

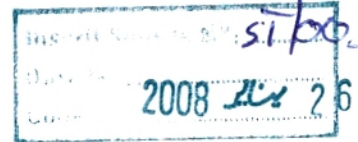
Mag. Prob. 193/05

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCCEN
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

MEMOIRE DE MAGISTER

Option



**Dynamique des Corps Sédimentaires
&
Valorisation des Ressources Minérales**

Présenté par

Choukri SOULIMANE

**BIOCHRONOLOGIE QUANTITATIVE DES FORAMINIFERES
DU TOARCIEN (TETHYS OCCIDENTALE)**

Soutenu le Juin 2007 devant les membres du jury :

| | |
|------------------------------------------------------------|---------------|
| M. MAHBOUBI, Professeur, Univ. Oran | Président |
| M. BENSALAH, Professeur, Univ. Tlemcen | Rapporteur |
| A. MAROK, Maître-Assistant, Chargé de cours, Univ. Tlemcen | Co-rapporteur |
| M. BENYAHIA, Maître de Conférences, Univ. Sidi Bel Abbès | Examineur |
| M. GHALI, Maître de Conférences, Univ. Saïda | Examineur |

Ce mémoire est dédié au Professeur feu A. LABLACK qui vient de nous quitter. Je ne l'oublierai jamais pour sa modestie et sa gentillesse. Il restera pour toujours mon modèle.

« La terre est lourde d'enseignement. Elle apprend la modestie. »

(Claude Michelet)

TABLE DES MATIERES

| | |
|--------------------|---|
| AVANT-PROPOS | 1 |
| RESUME..... | 3 |
| ABSTRACT | 4 |

Premier chapitre : CADRE GENERAL DE L'ETUDE

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| I. INTRODUCTION | 5 |
| II. CADRE PALEOGEOGRAPHIQUE ET SITUATION GEOGRAPHIQUE DES SECTIONS CONSIDEREES..... | 5 |
| A. Cadre paléogéographique..... | 5 |
| B. Situation géographique des sections considérées..... | 7 |
| III. BIOCHRONOLOGIE DU TOARCIEN : HISTORIQUE, LIMITES ET ECHELLES ZONALES..... | 8 |
| A. Historique..... | 8 |
| B. Limites de l'étage..... | 8 |
| C. Echelles zonales..... | 10 |
| 1. Toarcien inférieur (zones : Polymorphum-Levisoni)..... | 10 |
| 2. Toarcien moyen (zones : Bifrons-Gradata)..... | 10 |
| 3. Toarcien supérieur (zones : Thouarsence-Speciosum-Meneghini- Aalensis)..... | 11 |
| IV. OBJECTIF DE L'ETUDE..... | 11 |

Deuxième chapitre : CONCEPTS ET METHODES

| | |
|---------------------------------------------------------|----|
| I. INTRODUCTION | 13 |
| II. APPROCHE DETERMINISTE | 14 |
| A. Concepts | 14 |
| B. Méthodes..... | 14 |
| 1. Analyse des contradictions biostratigraphiques | 15 |
| 2. Construction des AUs..... | 16 |
| 3. Construction de la Zonation | 18 |
| C. Résumé de l'algorithme utilisé | 19 |

Troisième chapitre : ETUDE DE LA SYSTEMATIQUE

I. INTRODUCTION

II. SYSTEMATIQUE

| | |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| A. SOUS-ORDRE : <i>INVOLUTINA</i> HOENEGGER et PILLER, 1977..... | 20 |
| B. SOUS-ORDRE : <i>LAGENINA</i> DELAGE et HEROUARD, 1896..... | 20 |
| C- SOUS-ORDRE : <i>MILIOLINA</i> DELAGE et HEROUARD, 1896..... | 25 |
| D- SOUS-ORDRE : <i>ROBERTINA</i> LOEBLICH et TAPPAN, 1948..... | 25 |
| E- SOUS-ORDRE : <i>SPIRILLININA</i> HOENEGGER et PILLER, 1975 | 25 |
| F- SOUS-ORDRE : <i>TEXTULARIINA</i> DELAGE et HEROUARD, 1896..... | 26 |

Quatrième chapitre : APPLICATION DE LA METHODE

I. ACQUISITION ET TRAITEMENT DES DONNEES.....27

| | |
|----------------------------------------------------------|----|
| A. Acquisition des données..... | 27 |
| B. Traitement et optimisation de la base de données..... | 28 |

II. RESULTATS.....34

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Présentation et analyse du protoréférentiel..... | 34 |
| 2. Présentation de la matrice de reproductibilité des AUs et des tables de corrélation entre les sections | 36 |
| 2.1. Matrice de reproductibilité des AUs | 36 |
| 2.2. Tables de corrélation | 37 |

III. INTERPRETATION DES RESULTATS.....39

| | |
|------------------------------------------------------|----|
| A. Phénomènes de renouvellement et diachronisme..... | 39 |
| 1. Diachronisme des taxons..... | 39 |
| 2. Renouvellement faunique | 39 |
| B. Corrélations avec la zonation empirique..... | 41 |

RECAPITULATION, CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....45

I. RECAPITULATION ET CONCLUSION GENERALE.....45

II. PERSPECTIVES.....46

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....47

LISTE DES FIGURES.....52

ANNEXE.....54

AVANT-PROPOS

Louanges à Dieu, Clément et Miséricordieux

Avant de vous présenter ce travail, il m'est très agréable de remercier toutes les personnes qui ont contribué au bon déroulement avec les meilleures conditions possibles pour son élaboration. Mes vifs et sincères remerciements s'adressent d'abord aux membres de jury :

*Monsieur **Mohamed MAHBOUBI**, Professeur à l'Université d'Oran, qui a bien voulu accepter de présider ce jury.*

*Monsieur **Mustapha BENSALAH**, Professeur à l'Université de Tlemcen pour la direction de ce mémoire. D'ailleurs grâce à lui que cette étude a été bien menée.*

*Monsieur **Abbas MAROK**, Maître-Assistant, Chargé de cours, co-rapporteur de ce mémoire, pour m'avoir proposé d'entreprendre ce sujet. Tout au long de ce travail, les concepts de cette méthode ont pu être améliorés grâce aux longues et constructives discussions et ses grandes connaissances concernant la méthode de « **Biochronologie quantitative** ». Je ne saurai comment lui exprimer ma profonde gratitude pour les judicieux conseils qui ont souvent suscité ma curiosité, et pour son aide précieuse.*

*Monsieur **Mohammed BENYAHIA**, Maître de Conférences à l'Université de Sidi Bel Abbès, pour avoir bien voulu examiner et commenter ce travail en tant que membre de jury.*

*Monsieur **Merzoug GHALI**, Maître de Conférences à l'Université de Saïda, qui a bien voulu examiner et critiquer ce travail. Sa présence parmi les membres de jury me fait un grand honneur.*

*Ma reconnaissance va aussi à Monsieur **Abbès SEBANE**, Maître-Assistant, Chargé de cours à l'Université d'Oran. Son aide, sa disponibilité et ses précieux conseils malgré ses nombreuses préoccupations m'ont été très utiles tout au long de la réalisation de mon travail.*

*Ainsi qu'à Madame **Fatiha HADJI**, enseignante au Département des sciences de la terre, pour son aide morale d'un grand intérêt et d'une efficacité et qui a contribué à mon travail quand besoin s'y apprêtait.*

Mes remerciements vont :

A mes très chers parents à qui je dois ma réussite et surtout pour leur accompagnement permanent.

A mes frères et sœurs tant aimés : El Hadi, Ryad et Amina, sans oublier mon beau frère Tarik qui ont été toujours à mes cotés et qui m'ont donné la force d'aller au bout de ce travail.

A mes grands parents à qui je dois mon éducation et l'enracinement de toutes les valeurs dont je dispose.

A tous les membres de ma famille et surtout à mon oncle Ghouti à qui je dois tant de respect ainsi qu'à sa petite famille. Je n'oublierai jamais ses conseils judicieux et son aide morale qui m'ont été un grand apport durant les moments difficiles.

A tous les Professeurs qui ont contribué à ma formation de géologue.

*A toutes les personnes du **Laboratoire 25** qui de près ou de loin ont contribué à l'aboutissement de ce travail.*

*A Monsieur **Mohammed BELARBI**, enseignant au Département de sociologie, pour la traduction de la version du résumé en arabe.*

A tous ceux qui m'ont consacré leur temps et leur attention, je dis encore et toujours
MERCI.

RESUME

Les données biochronologiques des faunes de foraminifères du Toarcien sont testées ici par une méthode déterministe dite « des Associations Unitaires ». Il s'agit des données qui proviennent de six bassins situés dans le domaine Sud-téthysien (Téthys maghrébine) : Monts des Traras et Djebel Nador en Algérie et Rides sud-rifaines, Béni Snassen, Moyen-Atlas plissé et Haut-Atlas central au Maroc.

Une première partie consiste à standardiser la documentation originelle d'un point de vue taxonomique pour constituer le « database » brute.

Une seconde partie concerne l'optimisation des données tout en soulignant les incohérences. Ces opérations (espèces uniprésentes et omniassociées et composantes fortement connexes) validées par l'évaluation de leurs impacts, nous ont permis d'obtenir à la fin une zonation commune. Cette dernière comprend 15 Associations Unitaires regroupées en 9 zones dont 8 pour l'étage du Toarcien. Globalement, la

zonation obtenue montre une remarquable concordance entre l'échelle biochronologique empirique et l'échelle biochronologique établie à partir des Associations Unitaires.

En dernière partie, la méthode des Associations Unitaires, nous a permis également d'analyser le diachronisme et le renouvellement faunique d'une liste composée de 56 taxons. Ainsi, pour le diachronisme, quatre catégories de taxons sont distinguées : 12 % de taxons sont synchrones et sont donc de bons marqueurs biochronologiques dans la Téthys maghrébine. Cependant, 4 % sont modérément diachrones, 32 % présentent un diachronisme fort et enfin 52 % de taxons sont caractérisés par un diachronisme très fort. Par ailleurs, le taux de renouvellement faunique des foraminifères durant le Toarcien montre l'existence de plusieurs phases d'apparitions et de disparitions. La phase située au Toarcien inférieur (T1-T2) (zone Polymorphum-Levisoni) témoigne en faveur d'un évènement anoxique global.

Mots-clés : Foraminifères, Toarcien, Téthys maghrébine, Associations Unitaires, diachronisme, renouvellement faunique, Polymorphum-Levisoni, évènement anoxique.

ABSTRACT

The biochronological data of the foraminifera fauna of the Toarcian are tested here with a determinist method called « the Unitary Associations ». It concerns the data that come from six basins situated in the South-Tethyan domain (Maghrebin Tethys): Traras Mounts and Djebel Nador in Algeria and South-Rifan Ridge, Beni Snassen, Folded Middle Atlas and Central High-Atlas of Morocco.

The first part consists in standardizing the original data of a point of taxonomic view to constitute the primary database.

The second part concerns the optimization of the data emphasizing the incoherencies. These operations (unipresents and omniassociated taxa and strongly connected components) validated by the evolution of their impacts have permitted us to obtain a common zonation at last. The later includes 15 Unitary Associations assembled in 9

zones of which 8 for the Toarcian stage. Globally, the zonation obtained shows a remarkable concordance between the scale of the empirical biochronology and the one established from Unitary Associations.

At the last part, the Unitary Association method has permitted to analyze the diachronism and the list of faunal turnovers composed by 56 taxons. So for the diachronism, 4 categories of taxons are distinguished: 12% of taxons are synchrones and are good biochronological marks in the Maghrebin Tethys. However 4% are moderately diachrones, 32% present a strong diachronism and at last 52% of taxons are characterized by a very strong diachronism. Moreover the percentage of the faunal turnovers of the foraminifera during the Toarcian shows the existence of several phases situated in the lower Toarcian (T1-T2) (Polymorphum-Levisona zone) testifies in favour of a global anoxic event.

Key-words: Foraminifera, Toarcian, Maghrebin Tethys, Unitary Association, diachronism, faunal turnover, Polymorphum-Levisoni, anoxic event.

III. BIOCHRONOLOGIE DU TOARCIEEN : HISTORIQUE, LIMITES ET ECHELLES ZONALES

A. Historique

Faisant partie du Jurassique inférieur, l'étage du Toarcien a été défini pour la première fois en 1849 par Alcide D'ORBIGNY à Vrigne, près de la ville de Thouars (*Toarcium* (Deux-Sèvres, France)). Il représente une durée totale d'environ 8 Ma (d'après les données les plus récentes de l'International Commission on Stratigraphy (I.C.S) (2006)). Au plan biostratigraphique, cet étage choisi pour des essais de synthèse pluridisciplinaire a été subdivisé en 7 zones par DESLONGCHAMPS et WELSCH (1911) et en 8 zones par GABILLY et *al.* (1971). Par contre, dans une étude plus fine consacrée aux ammonites du centre-ouest de la France, ce dernier auteur (1976) distingua un nombre total de 19 zones et 27 horizons. A partir de 1991, ELMI et *al.* proposèrent pour la réunion de Poitiers les premières modifications de la zonation du Toarcien qui seront par la suite validées par le Groupe Français d'Étude du Jurassique (G. F. E. J.) (1997). Dans une synthèse personnelle basée essentiellement sur les travaux de BOUTAKIOUT (1990) et de BODERGAT et *al.* (1985) (fig. 4), nous avons essayé d'ajuster les principales associations des foraminifères avec les zones d'ammonites utilisées.

B. Limites de l'étage

La limite inférieure et supérieure de cet étage a connu énormément de fluctuations au cours du temps. Nous allons énumérer ici les principaux travaux publiés par les spécialistes en particulier les ammonitologues.

Conformément aux recommandations du Colloque de Luxembourg en 1962, GABILLY et *al.* (1971) admettent comme limite inférieure la base de la zone à *Tenuicostatum* et comme limite supérieure le sommet de la zone à *Aalensis*. L'étage ainsi délimité comprend la partie inférieure de l'Aalénien au sens de HAUG (1910).

En 1980, le Groupe Français d'Étude du Jurassique (G. F. E. J.) sous la direction de GABILLY et MOUTERDE souligne la difficulté de tracer la limite inférieure de l'étage suite aux arrêts de sédimentation et aux érosions qui affectent souvent le Domérien terminal. Cependant le faciès du Toarcien basal (zone à *Tenuicostatum*) est souvent très proche de celui du Domérien supérieur. Par ailleurs, la partie supérieure de l'étage est marquée à la fois par le ralentissement de la sédimentation, le développement progressif des carbonates ou du détritique et la présence fréquente de lacunes accompagnées localement d'émersions.

Avec la définition des unités stratigraphiques à l'aide des sections et points stratotypiques mondiaux (G. S. S. P.) (Global Stratotype Section and Point) de nouveaux concepts sont utilisés pour tracer les limites d'étage. Ainsi, le GSSP définit la base d'un étage qui coïncide avec le sommet de l'étage précédent au lieu de la limite d'étage en tenant compte de l'intérêt biostratigraphique qui reste un outil indispensable pour la corrélation ; car les étages sont d'abord une expression de l'évolution biologique (ODIN et *al.*, 2004).

A cet effet, le GSSP du Pliensbachien-Toarcien (limite inférieure du Toarcien) a été proposé récemment par le regretté ELMI (2007) à la sous-commission du Jurassique (International Union of Geological Sciences)(I.U.G.S.). Il s'agit de la section de Péniche en Portugal qui sera publiée prochainement. Par contre, le GSSP du Toarcien-Aalénien (limite inférieure de l'Aalénien) a été validée dès 1994 par la même sous-commission. La section de Fuentelsaz en Espagne déjà candidate lors de la conférence internationale sur la stratigraphie de l'Aalénien-Bajocien (GOY et URETA, 1991) a été retenue pour sa richesse faunistique (ammonites, foraminifères, brachiopodes, ostracodes et nannofossiles calcaires) et surtout pour la continuité de son enregistrement sédimentaire. L'association des foraminifères marquant la limite « Aalensis-Opalinum » se compose de : *Frandicularia oolithica*, *Lingulina longiscata*, *L. dentaliniformis*, *Prodentalina subsiliqua*, *Ceratobuliminacea*, *Pseudonodosaria vulgata*, *Eoguttulina liassica*, *Planularia protracta*, *P. cordiformis*, *Spirulina numismalis*, *S. orbicula*, *Citharina clathrata*, *C. charollensis*, *C. colliezi*, *Nodosaria fontinensis*, *N. hortensis*, *N. liassica*, *N. regularis*, *Lenticulina polygonata*, *L. exgaleata*, *L. munsteri*, *L. toarcence*, *L. subalata*, *Astacolus varians*, *A. d'orbigny*.

C. Echelles zonales

Grâce à des progrès dans la connaissance de certains taxons d'ammonites mal connus, le Groupe Français d'Étude du Jurassique proposa en 1997 une nouvelle zonation du Toarcien, valable pour la province NW européenne et corrélable à l'échelle de toute la Téthys occidentale (fig. 5). Le Toarcien comprend donc 3 sous étages, 8 zones, 19 sous-zones et 34 horizons. En ce qui nous concerne, nous nous contenterons de donner ici un aperçu sur les caractéristiques micropaléontologiques des différentes zones de la province méditerranéenne.

1. Toarcien inférieur (zones : Polymorphum-Levisoni)

Marqué généralement par une sédimentation dominante argileuse, ce début du Toarcien se distingue par l'association de *Lenticulina insignis* mg. *Falsopalmula*, *Lenticulina sublaevis* mg. *Saracenaria*, *Ichtyolaria bicostata bicostata* et *Ichtyolaria bicostata terquemi*. Certaines espèces domériennes disparaissent à la base du Toarcien (zone à Polymorphum) : (*Marginulina prima prima*, *Lingulina tenera tenera*, *Dentalina terquemi*, *Vaginulina triangula*, *Nodosaria novemcostata*, *Ichtyolaria brizaeformis*, *Pseudonodosaria multicostata*). Notons que les espèces *Lenticulina speciosa* mg. *Marginulinopsis* et *Pseudonodosaria melo* marquent le passage Domérien-Toarcien (zones à Emaciatum et à Polymorphum) avec l'apparition d'une première forme toarcienne (*Lenticulina toarcense* mg. *Lenticulina*) qui débute à la base de la zone à Polymorphum. Cette zone correspond au plus important renouvellement des foraminifères liasiques.

2. Toarcien moyen (zones : Bifrons-Gradata)

Le Toarcien moyen est caractérisé essentiellement par la fréquence du genre *Lenticulina* : *Lenticulina pennensis* mg. *Marginulinopsis*, *Lenticulina* sp. mg. *Lenticulina*, *Lenticulina toarcense* mg. *Lenticulina*. Les espèces *Lenticulina chichery* mg. *Falsopalmula*, *Lenticulina chichery* mg. *Lenticulina*, *Lenticulina chichery* mg. *Planularia*, apparaissent dans cette zone et sont associées généralement à l'espèce *Citharina proxima*.

Une telle association marque le début du Toarcien moyen (HAMMOUDA et SOULIMANE, 2004 ; MAROK et *al.*, 2004 ; MEHIAOUI et BOUNOUA, 2005).

3. Toarcien supérieur (zones : Thouarsence-Speciosum-Meneghini-Aalensis)

Cet intervalle chronologique se compose des taxons suivants : *Lenticulina d'orbigny* mg. *Lenticulina*, *Astacolus*, *Marginulinopsis*, *Nodosaria pulchra*, *Lenticulina tenuistriata* mg. *Falsopalmula* et *Lenticulina galeata* mg. *Lenticulina* très abondants à l'Aalénien.

IV. OBJECTIF DE L'ETUDE

Cette étude consiste à réaliser grâce à l'acquisition des données biostratigraphiques de quelques bassins de la marge sud-téthysienne (Téthys maghrébine), une analyse biochronologique basée sur la méthode dite des Associations Unitaires (AUs) (GUEX, 1977, 1991).

Les données ainsi inventoriées seront dans un premier temps standardisées et optimisées. Ensuite, elles seront automatisées par le programme « **BioGraph** » (SAVARY et GUEX, 1991, 1999). On obtient à la fin du traitement, une séquence ordonnée d'AUs dont le regroupement automatique ou manuel aboutit à l'établissement d'un référentiel zonal qui permet d'assigner des âges relatifs aux niveaux fossilifères.

D'autre part, cette méthode déterministe de GUEX (= opposé aux méthodes analytiques, statistiques et probabilistes), nous a permis également à travers l'analyse des foraminifères d'illustrer les aspects suivants :

- le diachronisme des « datums » (apparitions et disparitions locales des espèces dans les différentes régions) ;
- le renouvellement faunique au cours du Toarcien ;
- la zonation d'AUs confrontée à la zonation empirique.

| PROVINCE NW EUROPÉENNE | | | | PROVINCE MÉDITERRANÉENNE | | | CAUSSES | CENTRE-OUEST | | | |
|---------------------------------------------------------------|-------------------|---------------|-----------|--------------------------|-----------------|---------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------|------------|
| Tableau VI - Zonation du Toarcien (ELMI <i>et al.</i> , 1997) | | | | | | | GUEX (1972 et 1975) | Tableau stratigraphique du Toarcien dans le Centre-Ouest de la France (GABILLY, 1976) | | | |
| ZONES | SOUS-ZONES | HORIZONS | N° | ZONES | SOUS-ZONES | HORIZONS | HORIZONS | SOUS-ZONES | HORIZONS | N° | |
| AALENSIS | Lugdunensis | Buckmani | 34 | AALENSIS | Fluitans | ? | | Buckmani | Buckmani | XXVII | |
| | | Lugdunensis | 33 | | | Fluitans | | Aalensis | Aalensis | XXVI | |
| | Mactra | Celtica | 32 | | Mactra | Flamandi | | Mactra | Subcompta | XXV | |
| | | Mactra | 31 | | | Mactra | | | Mactra | XXIV | |
| | | Tectiforme | 30 | | | | | | Pseudoradiosa | Explanata | XXIII |
| PSEUDORADIOSA | Pseudoradiosa | Pseudoradiosa | 29 | MENEHINI | | | XXIV | Levesquei | Levesquei | XXII | |
| | Levesquei | Munieri | 28 | | | Meneghinii | | XXII | Gruneri | Gruneri | XXI |
| | | Insignimilis | 27 | | | | | XXVII à XXI | | | |
| DISPANSUM | Gruneri | Gruneri | 26 | SPECIOSUM | Reynesi | | XXVII | Insigne | Insigne | XX | |
| | | Pachu | 25 | | Speciosum | XXVI | | | | | |
| | Insigne | Cappucinum | 24 | | | | XXVI | Fallaciosum | Fallaciosum | XIX | |
| THOUARSENSE | Fallaciosum | Fallaciosum | 23 | THOUARSENSE | Fallaciosum | Mediterraneum | XXV | Fascigerum | Fascigerum | XVIII | |
| | Fascigerum | Fascigerum | 22 | | | | XXIV | Thouarsense | Thouarsense | XVII | |
| | Thouarsense | Thouarsense | 21 | | XXIII | | Doerntense | Doerntense | XVI | | |
| | | Doerntense | 20 | | XXII | | Bingmanni | Bingmanni | XV | | |
| | Bingmanni | Bingmanni | 19 | | XXI | | Vitiosa | Vitiosa | XIV | | |
| VARIABILIS | Vitiosa | Vitiosa | 18 | GRADATA | Alticarinanatus | Subregale | XX | Illustris | Illustris | XIII | |
| | Illustris | Phillips | 17 | | ? | Aratum | XIX | | | | |
| | | Illustris | 16 | | Gemma | | XVII et XVIII | | | | |
| | Variabilis | Variabilis | 15 | | | | XIV et XVI | Variabilis | Variabilis | XII | |
| BIFRONS | Bifrons | Semipolitum | 14 | BIFRONS | Bifrons | Semipolitum | IV à XIII | Bifrons | Semipolitum | XI | |
| | | Bifrons | 13 | | | Bifrons | | | X | | |
| | | Apertum | 12 | | | Apertum | | | Lusitanicum | IX | |
| | | Lusitanicum | 11 | | | Lusitanicum | | | | III | |
| | Sublevisoni | Tethysi | 10 | | Sublevisoni | Tethysi | II | Sublevisoni | Commune | VIII | |
| | | Sublevisoni | 9 | | | Sublevisoni | I | | Sublevisoni | VII | |
| | | Falciferum | Douvillei | | | 8 | LEVISIONI | | Falciferum? | | Falciferum |
| Elegantulum | Pseudoserpentinum | 7 | | Pseudoserpentinum | V | | | | | | |
| | Strangewaysi | 6 | Levisoni | Striatum | | Strangewaysi | | Strangewaysi | IV | | |
| Elegantulum | Elegantulum | 5 | | | Elegantulum | | | III | | | |
| TENUICOSTATUM | Semicelatum | Semicelatum | 4 | POLYMORPHUM | Semicelatum | Paltarpites | | Semicelatum | Semicelatum | II | |
| | | Tenuicostatam | 3 | | | | | | | | |
| | | Crosbey | 2 | | | | | | | | |
| | Paltus | Paltus | 1 | | Mirabile | | | | Paltus | I | |

Fig. 5- Zonation du Toarcien utilisées par différents auteurs (d'après BECAUD *et al.*, 2005).

Deuxième chapitre
CONCEPTS ET METHODE

Deuxième chapitre : CONCEPTS ET METHODES

I. INTRODUCTION

Dès les années soixante, l'apport de l'informatique a considérablement contribué au développement de la paléontologie, cela a permis à la fois d'accélérer les recherches et de construire des modèles d'analyse de plus en plus performants. Mais, malheureusement devant les résultats probants de ces opérations informatiques employées aujourd'hui, les avis des paléontologues et des stratigraphes « classiques » restent très partagés, allant de refus pure et simple à l'usage inconditionnel. D'autre part, la publication de nouvelles méthodes de biochronologie a amené certains biostratigraphes à déployer des efforts considérables pour quantifier les processus de construction d'une échelle biostratigraphique, et par conséquence de proposer plusieurs protocoles d'analyse qualitative.

Sous l'appui de l'**U.N.E.S.C.O.**, le projet 148 de l'**I.G.P.C.** (**I**nternational **G**eological **C**orrelation **P**rogram) « Evaluation et Développement des Techniques Quantitatives de Corrélation » a vu le jour en 1976 ; dont l'objectif principal était le développement de théories mathématiques et de techniques d'analyse de l'information indispensable à toute application pratique des méthodes quantitatives (BOULARD, 1993). Dans cette optique, GUEX (1977 à 1991) a vivement contribué au développement de ces méthodes quantitatives. Il publia une technique purement déterministe afin de résoudre de manière systématique les contradictions multiples qui affectent les relations stratigraphiques entre les espèces fossiles et de produire des synthèses fiables, quelle que soit la complexité des problèmes traités, à l'inverse des approches statistiques, probabilistes des RASC (Ranking and Scaling), multivariées et semi-empiriques. Il est important de souligner que les approches intégrées sont aujourd'hui prioritaires, par couplage entre divers groupes taxinomiques, entre un groupe fossile et des données physico-chimiques, entre un groupe et les données de la stratigraphie séquentielle, ou encore entre plusieurs de ces composantes.

La méthode déterministe élaborée par GUEX et énoncée déjà précédemment s'appuie sur la théorie des graphes (BERGE, 1973). Une formulation mathématique rigoureuse qui a permis à cet auteur de résoudre sans aucune ambiguïté les contradictions multiples (dues à la nature discontinue de l'enregistrement fossile) qui affectent souvent les relations stratigraphiques entre les espèces (GUEX, 1981, 1982, 1984). De cette recherche ont résulté différents programmes de plus en plus élaborés (GUEX et DAVAUD, 1982, 1984, 1986). Le dernier programme informatisé avec la version dénommée **BioGraph** (SAVARY et GUEX, 1991, 1999) permet de traiter jusqu'à 500 espèces étudiées dans un nombre de sections illimitées.

II. APPROCHE DETERMINISTE

A. Concepts

Une approche déterministe comme celle des Associations Unitaires traite par une démarche combinatoire les données de manière complètement objective. Elle permet ainsi de résoudre les contradictions multiples affectant les relations stratigraphiques entre les espèces par la détection de coexistences virtuelles entre certaines espèces impliquées dans ces contradictions. Contrairement aux approches empiriques de la biostratigraphie, la méthode des Associations Unitaires ne considère pas les **FADs** et les **LADs** pour placer des limites des zones, mais elle se base sur la présence ou l'absence des taxons et sur l'intersection de leurs domaines d'extension verticale. Par définition, une Association Unitaire est donc « un assemblage unique et maximal de taxons mutuellement compatibles et/ou exclusifs ayant coexistés réellement ou virtuellement ».

Il est à noter que ces Associations Unitaires ne sont que le reflet de l'état des données disponibles et vont permettre de définir des zones d'association, discrètes, discontinues et reproductibles. Tout changement taxonomique ou stratigraphique ultérieur des données implique un retraitement du problème, avec pour conséquence des améliorations potentielles de la zonation. Par ailleurs, toute zonation biochronologique est indéfiniment améliorable.

B. Méthodes

La méthode initiale était manuelle (GUEX, 1977, 1978 a et b, 1979) et consiste simplement à faire des permutations des lignes puis des colonnes d'une matrice représentant les spectres d'associations des espèces (les critères d'élimination des espèces perturbatrices étaient uniquement géographiques). Pour la mettre en œuvre, il suffisait de s'armer d'une paire de ciseau et de beaucoup de patience. Mais, avec la publication des programmes informatiques, plusieurs auteurs ont testé la fiabilité de cette méthode de corrélation biostratigraphique sur différents groupes de fossiles (Radiolaires : BAUMGARTNER et *al.*, 1995 ; Ammonites : BOULARD, 1993 ; BESSON, 1998 ; MONNET et BUCHER 1999, 2002 ; ZAOUI, 2004 ; MAROK et *al.*, 2005, 2007 ; Ostracodes : BOULARD, 1993 ; Foraminifères : SOULIMANE et HAMMOUDA, 2004 ; MAROK et *al.*, 2004 ; SOULIMANE et *al.*, 2006 ; Nannofossiles calcaires : MAILLIOT, 2006).

La présentation détaillée de la méthode est donnée par GUEX (1977 à 1991) (fig. 6), par BOULARD (1993), ainsi que par SAVARY et GUEX (1991, 1999) concernant le programme « **BioGraph** ». Cependant, il nous paraît utile de résumer ladite méthode comme suit :

-les taxons sont représentés par des points, pouvant être reliés soit par des lignes (arêtes) pour exprimer des relations de coexistence, réelles ou virtuelles, soit par des flèches (arcs) pour exprimer des relations de superposition. Cette méthode permet de résoudre des contradictions qui apparaissent lorsque l'on observe les relations biostratigraphiques entre les différents taxons (BESSON, 1998).

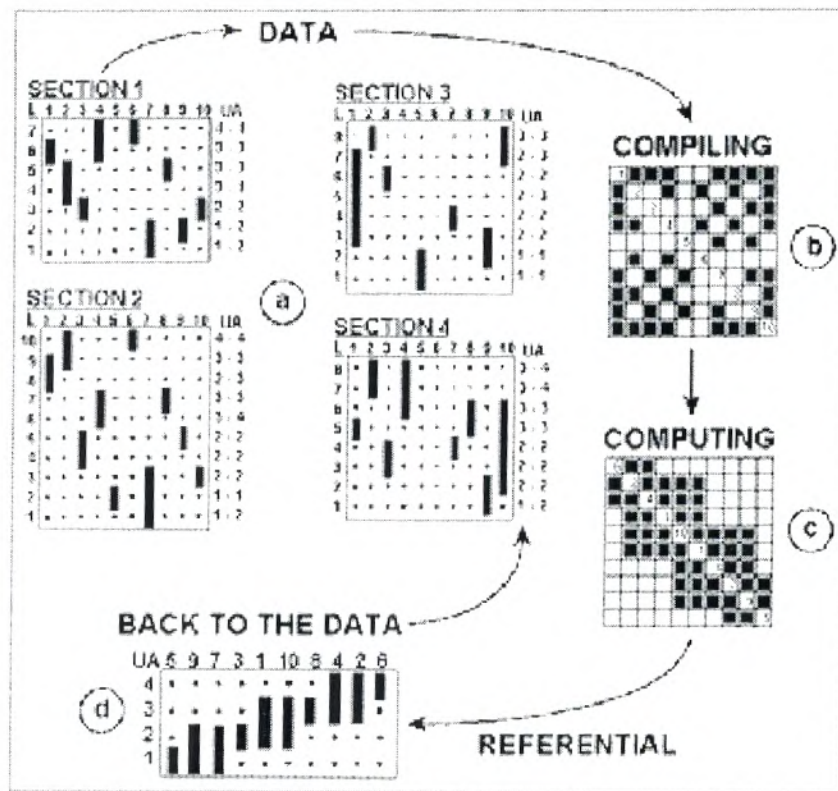


Fig. 6- Présentation simplifiée de la méthode des AUs (d'après GUEx, 1991).

-le traitement par le logiciel **BioGraph** aboutit à une succession d'ensembles maximaux de taxons coexistant réellement ou virtuellement et potentiellement identifiables par des taxons et/ou groupes de taxons.

-les **HMR** (Horizons Maximaux Résiduels)(GUEx,1988) ainsi repérés sont ensuite ordonnés chronostratigraphiquement en fonction des relations observées réellement dans les sections entre les taxons qui les composent.

-Quand les relations apparaissent dans le graphe biostratigraphique et sont contradictoires, elles sont dès lors responsables des certaines figures interdites appelées Sous Graphes Induits Interdits. Les relations conflictuelles rencontrées lorsque l'on désire ordonner les cliques maximales sont celles que nous devons éliminer.

1. Analyse des contradictions biostratigraphiques

Pour résoudre ces contradictions, le programme utilise toujours les relations entre les taxons des HMR en favorisant la superposition qui est observée le plus grand nombre de fois. Ce problème est bien expliqué dans la figure 7 : admettant que les cliques k_1 et k_4 montrent une relation conflictuelle, les espèces 1, 4 et 6 situent k_1 sous k_4 alors que l'espèce 5 indique la relation inverse. Ce conflit est dû à la présence de trois configurations interdites (circuits semi-orientés S_3 et S_4 dans le graphe biostratigraphique).

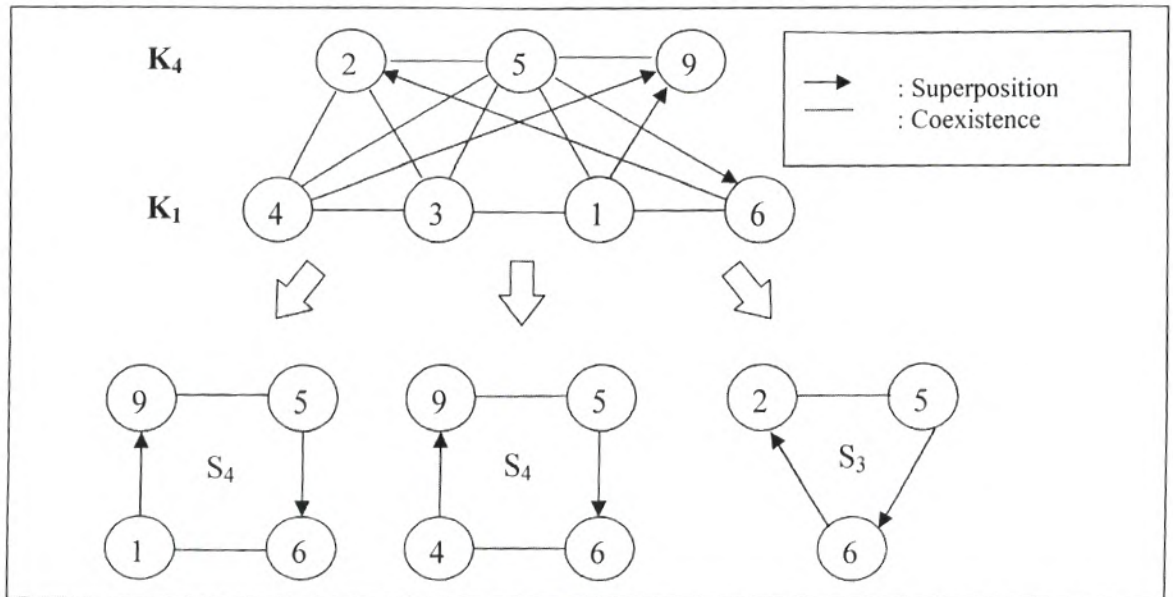


Fig. 7- Relation stratigraphique conflictuelle existant entre les cliques k_1 et k_4 est due à la présence de trois circuits semi-orientés S_3 et S_4 (d'après BOULARD, 1993).

Par ailleurs, si la contradiction est très forte, le choix effectué par le programme peut s'avérer faux. Cela entraîne la création des composantes fortement connexes = Strongly Connected Components (SCC) qui résultent d'une insuffisance de données biostratigraphiques ou tout simplement par une fausse identification taxonomique. Ces composantes doivent être bien sur éliminées en découvrant ainsi où se trouvent les données stratigraphiques erronées.

2. Construction des AUs

Dès le départ, il est souhaitable d'éliminer des données de base les espèces présentes dans une seule coupe, parce qu'elles ne nous aident pas pour les corrélations. En suite, on doit réduire le nombre des composantes fortement connexes en les corrigeant manuellement ; cela s'explique par insuffisance de données biostratigraphiques. A la fin, la validité des AU doit être vérifiée par la recherche d'éventuels niveaux fossilifères remaniés, qualifiés de disjonctif (GUEX, 1991), car ils provoquent une distribution chronologique discontinue de l'espèce par rapport aux zones (MONNET et BUCHET, 1999).

Notons que la valeur de la reproductibilité de chaque superposition conflictuelle peut être calculée directement par **BioGraph** en considérant uniquement soit le nombre d'arcs ($V(A) = \text{nombre d'arcs reliant } k_i \text{ à } k_j$) soit la somme de leur reproductibilité individuelle ($V(A) = \text{somme reproductibilité individuelle des arcs reliant } k_i \text{ à } k_j$) (fig. 8).

Des exemples sont illustrés dans la figure 9 et nous montre les contradictions biostratigraphiques, ainsi que l'interprétation de contradictions particulières : cycles de 3^{ème} et 4^{ème} ordre ; C3 et C4 ; circuits virtuels semi-orientés de 3^{ème} ordre, S_3 .

Lingulina nodosaria TERQUEM, 1870
Lingulina occidentalis (BERTHELIN), 1879
Lingulina sp. gr. *L. francaunia*
Lingulina tenera carinata NOERVANG, 1957
Lingulina tenera pupa (TERQUEM), 1866
Lingulina tenera tenera BORNEMANN, 1854
Lingulina testudinaria FRANKE, 1936

1.1.2. Sous-famille : *Nodosariinae* EHRENBERG, 1838

Genre : *Citharina* d'ORBIGNY, 1839

Citharina cf. *cytherella* (PAYARD), 1947
Citharina cf. *fallax*
Citharina cf. *gillardi* (PAYARD), 1947
Citharina cf. *serracostata* (GUMBEL), 1862
Citharina cf. *welschi* (PAYARD), 1947
Citharina charollensis RUGET et SIGAL, 1972
Citharina clathrata (TERQUEM), 1863
Citharina colliezi (TERQUEM), 1866
Citharina cytherella (TERQUEM), 1867
Citharina enigmatica
Citharina fallax (PAYARD), 1947
Citharina iberica RUGET, 1982
Citharina inconstans (TERQUEM), 1867
Citharina longuemari (TERQUEM), 1863
Citharina longuemari angusta
Citharina longuemari gradata
Citharina longuemari (TERQUEM) var. *aalense* PAYARD, 1947
Citharina longuemari var. *angusta* (TERQUEM), 1866
Citharina longuemari (TERQUEM) var. *cordata* PAYARD, 1947
Citharina longuemari (TERQUEM) var. *gradata* TERQUEM, 1863
Citharina proxima (TERQUEM), 1867
Citharina sp.
Citharina subaequilateralis (TERQUEM), 1867
Citharina welschi (PAYARD), 1947

Genre : *Dentalina* RISSO, 1826

Dentalina cf. *torta*
Dentalina cylindracea TERQUEM, 1863
Dentalina exilis FRANKE, 1936
Dentalina glandulosa TERQUEM, 1862
Dentalina integra KUBLER et ZWINGLI, 1870
Dentalina nodigera TERQUEM et BERTHELIN, 1875
Dentalina obscura TERQUEM, 1858
Dentalina pseudocommunis FRANKE, 1936
Dentalina sp.
Dentalina subnodosa TERQUEM, 1855
Dentalina subsiliqua FRANKE, 1936
Dentalina subulata FRANKE, 1936
Dentalina terquemi d'ORBIGNY, 1850

Dentalina torta TERQUEM, 1858
Dentalina vetusta d'ORBIGNY, 1850
Dentalina vetustissima d'ORBIGNY, 1849

Genre : *Ichtyolaria* WEDEKIND, 1937

Ichtyolaria bicostata bicostata (d'ORBIGNY), 1850
Ichtyolaria brizaeformis (BORNEMANN), 1854
Ichtyolaria carinata (BURBACH), 1886
Ichtyolaria gr. major (BORNEMANN), 1854
Ichtyolaria hauffi (FRANKE), 1936
Ichtyolaria nitida (TERQUEM), 1858
Ichtyolaria sulcata muelensis (RUGET ET SIGAL), 1970
Ichtyolaria sulcata sulcata (BORNEMANN), 1854

Genre : *Lenticulina* LAMARCK, 1804

Morphogénre *Astacolus* de MONFORT, 1808

Lenticulina antiquata (d'ORBIGNY), 1850 mg. *Astacolus*
Lenticulina chicheryi (PAYARD), 1947 mg. *Astacolus*
Lenticulina d'orbignyi (ROEMER), 1839 mg. *Astacolus*
Lenticulina matutina (d'ORBIGNY), 1850 mg. *Astacolus*

Morphogénre *Lenticulina* LAMARCK, 1804

Lenticulina acutiangulata mg. *Lenticulina* (TERQUEM), 1864
Lenticulina antiquata (d'ORBIGNY), 1850 mg. *Lenticulina*
Lenticulina bochari (TERQUEM), 1863 mg. *Lenticulina*
Lenticulina cf. *subalata* mg. *Lenticulina*
Lenticulina chicheryi PAYARD, 1947 mg. *Lenticulina*
Lenticulina d'orbignyi (ROEMER), 1839 mg. *Lenticulina*
Lenticulina cf. *galeata* mg. *Lenticulina*
Lenticulina gottingensis BORNEMANN, 1854 mg. *Lenticulina*
Lenticulina incisa (TERQUEM), 1858 mg. *Lenticulina*
Lenticulina münsteri (ROEMER), 1939 mg. *Lenticulina*
Lenticulina polygonata (FRANKE), 1936 mg. *Lenticulina*
Lenticulina quenstedti (GUMBEL), 1862 mg. *Lenticulina*
Lenticulina subalata (REUSS), 1854 mg. *Lenticulina*
Lenticulina toarcense PAYARD, 1947 mg. *Lenticulina*
Lenticulina varians (BORNEMANN), 1854 mg. *Lenticulina*

Morphogénre *Falsopalmula* BARTENSTEIN, 1948

Lenticulina chicheryi PAYARD, 1947 mg. *Falsopalmula*
Lenticulina cf. *deslonchampsii* mg. *Falsopalmula* TERQUEM, 1863
Lenticulina cordiformis (TERQUEM), 1863, mg. *Falsopalmula*
Lenticulina cuneiformis (PAYARD), 1947 mg. *Falsopalmula*
Lenticulina d'orbignyi (ROEMER), 1839 mg. *Falsopalmula*
Lenticulina deslonchampsii (TERQUEM), 1863 mg. *Falsopalmula*
Lenticulina insignis (TERQUEM et BERTHELIN), 1875 mg. *Falsopalmula*
Lenticulina obliqua (TERQUEM), 1864 mg. *Falsopalmula*
Lenticulina sp. mg. *Falsopalmula*
Lenticulina tenuistriata (FRANKE), 1936 mg. *Falsopalmula*

Morphogénre *Marginulinopsis* SILVESTRI, 1904

- Lenticulina* cf. *speciosa* mg. *Marginulinopsis* (TERQUEM), 1858
Lenticulina chicheryi PAYARD, 1947 mg. *Marginulinopsis*
Lenticulina d'orbigny (ROEMER), 1839 mg. *Marginulinopsis*
Lenticulina pennensis CUBAYNES et RUGET, 1983 mg. *Marginulinopsis*
Lenticulina sigma mg. *Marginulinopsis* (TERQUEM), 1866
Lenticulina sp. A mg. *Marginulinopsis*
Lenticulina sp. mg. *Marginulinopsis*
Lenticulina speciosa (TERQUEM), 1858 mg. *Marginulinopsis*

Morphogénre *Planularia* DEFRANCE, 1826

- Lenticulina anceps* mg. *Planularia* (TERQUEM), 1870
Lenticulina chicheryi PAYARD, 1947 mg. *Planularia*
Lenticulina cf. *crepidula* mg. *Planularia*
Lenticulina cf. *ornata* mg. *Planularia*
Lenticulina cf. *subovalis* mg. *Planularia*
Lenticulina cordiformis (TERQUEM), 1864 mg. *Planularia*
Lenticulina d'orbigny (ROEMER), 1839 mg. *Planularia*
Lenticulina filosa (TERQUEM), 1866 mg. *Planularia*
Lenticulina inaequistriata (TERQUEM), 1864 mg. *Planularia*
Lenticulina obliqua (TERQUEM), 1864 mg. *Planularia*
Lenticulina obonensis RUGET, 1982 mg. *Planularia*
Lenticulina ornata (TERQUEM), 1858 mg. *Planularia*
Lenticulina preobonensis RUGET, mg. *Planularia*
Lenticulina pseudocrepidula (ADAMS), 1957 mg. *Planularia*
Lenticulina sp. mg. *Planularia*
Lenticulina subovalis MAMONTOVA, 1957 mg. *Planularia*

Morphogénre *Saracenella* FRANKE, 1936

- Lenticulina* sp. mg. *Saracenella*

Genre : *Marginulina* d'ORBIGNY, 1826

- Marginulina* cf. *lumbricalis* (TERQUEM), 1866
Marginulina nov. sp. 2
Marginulina nov. sp. 3
Marginulina oolithica (TERQUEM), 1870
Marginulina prima prima d'ORBIGNY, 1850
Marginulina prima burgundiae (TERQUEM), 1863
Marginulina prima spinata (TERQUEM), 1858

Genre : *Nodosaria* LAMARCK, 1812

- Nodosaria* cf. *tenera* FRANKE, 1937
Nodosaria fontinensis TERQUEM, 1870
Nodosaria globulata
Nodosaria hortensis (TERQUEM), 1866
Nodosaria metensis TERQUEM, 1863
Nodosaria mitis (TERQUEM et BERTHELIN), 1875
Nodosaria mutabilis TERQUEM, 1870
Nodosaria mutabilis fontinensis TERQUEM, 1867
Nodosaria nitida BRAND, 1937

1.3. Famille : *Lagenidae* REUSS, 1862

Genre : *Lagena* WALKER et JACOB, 1798

Lagena sp.

C- SOUS-ORDRE : **MILIOLINA DELAGE et HEROUARD, 1896**

1. Famille : *Fischerinidae* MILLNETT, 1898

Genre : *Cyclogyra*

Cyclogyra infraoolithica

2. Famille : *Nubeculariidae* JONES, 1875

2.1 Sous-famille : *Nodobaculariinae* CUSHMAN, 1927

Genre : *Ammonodobacularia*

Ammonodobacularia tazarhinensis

2.2. Sous-famille : *Ophthalmidiinae* WIESNER, 19020

Genre : *Ophthalmidium* KUBLER et ZWINGLI, 1870

Ophthalmidium aff. *carinatum*

Ophthalmidium concentricum (TERQUEM et BERTHELIN), 1875

Ophthalmidium inopinata (WOOD et BARNARD), 1946

D- SOUS-ORDRE : **ROBERTINA LOEBLICH et TAPPAN, 1948**

Super-famille : *Ceratobuliminacea* CUSHMANN, 1927

Famille : *Ceratobuliminidae* CUSHMANN, 1927

Genre : *Reinholdella* BROTZEN, 1948

Reinholdella sp. A

Reinholdella sp. B

Reinholdella yakoubi

E- SOUS-ORDRE : **SPIRILLININA HOENEGGER et PILLER, 1975**

Super-famille : *Spirillinacea* REUSS et FRITSCH, 1861

Famille : *Spirillinidae* REUSS et FRITSCH, 1861

Genre : *Spirillina* EHRENBERG, 1843

Spirillina infima (STRICKLAND), 1846

Spirillina numismalis TERQUEM et BERTHELIN, 1875

Spirillina orbicula TERQUEM et BERTHELIN, 1875

F- SOUS-ORDRE : *TEXTULARIINA* DELAGE et HEROUARD, 1896

F1. Super-famille : *Ammodiscacea* REUSS, 1862

1. Famille : *Ammodiscidae* REUSS, 1862

1.2. Sous-famille : *Ammodiscinae* REUSS, 1862

Genre : *Ammodiscus* REUSS, 1862

Ammodiscus siliceus (TERQUEM), 1862

Ammodiscus sp.

F2. Super-famille : *Lituolacea* DE BLAINVILLE, 1825

2. Famille : *Lituoladae* DE BLAINVILLE, 1825

Genre : *Ammobaculites* CUSHMAN, 1910

Ammobaculites agglutinans (d'ORBIGNY), 1846

Ammobaculites fontinensis (TERQUEM), 1870

Ammobaculites gr. *fontinensis* (TERQUEM), 1870

Ammobaculites sp. A

3. Famille : *Ataxophragmiidae* SCHWAGER, 1877

Genre : *Verneuilioides* LOEBLICH et TAPPAN, 1949

Verneuilioides cf. *subvitreus*

Quatrième chapitre : APPLICATION DE LA METHODE

I. ACQUISITION ET TRAITEMENT DES DONNEES

A. Acquisition des données

Les 10 sections sélectionnées en Algérie et au Maroc correspondent à une liste faunique composée de : 11 familles de foraminifères (*Nodosariidae*, *Ceratobuliminidae*, *Lituoladae*, *Fischerinidae*, *Nubeculariidae*, *Lagenidae*, *Spirillinidae*, *Ataxophragmiidae*, *Ammodiscidae*, *Involutinidae* et *Polymorphinidae*) avec une prédominance des *Nodosariidae* (fig.12), 22 genres et 184 espèces (toutes catégories comprises : aff., cf., var., gr). Cette liste est en premier lieu standardisée d'un point de vue taxonomique pour constituer le « database » brute prêt à être traité par le logiciel BioGraph.

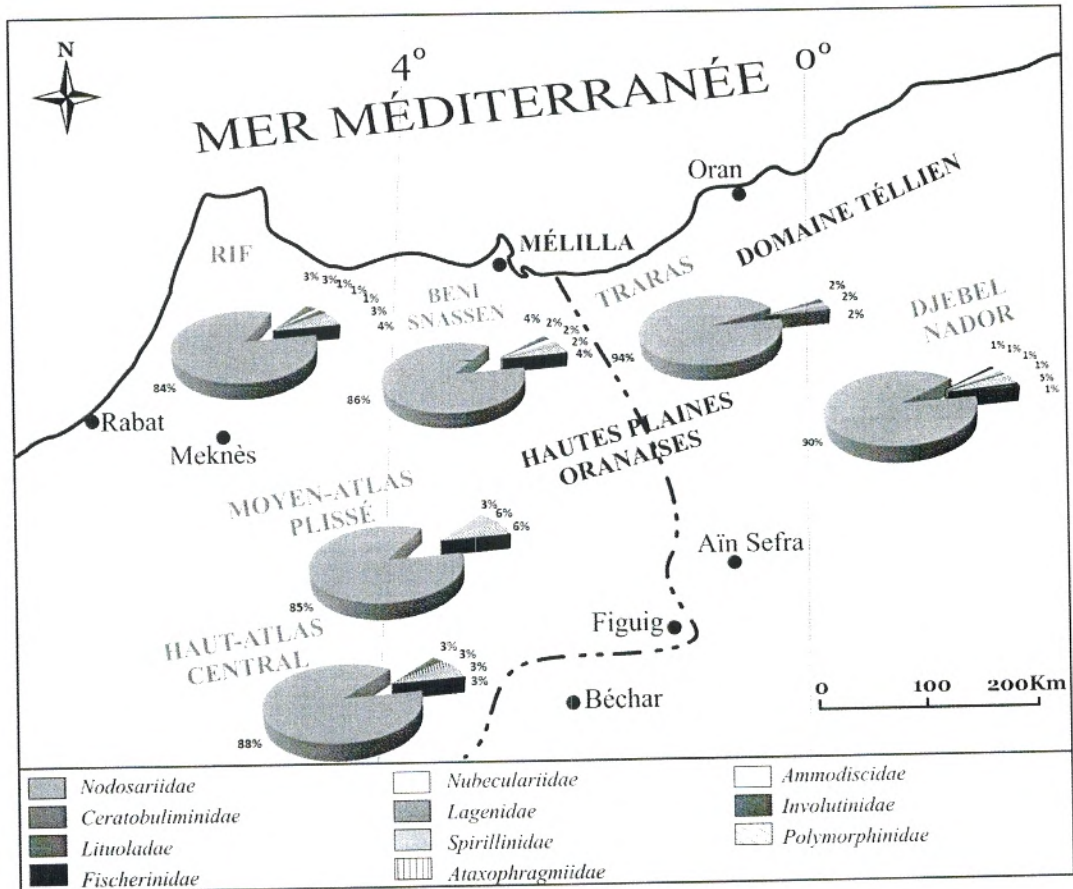


Fig. 12- Fréquences relatives des principales familles de foraminifères dans les 6 bassins (avant le traitement).

B. Traitement et optimisation de la base de données

Dans le but d'établir des Associations Unitaires, plusieurs étapes vont être suivies par une optimisation de notre base de données et par son analyse à l'aide du logiciel BioGraph et des outils « Bg_Tool » qui y sont joints. Tout le travail consiste donc à supprimer les incohérences, en vue d'obtenir des résultats probants. Les critères d'optimisation choisis dans ce traitement global (inter-région) sont : les nombres de taxons, d'Associations Unitaires, de contradictions dans les relations biostratigraphiques et de sous graphes induits interdits (Composantes fortement connexes)(SCC). Notons que les différentes opérations que nous avons effectuées sont les suivantes (fig. 13) :

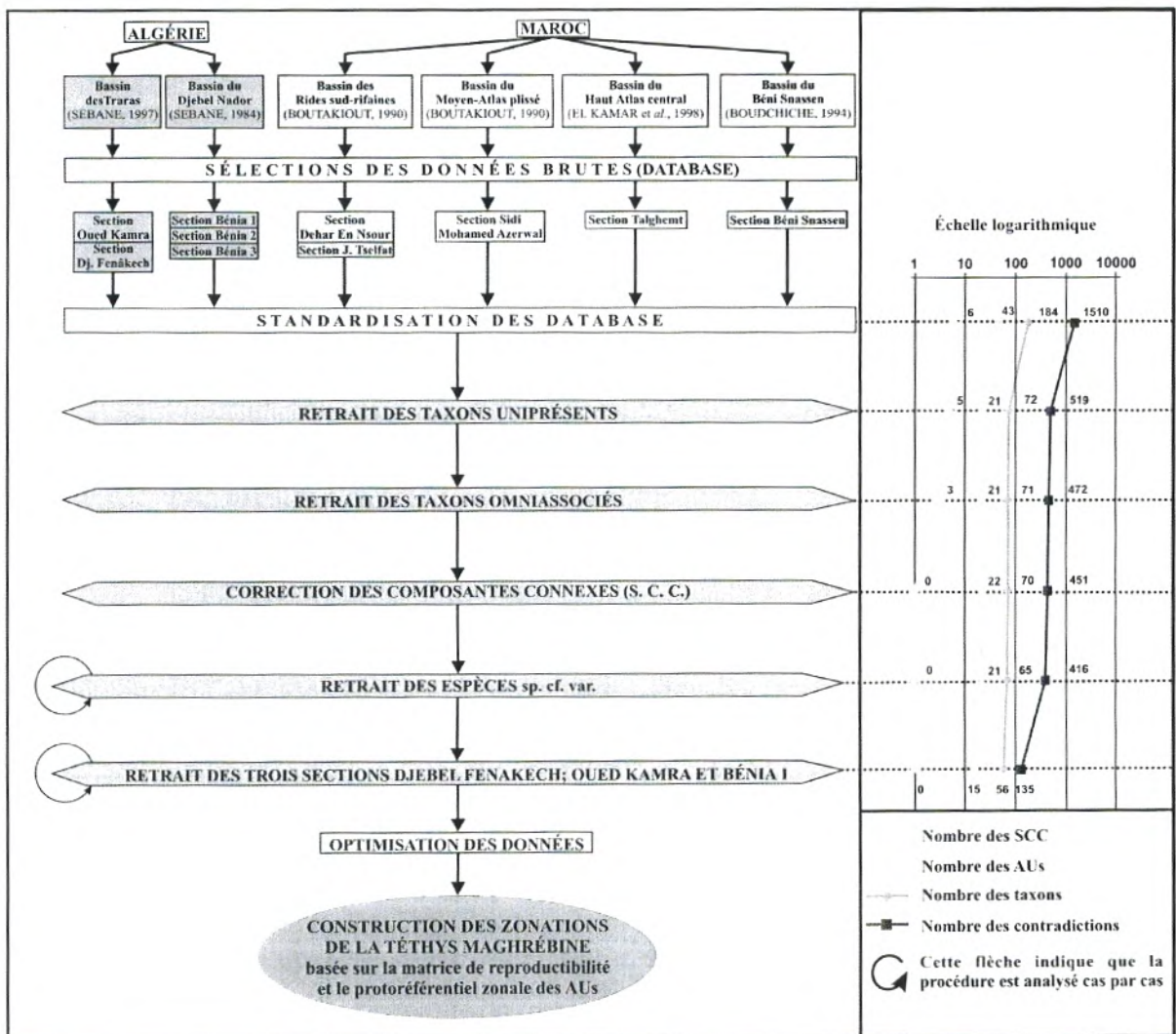


Fig. 13- Diagramme illustrant les différentes étapes pour l'optimisation de la base de données.

Après chaque exécution, on prend en compte le nombre de taxons, le nombre des Associations Unitaires (AUs), le nombre des contradictions biostratigraphiques et enfin le nombre des composantes fortement connexes (SCC).

Etape : 1

Il s'agit de l'analyse de la totalité du « database » brute. Les résultats obtenus montrent 1510 contradictions biostratigraphiques, 184 taxons, 6 SCC et 43 AUs.

Etape : 2

Cette étape consiste à éliminer les taxons uniprésents, car ils n'ont aucune valeur pour effectuer des corrélations entre les bassins. Cela entraîne déjà la perte de 112 espèces sur 184, soit 60 % (107AA, 98AMF, 255MM, 21AMM, 83ATA, 22BPA, 69BRO, 233YH, 242AX, 231HL, 238RR, 230CW, 127CC, 58CCY, 77CEN, 78CIN, 85CLC, 225IH, 76CSU, 60CWE, 216CY, 243OT, 103DC, 206EG, 197DI, 102DO, 251BS, 226IB, 99DET, 217DV, 44EEO, 218TT, 202EY, 26IBB, 04IBR, 25ICA, 256IJ, 02INI, 235GP, 29LAL, 214PS, 254QA, 253QL, 249PC, 241HP, 248GE, 227LR, 228CU, 247UB, 245PB, 93LRF, 212EI, 148OR, 139LF, 18LGL, 30LIP, 11LIF, 219LT, 208BF, 51LBP, 52LPB, 223DP, 246QS, 221OP, 211SP, 90LES, 13LSM, 220AI, 240IC, 63LCE, 236UV, 199IN, 200IS, 32LOC, 250FR, 40LTE, 252UU, 81MNS, 91MAN, 152OO, 16MPR, 53NTE, 239GB, 79NMU, 119NM, 64NNI, 67NPR, 153CE, 123NR, 110NS, 232ID, 213OS, 222IA, 210BP, 201OU, 46OCA, 229OI, 37PGO, 258PY, 104PM, 106PP, 257PD, 105PT, 114RA, 115RB, 57RYA, 122VL, 234QU, 112VS, 259VO, 44CM, 224GM). Le nombre des contradictions est réduit à 519, le nombre de taxons à 72, le nombre de SCC à 5 et le nombre des AUs à 21.

Etape : 3

L'élimination de deux taxons omniassociés (47DPS et 131DN) a entraîné une baisse des SCC et une augmentation du nombre d'AUs. Le nombre des contradictions passe de 519 à 472.

Etape : 4

C'est l'étape la plus importante dans le traitement. Elle est basée sur la correction des compostes fortement connexes (SCC). Une composante fortement connexe correspond à 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 le taxon responsable est donc indispensable. Notons que la mise en évidence d'autres distributions conflictuelles d'espèces est réalisée par la construction du diagramme d'implication des taxons dans les contradictions.

Dans le présent cas, 4 opérations seront effectuées pour corriger 3 SCC. Il s'agit essentiellement des circuits virtuels semi-orientés de 3^{ème} ordre S3. Ces circuits détectent des remaniements qualifiés de disjonctifs par GUEX (1991), car ils provoquent une distribution chronologique discontinue de l'espèce par rapport aux zones. La détection d'un tel phénomène nécessite un retour à la coupe et à sa description, car il peut être du à tout autre chose qu'un remaniement. Par exemple, une lacune de documentation ou une mauvaise détermination.

La première opération concerne les deux HMR 33 [8.8*] et 36 [4.17*] (fig.14) où nous avons remarqué que l'espèce impliquée dans la contradiction est 111NO (*Nodosaria oculina*). En revenant sur les données de base, nous avons constaté que dans la section de Dehar Nsour, le taxon 56LNP (*Lenticulina obonnensis* mg. *Planularia*) existe réellement dans le niveau 8 et suit parfaitement le sens de superposition des HMR 33→36 ; les autres taxons du même niveau coexistent virtuellement. Par contre, dans la section de Bénia 2, le niveau 17 comporte deux taxons 72LCA (*Lenticulina chicheryi* mg. *Astacolus*) et 111NO qui existe réellement, on s'aperçoit que l'arc impliquant la contradiction est du au taxon 111NO. Dans ce cas, la solution choisie est de faire placer l'espèce 111NO dans le niveau 8 de la section Dehar Nsour en représentant ainsi la relation de superposition entre les taxons par une relation de coexistence. Ainsi, cette opération nous a permis de détruire 1 SCC. A ce stade des opérations, le nombre des contradictions est 470, le nombre de SCC est 2 et enfin le nombre des AUs 21.

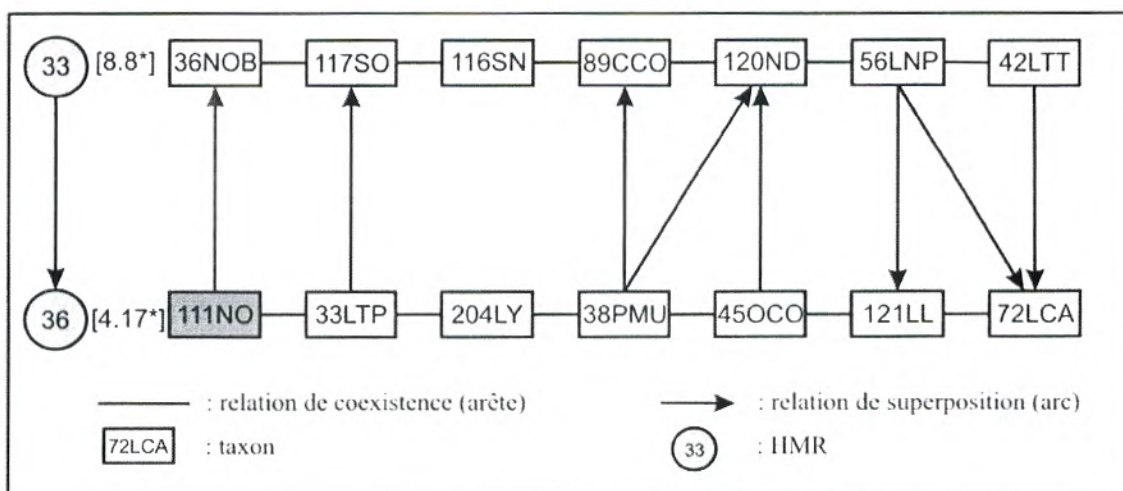


Fig. 14- Relations stratigraphiques entre les HMR 33 [8.8*] et 36 [4.17*].

La deuxième opération concerne les HMR 11 [2.2*] et 25 [10.6*] (fig. 15A). Le graphique des implications des taxons dans les contradictions a mis en évidence que le taxon 171LB (*Lenticulina bochari* mg. *Lenticulina*) qui existe réellement dans le niveau 6 de la section de Sidi Mohamed Azerwal contribue anormalement dans les relations contradictoires avec les espèces 95LRL (*Lenticulina d'orbigny* mg. *Lenticulina*) 49NFO (*Nodosaria fontinensis*) et 50SIN (*Spirillina infima*). Ces dernières montrent bien un circuit semi-orientés de type S3 imbriqué (fig. 15B). La solution retenue était de placer l'espèce 171LB depuis le niveau 6 de la section de Sidi Mohamed Azerwal au niveau 2 de la section de Djebel Fenâkech remplaçant ainsi la relation de superposition entre les taxons par une relation de coexistence. Dès lors, le nombre des contradictions est réduit à 413, mais le nombre de SCC n'a pas changé.

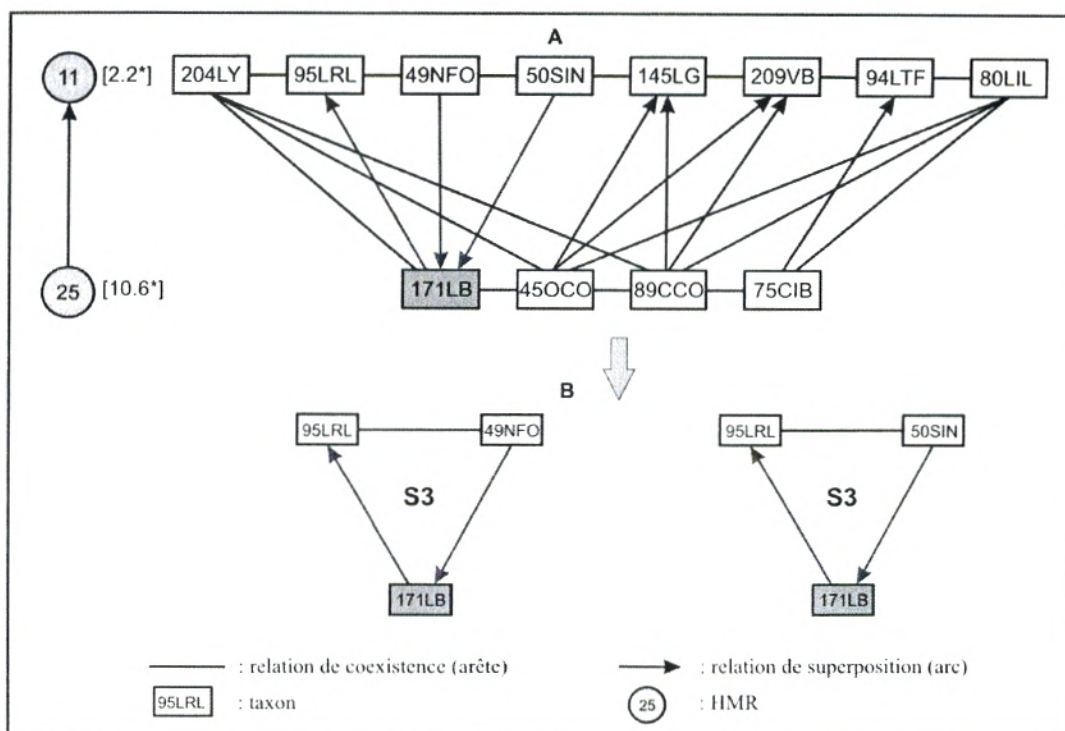


Fig. 15- Relations stratigraphiques entre les HMR 11 [2.2*] et 25 [10.6*] (A) et les sous-graphes induits interdits de type S3 (B).

La troisième opération intéresse les HMR 1 [6.7*] et 14 [1.13*] (fig. 16A). Cette fois ci, le graphique des implications des taxons dans les contradictions a mis en évidence que les deux taxons 128LU (*Lenticulina subalata* mg. *Lenticulina*) et 47DPS (*Dentalina pseudocommunis*) qui existent respectivement dans le niveau 7 de la section de Talghemt et le niveau 13 de la section de Oued Kamra contribue anormalement dans les relations contradictoires avec les espèces. A titre d'exemple, nous citons l'espèce 47DPS qui est en relation de superposition avec les espèces 84LPM (*Lenticulina pennensis* mg. *Marginulinopsis*) et 94LTF (*Lenticulina tenuistriata* mg. *Falsopalmula*). Ces dernières, montrent bien un circuit semi-orientés de type S3 imbriqué (fig. 16B). La solution retenue était de placer l'espèce 47DPS de niveau 13 de la section de Oued kamra au niveau 7 de Talghemt et de placer l'espèce 128LU depuis le niveau 7 de Talghemt au niveau 13 de la section de Oued kamra remplaçant ainsi les relations de superpositions entre les taxons par des relations de coexistences. Cette opération, nous a permis de détruire 1 SCC.

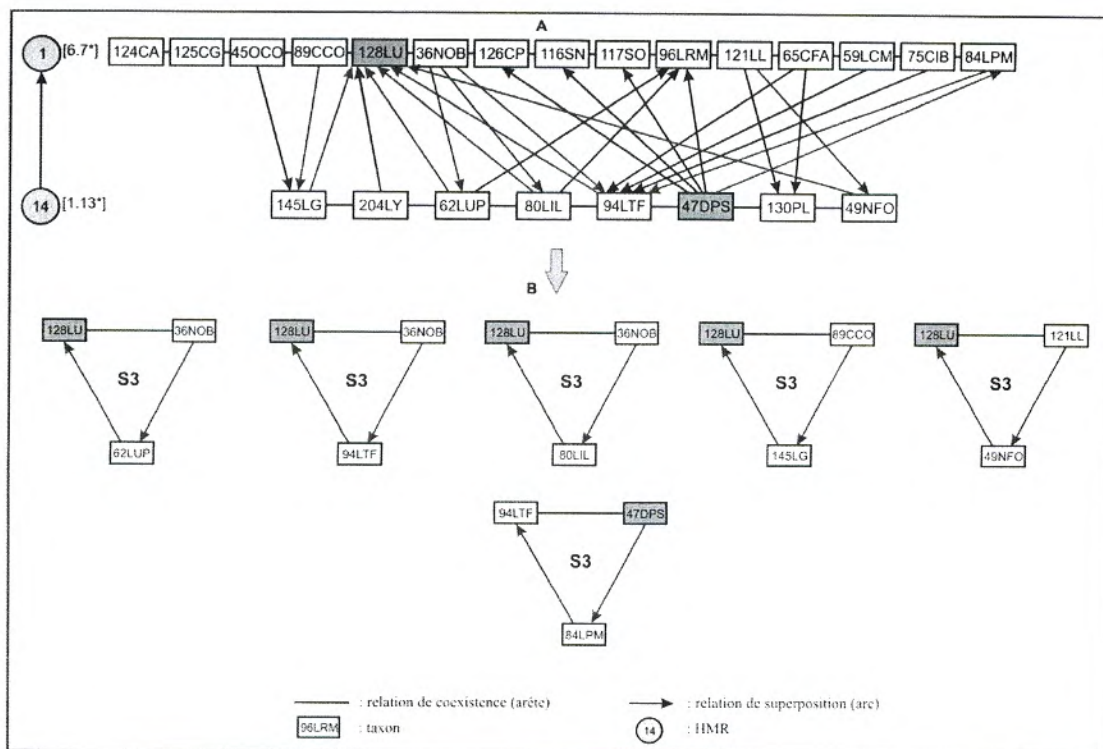


Fig. 16- Relations stratigraphiques entre les HMR 1 [6.7*] et 14 [1.13*] (A) et les sous-graphes induits interdits de type S3 (B).

La quatrième opération intéresse les HMR 3 [10.17*] et 17 [7.20*] (fig.17) qui sont tous deux contradictoires. On s'aperçoit que l'arc impliquant la contradiction est du au taxon 82CLA (*Citharina longuemari* var. *aalense*). En réexaminant donc les données de base, nous avons constaté que dans le niveau 20 de la section de Béni Snassen, ce taxon existe réellement mais l'arc qui indique la superposition avec l'espèce 36NOB (*Nodosaria obscura*) va dans le sens contraire des HMR 17→3. La première solution choisie était de placer le taxon 82CLA dans le niveau 17 de la section de Sidi Mohamed Azerwal. Cela n'a fait qu'augmenter les nombres de SCC et de contradictions. Par ailleurs, l'élimination de ce même taxon dans une seconde analyse a permis de détruire la contradiction fortement connexe restante. Ce choix est également argumenté par le fait que le taxon 82CLA est une catégorie (var.) et que sa détermination peut être douteuse.

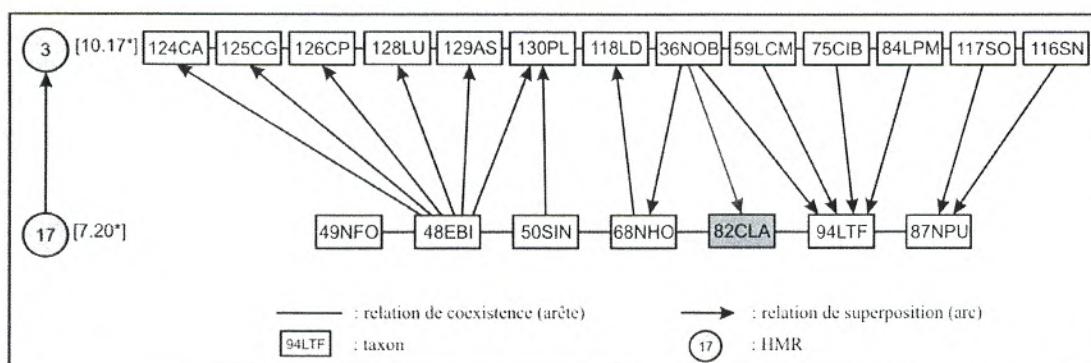


Fig. 17- Relations stratigraphiques entre les HMR 3 [10.17*] et 17 [7.20*].

Etape : 5

Les données sont maintenant estimées comme optimales, mais une cinquième étape de vérification est nécessaire pour éviter certaines confusions entre les espèces (aff., cf., var., gr.) et les espèces clairement identifiées. Cette vérification, nous a permis de remettre en cause la validation de 5 espèces suivantes : *Vaginulina* cf. *triangula* (sections : Oued Kamra et Bénia 1) ; *Lenticulina* sp. mg. *Planularia* (sections : Oued Kamra, Bénia 1 et Bénia 3) ; *Vaginulina* sp. B (sections : Djebel Fenâkech, Bénia 1 et Bénia 3) et *Citharina longuemari* var. *gradata* et *Citharina longuemari* var. *angusta* (sections : Béni Snassen et Dehar Nsour). Toutes ces espèces sont donc éliminées des données de base. De cette manière, le nombre de contradictions est 416, le nombre de taxon est 65, le nombre de SCC est 0 et le nombre des AUs est 21.

A la fin, la validité des AUs doit être vérifiée aussi par la recherche d'éventuels niveaux fossilifères remaniés. En ce qui concerne notre analyse, aucun indice de remaniement dans les niveaux fossilifères n'a été repéré. A ce stade, les données sont considérées comme optimales et homogènes sur l'ensemble des sections, mais nous soulignons toujours la présence de fortes relations contradictoires entre les taxons. Après une révision générale des données biostratigraphiques dans les 10 sections, nous nous sommes rendu compte que les 3 sections incomplètes de l'Oued Kamra et Djebel Fenâkech (bassin des Traras) et Bénia 1 (bassin de Nador) étaient au cœur du problème. A cet effet, le retrait de ces trois sections montre une forte baisse des contradictions (231 au lieu de 416). Le nombre des AUs identifiées descend à 18 et le nombre de SCC passe de 0 à 1.

Bien sur, après cette démarche, il faut impérativement réexaminer de nouveau la base de données selon le protocole précédent (élimination à la fois des taxons uniprésents et omniassociés). Au total, 9 espèces sont éliminées du programme. Il s'agit de 7 espèces uniprésents (*Lenticulina polygonata* mg. *Lenticulina*, *Citharina longuemari*, *Marginulina prima spinata*, *Lenticulina tenuistriata* mg. *Falsopalmula*, *Nodosaria metensis*, *Dentalina pseudocommunis* et *Lenticulina incisa* mg. *Lenticulina*) et seulement 2 espèces omniassociées (*Ophtalmedium concentricum* et *Nodosaria obscura*). Après cette étape, le nombre de contradictions est réduit à 134, le nombre de taxons à 56, le nombre de SCC à 1 et le nombre final des AUs à 16.

Il nous reste maintenant à corriger la seule composante fortement connexe et valider par la suite les Associations Unitaires obtenues.

Cette dernière opération intéresse les HMR 17 [4.4*] et 23 [7.1] (fig. 18) qui sont tous deux contradictoires (BG_T09). On s'aperçoit que l'arc impliquant la contradiction est du au taxon 56LNP (*Lenticulina obonnensis* mg. *Planularia*). En réexaminant les données de base, nous avons constaté que dans le niveau 4 de la section de Béni Snassen, il n'existe réellement que le taxon 56LNP mais l'arc qui indique la superposition avec l'espèce 39VTR (*Vaginulina triangula*) va dans le sens contraire des HMR 17→23. La solution choisie est de faire placer l'espèce 56LNP dans le niveau 1 de la section de Sidi Mohamed Azerwal remplaçant ainsi la relation de superposition entre les taxons par une relation de coexistence. Cette démarche a fait réduire le nombre de SCC à 0.

Après cette suite d'analyse logique, les données sont estimées optimales pour poursuivre l'étude, c'est-à-dire aboutir à la zonation.

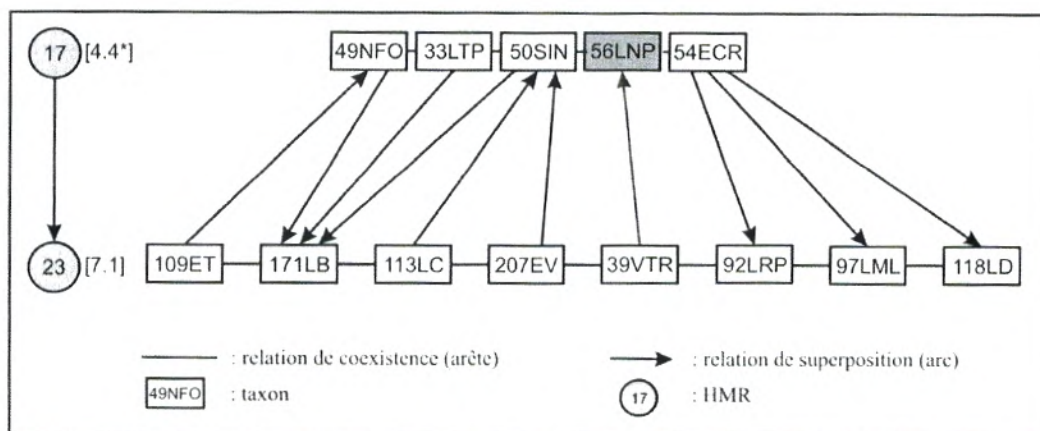


Fig. 18- Relations stratigraphiques entre les HMR 17 [4.4*] et 23 [7.1].

II. RESULTATS

Après les différentes étapes de traitement, trois documents essentiels sont mis à notre disposition par le programme BioGraph : Il s'agit du protoréféréntiel zonal, la matrice de reproductibilité des AUs et les tables de corrélation entre les sections.

1. Présentation et analyse du protoréféréntiel

L'ensemble des analyses aboutit à la formation d'une séquence de 15 AUs ordonnées chronologiquement. Cette séquence constitue un protoréféréntiel zonal représentant ainsi la synthèse complète de toutes les relations de coexistences, d'exclusions et de superpositions des 56 taxons de foraminifères finalement retenus (fig. 19). Cela nous a permis de dater les 7 sections analysées. Le Toarcien dans la marge sud de la Téthys sera subdivisé en 14 AUs dont 1 AUs est attribuée au Domérien supérieur (*Lenticulina ornata* mg. *Lenticulina*, *Dentalina terquemi*, *Ichtyolaria sulcata sulcata*, *Nodosaria mitis*, *Nodosaria novemcostata*, *Marginulina prima prima*, *Eoguttulina cruciata*, *Ichtyolaria sulcata muelensis*, *Vaginulina triangula*, *Pseudonodosaria vulgata*, *Lingulina tenera tenera*, *Dentalina exilis*, *Lingulina tenera pupa*, *Pseudonodosaria multicostata*, *Eoguttulina bilocularis*, *Nodosaria fontinensis*, *Spirillina infima*). D'autre part, l'analyse avec soin des distributions stratigraphiques connues dans la littérature et la qualité de l'enregistrement fossile, nous ont permis de corriger le range stratigraphique de quatre espèces : *Lingulina tenera tenera*, *Lingulina tenera pupa*, *Ichtyolaria hauffi* et *Lenticulina pennensis* mg. *Marginulinopsis* (MAROK, comm. oral.).

2. Présentation de la matrice de reproductibilité des AUs et des tables de corrélation entre les sections

2.1. Matrice de reproductibilité des AUs

L'extension géographique des 15 AUs identifiées dans les 7 sections sont visualisées grâce à une matrice dite de reproductibilité (fig. 20). Le découpage des zones du Toarcien a été mené conjointement avec le protoréféréntiel zonal en prenant en considération le nombre de reproductibilité latérale le plus élevée (dans notre cas, il est d'ordre 3). Par conséquent, on note la présence des AUs potentiellement identifiées dans les sections suivantes : Talghemt (AU 15), Jbel Tselfat (AU 4 et 5).

| | | S E C T I O N S | | | | | | | | |
|----|---|-----------------|---|---|---|---|---|---|----------|---------------|
| | | B | B | T | B | D | J | S | | |
| | | É | É | A | É | E | B | - | | |
| | | N | N | L | N | H | E | M | | |
| | | 1 | 1 | G | 1 | A | L | - | | |
| | | A | A | H | | R | | A | | |
| | | 2 | 3 | E | S | | T | Z | | |
| | | | | M | N | N | S | E | | |
| | | | | T | A | S | E | R | | |
| | | | | | S | O | L | W | | |
| | | | | | S | U | F | A | | |
| | | | | | E | R | A | L | | |
| | | | | | N | | T | | | |
| AU | n | | | | | | | | ZONATION | |
| 15 | 2 | . | . | | . | | . | | UAZ_T8 | Toarcien sup. |
| 14 | 1 | . | . | . | . | . | | . | UAZ_T7 | |
| 13 | 1 | . | . | . | | . | . | . | UAZ_T6 | |
| 12 | 2 | . | . | . | | | . | . | UAZ_T5 | |
| 11 | 1 | . | | . | . | . | . | . | UAZ_T4 | |
| 10 | 1 | . | | . | . | . | . | . | UAZ_T3 | Toarcien moy. |
| 9 | 1 | | . | . | . | . | . | . | UAZ_T2 | |
| 8 | 1 | . | | . | . | . | . | . | UAZ_T1 | |
| 7 | 1 | | . | . | . | . | . | . | UAZ_D | Toarcien inf. |
| 6 | 1 | | . | . | . | . | . | . | UAZ_T2 | |
| 5 | 1 | . | . | . | . | | | . | UAZ_T1 | |
| 4 | 1 | . | . | . | . | . | | | UAZ_D | Domérien sup. |
| 3 | 2 | | . | . | | . | . | . | UAZ_T1 | |
| 2 | 3 | . | . | | . | | | . | UAZ_D | |
| 1 | 2 | | . | . | | . | . | . | UAZ_D | Domérien sup. |

n : Nombre de sections dans lesquelles l'AU est identifiée
 ■ : AU strictement identifiée
 | : Réunion d'AU strictement identifiée

Fig. 20- Matrice de reproductibilité des 15 AUs et leur réunion en 9 biochronozones.

Pour bien estimer quantitativement la valeur biochronologique des AUs qui sont distribuées de façon inégale, nous avons calculé également l'indice de reproductibilité R ($R = N_{id} / N_{pot} + N_{id}$) (GUEX, 1979) pour l'ensemble des 15 AUs où N_{id} représente le nombre de sections où l'AU est strictement identifiée, et N_{pot} le nombre de sections où l'AU est potentiellement identifiable (fig. 21).

Dans cette optique, nous avons constaté que sur les 15 AUs définies, 12 sont strictement identifiées, car elles possèdent un bon indice qui égale à 1. Par contre, 3 AUs

sont potentiellement identifiables. Il s'agit des AUs 4 et 5 dans la section de Jbel Tselfat qui présentent un indice de 0.5 et qui sont encadrées par les AUs 3 et 6 strictement identifiées et de l'AU 15 dans la section de Talghemt avec un indice égale à 0.66.

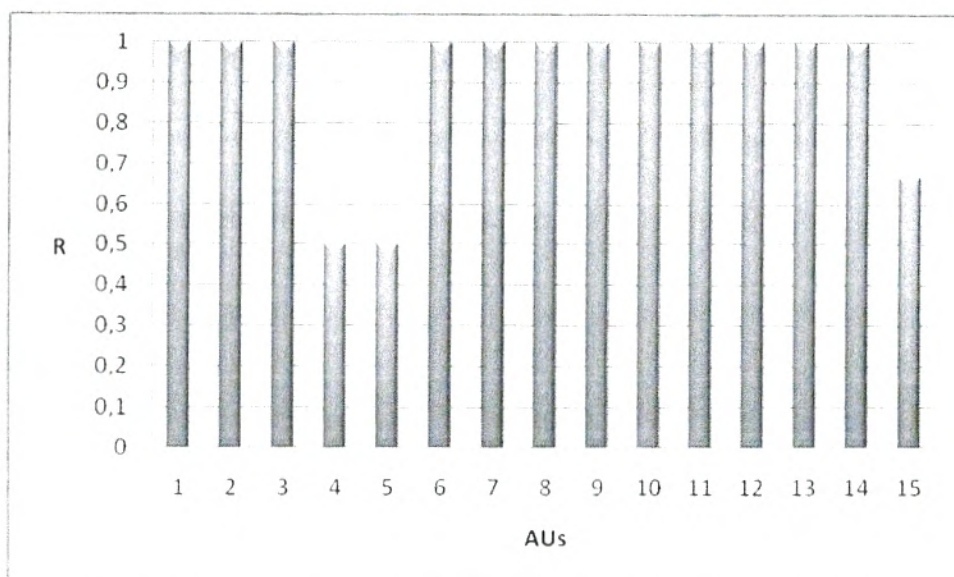


Fig. 21- Indices de reproductibilité des 15 AUs définies.

En tenant compte de ces résultats, nous avons pu définir pour le Toarcien de la marge sud-téthysienne 8 biochronozones (de T1 à T8), et qui sont du bas vers le haut:

- Biochronozone **UAZ_T8** = AU 15.
- Biochronozone **UAZ_T7** = AU 14 ;
- Biochronozone **UAZ_T6** = réunion des AUs 12 et 13 ;
- Biochronozone **UAZ_T5** = réunion des AUs 10 et 11 ;
- Biochronozone **UAZ_T4** = réunion des AUs 8 et 9 ;
- Biochronozone **UAZ_T3** = réunion des AUs 6 et 7 ;
- Biochronozone **UAZ_T2** = réunion des AUs 3 à 5 ;
- Biochronozone **UAZ_T1** = AU 2 ;
- Biochronozone **UAZ_D** = AU 1 ;

2.2. Tables de corrélation

La corrélation entre les 7 sections analysées repose sur le principe des zones d'Associations identifiées dans chaque section (fig. 22).

Un exemple sera cité pour mieux montrer l'efficacité des tables de corrélation dans la répartition et la limite des zones d'Association Unitaire. La zone UAZ_T2 comprend plusieurs AUs strictement identifiées dans les sections de : Bénia 2, Béni Snassen, Dehar En Nsour, Sidi Mohamed Azerwal. Par contre, dans la section de Jbel Tselfat, cette zone est potentiellement reconnaissable et elle se situe dans les niveaux 3 : 3-5, 4 : 3-5 et 5 : 3-5.

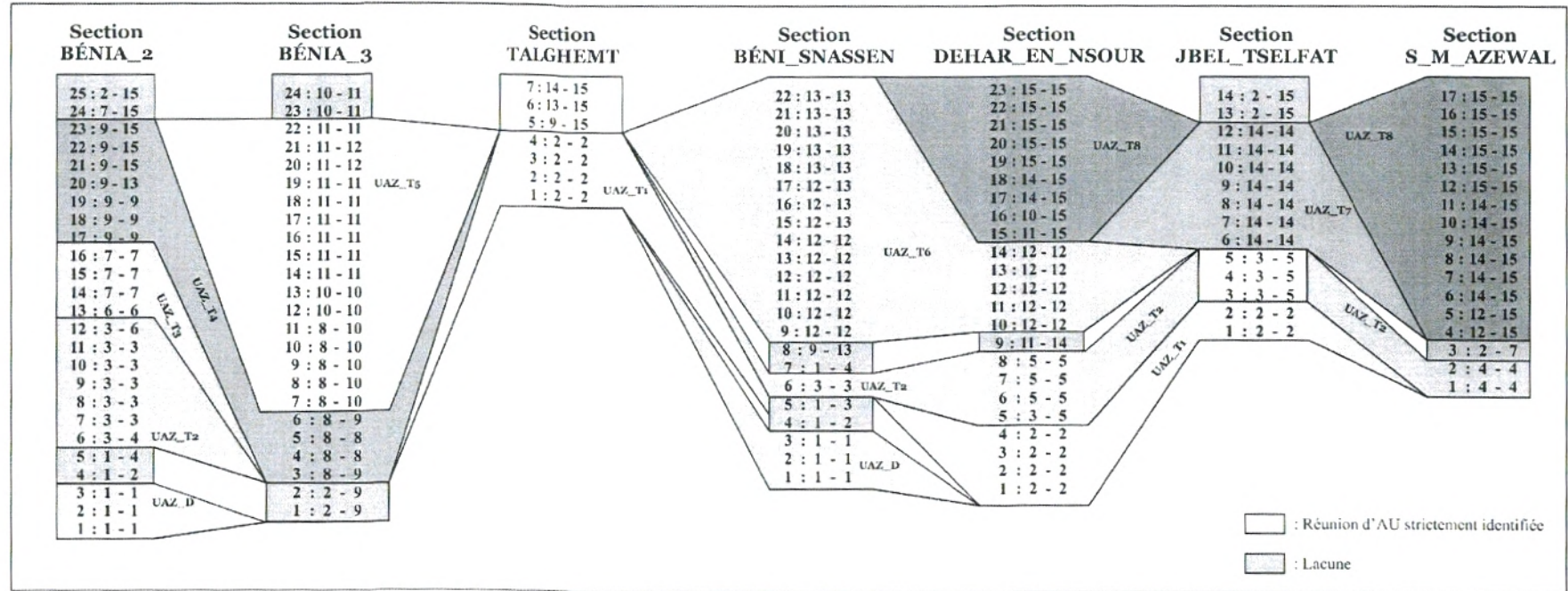


Fig. 22- Corrélation des sections analysées à partir des biochronozones.

III. INTERPRETATION DES RESULTATS

A. Phénomènes de renouvellement et diachronisme

1. Diachronisme des taxons

La méthode des Associations Unitaires permet d'estimer la dispersion biochronologique des datums (diachronisme) qui peut intervenir entre les espèces dans les différents bassins étudiés. C'est une combinaison des fréquences de 56 espèces de foraminifères en fonction de leur longévité apparente **La (x)** et en fonction de leur dispersion biochronologique **Dt (x)** (i.e. nombre de zones dans lesquelles l'espèce apparaît ou disparaît). Les variations du rapport **Dt (x) / La (x)**, nous donne des informations sur la qualité globale des enregistrements verticaux de ces espèces. Ainsi, l'étude du diachronisme illustrée sur la figure 23 montre la présence de quatre catégories d'espèces :

-Catégorie **A** : 12 % des taxons sont synchrones et sont donc de bons marqueurs biochronologiques. Cette catégorie est représentée par les espèces : *Involutina liassica* (101IL), *Ammodiscus siliceus* (108AD), *Lenticulina deslongchampsii* mg. *Falsopalmula* (118LD), *Lenticulina d'orbigny* mg. *Planularia* (130PL), *Lingulina tenera carinata* (17LTC), *Lenticulina ornata* mg. *Planularia* (31LOP) et *Citharina charollensis* (88CCH).

-Catégorie **B** : 4 % des taxons sont modérément diachrone à l'échelle locale. Cette catégorie est représentée seulement par deux espèces qui sont : *Lenticulina chicheryi* mg. *Astacolus* (72LCA) et *Lenticulina chicheryi* mg. *Lenticulina* (71LCL).

-Catégorie **C** : 32 % des taxons ont un diachronisme fort à l'échelle locale. Nous citons comme exemple : *Lenticulina toarcense* mg. *Lenticulina* (70LTL), *Eoguttulina cruciata* (54ECR), *Lenticulina obonensis* mg. *Planularia* (56LNP), *Spirillina numismalis* (116SN) et *Spirillina orbicula* (117SO).

-Catégorie **D** : 52 % des taxons ont un diachronisme très fort à l'échelle régionale. Exemples : *Ichtyolaria sulcata sulcata* (28ISS), *Lingulina cernua* (113LC), *Nodosaria hortensis* (68NHO), *Dentalina subsiliqua* (100DS), *Eoguttulina triloba* (109ET) et *Citharina proxima* (126CP).

2. Renouvellement faunique

Enfin la méthode des Associations Unitaires permet de mettre en évidence les renouvellements fauniques des foraminifères dans les différents bassins. Pour cela, des courbes ont été construites en fonction du nombre cumulé d'espèces qui apparaissent (**FAD**) et disparaissent (**LAD**) dans chaque AU (fig. 24). On a pu dénombrer 4 phases durant l'intervalle chronologique du Toarcien :

| Dt (x) | Dt (x) : Diachronisme total des espèces La (x) : Longévité apparente des espèces | | | | | | | | | | | | | | Nombre de taxons en % | La qualité du diachronisme | Echelle |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----------|-----------------------|----------------------------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | 1 | | | | D : 52 % | Très fort | Régionale |
| 15 | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | 1 | 1 | | | | 1 | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | | C : 32 % | Fort | Locale |
| 12 | Valeurs impossibles 0 | | | | | 1 | | | | 1 | | | 2 | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | |
| 10 | | | | | | 1 | | | | | | | 2 | | | | |
| 9 | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | |
| 8 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | 1 | | | | |
| 7 | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | B : 4 % | Modéré | Locale | |
| 5 | | | | 2 | | | 1 | | | | | | | | | | |
| 4 | | | 4 | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | 1 | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | |
| 2 | | 4 | 2 | 1 | | | | | 1 | | | | | | | | |
| 1 | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 6 | | | | | | | | | | | | 1 | A : 12 % | Synchrone | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | La (x) | | |

Fig. 23- Diachronisme des foraminifères du Toarcien de la Téthys maghrébine.

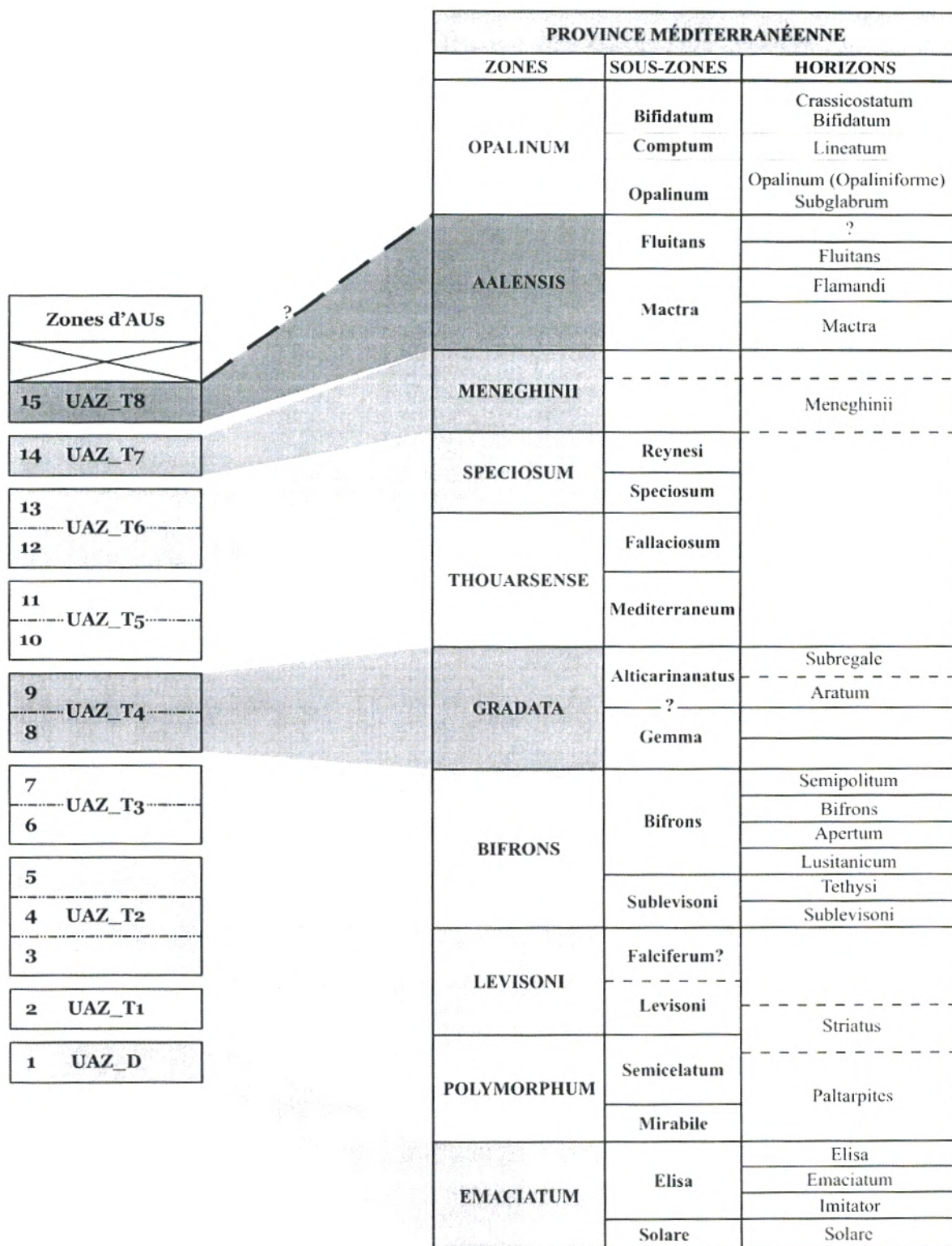


Fig. 26- Corrélation entre les zones d'Associations Unitaires et la zonation empirique de la province méditerranéenne.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMEUR M.** (1999) - Histoire d'une plate-forme carbonatée de la marge sud-téthysienne : L'autochtone des Traras (Algérie occidentale) du Trias supérieur jusqu'au Bathonien moyen. *Docum. Lab. Géol. Lyon*, n° 150, 399 p., 157 fig., 17 pl.
- BASSOULLET J.P. et BAUDIN F.** (1994)- Le Toarcien inférieur: une période de crise dans les bassins et sur les plate-formes carbonates de l'Europe du Nord-Ouest et de la Téthys. *Geobios*, M.S. 17, pp. 645-654.
- BAUDIN F., HERBIN J.P. et VANDENBROUCKE M.** (1989) - Mapping and geochemical characterization of the Toarcian organic matter in the Mediterranean Tethys and Middle East. *Org. Geochemistry*, n° 16, pp. 677-687.
- BAUMGARTNER P. O., O'DOGHERTY L., GORICAN S., URQUHART E., PILLEVUIT A. et DE WEVER P.**(1995) - Middle Jurassic to Lower Cretaceous radiolarian of Tethys : occurrences, systematics, biochronology. *Mém. Géol., Lausanne*, **23**, 1172 p.
- BECAUD M., RULLEAU L., et ELMIS S.** (2005) - Le renouvellement des faunes d'ammonites à la limite Toarcien moyen-Toarcien supérieur dans les domaines du nord-ouest de l'Europe et de la Téthys occidentale. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 176, n° 1, pp. 23-35.
- BERGE C.** (1973) - Graphes et hypergraphes. *Ed. Dunod, Paris*, 516 p.
- BESSON D.** (1998) - Renouvellement faunique et corrélation biostratigraphiques au passage Domérien-Toarcien (Téthys occidentale et N-W Europe). D. E. A., *Univ. Lyon*, 49 p., 21 fig., 24 pl., 3 annexes.
- BODERGAT A. M., DONZE P., NICOLLIN J. P. et RUGET C.** (1985) - Répartition biostratigraphique des microfaunes toarciennes (foraminifères et ostracodes) en bordure du bassin de Paris. *Cahiers Inst. Cathol. Lyon*, n°14, p. 103-123, 3 fig., 3 pl.
- BOLTOVSKOY E. et WRIGHT R.** (1976) - Recent Foraminifera. W. Junk, The Hague, 515 p.
- BOUDCHICHE L.** (1994) - Le Lias-Dogger des Béni Snassen orientaux (Maroc Nord-Oriental). Etude systématique et paléocéologique des foraminifères depuis le Carixien moyen jusqu'au Bathonien inférieur. *Thèse d'Etat, Univ. Mohammed I, Fac. Sci. Oujda, Maroc*, 342 p.
- BOULARD C.** (1993) - Biochronologie quantitative : Concepts, méthodes et validité. *Thèse Doct. d'État. Univ. Cl. Bernard, Lyon*, 221 p., 132 fig., 8 annexes.
- BOUTAKIOUT M.** (1990) - Les foraminifères du Jurassique des Rides Sud-Rifaines et des régions voisines (Maroc). *Docum. Lab. Géol. Lyon*, n° 112, 247 p., 50 fig., 15 pl.

- CIFELLI R. et RICHARDSON S. L.** (1990) - The history of the classification of foraminifera 1826-1933, *Cushman Found. Special Publ.* **27**, 119 p.
- DE WEVER P.** (1999) - L'Europe au Mésozoïque. In : Fröhlich F. & Schubnel H.J. (éd.), "Les âges de la Terre", MNHN éditeur, Paris, pp. 66-69.
- DEBENAY J. -P., PAWTOWSKI J. et DECROUEZ D.** (1996) - Les foraminifères actuels. *Ed. Masson.* 329 p.
- DROMARAT G., ALLEMAND P., GARCIA J.P. et ROBIN C.** (1996)- Variation cyclique de la production carbonatée au Jurassique le long d'un transect Bourgogne-Ardèche, Est-France. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, n° 167, pp. 423-433.
- EL KAMER A., BOUTAKIOUT M., ELM I S., SADKI D. et RUGET CH.** (1998) - Foraminifères et ostracodes du Lias supérieur et du Bajocien de la Ride de Talghemt (Haut-Atlas central, Maroc). *Bull. Inst. Sci.*, Rabat, n° 21, pp. 31-41.
- ELMI S. et BABIN C.** (1996) - Histoire de la terre. *Ed. Masson, 3^{ème} Ed., Fr.*, 181 p.
- ELMI S., GABILLY J., MOUTERDE R. et RULLEAU L.** (1991) - Toarcien. *3rd Intern. Symp. Jurass. Stratigr., Poitiers*, p. 127.
- ELMI S., GABILLY J., MOUTERDE R., RULLEAU L. et ROCHA B. R.** (1994) - L'étage Toarcien de l'Europe et de la Téthys ; divisions et corrélations. *Geobios*, M.S. 17, pp. 149-159.
- GABILLY J.** (1976) - Évolution et systématique des Phymatoceras et des Grammocerartinae (Hildocerataceae, Ammonitinae) de la région de Thouars, stratotype du Toarcien, *Mém. soc. Géol. Fr., N. S., t. LIV, mém. 124*, 196 p., 133 fig., 36 pl.
- GABILLY J., ELM I S., MATTEI J. et MOUTERDE R.** (1971) - Les zones du Jurassique en France : Toarcien. *Extr. C. R. Somm. Séan. Soc. Géol. Fr.*, pp. 7-9.
- GAHR M.E.** (2005) - Response of Lower Toarcian (Lower Jurassic) macrobenthos of the Iberian Peninsula to sea level changes and mass extinction. *Journal of Iberian Geology* 31 (2) 2005, pp. 197-215.
- GOY A. et URETA M.S.** (1991) - The lower boundary of the Aalenian in the Fuentelsaz section (Iberian range, Spain). *Confr. Aal. Baj. Stratigr., Isle of Skye*, N. MORTON (ed.), pp. 33-47.
- GROUPE FRANÇAIS D'ÉTUDE DU JURASSIQUE** (1980) - Synthèse paléogéographique du Jurassique Français. *Docum. Lab. Géol. Lyon*, H.S. 5, 210 p., 1 fig., 3 tabl., 42 cartes.
- GROUPE FRANÇAIS D'ÉTUDE DU JURASSIQUE** (1997) - Biostratigraphie du Jurassique ouest-européen et méditerranéen : zonations parallèles et distribution des invertébrés et microfossiles. *Bull. Centre Rech. Elf Explor. Prod., Mém.* **17**, 440 p., 6 fig., 79 tabl., 42 pl.

- GUEx J.** (1977) - Une nouvelle méthode d'analyse biochronologique. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat., Lausanne*, n° 351, pp. 309-321.
- GUEx J.** (1978a) - Le Trias inférieur des Salt Ranges (Pakistan) : problèmes biochronologiques. *Eclogae Geol. Helv.*, Bâle, vol. 71, n° 1, pp. 105-141.
- GUEx J.** (1978b) - Influence du confinement géographique des espèces fossiles sur l'élaboration d'échelles biochronologique et sur les corrélations. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat., Lausanne*, n° 354, pp. 115-124.
- GUEx J.** (1979) - Terminologie et méthodes de la biostratigraphie moderne. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat., Lausanne*, n° 355, pp. 169-216.
- GUEx J.** (1981) - Associations virtuelles et discontinuités dans la distribution des espèces fossiles : un exemple intéressant. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat., Lausanne*, n° 359, pp. 179-197.
- GUEx J.** (1982) - Remarque sur l'origine de la disparition biochronologique du nannoplancton calcaire paléogène de Californie et sur la détection des remaniements. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat., Lausanne*, n° 267, pp. 197-205.
- GUEx J.** (1984) - Recherche des associations unitaires : une nouvelle technique d'optimisation. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat., Lausanne*, n° 279, pp. 169-172.
- GUEx J.** (1991) - Biochronological correlations. *Springer Verlag*, 252 p.
- GUEx J. et DAVAUD E.** (1982) - Recherche automatique des associations unitaires en biochronologie. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat., Lausanne*, n° 361, pp. 53-69.
- GUEx J. et DAVAUD E.** (1984) - Unitary associations method; use of graph theory and computer algorithm. *Computers and Geosciences, Oxford*, vol. 10, n° 1, pp. 69-96.
- GUEx J. et DAVAUD E.** (1986) - Recherche automatique des associations unitaires : option nouvelle et exemple d'application. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat., Lausanne*, n° 287, pp. 53-69.
- GUEx J., MORARD A., BARTOLINI A. et MORETTINI E.** (2001) - Découverte d'une importante lacune stratigraphique à la limite Domérien-Toarcien : implications paléo-océanographiques. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 87.3, pp. 277-284.
- HAMMOUDA S.A. et SOULIMANE C.** (2004) - Biochronologie quantitative des foraminifères du Toarcien (Domaine Sud-Téthysien). *Dipl. d'Ingéniorat d'Etat*, Univ. Tlemcen, 58 p., 45 fig.
- HAY W. W.** (1972) - Probabilistic stratigraphy. *Eclogae Geol. Helv.*, Bâle, vol. 65, n° 2, pp. 255-266.
- HAZEL J. E., EDWARDS L. E. et BYDELL L. M.** (1984) - Significant Unconformities and hiatuses represented by them in the Paleogene of Atlantic and Gulf Coastal province. In SCHLEE et JOHN (eds.): *Interregional Unconformities. A. A. P. G.*, Tulsa, Memoir 36, pp. 59-66.

- JENKYN H.C.** (1988) - The early Toarcian (Jurassic) anoxic event : stratigraphic, sedimentary and geochemical evidence. *Amer. Jour. Sci.*, n° 288, pp. 101-151.
- LÉZIN C., REY J., CUBAYNES R., PÉLISSÉ T.** (2000) - Les évènements du passage Lias-Dogger dans le Quercy (France). *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes*, pp. 161-168.
- LOEBLICH A. R. Jr. et TAPPAN H.** (1964) - Sarcodina, chiefly "Thecamoebians" and foraminiferida. In: *Treatise on Invertebrate Paleontology (Moore R. C., ed.)*, Geological society of America/University of Kansas Press, New York, **1**, pp. 1-510, **2**, pp. 511-900.
- LOEBLICH A. R. Jr. et TAPPAN H.** (1974) - Recent advances in the Classification of the Foraminiferida. In: *Foraminifera*, **1**, (Hedley R. H. et Adams C. G., eds.), Academic Press, pp. 1-54.
- MACCHIONI F.** (2002) - Myths and legends in the correlation between the Boreal and Tethyan Realms. Applications on the dating of the Early Toarcian mass extinctions and the Oceanic Anoxic Event. *Geobios 35 M. S.* 24, pp. 150-164.
- MAILLIOT S., MATTIOLI E., GUEX J. et PITTET B.** (2006) - The early Toarcian anoxia, a synchronous event in the Western Tethys? An approach by quantitative biochronology (Unitary Associations), applied on calcareous nannofossils. *Paleogeogr. Paleoclimatol. Paleoecol., Amsterdam*, 25 p., 1 tabl., 9 fig., 1 pl.
- MAROK A., SEBANE A., BENYAHIA M., HAMMOUDA S. A. et SOULIMANE C.** (2004) - Renouvellement et diachronisme des foraminifères du Toarcien de la téthys maghrébine : Approche par biochronologie quantitative. *Colloque inter.Terre et Eaux, Annaba*, pp. 96-99, 4 fig.
- MAROK A., ELMI S., SEBANE A., BENYAHIA M. et ZAOUÏ Dj.** (2005) - Ammonite turnover and diachronism in the Toarcian of the maghreb tethys : Quantitative biochronological approach. *18^{ème} Colloque des Bassins Sédim. Marocains, Fès*, pp. 51-52.
- MAROK A., SEBANE A., ELMI S. et BENSILI K.** (2007) - Un exemple intéressant d'application de la méthode des Associations Unitaires : Les ammonites du Toarcien de la Téthys Maghrébine. *3^{ème} Séminaire National de Stratigraphie, Laghouat*, pp. 47-48.
- McARTHUR J. M., DONOVAN D. T., THIRLWALL M. F., FOUKE B. W. et MATTEY D.** (2000) - Strontium isotope profile of the early Toarcian (Jurassic) oceanic anoxic event, the duration of ammonite biozones, and belemnite palaeotemperatures. *Earth planet. Sci. Lett.*, n° 179, pp. 269-285.
- MEHIAOUI R. et BOUNOUA B.** (2005) - Les foraminifères du Toarcien moyen et supérieur d'Aïn Killoun (Partie occidentale des Traras septentrionaux, Algérie Nord occidentale). *Dipl. d'Ingéniorat d'Etat, Univ. Tlemcen*, 24 p., 12 fig., 2 pl.

- MONNET C. et BUCHER H.** (1999) - Biochronologie quantitative (Associations Unitaires) des faunes d'ammonites céno-manien du sud-est de la France. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, t. **170**, n° 5, pp. 599-610.
- MORARD A., GUEX J., BARTOLINI A., MORETTINI E. et DE WEVER P.** (2001) - A new scenario for the Domesian - Toarcian transition. *Bull. Soc. Géol. Fr., Paris*, (6-7), n° 4, pp. 351-356, 2 fig.
- MOUSTERDE R. et ELMIS.** (1991) - Caractères différentiels des faunes d'ammonites du Toarcien des bordures de la Téthys. Signification paléogéographique. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, **162**, n° 6, pp. 1185-1195.
- NICOLLIN J. P.** (1983) - Foraminifère du Lias Moyen et Supérieur du Bugey (Jura Méridional). *Thèse Doctorat 3^{ème} cycle, Univ. Cl. Bernard, Lyon*, 147 p., 28 fig., 4 tabl., 12 pl.
- ODIN G. S., GARDIN S., ROBASZYNSKI F. et THIERRY J.** (2004) - Stage boundaries, global stratigraphy, and the time scale: towards a simplification. *Carnets de Géologie/Notebooks on Geology, Brest*, Article 2004/02 (**CG2004_A02**).
- PALFY J., PARRISH R.R. et SMITH P.L.** (1997) - A U-Pb age from the Toarcian (Lower Jurassic) and its use for time scale calibration through error analysis of biochronologic dating. *Earth and Planetary Science Letters* 146, pp. 659-675.
- SAVARY J. et GUEX J.** (1991) - BIOGRAPH: un nouveau programme de construction des corrélations biochronologiques basées sur les associations unitaires. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat., Lausanne*, n° 313, pp. 317-340.
- SAVARY J. et GUEX J.** (1999) - Discrete Biochronological Scales and Unitary Associations: Description of the Biograph Computer Program. *Mém. Géol., Lausanne*, 281 p., 21 fig.
- SEBANE A.** (1984) - Étude systématique et paléocéologique de la microfaune du Lias moyen et supérieur du Djebel Nador (Tiaret-Algérie). *Thèse Doctorat 3^{ème} cycle, Univ. Cl. Bernard, Lyon*, 135 p., 23 fig., 4 pl.
- SEBANE A.** (1997) - Foraminifères benthiques du Lias et du Dogger de la région de Sidi-Boudjenane (Traras méridionaux, Algérie occidentale). *Cah. Univ. Cath. Lyon*, n°10, pp. 65-73.
- SEBANE A., MAROK A. et ELMIS.** (2007) - Evolution des peuplements de foraminifères pendant la crise toarcienne à l'exemple des données des monts des Ksour (Atlas saharien occidental, Algérie). *C. R. Palevol.*, n° 6, pp. 189-196.
- SOULIMANE C., MAROK A., SEBANE A. et HAMMOUDA S.A.** (2006) - Etablissement d'un canevas biochronologique du Toarcien par la méthode des Associations Unitaires : Les biozones à foraminifères. *Séminaire inter. des géosciences au service de développement durable, Tébessa*, 4 p., 4 fig.
- ZAOUI Dj.** (2004) - Biochronologie quantitative des faunes d'ammonites du Toarcien (Domaine Sud-Téthysien). *Dipl. d'Ingénieur d'Etat, Univ. Tlemcen*, 59 p., 43 fig.

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

| | Pages |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Fig.1- Cadre Paléogéographique des régions considérées (voir cadre) au Toarcien (in MAILLIOT et al., 2006 ; modifié)..... | 6 |
| Fig. 2- Situation des 6 bassins analysés | 7 |
| Fig. 3- Différentes sections considérées | 7 |
| Fig. 4- Successions biochronologiques des faunes d'ammonites et des foraminifères au Toarcien | 9 |
| Fig. 5- Zonation du Toarcien utilisées par différents auteurs (d'après BECAUD et al., 2005)..... | 12 |
| Fig. 6- Présentation simplifiée de la méthode des AUs (d'après GUEX, 1991)..... | 15 |
| Fig. 7- Relation stratigraphique conflictuelle existant entre les cliques k_1 et k_4 est due à la présence de trois circuits semi-orientés S3 et S4 (d'après BOULARD, 1993)..... | 16 |
| Fig. 8- Détermination de la relation stratigraphique entre les cliques k_1 et k_4 (d'après BOULARD, 1993)..... | 17 |
| Fig. 9- Exemple des cas de relations stratigraphiques conflictuelles et des coexistences virtuelles (d'après MONNET et BUCHET, 1999) | 17 |
| Fig. 10- Sommets du graphe G_k représentent les cliques maximales (1 à 9) (d'après SAVARY et GUEX, 1991)..... | 18 |
| Fig. 11- Organigramme simplifié montrant les principales opérations durant le traitement analytique des données biostratigraphiques complexes (d'après GUEX, 1991) | 19 |
| Fig. 12- Fréquences relatives des principales familles de foraminifères dans les 6 bassins (avant le traitement) | 27 |
| Fig. 13- Diagramme illustrant les différentes étapes pour l'optimisation de la base de données..... | 28 |
| Fig. 14- Relations stratigraphiques entre les HMR 33 [8.8*] et 36 [4.17*]..... | 30 |
| Fig. 15- Relations stratigraphiques entre les HMR 11 [2.2*] et 25 [10.6*] (A) et les sous- graphes induits interdits de type S3 (B)..... | 31 |
| Fig. 16- Relations stratigraphiques entre les HMR 1 [6.7*] et 14 [1.13*] (A) et les sous- graphes induits interdits de type S3 (B)..... | 32 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 17- Relations stratigraphiques entre les HMR 3 [10.17*] et 17 [7.20*]..... | 32 |
| Fig. 18- Relations stratigraphiques entre les HMR 17 [4.4*] et 23 [7.1]..... | 34 |
| Fig. 19- Protoréférentiel et zones d'Associations Unitaires des foraminifères du Toarcien de la Téthys maghrébine | 35 |
| Fig. 20- Matrice de reproductibilité des 15 AUs et leur réunion en 09 biochronozones | 36 |
| Fig. 21- Indices de reproductibilité des 15 AUs définies..... | 37 |
| Fig. 22- Corrélation des sections analysées à partir des biochronozones | 38 |
| Fig. 23- Diachronisme des foraminifères du Toarcien de la Téthys maghrébine | 40 |
| Fig. 24- Renouveaulement faunique des AUs | 42 |
| Fig. 25- Diversité taxonomique des AUs..... | 42 |
| Fig. 26- Corrélation entre les zones d'Associations Unitaires et la zonation empirique de la province méditerranéenne | 44 |

ANNEXE

ANNEXE

| Taxons | Code |
|------------------------------------------|-------|
| <i>Ammobaculites agglutinans</i> | 107AA |
| <i>Ammobaculites fontinensis</i> | 98AMF |
| <i>Ammobaculites gr. fontinensis</i> | 240IC |
| <i>Ammobaculites sp. A</i> | 255MM |
| <i>Ammodiscus siliceus</i> | 108AD |
| <i>Ammodiscus sp.</i> | 21AMM |
| <i>Ammonodobacularia tazarhinensis</i> | 83ATA |
| <i>Berthelinella paradoxa</i> | 22BPA |
| <i>Bullopora rostrata</i> | 69BRO |
| <i>Citharina cf. cytherella</i> | 233YH |
| <i>Citharina cf. fallax</i> | 242AX |
| <i>Citharina cf. Gillardi</i> | 231HL |
| <i>Citharina cf. serracostata</i> | 238RR |
| <i>Citharina cf. welschi</i> | 230CW |
| <i>Citharina charollensis</i> | 88CCH |
| <i>Citharina clathrata</i> | 127CC |
| <i>Citharina colliezi</i> | 89CCO |
| <i>Citharina cytherella</i> | 58CCY |
| <i>Citharina enigmatica</i> | 77CEN |
| <i>Citharina fallax</i> | 65CFA |
| <i>Citharina iberica</i> | 75CIB |
| <i>Citharina inconstans</i> | 78CIN |
| <i>Citharina longuemari</i> | 145LG |
| <i>Citharina longuemari angusta</i> | 124CA |
| <i>Citharina longuemari gradata</i> | 125CG |
| <i>Citharina longuemari var. aalense</i> | 82CLA |
| <i>Citharina longuemari var. angusta</i> | 86CAN |
| <i>Citharina longuemari var. cordata</i> | 85CLC |
| <i>Citharina longuemari var. gradata</i> | 66CLG |
| <i>Citharina proxima</i> | 126CP |
| <i>Citharina sp.</i> | 225IH |
| <i>Citharina subaequilateralis</i> | 76CSU |
| <i>Citharina welschi</i> | 60CWE |
| <i>Cyclogyra infraoolithica</i> | 216CY |
| <i>Dentalina cf. torta</i> | 243OT |
| <i>Dentalina cylindracea</i> | 103DC |
| <i>Dentalina exilis</i> | 23DEX |
| <i>Dentalina glandulosa</i> | 206EG |
| <i>Dentalina integra</i> | 197DI |
| <i>Dentalina nodigera</i> | 131DN |

| | |
|--------------------------------------------------------|-------|
| <i>Dentalina obscura</i> | 102DO |
| <i>Dentalina pseudocommunis</i> | 47DPS |
| <i>Dentalina sp.</i> | 55DEN |
| <i>Dentalina subnodosa</i> | 251BS |
| <i>Dentalina subsiliqua</i> | 100DS |
| <i>Dentalina subulata</i> | 226IB |
| <i>Dentalina terquemi</i> | 24DTE |
| <i>Dentalina torta</i> | 99DET |
| <i>Dentalina vetusta</i> | 217DV |
| <i>Dentalina vetustissima</i> | 207EV |
| <i>Eoguttulina bilocularis</i> | 48EBI |
| <i>Eoguttulina cruciata</i> | 54ECR |
| <i>Eoguttulina oolithica</i> | 44EOO |
| <i>Eoguttulina ovula</i> | 218TT |
| <i>Eoguttulina polygona</i> | 202EY |
| <i>Eoguttulina triloba</i> | 109ET |
| <i>Ichtyolaria bicostata bicostata</i> | 26IBB |
| <i>Ichtyolaria brizaeformis</i> | 04IBR |
| <i>Ichtyolaria carinata</i> | 25ICA |
| <i>Ichtyolaria gr. major</i> | 256IJ |
| <i>Ichtyolaria hauffi</i> | 61IHO |
| <i>Ichtyolaria nitida</i> | 02INI |
| <i>Ichtyolaria sulcata muelensis</i> | 27ISM |
| <i>Ichtyolaria sulcata sulcata</i> | 28ISS |
| <i>Involutina liassica</i> | 101IL |
| <i>Lagena sp.</i> | 235GP |
| <i>Lenticulina acutiangulata mg. Lenticulina</i> | 29LAL |
| <i>Lenticulina anceps mg. Planularia</i> | 214PS |
| <i>Lenticulina antiquata mg. Astacolus</i> | 254QA |
| <i>Lenticulina antiquata mg. Lenticulina</i> | 253QL |
| <i>Lenticulina bochari mg. Lenticulina</i> | 171LB |
| <i>Lenticulina cf. crepidula mg. Planularia</i> | 249PC |
| <i>Lenticulina cf. deslonchampsii mg. Falsopalmula</i> | 241HP |
| <i>Lenticulina cf. galeata mg. Lenticulina</i> | 248GE |
| <i>Lenticulina cf. ornata mg. Planularia</i> | 227LR |
| <i>Lenticulina cf. speciosa mg. Marginulinopsis</i> | 228CU |
| <i>Lenticulina cf. subalata mg. Lenticulina</i> | 247UB |
| <i>Lenticulina cf. subovalis mg. Planularia</i> | 245PB |
| <i>Lenticulina chicheryi mg. Astacolus</i> | 72LCA |
| <i>Lenticulina chicheryi mg. Falsopalmula</i> | 74LCF |
| <i>Lenticulina chicheryi mg. Lenticulina</i> | 71LCL |

| | |
|------------------------------------------------------------|-------|
| <i>Lenticulina chicheryi</i> mg. <i>Marginulinopsis</i> | 59LCM |
| <i>Lenticulina chicheryi</i> mg. <i>Planularia</i> | 73LCP |
| <i>Lenticulina cordiformis</i> mg. <i>Falsopalmula</i> | 93LRF |
| <i>Lenticulina cordiformis</i> mg. <i>Planularia</i> | 92LRP |
| <i>Lenticulina cuneiformis</i> mg. <i>Falsopalmula</i> | 212EI |
| <i>Lenticulina deslongchampsii</i> mg. <i>Falsopalmula</i> | 118LD |
| <i>Lenticulina d'orbigny</i> mg. <i>Astacohus</i> | 129AS |
| <i>Lenticulina d'orbigny</i> mg. <i>Falsopalmula</i> | 148OR |
| <i>Lenticulina d'orbigny</i> mg. <i>Lenticulina</i> | 95LRL |
| <i>Lenticulina d'orbigny</i> mg. <i>Marginulinopsis</i> | 96LRM |
| <i>Lenticulina d'orbigny</i> mg. <i>Planularia</i> | 130PL |
| <i>Lenticulina filosa</i> mg. <i>Planularia</i> | 139LF |
| <i>Lenticulina gottingensis</i> mg. <i>Lenticulina</i> | 18LGL |
| <i>Lenticulina inaequistriata</i> mg. <i>Planularia</i> | 30LIP |
| <i>Lenticulina incisa</i> mg. <i>Lenticulina</i> | 80LIL |
| <i>Lenticulina insignis</i> mg. <i>Falsopalmula</i> | 11LIF |
| <i>Lenticulina matutina</i> mg. <i>Astacohus</i> | 219LT |
| <i>Lenticulina munsteri</i> mg. <i>Lenticulina</i> | 97LML |
| <i>Lenticulina obliqua</i> mg. <i>Falsopalmula</i> | 208BF |
| <i>Lenticulina obliqua</i> mg. <i>Planularia</i> | 51LBP |
| <i>Lenticulina obonensis</i> mg. <i>Planularia</i> | 56LNP |
| <i>Lenticulina ornata</i> mg. <i>Planularia</i> | 31LOP |
| <i>Lenticulina pennensis</i> mg. <i>Marginulinopsis</i> | 84LPM |
| <i>Lenticulina polygonata</i> mg. <i>Lenticulina</i> | 204LY |
| <i>Lenticulina preobonensis</i> mg. <i>Planularia</i> | 52LPB |
| <i>Lenticulina pseudocrepidula</i> mg. <i>Planularia</i> | 223DP |
| <i>Lenticulina quenstedti</i> mg. <i>Lenticulina</i> | 246QS |
| <i>Lenticulina sigma</i> mg. <i>Marginulinopsis</i> | 224GM |
| <i>Lenticulina</i> sp. <i>A</i> mg. <i>Marginulinopsis</i> | 244CM |
| <i>Lenticulina</i> sp. mg. <i>Falsopalmula</i> | 221OP |
| <i>Lenticulina</i> sp. mg. <i>Marginulinopsis</i> | 211SP |
| <i>Lenticulina</i> sp. mg. <i>Planularia</i> | 215UP |
| <i>Lenticulina</i> sp. mg. <i>Saracenella</i> | 90LES |
| <i>Lenticulina speciosa</i> mg. <i>Marginulinopsis</i> | 13LSM |
| <i>Lenticulina subalata</i> mg. <i>Lenticulina</i> | 128LU |
| <i>Lenticulina subovalis</i> mg. <i>Planularia</i> | 62LUP |
| <i>Lenticulina tenuistriata</i> mg. <i>Falsopalmula</i> | 94LTF |
| <i>Lenticulina toarcense</i> mg. <i>Lenticulina</i> | 70LTL |
| <i>Lenticulina varians</i> mg. <i>Lenticulina</i> | 220AI |
| <i>Lingulina cernua</i> | 113LC |
| <i>Lingulina</i> cf. <i>cernua</i> | 63LCE |

| | |
|-----------------------------------------------|-------|
| <i>Lingulina</i> cf. <i>Laevissima</i> | 236UV |
| <i>Lingulina dentaliniformis</i> | 199IN |
| <i>Lingulina lanceolata</i> | 121LL |
| <i>Lingulina nodosaria</i> | 200IS |
| <i>Lingulina occidentalis</i> | 32LOC |
| <i>Lingulina</i> sp. gr. <i>L. francaunia</i> | 250FR |
| <i>Lingulina tenera carinata</i> | 17LTC |
| <i>Lingulina tenera pupa</i> | 33LTP |
| <i>Lingulina tenera tenera</i> | 42LTT |
| <i>Lingulina testudinaria</i> | 40LTE |
| <i>Marginulina</i> cf. <i>lumbricalis</i> | 252UU |
| <i>Marginulina</i> nov. sp.2 | 81MNS |
| <i>Marginulina</i> nov. sp.3 | 91MAN |
| <i>Marginulina oolithica</i> | 152OO |
| <i>Marginulina prima burgundiae</i> | 16MPB |
| <i>Marginulina prima prima</i> | 41MPR |
| <i>Marginulina prima spinata</i> | 188MS |
| <i>Nodosaria</i> cf. <i>tenera</i> | 53NTE |
| <i>Nodosaria fontinensis</i> | 49NFO |
| <i>Nodosaria globulata</i> | 239GB |
| <i>Nodosaria hortensis</i> | 68NHO |
| <i>Nodosaria metensis</i> | 120ND |
| <i>Nodosaria mitis</i> | 34NMI |
| <i>Nodosaria mutabilis</i> | 79NMU |
| <i>Nodosaria mutabilis fontinensis</i> | 119NM |
| <i>Nodosaria nitida</i> | 64NNI |
| <i>Nodosaria novemcostata</i> | 35NNO |
| <i>Nodosaria obscura</i> | 36NOB |
| <i>Nodosaria oculina</i> | 111NO |
| <i>Nodosaria prima</i> | 67NPR |
| <i>Nodosaria procera</i> | 153CE |
| <i>Nodosaria pulchra</i> | 87NPU |
| <i>Nodosaria regularis</i> | 123NR |
| <i>Nodosaria sexcostata</i> | 110NS |
| <i>Nodosaria</i> sp. | 232ID |
| <i>Nodosaria</i> sp. 1 | 213OS |
| <i>Nodosaria</i> sp. 2 | 222IA |
| <i>Nodosaria subprismatica</i> | 210BP |
| <i>Ophthalmidium</i> aff. <i>Carinatum</i> | 46OCA |
| <i>Ophthalmidium concentricum</i> | 45OCO |
| <i>Ophthalmidium inopinata</i> | 201OU |

| | |
|---------------------------------------|-------|
| <i>Pseudonodosaria cf. pupoides</i> | 229OI |
| <i>Pseudonodosaria gottingensis</i> | 37PGO |
| <i>Pseudonodosaria melo</i> | 104PM |
| <i>Pseudonodosaria multicosata</i> | 38PMU |
| <i>Pseudonodosaria pygmaea</i> | 106PP |
| <i>Pseudonodosaria sp.</i> | 257PD |
| <i>Pseudonodosaria tenuis</i> | 105PT |
| <i>Pseudonodosaria vulgata</i> | 43PVU |
| <i>Reinholdella sp. A</i> | 114RA |
| <i>Reinholdella sp. B</i> | 115RB |
| <i>Reinholdella yakoubi</i> | 57RYA |
| <i>Spirillina infima</i> | 50SIN |
| <i>Spirillina numismalis</i> | 116SN |
| <i>Spirillina orbicula</i> | 117SO |
| <i>Vaginulina aff. Listi</i> | 122VL |
| <i>Vaginulina cf. triangula</i> | 203VT |
| <i>Vaginulina cf. triquetra</i> | 234QU |
| <i>Vaginulina sp. A</i> | 112VS |
| <i>Vaginulina sp. B</i> | 209VB |
| <i>Vaginulina triangula</i> | 39VTR |
| <i>Verneuilinoides cf. subvitreus</i> | 259VO |