

La transgression rupélienne (stampienne) dans les « Sables bleutés » du Haut-Var, démontrée par l'étude palynologique à Saint-Maime (Fossé de Montmeyan, Sud-Est France)

The Rupelian (Stampian) transgression in the "Sables bleutés" du Haut-Var : a demonstration based on palynologic study at Saint-Maime (Montmeyan trough, southeastern France)

Jean-Jacques CHÂTEAUNEUF¹,
Michel VILLENEUVE²
et Denise NURY³

Géologie de la France, n° 1, 2019, p. 1-17, 5 fig., 2 planches photos

Mots-clés : Palynologie, dinoflagellés, Sables bleutés, biostratigraphie, évolution géodynamique, Haut-Var, Provence.

Keywords: *Palynology, Dinocysts, Sables bleutés, biostratigraphy, geodynamic evolution, Haut-Var, Provence*

Résumé

La controverse sur l'âge des Sables bleutés du Haut-Var qui perdure depuis 1966 vient de rebondir à la suite d'une publication récente (J. Philip *et al.*, 2017) développant un argumentaire en faveur d'un âge éocène inférieur pour cette formation et contre les tenants d'un âge oligocène inférieur. Or, si dans la plupart des petits fossés du Haut-Var, les Sables bleutés renferment des faunes et des microfaunes Éocène inférieur et Oligocène inférieur, mélangées en proportions variées, il faut admettre en stratigraphie, le principe universel de l'attribution d'un âge le plus récent pour la formation concernée. C'est d'autant plus vrai pour le fossé de Montmeyan, qui fait l'objet de la présente note et dont les arguments en faveur d'un âge oligocène avaient été brièvement publiés en 1972 à partir du contenu en Nannoplancton, puis longuement développés par F. Touraine dans sa dernière publication (Touraine, 1978). Il y faisait part de la découverte dans un niveau argileux gris au-dessus des calcaires à Bythinies et à la base des sables bleutés de la coupe de Saint-Maime d'une microflore comprenant une trentaine de formes polliniques dont le marqueur du Rupélien B. hohli et d'un faciès laguno-marine, sans citer la présence de dinoflagellés. Ce niveau argileux gris, prélevé en 1972 par F. Touraine en compagnie de D. Nury et contenant du nannoplancton rupélien a été envoyé au BRGM en 1977 pour analyse palynologique.

Nous avons retrouvé les lames des extractions palynologiques datant de cette époque dans les collections du BRGM et avons repris l'étude complète de celles-ci à la lumière des chartes modernes de répartition des formes de spores, pollen et dinokystes publiées depuis 1977. Les résultats confirment et confortent les diagnostics réalisés à l'époque, tout en les complétant. Les grains de pollen sont abondants et variés. Une soixantaine de formes ont été inventoriées (voir liste ci-dessous), toutes présentes dans le Rupélien des bassins ouest-européens. Les marqueurs du Rupélien, tels *Boehlensipollis hohli* et *Carya simplex* sont représentés en grand nombre. Quatre grains de pollen seulement, sur 150 formes comptées, sont remaniés de formations antérieures avec des âges allant du Jurassique à l'Éocène. Les kystes de dinoflagellés, moins nombreux, témoignent d'un environnement de dépôt nettement marin et confirment l'âge oligocène de ce niveau avec la présence de *Enneadocysta arcuata*, *Phthanoperidinium amoenum*, *Dapsilidinium simplex* et *Lejeunecysta spatiosa*. La base des Sables bleutés de la coupe de Saint-Maime dans le fossé de Montmeyan est donc indéniablement d'âge rupélien inférieur.

Nous avons tenté de retrouver au Sud de Quinson, sur la rive gauche du Verdon la coupe de Saint-Maime levée et échantillonnée en 1972 par F. Touraine en compagnie de l'une d'entre nous (D. Nury) et publiée en 1978 par F. Touraine, coupe d'où est issu le niveau analysé par le BRGM. Malheureusement, à l'heure actuelle, la coupe ne présente plus que la partie inférieure de la section, depuis les argiles à œufs d'oiseaux jusqu'au sommet des calcaires à Bithynies et les Sables bleutés n'affleurent plus dans ce secteur.

¹ Jean-Jacques Châteauneuf, biostratigraphe consultant, 8 Quai du Châtelet, 45000 Orléans, France, Email : chateauboy@wanadoo.fr

² Michel Villeneuve, Aix-Marseille Univ., CNRS, IRD, INRA, Coll. France, CEREGE, Aix-en-Provence, France. Email : michel.villeneuve65@gmail.com

³ Denise Nury, SGF, 48, Impasse des Micocouliers, 13390, Auriol, France, Email : denise.nury@orange.fr

Manuscrit reçu le 5 septembre 2018, accepté pour publication le 20 mars 2019

Il nous semble important de publier ces résultats, qui sont en contradiction, du moins pour le fossé de Montmeyan, avec les conclusions de J. Philip *et al.* (2017) afin que le débat reste ouvert et que des preuves irréfutables viennent expliquer la présence, dans ces Sables bleutés, d'Éocène sur certains bassins et d'Oligocène sur d'autres. Une recherche plus poussée sur la géodynamique de mise en place et de fonctionnement de ces petits bassins du Haut-Var pourrait peut-être fournir la clé de ce diachronisme.

Abstract

*The debate about the age of the "Sables bleutés du Haut Var" (Early Eocene versus Early Oligocene) which is lasting since 1966, find a new development with a paper (Philip et al., 2017) favouring an Early Eocene age for this Formation and developing arguments turned against scientists in favour of an Oligocene age. But, as F. Touraine demonstrated (Touraine, 1976), considering that mixed fossils and microfossils from both Early Eocene and Early Oligocene have been found in these Haut-Var troughs, it is admitted by the biostratigraphers community that the ages of youngest fossils prevail against the oldest. It is the case for the Montmeyan trough as exposed in the last publication of F. Touraine (1978) and where a lot of Early Oligocene (Rupelian) pollen grains and dinocysts have been recorded and reported in the present paper. In 1972, a sample was picked by F. Touraine and D. Nury from a grey clayed layer interbedded at the base of the "Sables bleutés" of the Saint-Maime section. This sample contained Nannoplankton interpreted as Oligocene (Nury and Touraine, 1972). The same sample was sent in 1977 to the BRGM to investigate the palynological content and analysed by one author (J.-J. Châteauneuf), who evidenced the occurrence of *Boehleispollis hohli* and marine Dinocysts. In 2018, the palynological slide has been recovered from the BRGM collections and reviewed, throwing a new light on diagnoses owing to modern biostratigraphy charts published since 1978. The results confirm and enhance the conclusions given in the 70's. At least sixty forms similar to those recorded from the main European Oligocene basins have been listed thus confirming the Rupelian age. The key species such as *Boehleispollis hohli* and *Carya simplex* are abundant. Only four pollen grains (over 150) are reworked from older "terrains" (Jurassic to Eocene). The Dinocysts are less numerous but confirm a marine environment for the deposits and an Oligocene age. Among them, *Enneadocysta arcuata*, *Phthanoperidinium amoenum*, *Dapsilidinium simplex* and *Lejeunecysta spatiosa* are the most representative species. Thus, in the Saint-Maime section located to the North of the Montmeyan trough, the base of the poorly fossiliferous "Sables bleutés", is clearly of Early Rupelian age and as a consequence is incompatible with the conclusions published by J. Philip et al. (2017).*

We have tried to locate in the south of Quinson, on the Verdon left riverside a section very similar to the one investigated in 1972 and published in 1978 (Touraine,

1978). Unfortunately, if the bird eggshells marls and the Bithynia limestones are well outcropping, the "Sables bleutés" facies are no longer visible in that area. As an alternative, samples were picked from gypsum marls and Bithynia limestones collected on the Saint-Maime section in order to find microfossils. But the results of analyses were negative.

These results show that the debate on the age of the "Sables bleutés" from the northern Var troughs is not closed and need to be reactivated in order to find a clear and final explanation to the age contradictory "points of view".

1. Introduction

Notre étude porte sur l'âge des « Sables bleutés » que l'on trouve dans des fossés tectoniques localisés en Haute-Provence et principalement dans le Haut-Var (Fig. 1). Cette formation comprend deux unités qui sont les Calcaires à Bithynies à la base puis les Sables bleutés au-dessus (Philip *et al.* 2017). Elle repose généralement sur diverses formations dont la plus récente, les marnes dites à œufs d'oiseaux, attribuée à la base de l'Éocène inférieur.

Ces « Sables bleutés » ont livré des fossiles par endroits dont les âges ont fait l'objet de polémiques mémorables, cette formation étant Éocène inférieur pour les uns et Oligocène inférieur pour les autres. Il est évident que ces attributions entraînent des conclusions différentes sur le contexte géologique et sur l'évolution géodynamique de ces zones comprises entre la chaîne Pyrénéo-Provençale, au Sud, et la chaîne Alpine, au NE (Angelier, 1971 ; Angelier et Aubouin, 1973 ; Touraine, 1966 ; Aubouin et Mennessier, 1963 ; Villeneuve *et al.*, 2018). C'est pourquoi, la détermination de l'âge de ces dépôts est d'une importance capitale pour la géologie de la Provence.

Le contexte géologique autant qu'historique n'a pas facilité la convergence vers une solution unique et consensuelle. L'absence de discordances tectoniques bien identifiées, les nombreux remaniements de fossiles, les changements dans les échelles stratigraphiques de ces périodes, les rivalités entre paléontologistes, ainsi que la dispersion des études sur des bassins séparés les uns des autres sont en partie responsables de cette situation. La plupart des géologues impliqués dans ce débat ont travaillé à des périodes différentes et avec des outils et des méthodes ayant évolué avec le temps. Les initiatives visant à rapprocher les points de vue des protagonistes (notamment celles de la Société Géologique de France en 1968 et en 1973) n'ont pas abouti et ont laissé le débat ouvert jusqu'à nos jours.

Une étude récente (Philip *et al.*, 2017) a relancé ce débat en attribuant ces Sables bleutés à l'Éocène inférieur. Mais cette étude ne tenait pas compte des travaux de palynologie effectués dans les années 1977 par l'un d'entre nous (J.-J. Châteauneuf) qui attribuait la base des Sables bleutés de la partie nord du fossé de Montmeyan à l'Oligocène inférieur en accord total avec les données

d'époque obtenues par D. Nury et F. Touraine (1972) et F. Touraine (1973, 1978) dans ces mêmes formations. Comme les associations de palynomorphes ne comportent quasiment pas de remaniements de formes plus anciennes, nous considérons donc que cette datation à partir des spores, pollen et dinokystes donne l'âge exact du dépôt des Sables bleutés dans le fossé de Montmeyan. Ces résultats réactualisés font l'objet de la présente publication.

La note de J. Philip *et al.* (2017) ne tenant pas compte de ces résultats, nous pensons donc qu'en l'état actuel des connaissances, ce débat sur l'âge des « Sables bleutés » du Haut-Var ne doit pas être clos mais qu'au contraire, il mérite d'être repris dans son ensemble.

2. Cadre géologique des Sables Bleutés

2-1 - Localisation de la formation

La formation des « Sables bleutés » comprend deux unités superposées : les « Calcaires à Bithynies » à la base et les Sables bleutés proprement dits, au-dessus. Elle se situe dans le Haut Var (Provence, Fig. 1).

Elle est présente dans la plupart des fossés du Paléogène varois (Fig. 1b) où sa puissance peut varier entre 0 et 300 m (Touraine, 1976 ; Philip *et al.*, 2017).

2-2 - Historique de la controverse sur l'âge des « Sables bleutés »

L'âge des Sables bleutés du Var et des Calcaires à Bithynies qui leur sont associés ont fait l'objet de controverses depuis la découverte en 1938 par A.F. De Lapparent (1938a et b), au sein de ces sables, d'un reste de mammifère, dans un bloc de calcaire isolé recueilli dans le fossé de Bauduen (Fig.1b), qu'il date du Sparnacien (Éocène inférieur). F. Touraine entreprend dans les années 60, une étude complète des fossés varois, récoltant une abondante faune de gastéropodes qu'il attribue à l'Oligocène inférieur d'après les diagnoses de l'Abbé Rey. Cet âge sera confirmé ensuite par de nombreux spécialistes de ces mollusques et par d'autres études effectuées sur les Ostracodes (Apostolescu et Dellenbach, 1999), le Nannoplancton (Nury et Touraine, 1972 ; Touraine, 1976), les poissons (Gaudant, 1979), les charophytes (Cornet, 1978), etc.

La controverse sur l'âge des Sables bleutés, datant de 1966, s'est vite transformée en polémique opposant les tenants d'un âge éocène inférieur (Lapparent, 1938a et b ; Ginsburg *et al.*, 1967 ; Godinot, 1977, 1981 ; Buffetaut *et al.*, 2016 ; Philip *et al.*, 2017), qui sont essentiellement des paléomammalogistes, avec les tenants d'un âge oligocène inférieur (Touraine, 1966, 1968, 1971, 1973, 1976, 1978 ; Rey, 1966, 1968 ; Nury et Touraine, 1972 ; Triat, 1973 ; Truc, 1973 ; Cornet, 1968, 1973a,b,c,1978 ; Gaudant, 1979, etc.), qui sont principalement des malacologistes ou des sédimentologistes. Les tectoniciens comme J. Aubouin (1973), G. Mennessier (1966), J. Angelier (1971) ont proposé pour la plupart d'entre-eux des interprétations à

partir des âges fournis par les mammalogistes. Pour le détail des tenants et aboutissants de cette controverse, on se reportera aux excellentes synthèses réalisées par J.-C. Plaziat (1973 et 2013 a et b).

En 2017, J. Philip (Philip *et al.* 2017) cosigne avec divers spécialistes (Mammifères, Characées, foraminifères, sédimentologie) une synthèse des connaissances sur l'âge des « Sables bleutés » du Haut Var. Ce travail très complet à l'avantage de fournir des coupes basées sur desaffleurements actuels et des illustrations claires des faunes et des flores discutées dans le texte. Cependant, il apporte très peu de données nouvelles, même sur les minéraux lourds dont C. Cornet (1973a) avait déjà démontré que l'essentiel venait du SE (Maures et Esterel). Ce travail ne résout donc pas le problème des contradictions entre gastéropodes et mammifères, et passe sous silence les mélanges de faunes éocènes et oligocènes (Poissons, Cocolithes et Ostracodes). En ce qui concerne la palynologie, les seuls résultats sur Bauduen sont cités avec effectivement, dans un seul échantillon, une majorité de formes yprésiennes et de charophytes apparemment remaniés (Cornet, 1973c, 1978), mais en oubliant les résultats sur Saint-Maime (Fossé de Montmeyan) qui font état exclusivement de palynomorphes et de dinokystes oligocènes. L'argument le plus tangible de cette contribution vient des charophytes de l'unité II (Calcaires à Bithynies) du synclinal de Rians déterminés par M. Feist et signalés comme étant de l'Éocène inférieur dans l'Appendix A2. La question du remaniement de ces fossiles, évidente dans d'autres fossés (Bauduen notamment), n'y est malheureusement pas abordée.

2-3 - État des connaissances biostratigraphiques (Mammifères, Characées, Ostracodes, Gastéropodes, Nannoplancton, flore).

En 1976, F. Touraine détaille très précisément l'état et les résultats des diverses analyses qui ont été réalisées dans les « Sables bleutés » du Var et du Haut Var.

Pour ce qui est des mammifères, depuis la demi-mandibule de *Paramys lemoinei*, découverte en 1933 dans un bloc isolé attribué aux Calcaires à Bithynies du bassin de Bauduen et datée du Sparnacien (actuellement Yprésien), deux autres gisements de mammifères du même âge ont été découverts : en 1967 par l'équipe de L. Ginsburg dans le petit bassin de Rians et en 2016 dans un gisement voisin (à Esparron) étudié par E. Buffetaut *et al.* (2016). Les Gastéropodes, dont l'étude est entreprise par R. Rey dès 1966, très abondants dans les Calcaires à Bithynies et datés de l'Oligocène inférieur, vont être contrôlés par divers spécialistes au fil des années. Les ostracodes, étudiés par N. Grekoff, puis G. Carbonnel et V. Apostolescu, offrent des associations où les remaniements sont importants mais avec des formes les plus récentes qui datent l'Oligocène. A la Mourotte, les foraminifères peu nombreux comportent des espèces inconnues avant le Lutétien mais également dans le Rupélien. C'est également le cas d'une *Gyrogona* du

groupe coelata (selon Grambast) dont la répartition connue va du Lutétien au Priabonien

Dans le même secteur, J. Gaudant (1979) décrit des Characinidés inconnus dans l'Eocène inférieur. Les Cocolithes, récoltés dans le même niveau que l'échantillon étudié pour le pollen et déterminés par C. Muller, sont, dans leur ensemble, compatibles avec un âge rupélien et à l'inverse, incompatibles avec un âge yprésien, en particulier en raison de la présence de *Transversopontis zigzag* (Roth et Ray, 1967), au sens de C. Muller.

3. Données biostratigraphiques revues sur le bassin de Montmeyan.

Dans le cadre de cette quête générales d'informations, permettant de trancher entre un âge sparnacien (yprésien) et oligocène, F. Touraine a fait parvenir en 1977 au BRGM, par l'intermédiaire de D. Nury, une série d'échantillons prélevés par ses soins dans les Sables bleutés des localités suivantes : butte de Saint-Maime, Bauduen, Limans (ce dernier dans les Alpes de Haute-Provence) afin d'en étudier le contenu en pollen et spores. Pour ce qui est du bassin de Montmeyan, il indique que l'échantillon est un niveau à cocolithes, provenant d'un banc argileux gris prélevé à la base des sables bleutés (Touraine, 1972, 1978)

3-1 - Historique des descriptions géologiques de la butte de Saint-Maime

Le schéma géologique de la Fig. 2a, modifié d'après les données de F. Touraine (1978) et de la carte géologique de Tavernes (Mennessier, 1966), indique que les formations sus-jacentes aux marnes de l'Hauterivien se situent en rive droite (Est) du cours d'eau dit le « Beau Rivé ». Ces formations se terminent par les dépôts horizontaux à dominante clastique attribués au Miocène moyen sur lequel fut construit le village de Saint-Maime. La butte de Saint-Maime, surmontée par les ruines du vieux village, se situe donc au Sud du Verdon et à l'Est du « Beau rivé ». Cette butte a fait l'objet de nombreuses investigations géologiques (Cornet, 1976 ; Touraine, 1978 ; Philip *et al.*, 2017), mais c'est F. Touraine (1978) qui en a donné la coupe la plus complète (Fig. 3a), depuis le substratum Hauterivien jusqu'aux Sables bleutés. Pour ce qui est du Paléogène, le Crétacé est surmonté par des brèches puis par des calcaires marneux (2/3 m) à débris d'œufs d'oiseaux et gastrolithes, puis par des argilites ferrugineuses sans microfossiles mais à microcodium (10 m). La série se poursuit avec des marnes jaunâtres à gypse, des calcaires à Bithynies et enfin par les Sables bleutés. Pour F. Touraine (1978), les argiles et marnes à œufs d'oiseaux font partie de l'Éocène tandis que les marnes à gypse, les Calcaires à Bithynies et les Sables bleutés sont d'âge oligocène. C. Cornet (1976) présente une coupe identique à celle de F. Touraine sur ce même versant Ouest de la butte de Saint-Maime. Ceci nous montre que les conditions d'affleurement étaient bien meilleures à cette époque.

3-2 - localisation des nouvelles coupes géologiques échantillonnées (Quinson sud)

Nous avons tenté de retrouver sur la zone de Saint-Maime, au Sud de Quinson et en rive gauche (sud) du Verdon, la coupe levée par F. Touraine en 1972 et le niveau échantillonné à la base des Sables bleutés qui a livré les nannofossiles et la palynoflore (Touraine, 1978). Mais malheureusement la partie supérieure de la coupe publiée par F. Touraine dans les sables bleutés n'affleure plus. Nous avons donc recherché les formations décrites par F. Touraine sur deux coupes proches, localisées sur la Fig. 2a : une coupe située à l'Est de la route qui mène à l'ancien village de Saint-Maime (Fig. 2b) et une coupe située sur la rive droite (Est) du cours d'eau « Beau Rivé », affluent du Verdon (Fig. 2c). La coupe de Saint-Maime est de loin la plus intéressante car elle est la plus proche, en termes de succession de formations, de celle de F. Touraine.

En effet, la coupe de Beau Rivé montre un développement important des marnes jaunâtres à gypse et des Calcaires à Bithynies, mais les formations sous-jacentes (marnes rouges à Gastrolithes et œufs d'oiseaux) n'affleurent pas, de même que les Sables bleutés. Par ailleurs, elle ne présentait aucun faciès favorable à une analyse palynologique.

3-3 - La coupe de Saint-Maime

Elle se situe à l'Est de la route qui mène du Verdon vers l'ancien village de Saint-Maime (Planche1, photo1), à hauteur de la villa « Gallice/Candeloro ». Elle démarre dans un vallon situé en contrebas de la route et se poursuit sur une vingtaine de mètres jusqu'au sommet d'une butte enfouie dans les arbres (Fig. 2b). Le log lithostratigraphique de la Fig. 3b donne la succession des niveaux rencontrés. De bas en haut on trouve : 1/ les argiles gréseuses rouges à galets gréseux arrondis (Photo 2, Pl. I) et à minces lits de calcaires en plaquettes (puissance supérieure à 10 m). Il s'agirait du niveau 2 de la coupe de F. Touraine (Fig. 3a) autrement dit des « argilites ferrugineuses à microcodium » ; 2/ une alternance de marnes jaunâtres et de calcaires clairs en plaquettes (sur 2,50 m) (il s'agirait du niveau 3 de la coupe de la Fig. 3a) ; 3/ un niveau argileux à patine bleue sur 1,50 m (Photo 3 et 4, Pl. I) ; 4/ des alternances de niveaux gypseux sombres à « convolute bedding » et de passées de calcaire clair (algaires ?) bien litées (échantillon HV10b, Photo 5, Pl. I) sur 4 m d'épaisseur. Il s'agirait du niveau a de la Fig. 3a ; 5/ des marnes brunes fortement érodées ; 6/ 2 à 4 m de terre végétale noire ; 7/ des éboulis. Cette coupe n'atteint pas les « Calcaires à Bithynies » bien représentés sur la coupe de la Fig. 3a. Ceux-ci sont présents dans la coupe de Beau Rivé (6, Pl.I) mais trop cristallisés pour que l'on puisse en extraire de la microflore. Les Sables bleutés sus-jacents sont actuellement enfouis sous les champs et totalement invisibles sur les deux coupes.

Nous avons échantillonné la coupe de Saint-Maime à la Villa Gallice car elle semblait présenter des niveaux plus

argileux en plaquettes (échantillon HV10a) qui nous paraissaient favorables à une analyse palynologique. Malheureusement, les extractions effectuées n'ont fourni aucune matière organique. Une corrélation avec la coupe de J. Philip *et al.*, (2017) portant le nom de Saint-Maime, mais qui apparemment correspond à la localité de Costebelle située à quelques kilomètres plus au Sud, situerait ce niveau à la base des Sables bleutés (fig.4).

4. Données palynologiques nouvelles (Pl. 2)

4-1 - Révision de l'analyse palynologique et interprétations stratigraphiques à partir des échelles récentes de spores, grains de pollen et kystes de dinoflagellés.

En 1977, un des nôtres (J.-J. Châteauneuf) recevait les prélèvements de F. Touraine par l'intermédiaire de D. Nury et renvoyait les diagnostics palynologiques à D. Nury dans un courrier daté du 25 juillet 1977. Il signalait la présence, dans le niveau de la butte de Saint-Maime, de *Boehlensipollis hohli*, marqueur du Stampien (Sittler *et al.*, 1975) et du kyste de dinoflagellé *Areosphaeridium arcuatum* (aujourd'hui *Enneadocysta arcuata*) dont la présence dans les chartes internationales des bassins ouest-européens débute au Lutétien (Köthe, 1990, 2012 ; Gradstein *et al.*, 2012). Par ailleurs, aucun pollen caractéristique du Sparnacien (Yprésien) n'était noté. Ces résultats ont été brièvement évoqués par F. Touraine dans sa note sur le fossé de Montmeyan publiée en 1978 (Touraine, 1978, p. 101).

La lame n° 10522, correspondant à cet échantillon a été retrouvée dans les collections du BRGM et réexaminée avec l'avantage de bénéficier en 2018 de tout le travail réalisé en près de 40 ans sur la répartition stratigraphique des flores et des dinokystes des bassins paléogènes de France et, particulièrement de Provence, et plus généralement, d'Europe occidentale. La flore révisée comporte donc les formes suivantes :

- Microflore

Les spores sont peu nombreuses : *Leiotriletes sinusoides*, *Retitriletes oligocaenicus*.

Par contre, les grains de pollen sont très abondants et témoignent d'une flore variée :

Pinaceae (Pinus, Cathaya, Abies) 10 %

Cupressaceae-Taxodiaceae spp.

Inaperturopollenites hiatus (Taxodiaceae)

Cycadopites sp. (Cycadaceae)

Magnopollis sp. (Magnoliaceae)

Sparganiacaepollenites Sparganioides (Sparganiaceae/
Typhaceae)

Milfordia hungarica (Restionaceae, Restio, Lygina)

Ephedripites fusiformis (Ephedraceae)

Plicatopollis engelhardtoides (Juglandaceae) 10 %

Carya simplex (Juglandaceae)

Tripoporopollenites coryloides (Betulaceae, Corylus)

Trivestibulopollenites betuloides (Betulaceae, Betula)

Triatriopollenites sauerae (Myricaceae)

Polyporopollenites stellatus (Pterocarya, Juglandaceae)
8 %

Polyporopollenites undulatus (Ulmus, Ulmaceae) 5 %

Polyporopollenites verrucatus (Zelkova, Ulmaceae)

Malvacipollis sp. (Euphorbiaceae, Austrobuxus)

Pseudospinaepollenites pseudospinosus (Thymeleaceae,
Daphne, Stellaria)

Scabratricolpites microhenrici (Fagaceae, Quercus) 10 %

Scabratricolpites asper (Fagaceae, Quercus)

Psilatricolpites parmularius (Eucommiaceae, Eucommia)

Mediocolpopollis compactus (in Schuler, 1988)

Santalaceae, Santalum

Retitricolpites henisensis (Hamamelidaceae, Eustigma,
Ostrearia, Trichocladus)

Tricolporopollenites pseudocingulum (Anacardiaceae,
Rhus, Spondias ?, Mangifera?)

Psilatricolporites cingulum fusus et P. pusillus (Fagaceae,
Castanea)

Psilatricolporites megaexactus (Cyrillaceae)

Verrutricolporites theaceoides (Theaceae, Gordonia)

Scabratricolporites araliaceoides (Araliaceae)

Scabratricolporites sp. (Hydrocotyle, Umbelliferae)

Scabratricolporites anatinus (Euphorbiaceae, Mallotus)

Tricolporopollenites irregulatus (Euphorbiaceae ?)

Clavatricolporites microiliacus (Aquifoliaceae, Illex)

Psilatricolporites psilatus (Ebenaceae, Diospyros)

Scabratricolporites edmundi (Mastixiaceae)

Tricolporopollenites cf. marcodurensis (Vitaceae, Cissus,
Parthenocissus)

Retitricolporites jeanninae (Araliaceae)

Sapotaceae spp. 10 %

Tetracolporopollenites sapotoides (Sapotaceae,
Mimusops)

Tetrastephanocolporites oblongus (Sapotaceae,
Nesoluma)

Psilastephanocolporites ovatus (Sapotaceae)

Sapindaceae sp.

Pentapollenites striangulus (Simaroubaceae ?)

Boehlensipollis hohli (Eleagnaceae)

- Formes remaniées rares (un seul exemplaire de chacune des formes)

Brosipollis (Crétacé terminal à Éocène inférieur)

Nudopollis (Crétacé supérieur à Éocène inférieur)

Classopollis (Jurassique ou Crétacé)

Plicapollis pseudoexcelsus (répartition sur l'ensemble de l'Éocène)

- Kystes de dinoflagellés (50 exemplaires présents dans la lame)*Phthanoperidinium amoenum* (40 %)*Spiniferites ramosus ramosus* (15 %)*Achomosphaera ramulifera* (10 %)

Distatodinium sp.

Enneadocysta arcuata (15 %)*Heterosphaeridium heteracanthum* (5 %)*Cleistosphaeridium placacanthum**Deflandrea phosphoritica* (5 %)*Cribooperidinium tenuitabulatum**Dapsilidinium simplex**Homotryblium pallidum* (5 %)*Lingulodinium macherophorum**Lejeunecysta spatiosa*

Thalassiphora sp.

Dinokystes indéterminés (abimés) 5 %

4-2 - Arguments en faveur d'un âge rupélien de la base des Sables bleutés dans le fossé de Montmeyan, sur la base des résultats de l'analyse palynologique.**- à partir des spores et pollen**

Les critères pris en compte sont les limites de répartition stratigraphique et l'abondance des formes citées, basés sur les travaux de palynologie des équipes de Paris VI (Châteauneuf, 1980), de Rennes (Ollivier-Pierre, 1980) de Strasbourg (Schuler, 1988 ; Roche et Schuler, 1976) et du BRGM (Gorin, 1975), pour le Paléogène des bassins septentrionaux, puis des palynologues de Strasbourg (Sittler, 1984) et du BRGM (Châteauneuf et Nury, 1995 ; Nury *et al.*, 2015) pour l'Oligocène de Provence.

Parmi les formes citées plus haut dans le niveau de la butte de Saint-Maime, un certain nombre de genres ou de familles ont une répartition très large qui couvre l'Eocène et l'Oligocène, tels les Juglandaceae, les Pinaceae, Les Cupressaceae-Taxodiaceae, les Fagaceae ou les Sapotaceae.

Nous ne nous intéresserons qu'aux formes dont la répartition est limitée au Rupélien, et en premier lieu au marqueur *Boehlensipollis hohli*. Une synthèse sur la présence de cette forme, strictement limitée au Rupélien, a été réalisée par l'ensemble des palynologues travaillant sur l'Oligocène en 1975 (Sittler *et al.*, 1975). Depuis cette époque, la répartition de cette forme n'a pas été remise en question.

Dans le bassin de Marseille, elle apparaît avec les premiers niveaux à Striatelles (Châteauneuf et Nury, 1995 ; Nury *et al.*, 2016). Elle est présente dans les molasses oligocènes du bassin de Barrême (Carbonnel *et al.*, 1972) et dans les marnes à foraminifères du massif des Bornes, avec une association pollinique tout à fait comparable à celle de Saint-Maime. Enfin, elle caractérise la séquence C des marnes de la Grande Limagne (Gorin, 1975).

Sa diagnose est ici confirmée par plusieurs formes bien conservées (voir Pl. 2). Une autre forme très répandue dans l'Oligocène dès sa base est *Carya simplex*. Par sa grande taille, sa forme régulière et son abondance, il ne peut pas être confondue avec les différentes espèces répertoriées dans le Paléogène inférieur (Châteauneuf, 1980 ; Schuler, 1988).

La grande majorité des formes représentées, en association avec les précédentes, sont présentes souvent en abondance dans le Ludien (Priabonien p.p) et le Sannoisien (Rupélien inférieur) du bassin de Paris. Quelques-unes, classées dans les mégathermes, et qui disparaissent au sommet du Ludien, persistent en Provence dans les Sables bleutés qui sont indéniablement d'âge rupélien inférieur (voir ci-dessous argumentaire complémentaire à partir des dinokystes)

- à partir des dinokystes

L'association n'est pas très riche mais comporte des formes qui nous permettent de la dater du Rupélien inférieur.

Enneadocysta arcuata, dont l'apparition se produit dans le Lutétien a une répartition relativement courte qui se termine dans le Rupélien inférieur (zones de nannoplancton NP15 à NP23) avec un pic d'abondance dans les Marnes à Huîtres et les Argiles à Corbules du bassin de Paris.

Phthanoperidinium amoenum est la forme la plus importante du point de vue de la stratigraphie. Sa répartition est strictement sannoisienne avec des pourcentages de 5 à 30 % dans le bassin de Paris (Châteauneuf, 1980), c'est-à-dire comparables à ceux que nous avons dans les Sables bleutés. En Allemagne et en Mer du nord, cette forme couvre les zones de dinokystes D13 à D14a, soit les zones NP22 et la base de NP23 de nannoplancton (Köthe et Piesker, 2007) du Rupélien inférieur.

Dapsilidinium simplex, qui apparaît dans le Sannoisien du bassin de Paris, couvre dans les bassins d'Europe du nord l'intervalle D13 à D15, soit les zones NP22 à NP25 du nannoplancton (Köthe et Piesker, 2007).

Enfin, *Lejeunecysta Spatiosa* est pointé en Allemagne du Nord (Köthe et Piesker, 2007) dans la zone D14 (nannozone NP23).

Les autres formes déterminées sont présentes dans le Rupélien mais ont des répartitions moins intéressantes car beaucoup plus larges.

Outre les résultats sur l'âge de ce niveau, l'association de dinokystes marins va nous permettre de réfuter un remaniement des formations antérieures dans la mesure où celles-ci sont essentiellement continentales et/ou fluvio-lacustres.

Le développement des divers genres de dinoflagellés est fonction de la bathymétrie, de la salinité et des nutriments. C'est ce qu'ont montré les recherches sur les formes actuelles. La fréquence des dinokystes fossiles a

été corrélée avec les environnements de dépôts et la salinité pour tenter de les utiliser comme marqueurs de ces environnements en particulier dans le Paléogène (Brinkhuis, 1992 ; Köthe, 1990 ; Sluijs *et al.*, 2005).

Pour ce qui concerne le niveau à dinokystes de Saint-Maime :

Enneadocysta (anciennement Areosphaeridium), Homotryblium et Phthanoperidinium sont abondants dans la zone côtière et lagunaire avec une salinité anormale.

Spiniferites, Achomosphaera, Distatodinium, Cribroperidinium, Dapsilidinium et lejeunecysta sont abondants dans les environnements plus ouverts, de type néritique

Deflandrea serait contrôlé par la présence de nutriments beaucoup plus que par la bathymétrie (Brinkhuis, 1992).

Compte-tenu des conditions de préservation, de dépôts et de fossilisation de ces kystes, des mélanges entre les formes benthiques et littorales peuvent se produire. Cependant, il est exclu que cette association puisse provenir de surfaces endoréiques totalement isolées du domaine marin de type Sabkha (Gasse *et al.*, 1987).

En conclusion de cette étude, la présence de ces fossiles accredité l'âge oligocène inférieur des « Calcaires à Bithynies » de la partie nord du synclinal de Montmeyan et par là même des « Sables bleutés » sus-jacents, ce qui est en accord avec les conclusions de la « Synthèse Géologique du Sud-Est de la France ». (Debrand-Passard *et al.*, 1984).

4-3 Résultats des analyses sur une autre coupe et interprétation du phénomène de remaniements des sédiments éocènes sur celle-ci.

Dans le lot des échantillons transmis par F. Touraine en 1977, figure un prélèvement dans les Sables bleutés de Bauduen (marnes grises feuilletées à ostracodes, à la base des Sables bleutés).

Cet échantillon a livré une microflore très pauvre, sans Conifère et sans dinoflagellés. On y trouve *Plicapollis pseudoexcelsus*, *Anacolosidites pseudoefflatus*, *Hexastephanopollenites cf. obscurus* et plusieurs exemplaires de *Carya circulus*, *Interpollis supplengensis* et d'*Ulmus* du type *Subtriporopollenites firmus* (cf. Ollivier-Pierre, 1980). Cette association évoque plutôt l'Éocène inférieur, le reste de la microflore étant constitué de formes cosmopolites à large répartition. Cet échantillon prélevé au centre du bassin de Bauduen ne correspond pas aux données des autres échantillons prélevés par ailleurs dans ce même fossé. Selon J.-C. Plaziat (2013b) « une étude palynologique permet de monter que les faciès de la base des « Sables bleutés » de Mallavasse et de Bauduen sont en accord avec l'âge Stampien, tandis qu'un échantillon du centre du fossé fournit un spectre palynologique typique de l'Éocène inférieur » (Cornet, 1973). Cet auteur précise que les marnes sous-jacentes au niveau de ce dernier échantillon contiennent des pollens de « l'Oligocène

probable ».

En aucun cas cet échantillon a pollen de l'Éocène inférieur ne peut cautionner l'âge éocène inférieur des « Sables bleutés » du synclinal voisin de Rians (Philip *et al.*, 2017), d'autant que C. Cornet (1978) a signalé, au nord de Saint-Barthelemy, la présence d'une dalle calcaire intercalée dans les « Sables bleutés » et contenant « *Potamides lamarcki* », gastéropode caractéristique du Rupélien, de sorte qu'en 1976 (Cornet, 1976), l'auteur attribuait ces « Calcaires à Bithynies » au Stampien (Rupélien).

5. Discussion

Ces déterminations réactualisées des pollens sont d'autant plus importantes qu'elles n'ont pas pu être corroborées par une révision des gastéropodes. En effet, la collection des gastéropodes que F. Touraine avait confiée à D. Nury et qui devait être examinée au Musée d'Aix-en-Provence par des spécialistes du Muséum de Paris, a été retirée du laboratoire de Marseille.

5-1 - Implications sur la stratigraphie des Sables bleutés

Les données palynologiques sur Bauduen confirment en grande partie les données de la littérature sur l'hypothèse d'un remaniement d'Éocène inférieur dans les Sables bleutés du Haut Var, du moins pour une partie des fossés.

Par contre, dans la coupe de Saint-Maime, la longue liste des spores et pollens et des dinokystes attribuables à l'Oligocène inférieur et provenant de la base des Sables bleutés assignent sans ambiguïté un âge oligocène inférieur à cette formation, ce qui est en accord avec les données de D. Nury et F. Touraine (1972) obtenues à partir des coccolites et de F. Touraine (1978) à partir des gastéropodes déterminés par R. Rey (1966). Au contraire, ces résultats sont en contradiction totale avec les conclusions de J. Philip *et al.* (2017).

Comme il est désormais admis qu'il n'y a qu'une seule formation à « Sables bleutés » (même si ce point était controversé dans les années 70) et qu'elle succède bien dans le temps aux argiles à « œufs d'oiseaux » attribuées à l'Éocène inférieur, le débat sur l'âge des Sables bleutés reste ouvert.

F. Touraine place la limite entre l'Éocène et l'Oligocène au sommet du niveau 2 de la coupe de Saint-Maime. Pour le moment, le seul élément de calage dont nous disposons est l'âge oligocène des « Calcaires à Bithynies ». Par ailleurs, les divers niveaux sont concordants et rien ne permet d'y suspecter une lacune sédimentaire de près de 14 Ma.

Les fréquents remaniements de fossiles sont à l'origine de divergences sur l'âge des dépôts dans de nombreux bassins, ceci malgré la règle admise par tous les stratigraphes selon laquelle « les dépôts sont

contemporains ou postérieurs à l'âge des fossiles les plus récents qu'ils contiennent ».

5-2 - Implication sur la sédimentation.

Selon que l'on admet un âge Éocène inférieur ou oligocène inférieur, les interprétations sédimentologiques sont différentes. Outre les observations de terrain, parfois sujettes à caution, la prise en compte de la paléogéographie est indispensable à la compréhension des bassins. L'Éocène inférieur est une période durant laquelle les dépôts marins sont absents en Provence, tandis qu'à l'Oligocène inférieur, la sédimentation est très active, avec ouverture de fossés Nord-Sud dans tout le continent européen. Tel est le cas en Haute-Provence dont les bassins se connectent à ceux des Alpes.

Mais les interprétations peuvent également diverger bien que les auteurs soient d'accord sur l'âge. Il en est ainsi entre C. Cornet et F. Touraine qui tous deux défendent un âge oligocène inférieur pour les Sables bleutés. Ainsi, C. Cornet (1973b) propose un modèle de nappe alluviale fluviale alimentée par l'érosion des reliefs de la chaîne « pyrénéo-provençale », tandis que F. Touraine (1978) attribue ces dépôts à une transgression « rupélienne ».

La présence de dinokystes et de nannoplancton, dans la coupe de Saint-Maime, montre qu'à cet endroit, une ingression marine d'âge oligocène inférieur est envisageable, ce qui n'exclut pas l'existence d'apports fluviaux issus du Sud. Ainsi la situation paléogéographique de Saint-Maime, secteur pas très éloigné des sillons de Majastre, de Barrême et d'Eoulx (Fig. 1b), rend possible une connexion marine, tandis que dans les autres bassins oligocènes, l'environnement de dépôt correspondrait à des lacs plus ou moins salés (Plaziat, 2013a). Selon S. Ferry, (Grosjean *et al.*, 2012), le deuxième terme de la "trilogie nummulitique marine" du bassin d'avant-chaîne subalpin, les Marnes bleues inférieures, seraient déjà rupéliennes. La vidange du bassin flexural s'effectuerait au Rupélien supérieur avec les Conglomérats de Saint-Lions à galets alpins, passant au Grès de Senez au Sud puis à des calcaires lacustres (Taulanne). A la fin du Rupélien, la mer disparaît du secteur. Une phase tectonique intervient alors, qui modifie les polarités paléogéographiques, avec une molasse torrentielle à fluviale chattiennaise, proximale au Sud, distale au Nord, et qui se raccorde plus au Nord encore à un système méandrique périalpin à graviers alpins. Compte-tenu de ce qui précède, il est donc tout à fait possible que les Sables bleutés aient pu représenter un système alluvial provençal (distinct des apports classiques du secteur de Saint-Antonin plus à l'Est) alimenté du Sud et passant vers le Nord aux marnes nummulitiques marines du synclinal de Blieux. Les faciès à bithynies pourraient représenter, dans l'hypothèse où ils seraient bien oligocènes, le maximum de transgression rupélienne vers le Sud (faciès margino-littoraux) et les Sables bleutés surincombants, la partie régressive à dominance fluviale du cycle. Ainsi pourrait s'expliquer la présence de *P. lamarcki* dans des calcaires pédogénétiques ou lacustres intercalés

dans les Sables bleutés.

5-3- Implication géodynamique et principaux événements tectoniques.

Au-delà d'un simple désaccord entre spécialistes de diverses disciplines paléontologiques et, comme le soulignait J. Aubouin (1973), le problème de l'âge de dépôt des Sables bleutés a une importance capitale pour la compréhension de l'évolution géodynamique et tectonique de cette zone.

En effet, les divergences relatives à l'âge de ces sables bleutés conduisent à des conclusions différentes que schématisent les scénarios H1 et H2 représentés sur la Fig.5.

Dans l'hypothèse où les Sables bleutés appartiennent à l'Éocène inférieur (hypothèse H1), on doit admettre que l'essentiel des manifestations tectoniques compressives postérieures à celles du Crétacé inférieur (Y1= Bombement durancien) et du Crétacé supérieur (Y2 = phase tectonique campano-maastrichtienne) sont liées à la dernière phase tectonique pyrénéo-provençale (Y3) datée du Bartonien (Éocène supérieur) et consécutive à une lacune importante de l'Éocène moyen. Dans ce cas, les dépôts attribués à l'Oligocène inférieur (formation de Bourdas) se seraient mis en place dans des fossés engendrés par une phase tectonique extensive et auraient été déformés (phase Y4) avant les dépôts du Miocène moyen qui les recouvre.

Si, au contraire, on admet que les Sables bleutés sont d'âge oligocène inférieur (hypothèse H2), il faut également admettre que, là où ils sont plissés et chevauchés, comme dans le synclinal de Bourdas (Touraine, 1974) ou le bassin de Salernes (chevauchement de Sillans), une phase tectonique compressive post-rupélienne identique à celle décrite dans le fossé de Marseille (Villeneuve *et al.*, 2016) s'est exercée (phase Y4) et a été suivie par des mouvements tectoniques alpins (phase Y5) affectant les dépôts du Miocène moyen. Il s'agit donc de deux évolutions géodynamiques différentes. C'est aussi l'hypothèse envisagée par C. Cornet (1980) dans le fossé de Bauduen où les calcaires du Jurassique chevauchent les Sables bleutés tout en étant eux même recouverts par les sédiments Ponto-Pliocène du bassin de Valensole

Une difficulté majeure dans le choix du modèle tient au fait que les déformations liées à chacune des phases tectoniques ne sont pas générales mais s'exercent préférentiellement dans l'environnement des grands accidents tectoniques. Ainsi, dans la partie centrale du bassin de l'Arc, à l'écart des zones faillées, les dépôts du Crétacé supérieur, de l'Éocène et de l'Oligocène sont subhorizontaux et concordants, bien qu'une phase tectonique bartonienne ait affecté ce bassin. L'absence de discordance ou de surface d'érosion en un point particulier n'est donc pas un critère suffisant pour réfuter une lacune ou une phase tectonique à l'échelle régionale.

5-4 – Point sur les divergences d'interprétation

La détermination de l'âge de dépôt des Sables bleutés du Var est un point essentiel pour la compréhension de l'évolution géologique de la Provence du Crétacé supérieur jusqu'au Miocène. Cette évolution s'accompagne en particulier d'importants transferts de matériaux de la chaîne pyrénéenne vers la chaîne alpine.

Dans ces conditions, il est essentiel de bien distinguer ce qui est admis par tous de ce qui est controversé. Il faut également prendre en compte les remaniements de fossiles et l'évolution des systèmes géologiques dans le temps et dans l'espace (progradation des dépôts par exemple).

Les données admises par tous :

- Existence d'une seule formation de « Sables bleutés » comportant les « Calcaires à Bithynies » à sa base ;
- Ces deux ensembles reposent sur les « Argiles à œufs d'oiseaux » attribués à l'Éocène inférieur (Yprésien)
- Absence de renversement des successions lithostratigraphiques malgré les chevauchements ;
- Rareté des fossiles dans les « Sables bleutés » en dehors des horizons calcaires et des lentilles à restes de mammifères ;
- Absence de contact direct entre faciès oligocènes de type « Bourdas » et « Sables bleutés » ;
- Absence des Sables bleutés et Calcaires à Bithynies dans les bassins de Marseille et d'Aix-en-Provence, mais présence dans les bassins du Vaucluse ou des Alpes de Haute-Provence ;
- Attribution des déformations du synclinal de Bourdas à une phase tectonique post-rupélienne ;
- Localisation des gisements de mammifères dans le sillon méridional orienté W-E de Rians –Salernes. (Hormis la mandibule de *Paramys lemoinei* dans un bloc de calcaire isolé dans fossé de Bauduen).

Les données controversées:

- L'âge des Calcaires à Bithynies et des Sables bleutés ; éocène inférieur pour les uns et oligocène inférieur pour les autres ;
- L'origine des « Sables bleutés » ; nappe alluviale pour les uns et dépôts liés à une ingression marine pour les autres ;
- L'importance des remaniements, notamment ceux d'âge Éocène inférieur dans l'Oligocène inférieur ; essentiels pour les uns, négligeables pour les autres, voire niés par certains qui n'admettent pas l'attribution des sables bleutés à l'Oligocène inférieur ;
- -L'importance et le style des discordances (stratigraphiques avec lacune, tectoniques ou érosives), non observées par les uns et au contraire, majeures pour les

autres ;

- L'âge et le nombre d'événements tectoniques ; bartonien et post-oligocène pour les uns, et bartonien, fini-oligocène inférieur (Rupélien) et miocène pour les autres.

7. Conclusion

52 ans après le début des débats sur l'âge des « Sables bleutés » du Var et des « Calcaires à Bithynies », le présent article comble un vide sur l'apport des études palynologiques, qui avaient été abordées peu de temps avant la disparition de F. Touraine. Elles démontrent, sur les quelques échantillons analysés et en particulier sur le fossé de Montmeyan, d'une part, l'âge Rupélien inférieur irréfutable de ces sables ainsi qu'une ingression marine associée du même âge, d'autre part, sur les autres bassins, un mélange de flores yprésienne et rupélienne en proportions variées que nous interprétons comme un remaniement de la première au sein des dépôts de la seconde. La présence d'environnements marin ou littoral dans le fossé de Montmeyan et continentaux dans les fossés plus méridionaux tend à démontrer la variabilité et la complexité de fonctionnement de ces petits bassins.

Pour l'avenir, les avancées dans la connaissance de ces bassins, passent par les outils modernes de géologie tels : la précision croissante des chartes biostratigraphiques, les techniques d'étude en « haute définition » de la sédimentation issues de la physico-chimie. Ils permettront sans doute de trouver des solutions définitives aux différents problèmes posés. L'enjeu est de taille puisqu'il s'agit ni plus ni moins que de préciser l'histoire géodynamique de la Provence dans une zone charnière entre les chaînes Pyrénéo-Provençale et Alpine.

Remerciements

Nous tenons à remercier particulièrement les relecteurs du manuscrit pour leurs avis sur la forme et le fond : Serge Ferry de l'Université de Lyon pour ses remarques sur la paléogéographie et la géodynamique locale, Émile Roche et Claude Cavellier pour la biostratigraphie ainsi que Denis Thieblemont pour la relecture générale et la mise en forme du côté du BRGM.

BIBLIOGRAPHIE

- Angelier J.** (1971) - La partie septentrionale de la bande triasique de Barjols (Var). 1re partie : la bande triasique et son cadre géologique au Nord de Barjols ; 2e partie : le Crétacé terminal et le Paléogène du bassin de Rians ; leurs variations dans la « gouttière » nord-provençale. PhD.
- Angelier J., Aubouin J.** (1973). Stratigraphie et structure du Paléogène nord-varois dans Les entours septentrionaux de la bande de Barjols (Var). *Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France*, 1973, p. 22-26, 1 fig.
- Apostolescu V., Dellenbach J.** (1999) - Contribution des ostracodes à la biostratigraphie et à la paléobiogéographie de l'Oligocène de Haute-Provence (SE de la France). *Géologie Méditerranéenne*, 26 (3-4), 153-183.
- Aubouin J.** (1973) - In Touraine 1973 : *Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France*, 1973, p.1216.
- Brinkhuis H.**, (1992a) - Late Eocene to Early Oligocene Dinoflagellate Cysts from Central and Northeast Italy. PhD thesis, Univ. Utrecht, The Netherlands.
- Buffetaut E., Giner S., Amoros A., Angst D., Claude J., Martin J., Tabuce R., Tong H.** (2016) - Un nouveau site de vertèbres paléogènes dans les « Sables bleutés » du Var : Implications pour l'âge de cette formation. Résumés des communications du Congrès de l'Association Paléontologique française, p. 17.
- Carbonnel G., Châteauneuf J.J., Feist-Castel, M., (De) Graciansky, P.C., Vianey-Liaud, M.** (1972) - Les apports de la Paléontologie (Spores et Pollen, Charophytes, Ostracodes, Mammifères) à la stratigraphie et à la paléogéographie des molasses de l'Oligocène supérieur de Barrême (Alpes de Haute-Provence) *Cr. Acad. Sc. Paris*, t. 275, Ser. D, 2599, 4 p.
- Châteauneuf J.-J.** (1980). Paléostratigraphie et paléoclimatologie de l'Éocène supérieur et de l'Oligocène du bassin de Paris. *Mém. Bur. Rech. Géol. Minières*. 116, 357 p.
- Châteauneuf J.-J., Nury D.** (1995). La flore de l'Oligocène de Provence méridionale : Implications stratigraphiques, environnementales et climatiques. *Géologie de la France*, 2, 43-55.
- Cornet C.** (1968) - Observation à la suite des notes de F. Touraine et R. Rey sur l'âge oligocène des sables bleutés du Var. *Compte Rendu sommaire des séances de la Société géologique de France*, p 34. **Cornet C.** (1973a) - Le complexe des sables bleutés représente une seule nappe alluviale morcelée ultérieurement par la tectonique cassante à l'origine des fossés nord-varois. *Compte Rendu sommaire des séances de la Société géologique de France*, 16-17.
- Cornet C.** (1973b) - La nappe alluviale des Sables bleutés (Var) serait-elle de l'Oligocène moyen ? *Compte rendu sommaire de la Société Géologique de France*, 17-19.
- Cornet C.** (1973c) Observations et réponses de la même réunion. *Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France*, 20-21.
- Cornet C.** (1976) - Études stratigraphique et tectonique du fossé de Montmeyan, de Quinson à Fox-Amphoux (Var). *Bulletin de la Société géologique de France*, (7), 18, 687-695.
- Cornet C.** (1978) - Le Paléogène du bassin de Bauduen (Var). *Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France*, 296-299, 2fig.
- Cornet C.** (1980) Étude stratigraphique, paléogéographique et tectonique du bassin de Bauduen (Var). *Géologie Méditerranéenne*, 7, 289-298, 6fig.
- Debrand-Passard S., Courbouleix S., Lienhardt M.J.** (eds) (1984) - Synthèse géologique du Sud-Est de la France, *Mémoire du BRGM*, 125, 615 p.
- Gasse F., Fontes J.-C., Plaziat J.-C., Carbonel P., Kacmarska I., De Decker P., Soulier-Marschel, Callot Y., Dupeuple P.** (1987) - Biological remains geochemistry and stable isotopes for the reconstruction of environmental and hydrological changes in the Holocene Lakes from North Sahara. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeontology*, 60, 1-46.
- Gaudant J.** (1979) - Sur la présence de dents de Characidae (poissons téléostéens, Ostariophysi) dans les « calcaires à Bithynies » et les Sables bleutés du Var. *Géobios*, 12, 451-457.
- Ginsburg L., Mennessier G., Russel D.** (1967) - Sur l'âge Éocène inférieur des sables bleutés du Haut Var et sur ses conséquences. *Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France*, 1967, 272-274.
- Godinot M.** (1977) - Premier bilan sur les mammifères de Rians (Sparnacien). Thèse 3e cycle, Paris, 113 p.

- Godinot M.** (1981) - Les mammifères de Rians (Éocène inférieur, Provence). *Paleovertebrata*, Montpellier, 10, 2, 43-126.
- Gorin, G.** (1975) - Étude palynostratigraphique des sédiments paléogènes de la Grande Limagne. *Bull. BRGM*, (2), I, 3, 147-181.
- Gradstein F. M. et al.** (2012) - *The Geological Time Scale 2012*. Elsevier Editor
- Köthe A.** (1990) - Paleogene Dinoflagellates from Northwest Germany. *Biostratigraphy and Paleoenvironment*. *Geologisches Jahrbuch*, A118, 3–111. Köthe A. (2012) - A revised Cenozoic dinoflagellate cyst and calcareous nannoplankton zonation for the German sector of the southeastern North Sea Basin. *Newsletters on Stratigraphy*, Vol. 45/3, 189–220,
- Köthe A., Piesker B.** (2007) - Stratigraphic distribution of Paleogene dinocysts in Germany. *Revue de Paléobiologie*, Genève, 26, (1), 1-31.
- Lapparent A.F.** (1938a) - Sur le synclinal de Rians (Var). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 197, 1441-1443.
- Lapparent A.F.** (1938b) - Études de paléontologie stratigraphique sur les faunes continentales de Provence. *Mémoires de la Société géologique de France*, 15, 35, 34 p.
- Mennessier G.** (1966) - Carte géologique de Tavernes au 1/50 000 et Notice 12 p. Service de la carte géologique de la France, Paris
- Nury D., Touraine F.** (1972) - Recherche de nannoplankton dans l'Oligocène du Sud-Est Français, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 274, D, 2863-2866.
- Nury D., Villeneuve M., Arlhac, P., Gärtner A., Linnemann U., Châteauneuf J.-J., Riveline J., Hippolyte J.-C.** (2016) - New insights on the Marseille-Aubagne Oligocene basins (France). *Boletín Geológico y Minero*, 127, (2/3), 483-498.
- Ollivier-Pierre M.-F.** (1980) - Étude palynologique (spores et pollen) de gisements paléogènes du Massif armoricain. *Stratigraphie et paléogéographie*. *Mem. Soc. Geol. minéral. Bretagne*, 25, 239 p.
- Philip J.** (2013) - Observations sur l'article de Jean-Claude Plaziat : « La controverse sur l'âge des Sables bleutés du Var (1966-1980-2013) ». *Géochronique*, 128, 4-6.
- Philip J., Vianey-Liaud M., Martin-Clausas C., Tabuce R., Leonide P., Margerel J.-P., Noël J.** (2017) - Stratigraphy of the Haut Var Paleogene continental series (Northeastern Provence, France): New insight on the age of the « Sables bleutés du Haut Var » Formation. *Géobios*, 50, 319-339.
- Plaziat, J.-C.** (1973) – Observation à la communication de F. Touraine sur l'âge des Sables bleutés du Var. *Compte rendu sommaire de la Société Géologique de France*, p. 21
- Plaziat J.-C.** (2013a) – La controverse sur l'âge des Sables bleutés du Var (1966-1980-2013). *Géochronique*, 127, 13-15.
- Plaziat J.-C.** (2013b). La controverse sur l'âge des sables bleutés du Var : les paradoxes méthodologiques d'une polémique caractéristique de la fin du XXème siècle, entre un géologue amateur, Fernand Touraine, un paléomalacologiste, Roger Rey et des spécialistes académiques de la Paléontologie des mammifères et de la tectonique alpine. *Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie*, 3, 27, 1-75.
- Rey R.** (1966) - Notes malacologiques sur l'Oligocène de Montmeyan (Var). *Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France*, 188-189
- Rey R.** (1968) - Sur l'âge oligocène moyen des Sables bleutés du Var. *Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France*, 1968, 31,32 et 35.
- Roche E., Schuler M.** (1976) - Analyse palynologique de divers gisements du Tongrien de Belgique ; Interprétation paléocéologique et stratigraphique. *Service Géologique de Belgique*, Professional Paper N°11.
- Roth P., H., Hay W. W.** (1967) in **Hay P., H.** et al. (1967) – Calcareous nannoplankton zonation of the Gulf coast and Caribbean-Antillean area. *Gulf Coast Ass. of Geol. Soc.*, *Transaction*, V.17, 428-480.
- Schuler M.** (1988) - Environnements et paléoclimats paléogènes : palynologie et biostratigraphie de l'Eocène et de l'Oligocène inférieur dans les fossés rhénan, rhodanien et de Hesse. Thèse de l'Université L. Pasteur, Strasbourg, 347 p.
- Sittler C., Schuler, M., Caratini C., Châteauneuf J.-J., Guas-Cavagnetto, C., Jardine S., Ollivier-Pierre M.-F., Roche E., Tissot C.** (1975) - Extension stratigraphique, répartition géographique et écologie de deux genres polliniques paléogènes observés en Europe occidentale : *Aglaoreidia* et *Boehlensipollis*. *Soc. Bot. Fr. Coll. Palynologie*, 1975, 231-245
- Sluijs A., Pross, J., Brinkhuis H.** (2005) - From greenhouse to icehouse; organic-walled dinoflagellate cysts as paleoenvironmental indicators in the Paleogene, *Earth-Sci. Rev.*, 68, 281–315, 200
- Touraine F.** (1966) - Découverte de l'Oligocène à Montmeyan et dans les bassins tertiaires du Var. *Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France*, 66-67.
- Touraine F.** (1968) - Sur l'âge Oligocène des Sables bleutés du Var. *Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France*, 29-30.
- Touraine F.** (1971) - L'Oligocène nord-varois : sa position stratigraphique et sa signification dans la tectogénèse sub-alpine (État des connaissances actuelles). *Annales Guébard*, Neuchâtel, 47, 28 p.

- Touraine F.** (1973) - Bilan des connaissances actuelles sur l'âge des Sables bleutés varois. Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France, 1216.
- Touraine F.** (1974) - Sur la datation des poudingues de Bourdas (Var). Annales de la Société de Sciences Naturelles et d'Archéologie de Toulon et du Var, 3-12.
- Touraine F.** (1976) - L'Oligocène nord-varois : nouvelle mise au point. Géologie Alpine, 52, 115-133.
- Touraine F.** (1978) - Le fossé de Montmeyan (Var). Bull. BRGM, 2, 1, 89-109.
- Triat J.-M.** (1973) - Propositions concernant l'âge des Sables bleutés varois établies sur des comparaisons sédimentologiques avec les bassins paléogènes rhodaniens et duranciens. Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France, 28-29.
- Truc G.** (1973) - Interprétation des fossés varois à la lumière d'une comparaison avec les bassins d'Apt-Manosque-Forcalquier. Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France, 29-31.
- Villeneuve M., Nury D., Arlhac P., Gärtner A., Linnemann U., Pantaine L.** (2016) - Evidence for an intra-Oligocene compressive event in the Marseille-Aubagne basins (SE France). Boletín Geológico y Minero, 127, 2-3, 499-512.
- Villeneuve M., Nury D., Arlhac P., Gärtner A., Linnemann U.** (2018) - Les bassins oligocènes. In M. Villeneuve *et al.*, Mémoire explicatif, Carte géol. France (1/50 000), feuille Aubagne-Marseille, 3^{ième} édition (1044), 182-202.

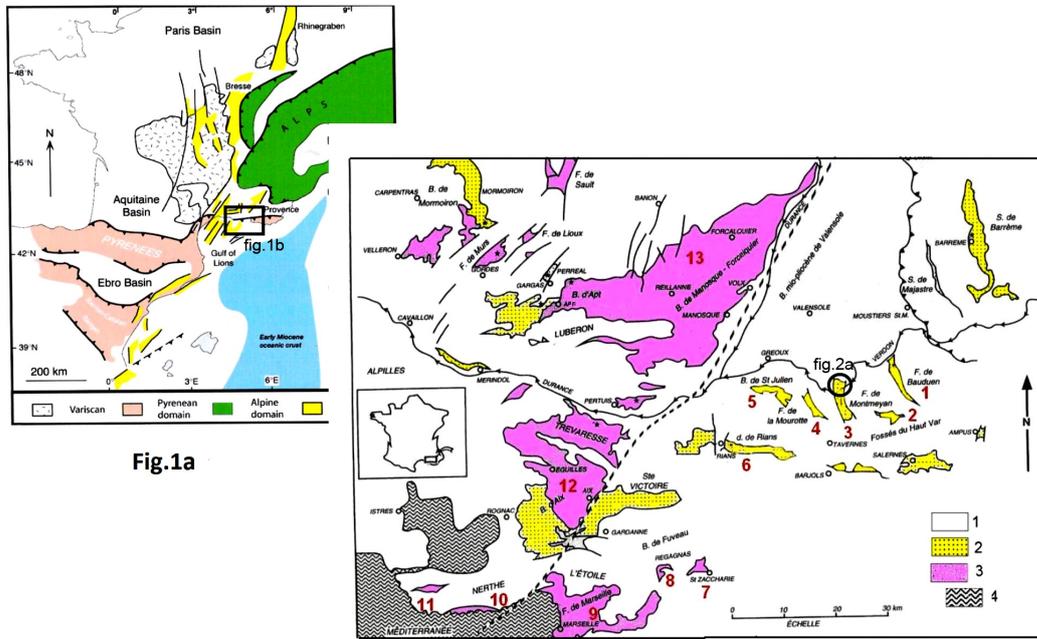


Fig.1a

Fig.1b

Fig. 1 : localisation des fossés postérieurs au Crétacé en Provence. **Fig.1a :** Localisation de la partie provençale comprise entre la chaîne Pyrénéo-provençale et la chaîne alpine. Localisation de la figure 1b. **Fig.1b :** Localisation des principaux fossés postérieurs au Crétacé en Provence. Localisation par un cercle de la zone étudiée dans la figure 2a. **Légende :** 1 - substratum primaire et secondaire, 2 - fossés d'âge discuté ou mixtes : Éocène/Oligocène, 3 - bassins Oligocènes, 4 - Mer Méditerranée. 1 - f. de Bauduen, 2 - f. de Salernes-Pontevès, 3 - f. de Montmeyan, 4 - f. de la Mourotte, 5 - f. de St Julien, 6 - f. de Rians, 7 - f. de St Zacharie, 8 - f. d'Auriol, 9 - bassins de Marseille-Aubagne, 10 - f. de Sausset les pins, 11 - f. de St Pierre, 12 - bassin d'Aix en Provence, 13 - bassin de Manosque-Forcaquier.

Fig. 1: Location of the "post-Cretaceous" troughs in Provence. **Fig. 1a:** Location of figure 1b. **Fig. 1b:** Location of the main post-Cretaceous troughs in Provence. **Legend:** 1 - pre-Tertiary basement, 2 - troughs of debated age, 3 - Oligocene basins, 4 - Mediterranean Sea. 1 - Bauduen basin, 2 - Salernes-Pontevès basin, 3 - Montmeyan basin, 4 - Mourotte basin, 5 - St. Julien basin, 6 - Rians basin, 7 - St. Zacharie basin, 8 - Auriol basin, 9 - Marseille-Aubagne basins, 10 - Sausset les pins basin, 11 - St. Pierre basin, 12 - Aix - en - Provence basin, 13 - Manosque-Forcaquier basin.

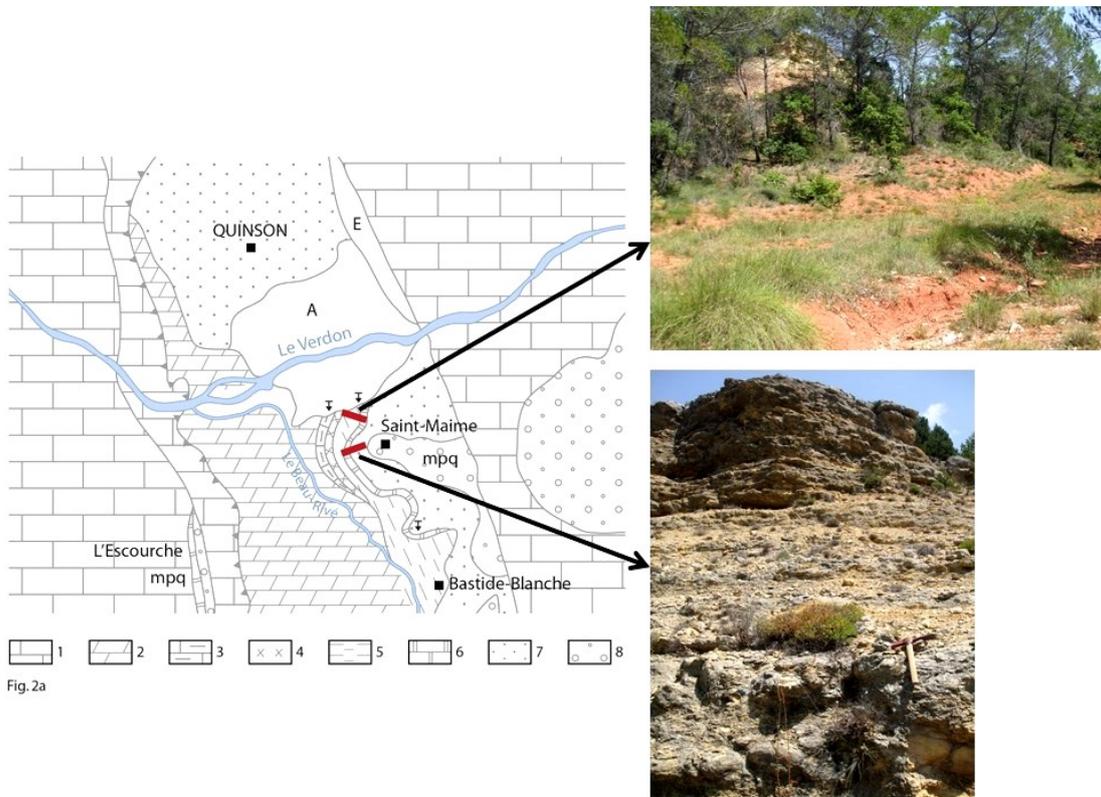


Fig. 2a

Fig. 2 : Schéma géologique de la zone de Quinson et paysages des coupes géologiques de « Saint-Maime » et « Beau Rivé ». **Fig. 2a :** Schéma géologique d'après F. Touraine (1978) modifié. **Légende :** 1 - Jurassique supérieur, 2 - Hauterivien, 3 - calcaire de Rognac, 4 - brèche de Vitrolles, 5 - Éocène inférieur, 6 - Calcaire à Bithynies, 7 - Sables bleutés, 8 - formation de Valensole (Mio-Pliocène). **Fig. 2b :** vue de la coupe de Saint-Maime, face à la villa « Gallice/Candeloro ». Au premier plan, les argiles ferrugineuses rouges de l'Éocène inférieur, dans les arbres : la partie calcaire-marneuse avec les échantillons prélevés pour analyse palynologique. **Fig. 2c :** vue de la coupe du « Beau Rivé » avec les calcaires marneux au premier plan, les marnes brunes au deuxième plan et les calcaires à Bithynies au sommet (= corniche sombre).

Fig. 2: Geological sketch map of the Quinson area and pictures of the Saint-Maime and Beau Rivé sections. **Fig. 2a:** Geological sketch map after F. Touraine (1978) modified. **Legend:** 1 - Late Jurassic, 2 - Hauterivian, 3 - Rognac limestone, 4 - Vitrolles breccias, 5 - Early Eocene, 6 - "Calcaires à Bithynies" formation, 7 - Sables bleus formation, 8 - Valensole formation (Mio-Pliocene). **Fig. 2b:** Picture of the Saint-Maime cross section in front of the villa « Gallice/Candeloro ». Red argillites below and yellow marly limestones on top, sampled for analyses. **Fig. 2c:** Photograph of the Beau Rivé cross section with brown marls below and Bithynies limestones on top.

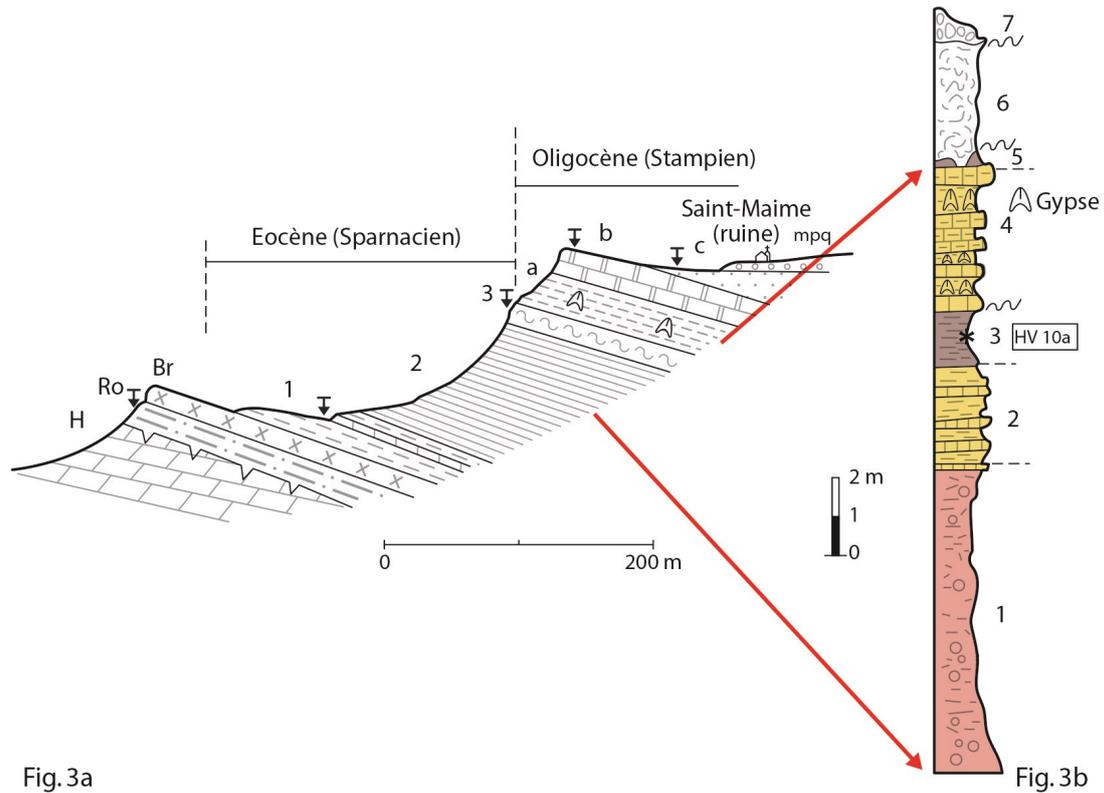


Fig. 3a

Fig. 3b

Fig. 3 : Coupe et logs stratigraphiques de la butte de Saint-Maime. Fig. 3a : Coupe géologique de la butte de Saint-Maime d'après F. Touraine (1978) modifié. *Légende* : H - Hauterivien, Ro - Begudo-Rognacien, Br - breche, 1 - calcaires marneux gris rosés à coquilles d'œufs d'oiseaux et « gastrolithes », 2 - argillites ferrugineuses à galets arrondis, 3 - marno-calcaire mauve grumeleux à rares coquilles d'œufs d'oiseaux, a - marnes jaunâtres avec gypse, b - Calcaire à Bithynies, c - Sables bleutés, mpq - conglomérats de Valensole (Miocène). Fig. 3b. Log stratigraphique de la coupe de Saint-Maime levée par les auteurs : 1 - argillites rouges à galets arrondis (gastrolithes), 2 - marnes jaunâtres à passées de calcaires en plaquettes, 3 - argillites à patine bleutée, 4 - marnes gypseuses à lits de calcaires en plaquettes bien lités (algaires ?), 5 - marnes bleutées, 6 - terre végétale moderne, 7 - éboulis. Les flèches rouges indiquent les correspondances établies entre la coupe de F. Touraine (1978) et la coupe établie par les auteurs.

Fig. 3: Stratigraphical successions and cross sections from the St. Maime hill. Fig. 3a- Cross section after F. Touraine (1978) modified: Legend: H - Hauterivian, Ro - Begudo-Rognacian, Br - Breccias, 1 - grey and pinky marly limestones with bird shells and gastroliths, 2 - ferruginous argillites with pebbles, 3 - mallow marly limestones with some birds' shells, a - yellow marls with gypsum, b - Bithynia's limestones, c - Sables bleutés, mpq - Valensole conglomerates. Fig.3b - Stratigraphic succession of the Saint- Maime section surveyed by the authors. Legend: 1 - red argillites with round pebbles (gastroliths), 2 - yellow marls with limestones levels, 3 - blue argillites, 4 - marly gypseous with limestone beds, 5 - blue marls, 6 and 7 - soils and talus slope. Red arrows show the correlations between the "Saint-Maime" cross-section published by F. Touraine (1978) and stratigraphic succession of the section carried out by the authors.

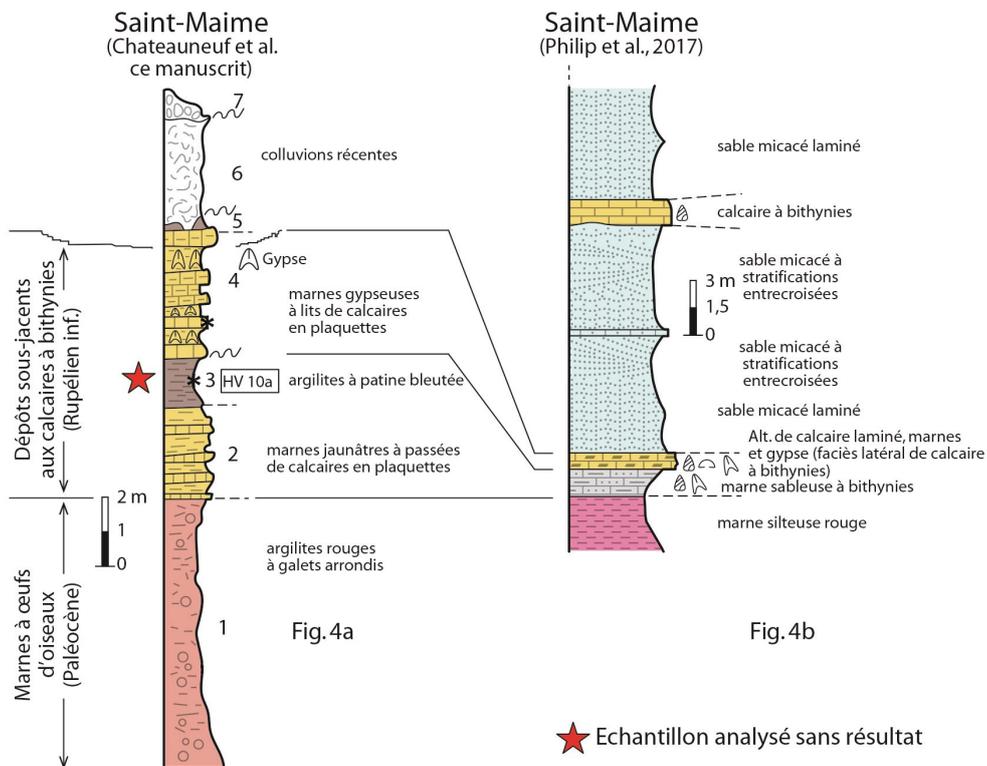


Fig. 4 : Corrélation entre les 2 coupes de Saint-Maime. Fig. 4a : Cette publication (Châteauneuf et al.), Fig. 4b : J. Philip et al. (2017).

Fig. 4: Correlations between the two Saint-Maime lithological successions. Fig. 4a: this paper (Châteauneuf et al.), Fig. 4b – J. Philip et al. (2017).

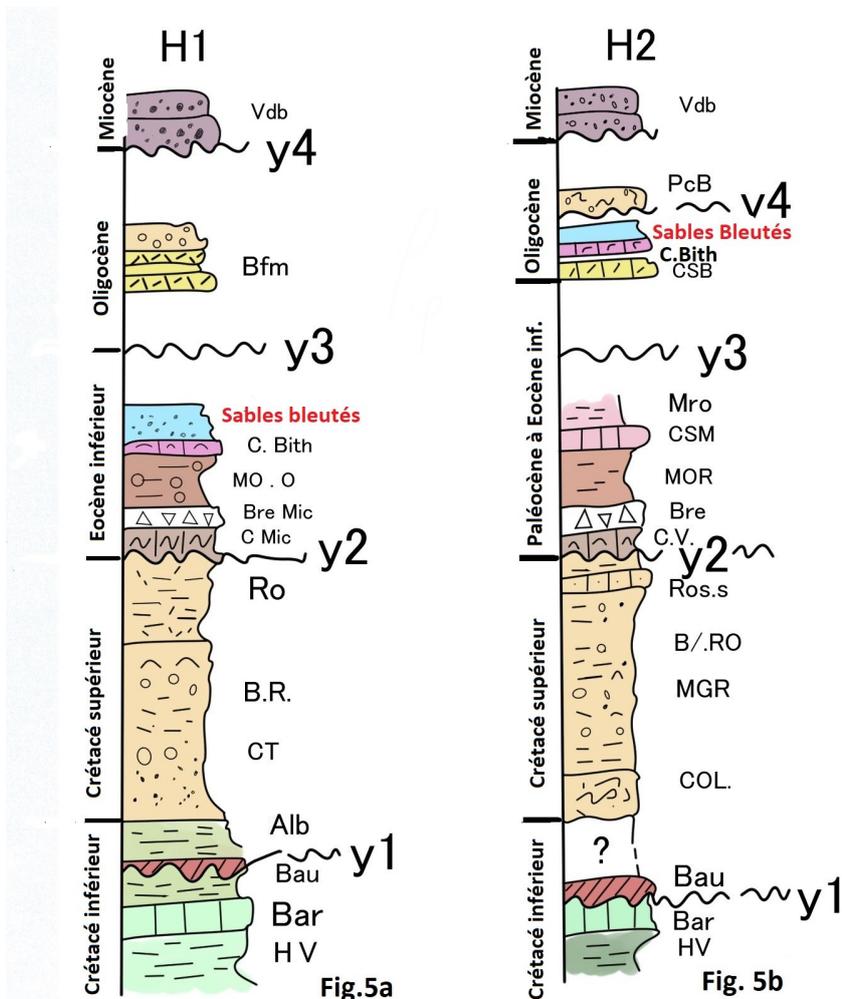


Fig. 5 : Hypothèses H1 et H2 sur les principaux événements tectoniques en Provence : H1, dans le cas où les Sables bleutés sont d'âge Éocène inférieur (librement inspiré de J. Philip et al., 2017), H2 dans le cas où les Sables bleutés se sont déposés à l'Oligocène inférieur (librement inspiré de F. Touraine, 1978). **Légende** : Y1 - Bombement durancien, Y2 - Phase tectonique Campano-Maastrichtienne, Y3 - Phase tectonique Pyrénéo-Provençale (Bartonian), Y4 - Phase tectonique intra-Oligocène (post Rupélien) ou anté-Miocène moyen selon les hypothèses. **Légende des formations et âges** : HV = Hauterivien, Bar = Barrémien, Bau = Bauxite, Alb = Albien, Col = Formation du Colombier, CT = Cénomaniens-Turonien, BR = Bégudien-Rognacien, GR = Marnes et grès à reptiles, RO = Rognacien, Ros.s = Rognacien sensu stricto, C Mic = Calcaire à Microcodium, CV = Calcaire de Vitrolles, Bre et Bre Mic = brèches à Microcodium, Mor = Marnes oranges, MOO = Marnes à œufs d'oiseaux, C.Bith = Calcaires à Bithynies, CSM = Calcaire de Saint-Marc, SB = Sables bleutés, Mro = marnes roses, Bfm = Formation de Bourdas, CSB = Calcaires sans Bithynies, Pcb = Poudingue compact de Bourdas, Vdb = Langhien - Serravallien.

Fig. 5: H1 and H2: two different hypotheses about the tectonic events in Provence. H1 Taking into account an Eocene age for the Sables bleutés formation and H2 taking into account an Early Oligocene age for the Sables bleutés. **Legend**: Y1 - Durancian uplift, Y2 - Campano-Maastrichtian event, Y3 - Pyreneo-Provençal tectonic event (Bartonian), Y4 - Intra-Oligocene (post-Rupelian) or ante-Langhian tectonic event. **Legend of ages and Formations**: HV = Hauterivian, Bar = Barremian, Bau = Bauxite, Bre = Brecchias, Bre-mic = brecchias with microcodium, B.R. = Begudo-Rognacian, Bfm = Bourdas Formation, C. Bith. = Bithynia's limestone, CSB = limestone without, C.mic = limestones with microcodium, Col = Colombier formation, C.T = Cénomaniens-Turonian, CSM = St. Marc limestones, C.V = Vitrolles limestones, MOR = orange marls, MOO = marls with birds shell, MRO = Pink marls, MGR = Sandstones and marls with reptilians, Pcb = Bourdas poudingues, Ro = Rognacien, Ro.ss = Rognacien sensu stricto, SB = Sables bleutés, Vdb = Middle Miocene



1



2



3



4



5



6

Planche I

Planche I : Photographies de roches représentatives des différents faciès des coupes de Saint-Maime (Photos 1 à 5) et Beau Rivé (Photo 6). Pour la position des prélèvements HV9 et HV10, se reporter aux figures 3 et 4. 1 - Localisation de la coupe de Saint-Maime à la Villa Gallice, au pied de la butte, 2- HV9 = Galets arrondis (gastroliths) dans la formation à « argiles ferrugineuses rouges », 3 - argiles calcaires en plaquettes (HV10a) et calcaires à intercalations de gypse (HV10b), 4 - Prélèvement de l'échantillon HV10a. 5 - Détail des calcaires en plaquettes et des gypses (HV10b), 6 - Bloc de calcaire d'aspect algairé avec des coquilles de gastéropodes, au sommet du niveau des calcaires à Bithynies (Beau-Rivé).

Plate I: Pictures of the main facies in the « Saint-Maime » (Photos 1 to 5) and « Beau Rivé » (Photo 6) sections. For Samples HV9 to HV10 positions look at the Fig. 3 and 4. Legend: 2 - HV9; round pebbles in the red clays (gastroliths), 3 - Argillites with limestones and gypsum (HV10a and 10b), 4 - Focus on the HV10a facies, 5 - Focus on the HV10b facies, 6 - Bithynia's limestones at the top of « Beau Rivé » section.

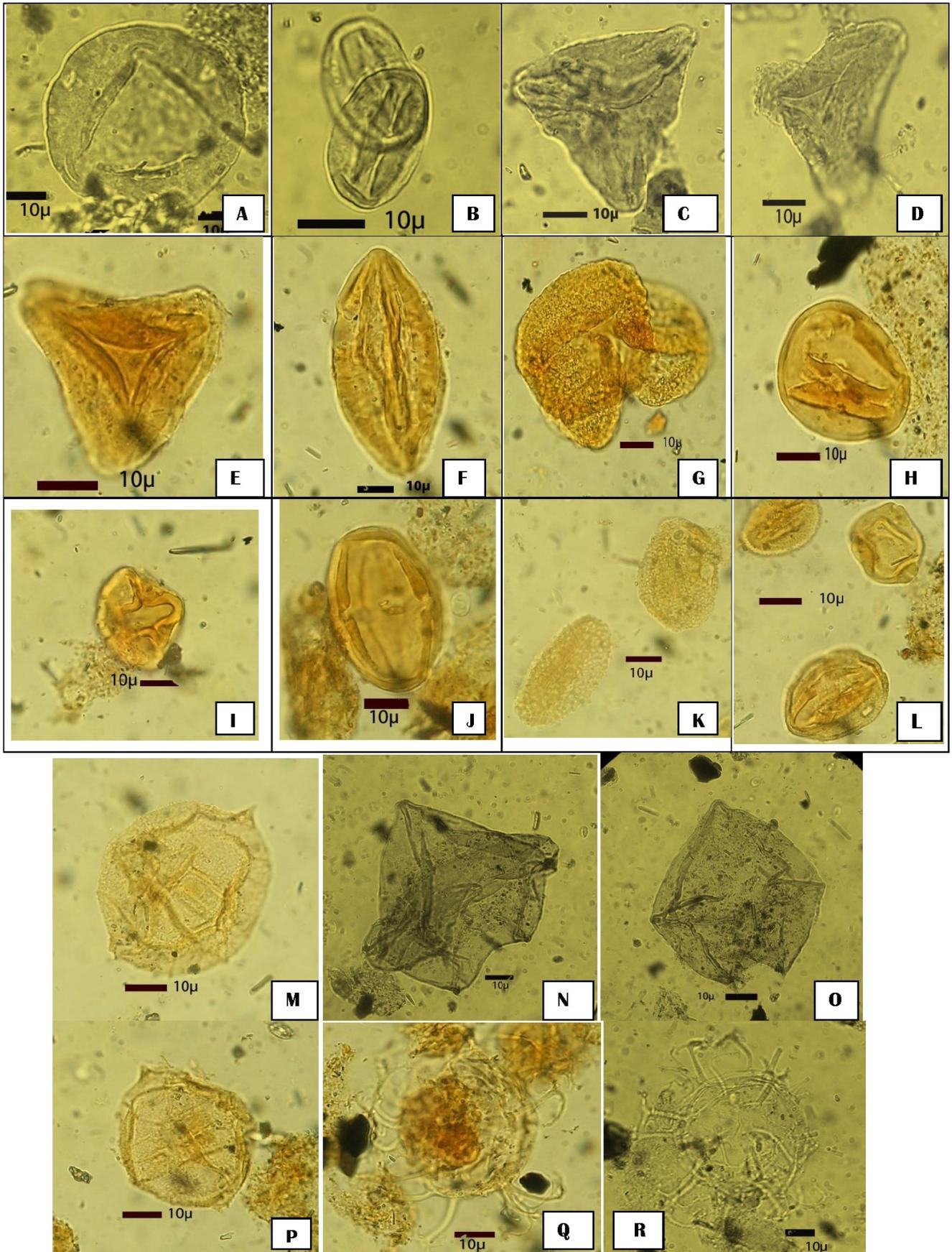


Planche II : Photographie des marqueurs palynologiques (grains de pollen et dinocystes).

Plate II: Pictures of palynological key species (pollen grains and dinocysts).

A : *Carya simplex* ; B : *Scabratricolporites* sp.6 (Schuler, 1988) ; C, D, E : *Boehlensipollis hohli* ; F : *Ephedripites fusiformis* ; G : *Pityosporites* cf. *Abies* ; H : *Sapotaceoidaepollenites brevicolpus* ; I : *Scabratricolporites anatinus* ; J : *Tetrasphancolporites oblongus* ; K : *Retitricolpites henisensis* ; La : *Scabratricolporites araliaceoides* ; Lb : *Tripolporites* ; palaeobetuloides ; Lc : *Retitricolporites jeanninae* ; M & P : *Phthanoperidinium amoenum* ; N & O : *Lejeunecysta spatiosa* ; Q & R : *Enneadocysta arcuata*.