

# Position de la limite Cénomanién-Turonien dans la Formation Bahloul de Tunisie centrale: apports intégrés des ammonites et des isotopes du carbone ( $\delta^{13}\text{C}$ )

FRANCIS AMÉDRO<sup>1</sup>, HUGUES ACCARIE<sup>2</sup> & FRANCIS ROBASZYNSKI<sup>3</sup>

Mots clés: Limite Cénomanién-Turonien, Tunisie, Formation Bahloul, ammonites, isotope du carbone  
Key words: Cenomanian-Turonian boundary, Tunisia, Bahloul Formation, ammonites, carbon isotope

## RESUME

Deux coupes de la Formation Bahloul en Tunisie centrale ont livré plus de 250 ammonites qui fondent une zonation en quatre termes allant du Cénomanién terminal (Zones à *Metoicoceras geslinianum* et à *Pseudaspidoceras pseudonodosoides*) au Turonien basal (Zones à *Watinoceras* spp et à *Pseudaspidoceras flexuosum*). La position de la limite Cénomanién-Turonien (C-T) étant définie par l'apparition de *Watinoceras* spp, cette limite est placée à 0,60m près dans la localité-type de la Formation à l'Oued Bahloul. Sur les deux coupes étudiées des mesures du carbone isotopique ont mis en évidence quatre événements – ou pics en  $\delta^{13}\text{C}$  – formant des lignes temporelles considérées comme synchrones dans la région considérée. L'événement  $\delta^{13}\text{C}$  indexé III, d'âge encore cénomanién, est le plus proche de la limite C-T. Un événement biologique relatif à l'apparition de «filaments» – ou microlamellibranches pélagiques – toujours cénomanién, est encore plus proche de la limite C-T. Enfin, une comparaison est tentée avec les Marnes à Plenus d'Eastbourne (UK) et avec le stratotype de la limite C-T à Pueblo (USA).

## ABSTRACT

In two sections of the Bahloul Formation in Central Tunisia, more than 250 ammonites were collected. They allow a four fold zonation in the uppermost Cenomanian and lowermost Turonian. The Cenomanian-Turonian (C-T) boundary is defined by the appearance of *Watinoceras* spp. The position of the boundary is given with a precision of 0.60 m in the stratotype of the Formation at Oued Bahloul. In the two sections, carbon isotope diagram shows four  $\delta^{13}\text{C}$  events considered as synchronous in the studied area. The carbon event III, still Cenomanian in age, is used as a proxy of the C-T boundary. A biological event related to the appearance of «filaments» (pelagic microbivalves), also included in the Cenomanian stage, is even closer to the C-T boundary than the carbon event III. Finally, a tentative comparison is given with the Plenus Marls at Eastbourne (UK) and with the stratotype of the C-T boundary at Pueblo (USA).

## 1 – La Formation Bahloul et les fluctuations de la limite Cénomanién-Turonien en Tunisie Centrale

La Formation Bahloul est une barre carbonatée de quelques mètres à plusieurs décimètres d'épaisseur développée dans une grande partie de la Tunisie à la limite Cénomanién-Turonien et surtout bien exposée en Tunisie centrale où elle sépare les marnes de la Formation Fahdène situées en-dessous, des marnes de la Formation Aleg au-dessus. Créée par Burollet (1956), la Formation Bahloul est caractérisée par des calcaires noirs, souvent finement laminés, s'altérant en plaquettes claires, riches en matière organique. Cette unité lithologique est considérée aujourd'hui comme l'expression régionale de l'événement anoxique océanique global OAE2 (Caron et al. 1999).

Des descriptions lithologiques détaillées de la Formation Bahloul en Tunisie centrale ont été publiées à différentes re-

prises durant les dix dernières années, à la fois dans la coupe-type de l'Oued Bahloul (fig. 1; Maamouri et al. 1994; Ben Haj Ali et al. 1994; Caron et al. 1999), dans la région de Kalaat Senan (Robaszynski et al. 1990, 1993, 1994; Accarie et al. 2000) et dans l'Oued Méllègue, à 10 km au Nord-Ouest du Kef (Nederbragt & Fiorentino 1999). La succession lithologique de la Formation Bahloul est maintenant bien connue en Tunisie centrale mais son âge précis est resté un sujet de discussion et la position de la limite Cénomanién-Turonien a fluctué suivant les auteurs. La figure 2 résume les interprétations successives proposées depuis la création de la formation par Burollet en 1956.

Des récoltes d'ammonites réalisées dans la coupe-type de l'Oued Bahloul et dans le secteur de Kalaat Senan (Oued Smara, Crête Azreg) apportent aujourd'hui de nouvelles données paléontologiques permettant de situer avec plus de précision la limite Cénomanién-Turonien en Tunisie centrale. Dans

<sup>1</sup> 26 rue de Nottingham, 62100 Calais, France

<sup>2</sup> Ecole des Mines de Paris, 35 rue Saint-Honoré, 77305 Fontainebleau cedex, France. E-mail: hugues.accarie@ensmp.fr

<sup>3</sup> Faculté Polytechnique, 9 rue de Houdain, 7000 Mons, Belgique

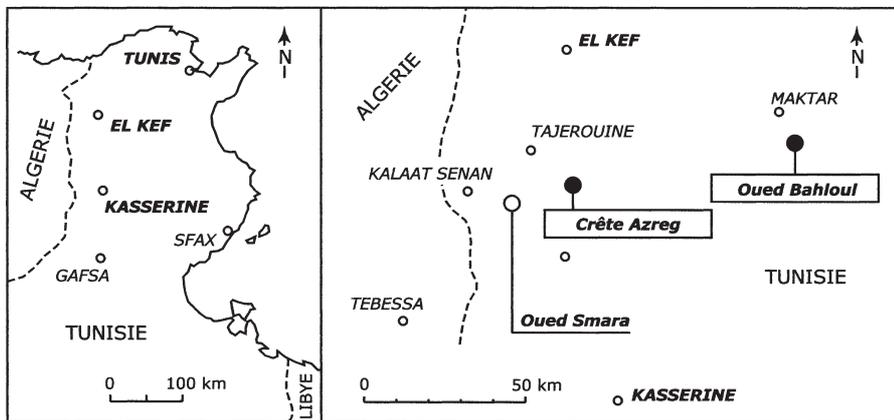


Fig. 1. Carte de localisation des coupes citées dans le texte en Tunisie centrale

Location maps for sections described in the text in central Tunisia.

la coupe de l'Oued Bahloul, l'intervalle d'incertitude se réduit à 0,60 m. Le haut pouvoir de résolution obtenu à l'aide des ammonites conduit à placer la limite Cénomaniens-Turonien dans le quart supérieur de la Formation Bahloul, à remettre en cause l'interprétation des pics de la courbe du carbone ( $\delta^{13}\text{C}$ ) publiée par Accarie et al. (1996) et à en proposer une nouvelle. D'un autre côté, plusieurs exemplaires de l'ammonite *Metoiceras geslinianum* provenant de la base de la Formation Bahloul à la Crête Azreg sont illustrés. Il s'agit de la première citation de l'espèce en Tunisie, ce qui permet une corrélation directe avec le domaine boréal et en particulier avec les Marnes à *Actinocamax plenus* du bassin anglo-parisien. Enfin, un certain nombre d'événements à caractère lithologique (bancs calcaires indurés, apparition de faciès laminés noirs) ou écologique (niveaux riches en bioturbations ou caractérisés par l'abondance de fossiles particuliers) sont identifiés et décrits, constituant d'excellents niveaux-repères utilisables pour des corrélations au sein de la Formation Bahloul.

## 2 – La formation Bahloul en Tunisie Centrale

### 2.1 – Définition et limites

La Formation Bahloul a été définie par Burollet et al. (1954) et précisée par Burollet (1956) de la façon suivante: «calcaires finement lités et généralement feuilletés ou cartonnés, marneux en de nombreux lits, alternant parfois avec quelques marnes. Ils sont bruns, gris foncé ou noirs, devenant blancs en surface à l'altération; lorsqu'ils sont cassés au marteau, ils dégagent une forte odeur bitumineuse. Les surfaces de stratification présentent des restes de Poissons. Cette unité n'est pas très résistante, mais elle forme généralement un ressaut dans la topographie entre deux larges ensembles argilo-marneux qui l'entourent».

La limite inférieure de la Formation Bahloul est une discontinuité lithologique caractérisée par l'apparition, au-dessus des argiles gris-vert de la Formation Fadhène, de calcaires marneux sombres contenant dans les niveaux de base des grains de quartz anguleux, de glauconie et de phosphate rema-

niés. Sur la coupe de référence de l'Oued Bahloul, cette limite est particulièrement bien exprimée et se présente sous la forme d'une surface d'érosion (Burollet & Robaszynski 1991; Caron et al. 1999).

La limite supérieure de la Formation correspond au passage des faciès calcaires du Bahloul (80 % de  $\text{CaCO}_3$  en moyenne) à des faciès marneux (60 % de  $\text{CaCO}_3$  en moyenne) représentant le Membre Annaba de la Formation Aleg (Burollet 1956). Si cette limite est tranchée dans la coupe de l'Oued Smara à l'Est de Kalaat Senan (Robaszynski et al. 1994), tel n'est pas toujours le cas comme par exemple à l'Oued Bahloul où l'on observe un passage progressif entre les deux faciès avec des intercalations calcaires se raréfiant au sein d'une succession de plus en plus marneuse.

### 2.2 – Les unités lithostratigraphiques

Les descriptions détaillées publiées par Robaszynski et al. (1990, 1993, 1994), Caron et al. (1999) et Accarie et al. (2000) ont conduit ces derniers à distinguer deux unités lithostratigraphiques dans la Formation Bahloul, soit du bas vers le haut.

- Unité inférieure: pré-Bahloul (4 à 6 m); bancs calcaires gris-beige, souvent massifs, riches en bioclastes et petits grains de quartz, très difficiles à casser au marteau, organisés en bancs centimétriques à décimétriques voire métriques («gros bancs de base»). Des grains de quartz grossier, de glauconie et de phosphate remaniés sont fréquents dans les niveaux inférieurs.
- Unité supérieure: Bahloul *sensu stricto* (20 à plus de 30 m dans le secteur étudié); suite répétitive de calcaires noirs feuilletés, de calcaires noirs plaquetés et de marnes ou calcaires marneux sombres, souvent bioturbés. Caron et al. (1999) ont montré que ces séquences lithologiques sont l'expression de cycles astronomiques de type Milankovitch correspondant à la précession des équinoxes ( $\pm 20\,000$  ans) et ont estimé la durée du dépôt de la Formation Bahloul – et donc probablement de l'OAE 2 – à  $\pm 400\,000$  ans, soit un grand cycle d'excentricité.

Formations	BUROLLET 1956	ROBASZYNSKI <i>et al.</i> , 1990	MAAMOURI <i>et al.</i> , 1994	BEN HAJ ALI <i>et al.</i> , 1994	ACCARIE <i>et al.</i> , 1996	ce travail 2005
	Tunisie centrale	Kalaat Senan	O. Bahloul	O. Bahloul	Kalaat Senan	Tunisie centrale
Aleg		TURONIEN		TURONIEN		TURONIEN
Bahloul	TURONIEN	<i>P. flexuosum</i> ↑	TURONIEN	<i>Fagesia</i> ↑	TURONIEN	<i>Watnoceras</i> ↑
		CENOMANIEN	<i>D. imbricata</i> <i>D. hagni</i> ↑	CENOMANIEN	$\delta^{13}C$ event II ↑	CENOMANIEN
Fadhène	CENOMANIEN		CENOMANIEN		CENOMANIEN	

Fig. 2. Les interprétations successives de la limite Cénomanién-Turonien en Tunisie centrale depuis Burolet (1956) jusqu'à aujourd'hui.

*The Cenomanian-Turonian boundary in central Tunisia since Burolet (1956) to the present date.*

### 2.3 – Les niveaux-repères

Un certain nombre de niveaux présents au sein de la Formation Bahloul en Tunisie centrale sont caractérisés soit par un événement lithologique, soit par un événement écologique. Ces niveaux constituent d'excellents repères utilisables pour les corrélations. Ce sont, par ordre ascendant (fig. 3), les niveaux suivants:

- (i) La base de la Formation Bahloul: discontinuité lithologique, parfois même surface d'érosion, caractérisée par l'apparition au-dessus des argiles gris-vert de la Formation Fadhène de calcaires riches en bioclastes et grains de quartz.
- (ii) Un banc calcaire épais, massif, proéminent («gros banc de base») situé 0,50 m à 1 m au-dessus de la limite inférieure de la Formation Bahloul.
- (iii) L'apparition des calcaires laminés noirs, à la limite inférieure desquels se développent des «mini-slumps».
- (iv) Un intervalle caractérisé par la présence, puis une abondance de fins bivalves (= «filaments») amassés et disposés parallèlement à la stratification, proche de la limite Cénomanién-Turonien. Le repère pris en compte est l'apparition des «filaments», c'est à dire la base de l'éco-événement qui peut-être tracé sur une hauteur de plusieurs mètres. Une illustration de ces «filaments» a été publiée par Robaszynski *et al.* (1994, pl. 7, fig. 4).
- (v) Une surface perforée avec des bioturbations très abondantes s'enfonçant sur plus de 10 cm de profondeur, remplies d'un calcaire grossier jaunâtre contenant quelques grains de glauconie et de phosphate.
- (vi) Un niveau décimétrique contenant de nombreuses empreintes de *Pseudaspidoceras flexuosum* Powell («*P.*

*flexuosum* event»). Ce niveau-repère surmonte immédiatement la surface perforée décrite précédemment.

- (vii) La disparition des calcaires laminés noirs. A noter que cet événement intervient à des hauteurs différentes suivant les coupes. De ce fait, la limite supérieure de la Formation Bahloul peut être légèrement diachrone.

Au total, sept repères correspondant à des événements à caractère lithologique ou écologique sont identifiés à travers la Formation Bahloul en Tunisie centrale. Outre leur intérêt pour des corrélations à l'échelle régionale, ils permettent de mieux situer les récoltes de macrofaune et en particulier d'ammonites.

### 3 – Les ammonites

Les distributions stratigraphiques des ammonites concernant la coupe-type de l'Oued Bahloul (indexée BLB) et les affleurements situés à l'Est de Kalaat Senan, d'une part dans l'Oued Smara (SM) et d'autre part le long de la Crête Azreg (AZ) ont déjà été publiés par Robaszynski *et al.* (1990, 1993, 1994), Ben Haj Ali *et al.* (1994) et Caron *et al.* (1999). Des récoltes complémentaires fournissent aujourd'hui des informations nouvelles, ce qui a conduit à reprendre la détermination de l'ensemble du matériel déjà recueilli dans la région. A cette occasion, une collection représentative a été soumise pour avis à W.A. Cobban (Denver, USA) et à W.J. Kennedy (Oxford, U.K.) que nous tenons à remercier.

La coupe de la Crête Azreg a fourni le plus grand nombre d'ammonites réparties à travers l'ensemble de la Formation Bahloul grâce à des conditions d'affleurements particulièrement favorables. Mais c'est à l'Oued Bahloul qu'est tracée avec le plus de précision la limite Cénomanién-Turonien.

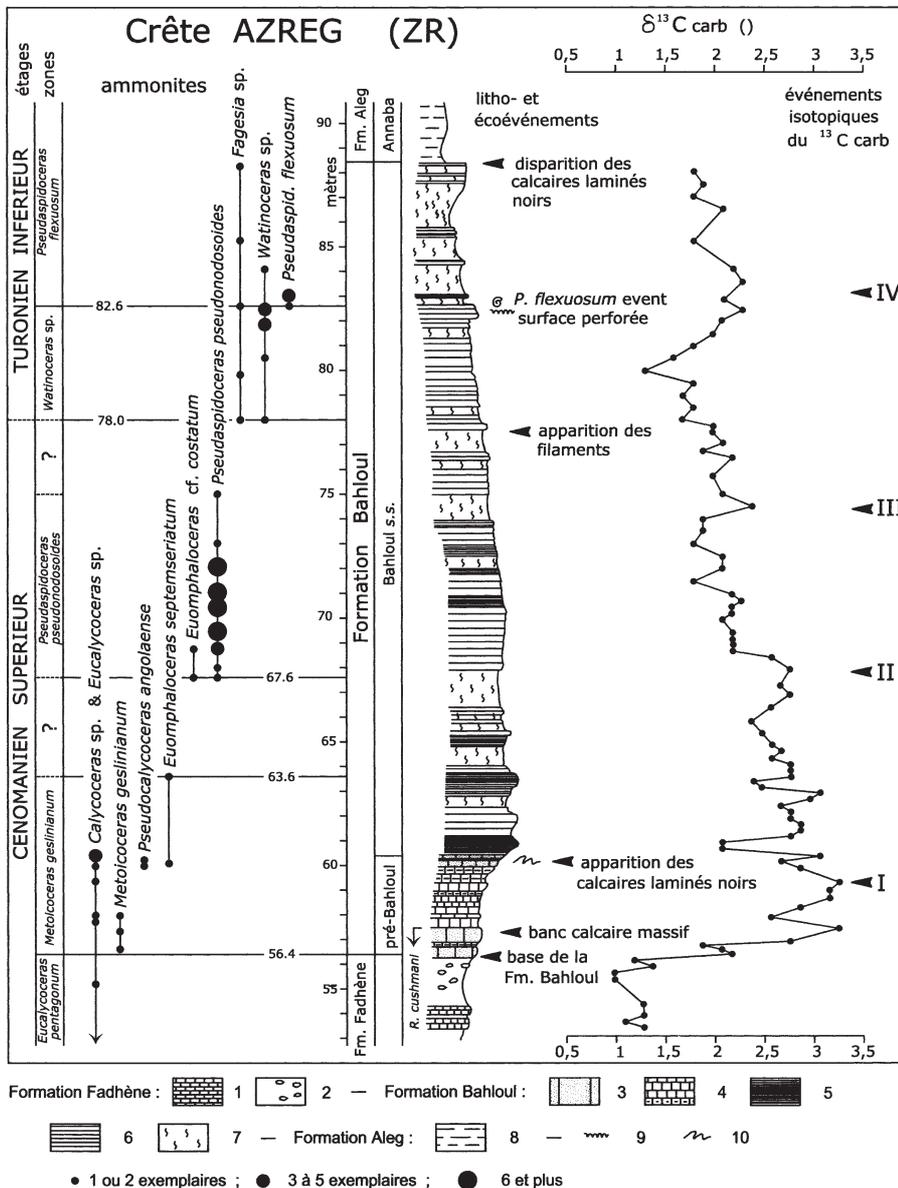


Fig. 3. La Formation Bahloul à la Crête Azreg avec les niveaux-repères présents aux environs de la limite Cénomanién-Turonien en Tunisie centrale (événements à caractère lithologique, écologique ou géochimique). Courbe isotopique du carbone ( $\delta^{13}C$ ) d'après Caron et al. sous presse.

1. Calcaires micritiques en petits bancs; 2. Marnes gris-vert à nodules calcaires; 3. Calcaires massifs à calcispères à gros et petits bioclastes, présence de grains de quartz anguleux, de glauconie et de phosphates remaniés dans les niveaux de base; 4. calcaires à calcaires marneux à calcispères, rares hétérohélicidés et whiteinelles épar-sés; 5. calcaires noirs finement laminés; 6. calcaires noirs à laminations; 7. calcaires sombres, non laminés, souvent bioturbés; 8. marnes gris-bleu; 9. horizons intensément bioturbés; 10. «mini-slump».

The Bahloul Formation at the Azreg ridge with marker beds (litho-, eco- and geochemical events) at the Cenomanian-Turonian boundary in central Tunisia. Carbon isotope profile ( $\delta^{13}C$ ) from Caron et al. in press.

1. thinly bedded micritic limestones; 2. greenish grey marls with calcareous nodules; 3. massive bedded limestones with calcisppheres and small to large bioclasts, reworked grains of angular quartz, glauconite and phosphate are present in the lower part; 4. limestones to marly limestones with Calcisppheres, rare Heterohelicid and sparse Whiteinellids; 5. thinly laminated black limestones; 6. roughly laminated black limestones; 7. dark limestones, no laminated, often bioturbated; 8. grey-blue marls; 9. burrowed surface; 10. small slumping features.

### 3.1 – La limite Cénomanién-Turonien à l'Oued Bahloul

Le Second Symposium sur les limites des étages du Crétacé tenu à Bruxelles en 1995 (Bengtson 1996) a recommandé de faire coïncider la limite inférieure du Turonien avec la base de la Zone d'ammonite à *Watinoceras devonense* et non plus avec la base de la zone suivante à *Pseudaspidoceras flexuosum*, comme c'était le cas depuis 1983. Même si, pour l'instant, aucun spécimen de l'espèce *W. devonense* n'a été identifié en Tunisie centrale, dans la coupe de l'Oued Bahloul (BLB) illustrée dans la figure 4, les derniers *Pseudaspidoceras pseudonodosoides* (Choffat) caractéristiques de l'étage Cénomanién proviennent du niveau BLB 27,00 m. Les premières ammonites typiques du Turonien: *Watinoceras* sp. et *Fagesia* sp. ont été trouvées à par-

tir de BLB 27,60 m. En tenant compte de ces informations, la limite Cénomanién-Turonien est située dans l'intervalle BLB 27,00 m – BLB 27,60 m. L'intervalle d'incertitude est réduit à seulement 0,60 m, à comparer aux 7 m sans ammonite au passage Cénomanién-Turonien, indiqués antérieurement par Caron et al. (1999) et aux 17 m de Ben Haj Ali et al. (1994).

D'un autre côté, l'examen de la figure 4 montre que la base du Turonien dans l'Oued Bahloul est très proche du niveau d'appari-tion des «filaments» situé au niveau BLB 26,50 m mais qui appari-tionne encore au Cénomanién le plus élevé. Dans la mesure où cette observation est confirmée dans les coupes de la région de Kalaat Senan décrites ci-dessous, l'appari-tion des «filaments» peut être considérée comme un marqueur commode pour repérer la limite Cénomanién-Turonien dans la For-

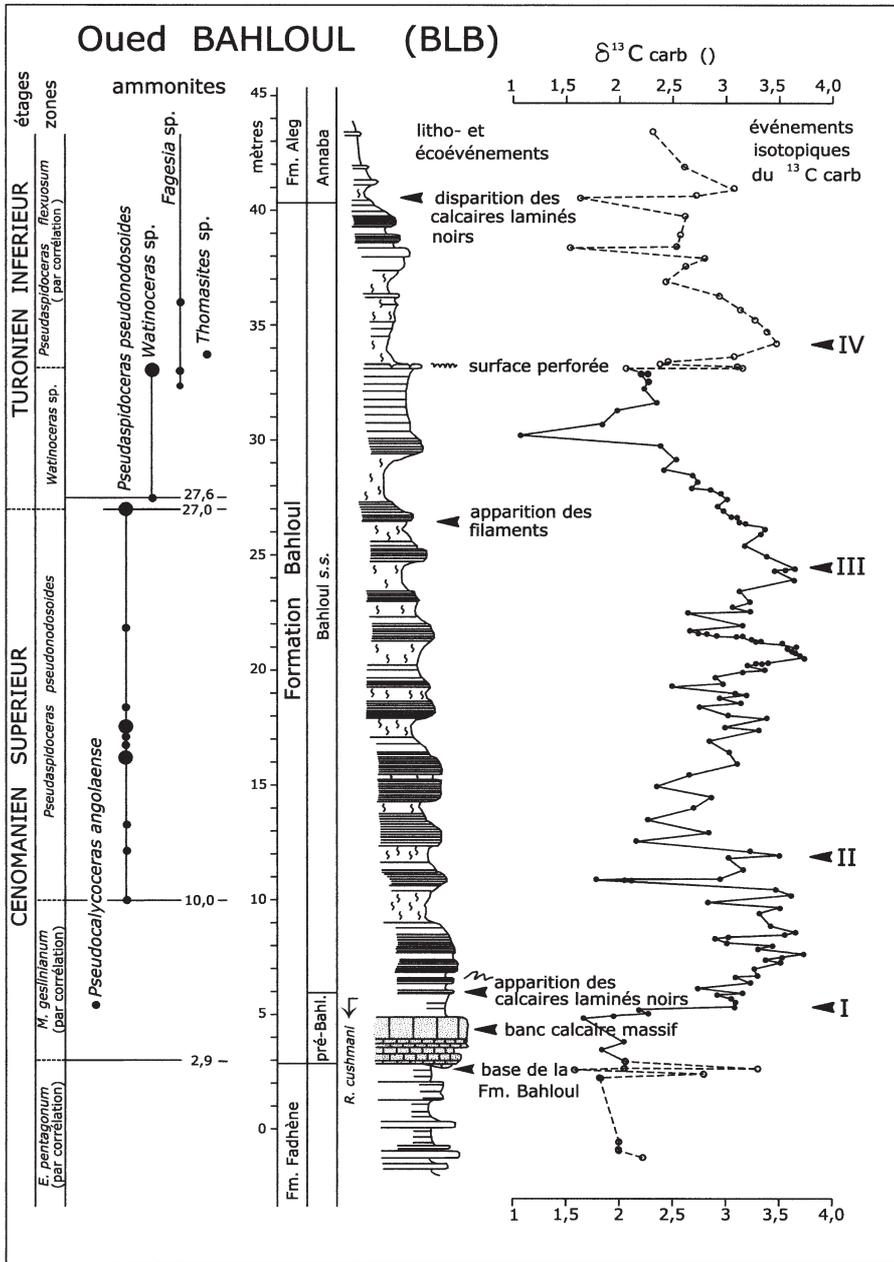


Fig. 4. La Formation Bahloul à la localité-type.

*The Bahloul Formation at the type-locality.*

mation Bahloul, au moins à l'échelle régionale de la Tunisie centrale. A noter que l'éco-événement lui-même, c'est à dire l'intervalle caractérisé par l'abondance des «filaments», débute quelques décimètres plus haut à la base de l'étage Turonien, à partir du niveau BLB 27,75, et peut être suivi sur une hauteur de plusieurs mètres (Caron et al. sous presse).

### 3.2 – Biostratigraphie et biozonation

Les coupes de la Crête Azreg (ZR et son équivalent latéral AZ décrit par Amédéo & Robaszynski 1993; Robaszynski et al. 1993) ont livré près de 200 empreintes d'ammonites répar-

ties sur la totalité des affleurements. Par comparaison, celle de l'Oued Bahloul (BLB) a fourni seulement une cinquantaine de spécimens. C'est la raison pour laquelle la Crête Azreg est prise ici comme coupe de référence. L'examen du tableau de répartition des ammonites récoltées sur la Crête Azreg, présenté dans la figure 3, appelle les remarques suivantes.

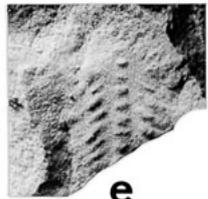
Deux zones d'ammonites sont identifiées dans la partie cénonomanienne de la Formation Bahloul, soit du bas vers le haut, la Zone à *Metoicoceras geslinianum* dont c'est la première citation en Tunisie et la Zone à *Pseudospidoceras pseudonodosoides* équivalente à la Zone à *Neocardioceras juddii* du Domaine boréal (cf. *infra*).



**a**

**b**

**c**

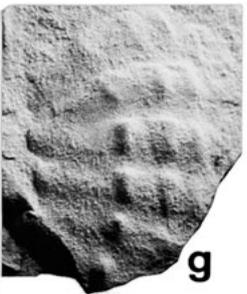


**d**

**e**



**f**



**g**



**h**



**i**

- Zone à *Metoicoceras geslinianum*. La limite inférieure de la zone est tracée à la base de l'unité pré-Bahloul (ZR 56,40) à l'apparition de l'espèce index. L'inventaire de la moitié inférieure de la zone comprend *Metoicoceras geslinianum* (d'Orbigny), *Pseudocalycoceras angolaense* (Spath), *Calycoceras* sp., *Eucalycoceras pentagonum* (Jukes-Browne) et, vers le haut, *Euomphaloceras septemseriatum* (Cragin). En revanche, seule la dernière espèce a été trouvée jusqu'à présent dans la moitié supérieure de la zone. La Zone à *Metoicoceras geslinianum* remplace la Zone à *Euomphaloceras septemseriatum* utilisée jusqu'à présent en Tunisie centrale par Robaszynski et al. (1990, 1993, 1994), Amédéo & Robaszynski (1993) et Chancellor et al. (1994). Le changement d'index est justifié par l'apparition plus précoce de *M. geslinianum* dans des niveaux où *E. septemseriatum* n'est pas encore connu. D'un autre côté, il est intéressant de remarquer que la disparition des *Calycoceras* et *Eucalycoceras* coïncide avec la limite supérieure de l'unité pré-Bahloul. Dans les craies du bassin anglo-parisien, cet événement s'effectue également dans la partie moyenne de la Zone à *Metoicoceras geslinianum*, au sommet du bed 3 des Marnes à Plenus (Wright & Kennedy 1981). En tenant compte de ces informations, il est possible de corréliser l'unité pré-Bahloul avec les beds 1 à 3 des Marnes à Plenus et les premiers faciès laminés noirs de l'unité Bahloul s.s. avec les beds 4 à 8. A noter que cette comparaison fondée sur des arguments paléontologiques est confortée par l'analyse séquentielle des successions. La base de l'unité Bahloul s.s., comme les beds 4 à 8 des marnes à Plenus, sont interprétés dans les deux cas comme des Intervalles Transgressifs (Robaszynski et al. 1998; Caron et al. 1999).
- Zone à *Pseudaspidoceras pseudonodosoides*. La base de la Zone est définie par l'apparition de l'index. Cette zone, créée par Amédéo (in Robaszynski et al. 1994) est reconnue le long de la Crête Azreg à partir du niveau ZR 67,60 avec, outre l'espèce-index qui est très abondante, *Euomphaloceras* cf. *costatum* Cobban, Hook & Kennedy. Un intervalle de 4 m compris entre les niveaux ZR 63,60 et ZR 67,60 reste pour l'instant non daté entre le sommet de la Zone à *M. geslinianum* et la base de la Zone suivante à *P. pseudonodosoides*, faute de récolte d'ammonites. *Pseudaspidoceras pseudonodosoides* (Choffat) est une espèce connue dans le Cénomanien supérieur du Portugal, Tuni-

sie, Israël et Amérique du Nord (Nouveau Mexique, Arizona, Trans-Pecos Texas). Mais il faut préciser que les récoltes les plus abondantes et les mieux situées stratigraphiquement sont celles du Nouveau Mexique où la répartition verticale de l'espèce est restreinte à la Zone à *Neocardioceras juddii* (Cobban et al. 1989). C'est la raison pour laquelle la Zone d'ammonite tunisienne à *P. pseudonodosoides* est corrélée à la Zone boréale à *N. juddii*.

Deux zones d'ammonites sont également reconnues dans la partie turonienne de la Formation Bahloul, avec à la base une Zone à *Watinoceras* sp. équivalente à la Zone à *Fagesia* sp. décrite pour la première fois dans la localité-type de l'Oued Bahloul par Ben Haj Ali et al. (1994) et, au-dessus, une Zone à *Pseudaspidoceras flexuosum* identifiée par Amédéo in Robaszynski et al. (1990).

- Zone à *Watinoceras* sp.: La base de la zone est prise à l'apparition des premiers *Watinoceras* au niveau ZR 78,00. Comme dans l'Oued Bahloul, cette apparition coïncide à quelques décimètres près avec l'apparition des «filaments» située en ZR 77,50. L'association présente dans la zone est peu diversifiée, mais riche en nombre d'individus, avec des *Watinoceras* sp., *Fagesia* sp. et un *Kamerunoceras* sp.
- Zone à *Pseudaspidoceras flexuosum*. L'espèce *P. flexuosum* Powell y pullule, mais sa distribution verticale très limitée sur la Crête Azreg entre ZR 82,60 et ZR 82,80 fait penser à un éco-événement plutôt qu'à une véritable biozone. La faune accompagnante comprend des *Watinoceras* sp., *Fagesia* sp. et *Thomasites* sp.

En plus des récoltes réalisées dans l'Oued Bahloul (BLB) et le long de la Crête Azreg (ZR), des recherches ont également été effectuées dans l'Oued Smara (SM) situé à 10 km à l'Est de Kalaat Senan (fig. 1). La Coupe de l'Oued Smara, décrite par Robaszynski et al. (1993, 1994), est moins bien exposée que celle de la Crête Azreg et n'est pas reprise ici. A noter toutefois qu'un certain nombre d'empreintes très écrasées provenant de l'intervalle SM 128,50 – SM 132, déterminées avec doute en 1994 comme *Calycoceras* sp. et *Eucalycoceras* sp., sont en réalité des *Fagesia* sp. et *Watinoceras* sp. comme le démontrent de nouvelles ammonites mieux conservées découvertes depuis (fig. 6b, e). Les premiers *Watinoceras* et *Fagesia*

Fig. 5. a–d, *Metoicoceras geslinianum* (d'Orbigny, 1850)

a, de AZ 107 (= ZR 57,20); b, c, de ZR 56,40 – 56,70; d, de AZ 108 (= ZR 58,20); e, *Euomphaloceras septemseriatum* (Cragin, 1893); de ZR 60; f, g, *Pseudocalycoceras angolaense* (Spath, 1931); f, de AZ 110,40 (= ZR 60,20); g, de AZ 110,20 (= ZR 60,00); h, *Eucalycoceras pentagonum* (Jukes-Browne, 1896); de SM 116,70 (équivalent à ZR 58,00); i, *Pseudaspidoceras pseudonodosoides* (Choffat, 1899); de AZ 121,50 (= ZR 70,30)

Toutes les figures sont  $\times 1$

a–d, *Metoicoceras geslinianum* (d'Orbigny, 1850)

a, from AZ 107 (= ZR 57,20); b, c, from ZR 56,40–56,70; d, from AZ 108 (= ZR 58,20)

e, *Euomphaloceras septemseriatum* (Cragin, 1893); from ZR 60;

f, g, *Pseudocalycoceras angolaense* (Spath, 1931); f, from AZ 110,40 (= ZR 60,20); g, from AZ 110,20 (= ZR 60,00)

h, *Eucalycoceras pentagonum* (Jukes-Browne, 1896); from SM 116,70 (equivalent to ZR 58,00)

i, *Pseudaspidoceras pseudonodosoides* (Choffat, 1899); from AZ 121,50 (= ZR 70,30). All the specimens are  $\times 1$



**a**



**b**



**c**



**d**



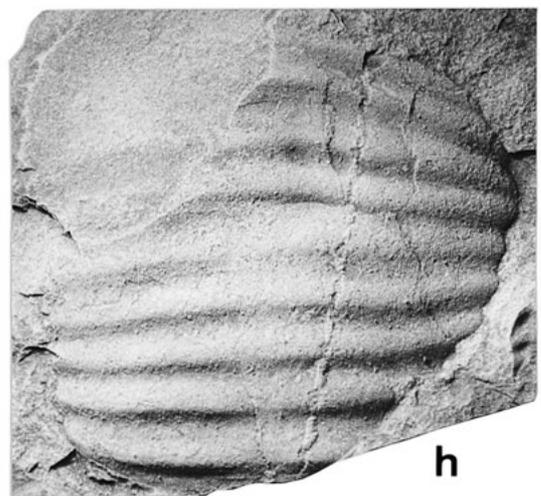
**e**



**f**



**g**



**h**

caractéristiques du Turonien apparaissent en SM 128,20, tandis que *Pseudaspidoceras pseudonodosoides* est présent en SM 120,80 et SM 121 (fig. 6c).

Au terme de l'étude biostratigraphique des coupes décrites ici, trois faits nouveaux se dégagent par rapport aux travaux antérieurs:

- (i) la limite inférieure de la Formation Bahloul coïncide avec la base de la Zone d'ammonite à *Metoicoceras geslinianum*;
- (ii) la limite Cénomaniens-Turonien dans le sens recommandé lors du Second Symposium sur les limites des étages du Crétacé tenu à Bruxelles en 1995 peut être tracée avec précision et se trouve très légèrement au-dessus du niveau d'apparition des «filaments»;
- (iii) quatre zones d'ammonites sont identifiées dans la Formation Bahloul en Tunisie centrale: deux dans la partie cénomaniennne de la Formation, les Zones à *Metoicoceras geslinianum* et à *Pseudaspidoceras pseudonodosoides*; et deux dans la partie turonienne de la Formation, les Zones à *Watinoceras* sp. et à *Pseudaspidoceras flexuosum*.

### 3.3 – Description et illustration du nouveau matériel

Les espèces d'ammonites identifiées dans la Formation Bahloul sont aujourd'hui bien connues grâce aux révisions publiées en Europe par Wright et Kennedy (1981, 1984–1996) et surtout aux USA par Cobban (1988a et b), Cobban et al. (1989) et Kennedy et al. (1987, 1989, 1999). Un certain nombre d'empreintes provenant de la Formation Bahloul dans les coupes situées à l'Est de Kalaat Senan (Oued Smara et Crête Azreg) ont également été décrites et figurées par Amédéo in Robaszynski et al. (1994). C'est la raison pour laquelle seule une brève description du nouveau matériel est donnée ci-dessous. Tous les spécimens appartiennent à la collection Amédéo déposée au Muséum d'Histoire naturelle de Lille.

Ordre Ammonoidea Zittel, 1884  
 Sous-ordre Ammonitina Hyatt, 1889  
 Super-famille Acanthocerataceae de Grossouvre, 1894  
 Famille Acanthoceratidae de Grossouvre, 1894  
 Sous-famille Acanthoceratinae de Grossouvre, 1894  
 Genre *Eucalycoceras* Spath, 1923  
 Espèce-type. Par désignation originale: *Ammonites pentagonus* Jukes-Browne, 1896, p. 156, pl. 5, fig. 1

*Eucalycoceras pentagonum* (Jukes-Browne, 1896)

Figure 5h

- 1896 *Ammonites pentagonus* Jukes-Browne, p. 156, pl. 5, fig. 1
- 1988 *Eucalycoceras pentagonum* (Jukes-Browne); Cobban, p. 9, pl. 3, text-fig. 6, 7 (avec synonymie)
- 1990 *Eucalycoceras pentagonum* (Jukes-Browne); Wright & Kennedy, p. 282, pl.78, fig. 1,3; pl. 79, fig. 1–5; text-fig. 89E, 123A, B.

Matériel – Une quinzaine de moules internes et d'empreintes recueillis dans les 74 m supérieurs de la Formation Fadhène, sur toute la hauteur de l'unité pré-Bahloul de la Formation Bahloul dans l'Oued Smara en SM 116 et SM 116,70, le long de la Crête Azreg en AZ 108 (= ZR 58,20); AZ 110 (= ZR 59,80); ZR 59,30; ZR 60,30, et à la Crête Azreg dans les 20 cm inférieures de l'unité Bahloul s.s., jusqu'au niveau ZR 60,60 (2 ex.).

Discussion – *Eucalycoceras pentagonum* (Jukes-Browne, 1896) est une espèce finement costulée, caractérisée par l'étroitesse des espaces intercostaux sur la chambre d'habitation et par la présence de cinq rangées équidistantes de tubercules ventraux, également développés. L'empreinte du niveau SM 116,70 (équivalent à ZR 58,00) illustrée dans la figure 5h correspond à cette description.

Distribution – Cénomaniens supérieur, Zone à *E. pentagonum* et ses équivalents, et moitié inférieure de la Zone à *Metoicoceras geslinianum*; Angleterre, France, Espagne, Portugal, Roumanie, Algérie, Tunisie, Madagascar, Inde, USA et Japon.

Genre *Pseudocalycoceras* Thomel, 1969

Espèce-type. Par désignation originale: *Ammonites harpax* Stoliczka, 1864, p. 72, pl. 39, fig.1

*Pseudocalycoceras angolaense* (Spath 1931)  
 fig. 5f, g

- 1931 *Protacanthoceras angolaense* Spath, p. 316
- 1978 *Pseudocalycoceras angolaense* (Spath); Cooper, p. 96, fig. 4a–c, h–k, 6i–j, 10f–g, 14a, 18e–f, 19a–b, 23–25, 26f–k (avec synonymie)
- 1988 *Pseudocalycoceras angolaense* (Spath); Cobban, p. 12, pl. 5; pl. 6, fig. 1, 2, 13, 14, 18, 19; text-fig. 10 (avec synonymie additionnelle).

Matériel – Quatre empreintes écrasées provenant de l'unité pré-Bahloul le long de la Crête Azreg en AZ 110,20 (= ZR 60,00); AZ 110,40 (= ZR 60,20); ZR 60,20, et de l'Oued Bahloul en BLB 5,20 – 5,30.

Fig. 6. a, b, e, g, *Watinoceras* sp. a, de AZ 135 (=ZR 82,50); b, de SM 132; e, de SM 132; g, de AZ 134,30 (= ZR 81,80)  
 c, d, *Pseudaspidoceras pseudonodosoides* (Choffat 1899). c, de SM 121; d, de BLB 8–10  
 f, h, *Fagesia* sp. f, de BLB 33; h, de BLB 34,50 – 36.  
 Toutes les figures sont  $\times 1$ .

a, b, e, g, *Watinoceras* sp. a, from AZ 135 (=ZR 82,50); b, from SM 132; e, from SM 132; g, from AZ 134,30 (= ZR 81,80)  
 c, d, *Pseudaspidoceras pseudonodosoides* (Choffat 1899). c, from SM 121; d, from BLB 8–10  
 f, h, *Fagesia* sp. f, from BLB 33; h, from BLB 34,50 – 36.  
 All the specimens are  $\times 1$ .

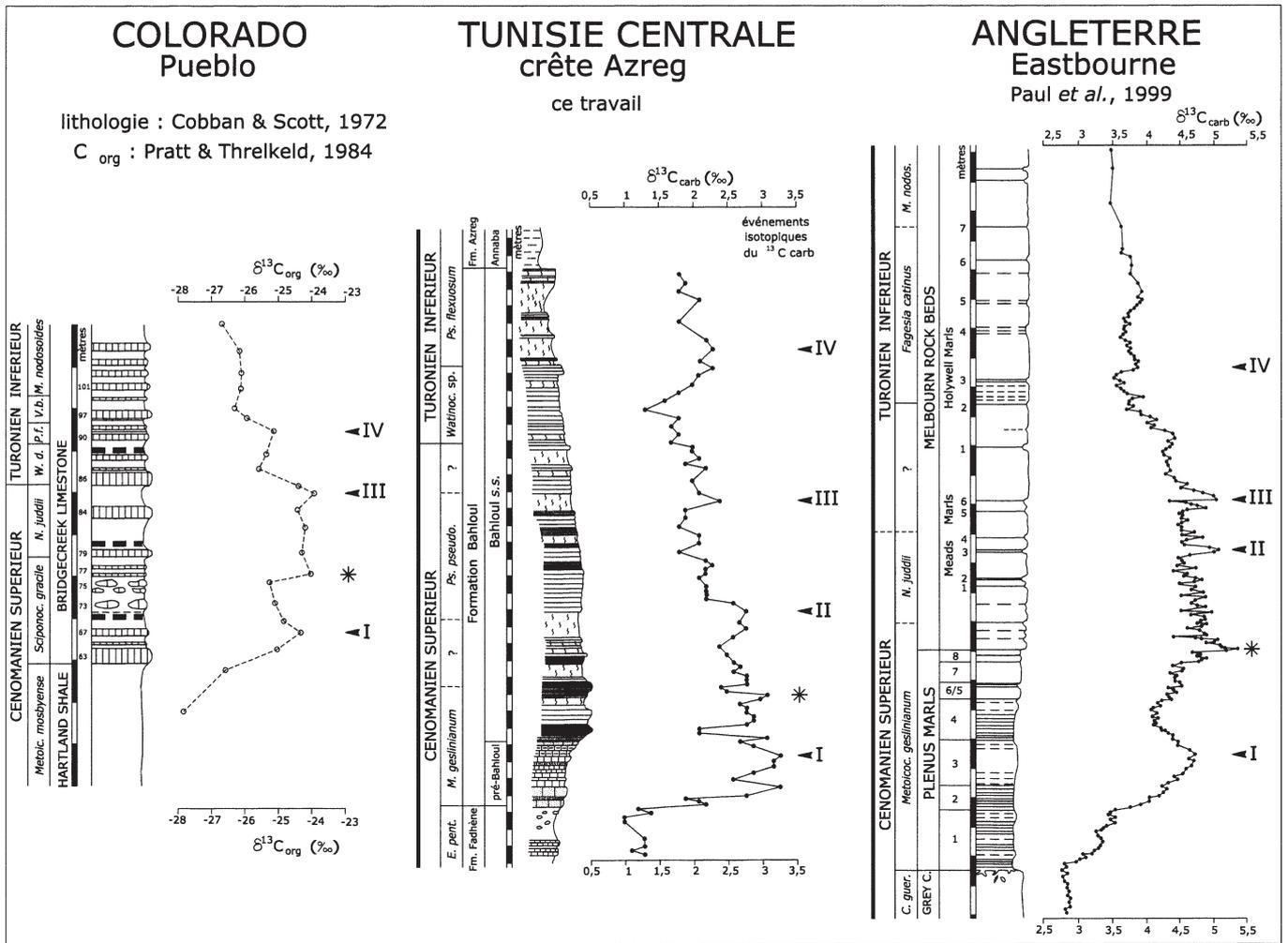


Fig. 7. Comparaison des courbes  $\delta^{13}\text{C}$  à Pueblo (Colorado) le stratotype de la limite Cénomanien-Turonien (C-T), à la Crête Azreg (Tunisie centrale) et à Eastbourne (Sud de l'Angleterre). Le Point Stratotypique Global («clou d'or») est placé dans la coupe de Pueblo à la base du bed 86, à l'apparition de l'ammonite *Watinoceras devonense* Wright & Kennedy. A noter qu'à Eastbourne Paul et al. (1999) ont placé la limite C-T un peu au-dessus du Mead Marl 4 selon Gale (1996). Comme dans toutes les autres coupes l'événement isotopique III est encore cénonanien en âge, et si l'on accepte qu'il est synchrone dans le monde, alors la base du Turonien devrait se placer au-dessus du Mead Marl 6 et proche du Holywell Marl 1.

Comparison of  $\delta^{13}\text{C}$  curves at Pueblo (Colorado) the type-locality of the Cenomanian-Turonian boundary, Azreg ridge (central Tunisia) and Eastbourne (Southern England). The global point for the lower limit of the Turonian is defined at the Pueblo section. It is located at the base of the bed 86 with the appearance of the ammonite *Watinoceras devonense* Wright & Kennedy. At Eastbourne, Paul et al. (1999) placed the C-T boundary just above the Mead Marl 4 in accordance with Gale (1996). As in all the sections, the isotope event III is always cenomanian in age, and considering its global synchronous position, we can suggest a higher position for the C-T boundary, above the Mead Marl 6, and close to the Holywell Marl 1.

Discussion – Les quatre spécimens sont identifiés comme *Pseudocalycoceras angolaense* (Spath, 1931) par la présence de tubercules ombilicaux irrégulièrement développés, de côtes fortes légèrement flexueuses et de clavis ventro-latéraux et siphonaux proéminents.

Distribution – Cénomanien supérieur, Zone à *Metoicoceras geslinianum* et ses équivalents; Angleterre, France, Israël, Angola, Japon, US Western Interior et Texas.

Genre *Watinoceras* Warren, 1930  
Espèce-type. Par désignation originale, *Watinoceras reeseidei*

Warren, 1930, p. 67, pl. 3, fig. 2, pl. 4, fig. 9–12.

*Watinoceras* sp.  
fig. 6a, b, e, g

Discussion – Une quarantaine d'exemplaires recueillis le long de la Crête Azreg en ZR 78,00; ZR 80,50 (2 exemplaires); ZR 81,80 (5 exemplaires); ZR 82,40 (8 exemplaires); ZR 82,50 (15 exemplaires); ZR 84,00; dans les mêmes niveaux en AZ, dans l'Oued Bahloul en BLB 27,60 et BLB 33,00 (3 exemplaires) et dans l'Oued Smara entre SM 128,50 et SM 132,00.

Discussion – Les empreintes de *Watinoceras* sont communes dans le tiers supérieur de la Formation Bahloul, au-des-

sus du niveau d'apparition des «filaments». La plupart des spécimens ont des diamètres compris entre 50 et 100 mm. Les flancs sont hauts. L'ornementation consiste en côtes saillantes irrégulièrement longues et courtes. Les côtes longues naissent sur la bordure ombilicale au niveau d'un tubercule assez proéminent. Les côtes courtes apparaissent à des hauteurs variables sur la moitié inférieure du flanc. Toutes les côtes portent des tubercules ventro-latéraux internes et externes bien développés, avec sur le dernier tour, des tubercules ventro-latéraux externes qui deviennent plus épineux. Les rares empreintes ventrales observées montrent une absence de tubercule siphonal.

Les spécimens tunisiens sont notablement plus grands que les *Watinoceras devonense* décrits par Wright & Kennedy (1981) dans le Devon au Sud-Ouest de l'Angleterre ou par Kennedy et al. (1999) à Pueblo dans le Colorado aux USA. C'est la raison pour laquelle une comparaison est difficile, même si l'ornementation montre quelques affinités, en particulier avec l'holotype de *W. devonense*, illustré par Wright & Kennedy (1981, pl. 10, fig. 7a, b). L'espèce nord-américaine *Watinoceras coloradoense* (Henderson) figurée par Cobban & Scott (1972) et Cobban (1988b) atteint un diamètre comparable à celui des *Watinoceras* de Tunisie centrale mais premièrement les côtes sont plus largement espacées sur le dernier tour, deuxièmement *W. coloradoense* apparaît seulement dans la Zone à *Pseudaspidoceras flexuosum* (Kennedy & Cobban, 1991; Kennedy et al. 1999, 2000) alors que les *Watinoceras* tunisiens sont plus anciens. Pour le moment, les *Watinoceras* recueillis dans la Formation Bahloul restent indéterminés spécifiquement.

Distribution – Turonien inférieur, équivalent probable de la Zone à *Watinoceras devonense* de l'US Western Interior et du Sud-Ouest de l'Angleterre.

Sous-famille Euomphaloceratinae Cooper, 1978

Genre *Euomphaloceras* Spath, 1923

Espèce-type. Par monotypie; *Ammonites euomphalus* Sharpe, 1855, p. 31, pl. 13, fig. 4a–c.

*Euomphaloceras septemseriatum* (Cragin 1893)

fig. 5e

1893 *Scaphites septemseriatum* Cragin, p. 240

1981 *Euomphaloceras septemseriatum* (Cragin); Wright & Kennedy, p. 55, pl. 12, fig. 1–8, pl. 13, fig. 1–6; pl. 14, fig. 5–9 (avec synonymie)

1989 *Euomphaloceras septemseriatum* (Cragin); Cobban, Hook & Kennedy, p. 34, 76 1-P, U, V (avec synonymie additionnelle).

Matériel – Deux empreintes recueillies le long de la Crête Azreg aux niveaux ZR60 et ZR 63, 60, à la base de l'unité Bahloul s.s.

Discussion – Le spécimen illustré fig. 5e montre l'ornementation ventrale en chevrons caractéristique d'*Euomphaloceras septemseriatum* (Cragin).

Distribution – Cénomaniens supérieur, Zone à *Metoicoceras geslinianum* et ses équivalents en Angleterre, France, Tunisie,

Nigéria, Angola, Japon, USA et Mexique. A noter que dans le bassin anglo-parisien, *E. septemseriatum* n'apparaît pas à la base de la Zone à *M. geslinianum*, mais un peu au-dessus, dans le bed 3 des Marnes à Plenus (Kennedy & Cobban, 1991). La distribution verticale de l'espèce est la même en Tunisie centrale.

Genre *Pseudaspidoceras* Hyatt, 1903

Espèce-type. Par désignation originale, *Ammonites footeanus* Stoliczka, 1864, p. 101, pl. 52, fig. 1, 2.

*Pseudaspidoceras pseudonodosoides* (Choffat, 1899)

fig. 5i, 6c, d

1899 *Acanthoceras* (?) *pseudonodosoides* Choffat, p. 65, pl. 16, fig. 5–8, pl. 22, fig. 32, 33

1990 *Pseudaspidoceras pseudonodosoides* (Choffat); Cobban, Hook & Kennedy, p. 40, fig. 41, 81–83 (avec synonymie)

1994 *Pseudaspidoceras pseudonodosoides* (Choffat); Amédéo in Robaszynski et al., p. 413, pl. 14, fig. 4, 6, 8.

Matériel – Au total, 76 empreintes collectées dans l'Oued Smara en SM 120,80 et SM 121 (niveau sensiblement équivalent à ZR 67,80), le long de la Crête Azreg en ZR 67,60; ZR 68,00; ZR 68,80 (3 exemplaires); ZR 69,20 (6 exemplaires); ZR 70,50 (12 exemplaires); ZR 71,00 (8 exemplaires); ZR 72,00 (6 exemplaires); ZR 73,00; ZR 75,00; dans les mêmes niveaux en AZ, et dans l'Oued Bahloul en BLB 10; BLB 12; BLB 13,20; BLB 16,20 (5 exemplaires); BLB 16,80; BLB 17,00; BLB 17,30 (4 exemplaires); BLB 18,20; BLB 21,90; BLB 27,00 (3 exemplaires).

Discussion – *Pseudaspidoceras pseudonodosoides* (Choffat) est une ammonite commune dans la partie moyenne des faciès laminés noirs de l'unité Bahloul s.s. Tous les spécimens possèdent de forts tubercules ombilicaux et ventro-latéraux internes connectés par des côtes simples, convexes vers l'avant et atténuées à mi-flanc et sont très comparables au matériel du Nouveau Mexique illustré par Cobban et al. (1989).

Distribution – Cénomaniens supérieur, Zone à *Pseudaspidoceras pseudonodosoides* équivalente à la zone à *Neocardioceras juddii* du domaine boréal. L'espèce est connue au Portugal, Tunisie, Israël et dans le Western Interior.

Sous-famille Mammitinae Hyatt, 1900

Genre *Metoicoceras* Hyatt, 1903

Espèce-type. Par désignation subséquente de Shimer & Shrock (1944); *Ammonites swallowi* Shumard, 1860, p. 591.

*Metoicoceras geslinianum* (d'Orbigny 1850)

fig. 5a–d

1850 *Ammonites geslinianum* d'Orbigny, p. 146

1981 *Metoicoceras geslinianum* (d'Orbigny); Wright and Kennedy, p. 62, pl. 17, fig. 2; pl. 18, fig. 1–2; pl. 19, fig. 1, 2; pl. 20, fig. 1–3; pl. 21, fig. 1,2; text-fig. 19C–E, 20, 21 A–D (avec synonymie).

1998 *Metoicoceras geslinianum* (d'Orbigny); Kaplan, Kennedy, Lehmann & Marcinowski, p. 172, pl. 13, fig. 19, 20 (avec synonymie additionnelle).

Matériel – Trois exemplaires recueillis à la Crête Azreg dans l'unité pré-Bahloul de la Formation Bahloul. Le premier spécimen provient de la base de l'unité au niveau ZR 56,40 – 56,70; le second du «gros banc» qui sert de marqueur lithologique au niveau AZ 107 (= ZR 57,20), le troisième du niveau AZ 108 (= ZR 58,20) au-dessus du «gros banc».

Discussion – L'échantillon le mieux conservé est celui du niveau AZ 107. Il s'agit d'une empreinte de 10 cm de diamètre. La coquille est involute, comprimée, ornée de côtes basses et aplaties, légèrement flexueuses, qui s'élargissent sur l'épaule ventro-latérale. Les côtes le plus souvent longues, naissent seules ou par paires sur la bordure ombilicale. Quelques côtes intercalaires, qui apparaissent à mi-flanc ou légèrement en-dessous, sont également visibles, en particulier sur le dernier demi-tour. Les deux autres exemplaires sont des fragments. A noter que l'empreinte du niveau AZ 108 avait été déterminée par Amédéo *in* Robaszynski et al. (1994) de façon erronée comme *Neolobites vibrayanus* (d'Orbigny). La comparaison avec du matériel mieux conservé montre qu'il s'agit en réalité d'un *Metoicoceras geslinianum*.

Distribution – Cénomaniens supérieur, zone à *Metoicoceras geslinianum*. Il s'agit de la première citation de *M. geslinianum* en Tunisie. L'espèce est largement distribuée en France, Angleterre, Allemagne, République Tchèque, Espagne, Israël, Angola, Niger, Nigéria, Texas, et US Western Interior.

Famille Vascoceratidae Douvillé, 1912  
Genre *Fagesia* Pervinquier, 1907  
Espèce-type. Par désignation originale, *Olcostephanus superstes* Kossmat, 1897, p. 26, pl. 6, fig. 1  
*Fagesia* sp.  
fig. 6f, h

Matériel – Une trentaine d'exemplaires recueillis le long de la Crête Azreg en ZR 78,00; ZR 79,60; ZR 82,60; ZR 85,20; ZR 88,20; dans les mêmes niveaux en AZ, dans l'Oued Bahloul en BLB 32,50; BLB 33,00; BLB 33,10; BLB 36,00 et au-delà, et dans l'Oued Smara entre SM 128,20 et SM 137,00.

Discussion – Les empreintes de *Fagesia* sont communes dans la partie supérieure de la Formation Bahloul, au-dessus du niveau d'apparition des «filaments» associées à celles de *Watinoceras* sp. Deux empreintes de vues ventrales provenant de l'Oued Bahloul sont illustrées figures 6f,h. Les côtes, fortes, naissent par paires au niveau des bulles ombilicales et traversent la région ventrale en décrivant une large convexité. Cette ornementation est comparable à celle de *Fagesia superstes* (Kossmat) mais les empreintes de Tunisie centrale sont trop écrasées pour une détermination spécifique.

Distribution – Turonien inférieur et moyen. Suivant Wright & Kennedy (1981), le genre est largement distribué, avec des citations en Angleterre, France, Espagne, Portugal, Syrie, Israël, Egypte, Tunisie, Algérie, Nigéria, Niger, Madagascar, Inde, Japon, Colombie, Mexique, Brésil et USA.

#### 4 – Chimiostatigraphie: Le signal isotopique du carbone ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ )

Le rapport isotopique du carbone ( $\delta^{13}\text{C}$ ) est exprimé par rapport à un échantillon standard de référence international qu'est le PDB1 (rostre de *Belemnitella americana* de la Formation Pee Dee du Crétacé de Caroline du Sud, USA). Il s'exprime en parties pour mille et se calcule suivant la formule:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{éch}} = [({}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C})_{\text{éch}} - ({}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C})_{\text{stand}}] \times 1000$$

Le rapport ( ${}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$ ) de l'échantillon carbonate est mesuré sur le  $\text{CO}_2$  dégagé de l'attaque à l'acide orthophosphorique pur ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). La précision des mesures est de  $\pm 0,05$  ‰.

##### 4.1 – Le signal $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ dans la Formation Bahloul

L'influence de la lithologie sur la définition du signal isotopique reconnu dans la Formation Bahloul ne paraît pas fondamentale (Accarie et al. 1996). La courbe d'évolution temporelle du  $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$  est indépendante de l'évolution générale du contenu en carbone organique total, ainsi que de celle du pourcentage en  $\text{CaCO}_3$ . Les échantillons sont, en règle générale, riches en calcite et donc assez résistants aux changements diagénétiques. En conséquence, l'allure du signal isotopique n'est pas réductible aux seules modifications diagénétiques et souligne davantage des modifications du paléoenvironnement *s.l.*

Le pas d'échantillonnage choisi pour les études géochimiques dans la région de Kalaat Senan a permis de dessiner de façon précise la courbe du signal isotopique. Si, dans la Formation Fadhène, les valeurs du  $\delta^{13}\text{C}$  se situent entre 1 et 1,5 ‰, plusieurs événements remarquables, communs aux sections analysées (fig. 3, 4) sont identifiables dans la Formation Bahloul.

**$\delta^{13}\text{C}$  event I** – A la base de la Formation Bahloul, les valeurs augmentent rapidement et la courbe du  $\delta^{13}\text{C}$  montre un enrichissement de l'ordre de 2 ‰. Les valeurs les plus élevées en  $\delta^{13}\text{C}$  sont observées dans l'unité pré-Bahloul. Le point d'inflexion de la courbe à partir duquel les valeurs décroissent rapidement pour atteindre un minimum dans les niveaux de base de l'unité Bahloul *s.s.* définit le  $\delta^{13}\text{C}$  event I. Le retrait des valeurs isotopiques sur l'ensemble des sections analysées est de l'ordre de 1 ‰. Celui-ci souligne le passage à l'unité Bahloul *s.s.* et correspond à l'apparition des premiers faciès calcaires noirs finement laminés.

**$\delta^{13}\text{C}$  event II** – La baisse observée à la limite entre les unités pré-Bahloul et Bahloul *s.s.* est suivie d'une remontée générale des valeurs. La courbe présente alors un nouveau point d'inflexion remarquable indexé  $\delta^{13}\text{C}$  event II au-delà duquel le signal décroît progressivement de 0,7 ‰ en moyenne.

**$\delta^{13}\text{C}$  event III** – Sept mètres plus haut dans la coupe ZR, 13 m plus haut en BLB, une excursion positive de forte amplitude forme un pic dans la courbe de  $\delta^{13}\text{C}$ . Il s'agit du  $\delta^{13}\text{C}$  event III, qui est situé juste en-dessous du niveau d'apparition des «filaments» décrit dans la suite lithologique. Au-dessus du  $\delta^{13}\text{C}$  event III, les valeurs isotopiques diminuent nettement, avec une baisse comprise entre 1,5 et 2,5 ‰ suivant les coupes.

**$\delta^{13}\text{C}$  event IV** – La partie supérieure des profils montrent une dernière fluctuation positive significative au-dessus du «*Pseudaspidoceras flexuosum* event». Le point d'inflexion de la courbe à partir duquel les valeurs diminuent définitivement, signifiant la fin de l'excursion positive en  $\delta^{13}\text{C}$  au passage Cénomaniens-Turonien, constitue le  $\delta^{13}\text{C}$  event IV.

En résumé, les courbes du  $\delta^{13}\text{C}$  relevées sur les deux sections analysées enregistrent un enrichissement global des valeurs de 2 ‰ dans la Formation Bahloul, aux environs de la limite Cénomaniens-Turonien. Dans le détail, les signaux isotopiques établis sur des coupes d'épaisseur variables ont en commun des événements remarquables, symbolisés par les index I, II, III et IV. L'existence de variations latérales de faciès montre que l'origine de ces événements géochimiques n'est pas fondamentalement contrôlée par la lithologie. L'utilisation de ces événements comme outils de corrélation stratigraphique peut donc être envisagée.

#### 4.2 – La limite Cénomaniens-Turonien et le signal $\delta^{13}\text{C}$

Au passage Cénomaniens-Turonien, la courbe du rapport isotopique du carbone ( $\delta^{13}\text{C}$ ) définie dans les sédiments marins, sur la matière organique et sur la fraction carbonatée biogène, enregistre dans tous les domaines paléogéographiques une excursion positive de l'ordre de 4 ‰ dans le cas du carbone organique total d'origine marine et voisin de 2 ‰ dans les carbonates (*in* Keller et al. 2001). L'étalonnage biostratigraphique des profils isotopiques, réalisé notamment en Europe du Nord et aux Etats-Unis (Western Interior), attribuée à cette excursion géochimique un caractère synchrone, susceptible d'être utilisé pour des corrélations à grandes distances, en intégrant notamment les fluctuations de détail qui se surimposent à cette anomalie positive (Pratt & Threlkeld 1984; *in* Gale et al. 1993).

##### La courbe $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ dans la Formation Bahloul

En 1996, Accarie et al. ont, en étudiant la coupe de l'Oued Smara (SM), corrélié le  $\delta^{13}\text{C}$  event II de Tunisie centrale avec l'excursion positive maximale du  $\delta^{13}\text{C}$  décrite au passage Cénomaniens-Turonien dans la coupe de référence de Pueblo aux USA par Pratt & Threlkeld (1984) et Pratt (1985). Les nouvelles récoltes d'ammonites dont nous disposons maintenant montrent que cette interprétation était erronée, le  $\delta^{13}\text{C}$  event II étant situé à la base de la Zone à *Pseudaspidoceras pseudonodosoides* dans le Cénomaniens supérieur. L'hypothèse la plus probable est une corrélation entre l'excursion positive maximale du  $\delta^{13}\text{C}$  de Pueblo et le  $\delta^{13}\text{C}$  event III de Tunisie centrale, le schéma de corrélations isotopiques devenant alors cohérent avec les données biostratigraphiques.

La figure 7 propose une comparaison entre les courbes isotopiques du carbone établies en Tunisie centrale (Crête Azreg), dans le Colorado (Pueblo) et dans les Marnes à Plenus du bassin anglo-parisien (Eastbourne). L'examen de la figure montre que l'on retrouve un certain nombre d'événements (= events suivant la terminaison anglo-saxonne) communs dans les trois courbes, soit du bas vers le haut:

- le  $\delta^{13}\text{C}$  event I, situé dans la moitié inférieure de la Zone d'ammonite à *Sciponoceras gracile* de l'US Western Interior et de la Zone équivalente à *Metoicoceras geslinianum* du NW de l'Europe et de Tunisie centrale;
- une baisse momentanée des valeurs en  $\delta^{13}\text{C}$  de l'ordre de 1 ‰, tracée dans la partie moyenne de la Zone à *M. geslinianum*;
- Un pic en  $\delta^{13}\text{C}$  repéré par un astérisque sur les coupes, situé à la limite supérieure de la Zone à *M. geslinianum*;
- le  $\delta^{13}\text{C}$  event III, très proche de la limite Cénomaniens-Turonien;
- le  $\delta^{13}\text{C}$  event IV, situé à Pueblo et à la Crête Azreg dans la Zone à *Pseudaspidoceras flexuosum*, et à Eastbourne dans la Zone à *Fagesia catinus* corrélée par Gale (1996) avec la Zone à *P. flexuosum*.

L'excursion positive en  $\delta^{13}\text{C}$  identifiée à la limite supérieure de la Zone à *Metoicoceras geslinianum* (indiquée dans la figure 7 par un astérisque) est surtout remarquable dans le Colorado et le bassin anglo-parisien. En Tunisie centrale, cet événement est plus discret, en particulier à l'Oued Bahloul (fig. 4), conséquence probable d'un taux de sédimentation plus élevé. C'est la raison pour laquelle il n'a pas été indexé par des chiffres romains. En revanche, le  $\delta^{13}\text{C}$  event II de Tunisie centrale, c'est-à-dire le point d'inflexion de la courbe à partir duquel les valeurs en  $\delta^{13}\text{C}$  décroissent une première fois dans la Zone à *Pseudaspidoceras pseudonodosoides*, n'apparaît pas comme un événement majeur ni à Pueblo, ni à Eastbourne. Mais les séries sont là moins dilatées.

##### Le $\delta^{13}\text{C}$ event III, événement géochimique proche de la limite C-T

La position exacte du  $\delta^{13}\text{C}$  event III, c'est-à-dire de l'excursion positive en  $\delta^{13}\text{C}$  proche de la limite Cénomaniens-Turonien, mérite d'être discutée. Dans la coupe de l'Oued Bahloul, le  $\delta^{13}\text{C}$  event III est situé au niveau BLB 24,50 au sommet de la Zone à *Pseudaspidoceras pseudonodosoides* du Cénomaniens supérieur identifiée par des récoltes d'ammonites jusqu'en BLB 27,00 m. Les premiers *Watinoceras* caractéristiques du Turonien apparaissent 3,10 m au-dessus du  $\delta^{13}\text{C}$  event III, en BLB 27,60. A la Crête Azreg (fig. 3 et 7), le  $\delta^{13}\text{C}$  event III est aussi reconnu dans le Cénomaniens supérieur en ZR 74,50, dans des niveaux contenant les ultimes *P. pseudonodosoides*, la base du Turonien étant située 3,50 m plus haut, en ZR 78,00 avec les premières récoltes de *Watinoceras* et *Fagesia*.

##### La courbe $\delta^{13}\text{C}$ du stratotype de Pueblo

Toutefois, la coupe type et le Point stratotypique global (GSSP selon la formulation anglo-saxonne) de la limite Cénomaniens-Turonien se trouvent à Pueblo dans le Colorado suivant les recommandations de la Sous-Commission sur la Stratigraphie du Crétacé (Bengtson coord. 1996). C'est là qu'il convient d'abord de bien connaître la position du pic en  $\delta^{13}\text{C}$ . La suite lithologique de la coupe-type a été décrite par Cobban et Scott

(1972), Cobban (1985), et précisée par Kennedy et al. (2000). La courbe du rapport isotopique du carbone de la fraction organique publiée par Pratt & Threlkeld (1984) et Pratt (1985) est fondée sur un sondage réalisé en arrière des affleurements. La corrélation banc par banc du sondage et des affleurements est rendue possible par la présence de niveaux de bentonites et par la rythmicité de la succession. La mise à la même échelle des figures de Pratt & Threlkeld (1984) et de Cobban (1985) – c'est-à-dire des suites lithologiques du sondage et des affleurements – montre que le pic correspondant au  $\delta^{13}\text{C}$  event III tombe dans le bed 85. La base de la Zone à *Watinoceras devonense*, correspondant à la base de l'étage turonien, est située quelques décimètres plus haut, à la base du bed 86 (Kennedy & Cobban, 1991; Bengtson coord. 1996; Kennedy et al. 1999, 2000). Les résultats obtenus en Tunisie centrale sur la fraction carbonatée apparaissent ainsi en accord avec les mesures effectuées à Pueblo dans le Colorado sur la fraction organique. Dans les deux régions, l'excursion positive du  $\delta^{13}\text{C}$  est située immédiatement sous la limite Cénomanién-Turonien.

A noter que, curieusement, en se référant également à la courbe de Pratt & Threlkeld (1984), Gale et al. (1993) placent le pic dans le bed 87, à la base du Turonien. Pour tenter de résoudre cette contradiction, de nouvelles analyses viennent d'être entreprises sur la fraction carbonatée, qui confirment la position de l'excursion positive en  $\delta^{13}\text{C}$  à la base du bed 85 (Caron et al. sous presse).

La courbe  $\delta^{13}\text{C}$  dans le bassin anglo-parisien

La dernière remarque concerne le repérage de la limite Cénomanién-Turonien dans les craies du bassin anglo-parisien. L'espèce *Watinoceras devonense* Wright & Kennedy (1981) a été créée dans le Devon, au Sud de l'Angleterre. Les coupes publiées par Wright & Kennedy (1981) et Jarvis & Woodroof (1984) montrent que les successions lithologiques y sont très condensées, constituées par une suite de hardgrounds. Si la superposition des faunes à *Neocardioceras juddii* (Barrois & Guerne) et *Sciponoceras bohemicum anterius* Wright & Kennedy (en dessous), puis à *Watinoceras devonense* (au-dessus) est parfaitement démontrée, en revanche il est impossible de construire ici de véritables tableaux de répartition verticale des espèces. D'un autre côté, aucun *Watinoceras devonense* n'a été récolté jusqu'à présent dans les craies du bassin anglo-parisien en dehors du Devon. A Eastbourne, coupe prise comme référence pour le passage Cénomanién-Turonien dans le bassin anglo-parisien en raison de sa forte épaisseur (fig. 7), la dernière ammonite cénomaniénne caractéristique de la Zone à *Neocardioceras juddii* est *Sciponoceras bohemicum anterius* recueillie 10 cm au-dessus du Meads Marl 4 (Gale 1996). Les premières ammonites turoniennes: *Fagesia catinus* (Mantell) et *Watinoceras coloradoense* (Henderson), connues dans la zone à *Pseudaspidoceras flexuosum* du Colorado, sont présentes à partir du Holywell Marl 2 (Gale 1996; Mortimore 1997). L'intervalle compris entre le Meads Marl 4 et le Holywell Marl 2 reste pour l'instant non daté par les ammonites.

Dans la mesure où, dans les séries condensées du Devon, l'apparition de *Watinoceras devonense* coïncide avec la disparition de *Sciponoceras bohemicum anterius*, Gale (1996) a proposé d'utiliser ce deuxième événement pour placer la limite Cénomanién-Turonien dans les craies du bassin anglo-parisien. Cette proposition a d'ailleurs été retenue par les auteurs dans les craies du Boulonnais et de l'Aube dans le Nord de la France (Amédéo & Robaszynski 2001). De façon pratique, la limite Cénomanién-Turonien est tracée dans les craies du bassin anglo-parisien une dizaine de centimètres au-dessus du Meads Marl 4.

L'examen de la figure 7 suggère cependant que cette interprétation pourrait peut-être être révisée dans l'avenir. A Pueblo et à la Crête Azreg, le  $\delta^{13}\text{C}$  event III est en effet situé juste sous la limite Cénomanién-Turonien. A Eastbourne, l'excursion positive se trouve au niveau du Meads Marls 5 (Gale et al. 1993; Jenkyns et al. 1994; Paul et al. 1999; Keller et al. 2001). Si l'on admet un synchronisme de l'événement géochimique dans les trois domaines de sédimentation, la limite Cénomanién-Turonien pourrait être située un peu plus haut que ce qui est admis actuellement, entre le Meads Marl 6 et le Holywell Marl 1. Des récoltes d'ammonites restent cependant à effectuer pour valider cette hypothèse.

##### 5 – Du domaine Boréal à la téthys: Correlations à la limite Cénomanién-Turonien entre les coupes de Pueblo, d'Eastbourne et de Tunisie Centrale

La figure 8 présente une tentative de corrélations entre la coupe de référence de la limite Cénomanién-Turonien située à Pueblo (Colorado), la succession crayeuse d'Eastbourne également localisée en domaine boréal, et les affleurements de Tunisie centrale décrits dans le domaine téthysien. Toutes les coupes sont illustrées à la même échelle à l'exception de celle de Pueblo représentée à une échelle deux fois plus grande.

La comparaison des coupes révèle tout d'abord que l'enregistrement sédimentaire est cinq fois plus épais en Tunisie centrale que dans le stratotype de la limite Cénomanién-Turonien à Pueblo. D'un autre côté, de nombreux événements communs, à caractère biologique, écologique ou géochimique, fournissent autant de lignes de corrélations de part et d'autre de la limite Cénomanién-Turonien depuis le domaine boréal jusqu'au domaine téthysien. Du bas vers le haut, ces événements sont les suivants:

- l'apparition de *Metoicoceras geslinianum*;
- le  $\delta^{13}\text{C}$  event I;
- la dernière occurrence de *Rotalipora cushmani*;
- le pic indexé \* du  $\delta^{13}\text{C}$  (surtout remarquable en domaine boréal);
- le  $\delta^{13}\text{C}$  event III;
- l'apparition des «filaments»;
- l'apparition des *Watinoceras*;
- l'apparition de *Pseudaspidoceras flexuosum*;
- le  $\delta^{13}\text{C}$  event IV.



68 à Pueblo (Bengtson coord. 1996), au sommet du bed 3 des Marnes à Plenus à Eastbourne (Keller et al. 2001), dans les deux cas immédiatement au-dessus du  $\delta^{13}\text{C}$  event I. Une situation comparable est observée dans l'Oued Bahloul. En revanche, tel n'est pas le cas à la Crête Azreg et dans l'Oued Smara où la disparition de *R. cushmani* précède le  $\delta^{13}\text{C}$  event I. Le faciès grossier, bioclastique, de l'unité pré-Bahloul était probablement peu favorable à l'épanouissement des Rotalipores d'où le diachronisme observé localement.

## 6 – Conclusions

La récolte de plus de 250 ammonites dans deux sections représentatives de la Formation Bahloul en Tunisie centrale, dont la coupe-type de l'Oued Bahloul, permet la construction de tableaux détaillés de répartition des espèces de part et d'autre de la limite Cénomanién-Turonien. La découverte de plusieurs *Metoiceras geslinianum* – une nouveauté en Tunisie – permet pour la première fois de corrélérer valablement la limite inférieure de la Formation Bahloul avec la base des Marnes à Plenus du bassin anglo-parisien. Quatre zones d'ammonites sont identifiées dans la Formation: deux dans le Cénomanién supérieur, la Zone à *Metoiceras geslinianum* et la Zone à *Pseudaspidoceras pseudonodosoides*; deux dans le Turonien, la Zone à *Watinoceras* sp. et la Zone à *Pseudaspidoceras flexuosum*. Dans la coupe de l'Oued Bahloul, la limite Cénomanién-Turonien est tracée avec une grande précision, l'intervalle d'incertitude étant inférieur à 0,60 m.

D'un autre côté, la description d'un certain nombre d'événements à caractère lithologique (niveaux riches en quartz ou glauconie, bancs massifs cohérents, apparition de calcaires laminés noirs, ...) ou écologique (surfaces perforées, niveaux riches en ammonites ou en «filaments», ...) fournit autant de niveaux-repères aisément utilisables pour les corrélations à l'échelle régionale. Parmi ces événements, il en est un qui présente un intérêt particulier: l'apparition des «filaments», coïncidant à quelques décimètres près avec l'apparition des premiers *Watinoceras*, c'est-à-dire avec la limite inférieure du Turonien.

Enfin, une nouvelle lecture de la courbe isotopique du  $\delta^{13}\text{C}$  établie dans la Formation Bahloul est proposée. La comparaison de cette courbe avec celles existantes sur la coupe de Pueblo (Colorado) et dans les craies d'Eastbourne (UK) autorise des corrélations fines dans le respect du cadre biostratigraphique établi. Ceci confirme l'intérêt de la géochimie pour des corrélations interbassins, en complément des outils biostratigraphiques.

## Remerciements

Michèle Caron (Université de Fribourg, CH) nous a fourni des informations précieuses sur les microfaciès de la Formation Bahloul et la distribution verticale du foraminifère *Rotalipora cushmani*, Stephan Dall'Agnolo nous a autorisé à reproduire la courbe isotopique  $\delta^{13}\text{C}$  de l'Oued Bahloul (coupe BLB), Bill Cobban (Denver, USA) et Jim Kennedy (Oxford, UK) ont examiné un

certain nombre d'ammonites et confirmé les déterminations proposées, Jean Dziudzia (Calais, F) a assuré le tirage des photographies d'ammonites, Bertrand Matrimon (Troyes, F) a réalisé les figures. Qu'ils soient tous chaleureusement remerciés.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACCARIE, H., EMMANUEL, L., ROBASZYNSKI, F., BAUDIN, F., AMÉDRO, F., CARON, M. & DECONINCK, J.F. 1996: La géochimie isotopique du carbone ( $\delta^{13}\text{C}$ ) comme outil stratigraphique. Application à la limite Cénomanién-Turonien en Tunisie centrale. C. R. Acad. Sci. Paris 322, IIa, 579–586.
- ACCARIE, H., ROBASZYNSKI, F., AMÉDRO, F., CARON, M. & ZAGRARNI, M. F. 2000: Stratigraphie événementielle au passage Cénomanién-Turonien dans le secteur occidental de la plate-forme de Tunisie centrale (Formation Bahloul, région de Kalaat Senan). Ann. Mines Géol. Tunis 40, 63–80.
- AMÉDRO, F. & ROBASZYNSKI, F. 1993: La zone à *Actinocamax plenus* dans le domaine boréal. Eléments de comparaison de la limite Cénomanién-Turonien entre les domaines boréal et téthysien. Cretaceous Research 14, 487–494.
- AMÉDRO, F. & ROBASZYNSKI, F. 2001: Les craies turoniennes du Boulonnais (France) au regard de la stratigraphie événementielle. Comparaison avec le Kent (UK) et la Normandie (F). Bull. Soc. Géol. Normandie et Amis du Muséum du Havre 87, 31–49.
- BEN HAJ ALI, N., RAZGALLAH, S., BEN HAJ ALI, M. & KENNEDY, W.J. 1994: La Formation Bahloul dans sa localité-type: précisions stratigraphiques basées sur les ammonites et les foraminifères planctoniques. Notes Serv. Géol. Tunisie 60, 35–48.
- BENGTSON, P. coord. 1996: The Turonian stage and substage boundaries. Bull. Inst. Royal. Sc. Nat. Belgique, Science Terre 66, suppl., 69–79.
- BIRKELUND, T., HANCOCK, J.M., HART, M.B., RAWSON, P.F., REMANE, J., ROBASZYNSKI, F., SCHMID, F. & SURLYK, F. 1984: Cretaceous stage boundaries – Proposals. Bull. Geol. Soc. Denmark 33, 3–20.
- BUROLLET, P.F. 1956: Contribution à l'étude stratigraphique de la Tunisie centrale. Ann. Mines Géol., Tunis 18, 350 p.
- BUROLLET, P.F., DUMESTRE, A., KEPPEL, D. & SALVADOR, A. 1954: Unités stratigraphiques en Tunisie centrale. 19<sup>e</sup> Congr. Géol. Int., Alger 21, 243–254.
- BUROLLET, P.F. & ROBASZYNSKI, F. 1991: Les événements de la limite Cénomanién-Turonien en Tunisie centrale: la Formation Bahloul. Géol. Alpine 67, 3–42.
- CARON, M., ROBASZYNSKI, F., AMÉDRO, F., BAUDIN, F., DECONINCK, J.F., HOCHULI, P., SALIS-PERCH NIELSEN, K. & TRIBOVILLARD, N. 1999: Estimation de la durée de l'événement anoxique global au passage Cénomanién/Turonien. Approche cyclostratigraphique dans la formation Bahloul en Tunisie centrale. Bull. Soc. géol. France 170/2, 145–160.
- CARON, M., DALL'AGNOLO, S., ACCARIE, H., BARRERA, E., KAUFFMAN, E.G., AMÉDRO, F. & ROBASZYNSKI, F. sous presse: High-resolution stratigraphy of the Cenomanian/Turonian Boundary interval at Pueblo (USA) and Wadi Bahloul (Tunisia): stable isotope and bio-events correlation. Geobios.
- CHANCELLOR, G.R., KENNEDY, W.J. & HANCOCK, J.M. 1994: Turonian ammonite faunas from central Tunisia. Spec. Pap. Palaeontology 50, 118 p.
- CHOFFAT, P. 1899: Recueil d'études paléontologiques sur la faune crétacique du Portugal. 1. Espèces nouvelles ou peu connues. Deuxième série, Les ammonites du Bellasien, des couches à *Neolobites vibrayanus*, du Turonien et du Sénonien. Trav. Géol. Portugal, 41–86.
- COBBAN, W.A. 1985: Ammonite record from Bridge Creek Member of Greenhorn Limestone at Pueblo Reservoir State Recreation area, Colorado. SEPM, Field Trip Guidebook 4, 1985, Midyear Meeting, Golden, Colorado, 135–138.
- COBBAN, W.A. 1988a: *Tarrantoceras* Stephenson and related Ammonoid genera from Cenomanian (Upper Cretaceous) rocks in Texas and the Western Interior of the United States. – U.S. Geol. Surv., Prof. Paper 1473, 30 p.
- COBBAN, W.A. 1988b: The Upper Cretaceous ammonite *Watinoceras* Warren in the Western Interior of the United States. U.S. Geol. Survey, Bull. 1788, 15 p.

- COBBAN, W.A., HOOK, S.C. & KENNEDY, W.J. 1989: Upper Cretaceous rocks and ammonites faunas of Southwestern New Mexico. *New Mexico Bur. Min. & Min. Resources* 45, 137 p.
- COBBAN, W.A. & SCOTT, G.R. 1972: Stratigraphy and ammonite fauna of the Graneros Shale and Greenhorn Limestone near Pueblo, Colorado. *U.S. geol. Surv., Prof. Paper* 645, 108 p.
- COOPER, M.R. 1978: Uppermost Cenomanian-basal Turonian ammonites from Salinas, Angola. *Ann. S. Afr. Mus.* 75, 51–152.
- CRAGIN, F.W. 1893: A contribution to the invertebrate paleontology of the Texas Cretaceous. *Tex. Geol. Surv.* 139–246.
- DOUVILLÉ, H. 1912: Evolution et classification des Pulchelliidés. *Bull. Soc. géol. France* 4/11, 285–320.
- GALE, A.S. 1996: Turonian correlation and sequence stratigraphy of the chalk in Southern England. In: *Sequence stratigraphy in British Geology* (Ed. by Hesselbo, S.P. & Parkinson, D.N.). *Geol. Soc. Spec. Publ.* 103, 177–195.
- GALE, A.S., JENKYN, H.C., KENNEDY, W.J. & CORFIELD, R.M. 1993: Chemostratigraphy versus biostratigraphy: data from around the Cenomanian-Turonian boundary. *J. Geol. Soc. London* 150, 29–32.
- GROSSOUVRE, A. de 1894: Recherches sur la craie supérieure. 2: Paléontologie. Les ammonites de la craie supérieure. *Mém. Serv. Carte géol. France*, 264 p.
- HYATT, A. 1889: Genesis of the Arietidae. *Smithson. Contr. Knowl.* 238 p.
- HYATT, A. 1900: Cephalopoda. In Zittel, K.A. von & Eastman Publishers: *Textbook of Palaeontology*, London, 502–604.
- HYATT, A. 1903: *Pseudoceratites* of the Cretaceous. *Monogr. U.S. geol. Surv.* 44, 351 p.
- JARVIS, I. & WOODROOF, P.B. 1984: Stratigraphy of the Cenomanian and basal Turonian (Upper Cretaceous) between Branscombe and Seaton, SE Devon, England. *Proc. Geol. Ass.* 95, 193–215.
- JUKES-BROWNE, A.J. 1896: Critical remarks on some of the fossils. In Jukes-Browne, A.J. & Hill, W. Publishers: *A delimitation of the Cenomanian: being a comparison of the corresponding beds in south-western England and Western France*. (Ed. by) Q. Jl. *Geol. Soc. London* 52, 99–178.
- KAPLAN, U., KENNEDY, W.J., LEHMANN, J. & MARCINOWSKI, R. 1998: Stratigraphie und Ammonitenfaunen des Westfälischen Cenoman. *Geol. Paläontol. Westf.* 51, 236 p.
- KELLER, G., HAN, Q., ADATTE, T. & BURNS, S.J. 2001: Palaeoenvironment of the Cenomanian-Turonian transition at Eastbourne, England. *Cretaceous Research* 22, 391–422.
- KENNEDY, W.J., WRIGHT, C.W. & HANCOCK, J.M. 1987: Basal Turonian ammonites from West Texas. *Palaeontology* 30, 27–74.
- KENNEDY, W.J., COBBAN, W.A., HANCOCK, J.M. & HOOK, S.C. 1989: Biostratigraphy of the Chispa Summit Formation at its type locality: a Cenomanian through Turonian reference section for Trans-Pecos Texas. *Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala* 15, 39–119.
- KENNEDY, W.J. & COBBAN, W.A. 1991: Stratigraphy and interregional correlation of the Cenomanian-Turonian transition in the Western Interior of the United States near Pueblo, Colorado, a potential boundary stratotype for the base of the Turonian stage. *Newslett. Stratigr.* 24, 1–33.
- KENNEDY, W.J., COBBAN, W.A., ELDER, W.P. & KIRKLAND, J.I. 1999: Lower Turonian (Upper Cretaceous) *Watinoceras devonense* Zone ammonite fauna in Colorado, USA. *Cretaceous Research* 20, 629–639.
- KENNEDY, W.J., WALASZCZYK, I. & COBBAN, W.A. 2000: Pueblo, Colorado, USA, candidate Global Boundary Stratotype Section and Point for the base of the Turonian Stage of the Cretaceous, and for the base of the Middle Turonian Substage, with a revision of the Inoceramidae (Bivalvia). *Acta Geologica Polonica* 50, 295–334.
- KOSMAT, F. 1895–1898: Untersuchungen über die Südendische Kreideformation. *Beitr. Paläontol. Geol. Öst. Ung.*, 217 p.
- MAAMOURI, A.L., ZAGHBIB-TURKI, D., MATMATI, M.F., CHIKHAOU, M. & SALAJ, J. 1994: La Formation Bahloul en Tunisie centro-septentrionale: variations latérales, nouvelle datation et nouvelle interprétation en terme de stratigraphie séquentielle. *J. Afr. Earth Sci.* 18, 37–50.
- MORTIMORE, R.N. 1997: The Chalk of Sussex and Kent. *Geol. Ass. Guide* 57, 139 p.
- NEDERBRAGT, A.J. & FIORENTINO, A. 1999: Stratigraphy and palaeoceanography of the Cenomanian-Turonian Boundary Event in Oued Mellegue, north-western Tunisia. *Cretaceous Research* 20, 47–62.
- ORBIGNY, A. d' 1850: *Prodrome de Paléontologie stratigraphique universelle des animaux mollusques et rayonnés*. Masson Edit., Paris, t.2, 428 p.
- PAUL, C.R.C., LAMOLDA, M.R., MITCHELL, S.F., WAZIRI, M.R., GOROSTIDI A. & MARSHALL, J.D. 1999: The Cenomanian-Turonian boundary at Eastbourne (Sussex, UK): a proposal European reference section. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 150, 83–121.
- PERVINQUIÈRE, L. 1903: *Etude géologique de la Tunisie centrale*. De Rudeval Edit., Paris, 360 p.
- PERVINQUIÈRE, L. 1907: *Etudes de paléontologie tunisienne. 1. Céphalopodes des terrains secondaires*. Carte géol. Tunisie, Paris, 438 p.
- PRATT, L.M. 1985: Isotopic studies of organic matter and carbonate in rocks of the Greenhorn marine cycle. In: *Fine-grained deposits and biofacies of the Cretaceous Western Interior seaway: evidence of cyclic sedimentary processes* (Ed. by Pratt, L.M., Kauffman, E.G. & Zelt, F.B.). *S.E.P.M. Field Trip Guidebook* 4, 38–48.
- PRATT, L.M. & THRELKELD, C.N. 1984: Stratigraphic significance of  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios in Mid-Cretaceous rocks of the Western Interior U.S.A. In: *The Mesozoic of Middle North America* (Ed. by Stott, D.F. & Glass D.J.). *Canadian Soc. Pet. Geol. Mem.* 9, 305–3012.
- ROBASZYNSKI, F., CARON, M., DUPUIS, C., AMÉDRO, F., GONZALEZ DONOSO, J.M., LINARES, D., HARDENBOL, J., GARTNER, S., CALANDRA, F. & DELOFFRE, R. 1990: A tentative integrated stratigraphy in the Turonian of central Tunisia: formations, zones and sequential stratigraphy in the Kalaat Senan area. *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine* 14/1, 213–384.
- ROBASZYNSKI, F., AMÉDRO, F. & CARON, M. 1993: La limite Cénomanién-Turonien et la Formation Bahloul dans quelques localités de Tunisie centrale. *Cretaceous Research* 14, 477–486.
- ROBASZYNSKI, F., CARON, M., AMÉDRO, F., DUPUIS, C., HARDENBOL, J., GONZALEZ DONOSO, J.M., LINARES, D. & GARTNER, S. 1994: Le Cénomanién de la région de Kalaat Senan (Tunisie centrale). Litho-, biostratigraphie et interprétation séquentielle. *Rev. Paléobiologie* 12/2, 351–505.
- ROBASZYNSKI, F., JUIGNET, P., GALE, A., AMÉDRO, F. & HARDENBOL, J. 1998: Sequence stratigraphy in the Upper Cretaceous of the Anglo-Paris Basin, exemplified by the cenomanian stage. *S.E.P.M. Spec. Publ.* 60, 363–386.
- SHARPE, D. 1853–1857: Description of the fossil remains of Mollusca found in the Chalk of England. I. Cephalopoda. *Palaeontogr. Soc. Monogr.*, 68 p.
- SHIMER, H.W. & SHROCK, R.R. 1944: *Index fossils of North America*. New York, 837 p.
- SHUMARD, B.F. 1860: Descriptions of new Cretaceous fossils from Texas. *Trans. Acad. Sc. St-Louis* 1, 590–610.
- SPATH, L.F. 1923: On the ammonite horizons of the Gault and contiguous deposits. *Summ. Progr. Geol. Surv. London*, 139–149.
- SPATH, L.F. 1923–1943: *A monograph of the Ammonoidea of the Gault*. *Palaeontogr. Soc. London*, Parts I to XVI, 1–787.
- STOLICZKA, F. 1863–1866: The fossil cephalopoda of the Cretaceous rocks of southern India: Ammonitidae, with revision of the Nautilidae. *Mem. Geol. Surv. India, Palaeontol. Indica*, 261 p.
- THOMEL, G. 1969: Réflexions sur les genres *Eucalycoceras* et *Protacanthoceras* (Ammonoidea). *C. R. Acad. Sci. Paris, D*, 268, 649–652.
- WARREN, P.S. 1930: New species of fossils from Smoky River and Dunvegan formations, Alberta. *Research Council of Alberta, Geol. Surv. Report* 21, 57–68.
- WRIGHT, C.W. & KENNEDY, W.J. 1981: The Ammonoidea of the Plenus Marls and the Middle Chalk. *Palaeontogr. Soc. Monogr.*, London, 148 p.
- WRIGHT, C.W. & KENNEDY, W. J. 1984–1996: *The Ammonoidea of the Lower Chalk. Part 1 to 5*. *Palaeontogr. Soc. Monogr.*, London, 403 p.
- ZITTEL, K.A. 1884: *Handbuch der Palaeontologie, Cephalopoda*. Munich & Leipzig, 329–522.

Manuscrit reçu le 15 octobre, 2004  
 Révision acceptée le 2 février, 2005  
 Published Online First November 25, 2005

