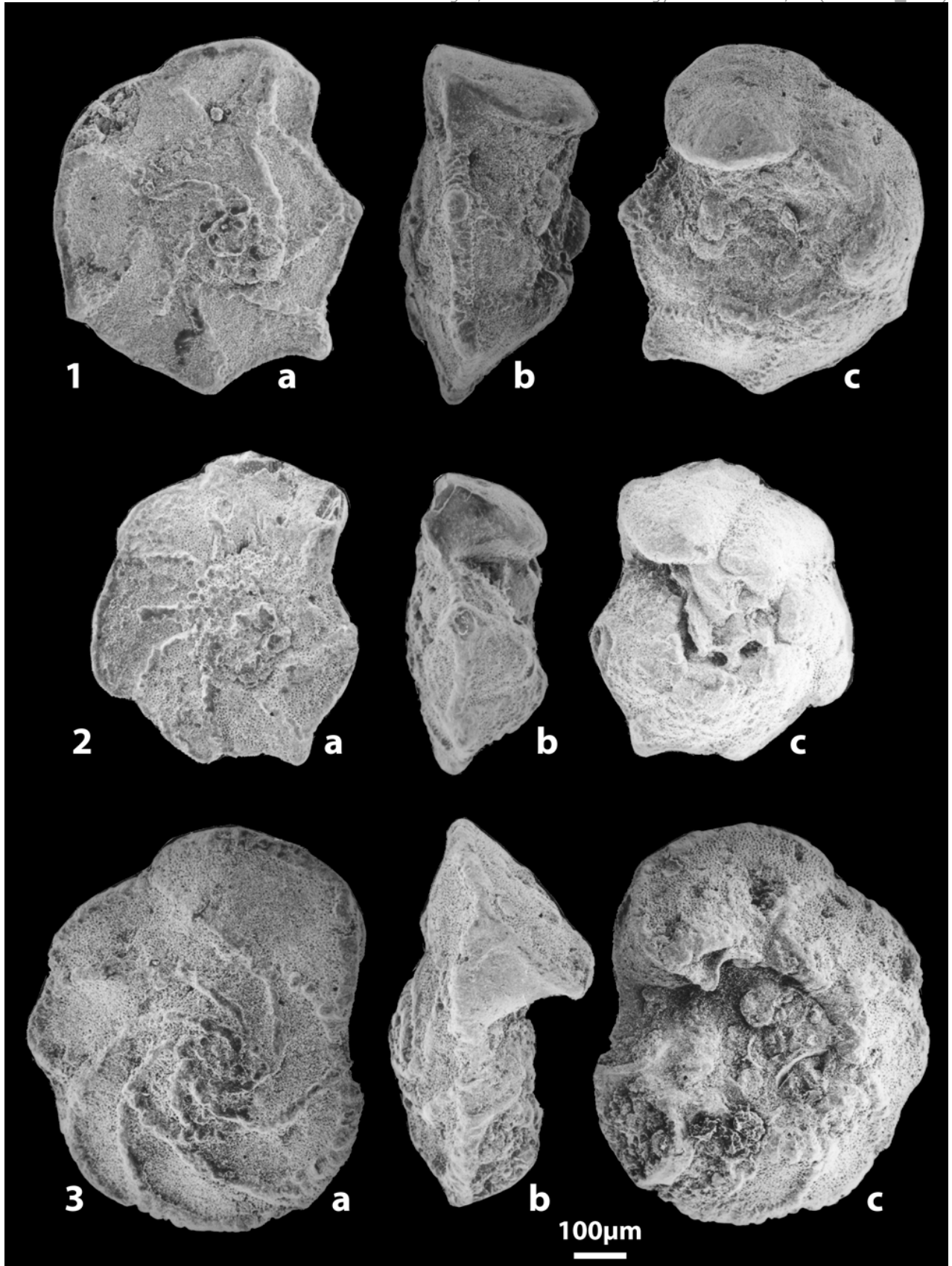
Planche 3 :

Foraminifères planctoniques de la Formation Abiod à Ellès (a : face spirale ; b : profil ; c : face ombilicale).

figure 1 : *Radotruncana calcarata* (CUSHMAN) : coupe ELE 43,5 m ; partie inférieure des marnes intermédiaires Akhdar.

figure 2 : *Radotruncana subspinosa* (PESSAGNO) : coupe ELE 70,5 m ; partie supérieure des marnes intermédiaires Akhdar.

figure 3 : *Globotruncanita stuartiformis* (DALBIEZ) : coupe ELE 90 m ; partie élevée des marnes intermédiaires Akhdar.



► **Plate 4:**

Planktonic foraminifers of the Abiod Formation at Ellès (a: spiral side, b: lateral view, c: umbilical side).

figure 1: *Globotruncana insignis* GANDOLFI: section ELE 22.7 m; basal part of the Akhdar marls; note that its first occurrence is lower than that in the ROBASYNSKI *et alii* (2000) Kalaat Senan section.

figure 2: *Contusotruncana contusa* (CUSHMAN) or a transition between *C. contusa* and *C. patelliformis* (GANDOLFI) but closer to *C. contusa*: section ELG 27 m; lower part of the El Haria marls; profile index 0.54; a morphotype very close to that of *C. contusa* in the Atlas of Upper Cretaceous Planktonic Foraminifers, pl. 36, figs. 2 abc, index of this profile: 0.55 (ROBASZYNSKI *et alii*, 1984).

figure 3: *Globotruncana stuarti* (de LAPPARENT): section ELG 31.1 m, lower part of the El Haria marls.

figure 4: *Globotruncana aegyptiaca* NAKKADY: section ELG 31.1 m, lower part of the El Haria marls.

Planche 4 :

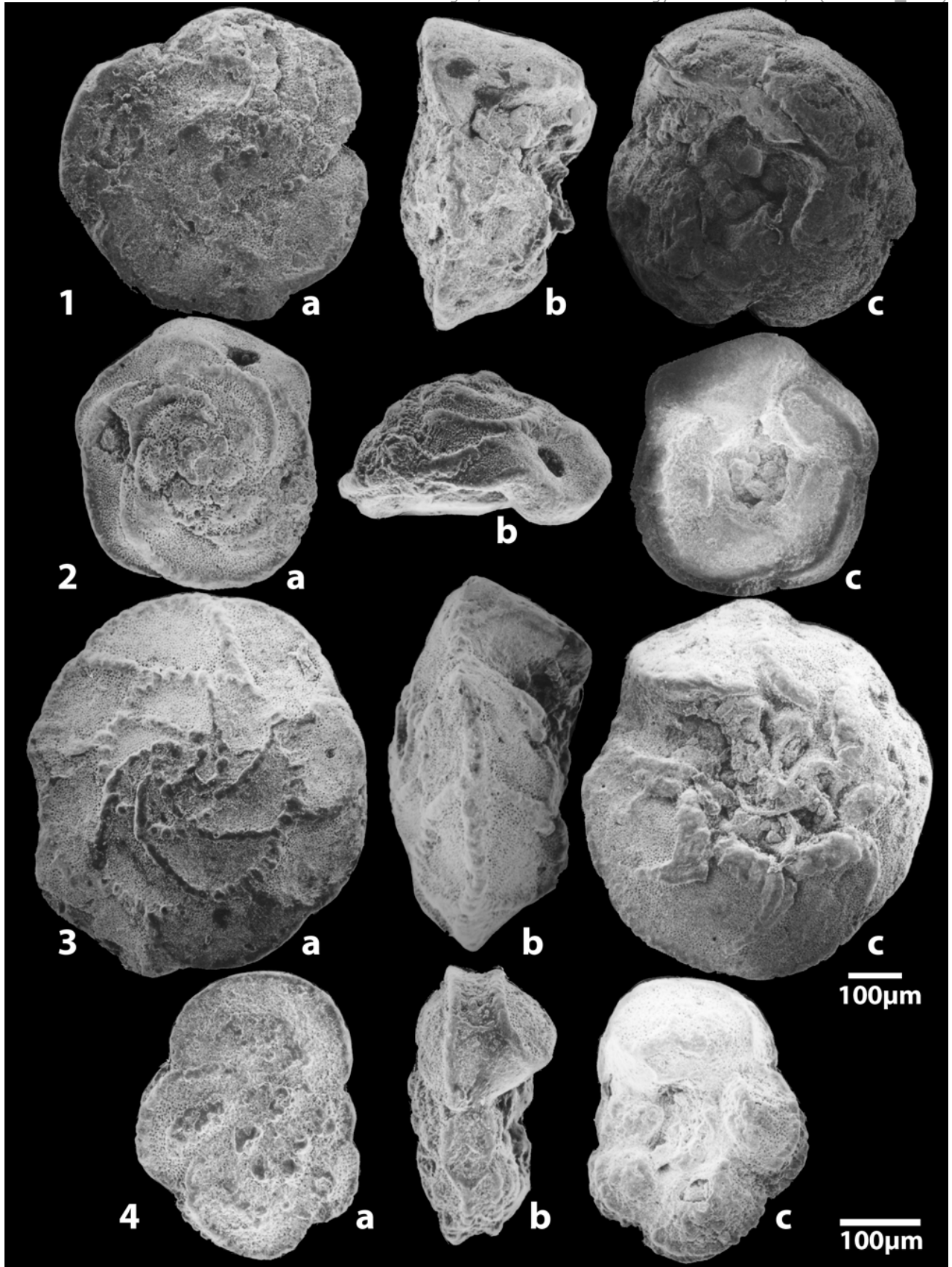
Foraminifères planctoniques de la Formation Abiod à Ellès (a : face spirale ; b : profil ; c : face ombilicale).

figure 1 : *Globotruncana insignis* GANDOLFI : coupe ELE 22,7 m ; partie basale des marnes intermédiaires Akhdar. À noter que cette première présence se manifeste plus bas que dans la coupe de Kalaat Senan de ROBASYNSKI *et alii* (2000).

figure 2 : *Contusotruncana contusa* (CUSHMAN) ou intermédiaire entre *C. contusa* et *C. patelliformis* (GANDOLFI) mais plus proche de *C. contusa* : coupe ELG 27 m ; partie inférieure des marnes El Haria, indice de profil : 0,54. Morphotype très proche de la représentation de *C. contusa* de l'Atlas des foraminifères planctoniques du Crétacé supérieur, pl. 36, figs. 2abc, indice de profil : 0,55 (ROBASZYNSKI *et alii*, 1984).

figure 3 : *Globotruncana stuarti* (de LAPPARENT) : coupe ELG 31,1 m ; partie inférieure des marnes El Haria.

figure 4 : *Globotruncana aegyptiaca* NAKKADY : coupe ELG 31,1 m ; partie inférieure des marnes El Haria.



► **Plate 5:**

Planktonic foraminifers of the Abiod Formation at Ellès. (a: spiral side, b: lateral view, c: umbilical side).

figure 1: *Globotruncanita angulata* (TILEV): section ELE 26.6 m, base of the Akhdar intermediate marls. A single-keeled form, a homeomorph of *Gansserina gansseri*, found very low in the Akhdar marls (lower than these morphs in the Kalaat Senan section).

figure 2: *Globotruncanita pettersi* (GANDOLFI): section ELE 33 m; base of the Akhdar intermediate marls.

figure 3: *Globotruncana ventricosa* WHITE: section ELD 83.3 m; alternances of the Mahdi Member below the Haraoua bar.

figure 4: *Gansserina wiedenmayeri* (GANDOLFI): section ELE 80 m; form with two closely-spaced keels then on the last chamber only one, thus tending toward *Gansserina gansseri*.

Planche 5 :

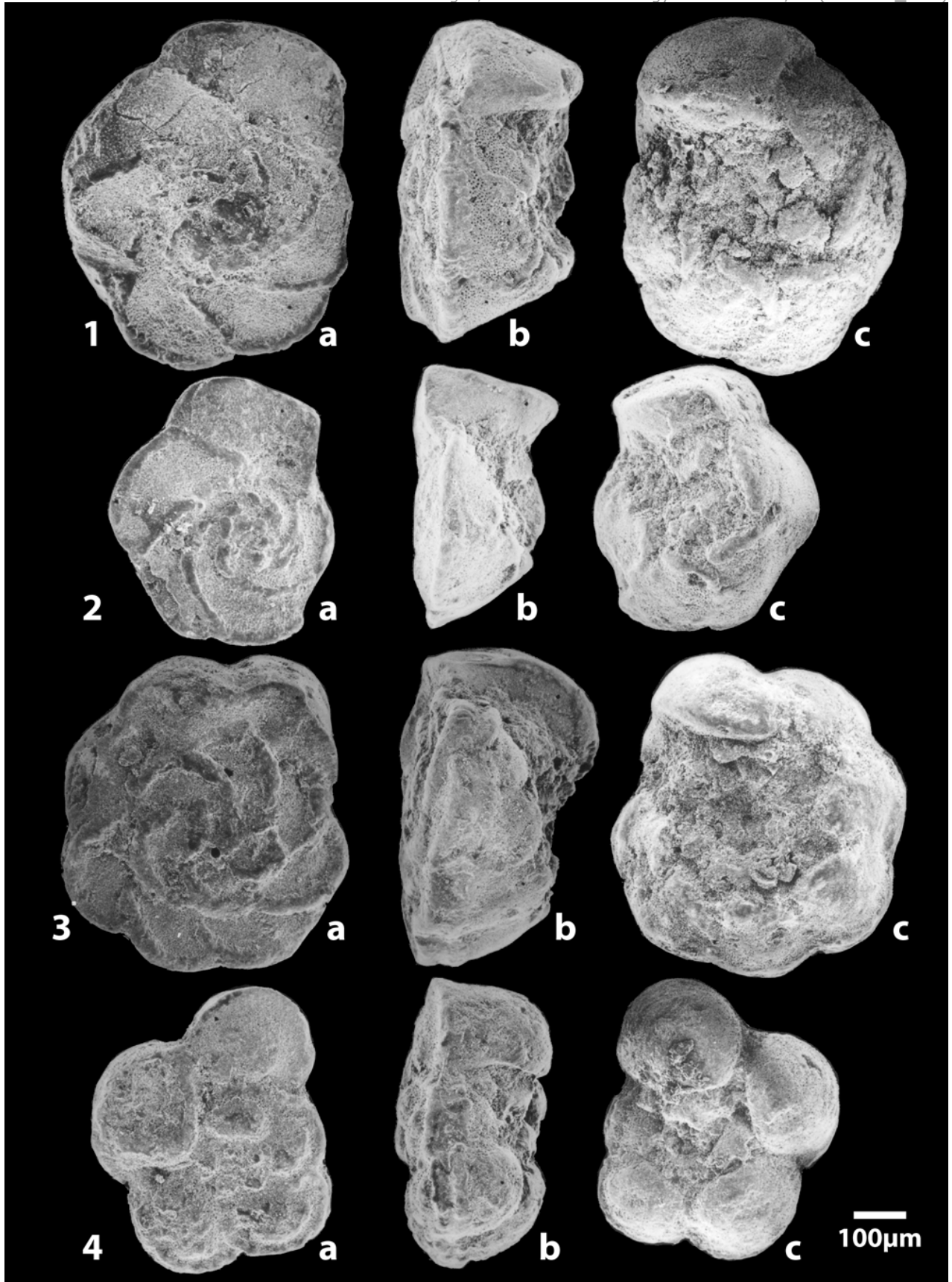
Foraminifères planctoniques de la Formation Abiod à Ellès (a : face spirale ; b : profil ; c : face ombilicale).

figure 1 : *Globotruncanita angulata* (TILEV) : coupe ELE 26,6 m, base des marnes intermédiaires Akhdar. Forme unicarénée, homéomorphe de *Gansserina gansseri*, se trouvant très bas dans les marnes Akhdar (plus bas que les morphes de la coupe de Kalaat Senan).

figure 2 : *Globotruncanita pettersi* (GANDOLFI) : coupe ELE 33 m ; base des marnes intermédiaires Akhdar.

figure 3 : *Globotruncana ventricosa* WHITE : coupe ELD 83,3 m ; alternances Mahdi au-dessus de la barre Haraoua.

figure 4 : *Gansserina wiedenmayeri* (GANDOLFI) : coupe ELE 80 m ; forme montrant deux carènes proches puis une carène sur la dernière loge et conduisant à *Gansserina gansseri*.



► **Plate 6:**

The lower part of the Abiod Formation at Ellès (photos F. ROBASZYNSKI).

figure 1 (negative 265-26). The lower bar of the Abiod in partial section ELD (in the eastern thalweg of wadi Ed Dam; upper portion of the lower part of the Campanian).

In the foreground crop out the last beds of the massive limestones of the Haraoua Member (H) of the lower bar of the Abiod Formation. The passage from the limestones of the Haraoua Member to the alternances of limestones-marly limestones of the Mahdi Member (M) takes place around ELD 70 where the first impressions of ammonites of the *Nostoceras* (*Bostrychoceras*) group occur.

To the right of the pylon, the three small white arrows indicate the location of the paved road where there is a vehicle.

figure 2 (negative 267-16). Intermediate marls of the Akhdar Member in partial section ELE (in the northern thalweg of wadi Ed Dam, southeast of the paved road) upper part of the Campanian.

The green turquoise marls are dominant in the Akhdar Member (A) with respect to the occurrence of marly limestones and limestones. Note that the planktonic foraminifer *Radotruncana calcarata* is present at least from ELE 43.50 m and continues up to 73.70 m. The lower limit quoted is about 2 m below the limestone bed at 45.50 m in the foreground. In the background at the top of the Akhdar marls are the first limestone banks of the Gourbeuj Member (G).

figure 3 (negative 267-37). The transition between the Akhdar marls (A) and the alternances of the Gourbeuj Member (G) in the partial section ELE; Upper Campanian.

The upper limit of the Akhdar marls is well-exposed in this outcrop which shows the transition to the alternances of the Gourbeuj Member, at the base of the upper bar of the Abiod Formation. It is in the final beds of these Akhdar marls that the first examples of the planktonic foraminifer *Gansserina gansseri* appear (formerly reputed to mark the "middle" Maastrichtian).

Planche 6 :

La partie inférieure de la Formation Abiod à Ellès (photos F. ROBASZYNSKI).

figure 1 (cliché 265-26). La barre inférieure de l'Abiod dans la coupe partielle ELD (sur le thalweg Est de l'oued Ed Dam) ; partie inférieure élevée du Campanien.

Au premier plan affleurent les derniers bancs de calcaires massifs du Membre Haraoua (H) de la barre inférieure de la Formation Abiod. Aux environs de ELD 70 se situe le passage entre les calcaires du Membre Haraoua et les alternances calcaires-calcaires marneux du Membre Mahdi (M) où se signalent les premières empreintes d'ammonites du groupe *Nostoceras* (*Bostrychoceras*).

À droite du pylône électrique, les trois petites flèches blanches indiquent la position de la route goudronnée où se trouve un véhicule.

figure 2 (cliché 267-16). Les marnes intermédiaires du Membre Akhdar dans la coupe partielle ELE (sur le thalweg Nord de l'oued Ed Dam, au sud-est de la route goudronnée) ; partie supérieure du Campanien.

Les marnes vert turquoise sont dominantes dans le Membre Akhdar (A) par rapport aux bancs de calcaire marneux et de calcaire. À noter que le foraminifère planctonique *Radotruncana calcarata* est présent au moins dès ELE 43,50 m - soit 2m environ sous le banc à 45,50 m au premier plan - et se poursuit au moins jusqu'à 73,70 m. À l'arrière plan, au sommet des marnes Akhdar viennent les premiers bancs calcaires du Membre Gourbeuj (G).

figure 3 (cliché 267-37). La transition entre les marnes Akhdar (A) et le Membre des alternances Gourbeuj (G) dans la coupe partielle ELE ; partie supérieure du Campanien.

Le sommet des marnes Akhdar est bien exposé dans cet affleurement qui montre le passage aux alternances du Membre Gourbeuj, à la base de la barre supérieure de la Formation Abiod. C'est dans les derniers bancs de ces marnes Akhdar qu'apparaissent les premiers exemplaires de l'espèce de foraminifère planctonique *Gansserina gansseri* (autrefois réputée pour marquer le Maastrichtien "moyen").



► Plate 7:

The upper part of the Abiod Formation and the transition to the marls of the El Haria Formation (photos F. ROBASYNSKI).

figure 1 (negative 268-15). The upper bar of the Abiod Formation in partial section ELF (upstream end of wadi Ed Dam), upper part of the Campanian and basal Maastrichtian.

The waterfall shows a progressive change at around the ELF 30 level from the alternances of the Gourbeuj Member (G) to the limestone beds with very thin intercalations of marly limestone of the Ncham Member (N); it is on this G/N line that Moheddine BEN YAHIA stands to give the scale. Going up from that line in the bed of wadi Ed Dam (past the photo) level ELE 48 yielded the ammonite *Pseudokossmaticeras brandti* characteristic of the upper part of the Campanian. By comparison with the section at Kalaat Senan. (ROBASZYNSKI *et alii*, 2000), the Campanian (Cp)-Maastrichtian (Ma) boundary is above this level, between ELF 60 and 70, probably around ELF 66.

figure 2 (negative 275-18). The boundary between the Abiod Formation (AB) and the El Haria Formation (EH) in partial section ELG (upper part of wadi El Kerma); middle portion of the Maastrichtian.

The upstream portion of wadi El Kerma is in the immediate foreground, running obliquely toward the lower right corner of the photo, following a narrow band of fairly continuous vegetation.

On the left bank of wadi El Kerma in the foreground on the right are the limestone-marl alternances of the Gouss Member (G), the highest of which yielded ammonites, among them a *Pachydiscus neubergicus* (von HAUER). At level ELG 17.20 m, the blue-black marls of the El Haria Formation rest on the last limestone bed of the Gouss Member.

The very weak resistance to erosion of the El Haria marls caused the last bed of limestone to be well exposed and to crop out over a large surface, however without any of the characteristics of a hardground (it is the upper surface of this bed that Li *et alii*, 1999, fig. 4a, p. 240 erroneously interpreted as a hardground. The lowermost levels of the El Haria marls too contain no glauconite, phosphate or quartz grains but have millimeter-sized bioclasts of bivalves and echinoderms which makes the marls feel grainy.

Higher up, five thin beds of limestone resting on two small beds of marly limestone form a ridge in the topography (the last of these beds is at level 36) that Li *et alii*, 1999, fig. 4B, p. 240 place erroneously their "Campanian-Maastrichtian boundary". That is, above the upper bar of the Abiod, and about 150 m above the levels with *Radotruncana calcarata* in the lower and middle portions of the Akhdar marls.

Above level 36 the El Haria marls continue, their upper portion of Paleocene age.

Planche 7 :

La partie supérieure de la Formation. Abiod et la transition aux marnes de la Formation El Haria (photos F. ROBASYNSKI).

figure 1 (cliché 268-15). La barre supérieure de la Formation Abiod dans la coupe partielle ELF (amont de l'oued Ed Dam) ; partie supérieure du Campanien et base du Maastrichtien.

La cascade de base montre un passage progressif - aux environs du niveau ELF 30 - entre les alternances du Membre Gourbeuj (G) et les bancs calcaires à très minces interbancs de calcaire marneux du Membre Ncham (N) ; c'est sur cette ligne G/N que se trouve Moheddine BEN YAHIA qui donne l'échelle. En remontant sur la droite le lit de l'oued Ed Dam (hors photo), le niveau ELE 48 a livré l'ammonite *Pseudokossmaticeras brandti* caractéristique de la partie supérieure du Campanien. Par comparaison avec la coupe de Kalaat Senan (ROBASZYNSKI *et alii*, 2000), la limite Campanien (Cp)- Maastrichtien (Ma) se trouve au-dessus de ce niveau, entre ELF 60 et 70, soit vers ELF 66.

figure 2 (cliché 275-18). La limite entre les Formations Abiod (AB) et El Haria (EH) dans la coupe partielle ELG (partie amont de l'oued El Kerma) ; partie moyenne du Maastrichtien.

L'amont de l'oued El Kerma se trouve au tout premier plan, allant obliquement de la gauche vers le coin inférieur droit de la photo, en suivant une petite bande de végétation assez continue.

En rive gauche de l'oued El Kerma, affleurent au premier plan à droite les alternances calcaires-marnes du Membre Gouss (G) dont les dernières ont livré des ammonites dont un *Pachydiscus neubergicus* (VON HAUER). Au niveau ELG 17,20m, les marnes bleu-noir de la Formation El Haria reposent sur le dernier banc calcaire du Membre Gouss. La très faible résistance à l'érosion des marnes El Haria fait que le sommet du dernier banc calcaire est bien dégagé et affleure sur une grande surface, sans présenter toutefois les caractères d'un hardground : pas de recristallisation, pas de glauconie ni de grains phosphatés (c'est le sommet de ce banc qui est interprété erronément comme un hardground par Li *et alii*, 1999, fig. 4a, p. 240). La base des marnes El Haria ne montre pas non plus de glauconie ni de phosphate ou de grains de quartz mais contient des bioclastes millimétriques de lamellibranches et d'échinodermes, ce qui lui confère un toucher graineux.

Plus haut, cinq petits bancs de calcaires superposés à deux petits bancs de calcaires marneux forment un ressaut dans la topographie (le dernier de ces bancs se trouve au niveau 36) et ont livré plusieurs empreintes d'ammonites appartenant au genre *Pachydiscus* (c'est au sommet de ce banc 36 que Li *et alii*, 1999, fig. 4b, p. 240, placent erronément leur "Campanian-Maastrichtian boundary" c'est-à-dire au-dessus de la barre supérieure de l'Abiod, à environ 150 m au-dessus des niveaux à *Radotruncana calcarata* de la partie inférieure à moyenne des marnes Akhdar).

Au-dessus du niveau 36 on voit encore la suite des marnes El Haria dont la partie supérieure appartient au Paléocène.

