



**Proposition pour l'établissement
du GSSP de l'Aptien supérieur
dans le Bassin d'Apt (Vaucluse, SE France) :**
Synthèse des données stratigraphiques

Michel MOULLADE¹

Guy TRONCHETTI (†)

Christine BALME²

Yves DUTOUR³

Pierre ROPOLO⁴

Gregory PRICE⁵

Mathieu MARTINEZ⁶

Bruno GRANIER⁷

Résumé : La synthèse des données stratigraphiques recueillies depuis plus d'une décennie dans la région stratotypique a permis d'établir une coupe composite des "marnes aptiennes" s'étageant de la Sous-Zone d'ammonites à Grandis jusqu'à la base de la Zone à Melchioris, soit depuis la Zone de foraminifères à *Schackoia* (*Leupoldina*) gr. *cabri* jusqu'à la Zone à *Globigerinelloides algerianus*. Cette coupe composite intègre les coupes partielles de Clavaillan, Pichouraz Sud et Est, La Tuilière, Les Gays et Gargas (Vaucluse, SE France). Notre révision a montré en particulier que le banc marno-calcaire, rapproché du "Niveau blanc" vocontien et jusqu'alors supposé unique et isochrone, qui divise la série marneuse affleurant dans les coupes de Clavaillan et de Pichouraz, correspond en fait à deux niveaux stratigraphiquement distincts.

La présente étude confirme que la série visible des marnes aptiennes dans la région stratotypique, non compte tenu de la Formation supra-urgonienne "A¹" de LEENHARDT (1883), ne comprend que les termes sommitaux du Bédoulien et une partie inférieure (= Gargasien inférieur et moyen) de l'Aptien s.s. (*i.e.*, *sensu* ORBIGNY, 1840).

Étayée par une approche intégrée, la mise en parallèle de la série du Bassin d'Apt avec les termes contemporains du Bassin de Cassis-La Bédoule a également permis de détecter et de quantifier des variations importantes, non concomitantes, des rythmes d'accumulation sédimentaire entre les deux secteurs. Au final, la coupe de Clavaillan, située à 8 km à l'WSW de Gargas, constitue l'unique affleurement où la limite entre la Sous-Zone à Grandis et la Zone à Furcata est visible dans un contexte permettant de le proposer comme candidat à la fixation du GSSP du sous-étage Gargasien (ou de l'Aptien s.s. dans sa conception historique).

¹ Centre de Recherches Micropaléontologiques, Muséum d'Histoire naturelle, 60 Bd Risso, 06000 Nice (France)
Michel.Moullade@unice.fr

² Parc naturel régional du Luberon, 60 place Jean Jaurès, 84400 Apt (France)
christine.balme@parcduluberon.fr

³ Muséum d'Histoire Naturelle, Parc Saint-Mitre, 166 Avenue Jean Monnet, 13090 Aix en Provence (France)
geologie_aix@yahoo.fr

⁴ Centre de Sédimentologie et Paléontologie, Université de Provence, Marseille-Saint Charles et Centre d'Études Méditerranéennes, Barrême (France) - Correspondance : 83 Bd du Redon, Bât. E-9 La Rouvière 13009 Marseille (France)

ropolo.geol@wanadoo.fr

⁵ Room 105, Fitzroy, Drake Circus, Plymouth, Devon, PL4 8AA (Royaume-Uni)
G.Price@plymouth.ac.uk

⁶ Bât. 15, P 210, Géosciences Rennes UMR 6118, Université de Rennes 1, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex (France)

mathieu.martinez@univ-rennes1.fr

⁷ Dépt. STU, Fac. Sci. Tech., UBO, 6 avenue Le Gorgeu, CS 93837, F-29238 Brest (France)

bgranier@univ-brest.fr

Department of Ecology and Evolutionary Biology, The University of Kansas, 1200 Sunnyside Avenue, Lawrence, Kansas 66045 (USA)

bgranier@ku.edu

**Mots-clefs :**

- Aptien ;
- Bédoulien ;
- Gargasien ;
- biostratigraphie ;
- micropaléontologie quantitative ;
- stratigraphie isotopique ;
- stratotype ;
- GSSP

Citation : MOULLADE M., TRONCHETTI G., BALME C., DUTOUR Y., ROPOLLO P., PRICE G., MARTINEZ M. & GRANIER B. (2017).- Proposition pour l'établissement du GSSP de l'Aptien supérieur dans le Bassin d'Apt (Vaucluse, SE France) : Synthèse des données stratigraphiques.- *Carnets Geol.*, Madrid, vol. 17, n° 9, p. 161-189.

Abstract: GSSP proposal for the upper Aptian substage in the Apt Basin (Vaucluse, SE France): Synthesis of the stratigraphic data.- The synthesis of the stratigraphic data collected over more than a decade in the stratotypic area has made it possible to establish a composite section of the "Aptian marls" from the Grandis ammonite Subzone to the base of the Melchioris Zone, *i.e.*, from the *Schackoia (Leupoldina) gr. cabri* foraminiferal Zone to the *Globigerinelloides algerianus* Zone. This composite section includes the partial sections from Clavaillan, South and East Pichouraz, La Tuilière, Les Gays and Gargas (Vaucluse, SE France). In particular, our revision has shown that the marly calcareous bed, which divides the marly series of Clavaillan and Pichouraz, compared with the Vocontian "Niveau blanc" and thought to be unique and isochronous, corresponds in fact to two stratigraphically distinct levels.

The present study confirms that the visible series of marls in the stratotypic area, not taking into account the "A1" supra-Urgonian formation of LEENHARDT (1883), includes only the uppermost terms of the Bedoulian and the lower terms (= Lower and Middle Gargasian) of the Aptian *s.s.* (*i.e.*, *sensu* ORBIGNY, 1840).

Based on the methods of integrated stratigraphy, a comparison of the series of the Apt Basin with the contemporary terms of the Cassis-La Bédoule Basin has also made it possible to detect and quantify important variations in the rhythms of sedimentary accumulation between the two sectors. In the end, the Clavaillan section, located 8 km WSW from the Gargas section, is the only outcrop where the boundary between the Grandis Subzone and the Furcata Zone is visible in a context which supports a proposal that this exposure be a candidate for the GSSP of the Gargasian substage (or of the Aptian *s.s.* in the initial concept of the creator of the stage).

Key-words:

- Aptian;
- Bedoulian;
- Gargasian;
- biostratigraphy;
- quantitative micropaleontology;
- isotopic stratigraphy;
- stratotype;
- GSSP

1. Introduction

Des recherches récentes (DUTOUR, 2005 ; MOULLADE *et al.*, 2009a, 2009b) ont fourni les éléments d'une coupe composite continue des "Marnes aptiennes" (*sensu* ORBIGNY, 1840) sur la base des principaux affleurements résiduels du secteur stratotypique de l'étage (La Tuilière/Saint-Saturnin-lès-Apt, département du Vaucluse, SE France) (Fig. 1). Dans ce travail, nous y adjoignons les résultats inédits d'une étude détaillée de la coupe de Clavaillan, ainsi que ceux résultant d'une révision d'échantillons micropaléontologiques prélevés en 1967 sur la coupe de Gargas, juste avant sa disparition en tant qu'affleurement. Clavaillan complète la coupe vers le bas, tandis que Gargas la complète par le haut. Partant de la Sous-Zone d'ammonites à *Deshayesites grandis* et incluant la totalité de la Zone à

Dufrenoyia furcata, cette coupe composite (totalisant en relais 172 m de couches marneuses aptiennes) se termine au tout début de la Zone de foraminifères à *Globigerinelloides algerianus*. Des corrélations entre ammonites (ROPOLO *et al.*, 2008) et foraminifères (MOULLADE *et al.*, 2005) dans la coupe de l'Aptien de la Marcoulène à Cassis (Bouches-du-Rhône) ont montré que la Zone à *G. algerianus* débute dix mètres au-dessus de la limite entre la Zone à Martini et la Zone à Melchioris.

Sur la base de données fauniques nouvelles ou revisitées, la présente note a pour objet principal une actualisation de la stratigraphie des marnes aptiennes du bassin d'Apt. Une des conséquences espérées de la révision de ce secteur encore préservé de la région du stratotype historique de l'Aptien était aussi de montrer qu'il peut constituer une alternative pour la définition de la limite

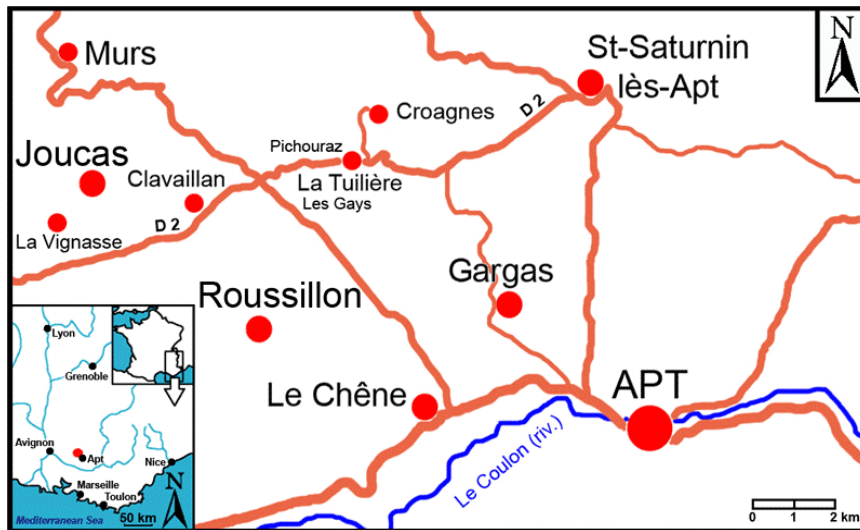


Figure 1 : Localisation géographique du secteur étudié.

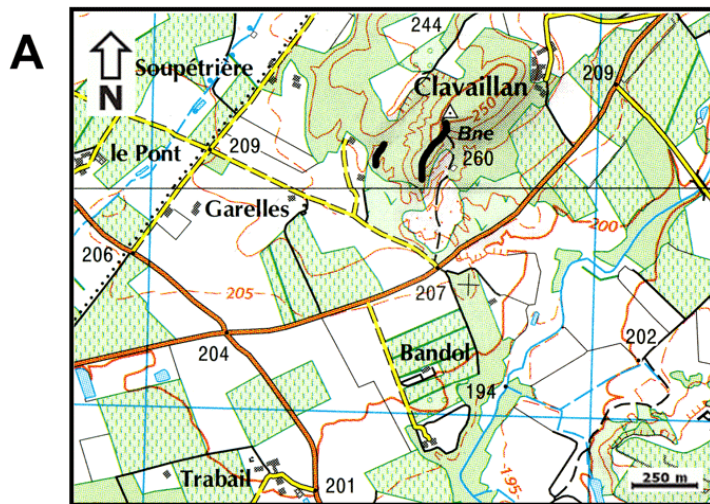
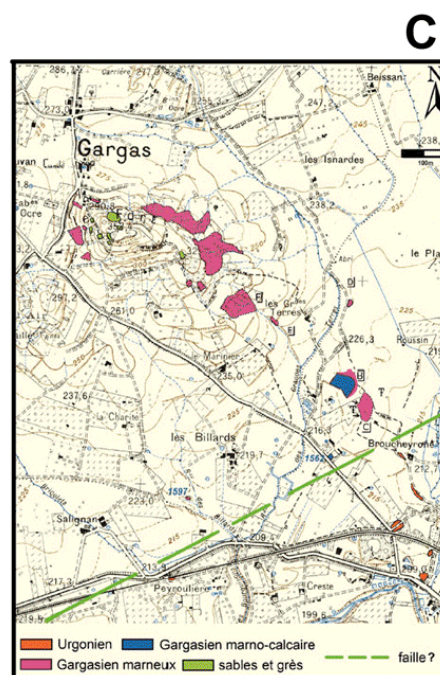
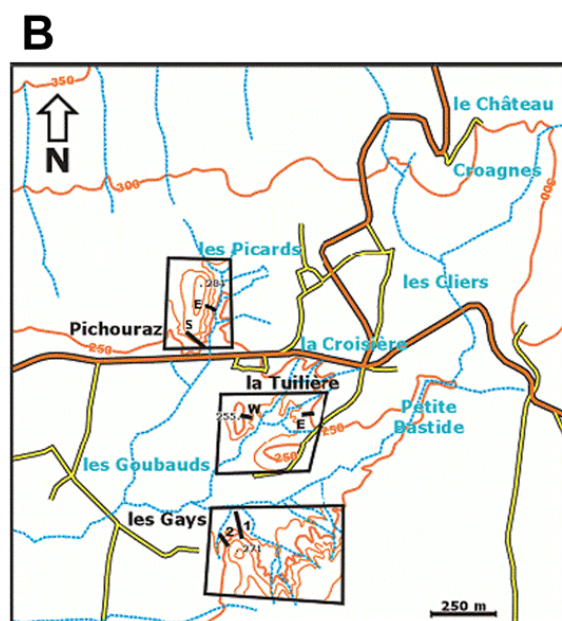


Figure 2 : Localisation des coupes étudiées (coordonnées GPS dans le texte, Section 3) : **A.** Clavaillan. **B.** Pichouraz Est et Sud ; La Tuilière W ; Les Gays 1 et 2. **C.** Gargas.





entre Bédoulien et Gargasien [= Aptien *s.s.* (*i.e.*, *sensu* ORBIGNY, 1840)], et/ou compléter le site de Cassis-La Bédoule récemment proposé à ce sujet par MOULLADE *et al.* (2011, 2015).

2. Matériel et méthodes

Les échantillons qui ont servi de base à notre étude proviennent de plusieurs coupes de terrain (Clavaillan, La Tuilière (Pichouraz, Les Gays) que nous avons levées durant la dernière décennie dans le Pays d'Apt (Fig. 2). L'origine du matériel concernant Gargas a été précisée ci-dessus dans la Section 1 (Introduction).

Les travaux sur le terrain ont été effectués par M. MOULLADE, G. TRONCHETTI, C. BALME et P. ROPOLO. Les techniques de traitement des échantillons que nous avons employées ont été décrites en détail dans nos publications antérieures (se reporter particulièrement à MOULLADE *et al.*, 2005). Les foraminifères benthiques et planctoniques ont été étudiés par M. MOULLADE et G. TRONCHETTI. Nous avons également procédé à des comptages des foraminifères selon une méthode décrite *in* MOULLADE et TRONCHETTI (2010) et reprise *in* MOULLADE *et al.* (2015). La détermination des ammonites recueillies a été effectuée par P. ROPOLO et Y. DUTOUR. A. BORNEMANN et B. LAMBERT ont étudié les nannofossiles calcaires des coupes de Clavaillan et Pichouraz Sud, respectivement. Les principales espèces d'Ostracodes ont été déterminées par M. MOULLADE et la majeure partie de ses identifications ont été vérifiées par J.-F. BABINOT. Les mesures isotopiques ($\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$) sur les échantillons de la coupe de Pichouraz-Est ont été réalisées sous la supervision de G. PRICE à l'Université de Plymouth (School of Geography, Earth & Environmental Sciences). Enfin, l'approche cyclostratigraphique amorcée par M. MOULLADE et G. TRONCHETTI sur la base des comptages de foraminifères s'est effectuée en collaboration avec M. MARTINEZ.

3. Les coupes de terrain

a) Clavaillan (Figs. 1, 2.A, 3, 4.A, 5)

Le hameau de Clavaillan (commune de Rousillon) est situé en bordure de la route départementale D2, 4 km à l'WSW de La Tuilière. Les habitations sont adossées au revers oriental d'une colline, boisée dans sa partie sommitale ; les deux tiers inférieurs du revers sud-occidental, correspondant sans doute à une aire d'affouillement d'anciennes carrières, sont constitués d'affleurements cartographiés en marnes gargasiennes sur la feuille géologique Carpentras à 1/50.000. Il revient à DUTOUR (2005) d'avoir signalé le premier à cet endroit la présence de *Deshayesites grandis*, ammonite caractérisant le Bédoulien terminal (*sensu* ATROPS & DUTOUR, 2005).

Nous y avons levé et échantillonné deux coupes ; la plus complète (Fig. 3.B ; coord. GPS début : 43°55'10.8"N 5°16'28.2"E ; fin : 43°55'12.3"N 5°16'29.3"E) se situe sur le flanc sud de la colline précitée et montre en continu, sur 23 m d'épaisseur, une série de marno-calcaires gris à gris-bleu devenant jaunâtres dans le tiers supérieur de l'affleurement. Le seul repère lithologique notoire dans cette série plutôt uniforme est représenté par un mince niveau plus induré que l'encaissant, d'une épaisseur de 0,30 à 0,35 m, situé 11 m au-dessus de la base de la coupe. Ce banc qui coupe la série un peu en dessous de la limite de couleur (bleu/jaune) peut être aisément suivi dans le paysage (Fig. 4.A), contrairement à deux ou trois autres indurations plus diffuses sporadiquement visibles au sein des marno-calcaires sous-jacents. À première vue, ce banc-repère évoque celui que nous avons décrit (MOULLADE *et al.*, 2006) sous le nom de "Formation *b*" dans la coupe de Pichouraz-Sud (Fig. 3, où ce banc défini en 2006 est désormais graphiquement intégré dans une nouvelle formation *b* étendue, incluant également les marnes sous-jacentes). Nous avons alors émis l'hypothèse (*op. cit.*) qu'à Pichouraz ce banc pouvait être l'équivalent du "Niveau blanc (NB)", défini par FRIÈS (1987) et BRÉHÉRET (1997) dans la partie basale des "marnes bleues" du domaine vocontien. FRIÈS (*op. cit.*, Fig. 12, p. 34) avait proposé de corréliser ce niveau vocontien avec le banc 160 de la séquence de gros bancs (n° 158 à 170) formant la base de la coupe de la carrière Comte à Cassis ainsi qu'à La Bédoule (Bouches du Rhône) (= formation 5 *in* FABRE-TAXY *et al.*, 1965 ; Unité 5 *in* MOULLADE *et al.*, 1998a). À la lumière des résultats du présent travail, nous verrons plus loin que dans le détail ces suggestions de corrélation nécessitent d'être quelque peu nuancées.

b) Pichouraz (Figs. 1, 2.B, 3, 4.B, 6-7)

La colline de Pichouraz (= dénomination originelle ; orthographiée "Pichouras" sur la récente feuille Apt à 1/25.000) est également située en bordure de la route départementale D2, mais plus à l'Est que Clavaillan, 250 m à l'WNW du hameau de la Tuilière, dépendant de la commune de Saint-Saturnin-lès-Apt (Fig. 1). Sont visibles à cet endroit (selon la nomenclature définie *in* MOULLADE *et al.*, 2006) les formations *a* (sommet des marno-calcaires gris, attribués alors au Bédoulien), *b* ("Niveau blanc" *sensu* MOULLADE *et al.*, 2006) et *c* (marnes aptiennes *s.s.*, d'abord gris-bleuâtres, puis bleu-jaunâtre). Nous y avons levé deux coupes, distantes d'une centaine de mètres l'une de l'autre :

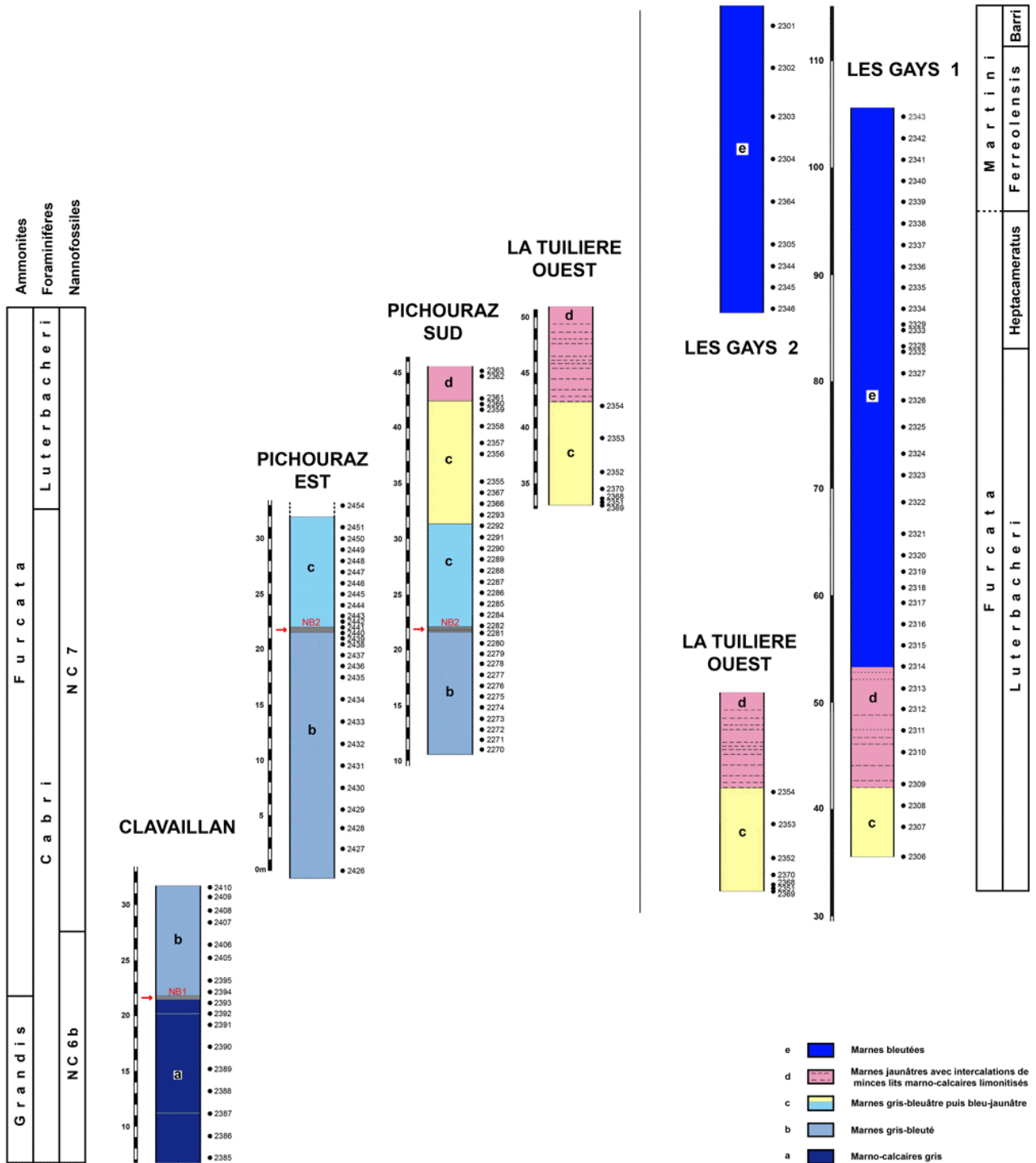


Figure 3 : Logs lithologiques schématiques des coupes étudiées, avec positionnement des échantillons prélevés. Nomenclature des formations d'après MOULLADE *et al.*, 2006 (révisée) - **a** : marno-calcaires gris (Sous-Zone à Grandis, Bédoulien terminal); **b** : marnes gris-bleuté, encadrées par deux "niveaux blancs" (marqués par une flèche rouge), (NB1 = "niveau blanc" inférieur à Clavaillan ; NB2 = niveau blanc supérieur à Pichouraz Est et Sud). ; **c** : marnes gris-bleuâtre, s'altérant en marnes bleu-jaunâtre dans la moitié supérieure de la formation ; **d** : marnes jaunâtres avec intercalations centimétriques de lits marno-calcaires limonitisés et de nodules pyrito-limonitiques ; **e** : marnes franches, bleutées.

Formations **b**, **c**, **d** et partie inférieure de **e** = Zone à Furcata. Partie supérieure de **e** = Zone à Martini (*pro parte*).

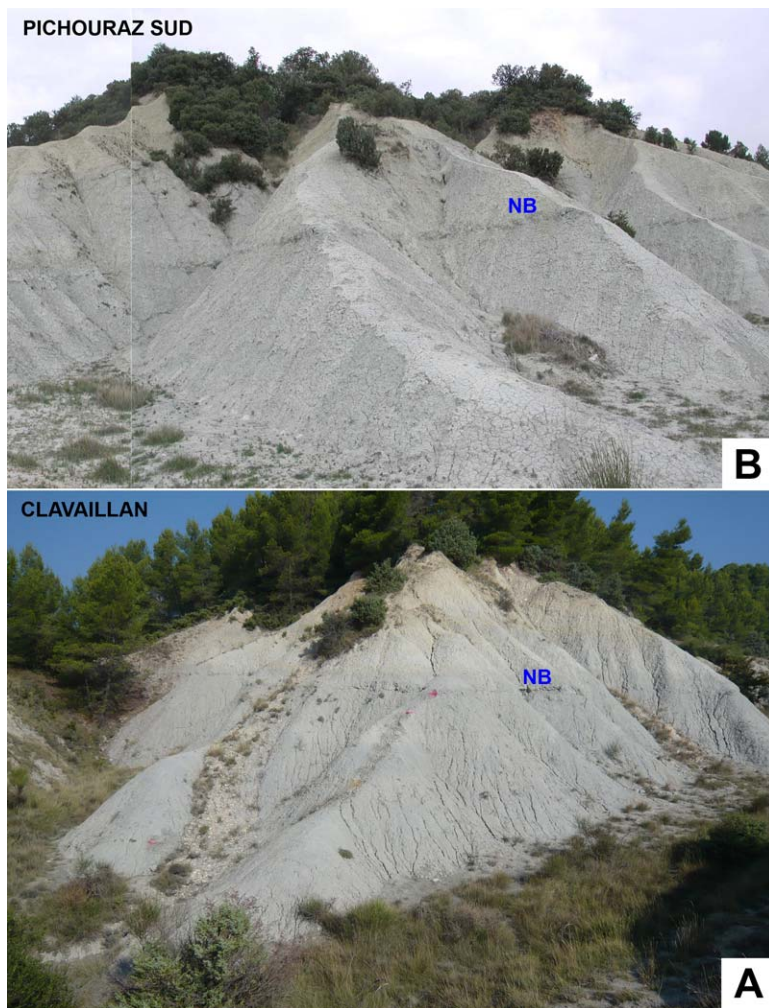


Figure 4 : Vue comparative des affleurements de Clavaillan (A) et de Pichouraz Sud (B), montrant l'apparente similitude d'aspect et de positionnement de leur "Niveau blanc" (NB) respectif.

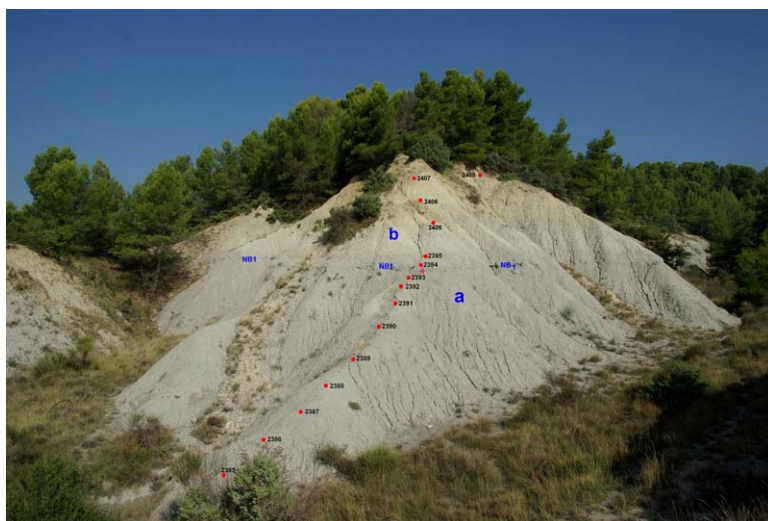


Figure 5 : Vue de la coupe de Clavaillan, montrant le positionnement des échantillons prélevés pour étude micropaléontologique. NB1 = "Niveau blanc" inférieur, situé à la limite des formations a (Sous-Zone à Grandis) et b (Zone à Furcata).

- celle qui descend le plus bas dans la série, dénommée ici "**Pi-chouraz-Est**" (Figs. 1, 2.B, 3, 7 ; coord. GPS début : 43°55' 56.9"N 5°18'54.9"E ; fin : 43°55' 57.1"N 5°18'54.0"E), épaisse d'un peu plus de 30 m, se situe sur le flanc oriental de la colline et correspond à peu près à la coupe dénommée "I" in DUTOUR (2005). Le Niveau blanc présumé, bien visible et épais de 0,40 à 0,50 m, s'observe à cet endroit à 22 m au-dessus de la base de la coupe.
- la deuxième coupe est située sur le flanc S de la colline et correspond à la coupe "II" de DUTOUR (2005), qui a fait l'objet d'une description lithologique détaillée par MOULLADE *et al.* (2006). Nous la dénommons "**Pi-chouraz-Sud**" (Figs. 1, 2.B, 3, 4.C, 6 ; coord. GPS début : 43° 55'52.6"N 5°18'53.6"E ; fin : 43° 55'53.5"N 5°18' 52.4"E). Elle montre en continu une séquence marneuse épaisse de 35 m. Le Niveau blanc observé à Pichouraz-Est et suivi latéralement dans le paysage depuis ce dernier point s'y observe ici, par suite du plongement des couches, 12 m seulement au-dessus du début de la coupe et est surmonté par 23 m de sédiments, dont 10 m de marnes gris-bleuté devenant ensuite bleu-jaunâtre sur les 13 m du reste de la coupe.

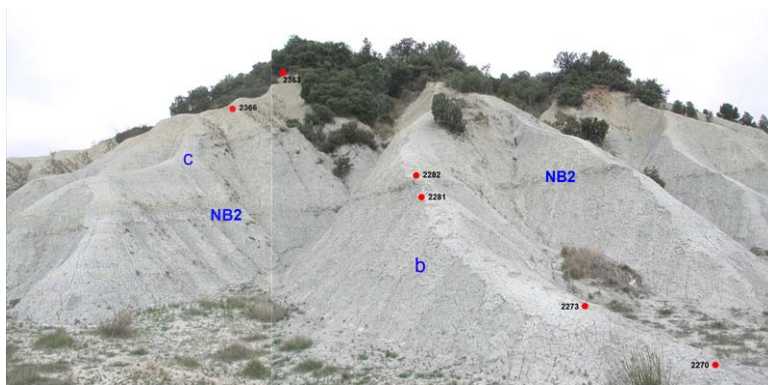


Figure 6 : Vue de la coupe de Pichouraz Sud, avec positionnement de quelques échantillons significatifs: 2270 et 2363 = respectivement début et fin de la coupe ; 2281 et 2282 encadrant **NB2** ("Niveau blanc" supérieur, intra-Zone à Furcata et séparant les formations **b** et **c**) ; 2366, situé au niveau du quintuple datum microfaunique.

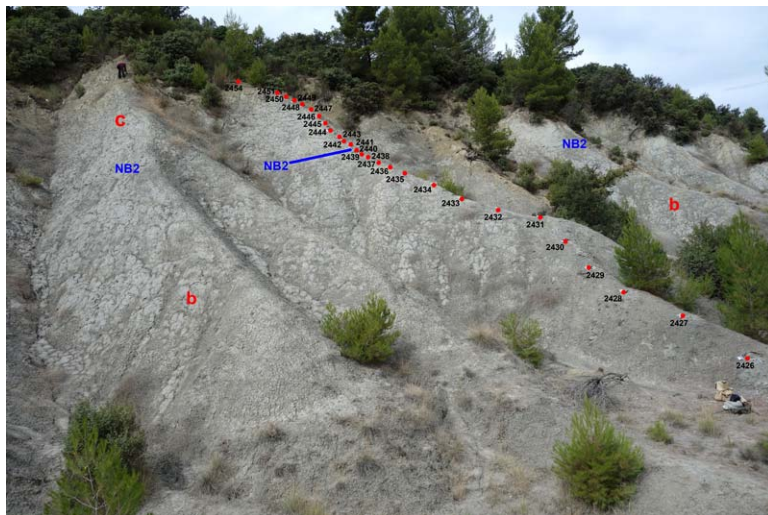


Figure 7 : Vue de la coupe de Pichouraz Est, avec positionnement de la totalité des échantillons prélevés pour étude micropaléontologique.

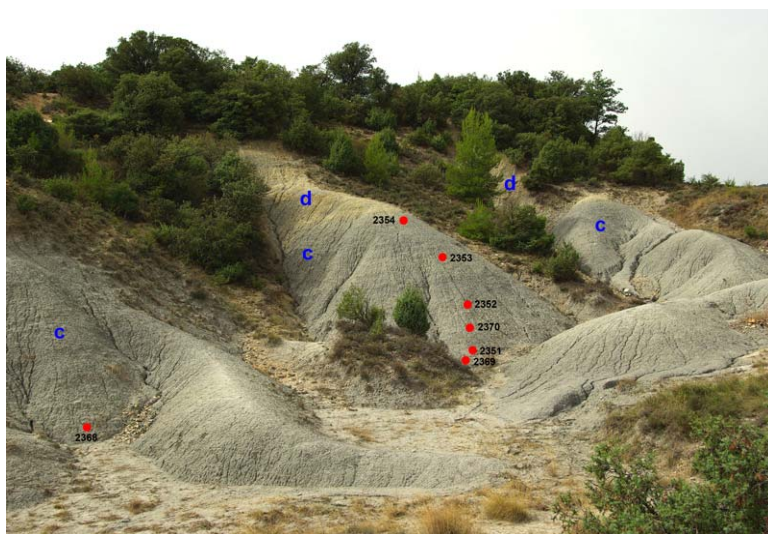


Figure 8 : Vue de la coupe de La Tuilière W.

c) La Tuilière-Les Gays (Figs. 1, 2.B, 3, 8-10)

La suite de la coupe composite de la série bédoulo-aptienne s'observe dans le secteur de La Tuilière sous la forme de petits affleurements dispersés au Sud et en contrebas immédiat du hameau proprement dit. Ils ont été décrits *in* MOULLADE *et al.* (2006) et depuis lors leur nombre a été réduit par suite de l'implantation récente de plusieurs villas. Toutefois, l'affleurement le plus important, situé à l'ouest immédiat du hameau et que nous avons dénommé coupe de La Tuilière W (coord. GPS début : 43°55' 43.0"N 5°19'02.2"E ; fin : 43°55' 42.9"N 5°19'00.9"E), épaisse de 18 m et base des travaux publiés en 2006, a été jusqu'à présent préservé. Son importance réside dans le fait qu'elle permet d'observer les derniers mètres de la formation **c** et une partie significative de la formation **d**. Elle constitue ainsi un relais entre les coupes de Pichouraz (**a**, **b**, partie inférieure de **c**) et les coupes du secteur collinaire des Gays 1 (coord. GPS début : 43°55'31.6"N 5°18'58.2"E ; fin : 43°55'29.5"N 5°18'59.3"E) et des Gays 2 (coord. GPS début : 43°55'29.4"N 5°18'56.7"E ; fin : 43°55'28.4"N 5°18'57.8"E). Ces deux coupes sont situées à 750 m au Sud de la Tuilière. Elles exposent le sommet de **c** et la totalité de **d** et de **e**. L'ensemble **c-d-e** y affleure ainsi en continu sur près de 80 m d'épaisseur. Les données lithostratigraphiques des coupes de La Tuilière et des Gays ont fait l'objet de publications détaillées par DUTOUR (2005) et MOULLADE *et al.* (2006, 2008, 2009a, 2009b). Cette épaisse série plutôt homogène de marnes gris-bleuté incluant La Tuilière et les Gays ne comporte qu'un seul repère lithologique notable, sous la forme d'une séquence épaisse de 10 m constituant la formation **d**. Elle se compose (Figs. 9-10) de marnes feuilletées fines, bleu-noirâtre en coupe fraîche, au sein desquelles s'insèrent des lits plus indurés de quelques centimètres, jaunâtres à brunâtres, marqués par une accumulation dense de petits nodules pyriteux limonitisés. Ces lits limonitiques sont séparés les uns des autres par des intervalles marneux de 0,4-0,5 à ± 1 m.



Figure 9 : Vue générale de la coupe des Gays.

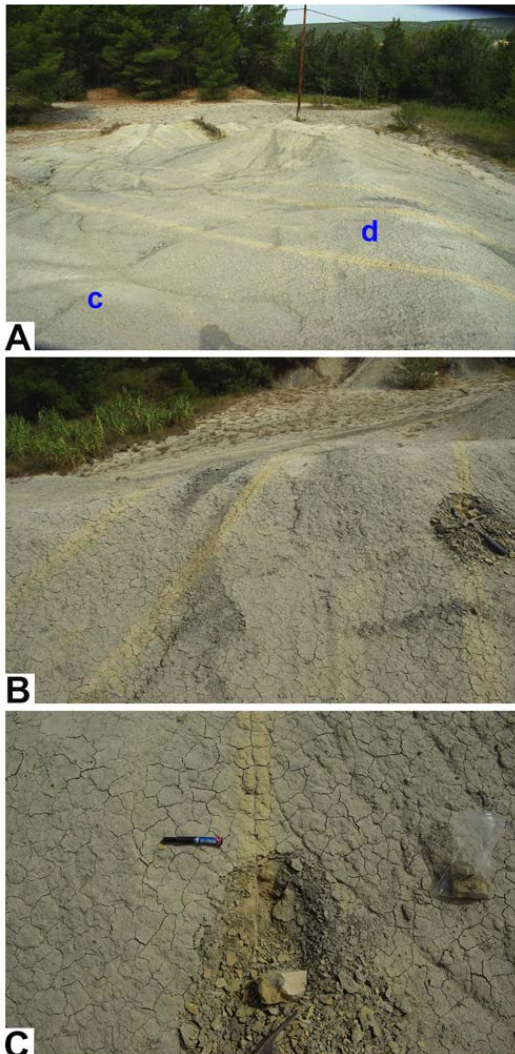


Figure 10 : Vue de la partie inférieure de la coupe des Gays. A : contact entre les formations c et d, montrant la séquence de lits limonitisés au sein de la formation d ; B, C : détail de la formation d.

d) Gargas (Figs. 1, 2.C, 3, 11)

Les termes les plus récents de la série stratotypique aptienne ne sont plus accessibles à l'observation directe aujourd'hui dans le secteur de la colline de Gargas. Étudiés en détail par MOULLADE (1965) puis, entre autres auteurs, par GIROUD d'ARGOUD (1975), ils ont fait l'objet d'une révision récente par MOULLADE *et al.* (2009b). Cette révision s'appuie sur des documents cartographiques inédits à 1/20.000 levés en 1963 par le premier auteur, et sur une réinterprétation micropaléontologique, en fonction des connaissances actuelles, d'un échantillonnage de 1967 conservé en collection. Nous y ajouterons de nouvelles données issues d'une révision des ammonites recueillies à Gargas par MOULLADE en 1965. Il en ressort que la série affleurante de la coupe de Gargas ne correspond en fait qu'à une partie de l'Aptien supérieur. Ses termes les plus anciens (base de la carrière dite des Grandes Terres) ne sont pas bédouliens mais gargasiens. De plus, tronquée par le haut sous les sables de l'Albien supérieur, la série aptienne se termine avec des niveaux détritiques autrefois attribués au Clansayésien (LEENHARDT, 1883) et correspondant en fait au tout début de la Zone à *Globigerinelloides algerianus* (base du Gargasien moyen) (MOULLADE *et al.*, 2009b). Rappelons que le niveau initial de cette zone micropaléontologique a été corrélé à Cassis (coupe de La Marcouline) avec la Zone d'ammonites à Melchioris (MOULLADE *et al.*, 2005 ; ROPOLO *et al.*, 2008).



G A R G A S

4. Ammonites

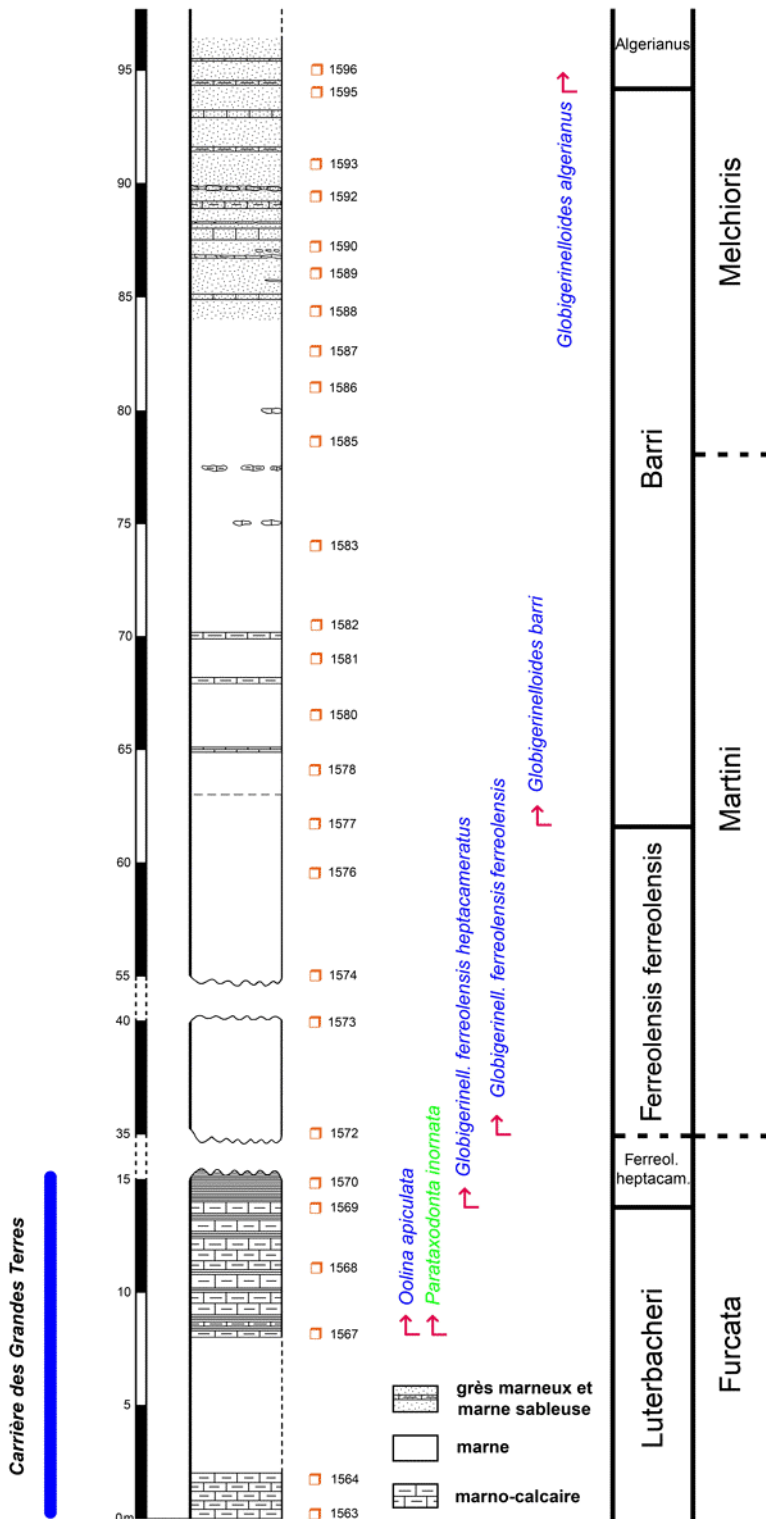


Figure 11 : Coupe de la colline de Gargas (telle qu'encore visible en 1963), avec positionnement des échantillons micropaléontologiques prélevés en 1967.

a) Formation "a"

Couronnés par le "Niveau blanc" les 15 à 20 mètres de cette formation observables à Clavaillan nous ont livré des ammonites (le plus souvent pyriteuses) relevant de la Sous-Zone à *Deshayesites grandis*, dont l'espèce-index, relativement fréquente. De nombreux spécimens de *D. grandis* récoltés à Clavaillan ont aussi été figurés par DUTOUR (2005, Pl. 29). Sur le plan lithologique, l'auteur mentionne seulement la présence au sein des marnes de deux petits bancs marno-calcaires, sans qu'une coupe détaillée figure précisément leur placement ni celui des ammonites récoltées. Toutefois, dans sa Figure synthétique n° 16, p. 222, récapitulant schématiquement par de simples traits le placement relatif des diverses coupes étudiées, l'auteur positionne géométriquement Clavaillan au niveau de la Sous-Zone à Grandis, au-dessous du trait indiquant les coupes du secteur de La Tuilière, qui dans son schéma débute au niveau de la limite Grandis/Furcata. Ce point sera repris dans la Section 10 (Discussion).

b) "Niveau "b" (sensu MOULLADE et al., 2006)

Dans le bassin d'Apt, ce mince niveau-repère plus induré ne nous a pas fourni d'ammonites. Dans le domaine vocontien, la présence de Deshayesitidae a été signalée dans le Niveau blanc par MOULLADE (1966). À Cassis, ROPOLLO et al. (1998, 2006) placent la limite entre la Sous-Zone à Grandis et la Zone à Furcata au toit du banc 170.

c) Marnes aptiennes s.s. (sensu ORBIGNY, 1840)

À Clavaillan, nous avons recueilli des ammonites pyriteuses relevant de la Zone à *Dufrenoyia furcata* juste au-dessus du banc (assimilé au Niveau blanc) qui couronne la séquence à *Deshayesites grandis*. La présence de *D. furcata* à Clavaillan n'est pas mentionnée par DUTOUR (2005). Le problème est qu'à Pichouraz-Est (déterm. DUTOUR) et Pichouraz-Sud (déterm. ROPOLLO) nous avons aussi



LES GAYS (1)		ZONES DE FORAMINIFERES		LITHOLOGIE			
APT I E N (s.s.)		Luterbacheri		Heptacameratus		Ferrol. ferr.	
		e		d		c	
		NUMEROS DES ECHANTILLONS		COTE DES ECHANTILLONS (en m)			
		2343	72				
		2342	70				
		2341	68				
		2340	66				
		2339	64				
		2338	62				
		2337	60				
		2336	58				
		2335	56				
		2334	54				
		2329	52.5				
		2333	52				
		2328	50.5				
		2332	50				
		2327	48				
		2326	45.5				
		2325	43				
		2324	40.5				
		2323	38.5				
		2322	36				
		2321	33				
		2320	31				
		2319	29.5				
		2318	28				
		2317	26.5				
		2316	24.5				
		2315	22.5				
		2314	20.5				
		2313	18.5				
		2312	16.5				
		2311	14.5				
		2310	12.5				
		2309	9.5				
		2308	7.5				
		2307	5.5				
		2306	2.5				

Figure 16 : Tableau montrant la distribution semi-quantitative du contenu microfaunique de la coupe des Gays 1.

LES GAYS (2)		ZONES DE FORAMINIFERES		LITHOLOGIE	
APT I E N (s.s.)		Heptacam. Ferrol.ferr		Barri	
		NUMEROS DES ECHANTILLONS		COTE DES ECHANTILLONS (en m)	
		2301	26.5		
		2302	22.5		
		2303	18		
		2304	14		
		2364	10		
		2305	6		
		2344	4		
		2345	2		
		2346	0		

Figure 17 : Tableau montrant la distribution semi-quantitative du contenu microfaunique de la coupe des Gays 2.



tre en évidence, dans un ensemble microfaunique au demeurant assez homogène à l'Aptien, quelques espèces de foraminifères à valeur de marqueurs stratigraphiques, se répartissant entre formes benthiques calcaires et surtout planctoniques.

Benthiques calcaires (hyalins)

Les rares marqueurs potentiels pertinents de ce groupe pourtant bien diversifié se caractérisent surtout par leur moment d'extinction. Nous avons déjà mentionné celui des trois taxons (*Lenticulina* cf. *nodosa*, *L.* cf. *heiermanni*, *Astacolus crepidularis tricarinnella*) qui se produit à peu près simultanément une douzaine de mètres au-dessus du toit du Niveau blanc visible dans les coupes de Pichouraz.

Deux autres formes, espèces uniloculaires relevant de la famille des *Nodosariidae*, se caractérisent par leur moment d'apparition : *Ramulina* sp. gr. *aculeata*, juste au-dessus du Niveau blanc, et *Oolina apiculata*, un peu plus d'une vingtaine de mètres au-dessus de ce même niveau.

Planctoniques

Au contraire d'un cortège de formes planctoniques pauciloculaires (4 à 6 loges au dernier tour), trocho- et plani- spiralées, assez stable durant l'ensemble de la série étudiée, la lignée phylogénétique des formes à 7 loges et plus au dernier tour se caractérise par une longévité spécifique plus brève, avec des moments d'apparition bien tranchés définissant des bio-événements fiables. La succession des premières occurrences de *Praehedbergella luterbacheri* – *Globigerinelloides ferreolensis heptacameratus* – *G. ferreolensis ferreolensis* – *G. barri* – *G. algerianus*, déjà bien reconnue dans l'ensemble de la Tethys, permet de définir les coupures zonales au sein de l'Aptien supérieur. L'extinction des Schackoïnes du gr. *cabri* (*Schackoïna* (*Leupoldina*) *cabri* et *Schackoïna* (*Leupoldina*) *pustulans*) constitue un repère additionnel, malgré la rareté de ces formes dans la période précédant leur disparition.

6. Nannofossiles calcaires

Clavaillan

L'étude d'A. BORNEMANN sur les échantillons de la coupe de Clavaillan, rendue difficile par le mauvais état de conservation du matériel, a cependant permis de proposer la fixation de la limite des sous-zones de nannofossiles NC6b et NC7a entre les échantillons 2406 et 2407, soit 5 m au-dessus du Niveau blanc (= limite Grandis/Furcata) de cette coupe, dans la partie basale de la Zone à Furcata. Dans le domaine vocontien (HERRLE *et al.*, 2010) cette limite NC6b/NC7a a été placée une dizaine de mètres sous le Niveau blanc ; à Cassis-La Bédoule, BERGEN (1998) l'a fixée entre les bancs 168 et 169, soit 2 m sous le

toit du banc 170 qui marque localement la limite Grandis/Furcata.

Pichouraz

L'étude des Nannofossiles de Pichouraz Sud a permis à B. LAMBERT d'attribuer la partie inférieure de cette coupe (échantillons 2270 à 2325) à la sous-zone à NC7a, y incluant par conséquent le "Niveau blanc" local (échantillons 2281-2282), alors que nous venons de voir qu'à Clavaillan le niveau supposé faciologiquement analogue est inclus dans la sous-zone NC6b.

Autrement dit, sur la base des ammonites et des nannofossiles, il apparaît bien que dans le secteur d'Apt les deux "Niveaux blancs" identifiés ne sont pas isochrones. Comme dans le domaine vocontien, cette entité serait lithologiquement composée de deux bancs distincts séparés par une épaisseur de marnes, faible dans le premier cas, indéterminée mais sûrement bien supérieure dans le second. En effet elle doit au minimum être égale à la somme des marnes visibles au-dessus du NB de Clavaillan (≥ 8 m) et des marnes sous-jacentes au NB visibles à l'affleurement à Pichouraz-Est (≥ 22 m), soit au moins trente mètres.

7. Ostracodes

La présente étude associe une révision mineure des travaux déjà publiés (BABINOT *et al.*, 2007a, 2007b, pour le secteur de Pichouraz Sud-La Tuilière-Les Gays et MOULLADE *et al.*, 2009b, pour celui de Gargas) à des données complémentaires inédites recueillies par l'un d'entre nous (M.Mo.) dans la coupe de Pichouraz Est.

Globalement, on constate que les populations d'ostracodes aptiennes de la région d'Apt sont, de manière constante, numériquement dominées par des formes lisses du groupe des *Cytherellas* (principalement *Cytherella* gr. *ovata*), qui traversent sans encombre tous les aléas de l'histoire sédimentaire du bassin. Il n'en est pas de même pour quelques autres espèces de formes lisses et surtout pour les formes ornées, dont la répartition différenciée permet de distinguer trois périodes :

- une phase de diversification progressive, avec enrichissement par apparitions successives de nouveaux taxons, durant la Sous-Zone à Grandis et la partie inférieure de la Zone à Furcata, soit jusqu'à la limite séparant la Zone de foraminifères à *Schackoïna cabri* de la Zone à *Praehedbergella luterbacheri*. Cette période couvre donc la totalité des couches sous-jacentes au quintuple datum mentionné dans la Section 5 (Foraminifères) de cet article. Dans ce cortège on peut individualiser plusieurs marqueurs fiables : *Protocythere bedoulensis*, présent durant toute la période mais jamais au delà ; *Platycythereis rectangu-*



laris, absent à Clavaillan mais à la répartition limitée à la partie supérieure de cet intervalle à Pichouraz, enfin *Cytherelloidea bedouliana*, rarissime à Clavaillan et concentrée dans les niveaux immédiatement sous-jacents au datum multiple à Pichouraz. Accessoirement deux espèces de Schulerideas, *S. derooi* et *S. jonesiana*, bien représentées dans les marnes bédouliennes à *D. grandis* (Clavaillan), sont moins présentes dans la partie de la Zone à Furcata comprise entre les deux Niveaux blancs, et ne dépassent qu'à peine le Niveau blanc supérieur. Cette distribution différenciée de *P. rectangularis*, *C. bedouliana* et des Schulerideas vient en quelque sorte conforter l'hypothèse, précédemment émise sur la base de la distribution des ammonites et des nanofossiles, de deux bancs ("Niveaux blancs") chronologiquement distincts à Clavaillan et à Pichouraz ;

- une phase de forte raréfaction de l'ostracofaune, avec en particulier disparition totale des formes ornées. Parmi les formes lisses, seules subsistent les Cytherellas. Cette période inclut la presque totalité de la Zone de foraminifères à *P. luterbacheri*. Elle correspond à la période de quasi disparition des Tritaxias, marquée de façon générale par un fort appauvrissement de la microfaune de foraminifères benthiques, mentionnée plus haut en Section 5 (Foraminifères) ;
- une phase de reprise de la diversité de l'ostracofaune, coïncidant avec celle des foraminifères. Plusieurs marqueurs se dégagent du nouveau cortège : *Parataxodonta inornata*, dont l'apparition coïncide avec la reprise faunique générale ; cette espèce très caractéristique est constamment bien représentée dans tous les niveaux sus-jacents ; *Neocythere mertensi*, qui apparaît au sein de la Zone de foraminifères à *Globigerinelloides ferreolensis ferreolensis* ; *Rehacythereis bartensteini*, observée depuis la limite des zones à *G. ferreolensis ferreolensis* et à *G. barri* ; *Homocythere aptensis*, présente dès la partie inférieure de la Zone à *G. barri*.

8. Données isotopiques

Les tentatives de LORENZEN *et al.* (2013) et MOULLADE *et al.* (2015) de retrouver dans le secteur de Cassis-La Bédoule, au sein de l'étage C7 de la courbe isotopique du $\delta^{13}\text{C}$, la signature de l'"Aparein Event", n'ont pas paru très déterminantes. Cet événement a été individualisé en

Espagne, principalement dans le domaine basco-cantabrique (GARCÍA-MONDÉJAR *et al.*, 2009 ; MIL-LÁN *et al.*, 2009) (coupe d'Igaratza, Fig. 19.D) et la Cordillère bétique (NUÑEZ-USECHE *et al.*, 2014). NUÑEZ-USECHE *et al.* ont également estimé l'avoir détecté dans l'Aptien d'autres régions du globe [Cassis-La Bédoule (Fig. 19.D), domaine vocontien, Tunisie, *etc.*] à la lecture de courbes isotopiques publiées dans la littérature. Cet événement s'accompagne d'une brève excursion négative du $\delta^{13}\text{C}$, généralement de l'ordre de 1‰ mais pouvant aller jusqu'à 4‰ dans la coupe d'Igaratza (domaine cantabrique). Les auteurs situent cet événement au sein de la Zone à *Dufrenoyia furcata* et l'envisagent comme un moyen de découper en deux parties à peu près égales le long et "monotone" étage isotopique C7 (nomenclature de MENEGATTI *et al.*, 1998).

Dans le cadre du présent travail nous avons fait procéder à une analyse des isotopes stables (maille d'échantillonnage de 0,5 m) du segment terminal de la coupe de Pichouraz Est, incluant une portion inférieure mais non basale de la Zone à Furcata. La courbe du $\delta^{13}\text{C}$ (Fig. 19.A) révèle pour cette période une signature rappelant celles que nous avons obtenues dans le secteur de Cassis-La Bédoule [KUHN *et al.*, 1998 ; MOULLADE *et al.*, 1998b (Fig. 19.D), LORENZEN *et al.*, 2013 ; MOULLADE *et al.*, 2015 (Fig. 19.C)] dans la partie basale de la Zone à Furcata. On y décèle, débutant à 1,8 m au-dessus du banc 170 à Cassis-La Bédoule et 1,5 m au-dessus du Niveau blanc de Pichouraz Est, une période discrète d'augmentation subite de l'amplitude des oscillations, passant d'une fourchette de 0,3-0,4 ‰ à une configuration à $\pm 1\%$.

La courbe du $\delta^{18}\text{O}$ (Fig. 19.B) à Pichouraz Est apparaît complètement découplée de celle du $\delta^{13}\text{C}$, ce qui permet d'éliminer tout aléa minéralogique. Elle montre essentiellement une inflexion significative, d'un ordre de grandeur de 2 à 2,5 ‰, qui témoigne d'une période de brusque réchauffement climatique. À Pichouraz Est cette inflexion débute 6 m au-dessus du toit du Niveau blanc. Une inflexion similaire (correspondant à la limite des étages isotopiques C7 et C8) a été observée à partir de 11,5 m au-dessus du banc 170 dans le forage LB3 de La Bédoule (MOULLADE *et al.*, 2015) (Fig. 19.C). Il serait nécessaire de procéder à des analyses isotopiques complémentaires, sur la coupe de Clavaillan en particulier, pour localiser plus précisément le positionnement d'éventuelles anomalies par rapport à la limite Grandis/Furcata.

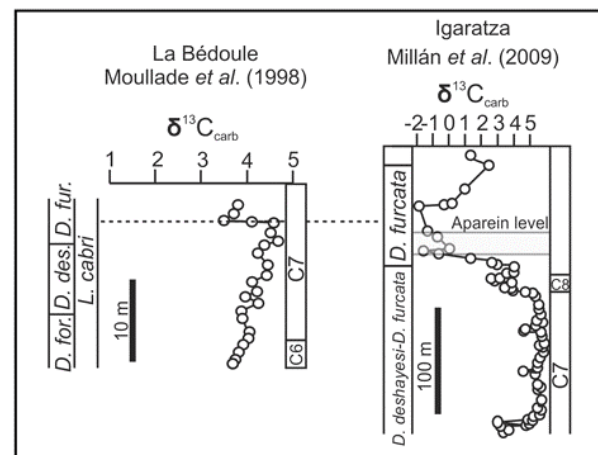
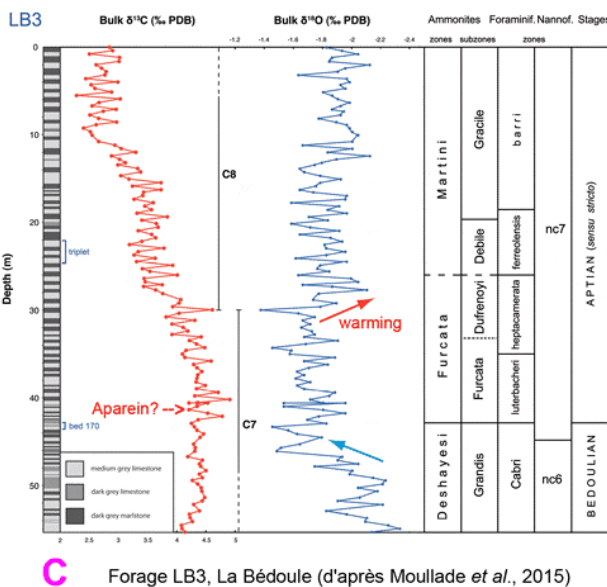
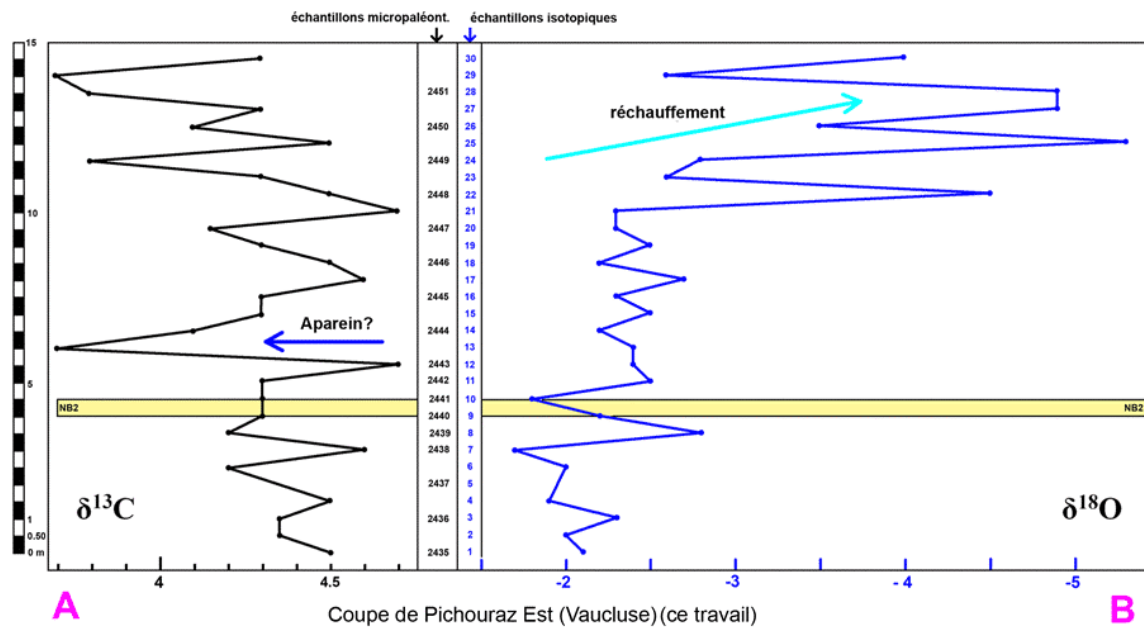


Figure 19 : Comparaison des courbes isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$) **A-B**. Vaucluse (coupe de Pichouraz Est, ce travail), **C**. Forage LB3 à La Bédoule (d'après MOULLADE *et al.*, 2015), montrant une certaine similitude de signature au niveau de la partie basale de la Zone à Furcata (= niveau Aparein des auteurs espagnols ?), **D**. Cassis-La Bédoule, Igaratza (*in litteris* d'après NUÑEZ-USECHE *et al.*, 2014).

9. Esquisse d'analyse cyclostratigraphique

Une étude récente (MOULLADE *et al.*, 2015) portant sur des forages effectués dans l'Aptien du secteur de Roquefort-La Bédoule a montré que les données de comptage de certains foraminifères benthiques pouvaient éventuellement constituer une approche pour identifier l'enregistrement de cycles orbitaux. Il nous a donc paru intéressant de tester à nouveau cette méthode dans l'Aptien du secteur du bassin d'Apt, situé dans un contexte paléogéographique quelque peu différent de celui de Cassis-La Bédoule (MOULLADE &

TRONCHETTI, 2010), mais présentant des cortèges microfauniques a priori assez similaires.

La Figure 20 synthétise graphiquement les résultats des données de comptage (Fig. 21) obtenues à partir de l'ensemble des échantillons de la coupe composite précitée. Pour chaque échantillon le pourcentage de Tritaxias par gramme de sédiment sec a été mis en parallèle avec le nombre d'espèces benthiques (diversité spécifique). Les variations de chacun de ces deux paramètres se traduisent par une évidente cyclicité, plus ou moins concordante selon les niveaux, permettant de découper la colonne stratigraphique en quatre périodes successives avec de bas en haut (Fig. 20) :

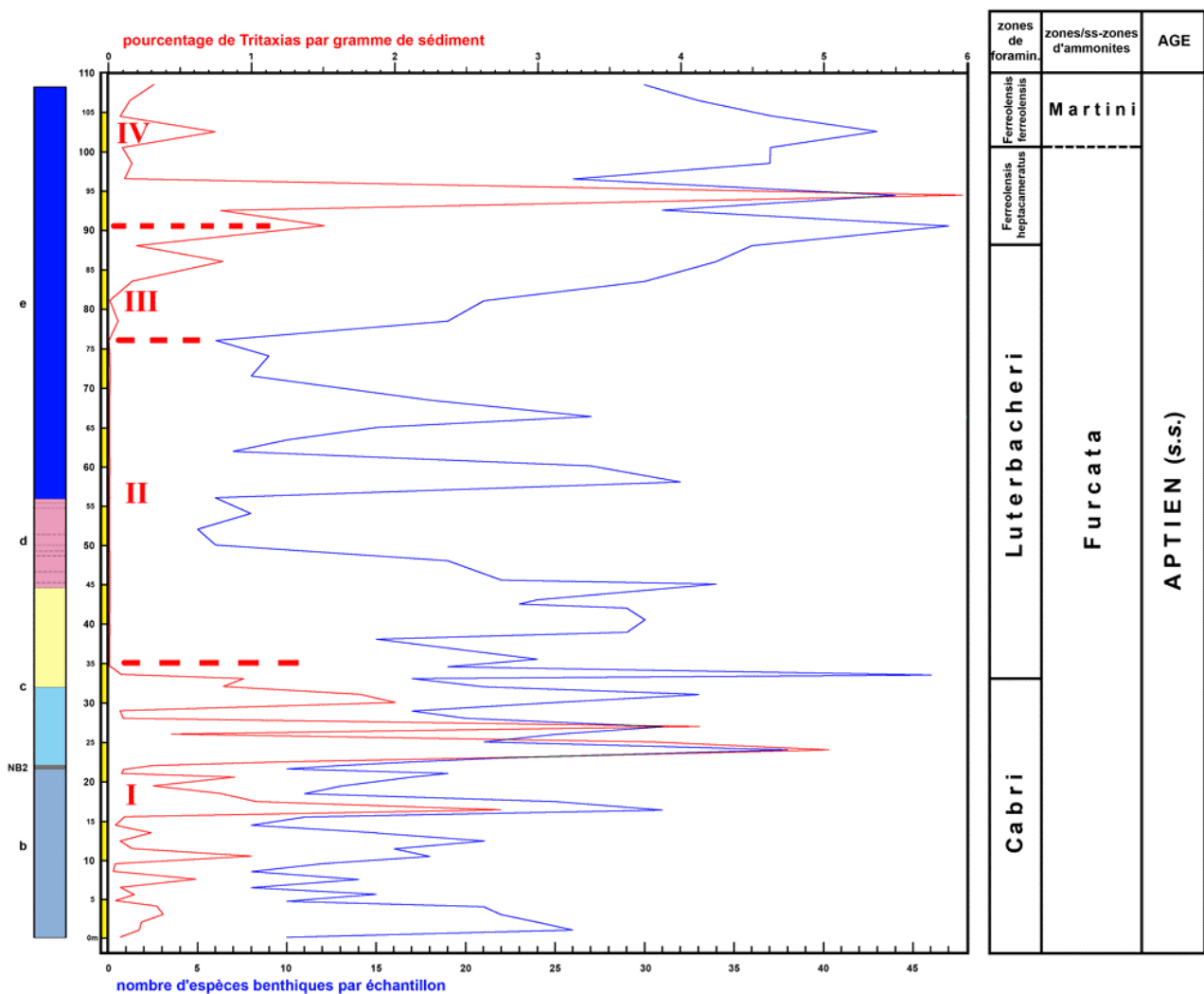


Figure 20 : Courbes des variations du pourcentage des Tritaxias (en rouge) et du nombre d'espèces de foraminifères benthiques (en bleu) établies à partir de comptages sur les microfaunes d'une coupe composite associant les coupes élémentaires de Pichouraz Est, Pichouraz Sud et des Gays (données détaillées dans le Tableau de la Fig. 21).

- Période I.** Sur les 35 premiers mètres de la coupe, correspondant à la fin de la Zone à *Schackoina (Leupoldina) cabri* et de la Sous-Zone à Grandis, ainsi qu'à la partie inférieure de la Zone à Furcata, on observe une rythmicité dense, aux cycles brefs et resserrés, le plus souvent concordants (huit sur douze) entre les deux paramètres précités. Cette période inclut la partie terminale du Bédoulien et la partie basale du Gargasien (Aptien s.s.).
 À noter que sur les quinze premiers mètres de cet intervalle, les valeurs des deux paramètres sont moins contrastées, surtout pour les Tritaxias, que sur les vingt mètres supérieurs, la tendance générale pour l'ensemble étant celle d'un accroissement progressif des valeurs en montant dans la série.
- Période II.** La séquence allant de 35 à 76 mètres se révèle complètement différente de la précédente, avec disparition totale des Tritaxias, tandis que les variations des valeurs de la diversité spécifique se traduisent par une cyclicité marquée, mais aux cycles plus amples que dans la précédente, avec des minimas et des maximas assez stables. Cette seconde période correspond à la majeure partie de la Zone à *Praehedbergella luterbacheri*.
- Période III.** De 76 à 90,5 mètres (sommet de la Zone à *Praehedbergella luterbacheri* et extrême base de la Zone à *Globigerinelloides ferroleolis heptacameratus*) les valeurs des deux paramètres considérés s'accroissent à nouveau, plus fortement et de manière continue mais sans cyclicité pour la diversité spécifique, plus modérément mais avec des cycles à valeur croissante pour les Tritaxias.



numéro d'échantillon	cote dans la coupe (m)	nbre de Tritaxias (>160µm, pr 200g d'échant.)	nbre de Tritaxias (>160µm, par g d'échant.)	nbre d'espèces benth. (>160µm, pour 200g.)	zones d'ammonites	zones de foraminifères	coupes	stratigraphie	niveaux repères/datums microfauniques
2343	108.5	63	0.32	30	Martini	Ferrosol. ferreol.	Les Gays		
2342	106.5	30	0.15	33					
2341	104.5	16	0.08	37					
2340	102.5	150	0.75	43					
2339	100.5	17	0.09	37					
2338	98.5	32	0.16	37					
2337	96.5	23	0.12	26					
2336	94.5	1193	5.97	44					
2335	92.5	158	0.79	31					
2334	90.5	301	1.51	47					
2329	88	39	0.2	36					
2328	86	159	0.8	34					
2327	83.5	32	0.16	30					
2326	81	2	0.01	21					
2325	78.5	14	0.07	19					
2324	76	0	0	6					
2323	74	1	0.01	9					
2322	71.5	1	0.01	8					
2321	68.5	0	0	18					
2320	66.5	0	0	27					
2319	65	0	0	15					
2318	63.5	0	0	10					
2317	62	0	0	7					
2316	60	1	0.01	27					
2315	58	0	0	32					
2314	56	0	0	6					
2313	54	0	0	8					
2312	52	0	0	5					
2311	50	0	0	6					
2310	48	1	0.01	19					
2363	45.5	1	0.01	22					
2362	45	1	0.01	34					
2361	43	0	0	24					
2360	42.5	0	0	23					
2359	42	0	0	29					
2358	40.5	0	0	30					
2357	39	1	0.01	29					
2356	38	0	0	15					
2355	35.5	0	0	24					
2367	34.5	0	0	19					
2366	33.5	17	0.09	46					
2454	33	190	0.95	17					
30isot	32	162	0.81	21					
2451	31	352	1.76	33					
2450	30	404	2.02	25					
2449	29	16	0.08	17					
2448	28	22	0.11	20					
2447	27	825	4.13	32					
2446	26	88	0.44	25					
2445	25	760	3.8	21					
2444	24	1005	5.03	38					
2443	23	606	3.03	22					
2442	22.5	236	1.18	17					
2441	22	62	0.31	13					
2440	21.5	21	0.11	10					
2439	21	18	0.09	19					
2438	20.5	177	0.89	17					
2437	19.5	63	0.32	13					
2436	18.5	156	0.78	11					
2435	17.5	205	1.03	25					
2434B	16.5	524	2.62	31					
2434	15.5	23	0.12	11					
2433B	14.5	8	0.04	8					
2433	13.5	60	0.3	15					
2432B	12.5	15	0.08	21					
2432	11.5	31	0.16	16					
2431B	10.5	200	1	21					
2431	9.5	7	0.04	12					
2430B	8.5	5	0.03	8					
2430	7.5	124	0.62	14					
2429B	6.5	16	0.08	8					
2429	5.5	36	0.18	15					
2428B	4.75	8	0.04	10					
2428	4	67	0.34	21					
2427B	3	78	0.39	22					
2427	2	45	0.23	24					
2426B	1	42	0.21	26					
2426	0	16	0.08	10					

Figure 21 : Données micropaléontologiques quantitatives utilisées pour l'établissement des courbes de la Fig. 20.

- Période IV.** De 90,5 à 108,5 mètres (sommet de la coupe), on retrouve un schéma alternant rappelant celui de la première période ; cependant les cycles sont ici moins resserrés et les valeurs absolues (surtout pour la diversité) très élevées. Cette période inclut à sa partie inférieure (Zone à *Globigerinelloides ferreolensis heptacameratus*) les valeurs maximales des deux paramètres pour l'ensemble de la coupe : 47 taxons pour la diversité spécifique des foraminifères benthiques à la cote 90,5 m, 5,97 % par gr. pour les Tritaxias (soit 1193 spécimens pour 200 g d'échantillon !) à la cote 94,5 m.

Le découpage des quatre périodes précitées, fondé sur leur "signature" cyclostratigraphique, est plutôt indépendant des variations lithologiques (Fig. 20). Ceci est particulièrement net pour ce qui est de la "grande crise des Tritaxias", qui s'étage de 34,5 à 76 m et traverse successivement plusieurs lithologies bien distinctes (partie supérieure de la formation *c*, formation *d* et partie inférieure de la formation *e*). D'autre part, la formation *e*, lithologiquement très homogène, couvre trois des quatre périodes distinguées ci-dessus (partie supérieure de II, intégralité de III et de IV), aux caractéristiques pourtant très dissemblables quant à leur signature cyclostratigraphique.

Il semblerait en revanche que les variations soudaines des valeurs d'abondance des Tritaxias et de la diversité spécifique des benthiques soient plutôt corrélées avec des facteurs évolutifs concernant les formes planctoniques. Ainsi la coupure majeure à la cote 35 m entre les périodes I et II coïncide avec la première occurrence des Praehedbergelles à 7 loges au dernier tour. De même, la coupure à 90,5 m entre les périodes III et IV est précédée de très peu par la première occurrence des *Globigerinelloides* à 7 loges.



10. Discussion

a) Corrélation géométrique (vs faunique) des coupes de Pichouraz et de Clavaillan : problème du ou des "niveaux blancs"

Selon ATROPS & DUTOIR (2002), en domaine vocontien le toit du doublet calcaire nommé Niveau blanc marque la limite entre les zones à Deshayesi et à Furcata. En 2005, les mêmes auteurs publient les principaux résultats biostratigraphiques (détaillés par ailleurs par DUTOIR, 2005) obtenus à partir d'une coupe composite de l'Aptien supérieur du secteur "stratotypique" de la Tuilière. Ils évoquent une série à dominante marneuse, comportant à "sa base quatre bancs de calcaires argileux formant de bons repères lithologiques". Ces quatre bancs sont figurés sur un log synthétique, repris de DUTOIR (2005), où ils sont intégrés dans la Zone à Furcata. Dans la publication d'ATROPS & DUTOIR (2005), il n'est pas fait mention de la coupe de Clavaillan, située 4 km à l'WSW du secteur de La Tuilière. Dans la Thèse de DUTOIR (2005), le tracé schématique de cette coupe est seulement positionné géométriquement sous celui de Pichouraz dans sa Figure synthétique n° 16, p. 222. Elle est par ailleurs brièvement mentionnée, p. 266, sans figuration lithologique: "*Cette coupe (...) est constituée de 12 mètres de marnes gris clair qui présentent un pendage de 12° vers le Sud. Un petit banc marno-calcaire de 35 cm d'épaisseur est bien visible à 4,50 m de la base de la série. Un autre, de 20 cm, est plus difficile à observer 3,80 m plus haut*". Point important, l'auteur mentionne également qu' "*on peut récolter des ammonites sur presque toute l'épaisseur de la série. (...) la présence de Deshayesites grandis au sein de cette population permet de bien caractériser la Zone à Deshayesi, Sous-Zone à Grandis, dans la région stratotypique*".

Notre propre relevé de la coupe de Clavaillan (voir Section 3.a) ne concorde pas exactement avec la description de DUTOIR (2005). De plus, si nous avons effectivement recueilli dans cette localité d'assez nombreux spécimens de *D. grandis*, ils proviennent uniquement de la séquence marneuse **inférieure**, située en dessous du mince niveau repère plus induré, seul bien individualisé dans le paysage, que nous avons initialement assimilé au Niveau blanc visible à Pichouraz. **Au-dessus** de ce niveau, qui divise la coupe de Clavaillan en deux parties à peu près égales, nous n'avons recueilli en effet que des ammonites caractérisant la Zone à *Dufrenoyia furcata*. La limite Bédoulien/Gargasien (*sensu* ATROPS & DUTOIR, 2002) est donc recoupée à Clavaillan, point que les auteurs n'ont ni mentionné ni exploité dans leurs travaux de 2005.

En revanche, tout comme DUTOIR (2005), et ce aussi bien à Pichouraz Sud qu'à Pichouraz Est, nous n'avons récolté **en dessous** du Niveau blanc que des ammonites indiquant la Zone à Furcata.

Ceci pose évidemment le problème de la corrélation initiale entre Clavaillan et Pichouraz, que nous avons évoqué dans les Sections 4 (Ammonites) et 6 (Nannofossiles). La distribution des ammonites et des nannofossiles conduit en effet à mettre en doute l'isochronie du banc repère bien visible dans le paysage et d'allure semblable pour chacune des deux coupes (Fig. 4.A vs Fig. 4.B). L'apport des autres disciplines dans la résolution de ce problème est inégal :

• microfaciès

Les deux niveaux marno-calcaires précités ne peuvent être objectivement distingués par leur microfaciès. Toutefois une différence apparaît dans leur couverture marneuse : à Clavaillan, 3 m au-dessus du NB (niveau 2405), les résidus de tamisage ($\geq 500 \mu\text{m}$) sont constitués d'une sorte de "microlumachelle" faite d'abondants débris de tests ou même parfois de petites coquilles entières d'invertébrés (lamellibranches, échinodermes, gastéropodes). Rien de tel n'a été observé à Pichouraz, où en revanche le NB, macroscopiquement et microscopiquement similaire à celui de Clavaillan, est surmonté d'une mince couche feuilletée formée de paillettes argileuses noirâtres, non observée à Clavaillan.

• foraminifères

Les principaux marqueurs benthiques constituants du datum multiple sont observés de part et d'autre des niveaux blancs de Clavaillan et de Pichouraz. Mais à Clavaillan la séquence affleurante s'interrompt trop tôt (7 m au-dessus du NB) pour que l'on puisse se faire une idée de la position du datum ; les composants benthiques sont présents dans toute la coupe, mais pas le constituant planctonique (*Praehedbergella luterbacheri*), dont l'apparition est normalement contemporaine de leur extinction (coupes de Pichouraz Sud et de la Tuilière). Les foraminifères marqueurs ne permettent donc pas de trancher le problème de corrélation ; ce n'est pas leur fiabilité qui est en cause, mais le hiatus d'observation entre les coupes de terrain.

On remarque toutefois de légères disparités dans la distribution microfaunique entre les secteurs de Clavaillan et de Pichouraz :

- les Schackoines sont très abondantes sur les quelques mètres situés de part et d'autre du NB à Pichouraz Sud, alors qu'elles sont rares en position géométriquement similaire à Clavaillan,



- la distribution du Nodosariidé uniloculaire *Ra-mulina* cf. *aculeata*, espèce certes plutôt rare, est également différente : ce taxon apparaît 2 m au-dessus du NB aussi bien à Pichouraz Sud qu'à Pichouraz Est et est ensuite constamment représenté bien au delà, mais il n'est pas présent à Clavaillan, aussi bien au-dessus qu'au-dessous du NB.

- **ostracodes**

Un peu mieux que les foraminifères, les marqueurs ostracodologiques constituent un élément complémentaire pour renforcer l'hypothèse décollant des données des ammonites et des nan-

nofossiles. Nous avons vu en effet (Section 8) que la distribution des Schulerideas, de *Platycythereis rectangularis* et de *Cytherelloidea bedouliana* dans la séquence sous-jacente au NB à Clavaillan diffère de celle qui est relevée à Pichouraz.

- **courbes de fréquence des Tritaxias et de diversité des benthiques**

De part et d'autre et au niveau même du banc repère NB, la signature des courbes des Tritaxias et de la diversité des foraminifères benthiques à Pichouraz (Est et Sud) apparaît différente de celle qui a été relevée à Clavaillan (Fig. 22, Tableau I) :

CLAVAILLAN	PICHOURAZ
Tritaxias	
1 cycle s'étageant sur 3 m, à fréquence très faible ou nulle, situé de part et d'autre du NB (1,7 m au-dessus, 1 m au-dessous)	1 cycle à fréquence faible ou nulle, sur 1 m (Pich. Sud) à 1,5 m (Pich. Est), axé préférentiellement sur le NB
Les 2 cycles positifs sus-jacents au NB, à fréquence assez forte, très semblables, s'étagent sur 6 m et sont séparés par 1 cycle à fréquence quasi nulle	Sur les 6 m sus-jacents au NB, cyclicité différente, avec 2 pics d'abondance forte, séparés par 1 cycle à fréquence moyenne
Sous le NB , sur 12 m, 2 pics positifs (de haut en bas : un majeur, un moyen)	Sous le NB , configuration plus complexe, sur 12 m, 4 pics (de haut en bas : 1 moyen, 1 majeur, 1 mineur, 1 moyen)
Diversité globale des benthiques	
Courbe de diversité spécifique des benthiques moins contrastée, variant de 10 à 30 espèces sous le NB, de 8 à 38 espèces au-dessus	Courbe de diversité spécifique des benthiques variant de 3 à 42 espèces sous le NB, de 12 à 46 espèces au-dessus

En résumé, parmi l'éventail des méthodes utilisées, celles qui sont fondées en priorité sur les ammonites, les nannofossiles et la micropaléontologie quantitative, accessoirement sur les foraminifères et les ostracodes, fournissent un faisceau d'arguments justifiant l'hétérochronie de deux bancs repères morphologiquement et lithologiquement d'apparence semblable, à Clavaillan d'une part, à Pichouraz d'autre part. Ces bancs sont intercalés à des niveaux différents dans la série des "marnes aptiennes", mais faute d'affleurements favorables, leur superposition géométrique n'a pu être constatée directement sur une même coupe de terrain.

Nous baptiserons donc respectivement "NB1" et "NB2" ces deux bancs, délimitant entre eux une formation "**b**" dilatée dont on ne peut cependant préciser l'épaisseur exacte. Nous avons vu plus haut (Section 6) qu'en additionnant l'épaisseur des marnes sus-jacentes à NB1 à Clavaillan et celle des marnes sous-jacentes à NB2 à Pichouraz Est, on peut estimer à au moins 30 m la séquence marneuse séparant ces deux bancs repères.

b) Comparaison entre le secteur de La Tuilière (Bassin d'Apt) et celui de Cassis-La Bédoule

- "Niveaux blancs"

Dans le secteur stratotypique du Bédoulien, la limite entre la Sous-Zone à Grandis et la Zone à Furcata se situe au toit du banc 170, qui termine l'Unité 5 (MOULLADE *et al.*, 1998a). Nous avons vu que dans le secteur de La Tuilière, cette limite n'était visible que dans la coupe de Clavaillan, où elle se place au toit de NB1, le premier des deux bancs repères délimitant la formation **b** telle qu'émendée ci-dessus (Section 10.a). Autrement dit, le banc 170 de La Bédoule termine le Bédoulien, tandis que la formation **b** du Vaucluse constitue la partie basale du Gargasien (Aptien s.s.). Donc, si l'on admet l'hypothèse de FRIÈS (1987) évoquée dans la Section 3.a, selon laquelle le Niveau blanc vocontien serait corréléable avec le banc 160 de la coupe de Cassis, l'un et l'autre d'âge bédoulien, la séquence gargasienne NB1-NB2 du Vaucluse ne peut en être l'équivalent.

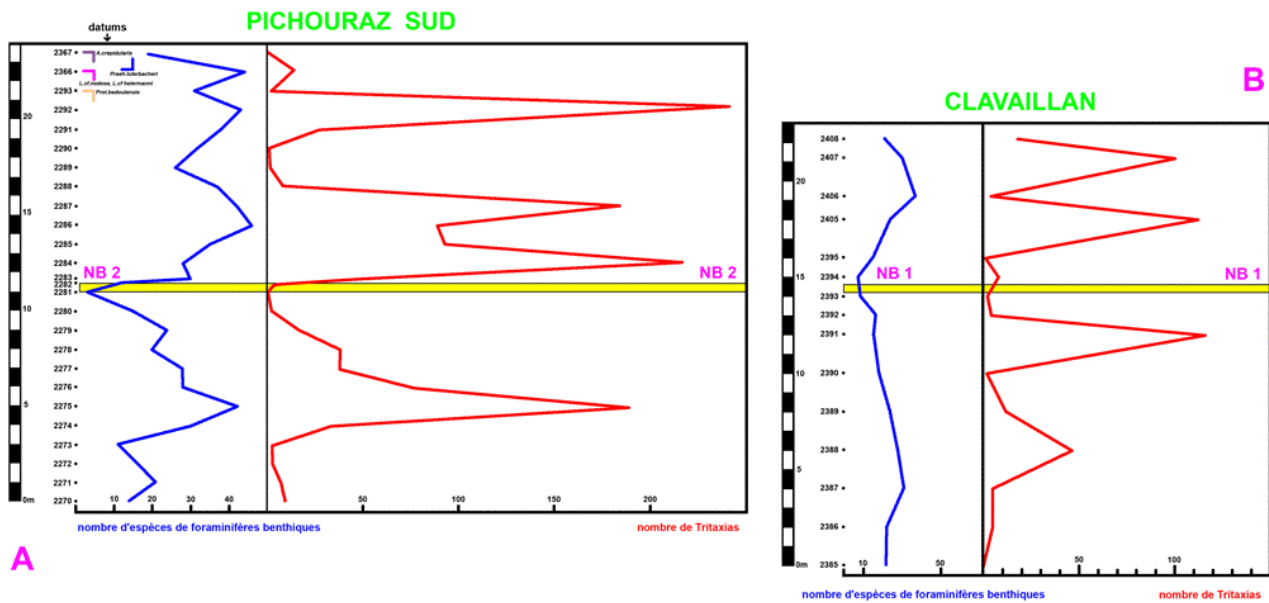


Figure 22 : Comparaison des courbes des variations du nombre de Tritaxias (en rouge) et du nombre d'espèces de foraminifères benthiques (en bleu) de part et d'autre de leur "Niveau blanc" respectif entre : **A.** la coupe de Pichouraz Sud et **B.** la coupe de Clavaillan. La désynchronisation des pics de fréquence entre les deux coupes constitue un élément supplémentaire d'appréciation pour démontrer que les deux niveaux ne sont pas homologues.

• "Datum multiple"

Une autre disparité dans la corrélation entre les deux secteurs apparaît avec le placement des éléments constitutifs du datum micropaléontologique multiple. À Pichouraz Sud, l'extinction quasi simultanée des quatre composants benthiques se produit entre dix à douze mètres au-dessus de NB2, soit à au moins 40 m au-dessus de la limite Bédoulien/Gargasien. L'apparition du planctonique se situe onze mètres au-dessus du banc repère, soit dans l'intervalle resserré d'extinction des benthiques, et peut donc en être considérée comme quasi synchrone. Dans les forages de La Bédoule (MOULLADE *et al.*, 2015), trois des constituants benthiques disparaissent simultanément 4 m au-dessus du banc 170, le quatrième (*Lenticulina cf. heiermanni*) s'éteignant un peu plus tôt, de 0,50 m (forage LB3) à 2 m (forage LB1) au-dessus du banc 170. Mais dans les deux forages, l'espèce planctonique est présente dès le premier échantillon prélevé à la base des marnes surmontant immédiatement le banc 170 (limite Bédoulien/Gargasien), soit plus précocement qu'à Apt, et en tout état de cause, **avant** et non pendant l'extinction des benthiques.

• Nannofossiles calcaires

À La Bédoule, comme dans le Bassin Vocontien, la limite des sous-zones de nannofossiles NC6b/NC7a a été identifiée dans la partie supérieure de la Sous-Zone d'ammonites à *D. grandis*, alors qu'à Clavaillan (bassin d'Apt) elle a été localisée dans la partie basale de la Zone à *Furcata*.

• Cyclostratigraphie

Nos travaux sur les secteurs stratotypiques aptiens (MOULLADE & TRONCHETTI, 2010 ; MOULLADE *et al.*, 2015) ont montré un organisation cyclique des variations d'abondance des Tritaxias et des valeurs de la diversité spécifique des foraminifères benthiques. L'hypothèse a été formulée en des travaux antérieurs (liste *in* MOULLADE & TRONCHETTI, 2010) concernant d'autres régions du globe que ce type de cyclicité à base biologique pouvait résulter des variations des paramètres orbitaux de la planète. L'utilisation de cette méthode a conduit à des résultats significatifs pour le secteur de l'Aptien de La Bédoule (MOULLADE *et al.*, 2015), où la série a pu être échantillonnée de manière dense et en continu grâce à des forages carottés avec une excellente récupération. Elle a permis en particulier de mieux calibrer la durée de l'événement anoxique OAE1a, et de montrer pour la première fois dans cette localité l'existence d'importantes variations, en les chiffrant, dans les rythmes sédimentaires à la transition Bédoulien/Gargasien : 55 kyr/m durant l'OAE1a, 80 kyr/m (période de ralentissement sédimentaire maximum) au Bédoulien terminal/Gargasien basal, 20 kyr/m au Gargasien inférieur/moyen. Des travaux en cours (M.MA.), faisant appel aux méthodes de l'analyse spectrale appliquée conjointement aux données biologiques (Tritaxias) et diagrammes recueillis dans les forages de La Bédoule, devraient permettre d'affiner l'analyse et en particulier de mieux définir l'origine de ces cycles.



En prenant en compte la révision exposée dans le présent travail de la succession des marnes du bassin d'Apt, il nous a paru intéressant de

comparer le détail des variations des courbes de fréquence des Tritaxias entre les deux secteurs (Fig. 23, Tableau II) :

Intervalles	LA BÉDOULE (Forages LB1-LB3)	BASSIN D'APT (Clavaillan-Pichouraz-Les Gays)
Sous-Zone à Grandis	Pics à valeurs progressivement croissantes	Pics à valeurs progressivement croissantes
Limite Bédoulien/Gargasien	Banc 170 : un bref pic de très forte abondance	NB1 (Clavaillan) : période à valeurs très faibles ou nulles
Fin de la Zone à <i>S. cabri</i>	Sur 1 m, participe du bref et très fort pic axé sur le banc 170	Sur au moins ≥ 40 m, au moins 10 pics marqués à valeurs progressivement croissantes, culminant au-dessus de NB2
Zone à Luterbacheri	Période à valeurs très faibles ou nulles, puis bref pic terminal de forte abondance	Sur 40 m, période sans Tritaxias, puis reprise progressive d'une cyclicité dans les 15 derniers m
Zone à <i>G. ferreolensis heptacameratus</i>	Long cycle positif majeur à fortes abondances subdivisé en pics secondaires réguliers	Un bref pic de très forte abondance suivi d'un cycle à abondance très faible
Zone à <i>G. ferreolensis ferreolensis</i>	Constitue le tiers inférieur d'un très long cycle majeur subdivisé en pics secondaires plus ou moins réguliers	Un pic moyen suivi d'un cycle à faible abondance

On relève ainsi une similitude assez nette des courbes durant le bref épisode couvrant le Bédoulien terminal. En revanche les confins immédiats de la limite Bédoulien/Gargasien sont en corrélation inverse : fort pic positif à La Bédoule, cycle à valeurs minimales d'abondance à Clavaillan. Bien qu'ils marquent tous deux le top de la Sous-Zone à Grandis, les bancs 170 (La Bédoule) et NB1 (Clavaillan) ne sont pas "cyclostratigraphiquement" homologues. Nous avons vu plus haut qu'il existait aussi à ce niveau une disparité entre les positions respectives du moment d'apparition du marqueur planctonique *P. luterbacheri*.

Autre différence notable : l'existence dans le Vaucluse d'une séquence d'au moins 40 m d'épaisseur au-dessus du toit de la Sous-Zone à Grandis, constituant la partie terminale de la Zone à *S. cabri* et incluant de nombreux (au moins 10) cycles positifs de Tritaxias, à valeurs progressivement croissantes. Ces cycles atteignent des valeurs maximales sur la douzaine de mètres surmontant NB2, qui décroissent ensuite rapidement pour tomber brusquement à zéro au niveau de la limite Zone à *S. cabri*/Zone à *P. luterbacheri*. C'est le début d'une longue séquence azoïque pour les Tritaxias, épaisse de 40 m et couvrant les deux-tiers inférieurs de la Zone à *P. luterbacheri*. Rien de tel n'est observé à La Bédoule, où une séquence de quelques mètres (MOULLADE *et al.*, 2015 : cycle 6) à valeurs quasi nulles est certes relevée sur 5 m au-dessus de la limite *cabri/luterbacheri*, mais ici elle succède immédiatement à la limite Grandis/Furcata, sans interposition d'un intervalle de 13 m à nombreux cycles positifs comme observé dans le Vaucluse. Il semblerait qu'à La Bédoule une lacune de sédimentation au toit du banc 170 oblitère cette partie basale de

la Zone à Furcata, ce qui pourrait d'ailleurs y expliquer l'apparition plus précoce de *P. luterbacheri* par rapport au Vaucluse. Cette hypothèse d'une lacune est en phase avec les données cyclostratigraphiques recueillies dans les forages de La Bédoule (*op. cit.*), qui montrent un ralentissement extrême de la sédimentation au passage Grandis/Furcata.

Le contraste entre les deux régions est encore plus accentué du fait qu'à la même époque (Zone à *P. luterbacheri*) le bassin d'Apt est le lieu d'une très forte accumulation sédimentaire. La comparaison entre les deux régions sur le plan cyclostratigraphique est donc rendue difficile en raison de variations souvent non synchrones dans leur histoire tectono-sédimentaire. Des facteurs paléogéographiques locaux viendraient ainsi quelque peu obscurcir le schéma global régi par les variations des paramètres orbitaux.

Ensuite la situation s'inverse durant les zones à *G. ferreolensis heptacameratus* et *G. ferreolensis ferreolensis* : la sédimentation ralentit dans le Vaucluse, alors qu'elle s'accélère à Cassis-La Bédoule. Dans les deux régions on relève une nette cyclicité, à pics nombreux et plus resserrés à Cassis-La Bédoule, par suite de la plus forte dilatation de la série et aussi d'un échantillonnage plus dense.

Même si elle est rendue plus complexe à mettre en œuvre à cause de l'interférence des paramètres locaux, la cyclostratigraphie fondée sur les variations de fréquence de représentation des foraminifères benthiques concourt au déchiffrement de l'histoire sédimentaire d'un bassin, et peut-être aussi à relativiser et/ou expliquer d'appareils diachronismes biostratigraphiques.

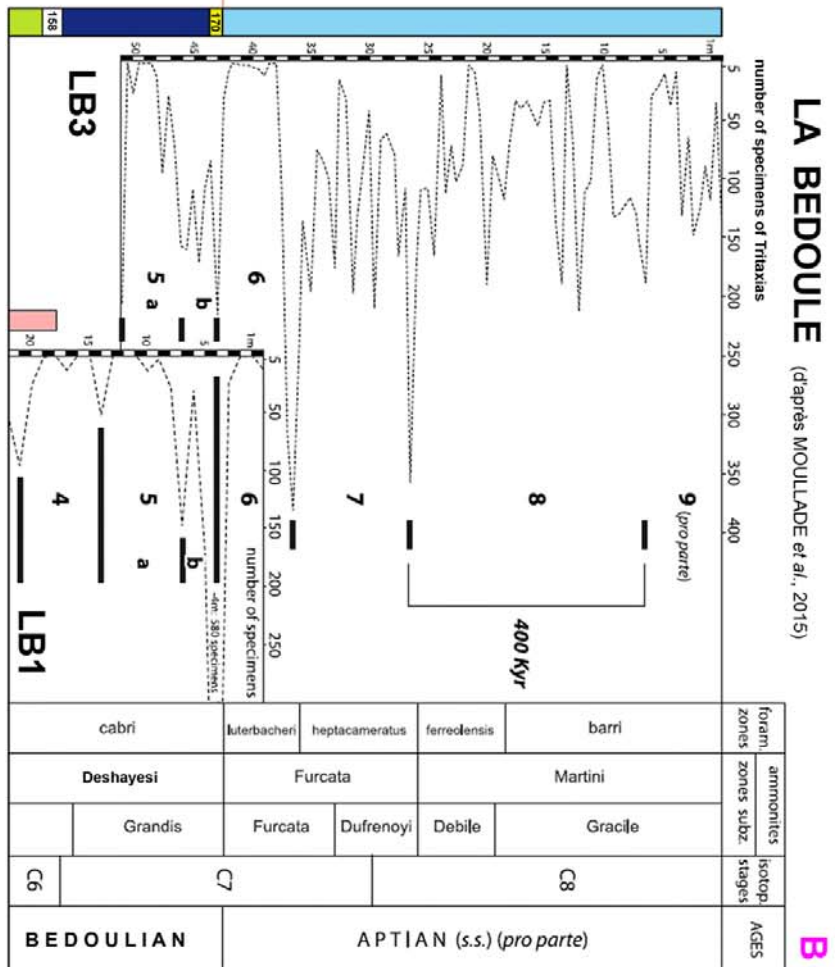
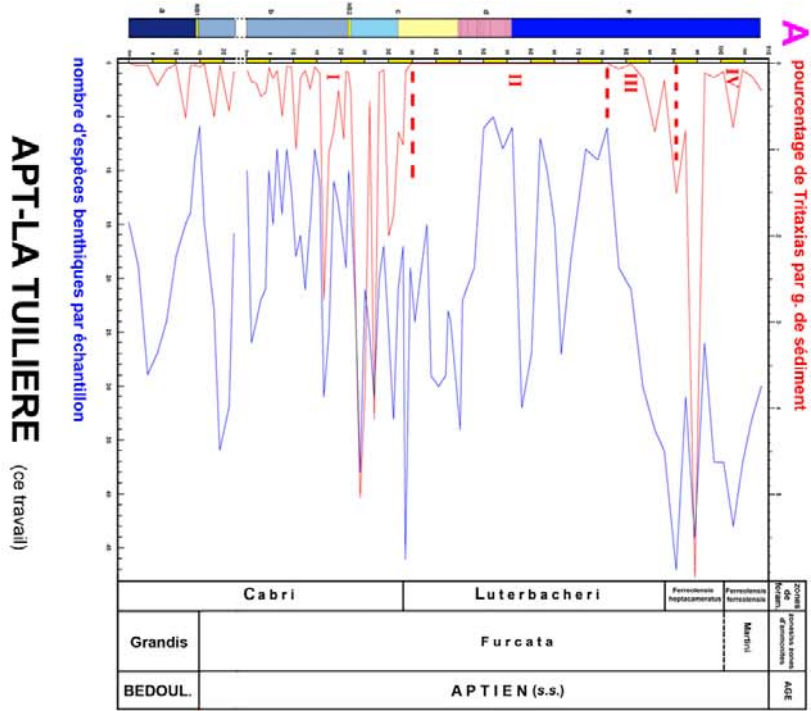


Figure 23 : Comparaison des données micropaléontologiques quantitatives entre **A.** le secteur d'Apt-La Tuilière (Vaucluse) (ce travail) et **B.** le secteur de La Bédoule (Bouches-du-Rhône) (d'après MOULLADE *et al.*, 2015).



c) Crise microfaunique post-datum quintuple (Bassin d'Apt)

Cette crise de diversité, brutale et intense, n'affecte cependant pas tous les taxons de la même manière (Figs. 13, 16). Les Tritaxias et les ostracodes ornés sont les plus touchés, au point de quasiment disparaître durant l'intervalle. Les autres espèces de foraminifères benthiques agglutinants sont moins affectées que les Tritaxias, et ce surtout de manière cyclique. Une majorité parmi les espèces de foraminifères benthiques calcaires est aussi fortement touchée mais demeure sporadiquement représentée. Les foraminifères planctoniques à 4-6 loges au dernier tour sont relativement peu affectés, à l'encontre de *P. luterbacheri*, forme à 7 loges, rarissime ou absente durant tout l'intervalle. Quelques formes benthiques calcaires (Lenticulines, Gavelinelles, Buliminidés), de même que les Cytherellas (Ostracodes lisses), ne sont absolument pas perturbées et ce d'une manière constante durant tout l'intervalle.

Une explication possible de cette différenciation est que les formes endobenthiques, normalement plus tolérantes vis-à-vis de conditions hypoxiques, ont aussi été mieux mécaniquement protégées du phénomène perturbateur majeur (énormes apports sédimentaires) par leur habitat, enfouies dans les sédiments du lieu de dépôt. Les épibenthiques, nécessitant de meilleures conditions d'oxygénation, ont dû être balayés et/ou enfouis sous la masse de sédiments, ou encore étouffés par la turbidité des eaux.

Ce scénario soulève la possibilité d'une mise en question de la valeur biostratigraphique du datum multiple, fondé sur l'extinction quasi simultanée de plusieurs espèces benthiques et d'un ostracode ; ces extinctions concomitantes pourraient être le résultat de la survenue d'un événement sédimentaire, et non pas d'un processus biologique. Cependant nous avons vu (Section 10.b) qu'à Cassis-La Bédoule, ce même datum est observé, impliquant les mêmes espèces, mais dans un tout autre contexte : condensation sédimentaire et sans crise de diversité microfaunique majeure.

d) Importance de Clavaillan (candidat potentiel pour un GSSP)

La révision biostratigraphique présentée ici montre que la coupe de Clavaillan constitue le seul endroit du secteur stratotypique historique de l'Aptien où la limite de la Sous-Zone à Grandis et de la Zone à Furcata (*i.e.*, le toit du banc repère NB1) est visible et accessible, au sein d'une coupe continue des termes de passage entre ces deux entités. Nous avons exposé antérieurement (MOULLADE *et al.*, 2011) les arguments en faveur du placement, à ce niveau zonal, de la limite entre les deux subdivisions de l'Aptien (*s.l.*) ou,

mieux, du Bédoulien érigé en étage et de l'Aptien (*s.s.*), en revenant au concept initial (ORBIGNY, 1840). Nous avons également proposé (MOULLADE *et al.*, 2015) que le GSSP correspondant soit choisi dans le secteur de Cassis-La Bédoule, stratotype historique du Bédoulien.

De la comparaison effectuée entre les secteurs de Cassis-La Bédoule et d'Apt dans le présent travail (Section 10.b), il ressort que pour la fixation de ce GSSP Clavaillan pourrait constituer une excellente alternative, ou à tout le moins compléter le site de La Bédoule, avec l'avantage par rapport à ce dernier de bénéficier d'un taux de sédimentation beaucoup plus élevé permettant une récupération plus fine des données sédimentaires, biologiques, géochimiques et cyclostratigraphiques.

11. Conclusion

La présente révision a conduit à une réinterprétation du positionnement stratigraphique du banc repère marno-calcaire (sans doute improprement dénommé "Niveau blanc" *in* MOULLADE *et al.*, 2006) initialement supposé unique et isochrone entre les coupes de Clavaillan d'une part et de Pichouraz d'autre part. Les données nouvelles apportées par notre révision concourent à estimer qu'il s'agit de deux niveaux certes lithologiquement proches mais stratigraphiquement distincts, et qu'en fait au moins une trentaine de mètres de marnes doivent les séparer dans la série. Ce résultat est fondé pour le moment sur un faisceau de preuves indirectes, car malheureusement aucune coupe ne permet actuellement de les observer simultanément sur un même affleurement. Nos tentatives de faire implanter un forage dans le secteur de Gargas avec le soutien de Petrobras (Brésil) n'ont malheureusement pu aboutir pour des raisons économiques. Ce forage aurait permis d'obtenir des données en continu sur toute la série depuis les sables albiens jusqu'au toit de l'Urgonien, et donc incidemment de résoudre le problème de superposition des deux niveaux. Le plus ancien (NB1) est visible seulement à Clavaillan, où son toit marque la limite entre la Sous-Zone à Grandis et la Zone à Furcata. Le plus récent (NB2) est visible sur le pourtour de la colline de Pichouraz, où il s'inscrit dans la partie inférieure de la Zone à Furcata. Seul NB1 peut être éventuellement corrélé avec le toit du "Niveau blanc" du domaine vocontien et avec le banc 170 (mais non 160, contrairement à l'hypothèse de FRIÈS, 1987) du secteur de Cassis-La Bédoule.

Sur la base de l'ensemble des données lithostratigraphiques (niveau repère, série dilatée), fauniques (ammonites) et des potentialités au plan cyclostratigraphique, le site de Clavaillan nous paraît désormais constituer une alternative valable pour la définition d'un GSSP de la limite



inférieure du sous-étage Gargasien [= étage Aptien (*s.s.*, *i.e. sensu* ORBIGNY, 1840)], venant ainsi compléter le site de Cassis-La Bédoule récemment proposé à ce sujet par MOULLADE *et al.* (2011, 2015).

S'agissant de la corrélation précise de la série aptienne du secteur de Pichouraz-La Tuilière-Les Gays avec celle de Cassis-La Bédoule, la présente étude a montré qu'il était aussi nécessaire de tenir compte des différences de rythmes d'accumulation sédimentaire, souvent contra-cycliques (en opposition de phase), entre les deux bassins. Pour mieux les déchiffrer, en sus de celles de la stratigraphie intégrée, les méthodes (analyse spectrale) de la cyclostratigraphie devraient constituer un outil incontournable.

Remerciements

Nous remercions Didier BERT et Stéphane BERSAC pour de fructueux échanges scientifiques concernant les Deshayesitidae ainsi que les problèmes de corrélation entre les bassins d'Apt et de Cassis-La Bédoule. Nous sommes reconnaissants à André BORNEMANN et Bernard LAMBERT pour leurs déterminations de nannofossiles calcaires des coupes de Clavaillan et Pichouraz Sud. Les remarques et commentaires constructifs de trois rapporteurs (Helmuth WEISSERT, André STRASSER, Danielle DECROUEZ) ont contribué à améliorer la version soumise de notre manuscrit.

Références bibliographiques

- ATROPS F. & DUTOUR Y. (2002).- Nouvelles données biostratigraphiques sur l'Aptien moyen et supérieur du Sud-Est de la France, à la lumière de la succession des ammonites du domaine vocontien. *In* : STRATI 2002, 3^{ème} Congrès français de Stratigraphie, Lyon.- *Documents du Laboratoire de Géologie de Lyon, Villeurbanne*, vol. 156, p. 23-24.
- ATROPS F. & DUTOUR Y. (2005).- Biostratigraphie et faunes d'ammonites de l'Aptien supérieur (Gargasien) de la région stratotypique de Gargas, près d'Apt (Sud-Est de la France). *In* : GROSHENY D. (éd.), *Impact environnemental sur la dynamique des populations au Crétacé.- Réunions thématiques du Groupe Français du Crétacé* (Paris, 5-6 Décembre 2005), Volume des Résumés, p. 12-15 (abstract).
- BABINOT J.-F., MOULLADE M. & TRONCHETTI G. (2007a).- The upper Bedoulian and lower Gargasian Ostracoda of the Aptian stratotype: Taxonomy and biostratigraphic correlation.- *Carnets Geol.*, Madrid, vol. 7, n° A05 (CG 2007_A05), p. 1-35.
- BABINOT J.-F., MOULLADE M. & TRONCHETTI G. (2007b).- Les Ostracodes du Bédoulien supérieur et du Gargasien inférieur du stratotype de l'Aptien : Systématique et corrélations biostratigraphiques.- *Carnets Geol.*, Madrid, vol. 7, n° A05-fr (CG2007_A05 (fr)), p. 36-71.
- BERGEN J.A. (1998).- Calcareous nannofossils from the Lower Aptian historical stratotype at Cassis-La Bédoule (SE France). *In*: MOULLADE M., TRONCHETTI G. & MASSE J.-P. (éds.), *Le stratotype historique de l'Aptien inférieur (Bédoulien) de Cassis-La Bédoule (S.E. France).- Géologie méditerranéenne*, Marseille, vol. 25, n° 3-4, p. 227-255.
- BRÉHÉRET J.G. (1997).- L'Aptien et l'Albien de la fosse vocontienne (des bordures au bassin). Évolution de la sédimentation et enseignements sur les événements anoxiques.- Thèse Doctorat ès Sciences de l'Université de Tours ; *Publications de la Société Géologique du Nord*, Lille, vol. 25, 614 p. URL : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00805488/>
- CABROL C. (1985, inédit).- Étude du Crétacé moyen du Sud de la Montagne de Lure.- Rapport de l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 54 p.
- DUTOUR Y. (2005).- Biostratigraphie, évolution et renouvellements des ammonites de l'Aptien supérieur (Gargasien) du bassin vocontien (Sud-Est de la France).- Thèse Université Claude Bernard-Lyon 1, 302 p.
- FABRE-TAXY S., MOULLADE M. & THOMEL G. (1965).- Le Bédoulien dans sa région-type, La Bédoule-Cassis (B.-du-Rh.). *In* : Colloque sur le Crétacé inférieur (Lyon, septembre 1963).- *Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, Orléans, n° 34, p. 173-179.
- FRIÈS G. (1987).- Dynamique du bassin subalpin méridional de l'Aptien au Cénomanien.- *École des Mines de Paris, Mémoire des Sciences de la Terre*, n° 4, 370 p. URL : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00801058/>
- GARCÍA-MONDÉJAR J., OWEN H.G., RAISOSSADAT N., MILLÁN M.I. & FERNANDEZ-MENDIOLA P.A. (2009).- The Early Aptian of Aralar (northern Spain): Stratigraphy, sedimentology, ammonite biozonation, and OAE1.- *Cretaceous Research*, vol. 30, p. 434-464.
- GIROUD d'ARGOUD G. (1975).- Contribution à l'étude stratigraphique et sédimentologique de l'Aptien supérieur de Provence.- Thèse Doctorat 3^{ème} cycle, Marseille, 92 p.
- HERRLE J.O., KÖSSLER P. & BOLLMANN J. (2010).- Palaeoceanographic differences of early Late Aptian black shales events in the Vocontian Basin (SE France).- *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 297, p. 367-376.
- KUHNT W., MOULLADE M., MASSE J.-P. & ERLLENKEUSER H. (1998).- Carbon isotope stratigraphy of the lower Aptian historical stratotype at Cassis-La Bédoule (S.E. France). *In* : MOULLADE M., TRONCHETTI G. & MASSE J.-P. (éds.), *Le stratotype historique de l'Aptien inférieur (Bédoulien) de Cassis-La Bédoule (S.E. France).- Géologie méditerranéenne*, Marseille, vol. 25, n° 3-4, p. 63-79.



- LEENHARDT F. (1883).- Étude géologique de la région du Mont-Ventoux.- Thèse, Montpellier & Paris, 273 p.
- LORENZEN J., KUHNT W., HOLBOURN A., FLÖGEL S., MOULLADE M. & TRONCHETTI G. (2013).- A new sediment core from the Bedoulian (Lower Aptian) stratotype at Roquefort-La Bédoule, SE France.- *Cretaceous Research*, vol. 39, p. 6-16.
- MARTEL P. (1972).- À propos de paléontologie. In : Le Pays d'Apt, volume 1, le milieu naturel.- Éd. Les Alpes de Lumière, Forcalquier, n° 51, p. 39-40.
- MENEGATTI A.P., WEISSERT H., BROWN R., TYSON R.V., FARRIMOND P., STRASSER A. & CARON M. (1998).- High-resolution $\delta^{13}\text{C}$ stratigraphy through the early Aptian "Livello Selli" of the Alpine Tethys.- *Paleoceanography*, Washington D.C., 13, n° 5, p. 530-545.
- MILLÁN M.I., WEISSERT H.J., FERNÁNDEZ-MENDIOLA P.A. & GARCÍA-MONDÉJAR J. (2009).- Impact of Early Aptian carbon cycle perturbations on evolution of a marine shelf system in the Basque-Cantabrian Basin (Aralar, N Spain).- *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 287, p. 392-401.
- MOULLADE M. (1965).- Révision des stratotypes de l'Aptien. II- Gargas (Vaucluse). In : Colloque sur le Crétacé inférieur (Lyon, septembre 1963).- *Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, Orléans, vol. 34, p. 201-214.
- MOULLADE M. (1966).- Étude stratigraphique et micropaléontologique du Crétacé inférieur de la "fosse vocontienne".- Thèse de Doctorat d'État ès Sciences Naturelles ; *Documents des Laboratoires de Géologie de la Faculté des Sciences de Lyon*, Villeurbanne, n° 15, p. 1-369.
- MOULLADE M., TRONCHETTI G., BUSNARDO R. & MASSE J.P. (1998a).- Description lithologique des coupes types du stratotype historique de l'Aptien inférieur dans la région de Cassis-La Bédoule (SE France). In: MOULLADE M., TRONCHETTI G. & MASSE J.-P. (éds.), Le stratotype historique de l'Aptien inférieur (Bédoulien) de Cassis-La Bédoule (S.E. France).- *Géologie méditerranéenne*, Marseille, vol. 25, n° 3-4, p. 15-29.
- MOULLADE M., KUHNT W., BERGEN J.A., MASSE J.-P. & TRONCHETTI G. (1998b).- Correlation of biostratigraphic and stable isotope events in the Aptian historical stratotype of La Bédoule (south-east France).- *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de la Terre et des Planètes, Earth & Planetary Sciences*, Paris, (II), t. 327, p. 693-698.
- MOULLADE M. & TRONCHETTI G. (2010).- A preliminary quantitative study of Foraminifera within the paleoenvironmental record of the Aptian stratotypes.- *Revue de Micropaléontologie*, vol. 53, n° 3, p. 193-208.
- MOULLADE M., BELLIER J.-P. & TRONCHETTI G. (2005).- Le Gargasien (Aptien moyen) de Cassis-La Bédoule (stratotype historique de l'Aptien inférieur, SE France) : Associations et biostratigraphie des Foraminifères benthiques et planctoniques.- *Carnets Geol.*, Madrid, vol. 5, n° A02 (CG2005_A02), p. 1-20.
- MOULLADE M., TRONCHETTI G., BALME C. & KOUYOU-MONTZAKIS G. (2006).- The Gargasien (Middle Aptian) of La Tuilière - St-Saturnin-lès-Apt (area of the Aptian historical stratotype, Vaucluse, SE France): Geographic setting and outcrop correlation.- *Carnets Geol.*, Madrid, vol. 6, n° L01 (CG2006_L01), p. 1-7.
- MOULLADE M., TRONCHETTI G. & BELLIER J.-P. (2008).- Associations et biostratigraphie des Foraminifères benthiques et planctoniques du Bédoulien sommital et du Gargasien inférieur de La Tuilière - St-Saturnin-lès-Apt (aire stratotypique de l'Aptien, Vaucluse, SE France).- *Carnets Geol.*, Madrid, vol. 8, n° A01 (CG 2008_A01), p. 1-50.
- MOULLADE M., TRONCHETTI G. & GRANIER B. (2009a).- Ammonites, microfaunes, stratonomie et géochimie de l'Aptien-type.- *Annales du Museum d'Histoire naturelle de Nice*, vol. XXIV, fasc. 1, 402 p.
- MOULLADE M., TRONCHETTI G. & BABINOT J.-F. (2009b).- Le Gargasien de Gargas (Vaucluse, SE de la France) : Synthèse des données de terrain et révision de la microfaune de foraminifères et d'ostracodes.- *Carnets Geol.*, Madrid, vol. 9, n° A10 (CG2009_A10), p. 1-15.
- MOULLADE M., GRANIER B. & TRONCHETTI G. (2011).- The Aptian Stage: Back to fundamentals.- *Epi-sodes*, Bangalore, vol. 34, n° 3, 148-156.
- MOULLADE M., TRONCHETTI G., GRANIER B., BORNEMANN A., KUHNT W. & LORENZEN J. (2015).- High-resolution integrated stratigraphy of the OAE1a and enclosing strata from core drillings in the Bedoulian stratotype (Roquefort-La Bédoule, SE France).- *Cretaceous Research*, vol. 56, p. 119-140.
- NUÑEZ-USECHE F., MORENO-BEDMAR J.A., COMPANY M. & BARRAGAN R. (2014).- A negative carbon isotope excursion within the *Dufrenoyia furcata* Zone: Proposal for a new episode for chemostratigraphic correlation in the Aptian.- *Carnets Geol.*, Madrid, vol. 14, n° 6, p. 129-137.
- ORBIGNY A. d' (1840).- Paléontologie française. Description des mollusques et rayonnés fossiles - Terrains crétacés. Tome Premier. Céphalopodes.- Masson, Paris, 662 p.
- ROPOLO P., CONTE G., GONNET R., MASSE J.-P. & MOULLADE M. (1998).- Les faunes d'Ammonites du Barrémien supérieur/Aptien inférieur (Bédoulien) dans la région stratotypique France) : État des connaissances et propositions pour une zonation par Ammonites du Bédoulien-type.- In: MOULLADE M., TRONCHETTI G. & MASSE



- J.-P. (éds.), Le stratotype historique de l'Aptien inférieur (Bédoulien) de Cassis-La Bédoule (S.E. France).- *Géologie méditerranéenne*, Marseille, vol. 25, n° 3-4, p. 167-175.
- ROPOLO P. & GONNET R. (2003).- Les *Dufrenoyia* (Ammonoidea) de la Zone à Furcata (Aptien inférieur) du Sud-Est de la France.- *Annales du Muséum d'Histoire Naturelle de Nice*, vol. 18, p. 21-57.
- ROPOLO P., MOULLADE M., GONNET R., CONTE G. & TRONCHETTI G. (2006).- The Deshayesitidae
- STOYANOV, 1949 (Ammonoidea) of the Aptian stratotype region at Cassis-la Bédoule (SE France).- *Carnets Geol.*, Madrid, vol. 6, n° M01 (CG2006_M01), p. 1-46.
- ROPOLO P., CONTE G., MOULLADE M., TRONCHETTI G. & GONNET R. (2008).- The Douvilleiceratidae (Ammonoidea) of the Lower Aptian historical stratotype area at Cassis-La Bédoule (SE France).- *Carnets Geol.*, Madrid, vol. 8, n° M03 (CG2008_M03), p. 1-60.