

## **BIOCHRONOLOGIE QUANTITATIVE (ASSOCIATIONS UNITAIRES) DES FAUNES D'AMMONITES DU CÉNOMANIEN DU SUD-EST DE LA FRANCE**

**Claude MONNET\* & Hugo BUCHER\***

Centre des Sciences de la Terre, CNRS - ERS 2042, Université Claude Bernard Lyon I,  
27-43, boulevard du 11 Novembre, F-69622 VILLEURBANNE.  
Email: bucher@univ-lyon1.fr

Manuscrit déposé le 14 janvier 1999; accepté après révision le 7 avril 1999

*Mots clés.* - Ammonite, Cénomanién, Turonien, Associations Unitaires, Sud-est de la France (Bassin vocontien), Bassin Anglo-parisien, Diachronisme, Renouvellements fauniques

*Résumé.* - La zonation d'ammonites du Cénomanién du sud-est de la France est révisée dans ce travail. Elle intéresse 138 espèces d'ammonites réparties sur 40 coupes. Ces données publiées par Thomel [1992] sont analysées au moyen de la méthode des associations unitaires [Guex, 1977, 1991]. Une suite logique d'analyses, dont le but est d'optimiser les données en soulignant les incohérences majeures de la documentation originelle, aboutit à la formation d'une succession chronologique de 27 associations unitaires réunies en 7 zones d'association latéralement reproductibles. Son application souligne les très rapides variations latérales de faciès même dans la partie distale du bassin et met en évidence un faible diachronisme des espèces (mais incluant certains index de zones). Cette analyse suggère également une diminution progressive des pulsations montrées par les taux de renouvellements fauniques durant le Cénomanién inférieur et moyen, jusqu'à ce qu'un état d'équilibre soit atteint au Cénomanién supérieur et Turonien inférieur, sans changement apparent à la limite Cénomanién-Turonien. Cette tendance est accompagnée par un doublement rapide de la diversité spécifique durant la fin du Cénomanién inférieur et une décroissance progressive et prolongée à partir de la fin du Cénomanién moyen. Enfin cette zonation est comparée aux échelles synthétiques habituellement utilisées dans le sud-est de la France et dans le Bassin Anglo-parisien.

## **QUANTITATIVE BIOCHRONOLOGY (UNITARY ASSOCIATIONS) OF THE CENOMANIAN AMMONITE FAUNAS FROM SOUTHEASTERN FRANCE**

*Key words.* - Ammonite, Cenomanian, Turonian, Unitary Associations, Southeastern France (Vocontian Basin), Anglo-Paris Basin, Diachronism, Faunal turnover

*Abstract.* - On the basis of the recent data set published by Thomel [1992], the ammonoid biochronology of the Cenomanian Stage of southeastern France is reevaluated. A data set comprising 138 ammonite species from 40 sections is processed with the Unitary Association method [Guex, 1977, 1991]. A logical succession of analyses optimizes these data and stresses the major inconsistencies in the original documentation. It leads to the construction of a sequence of 27 unitary associations which are grouped into 7 laterally reproducible association zones. Application of this revised zonation highlights lateral facies changes even in the distal part of the basin as well as some diachronism at the species level (inclusive of some index species). It also suggests a sequence of progressively dampened pulsations in the rates of faunal turnovers during the Early and Middle Cenomanian, until equilibrium was reached during the Late Cenomanian to the Early Turonian, without any apparent change at the Cenomanian-Turonian boundary. This trend was also accompanied by significant changes in species diversity, with an abrupt doubling during the late Early Cenomanian and a protracted decrease from the late Middle Cenomanian onwards. Finally, this zonation is compared to the current synthetic scales of southeastern France and of the Anglo-Paris Basin.

### *ABRIDGED ENGLISH VERSION*

The purpose of this work is to analyze the currently available biochronological data of the Cenomanian ammonoids from southeastern France. Two main factors prompted this reevaluation. The first one relates to the present state of the zonation applied in southeastern France as originally proposed by Thomel in 1972. Integration of significant systematic revisions of the Cenomanian ammonoids [i.e. Wright & Kennedy, 1981, 1984, 1987, 1990, 1995, 1996] makes its application problematic. The second incentive is the publication by Thomel [1992] of a thorough monograph on the Cenomanian and Early Turonian ammonoids from southeastern France. This contribution is an invaluable source of raw data (numerous measured sections with vertical distributions of taxa and abundant specimen illustrations) for a quantitative biochronological treatment.

This data base includes 57 genera and 138 species of ammonoids distributed over 40 sections scattered between Sisteron and Nice in the Vocontian trough. The analysis is performed by means of the Unitary Association method [Guex, 1991] which permits the definition of the most refined biohorizons independently of previously established zonations. A unitary association (UA) is defined as a maximal set of actually and virtually coexisting species.

The first part of the study consists of a logical sequence of successive analyses whose goals are an optimization of the data and the identification of conflictual stratigraphic relationships between the taxa. A sequence of 6 analyses is performed with the Biograph program [Savary & Guex, 1991] and the impact of each run is evaluated by 4 parameters (fig. 1). The first run includes the complete data set. It leads to the elimination of both species occurring in a single section and long ranging species (*Parapuzosia austeni*, *Puzosia mayoriana* and *Sciponoceras baculoide*) because these species are involved in the vast majority of the biochronological contradictions (fig. 1). The second run unravels the strongly connected component generated by the discontinuous distribution of *Acompsoceras inconstans*. Next comes the analysis of species not properly identified (*cf.*, *aff.*, *gr.*) with their influence on the construction of the UA (age and coexistence). This step allows one to question the recognition of *Acanthoceras gr. confusum* in La Foux section. Using four different techniques, the next analysis is aimed at the detection of reworked occurrences and leads to the conclusion that the data set is devoid of any disjunctive reworking. Finally, some species occurring exclusively in La Foux section are put back into the data set for the last run. The reason for this is that La Foux is among the very few sections in the basin that contain an ammonoid record spanning the Cenomanian-Turonian boundary. The final result yields a chronologically ordered sequence of 37 UAs (fig. 2), 27 of them being bracketed by the Cenomanian stage boundaries. This sequence corresponds to the protoreferential (fig. 2) which synthesizes the sum of the coexistence, exclusion and superposition relationships between the 100 selected taxa. This protoreferential is critical for any further datation of Cenomanian ammonoid faunas from southeastern France.

If considered individually, most of the UAs show a poor lateral reproducibility (fig. 3). In the second part of this work, poorly reproducible UAs are merged into reproducible unions in order to obtain the greatest lateral reproducibility for a maximal number of zones. Eventually, the non-overlapping succession of *Mantelliceras* and *Acanthoceras*, which is also known from the Anglo-Paris Basin [Wright & Kennedy, 1984], is taken into account in the construction of the final zonation. Thus, the Cenomanian zonation of southeastern France comprises 27 UAs grouped into 7 discrete, discontinuous and laterally reproducible associations zones. Each zone is identified by any of the characteristic species or pairs of species belonging to the UAs previously merged.

In the third part of this study, the newly constructed zonation is used to measure the vertical quality of the record within the basin (fig. 4 & 2). It reveals that 68% of the taxa are synchronous (i.e. with null total dispersion) and that these can be considered as potential regional markers (e.g. *Mantelliceras mantelli*, *Turrilites acutus*, *Calycoceras guerangeri*, etc.). The new zonation also indicates that 18% of the taxa are moderately diachronous (any species whose local FAD in a given section is always younger than any of its LADs from every other section) and that another 14% of the taxa are regionally diachronous (any species whose local LAD in a given section is younger than its FAD in any other section). It is also noteworthy that some index species (*Acanthoceras rhotomagense* & *Mantelliceras saxbii*) of former zonations do not have a synchronous distribution within the basin.

Rates of faunal turnover parametrized as a function of the UAs (fig. 5) also indicate two distinct patterns within the Cenomanian Stage. A first pattern of pulsated radiations combined with a high diversity (fig. 6) characterizes the Vraconian (Late Albian) to Middle Cenomanian interval. Around the Middle-Late Cenomanian substage boundary, the rate of faunal turnover gradually passes into a second pattern near or at equilibrium combined with a comparatively low diversity. The superposition graph of the UAs also suggests a greater uniformity of ecological controls, which coincides with decreasing species diversity. However, the extremely high values of the dissimilarity coefficient of the UAs in UA-zones 7 & 8 suggest that the data are insufficient to reliably interpret the turnover rates at the Cenomanian-Turonian boundary (fig. 6). Such high values of the dissimilarity coefficient are commonly generated by gaps in faunal successions. These patterns of diversity and rates of faunal turnover must be considered only as facts whose potential interpretations are restricted to the studied paleogeographic setting.

In the last part of this study, the newly constructed zonation is compared to that of Thomel [1992], the latter being based on the very same data base but processed with the "homophyletic" method. This comparison only partially confirms the results obtained with the homophyletic approach (fig. 7). It highlights the poor lateral reproducibility of some previously defined zones as well as some inconsistencies such as the non-existence of the *Dixoni* zone (in the Vocontian Basin) and incorrect ranges of some species formerly used as indexes (*Mariella cenomanensis*, *Acanthoceras confusum*, *Mantelliceras dixoni*, *Sciponoceras baculoide*). In spite of a noteworthy decrease in the amount of contradictions, the comparison of the revised zonation with that established for the Anglo-Paris Basin [Wright & Kennedy, 1984] still underlines significant differences (fig. 7), especially with respect to the range of index species (*Mantelliceras dixoni*, *M. saxbii*, *Scaphites equalis*, *Turrilites costatus*, *T. scheuchzerianus*, *Cunningtoniceras cunningtoni*, etc...). Taxonomic inconsistencies as well as paleobiogeographic controls may potentially explain some of these discrepancies. Except for the *Dixoni* and *Juddii* zones, which have no equivalents in the studied area, zones defined in the Anglo-Paris Basin correlate with groups of UAs from the Vocontian trough, but not with UA unions presently recognized as laterally reproducible zones. Finally, the unambiguous correlations of the *Geslinianum* zone with UA28 & 29 and of the *Coloradoense* zone with UA31 indicate that both the *Juddii* zone and the UA30 containing *Vascoceras gamai* must be bracketed by these two zones, despite the fact that the *Juddii* zone and the UA30 are not equivalent. Moreover, the UA30 may be equivalent with the *Clydense* zone of the Western Interior Basin, which contains *Vascoceras cf. gamai* [Kennedy & Cobban, 1991] and which is bracketed by the *Geslinianum* and *Juddii* zones.

In conclusion, processing the presently available data on the Cenomanian ammonoids of the Vocontian trough by means of the Unitary Association method leads to a refined and more objective zonation with 27 UAs grouped into 7 laterally reproducible zones within the Vocontian trough (figs. 2 & 3). Direct application of this revised zonation allows quantifying the diachronism of species (figs. 4 & 2). It also allows elaborating on the rates of faunal turnover (fig. 5) which depict progressively dampening oscillations reaching equilibrium during the Late Cenomanian and Early Turonian times. This trend toward equilibrium is accompanied by a protracted decreasing diversity at the species level. Last but not least, the tentative correlations with the Anglo-Paris Basin bring to the fore a need of preliminary taxonomic revision before reliable correlations between these two basins can be constructed on a firm basis. Any further change in the data sets of the two basins, be it taxonomic or stratigraphic, could be very easily incorporated into a new processing based on the Unitary Association method which stands out as the most efficient analytical tool for biochronology. Finally, this study highlights the need of further data acquisition for the Cenomanian Stage boundaries in order to improve the biochronological significance of the Vocontian Basin.

## INTRODUCTION

L'objectif de cette étude est de réviser la zonation d'ammonites du Cénomaniens du sud-est de la France. Elle est réalisée grâce à la parution récente de données détaillées [Thomel, 1992] et rendue nécessaire par la caducité de la zonation classique du Bassin vocontien [Thomel, 1972]. En effet, pour le sud-est de la France, Thomel a proposé en 1972 une zonation comprenant 7 zones "homophylétiques" (combinaison de zones phylogénétique et d'intervalle). Mais à partir de 1981, Wright & Kennedy ont effectué d'importantes révisions systématiques des ammonites cénomaniennes du Bassin Anglo-parisien. En parallèle à cette large révision taxinomique, Wright & Kennedy ont proposé en 1984 la zonation de référence du Bassin Anglo-parisien (fig. 7) composée de 7 zones d'association. Par conséquent, l'utilisation de la zonation de Thomel [1972] s'avère problématique, de même que les corrélations avec la zonation du Bassin Anglo-parisien, auquel s'ajoute une méthodologie différente et incompatible de zonation (zones d'association à caractère discret *versus* zones "homophylétiques" à caractère continu). Enfin en 1992, Thomel publie une importante monographie sur la biostratigraphie des ammonites du Cénomaniens et du Turonien inférieur du sud-est de la France. Dans cette monographie Thomel propose une nouvelle zonation pour le sud-est de la France. Cette zonation, qui tient compte des précédentes révisions systématiques, présente 11 zones "homophylétiques". Malgré tout, des contributions ultérieures [Kennedy *et al.*, 1996] font encore référence à la zonation de Thomel de 1972.

En ce qui concerne notre étude, nous avons utilisé l'exceptionnelle base de données que constitue la monographie de Thomel [1992]. En effet, cette monographie contient de très nombreuses coupes avec la répartition verticale de la macrofaune que Thomel a pu découvrir en plus de 30 années de recherche. Comme nous utilisons uniquement cette source de données, nous sommes en droit de considérer que la taxinomie est homogène à l'échelle des données traitées. La révision de la zonation du Cénomaniens du sud-est de la France s'appuie donc sur les coupes lithologiques avec la répartition verticale de la faune et sur une taxinomie homogène.

L'importante quantité de données se prête à l'utilisation d'une méthode quantitative et déterministe comme la méthode des associations unitaires [Guex, 1977, 1991]. Cette méthode fiable permet de proposer les biohorizons les plus fins possibles

indépendamment des échelles synthétiques antérieures. Les objectifs majeurs de la méthode des associations unitaires sont d'extraire des données un tableau synthétique qui rend compte de manière exacte des relations de coexistences observées et déduites entre les espèces, de dégager les subdivisions dont la valeur biochronologique sera démontrée et d'effectuer des corrélations entre les différents profils d'où sont issues les données. Cette méthode est déjà largement utilisée dans des groupes fossiles montrant d'importants problèmes de préservation sélective comme les radiolaires [Baumgartner *et al.*, 1995]. Ce travail permet ainsi, dans un deuxième temps, de souligner les apports importants de cette méthode, même pour les ammonites pourtant réputées comme fossiles stratigraphiques par excellence.

Les associations unitaires (AU en abrégé) sont fondées sur la présence des espèces et sur l'intersection de leur extension verticale. Chaque AU correspond à l'intervalle d'existence ou de coexistence de une ou plusieurs espèces. *Les AU sont des assemblages uniques et mutuellement exclusifs d'espèces coexistant réellement ou virtuellement.* En effet, la méthode des associations unitaires permet de résoudre les contradictions multiples affectant les relations stratigraphiques entre les espèces par la déduction de coexistences virtuelles entre certaines espèces impliquées dans ces contradictions. Une association unitaire est donc un ensemble unique et maximal d'espèces coexistant réellement ou virtuellement. Un ensemble est défini comme étant maximal lorsqu'il n'est contenu dans aucun autre. Chaque AU est entièrement identifiée par des espèces et/ou paires d'espèces caractéristiques qui s'y trouvent de façon exclusive. La présentation détaillée de la méthode est donnée par Guex [1977, 1991]. L'automatisation de la méthode par le programme Biograph [Savary & Guex, 1991], couplée à un retour immédiat et critique sur les données permet, d'une part, un gain de temps, et d'autre part, un gain d'objectivité en appliquant systématiquement la même et seule logique adaptée à des données discontinues dont l'analyse nécessite une démarche combinatoire. Ces associations unitaires ne sont que le reflet de l'état des données actuellement disponibles et vont permettre de définir des zones d'association, discrètes, discontinues et reproductibles. Tout changement taxinomique ou stratigraphique ultérieur des données implique un retraitement du problème, avec pour conséquence des améliorations potentielles de la zonation. En ce sens, toute zonation biochronologique est indéfiniment perfectible.

Notre étude concerne la distribution de 57 genres et 138 espèces d'ammonites répartis sur 40 sections situées entre Sisteron et Nice dans le Bassin vocontien (S.E. France). La situation du bassin sur la paléomarge nord-téthysienne au Cénomaniens lui confère une position charnière entre les domaines boréal et téthysien, et par conséquent un cachet faunique relativement mixte.

## ANALYSE DES CONTRADICTIONS BIOSTRATIGRAPHIQUES ET CONSTRUCTION DES ASSOCIATIONS UNITAIRES

Pour construire la zonation, il faut déterminer les AU, ce qui nécessite d'effectuer une suite logique d'analyses dont le but est d'optimiser les données tout en soulignant les incohérences majeures de la documentation originelle pour obtenir un résultat fiable. Ces analyses sont effectuées avec le programme Biograph [Savary & Guex, 1991] auquel est adjoint une série d'outils destinée à l'étude des données [programme Bg\_tools, Savary & Guex, sous presse]. Elles sont validées par l'évaluation de leurs impacts à l'aide de 4 paramètres : nombre d'espèces prises en compte, nombre de contradictions biostratigraphiques et composantes connexes, nombre d'AU obtenues (fig. 1 : gradient d'optimalité dirigé vers le haut). Six analyses sont effectuées et chacune d'elles intègre les résultats déduits des précédentes jusqu'à obtention d'un ensemble optimal de données.

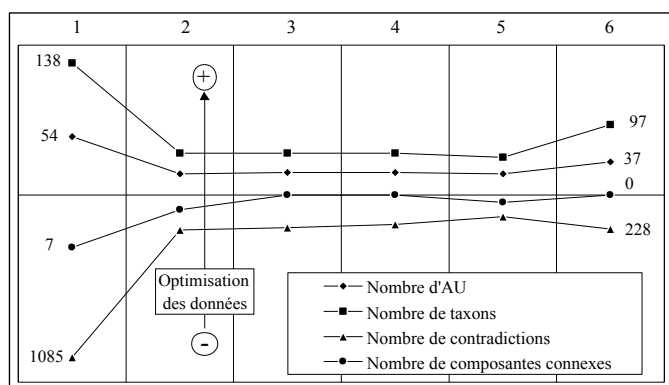


Fig. 1 : Optimisation de la documentation : évaluation de l'impact des 6 analyses successives effectuées. Quatre paramètres servent de repères (nombre d'espèces utilisées, nombre de contradictions biostratigraphiques et de composantes connexes, nombre d'AU obtenues) et sont disposés pour former un gradient d'optimalité dirigé vers le haut.

De gauche à droite, le thème des analyses est : 1- données brutes, 2- retrait des espèces uniprésentes et omniassociées, 3- addition de la correction des connexes, 4- influence des espèces assimilées, 5- détection des remaniements, 6- restitution des espèces uniprésentes de la coupe de la Foux.

Fig. 1 : Data optimization : evaluation of the impact for the 6 successive runs. Four parameters are plotted : the number of taxa, the number of biostratigraphic contradictions, the number of connected components and the number of UAs. The successive values of the parameters are presented with the optimal gradient going toward the top.

From left to right, the particulars of each run are : 1- raw data, 2- long-ranging species or species with a unique occurrence omitted, 3- correction of the connected component, 4- influence of assimilated species, 5- detection of reworking, 6- inclusion of some species from the La Foux section.

La première analyse intéresse la totalité des données. Cet ensemble de données brutes montre plus de mille contradictions biostratigraphiques (fig. 1). Dès le départ, il est donc souhaitable d'éliminer des données brutes les espèces présentes dans une seule coupe car elles sont sans valeur pour les corrélations au niveau de ce bassin. Cela entraîne déjà la perte de 57 espèces sur 138, soit 41%. La mise en évidence d'autres distributions conflictuelles d'espèces est réalisée par la construction du diagramme d'implication des espèces dans les contradictions. Il apparaît alors clairement que les espèces à très longue extension verticale engendrent la majorité des contradictions. Les trois espèces les plus impliquées dans les contradictions sont donc éliminées de l'analyse (*Parapuzosia austeni*, *Puzosia mayoriana*, *Sciponoceras baculoide*).

Suite à ces modifications, une seconde analyse (fig. 1) montre un impact favorable avec une forte baisse des contradictions, mais souligne surtout la présence de composantes fortement connexes. Une composante connexe correspond à une structure cyclique entre des AU préliminaires. Elle résulte d'une insuffisance de données biostratigraphiques que le programme résout de manière arbitraire pour permettre à l'utilisateur de découvrir où se trouvent les données stratigraphiques erronées [Guex, 1991]. La correction manuelle de ces cycles en retrouvant l'échantillon responsable est donc indispensable. Dans le cas présent, l'espèce *Acompsoceras inconstans* d'un échantillon de la coupe de Peille se trouve au cœur du problème.

L'élimination de cet échantillon dans une troisième analyse montre la disparition des composantes connexes (fig. 1). Cette analyse vérifie aussi la validité de la détermination des espèces affines, confères et groupes (aff., cf., gr.) qui sont incorporées dans la compilation des données (vis à vis des coexistences et des âges relatifs). Elle remet ainsi en cause la présence de *Acanthoceras gr. confusum* dans un échantillon de la coupe de la Foux. Cette occurrence est donc éliminée des données.

Une quatrième analyse est effectuée et les données sont maintenant estimées comme optimales. Cependant la validité des AU doit être vérifiée par la recherche d'éventuels niveaux fossilifères remaniés. Ceux-ci sont recherchés avec 4 méthodes différentes [développées par Guex, 1991]. Elles concernent l'étude de la discontinuité verticale des espèces, leur implication dans les contradictions biostratigraphiques et l'interprétation de contradictions particulières (cycles de 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> ordre, C3 et C4 ; circuits virtuels semi-orientés de 3<sup>e</sup> ordre, S'3). Ces méthodes détectent des remaniements qualifiés de disjonctifs [Guex, 1991] car ils provoquent une distribution chronologique discontinue de l'espèce par rapport aux zones. L'analyse détaillée de l'extension verticale des espèces à l'aide du programme (1<sup>e</sup> méthode) montre la continuité de la distribution des espèces analysées à travers les zones. Quant à l'implication des espèces dans les contradictions biostratigraphiques (2<sup>e</sup> méthode) elle montre que trois espèces ont une fréquence d'implication élevée dans les relations conflictuelles (*Turrilites scheuchzerianus*, *Scaphites equalis*, *Forbesiceras largilliertianum*). Il est alors construit une zonation provisoire indépendamment de ces trois espèces et à partir de laquelle elles sont datées : il apparaît qu'aucune de celles-ci n'a une distribution discontinue. Enfin, en ce qui concerne les contradictions particulières (3<sup>e</sup> méthode), aucune n'est mise en évidence.

Finalement, aucun indice suggérant un remaniement dans les niveaux fossilifères ne peut être décelé. A ce stade, les données sont donc rendues cohérentes sur l'ensemble des coupes analysées pour le bassin du sud-est de la France.

Enfin, une sixième et dernière analyse est effectuée après avoir restitué les espèces présentes uniquement dans les niveaux supérieurs de la coupe de la Foux, car cette coupe présente la particularité de contenir une faune rare au passage Cénomaniens-Turonien, lequel est extrêmement pauvre en ammonites dans tout le bassin. Cette modification concerne 19 espèces et permet d'obtenir 7 AU supplémentaires tout en ne générant que très peu de contradictions additionnelles (fig. 1).

A l'issue de cette analyse des points faibles de la documentation, les données sont estimées optimales pour poursuivre l'étude, c'est à dire aboutir à la zonation. La suite de ce travail (construction et applications de la zonation, comparaisons) s'appuie sur les données de la sixième et dernière analyse, soit 97 espèces d'ammonites.

## CONSTRUCTION DE LA ZONATION

L'ensemble aboutit à la formation d'une séquence de 37 associations unitaires ordonnées chronologiquement (fig. 2) qui permettent de dater les coupes analysées. Le Cénomaniens se subdivise en 27 AU ; les autres AU se répartissent dans l'Albien terminal (3AU) et le Turonien inférieur (7AU). Cette séquence constitue le protoréférentiel (fig. 2), lequel représente la synthèse complète des relations d'association, d'exclusion et de superposition des 97 espèces d'ammonites finalement analysées. Ce document (fig. 2) est essentiel car il constitue l'outil de base pour dater les faunes d'ammonites du Cénomaniens du sud-est de la France.

L'extension géographique des AU est visualisée grâce à une matrice dite de reproductibilité (fig. 3) où sont indiquées les AU identifiées dans les sections considérées. Celle-ci montre clairement que les AU ont une faible reproductibilité latérale (17 sur 37 sont identifiées dans une seule coupe). Elles ne peuvent donc pas directement servir de zones. A cette fin ces AU doivent être réunies en des ensembles qui soient latéralement reproductibles.

Pour ceci, nous recherchons de manière empirique les regroupements d'AU les plus reproductibles tout en définissant le plus d'unités possibles à l'aide de la matrice de reproductibilité (fig. 3). Lors d'une indécision sur la position d'une limite, le choix se fait, entre autres, à l'aide du nombre de superpositions réellement observées entre les espèces de 2 AU successives [outil BG\_T08, Savary & Guex, sous presse].

Enfin, il est également pris en compte une coupure générique qui affecte l'ensemble du domaine ouest-européen [Wright & Kennedy, 1984; Hancock, 1991]. Cette coupure correspond à la disparition de *Mantelliceras* et l'apparition d'*Acanthoceras* qui ne coexistent jamais (limite Cénomaniens inférieur et moyen) tant réellement que virtuellement.

La zonation finale du Cénomaniens du sud-est de la France comporte donc 7 zones (nommées UAZ1 à UAZ7) et 27 AU (fig. 2). Chaque zone est définie par ses espèces et/ou paires d'espèces caractéristiques (fig. 2). Ces 7 zones sont des zones

d'association discrètes. Les 3 espèces à longue extension verticale éliminées lors de l'analyse sont datées et reportées sur la figure 2. Cette figure définit clairement et totalement les AU et les zones du Cénomaniens du sud-est de la France : il s'agit de la synthèse des relations de coexistence, d'exclusion et de superposition des 100 taxons sélectionnés.

La zone UAZ1 montre l'apparition du genre *Mantelliceras*. L'association caractéristique de cette zone est formée par *M. couloni* et *Zelandites dozei*. La zone UAZ2 marque la deuxième phase de diversification du genre *Mantelliceras* dont l'espèce *M. mantelli* forme l'espèce index, avec *Mariella cenomanensis* comme autre taxon caractéristique. La limite entre les zones UAZ2 et UAZ3 constitue le passage au Cénomaniens moyen et voit un fait marquant : la disparition brutale du genre *Mantelliceras* qui domine le Cénomaniens inférieur, auquel succèdent les premiers représentants des genres *Acanthoceras* (*A. rhotomagense*) et *Calycoceras* (*C. asiaticum*). La zone UAZ4 est caractérisée par *Turrilites acutus*, ainsi que par *Acanthoceras jukes-brownei* et *Calycoceras choffati*. Le Cénomaniens supérieur débute avec la zone UAZ5 caractérisée par *Calycoceras guerangeri* et *Pseudocalyoceras harpax*. La zone UAZ6 est définie par *Calycoceras naviculare* et contient aussi *Metoicoceras geslinianum*. Enfin, la zone UAZ7 est caractérisée par *Euomphaloceras septemseriatum* puis le genre *Vascoceras* (*V. gamai*).

Les limites conventionnelles de l'étage Cénomaniens se retrouvent dans cette zonation [Birkelund *et al.*, 1984; Hancock, 1991; Tröger & Kennedy, 1996; Bengston, 1996] : pour les ammonites, la base du Cénomaniens correspond à l'apparition de *Mantelliceras mantelli* et plus généralement aux genres *Mantelliceras* et *Neostlingoceras*; quant à la base du Turonien, elle est définie par l'apparition de l'espèce *Watinoceras devonense*. Si dans le Bassin vocontien, la base du Turonien concorde avec ces définitions, la base du Cénomaniens diffère légèrement. En effet, les données de Thomel [1992] montrent que *M. saxbii* et *M. couloni* apparaissent avant *M. mantelli*, qui ne constitue donc pas le marqueur basal du Cénomaniens dans le sud-est de la France. Cependant, Gale *et al.* [1996] ont récemment proposé pour stratotype de la limite Albien-Cénomaniens une coupe située dans le domaine septentrional du Bassin vocontien (Mont Risou, Drôme), mais il s'agit d'un secteur non prospecté par Thomel [1992]. Or, si ces données sont prises en considération, *M. mantelli* constitue effectivement le marqueur basal. Ce dernier cas implique que *M. mantelli* est alors diachrone dans le sud-est de la France, fait qui dépend *hypso facto* de l'homogénéité de la conception de l'espèce *M. mantelli* entre ces deux sources de données [Gale *et al.*, 1996 et Thomel, 1992]. De plus, concernant la limite Albien-Cénomaniens, les données de Thomel [1992] s'avèrent insuffisantes pour établir une biochronologie fine, notamment à propos des faunes vraconiennes. Ainsi certaines extensions verticales d'espèces seraient incomplètes : *Hyphoplites falcatus* et *H. campichei* sont citées dans la zone à *Dispar*, i. e. dès l'Albien supérieur [Wright & Kennedy, 1984; Latil, 1994; Gale *et al.*, 1996], tandis que *H. curvatus* est citée dès la base du Cénomaniens [Gale *et al.*, 1996].





espèces modérément diachrones sont impliquées des espèces index des zonations couramment utilisées, tel que *Acanthoceras rotomagense* et *Mantelliceras saxbii*.

Enfin la méthode des AU en définissant 37 biohorizons permet de mettre en évidence les renouvellements fauniques [Guex, 1991, p. 166-168; BG\_T05] des ammonites cénomaniennes du Bassin vocontien. Pour cela, il est construit un diagramme reportant le nombre cumulé d'espèces qui apparaissent (FAD) et disparaissent (LAD) dans chaque AU (fig. 5). La courbe de diversité spécifique des AU (fig. 6) est reportée en parallèle avec la courbe de dissimilarité. Ces courbes suggèrent un passage graduel entre deux périodes distinctes. La première période correspond à une phase de radiation pulsée, c'est à dire à l'alternance de phases de diversification et de crise (ce qui se traduit par une courbe en marches d'escalier sur la figure 5). De plus, il apparaît clairement que les limites des zones coïncident avec les phases de diversification. Cette période est associée à une diversité élevée et correspond au Cénomaniens inférieur et moyen. La seconde période se caractérise par un taux de renouvellement à l'équilibre (autant d'apparitions que de disparitions) et coïncide avec une chute de la diversité durant le Cénomaniens supérieur et le Turonien inférieur. La transition entre les deux périodes est progressive, tant sur le plan de la diversité que sur celui des taux de renouvellement.

L'interprétation doit cependant être modérée pour la limite Cénomaniens-Turonien proprement dite (zones UAZ7 et UAZ8) qui se distingue par une dissemblance totale entre les AU (fig. 6). Une dissemblance totale peut résulter de lacunes importantes dans l'enregistrement fossile ou de données insuffisantes pour donner une image claire des renouvellements fauniques (seule la coupe de la Foux contient la zone UAZ8). D'éventuelles lacunes

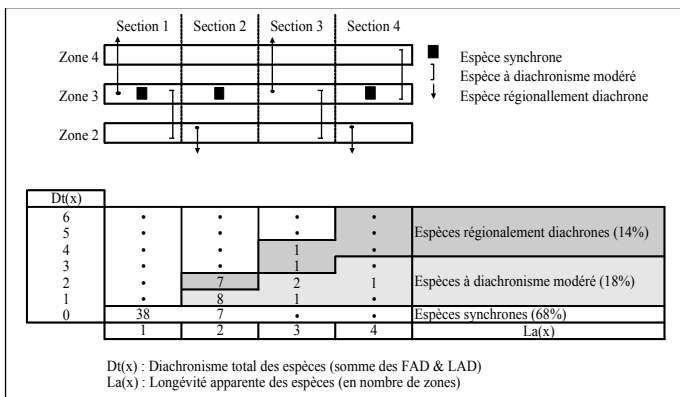


Fig. 4 : Diachronisme des espèces cénomaniennes du bassin vocontien. La figure supérieure schématise les trois types de diachronisme distingués : 1- espèce synchronone (apparaît et disparaît toujours respectivement dans la même zone), 2- espèce modérément diachrone (son apparition et/ou sa disparition n'est pas toujours dans la même zone, mais son apparition dans une coupe est toujours antérieure à sa disparition dans une autre coupe), 3- espèce régionalement diachrone (son apparition dans une coupe est postérieure à sa disparition dans une autre coupe).

Fig. 4 : Diachronism of Cenomanian species of the Vocontian Basin. The upper part of the figure illustrates the three recognized categories: 1- synchronous species (always appear and disappear in the same zone), 2- moderately diachronous species (their appearance and/or disappearance are not always in the same zone, but their appearance in a section is always earlier than their disappearance in another section), 3- regionally diachronous species (with appearance in a section later to their disappearance in another section).

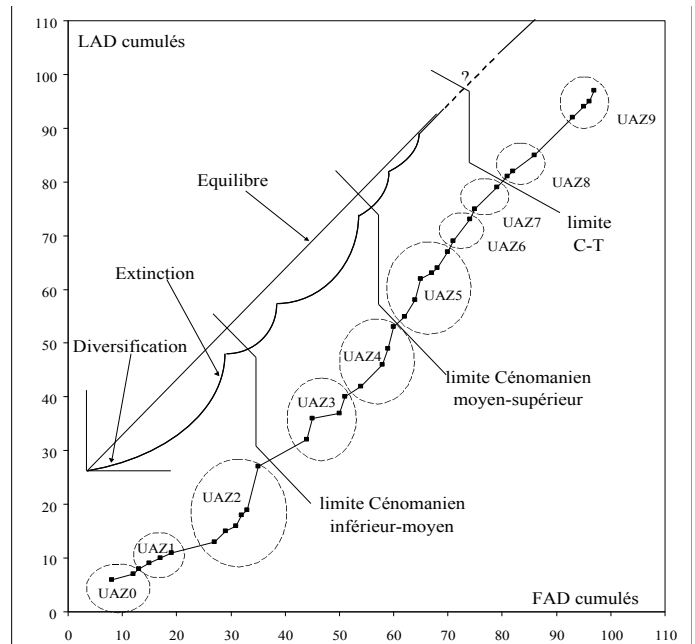


Fig. 5 : Taux de renouvellements fauniques des ammonites du Cénomaniens du Bassin vocontien en fonction de la succession des associations unitaires. Ce diagramme reporte le nombre cumulé d'espèces qui apparaissent (FAD en abscisse) et disparaissent (LAD en ordonnée) pour chaque AU (sortie de BG\_T05). Des radiations pulsées caractérisent le Cénomaniens inférieur et moyen, puis s'amortissent complètement durant le Cénomaniens supérieur et le Turonien inférieur. L'interprétation des taux de renouvellement à la limite C/T (ligne hachurée) est incertaine en raison des valeurs extrêmes de dissimilarité faunique entre les AU des zones UAZ7 et UAZ8 (voir fig. 6).

Fig. 5 : Rates of faunal turnover of Cenomanian ammonites from the Vocontian Basin. This plot represents the cumulated number of species first occurrence datum (FAD in abscissa) and last appearance datum (LAD in ordinate) for each UA (output of BG\_T05). Pulsated radiations occur in the Early and Middle Cenomanian and dampen out in the Late Cenomanian and Early Turonian. Interpretation of rates at the C/T boundary (dashed line) is made uncertain by the extremely high values of faunal dissimilarity between UAs of zones UAZ7 and UAZ8 (see fig. 6).

dans la succession des faunes des zones UAZ7 et UAZ8 semblent également compatibles avec le contexte de régression forcée mis en évidence à l'échelle du bassin [Malartre & Ferry, 1993], ce contexte ayant favorisé le dépôt de black shales dans le bassin hémipélagique devenu temporairement résiduel [Ferry, 1996]. L'interprétation des taux de renouvellement faunique à la limite Cénomaniens-Turonien requiert donc l'intégration d'un plus grand nombre de coupes dans le Bassin vocontien.

Toutefois, la transition vers une phase d'équilibre dans les taux de renouvellement faunique ainsi que la diminution importante et simultanée de la diversité spécifique des ammonites apparaissent comme des faits bien établis. Cette transition pourrait être éventuellement liée à un phénomène extrinsèque, comme une élévation du niveau marin relatif à la limite Cénomaniens moyen-supérieur [Haq *et al.*, 1987 ; Philip *et al.*, 1993]. Un tel changement du niveau marin relatif à cette limite est également suggéré par l'évolution des faciès sur le pourtour du Bassin vocontien en relation avec les contraintes tectoniques régionales [Ferry, com. pers., 1998]. Enfin, il est évident que les variations et les tendances dans les taux de renouvellement faunique décrites précédemment sont avant tout des faits observés dans le Bassin vocontien et que leur interprétation doit être restreinte à ce cadre



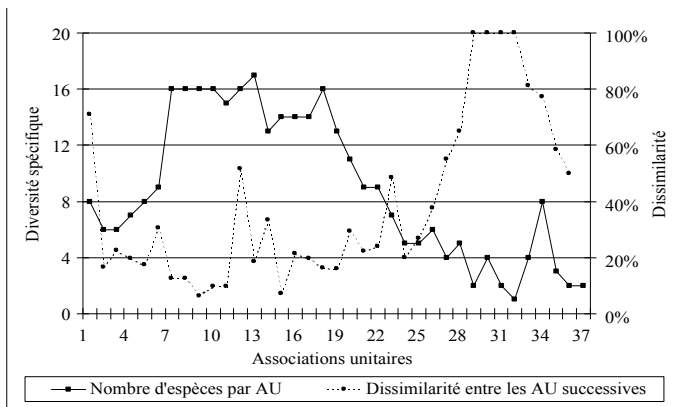


Fig. 6 : Diversité et dissimilarité spécifique entre les associations unitaires successives. La diversité double brutalement avec la zone UAZ2 (Cénomanién inférieur tardif) et décroît graduellement à partir de la zone UAZ4 (Cénomanién moyen tardif). Le maximum d'appauvrissement est atteint durant la zone UAZ8 (Turonien basal). La dissemblance extrême entre les AU des zones UAZ7 et UAZ8 suggère de possibles lacunes dans l'enregistrement et donc des données insuffisantes pour donner une image fiable des renouvellements fauniques pendant cet intervalle.

Fig. 6 : Specific diversity and dissimilarity between the successive unitary associations. Diversity increases abruptly during the UAZ2 zone (late Early Cenomanian) and decreases gradually from zone UAZ4 (late Middle Cenomanian) onwards. The lowest diversity occurs during zone UAZ8 (earliest Turonian). Extreme dissimilarity between the UAs belonging to zones UAZ7 and UAZ8 suggests possible gaps in the fossil record and therefore indicates that data are insufficient for an accurate interpretation of the faunal turnover during this time interval.

paléogéographique. De même, ces résultats concernent l'ensemble des espèces d'ammonites présentes dans le bassin et ne font délibérément rentrer en compte aucune considération phylogénétique.

## COMPARAISON AVEC D'AUTRES ZONATIONS

Dans une dernière partie, cette nouvelle zonation est comparée à celle établie par Thomel [1992] sur la base des mêmes données mais de manière empirique. En fait, Thomel [1992] propose une échelle parallèle pour chaque famille principale d'ammonites mais sans indiquer les faunes caractéristiques. Ses zones sont fondées sur une combinaison de zones phylogénétiques et d'intervalle : "biozonation homophylétique" de Thomel [1992].

Les correspondances entre les deux zonations sont reportées sur la figure 7. La corrélation entre les deux zonations s'effectue par la base des zones, en raison de la méthode employée par Thomel [op. cit.]. Dans l'ensemble, les successions de faune reconnues par Thomel [op. cit.] sont confirmées. La faiblesse de la zonation de Thomel réside dans la faible reproductibilité (surtout pour le Cénomanién supérieur) et dans l'inexistence de certaines zones (*Dixoni*), ainsi que dans l'extension verticale inexacte d'espèces index (*Mariella cenomanensis* se trouve uniquement en UAZ2, *Acanthoceras confusum* montre la même extension verticale que *A. rhotomagense*, *Sciponoceras baculoide* est présent de UAZ2 à UAZ6). Quant à la zone à *Dixoni*, elle n'est effectivement pas justifiée dans le Bassin vocontien : son espèce index se trouve à la base de UAZ2 (AU7). Ceci rejoint

l'opinion de Kennedy [Kennedy *et al.*, 1996], à l'origine de la zone à *Dixoni* du Bassin Anglo-parisien, qui estime que pour le sud-est de la France rien ne met en évidence la zone à *Dixoni* à partir des données publiées par Thomel.

Enfin la zonation proposée dans ce travail est corrélée avec celle du Bassin Anglo-parisien [Wright & Kennedy, 1984]. Cette zonation empirique est aussi construite sur le principe des zones d'association [pour leur définition, voir Juignet & Kennedy, 1976; Wright & Kennedy, 1981, 1984, 1987, 1990, 1995, 1996]. La corrélation entre les deux zonations peut donc s'effectuer en fonction du maximum d'espèces communes entre les unités des deux zonations, car toutes les deux reposent sur le principe d'association.

Malgré la proximité des deux bassins, les deux zonations sont très différentes (fig. 7). De nombreuses espèces ont de singulières différences d'extension verticale : *Mariella cenomanensis* et *Mantelliceras mantelli* apparaissent plus tard dans le Bassin vocontien, *Turrilites costatus*, *T. scheuchzerianus* et *Scaphites equalis* ont une extension verticale plus large dans le Bassin Anglo-parisien, *Acanthoceras jukes-brownei* apparaît plus tôt dans le Bassin vocontien, etc. Quant à la zone à *Dixoni*, elle n'existe pas, même si l'espèce index est présente (*M. dixoni* se situe uniquement dans l'AU7). Ces différences majeures suggèrent qu'il existe encore une certaine hétérogénéité de la taxinomie entre les deux bassins ainsi qu'un contrôle paléobiogéographique non négligeable.

Cependant, toutes les zones du Bassin Anglo-parisien (sauf les zones à *Dixoni* et à *Juddii*) sont mises en équivalence avec les AU du Bassin vocontien : *Neostlingoceras carcitanensis* est absent dans le Bassin vocontien mais il y a un équivalent de la zone (principe des zones d'association), *Acanthoceras jukes-brownei* coexiste avec *Acanthoceras rhotomagense* et ne présente donc pas la succession du Bassin Anglo-parisien, mais la zone à *Jukes-brownei* a quand même un équivalent. Toutefois les corrélations entre les deux bassins ne correspondent pas aux réunions d'AU les plus reproductibles telles que définies dans le Bassin vocontien.

Un autre fait mis en évidence concerne la zone à *Juddii* : l'espèce index et les autres espèces caractéristiques de la zone du Bassin Anglo-parisien sont absentes du Bassin vocontien. Cependant, les zones à *Coloradoense* et *Geslinianum* sont corrélées sans aucune ambiguïté et encadrent la zone à *Juddii* dans le Bassin Anglo-parisien et l'AU30 à vascocératidés (*Vascoceras gamai*) dans le Bassin vocontien (fig. 7). Malgré ce fait, l'AU30 à *V. gamai* et la zone à *Juddii* ne semblent pas équivalentes, et de plus, l'AU30 pourrait correspondre à la zone à *Burroceras clydense* du Western Interior qui comporte entre autres *V. cf. gamai* et se situe entre les zones à *Geslinianum* et *Juddii* [Kennedy & Cobban, 1991]. L'absence d'un strict équivalent de la zone à *Juddii* dans le Bassin vocontien coïncide également avec la dissimilarité maximale observée entre les AU limitrophes de la limite Cénomanién-Turonien (fig. 6).

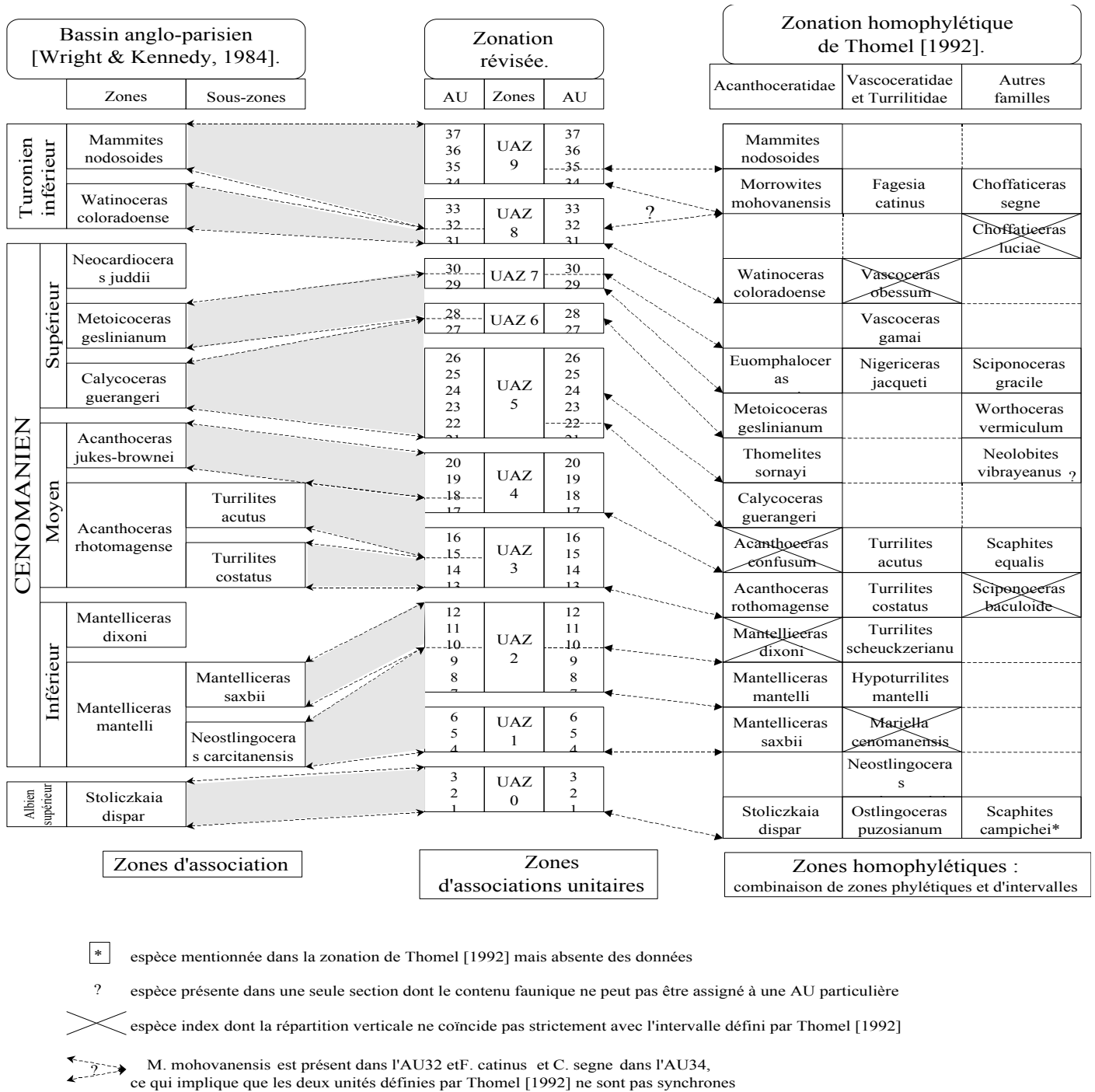


Fig. 7 : Comparaisons entre la zonation révisée au moyen des associations unitaires (Bassin vocontien), la zonation proposée par Thomel [1992] pour le sud-est de la France et la zonation du Bassin Anglo-parisien [Wright & Kennedy, 1984].

Fig. 7 : Comparisons between the revised zonation by means of unitary associations (Vocontian Basin), the zonation of Thomel [1992] for southeastern France and the zonation of the Anglo-Paris Basin [Wright & Kennedy, 1984].

**CONCLUSIONS**

En définitive, l'utilisation de la méthode des associations unitaires permet de clarifier la zonation du Cénomaniens du sud-est de la France, d'une part, en extrayant des données un tableau synthétique qui rend compte de manière exacte et complète des coexistences observées et déduites entre les 100 espèces finalement prises en compte (fig. 2), et d'autre part, en dégagant

de cette synthèse les subdivisions les plus chronologiquement significatives. Ainsi le Cénomaniens comporte 27 biohorizons (finesse inégale) regroupables en 7 zones d'association latéralement reproductibles à l'échelle du bassin (fig. 3).

Ensuite, son application directe souligne l'importance du contrôle biochronologique en raison de très rapides variations latérales de faciès dans le Cénomaniens du Bassin vocontien. Elle permet de quantifier le diachronisme des espèces dont 68% sont

de bons marqueurs et souligne le diachronisme modéré d'espèces index des précédentes zonations.

De plus, les 37 associations unitaires suggèrent l'existence de deux modes de renouvellements des faunes d'ammonite (dans leur ensemble et sans considération phylogénétique) du Bassin vocontien (fig. 5). Ces deux phases (radiation pulsée puis équilibre) montrent une transition qui coïncide avec une chute de la diversité à partir de la limite Cénomaniens moyen-Cénomaniens supérieur. Ce changement dans la dynamique des renouvellements pourrait être lié à une élévation du niveau marin relatif au Cénomaniens supérieur, avec pour conséquence une éventuelle uniformisation du contrôle écologique sur la répartition des ammonites. Enfin sa corrélation avec la zonation du Bassin Anglo-parisien montre une diminution notable du nombre de contradictions, mais souligne aussi la nécessité d'une homogénéisation préalable de la taxinomie entre les deux bassins pour effectuer des corrélations fiables et rigoureuses à plus grande échelle (fig. 7). Ceci nécessiterait aussi d'homogénéiser la méthodologie de zonation, mais c'est actuellement impossible. En effet, le travail de Thomel [1992] est sans équivalent dans le Bassin Anglo-parisien à cause du manque de publications contenant les données de base, i. e. la présence de coupes lithologiques avec la répartition verticale de la faune et une iconographie suffisante. Or, cette carence constitue un obstacle à des corrélations plus fiables.

Cette étude souligne aussi qu'un effort, tant sur le plan de l'acquisition de plus amples données aux limites de l'étage Cénomaniens dans le sud-est de la France (notamment en domaine septentrional), que sur l'homogénéisation de la taxinomie entre les différents bassins, améliorerait significativement la biochronologie de cet étage et permettrait des corrélations fiables à plus grande échelle en mettant en valeur le potentiel du Bassin vocontien, comme le suggère les travaux de Gale *et al.* [1996] (limite Albien-Cénomaniens) et cette étude (limite Cénomaniens-Turonien: AU30).

*Remerciements.* - Nous remercions S. FERRY, G. CARBONNEL et S. BOUCHET pour leur aide au cours de la rédaction de ce travail, ainsi que S. GILDER pour l'amélioration du texte anglais. Nous remercions également les rapporteurs J. GUEX et N.H. LANDMAN pour leurs critiques constructives. Ce travail est une contribution au projet Action Thématique Innovante 98N51/0496 de l'INSU.

## ANNEXE

Data base used for the construction of the final zonation (sixth run). Primary data are from Thomel [1992]. Data base reads as follow : section FOUX ; 27 fossiliferous levels or beds ; species 3 ranges from level 4 to level 7 ; species 20 ranges from level 6 to level 6 ; etc. For the coding of species, see also fig. 2.

SECTION FOUX bottom 1 top 27 003 4 7 020 6 6 030 19 19 050 17 17 063 8 12 065 7 7 066 5 8 067 8 11 069 8 15 072 15 16 075 5 5 077 7 7 092 8 11 100 11 14 103 14 14 117 2 2 150 12 16 170 7 9 180 1 1 190 25 27 200 23 24 210 24 24 220 16 16 230 20 20 231 20 20 240 25 25 250 24 24 260 23 23 261 22 22 270 24 24 280 23 23 281 26 26 290 19 19 291 19 19 292 23 23 300 19 19 355 2 2 360 3 6 361 13 13 370 24 24 371 24 24 372 24 24 373 24 24 440 6 6 450 16 16 481 16 18 530 6 7 531 6 7  
SECTION VERGONS bottom 1 top 19 001 14 14 003 13 14 061 11 14 080 12 12 111 7 9 112 9 9 116 7 9 117 5 7 330 17 17 355 9 9 360 5 14 361 15 15 380

2 13 390 13 13 400 13 13 401 13 14 420 2 2 430 13 14 431 2 2 432 2 5 440 14 14 445 10 14 490 13 13 531 12 14  
SECTION PEILLE bottom 1 top 19 003 5 11 010 10 12 011 18 18 061 6 7 063 8 14 064 19 19 066 12 13 069 19 19 077 7 7 079 13 13 102 19 19 114 4 4 117 3 3 132 15 16 133 16 18 150 19 19 180 1 1 355 4 4 360 4 11 440 11 17 462 5 5 490 4 4 510 1 1 530 12 13 531 5 11 540 4 4  
SECTION PALUD bottom 1 top 12 002 6 6 003 4 6 020 6 6 061 6 6 064 9 10 066 6 7 069 6 6 072 10 11 102 9 9 112 3 3 114 2 2 116 2 2 150 10 10 360 2 5 440 6 6 531 4 6  
SECTION BOURGUET bottom 1 top 7 002 5 5 003 5 5 011 6 6 020 5 5 066 6 6 074 6 6 114 4 4 116 3 3 290 7 7 360 5 5 460 2 2 461 1 1 531 5 5  
SECTION CONSEGUD bottom 1 top 9 003 7 7 020 7 7 066 8 8 072 9 9 080 7 7 110 4 6 111 4 4 114 5 6 116 1 1 351 1 5 352 4 5 354 4 6 355 5 6 360 5 7 442 5 6 462 5 6 511 1 6 530 8 8 531 7 7 541 5 5  
SECTION TOURETTE bottom 1 top 9 003 3 4 020 4 4 077 6 6 110 1 2 111 1 1 114 1 2 116 1 1 133 5 5 140 1 2 190 9 9 220 7 7 250 9 9 330 9 9 355 1 2 360 1 4 440 3 3 511 1 2 531 3 4  
SECTION PUGET\_RO bottom 1 top 4 003 4 4 020 4 4 111 3 3 162 1 1 360 3 4 380 1 1 420 2 2 432 2 2 442 4 4 510 2 2 531 4 4  
SECTION MORIEZ bottom 1 top 7 001 6 7 061 5 5 111 1 1 116 2 2 360 1 5 380 5 5 400 5 5 401 5 5 430 4 5 432 3 3 445 4 5 490 5 5 531 5 5  
SECTION VILHOSC bottom 1 top 9 003 3 5 072 8 8 111 2 2 114 2 2 116 2 2 118 2 2 160 1 1 355 2 2 360 2 5 511 2 2 540 2 2  
SECTION HYGES bottom 1 top 5 061 5 5 114 4 4 118 4 4 360 4 5 380 2 3 390 2 3 401 5 5 420 2 3 430 5 5 431 1 1 445 5 5 531 5 5 570 1 1  
SECTION PENNE bottom 1 top 12 003 5 7 020 6 6 050 12 12 066 10 10 077 10 10 092 11 11 111 2 2 114 3 3 116 3 3 118 3 3 360 1 9 440 10 11 442 7 8 462 7 7 531 6 9 532 6 6 540 3 3  
SECTION RIGAUD bottom 1 top 5 111 3 5 114 5 5 116 4 4 117 3 3 380 3 3 420 3 3 432 3 3 460 1 1 510 2 2 570 3 3  
SECTION BRAUS bottom 1 top 10 003 6 6 020 6 6 063 10 10 064 10 10 114 1 1 116 1 1 132 9 9 360 2 7 440 6 6 442 5 5 490 4 4 530 8 8 531 5 6 532 3 3  
SECTION BEYNES bottom 1 top 7 001 6 7 002 5 7 061 7 7 066 7 7 074 7 7 075 5 5 076 7 7 112 1 1 114 2 2 440 4 5 531 3 5 532 2 2  
SECTION TRIGANCE bottom 1 top 5 003 3 3 067 4 4 112 1 1 291 5 5 360 2 2  
SECTION MONTLAUX bottom 1 top 7 003 6 6 010 6 6 020 6 6 111 3 3 114 5 5 117 3 3 162 2 2 180 2 2 355 3 3 360 4 7 460 2 2 461 1 1 491 1 1 510 2 2 520 2 2  
SECTION TARTONNE bottom 1 top 7 061 7 7 117 3 3 140 4 4 360 2 7 380 1 5 401 7 7 420 1 5 431 1 1 531 7 7  
SECTION AUTARET bottom 1 top 5 003 4 4 092 5 5 114 3 3 117 2 2 360 1 4 541 2 2  
SECTION MUJOLS bottom 1 top 11 003 9 10 020 10 10 061 10 10 066 10 10 075 10 10 102 11 11 111 3 6 113 6 6 114 6 6 118 6 6 150 11 11 170 9 9 351 3 3 352 6 6 355 6 7 360 2 10 510 1 1 511 6 6 531 9 10  
SECTION BARGEME2 bottom 1 top 3 020 1 1 066 1 1 067 2 2 072 3 3  
SECTION ORGUES bottom 1 top 8 110 8 8 111 5 5 113 5 5 114 7 8 116 5 8 118 8 8 162 1 1 180 1 1 355 5 5 360 5 5 460 1 1 461 1 1 491 1 1 510 1 1 520 1 1  
SECTION MURE bottom 1 top 9 001 8 8 003 7 7 061 6 7 116 2 2 117 2 2 360 2 7 380 1 7 401 7 7 420 1 4 430 7 7 445 7 7 462 7 7 490 7 7 531 7 7  
SECTION ROUDOULE bottom 1 top 4 020 4 4 111 3 3 420 2 2 432 2 2 460 1 1 510 2 2 531 4 4  
SECTION ABADIE bottom 1 top 6 077 1 1 190 4 4 250 2 3 330 5 5  
SECTION SAUSSES bottom 1 top 10 002 6 6 003 7 7 020 6 6 114 4 4 117 2 2 150 10 10 355 3 4 360 3 4 460 1 1 530 7 7  
SECTION BOURRAS bottom 1 top 3 072 3 3 160 2 2 570 1 1  
SECTION PEYROULE bottom 1 top 5 003 3 4 113 2 2 531 4 4 541 1 1  
SECTION COURSEGO bottom 1 top 5 003 4 4 066 5 5 116 2 2 117 1 1 360 2 4 531 4 4  
SECTION CAUSSOL2 bottom 1 top 10 002 6 7 003 5 6 020 6 6 065 6 7 066 6 6 074 6 6 076 6 6 079 7 7 100 9 9 114 2 3 118 2 4 220 10 10 360 4 4 531 6 6 532 3 3 541 2 3  
SECTION MONTFORT bottom 1 top 5 003 2 3 442 3 3 531 1 4  
SECTION ANGLES bottom 1 top 8 001 6 7 061 5 6 116 2 2 360 1 7 380 5 5 401 4 5 430 6 6 445 5 5 490 7 7 531 5 7 532 6 6  
SECTION SALLAGRI bottom 1 top 4 003 3 3 066 4 4 114 1 1 116 1 1 117 1 1 354 2 2 355 1 1 360 1 4 440 4 4 530 4 4 531 3 3  
SECTION DURANUS bottom 1 top 3 111 3 3 117 1 1 360 2 3 541 2 2  
SECTION ST\_LIONS bottom 1 top 8 001 3 5 003 3 3 061 2 3 080 3 3 360 2 3 380 3 3 390 3 3 400 3 3 401 3 3 430 3 3 431 3 3 445 2 3 462 3 3 490 3 3 531

3 3  
 SECTION ST\_LEGER bottom 1 top 3 360 3 3 380 1 2 460 1 1 510 2 2 570 2  
 SECTION PEILLON bottom 1 top 3 003 3 3 360 1 3 531 2 2  
 SECTION GARS bottom 1 top 5 003 4 5 020 4 4 117 1 2 360 1 4  
 SECTION FAYE bottom 1 top 4 003 1 1 066 1 1 067 2 2 150 3 3 481 4 4 531  
 1 1  
 SECTION BARGEME1 bottom 1 top 5 003 3 4 220 5 5 355 1 1 360 1 1

### Références

- BAUMGARTNER P.O., O'DOHERTY L., GORICAN S., URQUHART E., PILLEVUIT A. & DE WEVER P. (1995). - Middle Jurassic to Lower Cretaceous radiolaria of Tethys : occurrences, systematics, biochronology. - *Mem. geol. Lausanne*, **23**, 1172p.
- BENGSTON P. (1996). - The Turonian stage and substage boundaries. - In : RAWSON P.F., DHUNDT A.V., HANCOCK J.M. & KENNEDY W.J., Eds, Second International Symposium on Cretaceous Stage Boundaries. - *Bull. Inst. Roy. Sc. Nat. Belgique*, **66**, suppl., 69-79.
- BIRKELUND T., HANCOCK J.M., RAWSON P.F., REMANE J., ROBASZYNSKI F., SCHMID F. & SURLIK F. (1984). - Cretaceous stage boundaries. Proposals. - *Bull. Soc. geol. Denmark*, **33**, 1/2, 3-20.
- COTILLON P., FERRY S., GAILLARD C., JAUTEE E., LATREILLE G. & RIO M. (1980). - Fluctuation des paramètres du milieu marin dans le domaine vocontien (France sud-est) au Crétacé inférieur : mise en évidence par l'étude des formations marno-calcaires alternantes. - *Bull. Soc. géol. France*, **25**, 5, 735-744.
- FERRY S. (1996). - Black shales de bas et de haut niveau marin relatif (résumé). - In : BAUDIN F. & TRIBOVILLARD N., *Sédimentologie de la matière organique. - Séance spécialisée de la Société géologique de France*.
- FRIES G. & BAUDOIN B. (1989). - L'enregistrement dans le sédiment des déformations paroxysmales pendant l'intervalle Aptien-Cénomaniens dans le bassin subalpin méridional. - In : COTILLON P., Ed., *Les événements de la partie moyenne du Crétacé*. - *Geobios*, **11**, n° sp., 97-106.
- GALE A.S., KENNEDY W.J., BURNETT J.A., CARON M. & KIDD B.E. (1996). - The Late Albian to Early Cenomanian succession at Mont Risou near Rosans (Drôme, SE France): an integrated study (ammonites, inoceramids, planktonic foraminifera, nannofossils, oxygen and carbon isotopes). - *Cretaceous Research*, **17**, 515-606.
- GUÉX J. (1977). - Une nouvelle méthode d'analyse biochronologique. - *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.*, **351**, 309-321.
- GUÉX J. (1991). - Biochronological correlations. - Springer Verlag, 252 p.
- HANCOCK J.M. (1991). - Ammonite scales for the Cretaceous System. - *Cretaceous Research*, **12**, 259-291.
- HAQ B.U., HARDENBOL J. & VAIL P.R. (1987). - Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. - *Science*, **235**, 1156-1166.
- JUIGNET P. & KENNEDY W.J. (1976). - Faunes d'ammonites et biostratigraphie comparée du Cénomaniens du nord-ouest de la France (Normandie) et du sud de l'Angleterre. - *Bull. Trimestriel Soc. géol. Normandie et Amis Mus. Havre*, **63**, 2, 193p.
- 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. - *Newsl. Stratigr.*, **24**, 1/2, 1-33.
- KENNEDY W.J., BILOTTE M. & HANSOTTE M. (1996). - Cenomanian ammonites from Pech de Foix (Ariège, France). - *Geobios*, **29**, 3, 307-318.
- LATIL J.L. (1994). - The Dispar Zone in South-East France and comments about the biozonation of Albian in the tethyan realm : biostratigraphy and paleontology (Ammonites). - *Géologie Alpine*, **20**, Mém. H.S., 67-111.
- MALARTRE F. & FERRY S. (1993). - Régression forcée à la limite Cénomaniens/Turonien dans le bassin subalpin occidental (SE, France). - *C. R. Acad. Sci. Paris*, **317**, Sér. 2, 1121-1127.
- PHILIP J., BABINOT J.F., TRONCHETTI G., FOURCADE E., RICOU L.E., GUIRAUD R., BELLION Y., HERBIN J.P., COMBES P.J., CORNEE J.J. & DERCOURT J. (1993). - Late Cenomanian (94 to 92 Ma). - In : DERCOURT J., RICOU L.E. & VRIELYNCK B., Eds., *Atlas Tethys palaeoenvironmental maps. Explanatory notes*. - Gauthier Villars, 153-178.
- PORTHAULT P. (1978). - Paléogéographie et répartition des faciès au Cénomaniens dans le bassin rhodano-vocontien. - *Géol. Médit.*, **5**, 1, 173-182.
- SAVARY J. & GUÉX J. (1991). - Biograph : un nouveau programme de construction des corrélations biochronologiques basé sur les associations unitaires. - *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.*, **80**, 3, 317-340.
- SAVARY J. & GUÉX J. (sous presse). - Discrete biochronological scales and Unitary Associations : description of the Biograph computer program. - *Mem. geol. Lausanne*, **33**.
- THOMEL G. (1972). - Acanthoceratidae cénomaniens des chaînes subalpines méridionales. - *Mém. Soc. géol. France*, **116**, 204p.
- THOMEL G. (1992). - Ammonites du Cénomaniens et du Turonien du sud-est de la France. - **1**, 422p., **2**, 384p., Editions Serre, Nice.
- TRÖGER K.A. & KENNEDY W.J. (1996). - The Cenomanian stage. - In : RAWSON P.F., DHUNDT A.V., HANCOCK J.M. & KENNEDY W.J., Eds, Second International Symposium on Cretaceous Stage Boundaries. - *Bull. Inst. Royal Sc. Nat. Belgique*, **66**, suppl., 57-68.
- WRIGHT C.W. & KENNEDY W.J. (1981). - The Ammonoidea of the Middle Chalk. - *Palaeont. Soc. Monograph*, **134**, 1-148.
- WRIGHT C.W. & KENNEDY W.J. (1984). - The Ammonoidea of the Lower Chalk. Part 1. - *Palaeont. Soc. Monograph*, **137**, 1-126.
- WRIGHT C.W. & KENNEDY W.J. (1987). - The Ammonoidea of the Lower Chalk. Part 2. - *Palaeont. Soc. Monograph*, **139**, 127-218.
- WRIGHT C.W. & KENNEDY W.J. (1990). - The Ammonoidea of the Lower Chalk. Part 3. - *Palaeont. Soc. Monograph*, **144**, 219-294.
- WRIGHT C.W. & KENNEDY W.J. (1995). - The Ammonoidea of the Lower Chalk. Part 4. - *Palaeont. Soc. Monograph*, **149**, 295-319.
- WRIGHT C.W. & KENNEDY W.J. (1996). - The Ammonoidea of the Lower Chalk. Part 5. - *Palaeont. Soc. Monograph*, **150**, 320-403.