

# La biostratigraphie des ammonites du Carixien (Jurassique inférieur) d'Europe occidentale: un test de la méthode des associations unitaires

Par JEAN-LOUIS DOMMERMUES<sup>1)</sup> et CHRISTIAN MEISTER<sup>1)</sup>

## RÉSUMÉ

La méthode d'analyse biochronologique par le traitement automatique des associations unitaires est appliquée aux données biostratigraphiques précises fournies par les ammonites du Carixien dans sept régions d'Europe occidentale. C'est le programme publié par GUEX & DAVAUD (1984) qui a été utilisé et chacune de ses étapes est discutée. Les résultats montrent qu'il existe une très bonne concordance entre la zonation basée sur les associations unitaires et la zonation empirique classiquement admise par les auteurs. Toutefois quelques contraintes liées à l'utilisation de la méthode sont mises en évidence.

## ABSTRACT

The biochronological 'unitary associations' method is applied to the accurate biostratigraphical data provided by carixian ammonites successions from seven Western European areas. GUEX & DAVAUD's program (1984) is used here and each output is discussed. Results show a good concordance between the zonation compiled from the unitary associations and the empirical zonation usually admitted by the authors. Nevertheless some constraints depending on the program are commented.

## I. Introduction

Les bases théoriques de la méthode des associations unitaires ont été établies par GUEX (1977 à 1984) et la version la plus récente du traitement automatique des données correspond au programme FORTRAN ASCII publié par GUEX & DAVAUD (1984); c'est ce programme que nous avons utilisé ici. Ces premiers travaux ont été suivis par quelques applications parmi lesquelles celle de MEISTER (1986) sur des ammonites, celles de BAUMGARTNER (1984) et de SCHAAF (1985) sur les radiolaires.

Nous proposons ici une approche différente qui consiste à appliquer la méthode des associations unitaires à un cadre biostratigraphique maintenant bien établi de façon empirique: celui donné par les ammonites du Carixien d'Europe occidentale (COMAS RENGIFO 1985; CUBAYNES et al. 1984; DOMMERMUES 1979, 1984; MEISTER 1986; PHELPS 1985; SCHLATTER 1980). Ce travail aura donc deux buts, l'un consistant à tester la valeur de la méthode des associations unitaires, l'autre dépendant des résultats du premier, visant à proposer une échelle biochronologique plus objective que celle couramment admise par les auteurs pour la période considérée.

<sup>1)</sup> Centre de Géodynamique sédimentaire et Evolution géobiologique, UA CNRS 157; Centre des Sciences de la Terre de l'Université de Bourgogne, 6 Bd. Gabriel, F-21100 Dijon.

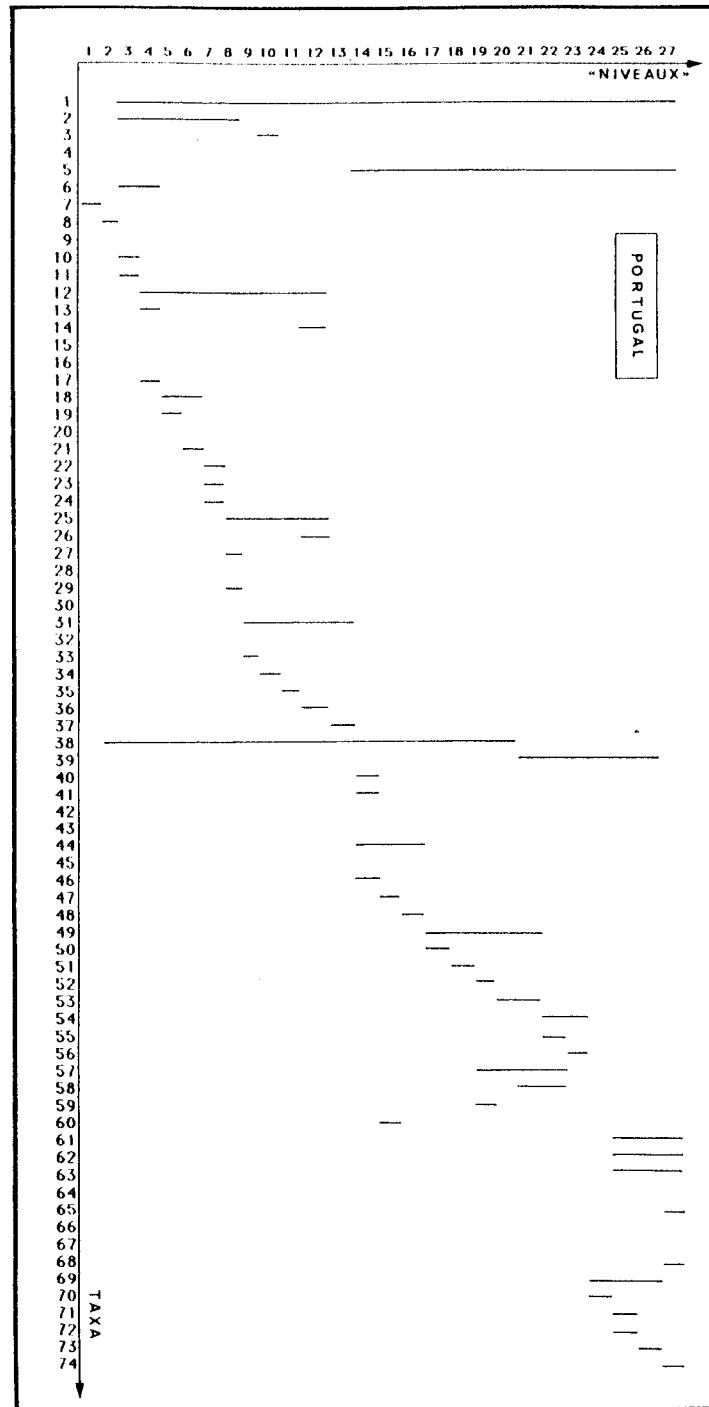


Fig. 1. Distribution verticale des taxa au Portugal. (Les «niveaux» représentent les plus petits intervalles de coexistence entre les espèces; les «Taxa» correspondent à des espèces, des groupements d'espèces, ou des genres).

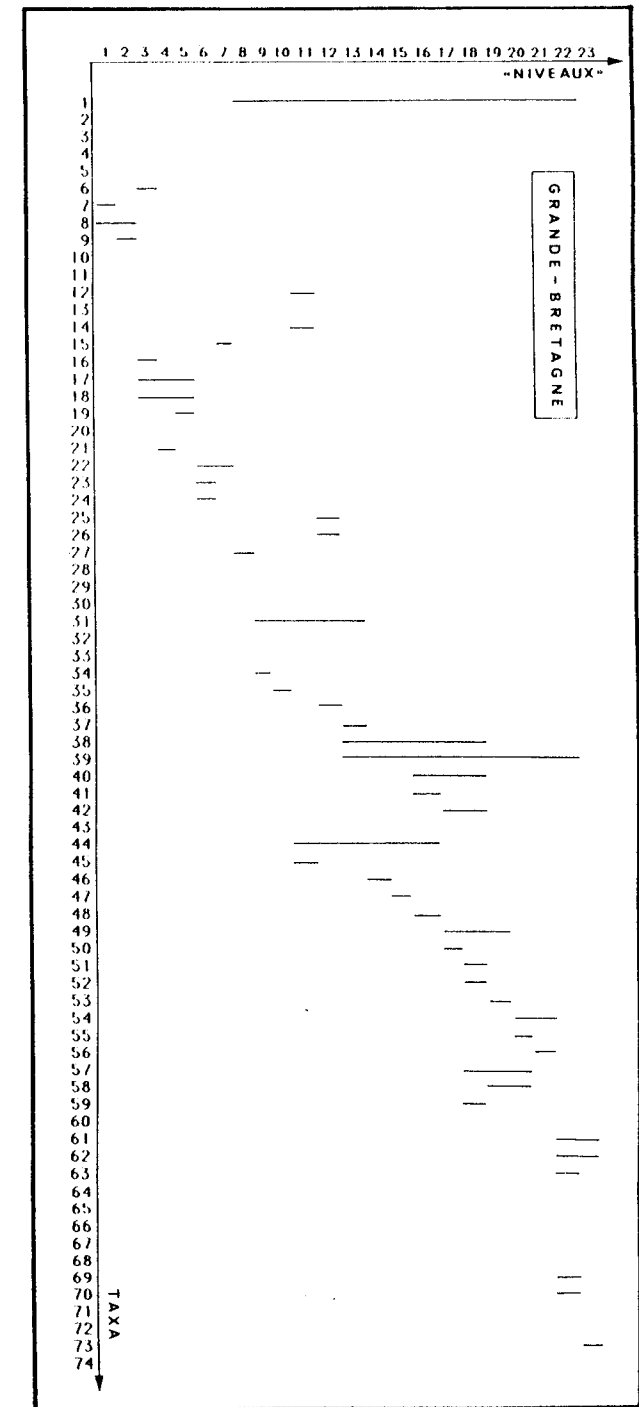


Fig. 2. Distribution verticale des taxa en Angleterre.

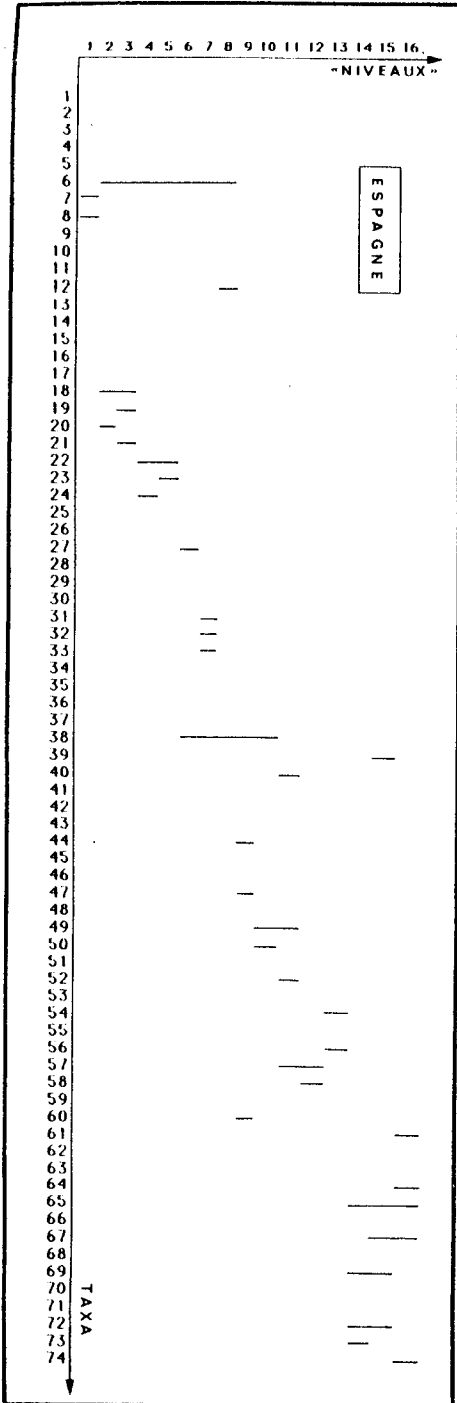


Fig. 3. Distribution verticale des taxa en Espagne.

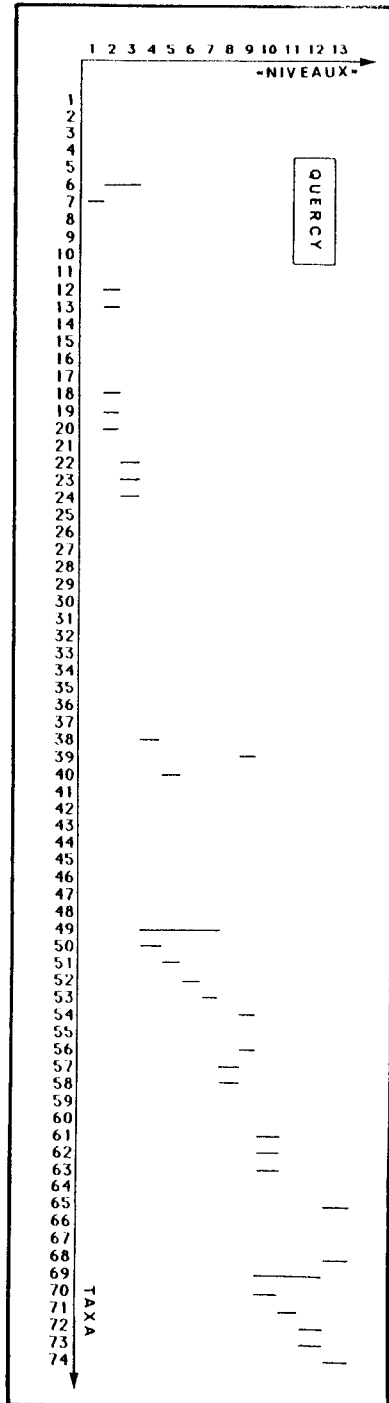


Fig. 4. Distribution verticale des taxa en Query.

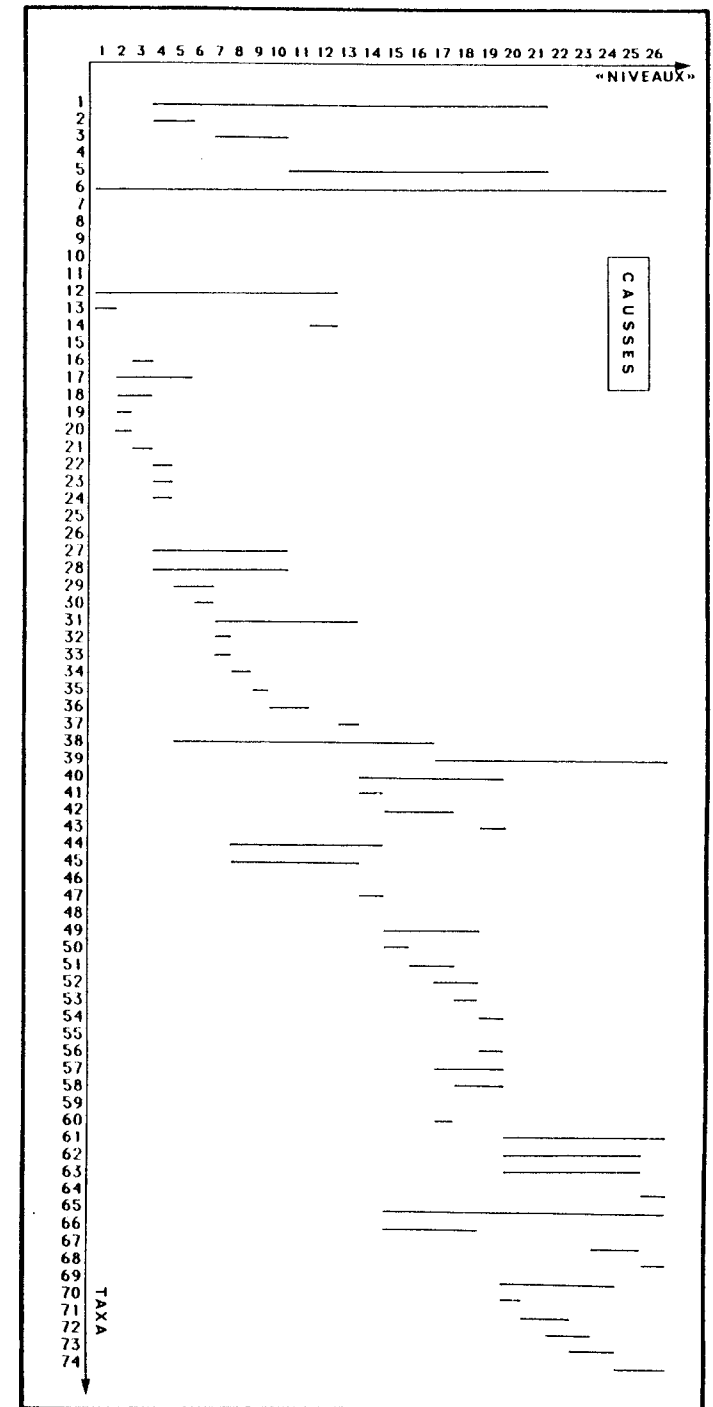


Fig. 5. Distribution verticale des taxa dans les Causses.

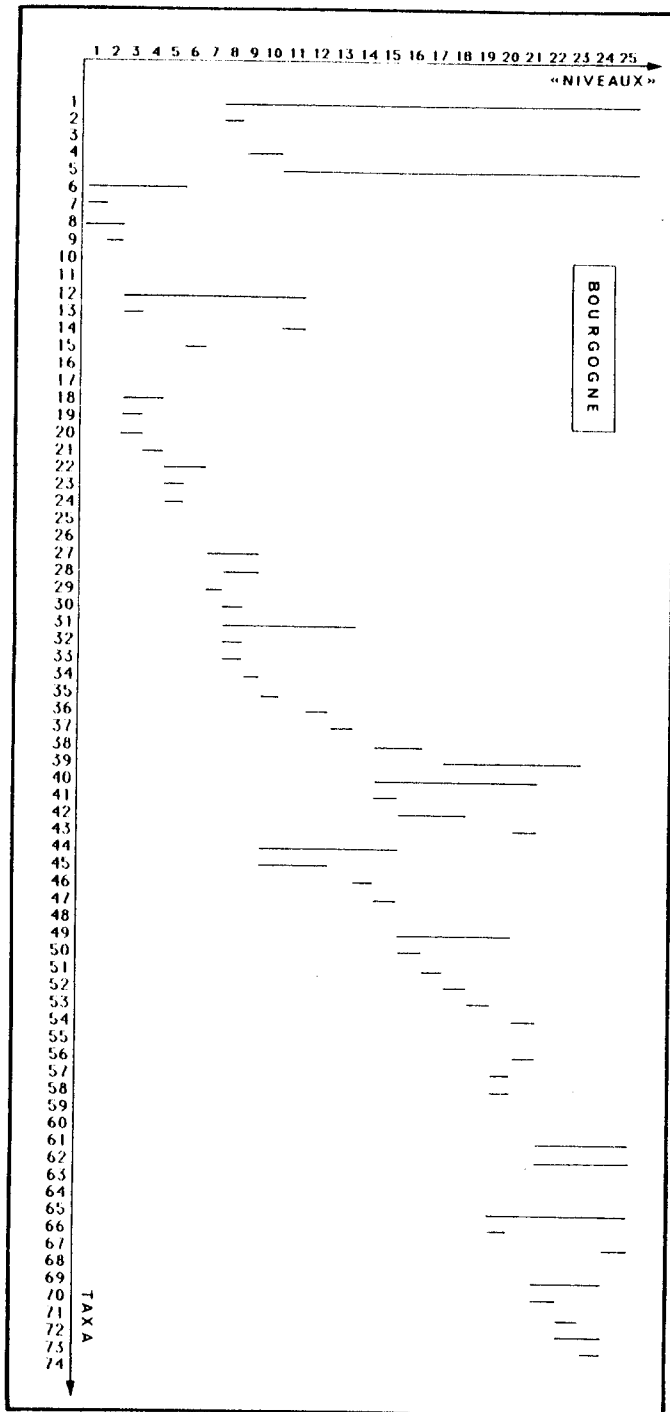


Fig. 6. Distribution verticale des taxa en Bourgogne.

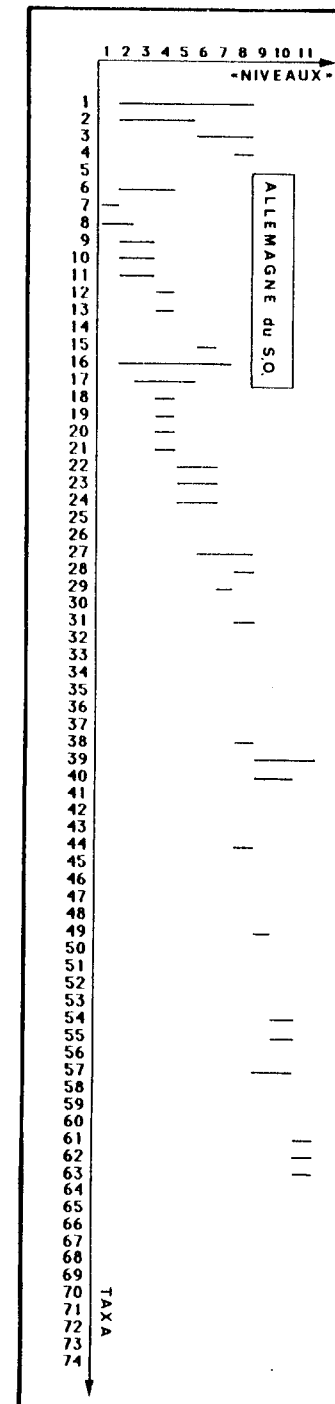


Fig. 7. Distribution verticale des taxa en Allemagne du sud-ouest.

## 2. Les données, présentation et discussion

Les données traitées proviennent de 7 régions réparties en Europe occidentale (fig. 1 à 7): le Portugal (DOMMERMUES 1984; MOUTERDE et al. 1983), la Grande-Bretagne (LANG 1936; LANG et al. 1928; PHELPS, 1983), les Cordillères ibériques (COMAS-RENGIFO 1985), le Quercy (CUBAYNES et al. 1984), les Causses (MEISTER 1986), la Bourgogne (DOMMERMUES 1979) et l'Allemagne du sud-ouest (SCHLATTER 1980). Dans ces régions nous disposons en effet de données biostratigraphiques très précises, établies grâce à des récoltes banc par banc, et de fiabilité pratiquement équivalente. Toutefois les conceptions taxonomiques des différents auteurs n'étant pas identiques, il a été nécessaire d'homogénéiser les taxonomies selon nos propres critères, sur la base de révisions de collections ou d'analyses de figurations. Cette démarche est un préalable absolument nécessaire pour l'utilisation de la méthode des associations unitaires.

Parmi les nombreux taxons cités dans l'ensemble des travaux précédents, nous en avons retenu 74. Il s'agit d'espèces ou de genres. En effet si l'on veut pouvoir comparer la zonation établie grâce aux associations unitaires avec la zonation empirique qui est basée à la fois sur les genres et sur les espèces, il est indispensable de traiter des informations de même type. Si les informations que peuvent apporter des taxons de rangs hiérarchiques différents sont parfois redondantes dans certains cas, le genre véhicule des informations que ne peuvent fournir les espèces. Tous les taxons présents dans une seule région ont été éliminés. Dans la mesure du possible, nous avons également exclu ceux qui ne sont présents que dans deux des régions, en ne conservant dans ce cas que les taxons d'importance régionale majeure comme les *Dayiceras*, très abondants au Portugal et également connus en Angleterre. Les taxons sélectionnés sont donc, sauf exception, présents dans au moins trois régions. Un tel seuil de reproductibilité est un minimum pour obtenir des corrélations fiables.

### 2.1 Les taxons

- |   |   |
|---|---|
| 1. <i>Tragophylloceras</i>  | 21. <i>P. amplinatrix</i> + <i>P. tenuilobum</i> + <i>P. cf. oblongum</i> + <i>P. acanthobronni</i> |
| 2. <i>T. munismale</i>  | 22. <i>Uptonia</i>  |
| 3. <i>T. undulatum</i>  | 23. <i>U. jamesoni</i> + <i>U. lata</i>   |
| 4. <i>T. ibex</i>   | 24. <i>U. bronni</i>  |
| 5. <i>T. loscombi</i>   | 25. <i>Dayiceras</i>  |
| 6. <i>Radstockiceras</i>  | 26. <i>D. polymorphoides</i>  |
| 7. <i>Apoderoceras nodogigas</i> + <i>A. leckenbyi</i>  | 27. <i>Tropidoceras</i>   |
| 8. <i>Phricodoceras</i> gr. <i>taylori</i>  | 28. <i>T. gr. glandrini</i>   |
| 9. <i>Hyperderoceras</i> gr. <i>ruga</i>  | 29. <i>T. gr. musseamum</i>   |
| 10. <i>Epideroceras nodofissum</i> + <i>E. trigonale</i>                                      | 30. <i>T. stahli</i>  |
| 11. <i>E. (Coeloderoceras) biruga</i>   | 31. <i>Acanthopleuroceras</i>   |
| 12. <i>Metaderoceras</i>  | 32. <i>A. arietiforme</i> + <i>A. subarietiforme</i>  |
| 13. <i>M. muticum</i> + <i>M. venustum</i>  | 33. <i>A. carinatum</i>   |
| 14. <i>M. gr. venarense</i>   | 34. <i>A. maugenesti</i>  |
| 15. <i>Coeloceras pettos</i>  | 35. <i>A. valdani</i>   |
| 16. <i>Parimodiceras</i>  | 36. <i>A. actacon</i>   |
| 17. <i>Polymorphites</i> gr. <i>polymorphus</i> + <i>P. pseudodubari</i>                      | 37. <i>A. lepidum</i>   |
| 18. <i>Platypleuroceras</i>   | 38. <i>Liparoceras</i> + <i>Viciniodiceras</i>  |
| 19. <i>P. brevispina</i> + <i>P. brevispinoides</i> + <i>P. aureum</i> + <i>P. muellensis</i> | 39. <i>Becheiceras</i>  |
| 20. <i>P. rotundum</i> + <i>P. oblongum</i>   | 40. <i>Androgynoceras</i>   |

- |   |   |
|---|---|
| 41. <i>A. geyeri</i>                                      | 58. <i>P. davoci</i>  |
| 42. <i>A. gr. hybrida</i>                                 | 59. <i>P. rectiradiatum</i>   |
| 43. <i>A. allocotypus</i>                                 | 60. <i>Reynsocoeloceras</i>   |
| 44. <i>A. (Beaniceras)</i>                                | 61. <i>Amaltheus</i>  |
| 45. <i>A. (B.) centaurus</i>                              | 62. <i>A. stokesi</i>   |
| 46. <i>A. (B.) rotundum</i>                               | 63. <i>A. bifurcus</i>  |
| 47. <i>A. (B.) crassum</i>                                | 64. <i>A. gr. subnodosus</i>  |
| 48. <i>A. (B.) luridum</i>                                | 65. <i>Protogrammoceras</i>   |
| 49. <i>A. (Aegoceras)</i>                                 | 66. <i>P. pseudodilectum</i>  |
| 50. <i>A. (A.) maculatum</i>                              | 67. <i>P. celebratum</i>  |
| 51. <i>A. (A.) latacosta</i>                              | 68. <i>P. depressum</i> + <i>P. lusitanicum</i> + <i>P. normaniam</i> |
| 52. <i>A. (A.) capricornus</i>                            | 69. <i>P. (Matteiceras)</i>   |
| 53. <i>A. (A.) crescens</i> + <i>A. (A.) samontaensis</i> | 70. <i>P. (M.) occidentale</i>  |
| 54. <i>A. (Oistoceras)</i>                                | 71. <i>P. (M.) monestieri</i> + <i>P. (M.) diornatum</i>              |
| 55. <i>A. (O.) angulatum</i>                              | 72. <i>P. (M.) isselioides</i>  |
| 56. <i>A. (O.) gr. figulinum</i>                          | 73. <i>P. (M.) nitescens</i>  |
| 57. <i>Productyloceras</i>                                | 74. <i>Fieldingiceras</i>   |

### 2.2 Précisions sur les taxons sélectionnés

Les taxons de cette liste ont fait l'objet d'analyses taxonomiques soit dans les monographies régionales citées précédemment, soit dans d'autres travaux (DOMMERMUES et al. 1984; COLERA et al. 1978; PHELPS 1985). Notre propos n'est pas une révision taxonomique. Ainsi lorsque nous avons regroupé des taxons phylétiquement proches et d'âges identiques d'après les données dont nous disposons, il ne s'agit pas de mises en synonymies. Certains regroupements proposés nécessitent néanmoins quelques explications:

Sous la dénomination de *Metaderoceras* gr. *venarense* (14) nous entendons l'ensemble des *M. venarense* nord-ouest européens ainsi que les *Metaderoceras* cités par COLERA et al. (1978) dans les Chaînes ibériques.

Pour les regroupements taxonomiques (19) et (21) nous avons mis ensemble des formes microconches et des formes macroconches, par exemple *Platypleuroceras aureum* avec *P. muellensis* (19) et *P. cf. oblongum* avec *P. acanthobronni* (21) en se basant sur les données portugaises (MOUTERDE et al. 1983). Par contre, pour d'autres groupes dimorphes, il nous a paru nécessaire de tester la concomitance stratigraphique des différents morphes car elle n'apparaissait pas de façon triviale dans les données; les microconches et les macroconches ont alors été traités de façon indépendante, par exemple les *Uptonia jamesoni* et *U. lata* (23) par rapport à *U. bronni* (24).

Par ailleurs, pour pouvoir conserver des informations sur les Liparoceratidae anciens (*Viciniodiceras*), nous avons dû traiter *Liparoceras* et *Viciniodiceras* (38) comme un ensemble unique par rapport aux *Becheiceras* (39) d'âge globalement plus récent.

Les données provenant d'Allemagne du sud-ouest (SCHLATTER 1980) et qui concernent les *Acanthopleuroceras* (31 à 37) et les *A. (Beaniceras)* (44 à 48) n'ont pas été intégrées au niveau des espèces dans le traitement automatique des associations unitaires, car pratiquement toutes ces espèces sont en association dans cette région, ce qui contredit l'ensemble des données obtenues dans les autres régions examinées. Ce phénomène est très vraisemblablement un artefact dû à des conditions taphonomiques défavorables. Toutefois par souci de rigueur nous envisagerons les conséquences de l'introduction des distributions stratigraphiques allemandes des espèces du genre *Acanthopleuroceras* dans les résultats du traitement automatique (fig. 11).

### 2.3 Réflexions sur l'introduction des données

Les figures 1 à 7 présentent les données telles qu'elles ont été introduites dans la machine; il ne s'agit pas de données brutes mais de représentations des plus petits intervalles de coexistence qui peuvent être déduits des données biostratigraphiques (GUEX & DAVAUD 1984, p. 1 et 5). Les intervalles retenus correspondent donc seulement aux périodes durant lesquelles on note les plus nombreuses coexistences d'espèces. Ces intervalles correspondent aux «horizons locaux» au sens de GUEX (1978). Par contre les périodes situées entre ces intervalles de coexistence optimum sont systématiquement écartées. Ce premier traitement des données peut conduire dans des cas où les faunes sont très peu diversifiées et où les taxons s'excluent rapidement dans les séries fossilifères, comme c'est le cas pour les ammonites du Pliensbachien d'Europe moyenne, au paradoxe de ne prendre en compte que des événements que nous savons intuitivement être très éphémères. Cette fugacité des périodes de coexistence optimum est, dans notre cas, sans doute due à un contexte permanent de compétitions écologiques exacerbées. La plupart du temps cette compétition interdit la présence simultanée de plusieurs taxons sur des périodes longues et favorise au contraire des phases durables où les faunes sont très faiblement diversifiées. En tout cas, ceci souligne le fait qu'il faut, lors de la récolte des faunes, apporter une attention toute particulière à ces périodes de coexistence optimum, et chercher à éliminer tout risque de mélange faunique dû aux conditions taphonomiques. Un tel risque est particulièrement présent au Lias moyen car ces périodes de coexistence correspondent souvent à quelques centimètres voire au mieux quelques dizaines de centimètres dans les successions lithologiques; toute incertitude devant systématiquement être prise en compte. Les risques évoqués précédemment seront d'autant plus faibles que les faunes traitées seront diversifiées et que les périodes de coexistence entre espèces seront plus longues.

### 3. Réflexions sur le traitement automatique

Pour plus de clarté dans l'analyse, nous suivons strictement le déroulement des «output» du programme de GUEX & DAVAUD (1984, p. 11) et nous précisons pour chaque phase de ce déroulement les éventuelles contradictions qui peuvent apparaître entre les données biostratigraphiques établies et certaines propositions de résolution imposées par la machine en fonction de contraintes dues à la logique du programme.

#### 3.1 Traitement automatique des données biostratigraphiques

L'«output» du programme débute par l'établissement d'une matrice taxon/taxon qui est en fait une représentation strictement objective de l'ensemble des données introduites. La machine édite ensuite une liste complète de «configurations interdites» sensu GUEX (1980); ces configurations interdites (de type S3, S4 et Z4; in GUEX & DAVAUD 1984, p. 3) sont dues dans notre cas surtout à des manques d'informations stratigraphiques dans les données de base. Elles s'opposent à la transformation du graphe biostratigraphique en un graphe d'intervalle (GUEX & DAVAUD 1984, p. 3). Ces configurations interdites une fois détectées, le programme va chercher à les éliminer en utilisant des procédures d'optimisations (GUEX & DAVAUD 1984, p. 4). A ce niveau apparaît, intuitivement, une légère

contradiction entre les données introduites et les restructurations dont la liste complète est donnée dans la figure 8. Toutes ces restructurations aboutissent à des mises en associations de taxons qui n'ont pas été concrètement observées ensembles. En dehors du problème que nous venons d'évoquer, de telles propositions sont logiques; par exemple l'association virtuelle de *Radstockiceras* (6) et de *Dayiceras* (25) (fig. 8, 1). En effet (6) a été observé dans le Carixien inférieur et moyen ainsi que dans le Domérien, il est donc normal qu'il soit associé virtuellement à un genre du Carixien moyen portugais. Nous souligne-

Elimination des structures interdites de type S3 et S4			
I.	6→ 25	est remplacé par une relation d'association (freq. = 2)	OK
II.	6→ 15	est remplacé par une relation d'association (freq. = 3)	OK
III.	16→ 38	est remplacé par une relation d'association (freq. = 3)	OK
IV.	6→ 26	est remplacé par une relation d'association (freq. = 2)	OK
V.	6→ 59	est remplacé par une relation d'association (freq. = 2)	OK
VI.	6→ 48	est remplacé par une relation d'association (freq. = 2)	OK
VII.	6→ 46	est remplacé par une relation d'association (freq. = 3)	OK
VIII.	2→ 3	est remplacé par une relation d'association (freq. = 3)	OK
IX.	6→ 55	est remplacé par une relation d'association (freq. = 3)	OK
X.	25← 45	est remplacé par une relation d'association (freq. = 1)	OK
XI.	48← 60	est remplacé par une relation d'association (freq. = 1)	OK
XII.	55→ 65	est remplacé par une relation d'association (freq. = 1)	OK
XIII.	3← 30	est remplacé par une relation d'association (freq. = 1)	OK
XIV.	15→ 38	est remplacé par une relation d'association (freq. = 3)	OK
XV.	16→ 28	est remplacé par une relation d'association (freq. = 2)	OK
XVI.	3← 17	est remplacé par une relation d'association (freq. = 3)	OK
XVII.	20→ 38	est remplacé par une relation d'association (freq. = 5)	OK
XVIII.	59→ 65	est remplacé par une relation d'association (freq. = 1)	OK
XIX.	26← 45	est remplacé par une relation d'association (freq. = 1)	OK
XX.	15← 17	est remplacé par une relation d'association (freq. = 2)	OK
XXI.	8→ 17	est remplacé par une relation d'association (freq. = 3)	?
de type Z4			
XXII.	Les taxons suivants sont mis en association :	4 25	OK
XXIII.	Les taxons suivants sont mis en association :	25 28	OK
XXIV.	Les taxons suivants sont mis en association :	25 30	OK

Fig. 8. Ensemble des structures interdites détruites par le traitement automatique. Les flèches indiquent les superpositions.

rons uniquement la proposition dont la réalité nous semble contrarier notre intuition de biostratigraphes; elle est indiquée sur la figure 8 par un (?) dans la colonne la plus à droite: XXI. *Phricodoceras* (8) est mis en association avec *P. polymorphus* (17): voir Grande-Bretagne, Portugal, Allemagne du sud-ouest.

Cette mise en association automatique, intuitivement surprenante, ne crée pas d'obstacles majeurs pour la résolution des associations unitaires, qui est le problème qui nous intéresse ici. Cette remarque pourrait toutefois servir lors d'une éventuelle analyse critique de l'algorithme, ce qui n'est pas ici notre propos. L'élimination des structures interdites de type Z4 (fig. 8): mise en association virtuelle de *T. ibex* (4) et *Dayiceras* (25); de *Dayiceras* (25) et *T. flandrini* (28) et enfin de *Dayiceras* (25) et *T. stahli* (30), ne posent pour leur part aucun problème. Toutefois si ces mises en association autoritaires mettent en évidence, pour certains taxons tel *Dayiceras*, un manque d'information stratigraphique ou la faible reproductibilité du taxon, il résulte néanmoins qu'une partie de l'information stratigraphique basée sur des récoltes très minutieuses, indispensable entre autre pour l'étude de problèmes évolutifs, est définitivement altérée. La suite des résultats ne pourra donc être utilisée que dans une optique biochronologique ce qui est d'ailleurs le but de la méthode. Rappelons que dans le cadre de ce paragraphe nous nous proposons seulement de signaler les mises en associations automatiques qui sont en contradiction avec la biostratigraphie empirique mais il n'est pas question ici d'analyser la démarche algorithmique qui a conduit à ces mises en associations. Ces remarques pourraient toutefois servir lors d'une éventuelle analyse critique de l'algorithme.

### 3.2 Le traitement automatique des associations unitaires

Après ce premier traitement automatique, la machine édite une matrice taxa/associations unitaires: dans notre exemple ces dernières sont au nombre de 32. Il s'agit d'un bilan descriptif de la totalité des associations unitaires qui ne tient pas compte de leur valeur respective pour la résolution définitive du problème biochronologique. C'est la suite du traitement qui va dégager une hiérarchie dans ces valeurs en mettant en évidence les relations superpositionnelles entre les associations et en tenant compte de leur reproductibilité. Cette hiérarchie est établie à partir d'une matrice associations unitaires/associations unitaires (GUEX & DAVAUD 1984, p. 4) sur laquelle est appliquée une procédure automatique de détection des associations véhiculant une information biochronologique équivalente. Celles-ci seront alors réunies en une ou plusieurs nouvelles associations. A ce moment le programme va suivre en parallèle deux cheminements: l'un va débiter par une procédure automatique de regroupement des associations unitaires qui agit selon des critères d'optimisation maximum, l'autre par une procédure de même type mais qui les sélectionne selon des critères d'optimisation minimum. La première de ces procédures provoque des regroupements d'associations unitaires qui induisent une perte inacceptable d'informations; nous avons donc choisi le deuxième cheminement. Dans notre exemple seules deux associations unitaires ont été ainsi regroupées. La seule différence qui existait entre elles, était la présence du genre *Dayiceras* (25) dans l'une et celle de *A. arietiforme* (32) dans l'autre; cette situation n'apportait aucune information biochronologique mais ce regroupement oblitère des informations utilisables en paléobiogéographie.

L'aboutissement de ce processus est l'édition d'un tableau synthétique des relations d'association et d'exclusion entre les 74 taxa (= range chart sensu GUEX & DAVAUD 1984,

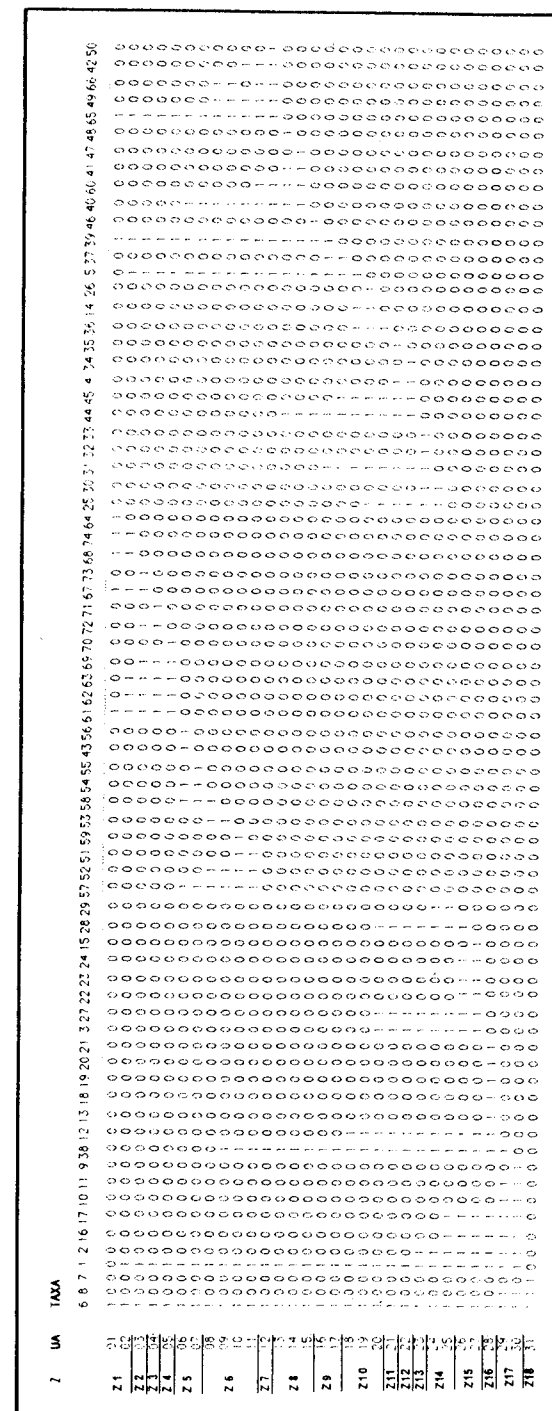


Fig. 9. Synthèse des relations d'associations et d'exclusions entre les 74 taxa (= «Range Chart»); 1 = présence du taxon, 0 = absence du taxon.

p. 4) (fig. 9); il s'agit d'une matrice taxa/associations unitaires avec 31 associations unitaires.

Toutes ces associations ne sont pas représentées de façon uniforme dans les 7 régions étudiées (fig. 9 et 10): certaines associations unitaires (par exemple les numéros 16 et 17) ne sont présentes respectivement que dans les régions 2 (Grande Bretagne) et 5 (Causses) et n'ont donc aucune valeur pour l'établissement de corrélations, alors qu'à l'opposé l'association unitaire 28 est présente dans toutes les régions ce qui en fait un outil très efficace pour les corrélations et par conséquent pour l'établissement d'un cadre chronologique. La «reproductibilité» (sensu GUEX) respective de ces associations est donc très inégale. Nous considérons empiriquement que pour être réellement utilisable pour les corrélations une association doit être présente dans au moins quatre des sept régions.

REGIONS →	1	2	3	4	5	6	7
UA 1	0	*	1	0	1	0	0
2	1	*	0	0	1	0	0
3	1	1	1	1	1	1	0
4	1	0	0	1	1	1	0
5	1	1	0	1	1	1	0
6	1	1	1	1	1	1	0
7	1	1	0	0	0	0	1
8	1	1	0	0	1	1	0
9	1	0	0	0	0	0	0
10	1	1	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	1	0	0
12	1	1	1	1	1	1	0
13	1	1	0	0	0	0	0
14	1	1	1	0	1	1	0
15	1	1	0	0	0	1	0
16	0	1	0	0	0	0	*
17	0	0	0	0	1	0	*
18	0	0	0	0	1	1	0
19	1	1	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	1	0	0
21	1	1	0	0	1	1	0
22	1	1	0	0	1	1	0
23	1	0	1	0	1	1	0
24	1	0	0	0	1	0	0
25	0	0	0	0	1	0	1
26	0	0	0	0	1	0	0
27	0	1	0	0	0	1	1
28	1	1	1	1	1	1	1
29	1	0	0	0	*	0	0
30	0	1	0	0	*	1	1
31	1	1	1	1	*	1	1

Fig. 10. Reproductibilité des associations dans les 7 régions (1 = présence de l'UA, 0 = absence de l'UA, \* = absence de donnée) et regroupement des associations unitaires en subdivisions biochronologiques reproductibles dans au moins quatre de ces sept régions.

Plusieurs des ces associations ne répondent pas à cette exigence (fig. 10); dans ce cas nous avons procédé à des regroupements d'associations jusqu'à obtenir le seuil de reproductibilité désiré (4/7). Pour ce faire nous nous sommes basés à la fois sur la «Range chart» (fig. 9), sur le tableau de reproductibilité des associations unitaires (fig. 10) ainsi que sur le dernier tableau édité par la machine (fig. 12 et 13) qui donne la correspondance entre les «niveaux» (= plus petits intervalles de coexistence déduits des données biostratigraphiques) des 7 régions et les 31 associations unitaires. Cette opération une fois effectuée, il reste 18 subdivisions chronologiques (Z1 à Z18). Leur succession est en fait proche de la zonation empirique largement utilisée dans la littérature; il existe toutefois quelques différences que souligne le tableau synthétique (fig. 11).

Remarquons tout d'abord que les limites des zones reconnues par OPPEL (1856) se retrouvent sans ambiguïté dans la zonation basée sur le traitement automatique des données. Pour les sous-zones on note par contre quelques discordances. Nous les examinerons de la plus récente à la plus ancienne (Z1 à Z18):

**Z1.** Les incertitudes qui apparaissent vers la limite des sous-zones empiriques à *Stokesi* et à *Subnodosus* et celles qui se manifestent entre Z1 et Z2 ne sont pas inhérentes au traitement automatique mais résultent plutôt de données encore imprécises.

**Z2 à Z4.** Par contre si les auteurs ne reconnaissent que la sous-zone à *Stokesi* pour l'ensemble du Domérien inférieur, le traitement automatique souligne que pour cette période il existe 3 subdivisions largement reproductibles.

**Z5 à Z7.** Pour la zone à *Davoei* la correspondance est parfaite entre les deux types de zonations.

**Z8.** La correspondance est ici également bonne mais il nous semble préférable d'utiliser comme taxon index *A. (B.) crassum* qui est une forme beaucoup plus abondante que *A. (B.) luridum*.

**Z9 à Z13.** Notons que les limites inférieure et supérieure de la sous-zone traditionnelle à *Valdani* sont en accord avec la limite supérieure de Z9 et la limite inférieure de Z13. Mais à nouveau le traitement automatique dégage clairement qu'il existe pour cette période 5 subdivisions reproductibles au moins dans quatre régions sur 7. Remarquons toutefois que si nous avons introduit les données d'Allemagne du sud-ouest concernant les espèces du genre *Acanthopleuroceras* nous n'aurions pas pu distinguer des subdivisions pour l'intervalle de temps compris entre Z10 et Z13 (cet intervalle est indiqué en grisé sur la figure 11). En outre Z10 que nous désignons par le taxon index *Acanthopleuroceras actaeon* correspond exactement à la zonule à *Centaurus* de PHELPS (1985, p. 341).

**Z14 et Z15.** Là encore il existe une excellente concordance entre les deux zonations. La limite entre les sous-zones à *Jamesoni* et à *Masseanum* d'une part et Z14 et Z15 d'autre part apparaît nettement; néanmoins si nous avons tenu compte de l'association d'*Uptonia* et de *Tropidoceras masseanum* donnée par SCHLATTER (1980, tabl. 2) cette limite aurait été occultée dans les deux types de zonations. A notre avis cette proposition d'association demanderait à être observée dans d'autres régions. En outre il existe un débat à propos de l'attribution de la sous-zone à *Masseanum* (= Z14) soit à la zone *Ibex* soit à la zone à *Jamesoni*. La méthode utilisée ici ne permet d'apporter de nouveaux arguments à ce sujet qui est d'ordre surtout historique (problème de convention).

**Z16.** Pour cette période il existe une distorsion entre les deux zonations; le traitement automatique ne dégage qu'une seule subdivision alors que la zonation classique distingue deux subdivisions biochronologiques: l'une à *Brevispina* l'autre à *Polymorphus*. Cette



UA	ZONATION BASEE SUR LES ASSOCIATIONS UNITAIRES	ZONATION EMPIRIQUE	
		SOUS-ZONES	ZONES
01	"DEPRESSUM" = Z1	SUBNODOSUS	MARGARITATUS
02		-?--?--?--?--?--?--?--?--?--?	
03		"NITESCENS" = Z2	
04		"MONESTIERI" = Z3	
05		"OCCIDENTALE" = Z4	
06	"FIGULINUM" = Z5	FIGULINUM	DAVOEI
07			
08			
09	"CAPRICORNUS" = Z6	CAPRICORNUS	IBEX
10			
11			
12	"MACULATUM" = Z7	MACULATUM	
13	"CRASSUM" = Z8	LURIDUM	
14			
15			
16	"LEPIDUM" = Z9	VALDANI	IBEX
17			
18	"ACTAEON" = Z10		
19			
20	"VALDANI" = Z11		
21	"MAUGENESTI" = Z12		
22	"ARIETIFORME" = Z13		
23	"MASSEANUM" = Z14	MASSEANUM	
24			
25			
26	"JAMESONI" = Z15	JAMESONI	
27			
28	"BREVISPIA" = Z16	BREVI. & POLYMOR.	JAMESONI
29	"NODOFISSUM-BIRUGA" = Z17	TAYLORI	
30			
31			
	"NODOGIGAS" = Z18		

Fig. 11. Correspondance entre les zonations empiriques et automatiques. En grisé les «zones» basées sur les associations unitaires qui sont regroupées lorsqu'on introduit les données d'Allemagne du sud-ouest.

situation est due à la faible reproductibilité de la sous-zone à *Polymorphus* qui ne semble clairement établie qu'en Allemagne et en Angleterre et peut-être au Portugal. Le traitement automatique met donc ici bien en évidence une faiblesse de la zonation empirique. **Z17 et Z18.** A nouveau le traitement automatique suggère l'existence de deux subdivisions biochronologiques au sein de la traditionnelle sous-zone à *Taylori*.

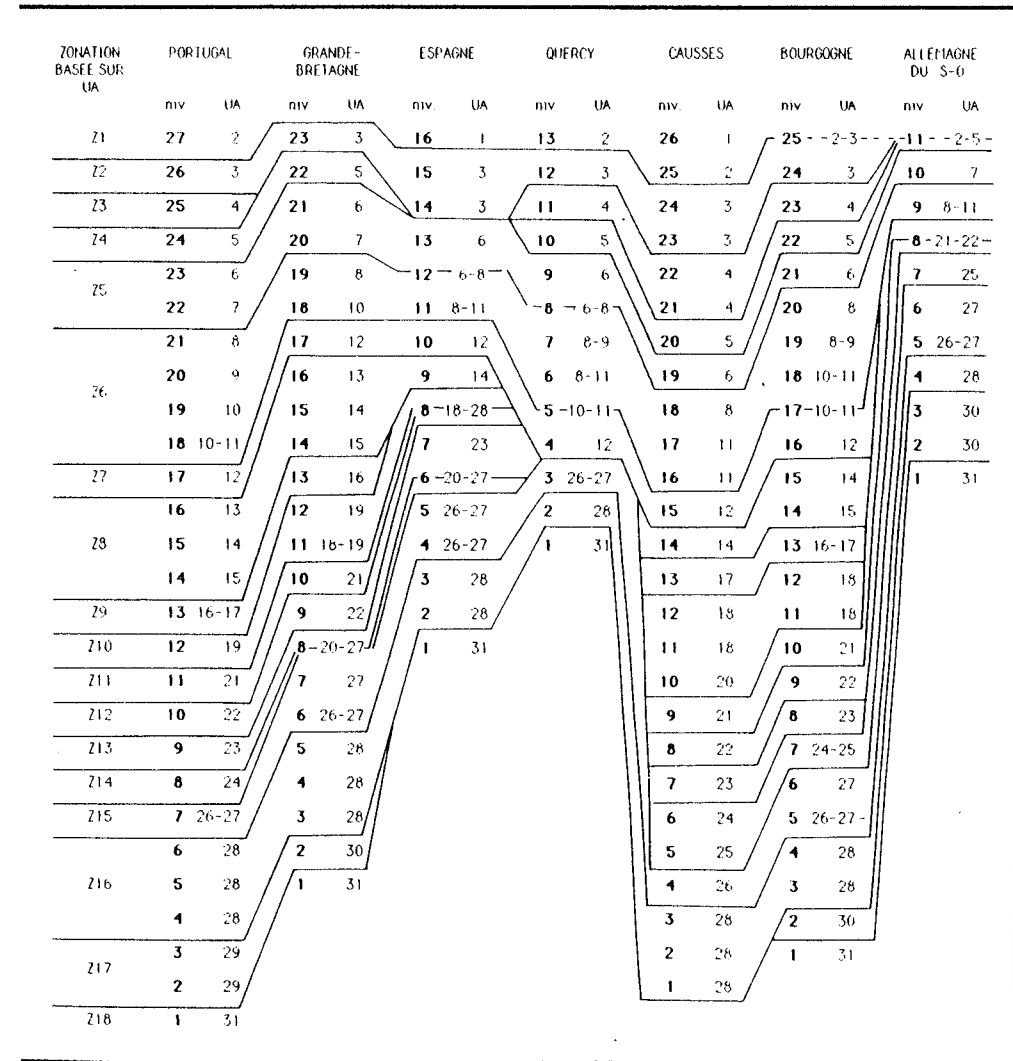


Fig. 12. Corrélations dans les 7 régions analysées de la zonation basée sur les associations unitaires.

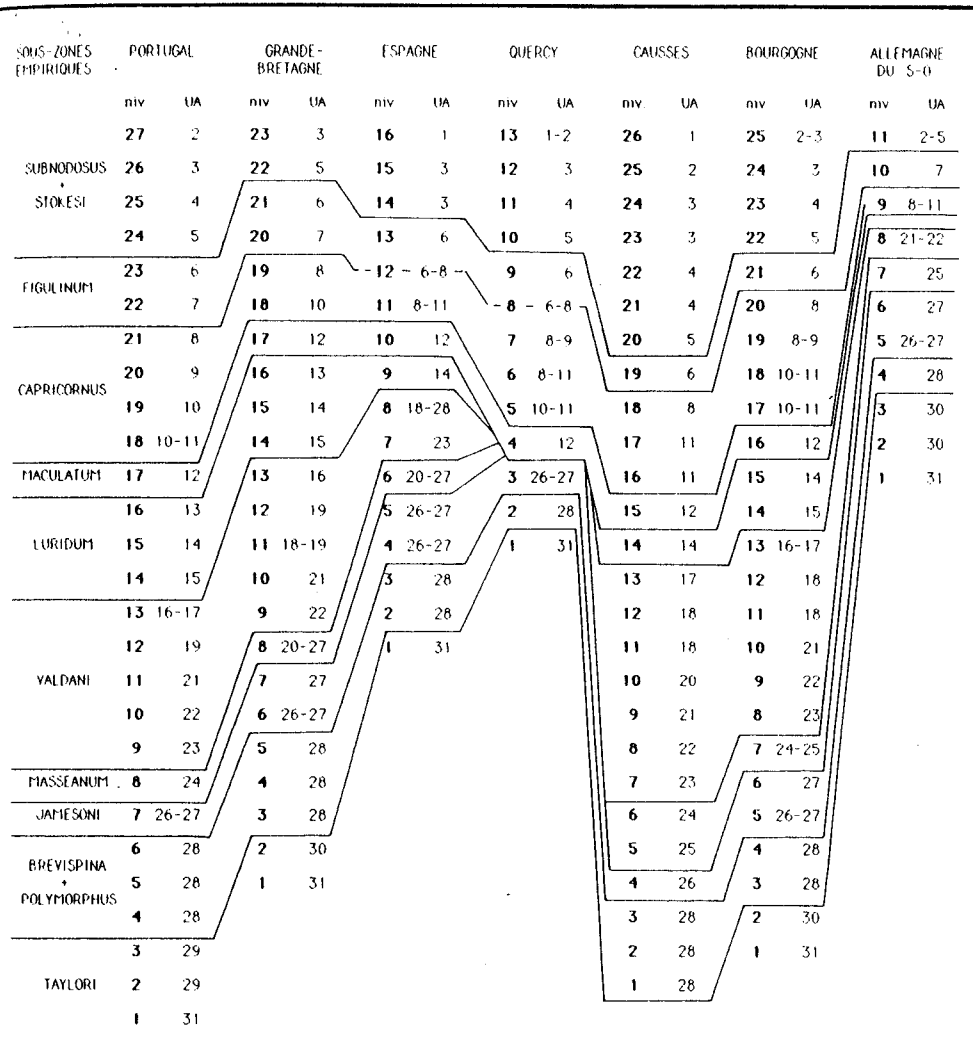


Fig. 13. Corrélations dans les 7 régions analysées de la zonation empirique.

#### 4. Conclusions

Le but de notre démarche était d'appliquer la méthode des associations unitaires aux faunes d'ammonites du Carixien dont la biostratigraphie est très avancée depuis ces dernières années et qui bénéficie d'un cadre biochronologique empirique particulièrement élaboré; il s'agissait donc de tester la méthode en comparant les résultats empiriques aux résultats établis grâce au traitement automatique. Globalement il existe une remarquable concordance entre les échelles biochronologiques empiriques les plus détaillées (DOMMERGUES 1979; MEISTER 1986; PHELPS 1985; COMAS-RENGIFO 1985; CUBAYNES et al.

1985) et, l'échelle biochronologique établie à partir des associations unitaires. L'efficacité de la méthode à résoudre un problème biochronologique se trouve donc confirmée. Mais il faut préciser que pour obtenir des subdivisions biochronologiques reproductibles au seuil de 4/7, nous avons opté pour des regroupements respectant au mieux la zonation traditionnelle.

Toutefois ces résultats satisfaisants n'ont pu être acquis que grâce à une homogénéisation préalable des taxonomies utilisées par les différents auteurs: pour exploiter au maximum les possibilités de la méthode, il est nécessaire de traiter uniquement les données de bases réunies par un seul auteur ou par une équipe travaillant de façon homogène, depuis l'étape des récoltes sur le terrain jusqu'à celle des déterminations. En fait une différence ou une erreur d'identification correspond à une «erreur de mesure» sensu GUEX (1977); cette remarque est évidemment aussi valable pour les corrélations empiriques.

Par ailleurs, il faut rappeler que le traitement automatique, lors de l'élimination de certaines structures interdites, a opté pour des restructurations de données dont une s'est révélée contraire aux observations. Cette altération n'a pas eu de conséquences sur la résolution du problème biochronologique mais elle obère l'utilisation paléobiologique de la «range-chart».

En outre, à plusieurs étapes de son déroulement, la méthode regroupe au sein d'associations de plus en plus élaborées des taxons qui parfois ne sont pas présents ensemble dans les mêmes régions paléogéographiques. Ceci est la conséquence même de toute démarche biochronologique mais remarquons qu'elle rend les informations éditées dans la «range-chart» inutilisables dans une optique paléobiogéographique.

Au vu de la remarquable concordance entre les approches empirique et automatique on peut se demander quel est l'intérêt d'une telle procédure lorsqu'il s'agit d'analyser des faunes aisément interprétables de façon empirique comme les ammonites. En fait, comme l'a dit BLONDEL (1979, p. 33) «Il y a autant de différence entre l'analyse simultanée d'un grand nombre de données collectées avec pertinence et le «flair» du naturaliste de terrain qu'entre l'intuition et l'expérimentation: les deux sont nécessaires car l'hypothèse naît de l'intuition, mais l'intuition ne suffit pas à la science.»

#### Remerciements

Ce travail n'aurait pas pu être réalisé sans l'aide d'E. Davaud qui a assuré le traitement informatique. Nous tenons également à remercier, J. Guex et R. Schlatter qui ont accepté de relire et de critiquer notre manuscrit.

#### BIBLIOGRAPHIE

- BLONDEL, J. (1979): Biogéographie et écologie. Masson édit., Paris, 173p.  
 BAUMGARTNER, P.O. (1984): A Middle Jurassic-Early Cretaceous low-latitude radiolarian zonation based on Unitary Associations and age of Thetian radiolarites. *Eclogae géol. Helv.* 77/3, 729-837.  
 COLERA, I., RIVAS, P., SQUEIROS, L., & VALENZUELA, R. (1978): Algunos *Metaderoceras* (Ammonitina) del Lias inferior de Almonacid de la Cuba (Provincia de Zaragoza, Cordillera Iberica). *Estudios Geol.* 34, 309-317.  
 COMAS RENGIFO, M.J. (1985): El Pliensbachien de la Cordillera Iberica. Thèse Univ. Madrid, 591p.  
 CUBAYNES, R., BOUTET, C., DELFAUD, J. & FAURÉ, P. (1984): La mégaséquence d'ouverture du Lias quercynois (Bordure sud-ouest du Massif Central français). *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine* 8/2, 333-370.

- DOMMERGUES, J.-L. (1979): Le Carixien bourguignon. Biostratigraphie, paléogéographie, approches paléontologique et sédimentologique. Thèse 3ème cycle Univ. Dijon, 109p.
- (1984): L'évolution des Ammonitina au Lias moyen (Carixien, Domérien basal) en Europe occidentale. 2 vol. Thèse Univ. Lyon I, 303p.
- DOMMERGUES, J.-L., MOUÏERDE, R., & PHELPS, M. (1984): Correlation between N-W European and Mediterranean ammonite faunas of Pliensbachian stage (Lower Jurassic). In: "International Symposium on Jurassic stratigraphy", Erlangen 1984, 1, 207-216.
- GUÉX, J. (1977): Une nouvelle méthode d'analyse biochronologique. - Bull. Lab. Géol. Univ. Lausanne 224, 309-322.
- (1978): Influence du confinement géographique des espèces fossiles sur l'élaboration des échelles biochronologiques et sur les corrélations. - Bull. Lab. Géol. Univ. Lausanne 230, 115-124.
- (1979): Terminologie et méthode de la biostratigraphie moderne. - Bull. Lab. Géol. Univ. Lausanne 234, 169-216.
- (1980): Calcul, caractérisation et identification des associations unitaires en biochronologie. - Bull. Lab. Géol. Univ. Lausanne 249, 111-126.
- (1981): Associations virtuelles et discontinuités dans la distribution des espèces fossiles. - Bull. Lab. Géol. Univ. Lausanne 255, 179-197.
- (1982): Remarques sur l'origine de la dispersion biochronologique du nannoplancton calcaire paléogène de Californie et sur la détection des remaniements. - Bull. Lab. Géol. Univ. Lausanne 267, 197-205.
- GUÉX, J., & DAVAUD, E. (1984): Unitary associations method: use of graph theory and computer algorithm. - Computers & Geosciences 10/1, 69-96.
- LANG, W. D., SPATH, L. F., COX, L. R. & MUIR-WOOD, H. (1928): The Belemnite Marls of Charmouth, a Series in the Lias of the Dorset Coast. - Quart. J. géol. Soc. 84, 179-195.
- LANG, J. (1936): The Green Ammonite Beds of the Dorset Lias. - Quart. J. geol. Soc. 92, 423-437.
- MEISTER, C. (1986): Les ammonites du Carixien des Causses (France). - Mém. suisses Paléont. 109, 209p. (Thèse Univ. Lausanne, 1984).
- MOUÏERDE, R., DOMMERGUES, J.-L., & ROCHA, R. B. (1983): Atlas des fossiles caractéristiques du Lias portugais; II-Carixien. - Ciências de Terra 7, 187-254.
- OPPEL, A. (1856): Die Juraformation Englands, Frankreichs und des südwestlichen Deutschlands, nach ihren einzelnen Gliedern eingetheilt und verglichen. - Jh. Ver. vaterl. Naturkd. Württ. 12-14, 857p.
- PHELPS, M.-C. (1983): A Facies and Faunal analysis of the Carixian-Domerian Boundary Beds in North-West Europe. - Thèse Univ. Birmingham, 660p.
- (1985): A refined ammonite biostratigraphie for the Middle and Upper Carixian (Ibex and Dayocci Zones, Lower Jurassic) in North-West Europe and stratigraphical details of the Carixian-Domerian boundary. - Géobios 18/3, 321-362.
- SCHAAPE, A. (1985): Un nouveau canevas biochronologique du Crétacé inférieur et moyen: les biozones à radiolaires. - Sci. Géol., Bull. 38/3, 227-269.
- SCHLATTER, R. (1980): Biostratigraphie und Ammonitenfauna des Unter-Pliensbachium im Typusgebiet (Pliensbach, Holzmaden und Nürtingen; Württemberg, SW-Deutschland). - Stuttgarter Beitr. Naturk. B 65, 261p.

Manuscrit reçu le 25 février 1987

Révision acceptée le 19 juin 1987