



**HAL**  
open science

## Le Valanginien-Hauterivien inférieur du SE de la France

Stéphane Reboulet

► **To cite this version:**

Stéphane Reboulet. Le Valanginien-Hauterivien inférieur du SE de la France. 2015, 74 p., 2015, Livret-Guide des Excursions du Groupe Français du Crétacé. hal-01238133

**HAL Id: hal-01238133**

**<https://hal.science/hal-01238133v1>**

Submitted on 4 Dec 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## Excursion du Groupe Français du Crétacé

# Le Valanginien-Hauterivien inférieur du SE de la France : les coupes de Vergol, La Charce et Cougourdas

30 septembre – 2 octobre 2015

Organisée par : Stéphane Reboulet



# **Le Valanginien-Hauterivien inférieur du SE de la France : les coupes de Vergol, La Charce et Cougourdas.**

## **Plan du livret guide de l'excursion GFC 2015**

Introduction générale - p. 2.

Partie 1 - Le Valanginien du Bassin Vocontien :  
La coupe de Vergol (Montbrun-les-Bains Drôme) - p.7.

Partie 2 - L'Hauterivien du Bassin Vocontien :  
La coupe de La Charce/Serre de l'Âne (La Charce, Drôme) - p. 33.

Partie 3 - L'Hauterivien de la bordure ardéchoise :  
La coupe de Cougourdas (Saint-Martin-sur-Lavezon, Ardèche) - p. 59.

Références - p. 64.



**- Stéphane Reboulet -**

# Introduction générale.

## Contexte de l'excursion et remerciements.

A l'occasion de l'inauguration de l'Espace Naturel Sensible du Serre de l'Âne (le 5/12/14 à La Charce), une présentation de ce site a été faite (S. Reboulet) lors de la dernière réunion du GFC (2-3/12/14) et il a été proposé de faire une excursion sur la coupe de La Charce (GSSP Hauterivien). Ultérieurement, il a été convenu de compléter cette sortie par d'autres coupes. La visite de la coupe de Cougourdas a été choisie pour illustrer l'Hauterivien de la bordure ardéchoise et faire référence à la carte géologique de Privas nouvellement publiée (fin 2014 ; inaugurée le 19/06/15 à Privas). Enfin, la coupe de Vergol a été sélectionnée car elle est une des 2 coupes candidates au GSSP Valanginien.

Dans le cadre de cette excursion et du livret guide associé, je tiens à signaler que la présentation des données/résultats/interprétations fait bien évidemment référence à des travaux publiés ou présentés en congrès mais elle s'inscrit aussi dans des collaborations pluridisciplinaires en cours et des travaux de synthèse en préparation, principalement coordonnés par Luc Bulot pour le « formal proposal » du GSSP Hauterivien de la coupe de La Charce et par moi-même pour la coupe de Vergol. Mathieu Martinez, Nicolas Noclin (étudiant de Licence à l'Université de Lyon) et moi-même avons entrepris un travail de terrain sur les coupes de Pommerol et d'Arnayon (Drôme), qui sont présentées dans ce livret (données en partie inédites), afin d'être comparées à la coupe de La Charce.

Je remercie vivement Danièle Grosheny, la présidente du GFC, pour son soutien amical et pour m'avoir aidé dans l'organisation de cette excursion.

## Itinéraire.

Le plan du livret guide suit une logique « stratigraphique » : le Valanginien et sa limite basale puis la limite entre les 2 sous-étages, l'Hauterivien et sa limite basale.

Afin d'optimiser le déroulement de l'excursion (distance et temps pour rejoindre les coupes, l'hôtel à Nyons et la gare TGV de Valence), les sites visités se feront dans l'ordre suivant : Cougourdas, Vergol et La Charce (Fig. 1).



Fig. 1 : Carte de localisation des sites visités - @Google.

### Cadre géographique.

La coupe de Vergol est située à quelques km au Nord-Ouest de la petite ville de Montbrun-les-Bains (Drôme), à 3 km au Sud du château d'Aulan à côté de la rivière du Toulourenc (Fig. 2). La coupe du Serre de l'Âne/La Charce, qui borde la rivière l'Oule, est localisée à 500 m à l'Ouest du village de La Charce (Drôme), lui-même situé à quelques km à l'Est de celui de La Motte-Chalacón. Le hameau de Cougourdes se situe sur la commune de St-Martin-sur-Lavezon (Ardèche), mais la coupe de Cougourdas est positionnée à 500 m environ au Sud-Est du village de St-Pierre-la Roche.



- ★ - Coupe de Cougourdas (St-Martin-sur-Lavezon, Ardèche).
- ★ - Coupe de Vergol (Montbrun-les-Bains, Drôme).
- ★ - Coupe de La Charce/Serre de l'Âne (La Charce, Drôme).

**Fig. 2 :** Localisation des coupes - @Google.

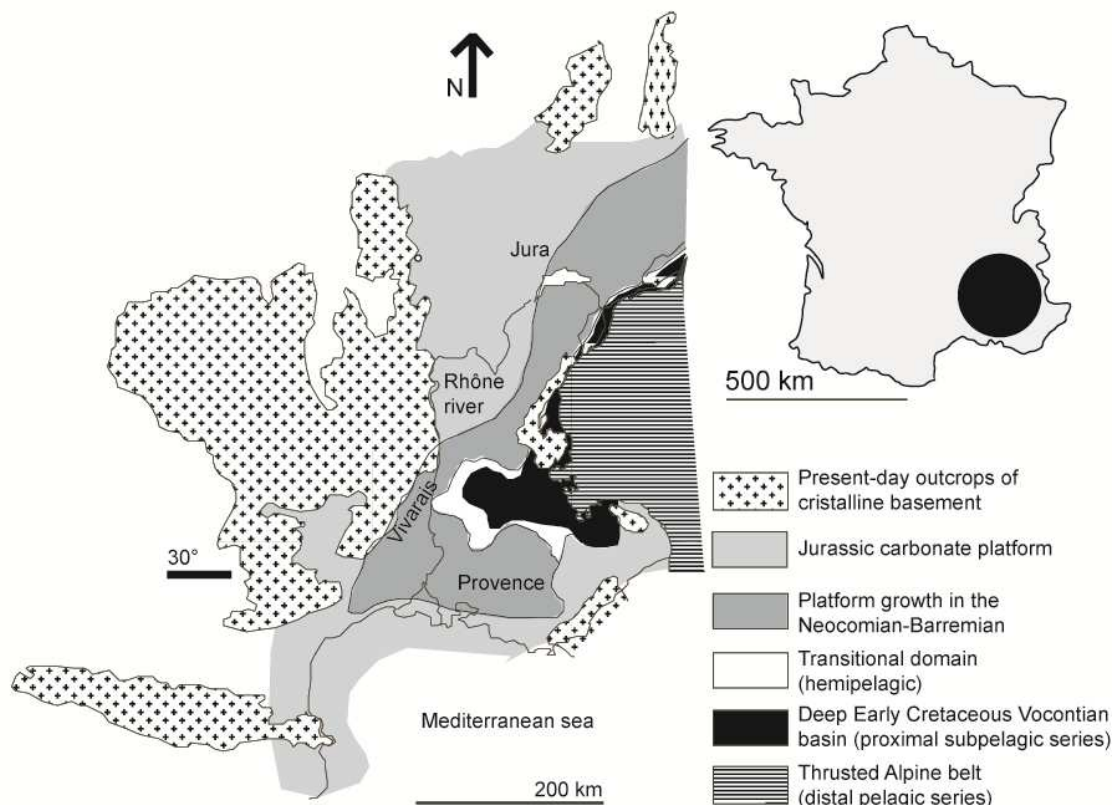
### Cadre paléogéographique.

Le Bassin du Sud-Est de la France regroupe le Bassin Vocontien (faciès subpélagique) et les plates-formes périphériques (faciès néritique) avec un domaine intermédiaire/transitionnel (faciès hémipélagique ; Fig. 3).

La permanence des marno-calcaires à céphalopodes durant tout le Crétacé inférieur dans le Diois et les Baronnies avait permis à Paquier (1900) d'introduire la notion de "Fosse Vocontienne". Le Bassin Vocontien est défini *sensu stricto* par Cotillon et al. (1980) comme "une aire de sédimentation pélagique profonde correspondant aux Chaînes subalpines méridionales (Diois, Baronnies, Arc de Digne et de Castellane". Il s'agit d'un bassin intracontinental, localisé à une paléolatititude d'environ 30° Nord (Cecca, 1998), ouvert sur l'océan téthysien. Le diamètre du Bassin Vocontien est d'environ 150 km et sa profondeur est estimée de 300 à 400 m.

Une zone périvocontienne ceinturait complètement le bassin, sauf à l'Est (Fig. 3). Elle correspondait à des aires de plates-formes carbonatées, à sédimentation néritique. Cette zone comprenait principalement le Jura, la Bresse, le Bas-Dauphiné, les Chaînes subalpines septentrionales, l'Ardèche, le Gard et la Provence (Cotillon, 1984).

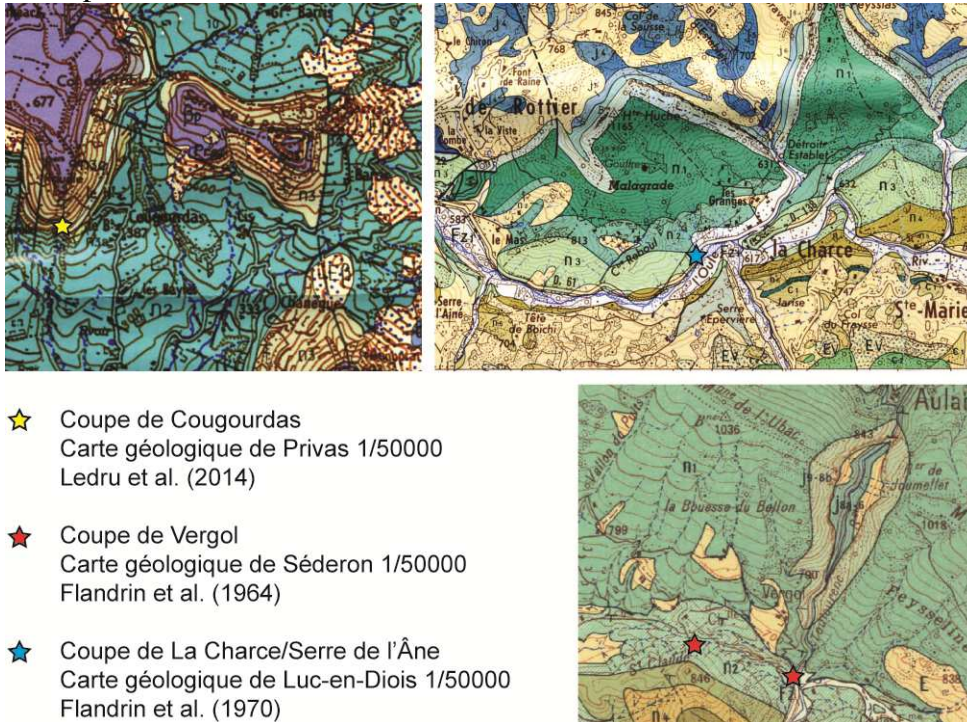
Ce domaine se raccordait au bassin par une zone intermédiaire caractérisée par des faciès hémipélagiques (Fig. 3). Si les limites du bassin *sensu stricto* n'ont pas vraiment varié durant le Crétacé inférieur, les frontières entre domaine hémipélagique et plates-formes n'ont pas cessé de fluctuer, avec selon l'intervalle de temps considéré, la prédominance d'un type de dépôt sur l'autre (Cotillon, 1984).



**Fig. 3 :** Paléogéographie du SE de la France au Mésozoïque (Ferry, 1991, modifiée).

## Cadre géologique.

Le lecteur se reportera aux feuilles 1/50000 de Séderon, de Luc-en-Diois et de Privas (Fig. 4).



**Fig. 4 :** Extraits des cartes géologiques montrant les coupes visitées.

## Cadre biostratigraphique.

Les nombreux travaux réalisés sur les faunes d'ammonoïdes du Valanginien-Hauterivien du SE de la France (Bulot, 1995 ; Reboulet, 1996 et références ; voir aussi les parties Biostratigraphie des coupes de Vergol et La Charce) ont fortement contribué à établir la Zonation Standard du Crétacé inférieur dans le cadre de l'activité du Kilian Group (= Lower Cretaceous Ammonite Working Group of the IUGS Subcommittee on Cretaceous Stratigraphy ; Hoedemaeker et al., 2003 ; Reboulet et al., 2006 ; 2009 ; 2011 ; 2014). Le dernier schéma zonal adopté par le groupe pour l'intervalle Berriasien-Hauterivien est présenté ci-dessous (Tab. 1 ; Reboulet et al., 2014). Par rapport à ce qu'il avait été établi lors de la réunion de Lyon en 2002 (Hoedemaeker et al., 2003 ; Tab. 2), des modifications relativement importantes ont été faites sur la zonation du Valanginien inférieur lors de la réunion d'Ankara en 2013 avec l'abandon de la zone à *Campylotoxus* (et de la sous-zone à *Biassalense*) et l'introduction des zones à *Neocomiensiformis* et à *Inostranzewi* (Reboulet et al., 2014). Afin de faciliter une meilleure compréhension par rapport au schéma précédent, une corrélation est proposée ici, plus particulièrement pour l'intervalle sommital (zone à *Inostranzewi* ; Tab. 3). Cependant, j'ai préféré conservé les anciennes échelles biostratigraphiques locales et/ou la Zonation Standard du Valanginien inférieur (= avant Ankara, Reboulet et al., 2014) pour les travaux (texte et figures) utilisés dans ce livret et parus avant 2014. En effet, avant de faire ces transformations (notamment sur les coupes), j'estime qu'il est d'abord nécessaire de revoir la conception, l'identification et donc la répartition stratigraphique de certaines espèces (comme *Busnardoites campylotoxus*, *Saynoceras fuhri*, *Karakaschiceras biassalense*, *Karakaschiceras inostranzewi*) au vu des travaux récents (notamment celui de Company et Tavera, 2015). Cette approche nécessite de réétudier une partie des ammonites de ma collection mais aussi celles des collègues, étude qui n'a pas encore pu être réalisée à cette date. D'un autre côté, le lecteur est très probablement plus familier avec l'ancien schéma zonal qu'avec celui d'Ankara qui est très récent et encore peu utilisé et peu connu des non-ammonitologues.

STAGES	ZONES	SUBZONES		
HAUTERIVIAN	Upper	" <i>Pseudothurmannia ohmi</i> "	<i>Pseudothurmannia picteti</i>	
			<i>Pseudothurmannia catulloi</i>	
			" <i>P. ohmi</i> "	
		<i>Balearites balearis</i>		<i>Spathicrioceras seitzii</i>
				<i>Crioceratites krenkeli</i>
				<i>Binelliceras binelli</i>
	Lower			<i>B. balearis</i>
		<i>Plesiospitidiscus ligatus</i>		
		<i>Subsajmella sayni</i>		
		<i>Lyticoceras nodosoplicatum</i>		
VALANGINIAN	Upper	<i>Criosarasinella furcillata</i>	<i>Teschenites callidiscus</i>	
			<i>C. furcillata</i>	
		<i>Neocomites peregrinus</i>	<i>Olcostephanus (Olcostephanus) nicklesi</i>	
	Lower			<i>N. peregrinus</i>
			<i>Saynoceras verrucosum</i>	<i>Karakaschiceras pronecostatum</i>
				<i>S. verrucosum</i>
			<i>Karakaschiceras inostranzewi</i> (4)	<i>Neocomites platycostatus</i> (4)
	<i>Neocomites neocomiensiformis</i> (3)		<i>K. inostranzewi</i> (4)	
	" <i>Thurmanniceras</i> " <i>pertransiens</i> (2)			
BERRIASIAN	Upper	<i>Subthurmannia boissieri</i>	<i>Thurmanniceras otopeta</i>	
			<i>Tirnovella alpillensis</i>	
			<i>Berriasella picteti</i>	
	Middle	<i>Subthurmannia occitanica</i>	<i>Malbosiceras paramimounum</i>	
			<i>Dalmasiceras dalmasi</i>	
Lower	<i>Berriasella jacobii</i> (1)	<i>Berriasella privasensis</i>		
		<i>Subthurmannia subalpina</i>		

Tab. 1 : Zonation Standard du Berriasien-Hauterivien, Kilian Group (Reboulet et al., 2014).

VALANGINIAN	Upper	<i>C. furcillata</i> 7	<i>T. callidiscus</i> 7	
			<i>C. furcillata</i>	
		<i>N. peregrinus</i> 6	<i>O. (O.) nicklesi</i>	
	Lower 2	<i>S. verrucosum</i> 5	<i>N. peregrinus</i>	
			<i>K. pronecostatum</i>	<i>N. platycostatus</i> 4
		<i>B. campylotoxus</i>	<i>K. biassalense</i> 3	<i>S. fuhri</i> 4
		<i>B. campylotoxus</i> 3		
	<i>T. pertransiens</i> 2			

Tab. 2 : Zonation Standard du Valanginien, Kilian Group (Hoedemaeker et al., 2003).

Substage	Atrops and Reboulet (1995 a,b) Reboulet and Atrops (1999)	Kilian group Lyon meeting 2002 (Hoedemaeker et al., 2003)			<sup>1)</sup> Bulot and Thieuloy (1995) <sup>2)</sup> Company and Tavera (2013)
Lower Valanginian <i>p.p.</i>	<i>B. campylotoxus</i> Zone <i>p.p.</i>	<i>N. platycostatus</i> Horizon	<i>B. campylotoxus</i> Zone <i>p.p.</i>	<i>K. biassalense</i> Subzone	<i>N. platycostatus</i> Horizon
		<i>K. biassalense</i> Horizon			<i>S. fuhri</i> Horizon
		<i>S. fuhri</i> Horizon			
					<i>K. inostranzewi</i> Zone <sup>1,2</sup>
					<i>N. neocomiensiformis</i> Zone <sup>2</sup> <i>p.p.</i>

Tab. 3 : Zonations comparées pour le Valanginien inférieur sommital (Reboulet et al., 2014).



# - Partie 1 -

## Le Valanginien du Bassin Vocontien : La coupe de Vergol (Montbrun-les-Bains).

### 1- Introduction.

La coupe de Vergol a été proposée comme coupe candidate pour le GSSP Valanginien (Blanc et al., 1994 ; cf. GTS 2004, Ogg et al., 2004). Depuis, elle a fait l'objet de nombreuses études, plus particulièrement par certains membres des équipes lyonnaise (Atrops et Reboulet, 1995ab ; Reboulet, 1996 ; Reboulet et Atrops, 1997 ; 1999 ; Reboulet et al., 2003 ; McArthur et al., 2007 ; Reboulet et Rard, 2008 ; Gréselle et Pittet, 2010 ; Gréselle et al., 2011 ; Mattioli et al., 2014) et dijonnaise (Fesneau et al., 2009 ; Barbarin et al., 2012 ; Martinez et al., 2013 ; 2015). Néanmoins, la plupart de ces études ont été focalisées sur un intervalle stratigraphique autour de la limite Valanginien inférieur/supérieur. Plus récemment, la thèse de Samer Kenjo (2014) a permis d'avoir des données récentes et plus complètes, notamment en biostratigraphie (ammonites et nannofossiles calcaires) sur l'intervalle bordant la limite Berriasien-Valanginien.

### 2- Lithologie.

La coupe de Vergol est composée d'une alternance calcaires-marnes. La sédimentation est à dominante calcaire au cours du Berriasien supérieur (zone à *Alpillensis sensu* Kenjo 2014) et du Valanginien inférieur (zone à Pertransiens) ; elle devient plus argileuse à partir de l'ex-zone à *Campylotoxus*. La série est à dominante marneuse dans l'intervalle autour de la limite Valanginien inférieur (partie supérieure de l'ex-zone à *Campylotoxus*)-Valanginien supérieur (zone à *Verrucosum*). La succession lithologique redevient à dominante calcaire vers le sommet de la coupe (zone à *Peregrinus*). Il faut noter l'existence de 2 bancs de la coupe de Vergol (VGL-V61 et V62) où les bivalves (souvent fragmentés) sont nombreux ; ces 2 bancs peuvent être corrélés avec 2 bancs lumachelliques de la coupe des Prades (LPD 64 et 65) où de très nombreux fragments de bivalves (pectinidés essentiellement) ont été observés (Reboulet, 1996) ; ces niveaux semblent donc assez largement représentés dans le Bassin Vocontien. La série sédimentaire est également caractérisée par l'existence de niveaux centimétriques riches en goethite dont un seul s'avère être un niveau de bentonite (O3 ; ex-zone à *Campylotoxus* ; Fesneau et al., 2009 ; cf. partie La Charce).

La série alternante est plus au moins monotone. Elle s'organise parfois en faisceaux devenant plus calcaires vers leur sommet ; ils permettent d'établir des corrélations lithologiques (cf. Faisceau *Otopeta*, Kenjo, 2014, Photo 1 ; Faisceau *Médian/Peregrinus* Cotillon et al., 1980). La continuité de la série est perturbée par 2 slumps : le premier fait une douzaine de mètres d'épaisseur et se localise entre les bancs VGL-V43 et V45 (Kenjo, 2014) ; le deuxième est plus petit (environ 8 m d'épaisseur) et se localise entre les bancs V96-V98 (Reboulet, 1996).

Les alternances valanginiennes ont été interprétées comme le résultat de cycles de production du nannoplankton calcaires causés par des fluctuations climatiques dans la bande de fréquence de Milankovitch (Cotillon et al, 1980 ; Giraud, 1995). Alternativement, Reboulet et al. (2003) ont proposé un modèle de cycles de dilution par l'export de boue carbonatée depuis les plates-formes environnantes peu profondes vers le Bassin Vocontien (voir aussi Gréselle et al., 2011).



**Photo 1 :** Coupe de Vergol, faisceau à Otopeta (base = VGL-B121)  
 - @Stéphane Reboulet (= @SR).

### **3- Biostratigraphie (ammonoïdes).**

Les résultats biostratigraphiques des parties inférieure (environ 90 m) et supérieure (environ 50 m) de la coupe de Vergol sont principalement et respectivement basés sur les monographies de Kenjo (2014 ; VGL-B100 à V68) et Reboulet (1996 ; VGL-V69 à V107 ; pour de plus amples détails voir les références citées dans ces 2 monographies). Les travaux de Kenjo et Reboulet sont basés sur la récolte respectivement de 1623 et 1780 ammonites qui constituent l'essentiel de la macrofaune. On peut signaler la présence de bélemnites, bivalves et de rares brachiopodes.

Les assemblages d'ammonoïdes consistent essentiellement en 6 familles. Les renouvellements fauniques sont principalement caractérisés par l'évolution des Neocomitidae et Olcostephanidae. Les spectres fauniques sont souvent dominés par les Haploceratidae, Phylloceratidae, Lytoceratidae et Bochianitidae ; leur abondance témoigne d'un paléo-environnement relativement profond (Reboulet, 1996). Les variations de la composition de ces assemblages de l'ammonitofaune du Berriasien supérieur-Valanginien ont été interprétées en termes de changements eustatiques, climatiques et trophiques (Reboulet, 1996 ; Kenjo, 2014).

La coupe de Vergol a été un support important pour l'établissement de la zonation par ammonites du Valanginien inférieur *p.p.* du SE de la France (Reboulet, 1996), voir dans certains cas pour la Zonation Standard (Hoedemaeker et al., 2003).

### **4- L'intervalle stratigraphique autour de la limite Berriasien-Valanginien.**

#### **4.1- Ammonites et schéma zonal *sensu* Kenjo (2014).**

Récemment, à partir de l'étude exhaustive des faunes d'ammonoïdes de la partie inférieure de la coupe de Vergol (Fig. 1ab ; voir aussi la Coupe de Courchons, Alpes-de-Haute-Provence), Kenjo (2014) a proposé un nouveau schéma zonal pour l'intervalle Berriasien supérieur (*p.p.*) et Valanginien inférieur (*p.p.*). Il s'agit de (sous-)zones d'intervalles basées sur l'apparition d'un taxon marqueur.

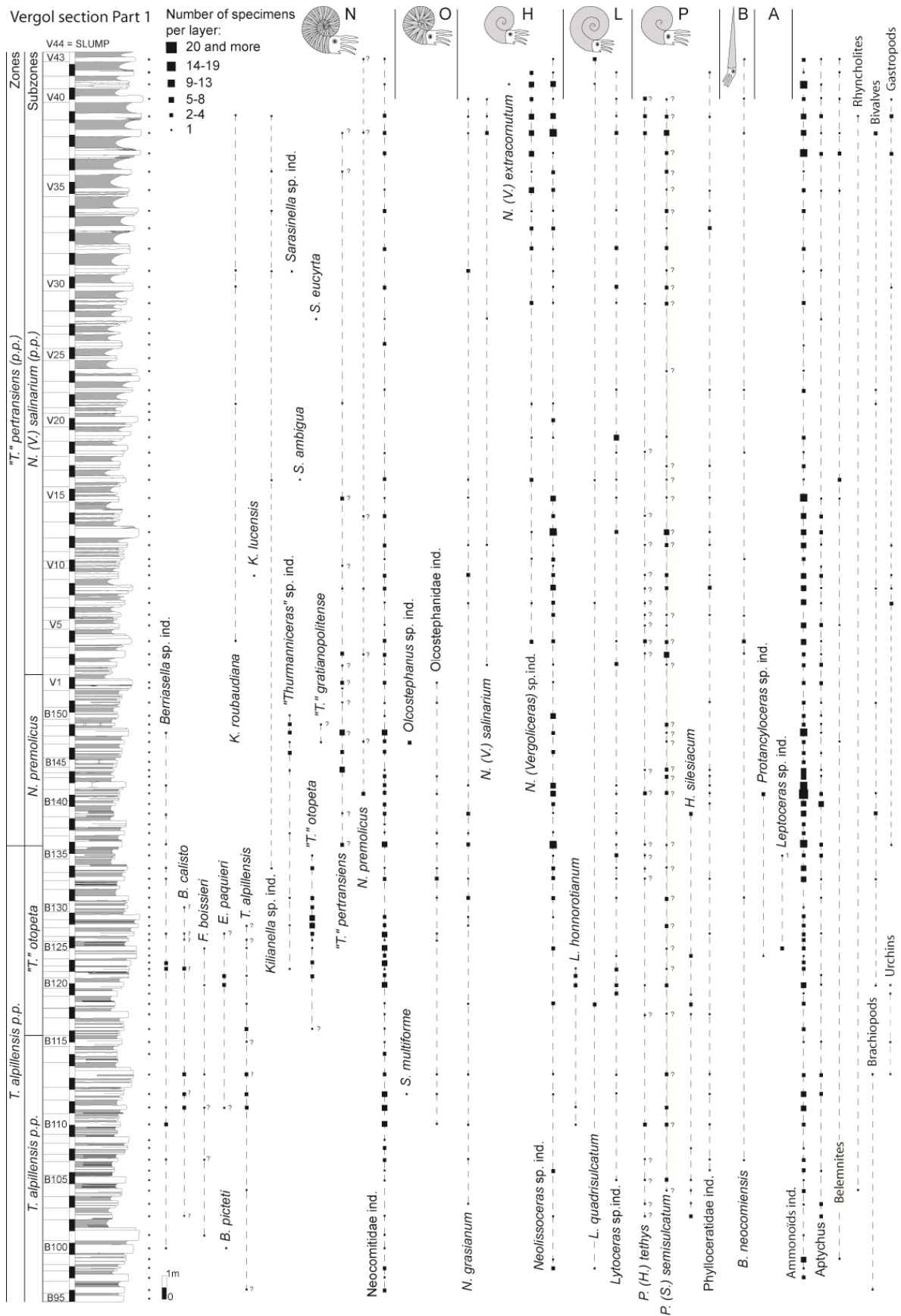
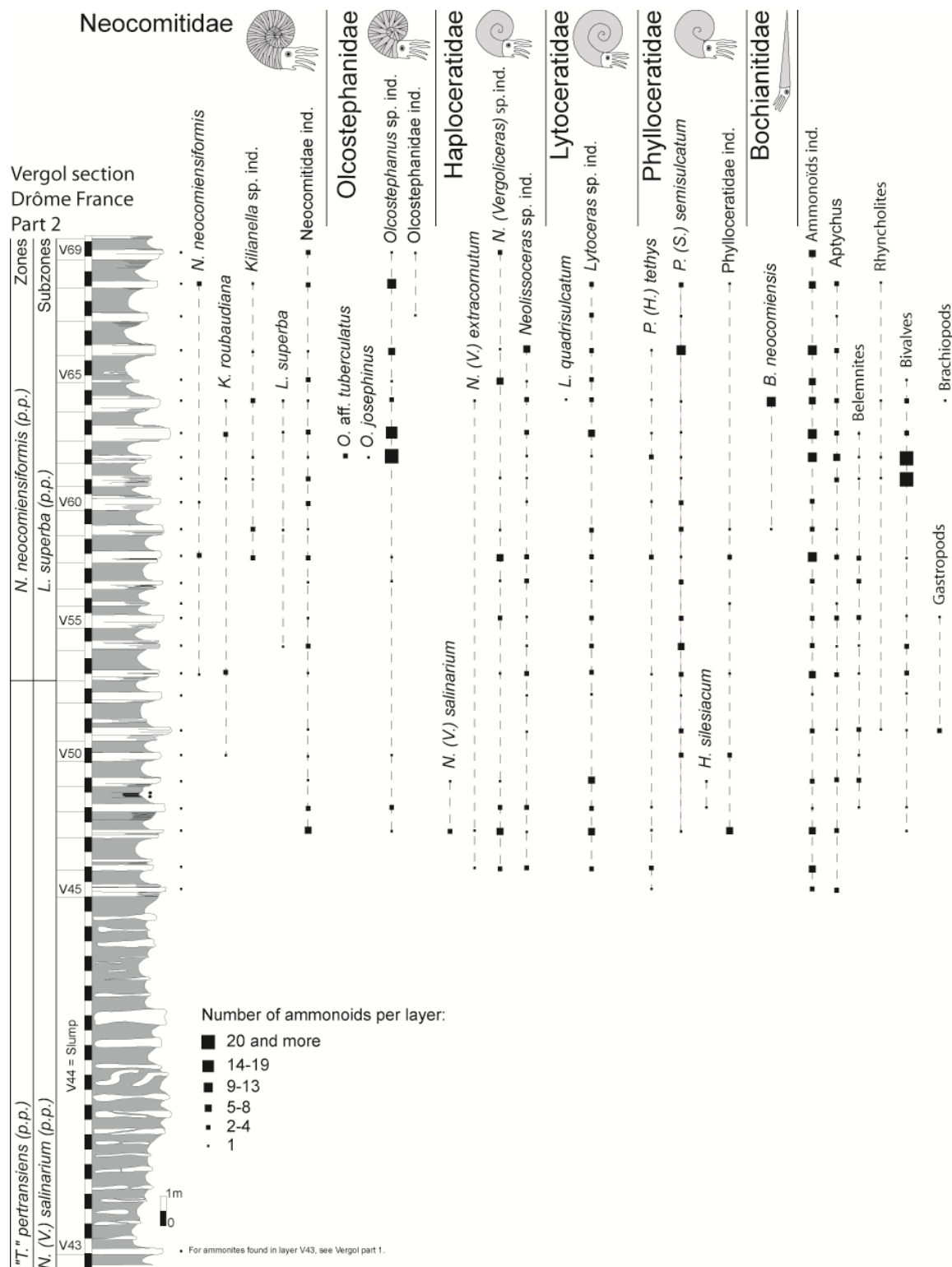


Fig. 1a : Coupe de Vergol, distribution des ammonoïdes et zonation (Kenjo, 2014, modifié).



**Fig. 1b** : Coupe de Vergol, distribution des ammonoïdes et zonation (Kenjo, 2014, modifiée).

Les implications biostratigraphiques de son travail se retrouvent dans la colonne de droite des 2 tableaux ci-dessous (Tab. 1ab) qui présentent son schéma zonal pour l'intervalle étudié (Alpillensis-Pertransiens) avec 2 alternatives de zonation pour les parties inférieure et moyenne du Berriasien en fonction des données de la littérature (colonnes de gauche). Cette discussion s'avérait nécessaire (voir le détail *in* Kenjo, 2014, p. 39-43 et 103-106). En effet, dans le cadre de son travail, la conception de la zone à Boissieri *sensu* Le Hégarat (1973) a été modifiée et restreinte à sa partie inférieure (Boissieri *sensu* Kenjo) ; il est proposé



- **Zone à Alpillensis.** Cette nouvelle zone, définie par l'apparition de son espèce-index *Tirnovella alpillensis*, a été subdivisée avec les sous-zones à Alpillensis et Otopeta (Fig. 1 et Tab. 1). La sous-zone à Alpillensis, introduite par Hoedemaeker (1982) et utilisée dans la Zonation Standard du Crétacé inférieur (Hoedemaeker et al., 1993), a été élevée au rang de zone dans le travail de Kenjo (2014) pour les raisons suivantes (Kenjo 2014 et références, p. 101-102) : 1) L'espèce-index est relativement facile à identifier et bien décrite ; 2) *T. alpillensis* couvrirait la quasi-totalité de sa zone ; 3) *T. alpillensis* est une espèce fréquente des assemblages du passage Berriasien-Valanginien ; 4) La distribution de *T. alpillensis* semble ubiquiste et n'est pas limitée au séries de bassin car l'espèce semble aussi bien représentée dans les faciès de plate-forme du SE de la France ; 5) La distribution paléobiogéographique de *T. alpillensis* est relativement large dans la province méditerranéenne ; 6) L'existence d'un mélange de faunes qui correspond aux derniers taxons berriasiens et premiers taxons valanginiens dans la zone à Alpillensis (notamment la sous-zone à Otopeta) permet de déterminer un assemblage d'espèces qui caractérise bien cet intervalle ; 7) Les assemblages d'ammonites semblent différents entre, approximativement, les sous-zones à Paramimounum et Picteti d'une part et les sous-zones à Alpillensis et Otopeta d'autre part. Ainsi, la zone à Boissieri *sensu* Kenjo pourrait être limitée au premier assemblage (approximativement Paramimounum et Picteti *pro parte*) et la zone à Alpillensis limitée au deuxième assemblage ; 8) La base de la zone à Alpillensis correspondrait approximativement soit à celle de la sous-zone D2, soit à celle de la sous-zone D3 des calpionelles ; 9) Le renouvellement faunique des ammonites du sommet de la sous-zone à Picteti (où apparaîtrait *T. alpillensis* d'après Bulot, 1995) coïnciderait avec un pic d'abondance et de diversité des dinoflagellés, des ostracodes marins et des foraminifères benthiques et semblerait correspondre aux discontinuités sédimentaires régionales Di1 et Di2, matérialisées dans le Jura méridional.

- **Zone à Pertransiens.** Sa limite inférieure est identifiée par la première apparition de « *Thurmanniceras* » *pertransiens* (Company, 1987 ; Bulot et al., 1993a ; Blanc et al., 1994 ; Bulot, 1995), ce qui correspond aux bancs VGL-B136 de la coupe de Vergol (Kenjo, 2014 ; Fig. 1). Cette zone est caractérisée par un renouvellement faunique bien marqué avec l'apparition de nouveaux taxons (typiquement) valanginiens comme « *Thurmanniceras* », *Neocomites*, *Luppovella*, *Sarasinella*, *Neolossiceras* (*Vergoliceras*) et le développement des *Kilianella* qui sont apparues dans la sous-zone à Otopeta. Dans la partie basale de la zone à Pertransiens, il y a les derniers représentants des taxons berriasiens comme *Berriasella*, *Fauriella boissieri*, *Kilianiceras gratianopolitense*, *Lytoceras honnorotianum*, *Protancyloceras* et *Leptoceras*.

Les sous-zones à Premolicus et à Salinarium composent la zone à Pertransiens (Fig. 1 et Tab. 1). La sous-zone à Premolicus a été introduite par Ettachfini (2004) comme première zone du Valanginien des séries de l'Atlas Atlantique au Maroc et sa base définit également la base du Valanginien en l'absence de « *T.* » *pertransiens* dans cette région. *Neocomites premolicus* est assez bien représentée sur la coupe de Vergol (et Courchons) où cette espèce apparaît dès la partie basale de la zone à Pertransiens permettant ainsi de bien positionner la base de cette zone en l'absence de son index de zone. En conséquence, la base de cette sous-zone est positionnée à l'apparition de « *T.* » *pertransiens* pour que sa base coïncide avec celle de la zone (VGL-B136). *N. premolicus* est assez abondant dans les séries marocaines (Ettachfini, 2004 ; Reboulet travaux en cours). Company (1987) note la présence de cette espèce-index dans la partie inférieure de la zone à Pertransiens. *N. premolicus* semble donc avoir une répartition assez large en Province Méditerranéenne en faisant ainsi un bon marqueur.

- **Zone à Neocomiensiformis.** Elle a été introduite par Company et Tavera (2013 ; 2015) et adoptée dans la Zonation Standard par le Kilian Group (Reboulet et al., 2014). La base de la zone est identifiée par la première apparition de *Neocomites neocomiensiformis* (banc VGL-V53, Fig. 1 ; Kenjo, 2014) ; cet auteur localise pour la première fois cette nouvelle zone dans le SE de la France). La base de la zone à Neocomiensiformis correspond à la base de l'horizon à Hirsutus et donc à la base de la zone à *Stephanophorus sensu* Bulot (1995). La base de la zone à *Neocomites* aff. *subtenius* au Maroc (Ettachfani, 2004) pourrait être corrélée approximativement à la base de la zone à Neocomiensiformis.

D'après Kenjo (2014), la partie inférieure de la zone à Neocomiensiformis semble caractérisée par la présence de *Luppovella superba* (Fig. 1). Ceci est confirmé par les données de Bulot (1995). *L. superba* a donc été considérée comme l'espèce-index de la première sous-zone de la zone à Neocomiensiformis (avec Hirsutus comme première horizon). Le sommet de la sous-zone à Superba pourrait être défini par la première apparition de *Busnardoites campylotoxus* (in Reboulet, 1996) qui serait l'espèce-index de la sous-zone à Campylotoxus ; cependant ceci reste au conditionnel car il y a actuellement un débat sur la conception de *B. campylotoxus* et donc sur sa première apparition au sein de la nouvelle zone à Neocomiensiformis (cf. discussion Kilian Group). Le potentiel de corrélation de *L. superba* semble assez large à l'échelle de la méditerranée. Il faut noter que cette espèce est peu fréquente dans le domaine de bassin mais semble plus abondante en domaine de plate-forme comme observé dans les séries marocaines (Wippich, 2001 ; Ettachfani, 2004) ; la distribution verticale de *L. superba* reste néanmoins à préciser au sein des successions de ces bassins afin de voir comment utiliser ce taxon pour établir des comparaisons de schémas zonaux et des corrélations lithologiques (Reboulet, travail en cours).

#### **4.2- Historique sur la limite Berriasien-Valanginien (ammonites).**

Le Hégarat et Remane (1968) et Le Hégarat (1973) marquent la base du Valanginien à la base de la zone à Roubaudi qui correspond à la base de sa sous-zone à Pertransiens (= « Horizon 3 » de Kilian, 1910 et « Horizon supérieur » de Mazonot, 1939). Il faut noter que la sous-zone à Pertransiens *sensu* Le Hégarat intègre l'intervalle stratigraphique correspondant à la zone à Otopeta (Tab. 2), zone définie par Busnardo et Thieuloy (1979) qui l'utiliseront pour marquer la base du Valanginien ; autrement dit, les bases de ces unités (au sens de ces auteurs) correspondent (approximativement).

De nombreux auteurs (Busnardo, 1984 ; Gayte, 1984 ; Company, 1987 ; Bulot, 1990 ; Hoedemaeker et al., 1990 ; 1993 ; Hoedemaeker, 1993 ; 1995 ; Faraoni et al., 1997) ont utilisé la proposition de Busnardo et Thieuloy (1979) pour identifier la base du Valanginien dans la Province Méditerranéenne. Cette même proposition a été recommandée par la Sous-commission du Crétacé (Birkelund et al., 1984). Cependant, Hoedemaeker (1982) suggère une alternative en définissant la base du Valanginien avec la base de sa sous-zone à Alpillensis (Tab. 2). Cette unité correspond plus (sous-zone à Alpillensis *sensu* Bulot, 1995) ou moins (sous-zone à Alpillensis *sensu* Hoedemaeker, 1982) à la sous-zone à Calisto *sensu* Le Hégarat (1973 ; cf. Bulot, 1995). La solution de Hoedemaeker a été rejetée par de nombreux stratigraphes du Crétacé. Se basant sur les travaux de Blanc et al. (1994) et Blanc (1996), il a été recommandé par le Working group du Valanginien (Bulot et al., 1996) de définir la base du Valanginien à l'apparition de *Calpionellites darderi* (base de la zone E des Calpionelles) qui coïnciderait approximativement (d'après ces auteurs) avec la première apparition de « *T.* » *pertransiens* qui devenait alors l'espèce-index de la première zone d'ammonites du Valanginien (voir aussi Bulot et al., 1993a ; Bulot, 1995 ; Bulot et Thieuloy, 1995 ; Aguado et al., 2000). Le Kilian Group (Hoedemaeker et al., 2003) a choisi « *T.* » *pertransiens* comme espèce-index de la première zone du Valanginien. Parallèlement, certains auteurs n'utilisent pas la base de la zone à Pertransiens pour marquer la base de cet





Upper Berriasian		Lower Valanginian		Stage
<i>F. Boissieri</i> (p.p.)	<i>K. roubaudi</i> (p.p.)	Non studied interval		Le Hégarat, 1973 SE of France
<i>B.(B). callisto</i> (p.p.)	«T.» <i>pertransiens</i> (p.p.)			
<i>F. Boissieri</i> (p.p.)	«T.» <i>otopeta</i>	«T.» <i>pertransiens</i>	<i>N. (V) salinarium</i> (p.p.)	Company, 1987 SE of Spain
<i>F. Boissieri</i> (p.p.)		«T.» <i>pertransiens</i> (p.p.)		Bulot et al., 1993 SE of France
<i>T. alpillensis</i> (p.p.)	«T.» <i>otopeta</i>			
<i>F. Boissieri</i> (p.p.)		<i>N. premolicus</i> (p.p.)		Ettachfini, 2004 Morocco
<i>T. alpillensis</i> (p.p.)				
Subthur. <i>Boissieri</i> (p.p.)		«T.» <i>pertransiens</i> (p.p.)		Reboullet et al., 2014 Standard Zonation
<i>T. alpillensis</i> (p.p.)	«T.» <i>otopeta</i>	«T.» <i>pertransiens</i> (p.p.)		
<i>T. alpillensis</i> (p.p.)	<i>T. alpillensis</i> p.p.	«T.» <i>pertransiens</i> (p.p.)		
<i>T. alpillensis</i> (p.p.)	«T.» <i>otopeta</i>	<i>N. premolicus</i>	<i>N. (V) salinarium</i> (p.p.)	
	AU 1		AU 1/2	
				UAs of Calcareous nanofossils

Tab. 3 : Corrélations entre la zonation de Kenjo (2014 ; This work) et certains schémas zonaux.

#### 4.4- La coupe de Vergol *sensu* Blanc (1996) et *sensu* Kenjo (2014).

La comparaison de ces 2 monographies est importante puisque cette coupe est proposée comme candidate au GSSP Valanginien et que les travaux de Blanc et al. (1994) et Blanc (1996) fournissent des données sur les calpionelles et peu de données sur les ammonites, alors que le travail de Kenjo (2014) fournit une étude exhaustive sur les ammonites et les nannofossiles mais aucune donnée sur les calpionelles ; il y a donc une bonne complémentarité. Les corrélations lithologiques proposées par Kenjo (2014) font apparaître un problème biostratigraphique.

Blanc et al. (1994) positionnent la limite Berriasien/Valanginien à Vergol à la base de la zone à *Pertransiens* (avec l'apparition de "T." *pertransiens* dans leur banc MB210), qui est quasiment synchrone avec la base de la zone à *Calpionellites darderi* (qui apparaît dans leur banc MB209). Ces auteurs indiquent que « *C. darderi* et *T. pertransiens* apparaissent à une dizaine de centimètres d'intervalle dans un faisceau de cinq petits bancs jointifs (bancs MB209 et 210) ». Mais dans Blanc (1996) les apparitions de ces 2 taxons sont indiquées respectivement dans les bancs MB210 et 211 ; il s'agit probablement d'une erreur dans la numérotation car la description du banc MB209 *sensu* Blanc et al. (1994) est identique à celle du banc MB210 *sensu* Blanc (1996). Cet auteur indique la présence d'une surface érosive (ScMb1) immédiatement sous son banc MB210. Si les corrélations lithologiques sont justes, les bancs MB209-210 *sensu* Blanc et al. (1994) ou MB210-211 *sensu* Blanc (1996) correspondraient au banc VGL-V1b *sensu* Kenjo (2014 ; photo 2).



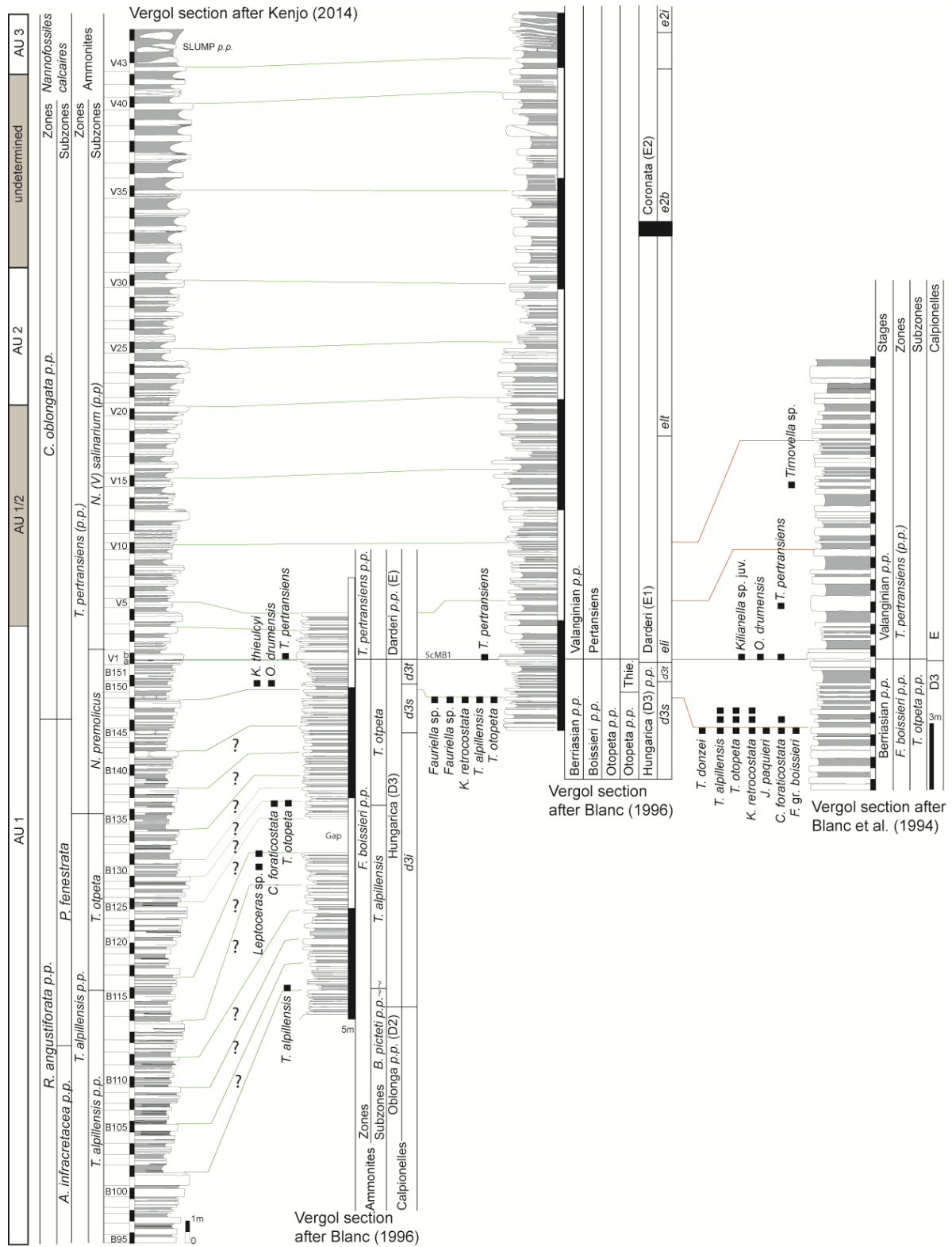
**Photo 2 :** Coupe de Vergol où la limite Berriasien/Valanginien *sensu* Blanc et al. (1994) est indiquée par le classeur noir qui est positionné entre le banc VGL-V1a (au-dessous) et le banc VGL-V1b (au-dessus) dans la numérotation de Kenjo (2014) - @SR.

Cependant, Kenjo (2014) a montré que la première apparition de « *T* ». *pertransiens* se positionne dans le banc VGL-B136 (Figs. 1 et 2), soit environ 7 mètres plus bas que la limite Berriasien/Valanginien (base VGL-V1b) identifiée par l'apparition de *C. darderi* (et de celle de « *T* ». *pertransiens*, cf. données Blanc) si l'on suit les recommandations du congrès de Brussels en 1995 (Bulot et al., 1996). Or, dans cet intervalle stratigraphique, plus précisément dans le banc MB204 (environ 3 mètres sous la limite Berriasien/Valanginien *sensu* Blanc), Blanc et al. (1994, Fig. 1) et Blanc (1996, p. 85) décrivent une association d'ammonites de la sous-zone à Otopeta (Fig. 2), sous-zone reconnue par Kenjo (2014) plus bas dans la coupe, c'est-à-dire sous le banc VGL-B136. Il reste donc maintenant à expliquer pourquoi dans le même intervalle stratigraphique nous avons 2 associations d'ammonites différentes.

Kenjo (2014) propose 3 possibilités pour tenter d'expliquer ce paradoxe : 1) On peut évoquer des erreurs d'identification des ammonites de ces niveaux. Cependant, les espèces de la sous-zone à Otopeta comme l'espèce-index ou *T. alpillensis*, *E. paquieri* et *F. boissieri* sont relativement faciles à reconnaître et une mauvaise détermination apparaît peu probable ; 2) Il pourrait y avoir des erreurs de corrélations lithologiques pour certains bancs entre le log de la coupe de Vergol *sensu* Kenjo (2014) et ceux réalisés par Blanc et al. (1994) et Blanc (1996). Cette hypothèse apparaît aussi peu probable car la corrélation proposée par Kenjo (2014) semble correcte pour l'ensemble de la zone à Pertransiens et la partie sommitale du Berriasien (Fig. 2). 3) Une erreur de corrélation/raccordement entre les différents segments/tronçons qui composent la coupe synthétique (et du matériel récolté) pourrait être à l'origine de ces observations contradictoires entre les travaux de Kenjo et Blanc.

Quoiqu'il en soit, la combinaison des données ammonites et nannofossiles calcaires obtenues par Kenjo (2014 ; coupes de Vergol et Courchons) tendent à démontrer que les quelques mètres sous la limite Berriasien/Valanginien définie par l'apparition de *C. darderi* devraient être attribués au Valanginien, c'est-à-dire à la zone à Pertransiens (et pas au Berriasien, sous-zone à Otopeta). En effet, il faut noter l'apparition (dans le banc VGL-B145) de *C. oblongata* 3 mètres sous la limite Berriasien/Valanginien (définie par l'apparition de *C. darderi*), espèce qui caractérise la partie basale du Valanginien ; d'après Kenjo (2014), *C. oblongata* n'a

jamais été citée dans le Berriasien ; ceci reste néanmoins à confirmer dans le cas de Berrias où le positionnement de la limite Berriasien-Valanginien reste encore incertain sur cette coupe (Kenjo, 2014).

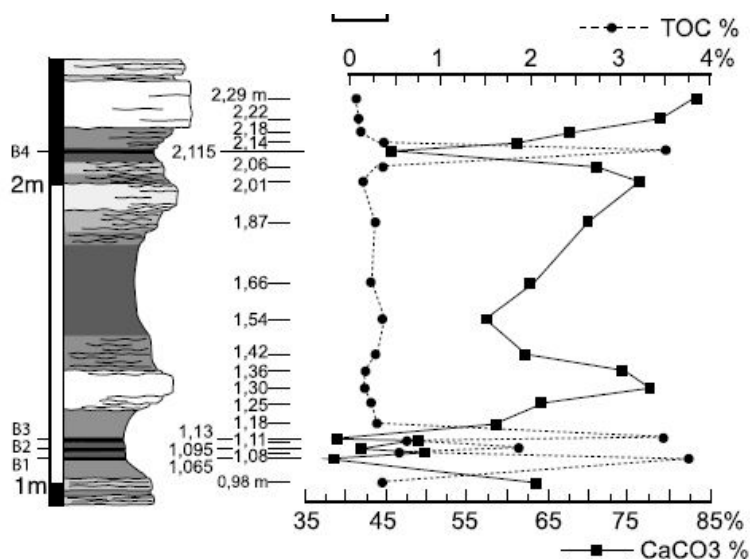


**Fig. 2 :** Corrélations litho/biostratigraphiques (d’après Kenjo, 2014 ; modifiée) de la coupe de Vergol entre la version de Blanc et al. (1994)/Blanc (1996 ; ammonites et calpionelles) et celle de Kenjo (2014 ; ammonites et nannofossiles calcaires).



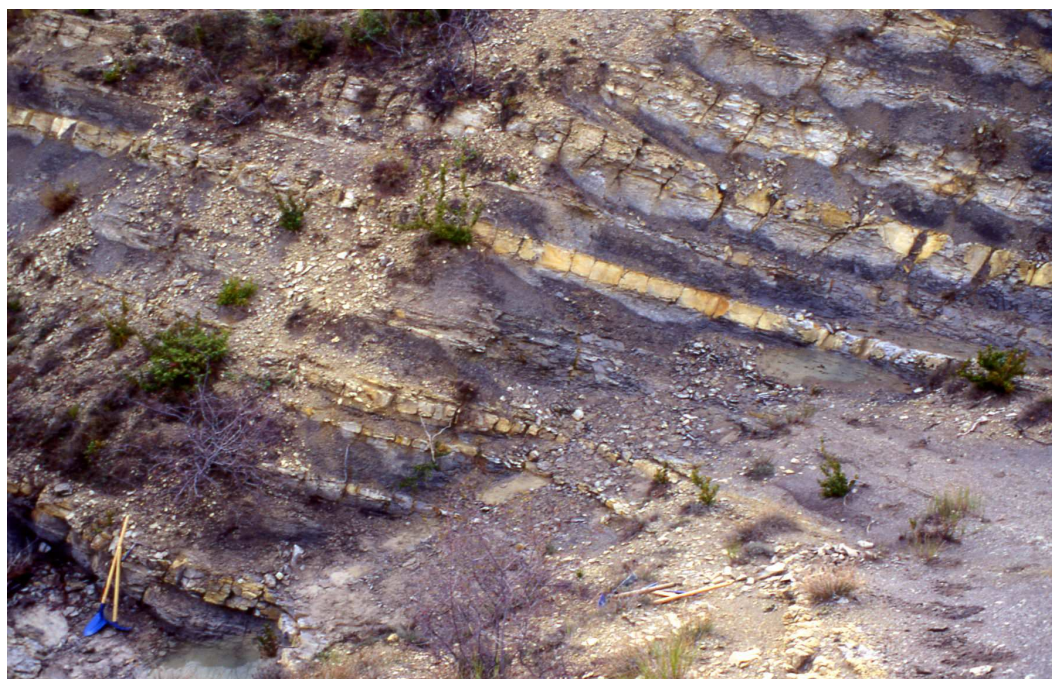
### 5.1- Les niveaux Barrande.

La partie médiane de l'ex-zone à *Campylotoxus* de la coupe de Vergol est caractérisée par 4 lits centimétriques noirs, enrichis en carbone organique (COT de 1.9% à 3.7% ; Fig. 4), nommés niveaux Barrande (B1 à B4 ; Reboulet, 2001; Reboulet et al., 2003) en l'honneur de Joachim Barrande (1799-1883 ; paléontologue français). Les niveaux B1, B2 et B3 sont compris dans l'intervalle du banc VGL-V87 (horizon à Fuhri) ; le B4 est localisé dans l'intervalle du banc VGL-V88 (horizon à Biassalense ; Photo 3 ; zonation *sensu* Reboulet et al., 2003).



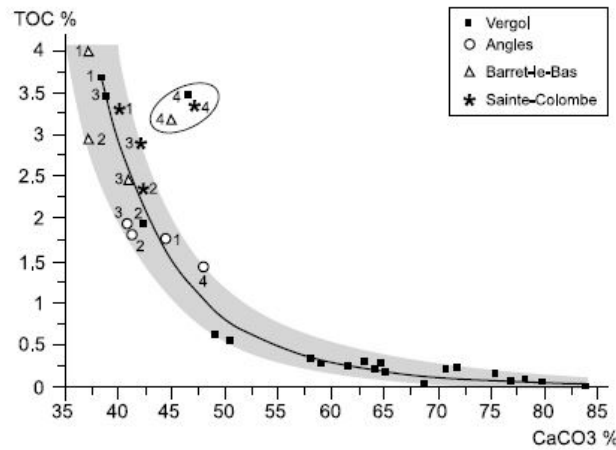
**Fig. 4 :** Pourcentages en CaCO<sub>3</sub> et COT autour de l'intervalle Barrande sur la coupe de Vergol (Reboulet et al., 2003).

Des corrélations lithologiques montrent que ces niveaux noirs riches en carbone organique sont aussi présents sur les coupes d'Angles (hypostratotype du Valanginien), Saint-Geniez (Alpes de Haute-Provence), à Barret-le-Bas et Sainte-Colombe (Hautes-Alpes ; Reboulet et al., 2003). Les niveaux Barrande semblent donc largement distribués dans le Bassin Vocontien.



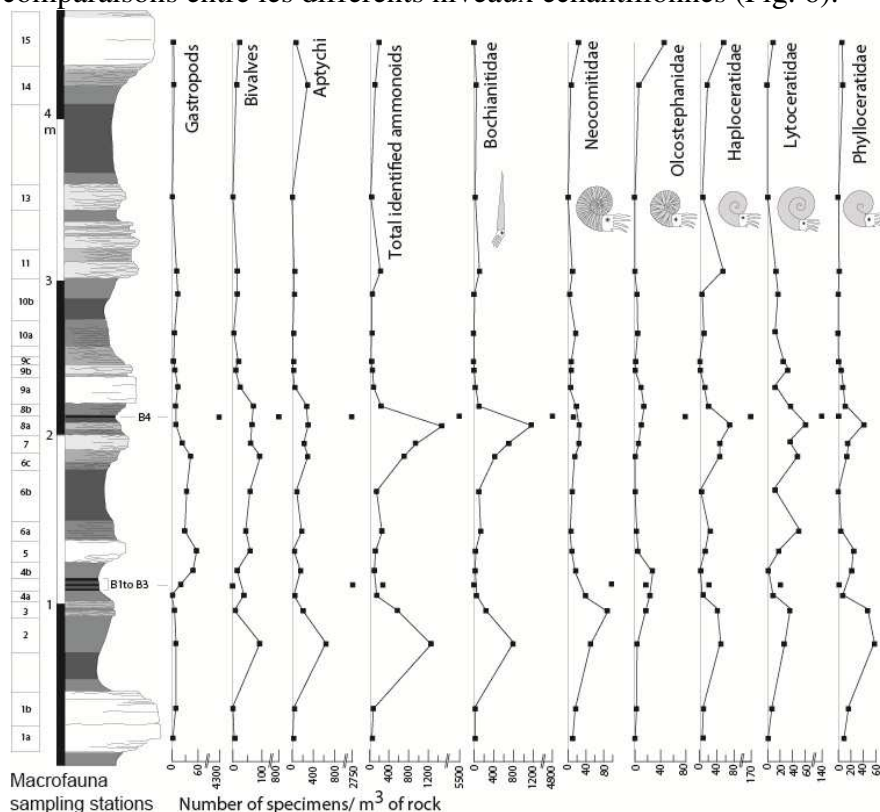
**Photo 3 :** Coupe de Vergol où sont visibles les 3+1 niveaux Barrande - @SR.

Le COT décroît avec l'augmentation en CaCO<sub>3</sub>, excepté pour le B4 (Fig. 5). Ceci illustre un effet de dilution par la boue carbonatée allochtone (cf. origine de l'alternance calcaires-marnes). Ces niveaux enrichis en carbone organique (B1 à B4) ne se sont pas déposés sous des conditions exceptionnelles de productivité. Les niveaux Barrande sont localisés à la base (ou juste avant) de l'événement isotopique ( $\delta^{13}\text{C}$ ) Weissert (cf. 5.3).



**Fig. 5 :** Pourcentages COT *versus* CaCO<sub>3</sub> autour de l'intervalle Barrande pour les coupes de Vergol, Angles, Barret-le-Bas et Sainte-Colombe (Reboulet et al., 2003).

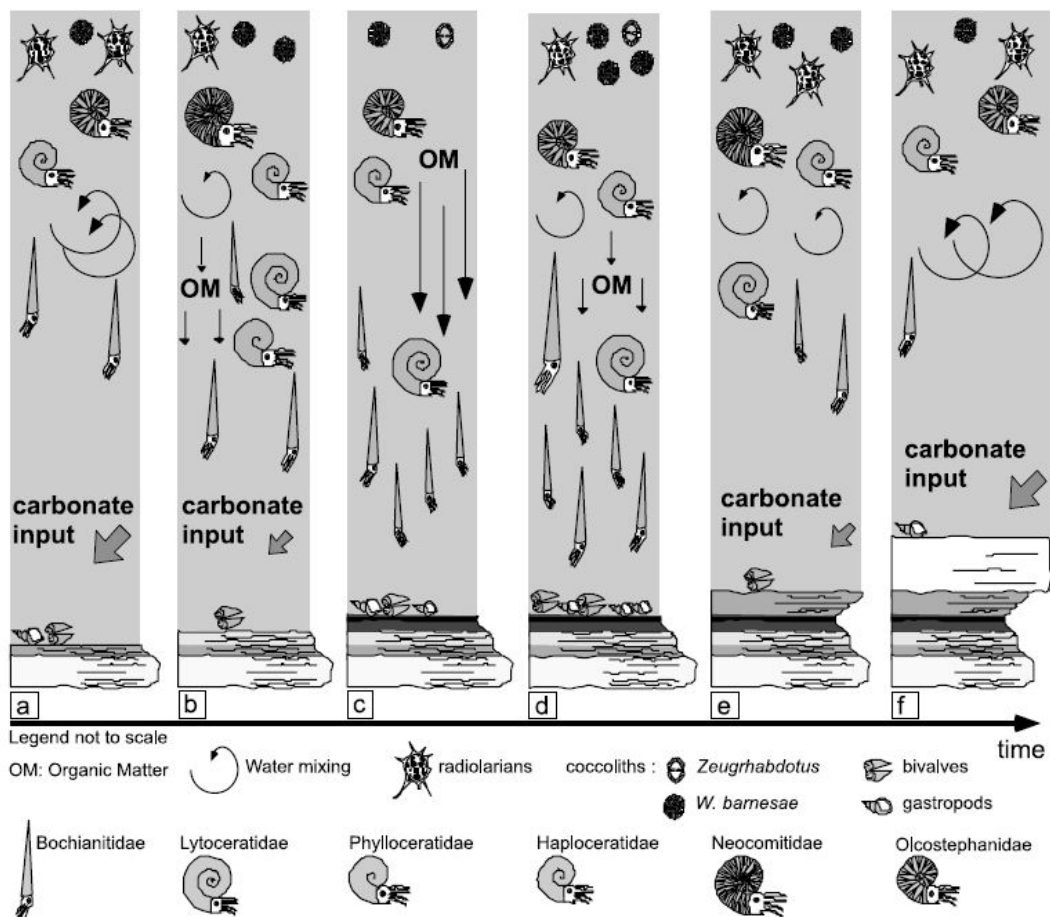
Une étude quantitative sur les variations d'abondance (absolue/relative) de la macrofaune et des nanfossiles a été faite sur un intervalle de 4.5 m comprenant les niveaux Barrande (Reboulet et al., 2003). La macrofaune a été récoltée de façon intensive sur 24 niveaux successifs. 5700 ammonoïdes, 930 aptychi, 250 bivalves et 225 brachiopodes ont été récoltés. A partir de ces données brutes, un nombre de spécimens par m<sup>3</sup> a été estimé permettant ainsi de faire des comparaisons entre les différents niveaux échantillonnés (Fig. 6).



**Fig. 6 :** Variations des abondances absolues de différents groupes composant la macrofaune autour de l'intervalle Barrande, coupe de Vergol (Reboulet et al., 2003).

La plupart des variations d'abondance absolue des ammonoïdes ne sont pas dues à une variation de l'état de préservation qui pourrait être reliée au transport post-mortem. Une partie de ces variations pourrait être expliquée par des cycles de dilution (cf. apports de carbonates ou d'argiles ; Reboulet et al., 2003). Cependant les variations les plus importantes et les différentes tendances observées parmi les groupes étudiés (pélagiques et benthiques) sont interprétés en termes de réponses aux changements paléo-environnementaux (notamment de changements trophiques établis à partir de l'étude des nannofossiles calcaires) et de la paléoécologie des taxons.

La forte abondance et dominance des *Bochianites* dans le B4 peuvent être expliquées par leur comportement opportuniste et leur mode de vie nectonique dans la partie inférieure de la colonne d'eau (= deep-nektonic), voir necto-benthique. La grande capacité pour la mobilité verticale pourrait avoir permis à ces individus de faire de brèves incursions vers le fond de la tranche d'eau pour rechercher de la nourriture. Des conditions trophiques élevées sur le fond lors de la mise en place du B4 pourraient expliquer la forte abondance du benthos (Fig. 7).



**Fig. 7 :** Sketch montrant une reconstruction paléoenvironnementale au cours de l'alternance calcaire-marne contenant le biveau Barrande B4, coupe de Vergol (Reboulet et al., 2003).  
**a)** En période (banc calcaire) d'intense mélange de la colonne d'eau et de redistribution des nutriments dans les eaux de surface, les radiolaires sont dominants sur le nannoplancton calcaire (principalement coccolithes et secondairement nannoconides). Les *Bochianites* et/ou les bivalves et gastéropodes sont alors sous des conditions trophiques non favorables.  
**b)** En période (interbanc marneux) de faible mélange des eaux et de redistribution des nutriments dans les eaux de surface, le nannoplancton devient dominant sur les radiolaires.

c) Lorsque que la stratification des eaux devient stable et prolongée (transition marnes-B4), les nutriments sont faiblement redistribués dans la partie sommitale de la colonne d'eau ; Le nannoplancton calcaire et les radiolaires sont rares et les nannoconides absents.

d) La stratification progressive de la colonne d'eau se traduit par une accumulation de la matière organique dans la partie inférieure de la colonne d'eau et voir même son dépôt sur le fond (B4). Le benthos pourrait avoir bénéficié de cette plus grande quantité de matière organique, ainsi que les *Bochianites*, interprétés comme des « deep-nektonic ». La forte abondance de ces faunes pourrait donc résulter de l'existence de bonnes conditions trophiques près et sur le fond marin mais aussi d'un faible taux d'accumulation de carbonates (cf. moindre dilution du « matériel fossiles »).

e et f) Avec le retour de la production des carbonates sur la plate-forme et leur export vers le bassin, les nannofossiles et radiolaires se développent à nouveau. Ceci est possiblement lié à une reprise du mélange des eaux et un apport (continental) et/ou une redistribution des nutriments dans les eaux de surface.

### 5.2- La Tétrade ou le faisceau à Verrucosum.

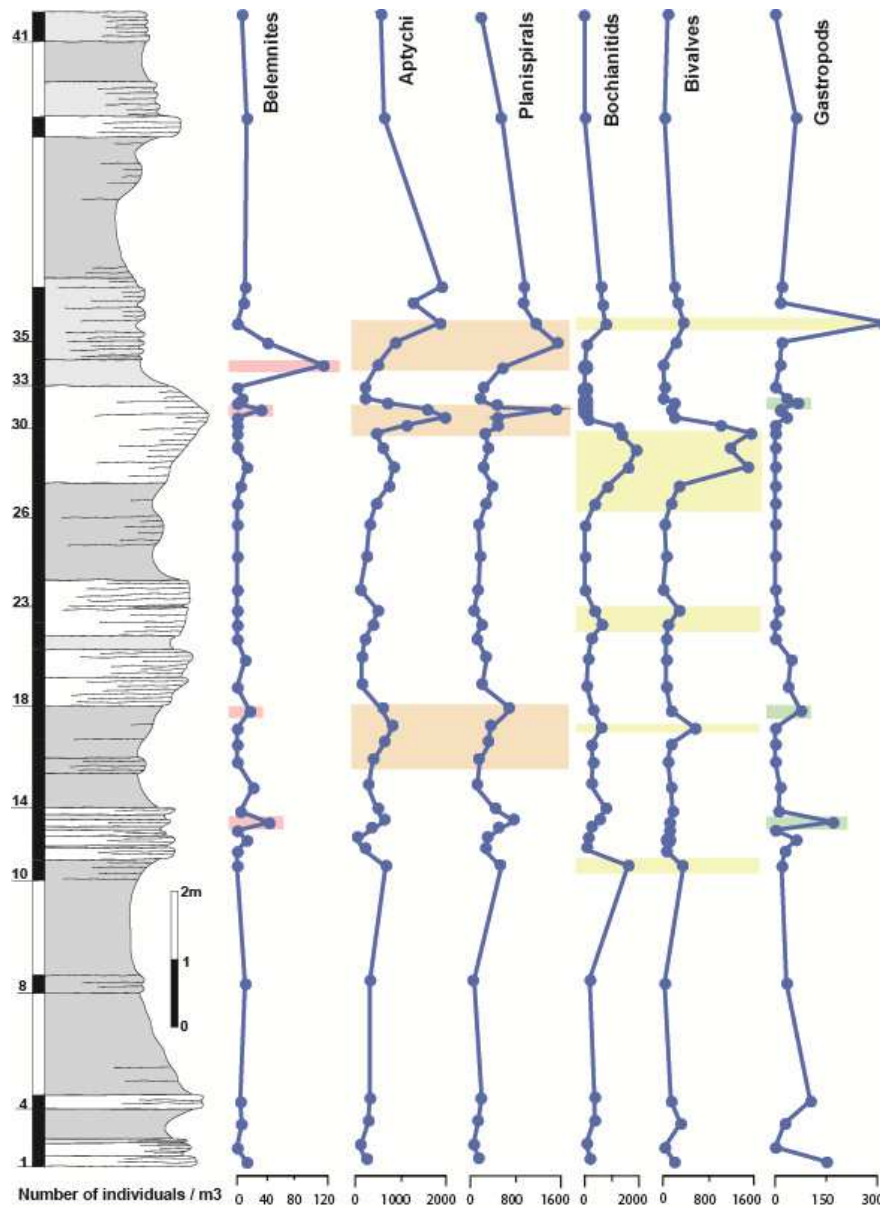
Une deuxième étude quantitative à haute résolution a été faite sur les variations d'abondance de la macrofaune au passage Valanginien inférieur/supérieur (Reboulet et al., 2005b). Cette quantification porte sur 42 niveaux d'échantillonnage successifs au niveau de la Tétrade ou faisceau à Verrucosum (Figs. 3 et 8 ; Photo 4 ; 8,5 m d'épaisseur ; banc 98 à 104 in Reboulet, 1996) et tient compte, pour la macrofaune, de l'état de fragmentation des fossiles. Il a été récolté : 9688 ammonoïdes (dont 7629 spécimens identifiés), 3095 aptychi, 39 bélemnites, 557 bivalves, 98 gastropodes (endobenthique *Spinigera*, aporrhaidae), 53 brachiopodes, 18 rhyncholites et 3 oursins.



Photo 4 : Passage Valanginien inférieur/supérieur (Tétrade, T) sur la coupe de Vergol - @SR.



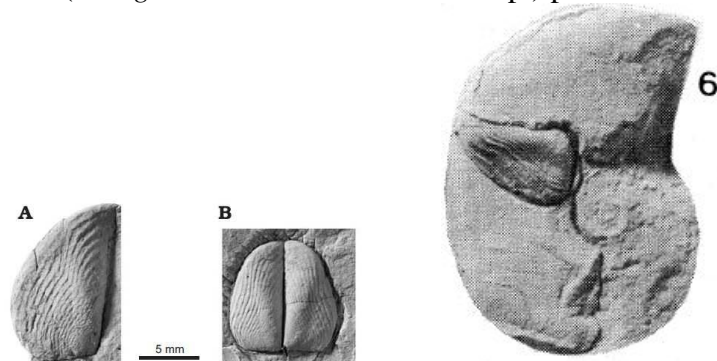
La variation d'abondance absolue des ammonoïdes identifiés est principalement reliée à celle des *Bochianites* ( $r = 0.818$  ;  $n = 42$ ). La variation d'abondance absolue de ces orthocônes est faiblement ou négativement corrélée avec celle des ammonites planispiralées ( $-0.153 < r < 0.412$ ), mais relativement bien corrélée avec celle des bivalves ( $r = 0.815$  ; Fig. 8). Ces résultats tendent donc à confirmer le mode de vie des *Bochianites* évoqué dans le premier atelier à partir de l'étude des assemblages autour du Barrande B4 (cf. 5.1). Il y a des données sur les assemblages de nannofossiles calcaires pour le Valanginien (Kenjo, 2014 ; Mattioli et al., 2014) mais pas à haute résolution pour l'intervalle traité ici ; une interprétation en termes de changements des conditions trophiques est donc pour l'instant non réalisable.



**Fig. 8 :** Variations des abondances absolues de différents groupes composant la macrofaune autour de la Tétrade, coupe de Vergol (Reboulet et al., 2005b).

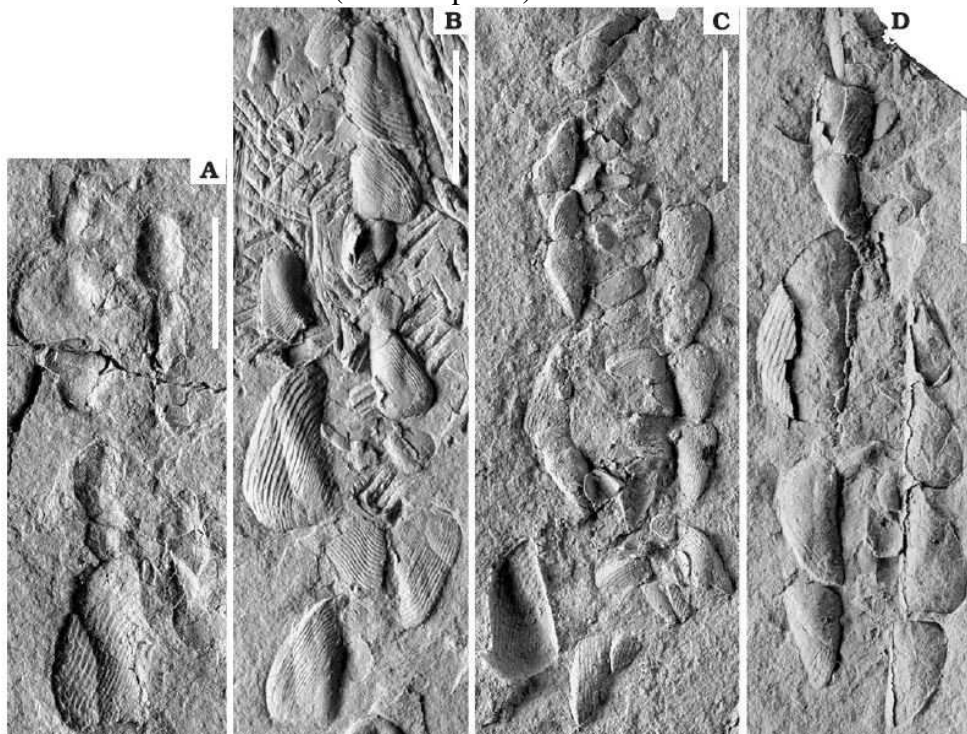
Le ratio ammonoïdes/aptychi fournit un critère très utile pour estimer l'importance du transport post-mortem des ammonoïdes. La variation d'abondance absolue des aptychi est la mieux corrélée avec celle des Haploceratidés ( $r = 0.781$ ). Ceci suggère un faible tri entre coquilles et aptychi et peut être un transport faible à modéré des coquilles (Reboulet et al., 2003 ; 2005b).

Les aptychi sont le plus souvent trouvés isolément dans les roches sédimentaires, rarement groupés par 2 (Photo 5). Plus rarement, les aptychi sont restés dans la chambre d'habitation au cours de la fossilisation. Sur près de 40000 ammonites récoltés dans le Valanginien-Hauterivien (Reboulet, 1996 ; Reboulet et al., 2003 ; 2005b ; Reboulet et Rard, 2008), seulement 3 spécimens (2 *N. grasianum* et 1 *Neocomites* sp.) présentent l'aptychus en place.



**Photo 5 :** Aptychus isolé, groupés par 2, ou en place dans la chambre d'habitation d'un *Neolissoceras grasianum* (collection Reboulet), coupe de Vergol - @ Noël Podevigne.

Cette exploitation intensive de la macrofaune de l'intervalle autour de la limite Valanginien inférieur/supérieur de la coupe de Vergol a permis de trouver une préservation exceptionnelle d'aptychi (Reboulet et Rard, 2008 ; Photo 6). Les aptychi sont arrangés en 2 rangées parallèles d'environ 5 à 6 cm de longueur et séparées par 4 mm. Les aptychi sont généralement entier (1 cm de longueur environ). Ils sont posés avec leur face concave vers le sédiment. La fossilisation de ces aptychi a été interprétée successivement comme le résultat d'un transport post-mortem par les courants de fond (processus de resédimentation) ou de résidus de digestion de mangeurs d'ammonoïdes (bromalites : fossilisation de régurgitations, de contenus gastriques et intestinaux, et d'excréments) ; un autre processus biologique peut être évoqué via l'activité d'organismes (endobenthiques) qui auraient utilisé ces aptychi pour consolider les bords de leur terrier (terrier à plat ?).

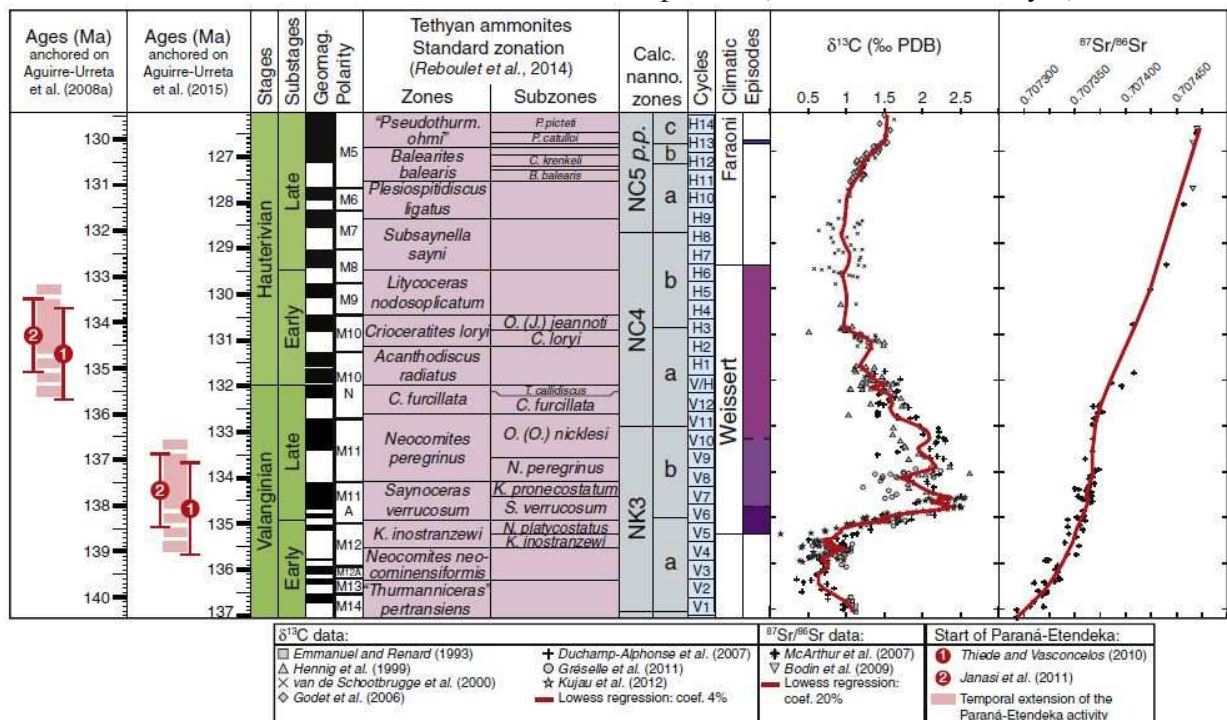


**Photo 6 :** Double alignements d'aptychi, coupe de Vergol (autour de la Tétrade), Reboulet et Rard (2008) - @ Noël Podevigne.

### 5.3- L'Evènement Weissert : durée, datation et relation temporelle avec le Parana.

Dans le cadre de cette excursion du GFC, l'objectif n'est pas de présenter *in extenso* l'Evènement Weissert (Erba et al., 2004) pour lequel la littérature est abondante et dont les interprétations sur son origine et les conditions environnementales contemporaines à cet épisode sont encore débattues (pour une synthèse et les références voir la thèse de Martinez, 2013). Seuls les points concernant la durée et la position temporelle de l'Evènement Weissert par rapport à l'épisode volcanique du Parana-Etendeka seront présentés ici.

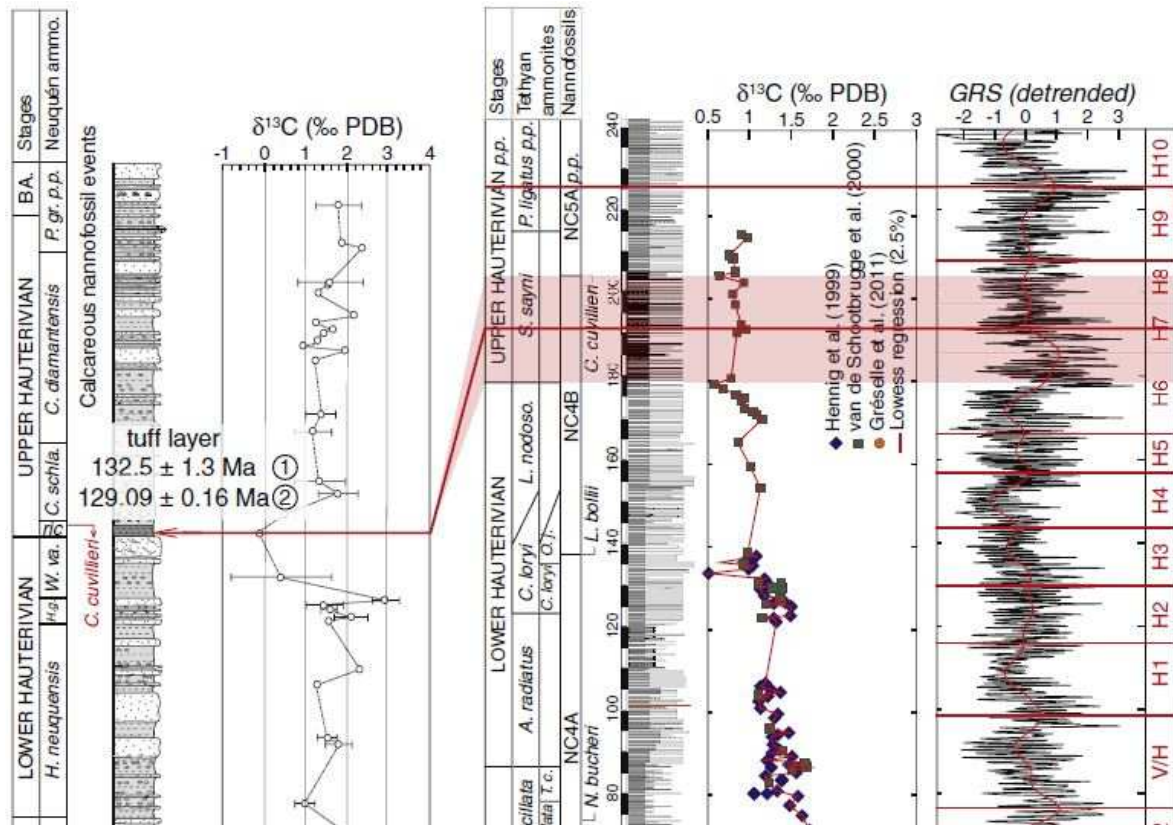
L'Evènement Weissert correspond à une excursion positive du  $\delta^{13}\text{C}$  de 2‰ environ qui est enregistrée à l'échelle globale, aussi bien dans les carbonates marins que dans la matière organique terrestre (Fig. 9). Il a été daté pour la première fois par ammonites par McArthur et al. (2007 ; les unités biostratigraphiques évoquées ci-après font références à ce travail). Cette excursion isotopique démarre dans l'ex-zone à *Campylotoxus* (sous-zone à *Biassalense* = zone à *Inostranzewi* in Fig. 9) par une petite excursion négative en  $\delta^{13}\text{C}$  puis les valeurs augmentent et elles atteignent leur maximum dans la sous-zone à *Verrucosum* (1<sup>er</sup> pic). Après une diminution dans la sous-zone à *Pronecostatum*, les valeurs de  $\delta^{13}\text{C}$  redeviennent plus élevées dans la sous-zone *Peregrinus* (2<sup>ème</sup> pic). Puis elles diminuent progressivement jusqu'à atteindre un minimum à la base de l'Hauterivien supérieur (base de la zone à *Sayni*).



**Fig. 9 :** Echelles de temps intégrées pour le Valanginien-Hauterivien et calage de l'Evènement Weissert et du volcanisme du Parana-Etendeka (Martinez et al., 2015).

La dernière étude astrochronologique menée par Martinez et al. (2015) sur les coupes du Valanginien-Hauterivien (voir la partie sur La Charce pour plus de précisions sur la méthode de cette approche cyclostratigraphique) a permis de préciser les durées du Valanginien (environ 5 Ma) et de l'Hauterivien (environ 6 Ma), ainsi que celle de l'excursion isotopique du carbone associée à l'Evènement Weissert. La durée de cette excursion est estimée à 5,85 Ma et comprend les phases suivantes (Fig. 9) : un premier intervalle avec une rapide augmentation du  $\delta^{13}\text{C}$  (0,60 Ma), suivi d'une phase où les valeurs isotopiques sont relativement élevées et stables (1,48 Ma), et enfin une progressive diminution du  $\delta^{13}\text{C}$  (3,77 Ma). L'Evènement Weissert (*sensu stricto*) est souvent restreint aux phases 1 et 2 (augmentation du  $\delta^{13}\text{C}$  et « plateau »).

Utilisant la dernière datation radiochronologique d'un niveau de cendres volcaniques (bentonite) localisé à la base de l'Hauterivien supérieur de la coupe d'Agua de la Mula dans le Bassin de Neuquén ( $-129.09 \pm 0.16$  Ma *in* Aguirre-Urreta et al., 2015 ; NB :  $-132.5 \pm 1.3$  Ma *in* Aguirre-Urreta et al., 2008a, âge reporté dans la GTS 2012), Martinez et al. (2015) ont pu positionner leur schéma astrochronologique (qui fournit des durées) par rapport à cette datation absolue et proposer de nouvelles dates pour la base du Valanginien ( $-137.05 \pm 1.0$  Ma) et celle de l'Hauterivien ( $-131.96 \pm 1.0$  Ma), ainsi que le début de l'Évènement Weissert qui est estimé à  $-135.22 \pm 1.0$  Ma (Fig. 10).



**Fig. 10 :** Calibration du schéma astrochronologique (SE France) avec le niveau de bentonite du Bassin de Neuquén (Martinez et al., 2015).

La calibration du schéma astrochronologique (qui donne des durées) vis-à-vis du niveau de bentonite (qui donne un âge absolu) a été faite sous contrôle biostratigraphique et en utilisant les données isotopiques du carbone. Ce niveau de bentonite est localisé dans la zone à Riccardi (Bassin de Neuquén), qui se corrèle avec la zone à Sayni de la province Méditerranéenne (Reboulet et al., 2014). Il est positionné sous la dernière présence de *C. cuvillieri* (nanofossile), événement biostratigraphique reconnu globalement et identifié à La Charce ; ceci permet de délimiter une borne supérieure de corrélation (Fig. 10). D'après la courbe isotopique du carbone fournie par Aguirre-Urreta et al. (2008b), la bentonite est localisée à la fin de l'excursion de l'Évènement Weissert où sont enregistrées les valeurs les plus faibles ; celles-ci sont reconnues sur la courbe de La Charce à la limite des zones à Nodosoplicatum et Sayni, ce qui permet de délimiter une borne inférieure à l'intervalle de corrélation. Cette datation absolue de l'Évènement Weissert permet de la comparer avec celles disponibles pour l'Évènement volcanique du Parana dont le début est daté autour de -135 ou -135.5 Ma (cf. Martinez et al., 2015). Le début de cette activité volcanique semble donc coïncider avec celui de l'Évènement Weissert, ce qui suggère que ce volcanisme du Parana aurait pu jouer un rôle majeur dans les changements océanographiques et climatiques durant le Valanginien.

#### 5.4- Evolution des ammonoïdes et changements paléoenvironnementaux au cours du Valanginien « moyen ».

La transition Valanginien inférieur-supérieur (= Valanginien « moyen ») est caractérisée par une coupure importante dans l'évolution de la faune d'ammonoïdes (Reboulet, 1996 ; Reboulet et Atrops, 1999). Ainsi, les sous-zones à Biassalense et à Verrucosum enregistrent la disparition d'une grande partie des taxons du Valanginien inférieur. Même si certains traversent cette limite, ils déclinent rapidement et sont beaucoup moins abondants au Valanginien supérieur. La sous-zone à Biassalense est marquée par la seule apparition des *Neocomites*, genre qui sera à l'origine des Neocomitinae du Valanginien supérieur.

La partie médiane de la sous-zone à Verrucosum est également caractérisée par une phase de disparition de plusieurs taxons de bélemnites (Janssen et Clément, 2002). La diversité de ces 2 groupes de céphalopodes est donc très faible à partir de la sous-zone à Pronecostatum.

Un deuxième changement (disparitions et apparitions) de la faune d'ammonoïdes a lieu dans la sous-zone à Peregrinus. Dans la sous-zone à Nicklesi, *Himantoceras* (hétéromorphe) s'individualise via *Neocomites beaumugnensis*, *Rodigheroites belimelensis* et *Rodigheroites cardulus* (Reboulet, 1996 ; 2007).

Nous avons évoqué le synchronisme de l'excursion positive du  $\delta^{13}\text{C}$  de l'Evènement Weissert avec l'activité volcanique du Parana-Edenteka. Des changements paléoenvironnementaux rapides et à grande échelle sont fréquemment associés aux perturbations du cycle global du carbone. La période du Valanginien « moyen » est caractérisée par l'installation de conditions climatiques plus humides, une augmentation du flux argileux et des apports trophiques, une diminution de la température des eaux océaniques, ainsi que de variations importantes du niveau marin, transgression rapide suivie par une régression majeure, se traduisant par une crise de la production des carbonates et par une exposition des plates-formes (pour plus de détails et les références voir les thèses de Gréselle, 2007 et Martinez, 2013). Une partie ou l'ensemble de ces facteurs ont probablement eu un rôle important dans l'évolution des faunes marines, comme celle des ammonoïdes (valanginiens).

Par conséquent, il est intéressant de voir s'il existe une relation, un synchronisme entre les changements fauniques et les variations du signal isotopique du carbone. Plusieurs auteurs ont corrélé des événements biotiques (renouvellements, etc.) avec des anomalies du rapport isotopique du carbone (O'Dogherty et al., 2006). Ainsi, l'extinction des derniers ammonoïdes du Jurassique inférieur (Hildoceratoidea) et la radiation des ammonoïdes du Jurassique moyen (à partir des Stephanoceratoidea et Haploceratoidea) coïncident respectivement au niveau du minima et de l'augmentation des valeurs du rapport isotopique du carbone au cours du Bajocien inférieur. Ce renouvellement faunique est suivi par l'apparition des *Spiroceras* (hétéromorphes) qui s'effectue lors de la diminution des valeurs isotopiques (Fig. 11).

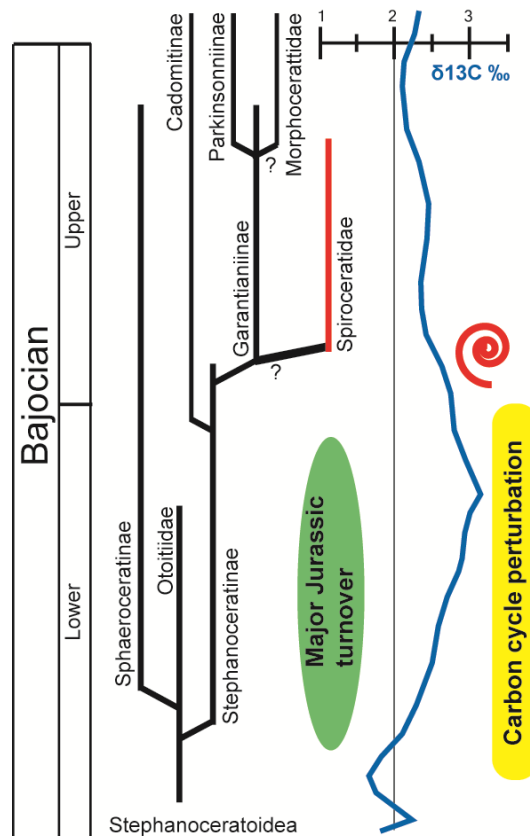


Fig. 11 : Faunes d'ammonoïdes du Bajocien et variations du  $\delta^{13}\text{C}$  (O'Dogherty et al., 2006, modifiée).

L'exemple du Valanginien montre également un changement de la faune d'ammonoïdes au cours de la perturbation du cycle du carbone lors du Weissert (Fig. 12). L'intervalle stratigraphique qui correspond à l'excursion positive du  $\delta^{13}\text{C}$  (passage Valanginien inférieur-supérieur) est principalement caractérisé par la disparition de nombreux taxons du Valanginien inférieur (la première phase d'extinction ayant lieu aussi lors du minima du  $\delta^{13}\text{C}$ , à l'instar de ce qui a été observé dans le cas du Bajocien) ; seule l'apparition des *Neocomites* apparaît significative (elle se fait au début de l'augmentation des valeurs de  $\delta^{13}\text{C}$ ). Ce renouvellement faunique est lui aussi suivi par la spéciation d'hétéromorphes, les *Himantoceras* (zone à *Peregrinus*), qui se fait lors d'une diminution des valeurs du rapport isotopiques du carbone, à l'instar de ce qui a été décrit pour les *Spiroceras* du Bajocien.

Dans l'exemple du Valanginien, les conditions environnementales instables (cf. ci-dessus ; Fig. 12) à la transition des 2 sous-étages (sous-zones à *Biassalense-Verrucosum*) auraient conduit à une phase d'extinction majeure au sein des ammonoïdes planispiralés involutes/évolutes. Dans l'hypothèse où le déroulement des coquilles (passage de formes planispiralées involutes/évolutes à des hétéromorphes) serait (souvent) relié à un fort stress environnemental (Guex, 2001, 2006), la pérennisation de conditions environnementales instables au cours du Valanginien supérieur auraient pu favoriser l'apparition (dans la zone à *Peregrinus*) des *Himantoceras*. La spéciation de ces hétéromorphes (à partir des *N. neocomiensis*, planispiralé involute) se fait en plusieurs étapes qui se produisent lors de changements environnementaux majeurs, à savoir un fort refroidissement climatique (l'épisode le plus froid se fait au cours de la sous-zone à *Peregrinus*, cf. McArthur et al., 2007), un bas niveau marin global (cf. régression importante et émergences au Valanginien supérieur).



Quel que soit le régime alimentaire des ammonoïdes, les variations des ressources trophiques pourraient aussi avoir un impact sur leur diversité, leur abondance et leur taille adulte (Reboulet, 1996 ; 2001 et références). Une étude faite dans l'Albien terminal du Bassin Vocontien (coupe de Blioux, Alpes de Haute-Provence ; Reboulet et al., 2005a) a montré que les ammonites planispiralées involutes/évolutes sont abondantes et dominantes dans les intervalles caractérisés par des conditions oligotrophiques ; ceci suggère que des conditions environnementales stables seraient plutôt favorables au développement de ces formes. Les hétéromorphes albiens (*Lechites*, *Turrilitoides*, *Mariella*, *Scaphites*, etc...), dominants durant les périodes à conditions mésotrophiques, pourraient avoir été plus compétitifs que les ammonites planispiralées involutes/évolutes lorsque les conditions paléoenvironnementales devenaient plus instables. Les hétéromorphes avaient probablement des comportements trophiques différents de ceux des ammonites planispiralées involutes/évolutes ; les hétéromorphes pouvaient probablement occuper des niches écologiques nouvelles (Cecca, 1997 ; Reboulet, 1998 ; Guex, 2001 ; Reboulet et al., 2003 ; 2005a).

A partir de cet exemple de l'Albien qui s'intéressait aux variations quantitatives des assemblages (en termes d'abondance/dominance), nous pouvons essayer d'interpréter les changements de composition des assemblages (en termes de diversité ou de disparité morphologique) de la faune d'ammonoïdes du Valanginien par rapport aux changements des conditions trophiques (établis par Duchamp-Alphonse et al. (2007) et Mattioli et al. (2014) *via* l'étude des nannofossiles). Ainsi, on peut noter que la disparition de nombreux taxons d'ammonites planispiralées involutes/évolutes se produit lors de la transition de conditions trophiques faibles (oligotrophes) à des conditions élevées (eutrophes). Ces 2 études semblent montrer que les conditions eutrophes ne seraient pas favorables aux ammonites planispiralées involutes/évolutes, aussi bien sur les plans de la diversité/disparité (cf. phase de disparitions dans le cas du Valanginien) que de l'abondance (cas de l'Albien). Cependant, il faut rester prudent car il ne s'agit que de 2 études portant sur l'évolution de la faune d'ammonoïdes en relation avec les variations des ressources trophiques. De plus, d'autres facteurs évoluant parallèlement aux changements trophiques pourraient avoir une implication plus ou moins directe sur les changements des faunes d'ammonoïdes. Par exemple, la mise en place des conditions trophiques élevées à la transition Valanginien inférieur-supérieur sont contemporaines d'apports plus importants d'argiles (Duchamp-Alphonse et al., 2007 et Mattioli et al., 2014). Un lessivage/ruissellement continental plus intense lors de cette période apporterait une plus grande quantité d'argiles (et de nutriment) aux océans et pourrait participer à rendre les conditions environnementales plus instables (augmentation de la turbidité des eaux, etc...) pour certains groupes/organismes.

#### **6. Vergol : coupe candidate pour les GSSP de la base du Valanginien (Blanc et al., 1994) et de la base du Valanginien supérieur (ce livret).**

La coupe de Vergol a été proposée comme coupe candidate au GSSP pour la limite Berriasien-Valanginien (Blanc et al., 1994 ; Bulot et al., 1996 ; Ogg et al., 2004 ; 2012). En l'absence d'un signal magnétique net sur cette coupe (et comme c'est le cas sur beaucoup de sites du SE de la France), les collègues espagnols ont suggéré de considérer la coupe de Barranco de Canada Luenga (Cehegin, Caravaca, SE Spain, Aguado et al., 2000) comme nouvelle coupe candidate au GSSP Valanginien. L'étude détaillée de ces auteurs présente une corrélation directe entre une échelle magnétostratigraphique et une échelle biostratigraphique intégrée (ammonites, calpionelles, nannofossiles calcaires).

Depuis, aucune avancé/décision n'a été faite dans ce sens au niveau des différentes instances géologiques internationales. Le rapport annuel 2014 de la Sous-Commission Internationale de Stratigraphie du Crétacé (Malcom Hart, p. 25, "Base Valanginian GSSP") souligne que



*« Meanwhile, Stéphane Reboulet and colleagues are currently gathering new data at Montbrun-les-Bains (SE France) and, in addition, undertaken the study with a multidisciplinary approach of the Vergol section, which has the advantage of including also the base of the Upper Valanginian ».* En effet, depuis quelques années (2009-2010), il a été choisi de réaliser de nouvelles recherches sur l'intervalle Berriasien sommital-Valanginien basal de la coupe de Vergol, notamment avec les thèses de Martinez (2013) et de Kenjo (2014), afin de compléter nos connaissances de cette coupe qui était jusqu'alors plutôt bien étudiée pour l'intervalle autour de la limite Valanginien inférieur/supérieur (cf. références citées dans l'introduction).

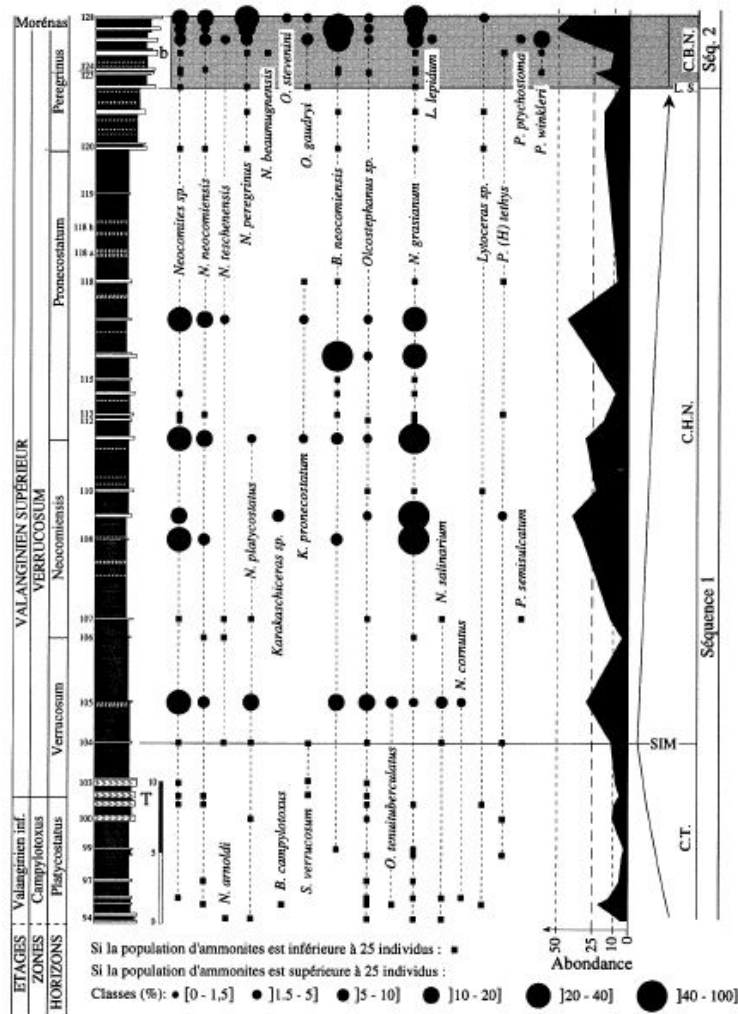
Au vu des nombreuses données dorénavant disponibles (en paléontologie, sédimentologie, cyclostratigraphie, géochimie) sur l'intervalle Berriasien sommital-Valanginien supérieur de la coupe de Vergol, j'ai suggéré à certains collègues (Baudin, Bulot, Deconinck, Janssen, Klein, Martinez, Mattioli, McArthur, Olivero, Pittet,...) que nous fassions une synthèse et une proposition détaillée afin de « renforcer » la candidature de cette coupe au GSSP Valanginien (notamment pallier à l'absence de données magnétostratigraphiques), mais aussi de proposer la coupe de Vergol comme GSSP pour la base du Valanginien supérieur (limite Valanginien inférieur/Valanginien supérieur (NB : à ma connaissance, aucune coupe n'a pour l'instant été proposée ou du moins retenue comme candidate à ce GSSP). La liste des personnes impliquées dans ce travail n'est pas arrêtée ; sa composition finale dépendra des points/thèmes prioritairement traités. L'objectif est de faire une proposition formelle aux instances internationales si possible pour le « 10th International Symposium on the Cretaceous System » en Septembre 2017, en Autriche (Vienna ou Salzburg).

Outre le très grand intérêt scientifique de la coupe de Vergol pour chacune de ces limites prise indépendamment, le fait de proposer ce site à la fois comme coupe candidate du GSSP Valanginien et du GSSP Valanginien Supérieur pourrait être un argument supplémentaire en faveur de son « élection » à ce statut international, notamment dans le cadre de la protection, l'aménagement et la valorisation des stratotypes (investissement sur un seul site pour 2 GSSPs potentiels). Cette démarche répond notamment aux objectifs et plan de travail de la Commission Internationale de Stratigraphie (qui souligne dans son rapport annuel de 2014 de « Promote the preservation of GSSPs by local communities and national stratigraphic commissions »), et de la Sous-Commission du Crétacé (qui suggère de : « To develop new directions for the Subcommission as GSSP proposals; this specifically concerns the subdivision of stages, with the definition of substages and related GSSPs »).

Les nombreuses études réalisées sur la coupe de Vergol pour l'intervalle Berriasien supérieur-Valanginien supérieur montrent que celle-ci présente des caractéristiques qui permettent de répondre favorablement à la plupart des critères de sélection d'un GSSP : très bonne exposition de la coupe, dilatée, continue sur les intervalles autour des limites, biostratigraphie intégrée macro/microfossiles, chimiostratigraphie, stratigraphie séquentielle, cyclostratigraphie (GRS), une accessibilité libre et permanente pour des recherches et possibilité de fixer de façon permanente un clou d'or.

Le manque d'informations magnétostratigraphiques (cf. signal faible à l'échelle du Bassin Vocontien) peut-être en partie compensée par les données isotopiques (notamment l'excursion positive du C13) qui permettent des corrélations à l'échelle globale (cf. références citées ci-dessus), et par l'étude astrochronologique (Martinez et al., 2013 ; 2015) qui permet de donner une durée du Valanginien (et des zones d'ammonites) ainsi que de proposer (indirectement) des datations absolues pour les limites de cet étage et de ses sous-étages.

Concernant le GSSP du Valanginien supérieur, la communauté géologique pourrait considérer que c'est un inconvénient d'avoir un petit slump (qui affecte peu la série sédimentaire) localisé environ 5 m sous la limite Valanginien inférieur/supérieur (dans l'hypothèse où celle-ci serait marquée par l'apparition de *Saynoceras verrucosum* dans le banc VGL-V102 in Reboulet and Rard, 2008). Dans ce cas, la coupe de Morenas (Drôme, Reboulet, 1996 ; Fig. 13), localisée près de la coupe de Vergol, peut être utilisée pour compléter l'intervalle manquant (slump) par corrélation lithologique (contrôle biostratigraphique). Si cette position n'est pas adoptée, la dernière possibilité serait de proposer Morenas comme coupe candidate à la place de la coupe de Vergol (mais dans ce cas, un travail plus important devra être fait).



**Fig. 13 :** Coupe de Morenas, lithologie et succession des ammonoïdes (Reboulet, 1996).

Enfin, il est important de souligner qu'à proximité de la coupe de Vergol, il y a déjà des coupes de références qui ont été ou qui sont en voie (stade +/- avancé selon les cas) d'être ratifiées comme GSSP : Mont Risou (Rosans, Hautes-Alpes ; Kennedy et al., 2004) qui est le GSSP Cénomaniens ; la coupe d'Arnayon (Drôme, candidate GSSP Albien ; Kennedy et al., 2014) qui a été soumise en Aout 2015 au vote de la vingtaine des membres votants (dont B. Galbrun et moi-même faisons partie) de la Sous-Commission du Crétacé ; la coupe de La Charce (candidate GSSP Hauterivien) dont le proposal est en cours de rédaction pour être soumis au vote (Bulot et al., *in prep*). La proximité géographique de ces coupes est un atout pour sensibiliser les élus de la commune de Montbrun-les-Bains (le maire rencontré en 2010 m'a fait part de son avis favorable à ce projet), du département de la Drôme (déjà acteurs dans le projet ENS La Charce), de la région Rhône-Alpes et des responsables du PNR des Baronnies pour entreprendre une démarche de protection et de valorisation du site de Vergol.

## **- Partie 2 -**

# **L’Hauterivien du Bassin Vocontien : La coupe de La Charce/Serre de l’Âne (La Charce, Drôme).**

### **1- Aménagement, valorisation et protection du site du Serre de l’Âne (La Charce) : Espace Naturel Sensible (ENS) du Département de la Drôme.**

Ce nouvel ENS a été créé et financé par le département de la Drôme en partenariat avec la commune de La Charce. L’aménagement, la valorisation et la protection de cet ENS ont été principalement réalisés dans le cadre du Comité de Pilotage (CP) du site du Serre de l’Âne (La Charce). Le CP était composé de personnes appartenant aux structures suivantes :

- Le Département de la Drôme avec les services des ENS (Nicolas Gogué-Meunier, Sophie Thomine et Florent Costa), de la Voirie, de la Communication, de la Conservation départementale du Patrimoine, de l’Architecture et du Patrimoine ;
- Le Conseil en Architecture Urbanisme et Environnement ;
- Le Syndicat Mixte des Baronnie Provençales (Aurélié Carod et Alexandre Vernin) ;
- Le Centre Permanent d’Initiatives pour l’Environnement du Vercors (Clémence Aubert) ;
- l’Agence Paysage de Pierre Pierron ;
- Le bureau d’étude Itinéraire Bis (Bertrand Rétif et Sophie Rey) ;
- Le bureau d’étude de Virginie Dujou ;
- La mairie de la commune de La Charce (Laurent Haro, maire de la Charce, Vice-Président du Syndicat Mixte des Baronnie Provençales) ;
- Le Centre du Val d’Oule à La Motte Chalacon (directeur Gérard Szoztak, conseiller général du canton de La Motte Chalacon) ;
- La communauté scientifique (Stéphane Reboulet et Luc Bulot).

Il y a eu 6 réunions du CP entre 2010 et 2012; elles ont eu lieu principalement à Valence à l’antenne RHOVALPARC du Département de la Drôme et parfois sur le site de la Charce.

La progression du projet a également été suivi par 5 responsables du Conseil Général de la Drôme (CG26) : le président Didier Guillaume (également sénateur de la Drôme) et 3 vice-présidents à savoir Hervé Rasclard chargé des Finances, Patrick Royannez chargé de l’Environnement, Bernard Buis chargé de la voirie départementale.

L’aménagement, la valorisation et la protection du site du Serre de l’Âne se sont faits par la création en 2012 d’un ENS (le 9<sup>ème</sup> ENS du Département) pour son intérêt géologique majeur. Le site est propriété du Département de la Drôme qui a investi 1 500 000 euros sur cette opération, montrant ainsi la volonté des élus d’élargir la politique ENS du département à la préservation du patrimoine géologique. Le département de la Drôme et la commune de La Charce ont travaillé conjointement pour ouvrir au public un parcours d’interprétation géologique d’un site exceptionnel et reconnu mondialement.

L'ENS du Serre de l'Âne a pour objectifs : a) favoriser l'accueil des scientifiques et du grand public sur l'aire aménagée permettant la découverte du site ; b) de valoriser ce patrimoine géologique et de permettre sa compréhension à un plus vaste public, allant des familles en visites touristiques et des groupes scolaires jusqu'aux géologues académiques/universitaires ; c) accueillir entre 5000 et 10000 visiteurs par an ; d) relier le site avec le paysage de La Charce et plus généralement du Diois et des Baronnies en faisant référence à d'autres lieux et paysages emblématiques de la région ; e) intégrer le site dans le Parc Naturel Régional des Baronnies provençales (PNRB ; décret signé par Ségolène Royal le lundi 8/12/2014 à Vinsobres, Drôme) ; f) mener une politique de protection et de gestion du site dans son accessibilité (cf. autorisation d'échantillonnage, etc.).

En 2008, le Département a décidé de mettre en oeuvre un projet d'aménagement et de valorisation du site géologique du Serre de l'Âne, à La Charce. Le plan d'interprétation réalisé par le CPIE Vercors ainsi qu'une esquisse d'aménagements paysagers (Agence Paysage Pierron) ont été réceptionnés mi-2010. Le Département de la Drôme s'est attaché à maîtriser le foncier du site et à réaliser d'important travaux de déviation de la route départemental D 61 qui a permis de procéder aux aménagements prévus pour l'accueil du public. Il a donc missionné le bureau d'études « Itinéraire Bis » pour définir le projet d'aménagement et de valorisation sur les bases programmatiques proposées par le CPIE et l'agence Paysage Pierron. Après l'intervention du bureau d'études « Itinéraire Bis » qui s'est faite sur les années 2011-2013, le bureau d'étude « Virginie Du Jeu » a repris la maîtrise d'oeuvre fin 2013 et a finalisé le projet d'interprétation début 2014. La réception des travaux (validation par le Département) s'est faite en octobre 2014.

### **1.1- Aménagement.**

L'aménagement du site a nécessité 2 opérations : a) le déplacement de la route D61 et b) la mise en place de structure pour l'accueil du public et l'interprétation géologique du site.

#### **a) Le déplacement de la route D61 a constitué la plus grosse partie des travaux (faits par l'entreprise Liotard) et le coût s'élève à 1 200 000 euros.**

Ce déplacement de la route a permis 2 choses. Premièrement d'éviter la pose d'un grillage destiné à limiter la chute de pierres sur la route qui passait près de la falaise/coupe. Ce grillage aurait limité l'accès à la coupe pour son étude et aurait rendu l'échantillonnage impossible. Deuxièmement créer un espace pour permettre un aménagement du site en vue de sa valorisation. Le déplacement de la D61 (Photo 1) s'est fait en partie sur la rive droite de la rivière l'Oule qui passe à proximité (Photo 2). Ces travaux ont donc été faits pour répondre aux exigences de la loi sur l'eau (mur de soutènement en gabions pierres pour respecter la largeur du lit mineur).

La D61 franchit la partie aval du ravin de la Combe Reboul au niveau d'un petit pont. Dans le nouvel aménagement, une partie de ce pont (au niveau du passage de l'ancienne route) n'a pas été recouvert par des dalles en béton mais par la pose de grilles en acier au niveau du sol qui laisse voir la partie canalisée du torrent. Cette structure est délimitée par des petits murs qui séparent la zone d'accueil du site à l'Est et la zone d'interprétation géologique à l'Ouest.



**Photo 1 :** Travaux de la déviation de la route D61 ; nous voyons l'ancienne route qui passait près de la coupe géologique du Serre de l'Âne et le tracé de la nouvelle voie avec le petit pont en construction qui enjambe le torrent de la combe Reboul ; en arrière plan, la rivière l'Oule - @ S. Reboulet (= @SR).



**Photo 2 :** Travaux sur les berges de la rivière l'Oule en bordure de la nouvelle route D61 ; en arrière plan, la coupe du Serre de l'Âne - @SR.

## **b) Le coût de l'aménagement de la zone d'accueil et du parcours d'interprétation géologique s'élève à 320 000 euros.**

Le site d'accueil est composé d'un parking et d'une aire de pique-nique avec une plantation de jeunes arbres prélevés localement (Photo 3). Il y a un média fait de 3 panneaux disposés en triangle (= le triptyque ou totem) ; il présente le site. Un petit chemin bordant la route D61 permet aux piétons de se déplacer entre le village de La Charce et le site géologique.

Le site d'interprétation géologique du Serre de l'Âne est composé par la Terrasse des Grands paysages (qui domine le site et donne une vision d'ensemble sur le paysage et le village de La Charce), le Parcours des Temps Géologiques (qui borde la falaise) et le Jardin des Fossiles.

Le site a été conçu pour permettre l'accès aux personnes à mobilité réduite avec une rampe d'accès faiblement inclinée qui mène à la terrasse. Par endroit, il y a des murets en pierre qui délimitent l'aire aménagée et qui assurent également une meilleure sécurisation du site.

La commune se chargera de l'entretien courant et quotidien du site ; le Département de la Drôme, en tant que propriétaire, assurera les futurs travaux d'entretien plus lourds (par ex. : renouvellement des matériels et supports de découverte, reprise éventuelle des surfaces, etc.).



**Photo 3 :** Vue sur le site ENS du Serre de l'Âne, avec le parking en premier plan à droite ; juste derrière, la Terrasse des Grands Paysages ; à gauche, entre la route et la coupe géologique, il y a l'espace dédié au Jardin des Fossiles et le muret du Parcours des Temps Géologiques - @SR.

### **1.2- La valorisation.**

Elle se fait avec des médias/panneaux dont le texte est en français ; un résumé de chaque panneau est proposé en anglais et en néerlandais. Un pictogramme peut être scanné et il renvoie à un site internet avec l'intégralité des traductions. La conception des médias a été faite par les bureaux d'études de Bertrand Rétif et Virginie Du Jeu en collaboration avec le CP et plus particulièrement avec Stéphane Reboulet ; leur réalisation sur panneaux a été réalisée par les entreprises Alp'com (Design, fabrication, pose) Kaliblu (graphisme) et Ducaroy-Grange (moulages fossiles, carte en relief du Dois-Baronnies).

**a) Le Triptyque** ou totem (Photo 4).

Les objectifs sont de présenter la politique ENS du Département de la Drôme (maîtrise d'ouvrage, propriétaire du site du Serre de l'Âne et financeur de l'aménagement et de la valorisation), de renvoyer sur les autres sites d'intérêt géologique du PNRB, et de visualiser l'organisation du site. Le triptyque est composé de 3 parties/panneaux intitulés :

- « Le Département, gardien du patrimoine naturel » : une carte du Département de la Drôme indique la localisation du nouvel ENS du site du Serre de l'Âne (La Charce) ainsi que celle des 8 autres ENS départementaux et 12 ENS locaux déjà existants ;
- « Les Baronnies provençales, un formidable observatoire géologique » : l'histoire géologique de cette région est expliquée brièvement et quelques sites géologiques remarquables sont évoqués pour inviter le visiteur à les découvrir ;
- « Le site du Serre de l'Âne, un patrimoine géologique inestimable » : l'intérêt géologique est expliqué, un plan présente les 3 zones d'interprétation géologique du site et les principaux partenaires ayant participé à l'aménagement sont indiqués.



**Photo 4 :** Le Triptyque ; en arrière plan, vue sur le village de La Charce - @SR.

**b) La Terrasse des Grands Paysages** (Photo 5).

Grâce à sa position haute, la terrasse permet une vision d'ensemble du site du Serre de l'Âne. Elle a été conçue pour donner des clés de lecture des paysages qui sont visibles depuis le site. Le premier panneau intitulé « Que nous dit le paysage ? » parle de relief, d'hydrographie et de l'impact de l'homme sur son environnement (pastoralisme, déboisement, etc.). Le deuxième panneau intitulé « D'où viennent ces reliefs étonnants ? » explique succinctement la formation des reliefs en termes de tectonique et d'érosion; une carte en relief du Diois-Baronnies est incluse dans ce panneau (Photo 6).

Sur cette terrasse, il y a également une mire/lunette factice qui est dirigée en direction du village de La Charce. Lorsque l'on regarde à l'intérieur, on voit le village tel qu'il était en 1905, avec notamment les zones déboisées laissant mieux voir les affleurements géologiques.



**Photo 5 : Le Terrasse des Grands Paysages - @SR.**



**Photo 6 : Panneau « D'où viennent ces reliefs étonnants ? » - @SR.**

### **c) Le Parcours des Temps Géologiques (Photo 7).**

Ce parcours se fait en suivant la coupe dont il est séparé de la falaise par un muret en pierre. Ce petit mur sécurise le déplacement des visiteurs (en limitant l'accès à la falaise où des chutes de blocs de pierre peuvent se produire) et il sert de support aux panneaux.

- Un premier panneau vertical intitulé « En quoi se site est-il remarquable ? » présente un géologue (anonyme) qui va servir de guide et donner des explications du site.
- Le panneau suivant intitulé « Pourquoi le Serre de l'Âne est-il un point de repère ? » explique l'intérêt de définir des stratotypes de limite qui sont désignés par les instances internationales de géologie ; il est souligné que le site est la coupe candidate au GSSP Hauterivien.
- Le panneau intitulé « A quoi cela vous sert-il d'étudier les fossiles », montre l'intérêt des fossiles en biostratigraphie avec notamment une illustration de l'ammonite *Acanthodiscus* dont l'apparition sert à marquer la base de l'Hauterivien.



- Dans le panneau « Et l'homme dans tout ça », l'âge de la Terre est comparé à une année civile et certains événements géologiques/biologiques (dont la base de l'Hauterivien) sont replacés dans ce calendrier.
- Dans le panneau intitulé « A quelle période a été formé ce que nous avons sous les yeux ? », l'ammonite *Acanthodiscus* (et l'étage Hauterivien qu'elle représente) est positionnée dans la frise des temps géologiques qui illustre les principales étapes de l'évolution du monde vivant.
- Le panneau intitulé « A quoi ressemblait le site il y a 134 millions d'années » montre que l'étude des roches et des fossiles permet de reconstituer des paléoenvironnements ; les processus de fossilisation sont également expliqués.
- Dans le panneau intitulé « Que sont ces bandes verticales ? », la description et le mode de formation de l'alternance calcaire-marnes sont faits.
- Sur le parcours, la limite Valanginien-Hauterivien est symbolisée au sol par une bande en acier sur laquelle est gravée l'âge absolue de la limite : « - 134 millions d'années » (Photo 8).



**Photo 7 :** Le muret avec le Parcours des Temps Géologiques ; au centre et à côté gauche de la photo, la plaque en acier matérialisant la limite Valanginien-Hauterivien - @SR.



**Photo 8 :** Panneau et plaque en acier au sol marquant la limite Valanginien-Hauterivien - @SR.

**d) Le Jardin des Fossiles** (Photo 9).

Pour chacune de ces tables, il y a des moulages en résine de fossiles. Sur une première table « Fossiles stratigraphiques », il y a une sélection d'ammonites qui sont des espèces-indices de zones du Valanginien supérieur (zones à Verrucosum, Peregrinus et Furcillata) et de l'Hauterivien inférieur (zones à Radiatus, Loryi et Nodosoplicatum) pour montrer que les étages sont divisés en unités plus petites, les zones (Photo 10).

Sur une deuxième table « L'étude des fossiles », il y a différentes espèces d'ammonites pour illustrer les différences de taille, de forme et d'ornementation du groupe ; il y a aussi des bélemnites. La définition d'un fossile est donnée ainsi que son utilité pour le géologue.



**Photo 9** : Le Jardin des Fossiles ; au centre, vue sur les deux tables des fossiles ; à gauche le muret du Parcours des Temps Géologiques ; à droite, la route D61 - @SR.



**Photo 10** : Table « Fossiles stratigraphiques » - @SR.

### **1.3- Protection.**

Les pouvoirs publics ont mis en place depuis plus d'un siècle plusieurs types « d'outils juridiques » pour protéger les espaces naturels : PNN, PNR, ENS, ZNIEFF, Natura 2000, Loi littoral, Loi montagne, Préservation des zones humides, Arrêté de protection de biotopes et géotopes, etc.

De par son classement en ENS, le site du Serre de l'Âne est donc *de facto* protégé contre des aménagements de grande ampleur qui auraient pu être faits par les services de la voirie du Département (comme mettre un grillage) ou par les anciens propriétaires de certaines parcelles sur lesquelles le site du Serre de l'Âne était implanté (ce qui est maintenant impossible car le Département de la Drôme est propriétaire de l'ensemble du site). Il faut aussi souligner que madame Ségolène Royal, ministre de l'Ecologie, a signé lundi 8 Décembre 2014 le décret validant la création du PNRB. La commune de La Charce et 85 autres communes de la Drôme et des Hautes-Alpes font parties maintenant de ce nouveau PNR, donnant ainsi plus de moyens, financiers et juridiques, pour protéger le site du Serre de l'Âne. Ce classement ENS, couplé à une intégration dans un PNR, est un point majeur et très favorable en vu d'être définitivement choisi comme stratotype de limite (GSSP) pour l'étage Hauterivien car la protection et l'accessibilité du site sont dorénavant pérennes.

Maintenant, il est prévu de créer un Comité de Gestion qui sera chargé de mettre en place plus précisément une politique de protection de l'ensemble du site (panneaux, coupe, etc.) et d'autorisation d'accès à la coupe pour limiter la dégradation des affleurements et le pillage des fossiles. Ce comité se fera en partenariat entre le Département de la Drôme, le PNRB et la commune de La Charce, et bien sûr en collaboration avec des scientifiques (via notamment le comité scientifique du PNRB). En effet, désormais le site sera géré conjointement par la commune de La Charce et le Syndicat Mixte des Baronnies Provençales avec un accompagnement technique et financier du Conseil Général de la Drôme.

### **1.4- Inauguration de l'Espace Naturel Sensible du site du Serre de l'Âne (La Charce).**

Ce nouvel ENS de la Drôme a été inauguré très récemment, le vendredi 5 décembre 2014 à La Charce. Une centaine de personnes étaient présentes. Parmi les élus (Photo 11), il y avait Didier Guillaume, président du Conseil Général de la Drôme (CG26) et sénateur, 4 vice-présidents Bernard Buis, Pierre Combes, Hervé Rasclard et Patrick Royannez, ainsi que Gérard Szoztak (conseiller général), Marie-Pierre Monier (sénatrice de la Drôme), Jean Besson (ancien sénateur de la Drôme), Laurent Haro maire de La Charce et certains membres de son conseil ainsi que d'autres élus du territoire (maires notamment). Il y avait aussi des membres de la communauté scientifique (Luc Bulot, Nicol Morton, etc.).

Après le discours d'accueil du maire de La Charce, Stéphane Reboulet, en tant que représentant de la communauté scientifique, a fait une intervention sur le site pour : a) présenter les principaux ateliers/thèmes du parcours géologique et faire comprendre à la fois l'intérêt du site et les enjeux de son aménagement et b) remercier l'ensemble des élus du CG26 et de la mairie ainsi que les différents services qu'ils ont sous leurs responsabilités pour leurs contributions humaines et financières dans ce projet.

Puis le ruban tricolore a été coupé, symbolisant l'ouverture de cet ENS du Serre de l'Âne (Photo 12). L'inauguration a continué à la mairie avec un discours de Laurent Haro et de Didier Guillaume qui ont fait part de leur pleine satisfaction du travail réalisé (sur le fond et la forme) et ils ont souligné l'importance de ce site scientifique/géologique qui participe à accroître la culture général de nos concitoyens. La journée s'est terminée autour du verre de l'amitié en plein air sous le château de La Charce (16<sup>ème</sup> siècle) et d'un repas pris dans la salle de la mairie, le tout organisé par Laurent Haro.



**Photo 11 :** Inauguration de l'ENS du Serre de l'Âne ; au premier plan, les élus du CG26 et le maire de La Charce - @ F. Rey, Département de la Drôme.



**Photo 12 :** Le ruban tricolore, tenu par les élus (P. Royannez, H. Rasclard, L. Haro, D. Guillaume et M-P. Monier) et les représentants de la communauté scientifique (L. Bulot et S. Reboulet), est coupé par le maire de La Charce Laurent Haro, symbolisant l'ouverture de l'ENS du Serre de l'Âne - @ E/L Bulot.

Cet événement a été relaté dans le journal régional « Le Dauphiné Libéré » du lundi 8 Décembre 2014 (Photo 13) et dans l'article de Nicol Morton (2015) « The Geological site Le Serre de l'Âne, La Charce, Drôme, France » parue dans Geology Today.



**Photo 13 :** Article sur l'inauguration de l'ENS du Serre de l'Âne, extrait du Dauphiné Libéré en date du 8 Décembre 2014.

## 2- La coupe de La Charce : le stratotype de limite de l'étage Hauterivien (GSSP) (Global Boundary Stratotype Sections and Points).

### 2.1- Introduction.

La série de La Charce est une coupe de référence pour caractériser et définir la limite Valanginien-Hauterivien mais aussi pour étudier l'évolution de certains groupes fossiles, notamment la faune d'ammonoïdes (Thieuloy, 1977a). En effet, de nombreux travaux en paléontologie et biostratigraphie ont été réalisés depuis la publication de cet auteur : les ammonoïdes (Reboulet et al., 1992; Bulot et al., 1993b; Bulot, 1995; Bulot et al., 1995; Reboulet, 1996 ; Reboulet et Atrops, 1997 ; 1999), les bélemnites (Janssen and Clément, 2002), les traces fossiles (Gaillard, 1984; Gaillard et Jautée, 1987; Olivero, 1996), les foraminifères (Moullade, 1966; Magniez-Jannin, 1992; Magniez-Jannin et Dommergues, 1994), et les nannofossiles calcaires (Thierstein, 1973 ; Gardin, 2008 ; Mattioli et al., 2014). Les données et résultats sédimentologiques, géochimiques et paléomagnétiques sont aussi disponibles en grande quantité (Cotillon et al., 1980 ; Ferry et al., 1989 ; Ferry, 1991 ; Hennig et al., 1999 ; van de Schootbrugge et al., 2003 ; Gréselle, 2007 ; Gréselle et Pittet, 2010). Plus récemment, la coupe de La Charce a été l'un des supports à une étude chronostratigraphique via une approche cyclostratigraphique afin d'estimer la durée des étages Valanginien et Hauterivien (Martinez et al., 2013 ; 2015).

Toutes ces publications (liste non exhaustive) ont constitué un point fort dans le choix de la coupe de La Charce comme coupe candidate au GSSP Hauterivien et serviront bien sûr de base à la réalisation du proposal (Bulot et al., *in prep*; voir ci-après).

### 2.2- Lithologie.

La série du Valanginien-Hauterivien de la coupe de La Charce est donnée par Reboulet (1996) et Reboulet et Atrops (1999 ; et références). La sédimentation est dominée par une alternance calcaires-marnes qui est composée d'une répétition de cycles binaires décimétriques à métriques composés de bancs calcaires beiges et d'interbancs gris de marnes.

La succession est dominée par les calcaires dans sa partie la plus inférieure (zone à Pertransiens) et devient ensuite progressivement plus marneuse pour le reste du Valanginien inférieur (ex-zone à Campylotoxus). Dans le Valanginien supérieur, la série est dominée par les marnes (zone à Verrucosum) et devient graduellement plus calcaire. L'Hauterivien est caractérisé par une alternance bien exprimée/réglée et à dominance nettement calcaire.

Ces sédiments calcaires-marnes déposés dans un environnement relativement profond (faciès subpélagique) sont parfois « perturbés » par des turbidites (Formation des Plaquettes Rousses ; cf. Ferry et Grosheny, 2013), calcarénites de couleur rouille localisées au passage Valanginien inférieur/supérieur (plus précisément entre les horizons à Fuhri et à Pronocostatum), et des glissements synsédimentaires (2 slumps dans l'Hauterivien inférieur, plus précisément au sommet de la zone à Radiatus et à la limite des zones à Loryi et Nodosoplicatum ; Reboulet, 1996 et références). Des corrélations banc à banc effectuées entre plusieurs coupes du Bassin Vocontien permettent non seulement de confirmer que l'enregistrement sédimentaire du temps est continu mais aussi de compléter ces niveaux « perturbés ». Ainsi les coupes de Vergol et Morenas ont permis d'étudier en continue le passage Valanginien inférieur/supérieur non « visible » sur la coupe de La Charce (Reboulet, 1996). Des corrélations faites avec les coupes de Pommerol (Martinez et al., 2015) et d'Arnayon ont permis tout récemment de compléter les lacunes d'enregistrement au niveau des 2 slumps de l'Hauterivien inférieur de La Charce. Les premiers résultats biostratigraphiques de l'étude de la coupe de Pommerol (Reboulet, Martinez, Noclin, *in prep*) seront présentés dans ce livret (cf. ci-après).

La série est également caractérisée par l'existence de niveaux centimétriques riches en goethite (Fesneau et al., 2009), décrits originellement sous le terme de Niveaux Ferrugineux NF1 et NF2 par Reboulet (1991 ; 1996). Ces horizons de couleur ocre mentionnés par Beaudoin et al. (2003) ressemblent aux bentonites de L'Oxfordien et de l'Aptien décrits aussi dans le Bassin Vocontien (Dauphin, 2002; Pellenard and Deconinck, 2003). Concernant le Valanginien, les analyses minéralogiques et géochimiques ont révélées qu'un seul de ces niveaux ocre s'avérait être une bentonite (niveau O3 localisé dans l'ex-zone à Campylotoxus, coupe de Vergol, Fesneau et al., 2009) dont la fraction argileuse est composée en grande partie de smectite (altération sous-marine des verres volcaniques). Les autres niveaux ocre correspondent à l'altération météoritique de la pyrite en goethite.

### **2.3- Biostratigraphie (ammonoïdes).**

La coupe de La Charce est très documentée du fait de la grande abondance des ammonoïdes qui représentent la quasi-totalité de la macrofaune (Thieuloy, 1977a ; Reboulet et al., 1992 ; Bulot et al., 1993b ; Atrops et Reboulet, 1995a ; Bulot, 1995 ; Bulot et Thieuloy, 1995 ; Bulot et al., 1995 ; Reboulet, 1996 ; Reboulet et Atrops, 1999). Les autres macrofossiles nectoniques sont des bélemnites, parfois relativement fréquentes, et quelques nautilus (rhyncholites). Les bivalves, les gastéropodes et les brachiopodes sont rares.

Plus de 15000 ammonoïdes ont été récoltés sur les 200 m de coupe (Pertransiens-Nodosoplicatum ; Fig. 1 ; Reboulet, 1996). Les assemblages consistent essentiellement en 9 familles. Les renouvellements fauniques sont principalement caractérisés par l'évolution des Neocomitidae et Olcostephanidae, et dans une moindre mesure celle des Oosterellidae, Holcodiscidae et Ancyloceratidae. Les spectres fauniques sont souvent dominés par les Haploceratidae, Bochiianitidae, Phylloceratidae et Lytoceratidae ; leur abondance témoigne d'un paléoenvironnement relativement profond (Reboulet, 1996). Les variations de la composition de ces assemblages de l'ammonitofaune ont été interprétées en termes de changements eustatiques, climatiques et trophiques (Reboulet et al., 1992 ; Reboulet et Atrops, 1995 ; 1997 ; Reboulet, 1996 ; Reboulet et al., 2003 ; Reboulet, 2007 ; 2008).



La coupe de La Charce a été un support important pour la construction du découpage zonal du Valanginien supérieur (Reboulet et Atrops, 1999) ; ces auteurs ont proposé des changements de (sous-)zones afin que la zonation corresponde mieux aux principaux renouvellements de la faune d'ammonoïdes. Ce schéma zonal a été adopté et introduit dans la Zonation Standard du Crétacé inférieur lors de la première réunion du Kilian Group (Hoedemaeker et al., 2003) et maintenu lors des réunions successives (Reboulet et al., 2006 ; 2009 ; 2011 ; 2014).

#### **2.4- L'étage Hauterivien et le GSSP.**

Renevier (1874) a défini l'étage Hauterivien à partir de l'étude de la localité type d'Hauterive (Neuchâtel, Suisse). La coupe fut ultérieurement considérée comme non satisfaisante à cause de sa mauvaise exposition, la nature condensée des dépôts dans certains niveaux, et la pauvreté en ammonites. Ainsi, depuis Kilian, les chercheurs français ont préféré utiliser les séries alternantes plus dilatées et riches en ammonoïdes du Bassin Vocontien.

Comme évoqué dans l'introduction, La Charce est la coupe la mieux documentée pour caractériser et définir la limite Valanginien-Hauterivien. Elle a été proposée par Thieuloy (1977a, p. 125) comme coupe candidate pour le stratotype de limite entre ces 2 étages. L'IUGS a retenu cette proposition lors de la réunion de Copenhague en 1983 (Birkelund et al., 1984). Comme aucune autre alternative n'avait émergé des études menées dans d'autres pays, notamment en Espagne, au Caucase et en Crimée, le Working Group Hauterivien recommanda, lors de la réunion de Bruxelles en 1995, la coupe de La Charce comme « global boundary stratotype » pour la base de l'étage Hauterivien (Mutterlose et al., 1996). Le GSSP Hauterivien a ensuite été assigné à La Charce par l'IUGS-ICS Subcommittee on Cretaceous Stratigraphy pendant le 32<sup>ème</sup> Congrès International de Géologie de Florence en 2004 (Rawson, 2004; Ogg et al., 2004). Depuis, le “proposal” pour cette recommandation est en cours de réalisation (Bulot et al., *in prep*) et les collectivités locales (commune et département) ont réalisé l'aménagement et la valorisation du site (cf. ci-dessus).

#### **2.5- La zone à *Acanthodiscus radiatus* et le Clou d'Or (Golden Spike) de l'Hauterivien.**

La zone à Radiatus est de création très ancienne et son auteur, Paquier (1900), en faisait une sous-zone de la zone à « *Crioceras duvali* » (sous-zone à *Hoplites castellanensis* et *H. radiatus*, ainsi libellée p. 126 de son mémoire, mais ces taxons seront présentés dans un ordre inverse dans son tableau p. 143 ; c'est cette deuxième présentation qui sera vulgarisée par Kilian et les auteurs suivants prendront l'habitude de ne citer que le premier taxon du binôme, *radiatus*). Lorsque Thieuloy (1977a, p. 125) formalise sa proposition de limite Valanginien-Hauterivien à partir de la localité type de La Charce, il donne la définition suivante : « Cette limite chronostratigraphique coïncide avec la base de la biozone à *A. radiatus*, elle-même définie par les premières manifestations du genre *Acanthodiscus* ». Lors du premier “International Symposium on Cretaceous Stage Boundaries” (Copenhague, 1983), il est indiqué que : “The base of the Hauterivian is currently defined by the first appearance of *Acanthodiscus radiatus* and allied species” (Birkelund et al., 1984). Dans le second Symposium (Bruxelles, 1995), la recommandation est formulée ainsi : “The base of the Hauterivian is recommended to be drawn at the first appearance of the ammonite genus *Acanthodiscus*” (Mutterlose et al., 1996). La proposition a été reportée dans le « 2004 GTS » (Ogg et al., 2004) et adoptée par le Kilian Group (Reboulet et al., 2009).

Reboulet (1996, p. 263 et Fig. 22) est aussi en faveur de cette définition de la zone à Radiatus. Cet auteur défend l'hypothèse que le genre *Acanthodiscus* correspond probablement à une espèce biologique caractérisée par une très large variabilité intraspécifique (forme et taille, dimorphisme y compris) qui s'exprime par de nombreux transients (cf. espèces typologiques)



aussi bien au niveau des macroconches (*A. radiatus*, *Acanthodiscus rebouli*, *Acanthodiscus vaceki*, *Leopoldia leopoldina*) que des microconches (*Breistrofferella peyroulensis*, *Breistrofferella castellanensis* and *Breistrofferella varappensis* ; Reboulet, 1996 ; 2002 ; voir aussi Goguel, 1940 pour sa conception du genre *Acanthodiscus*). En conséquence de cette interprétation, lorsqu'*Acanthodiscus* est très rare ou même absent dans certaines coupes des paléoenvironnements profonds, la reconnaissance de la zone à *Radiatus* est alors possible par l'utilisation de *Breistrofferella* qui y est généralement abondant.

Suivant cette recommandation, le Clou d'Or de l'étage Hauterivien (= base de la zone à *Radiatus*) est positionné à la base du banc LCH189 (Photo 14 ; Figs. 1 et 2) de la coupe de La Charce avec la première apparition d'*Acanthodiscus rebouli* (Photo 15 ; Reboulet, 1996 ; NB : le banc 189 in Reboulet et al., 1992, Reboulet, 1996 = le banc 250 dans la numérotation de Bulot et al., 1993b).

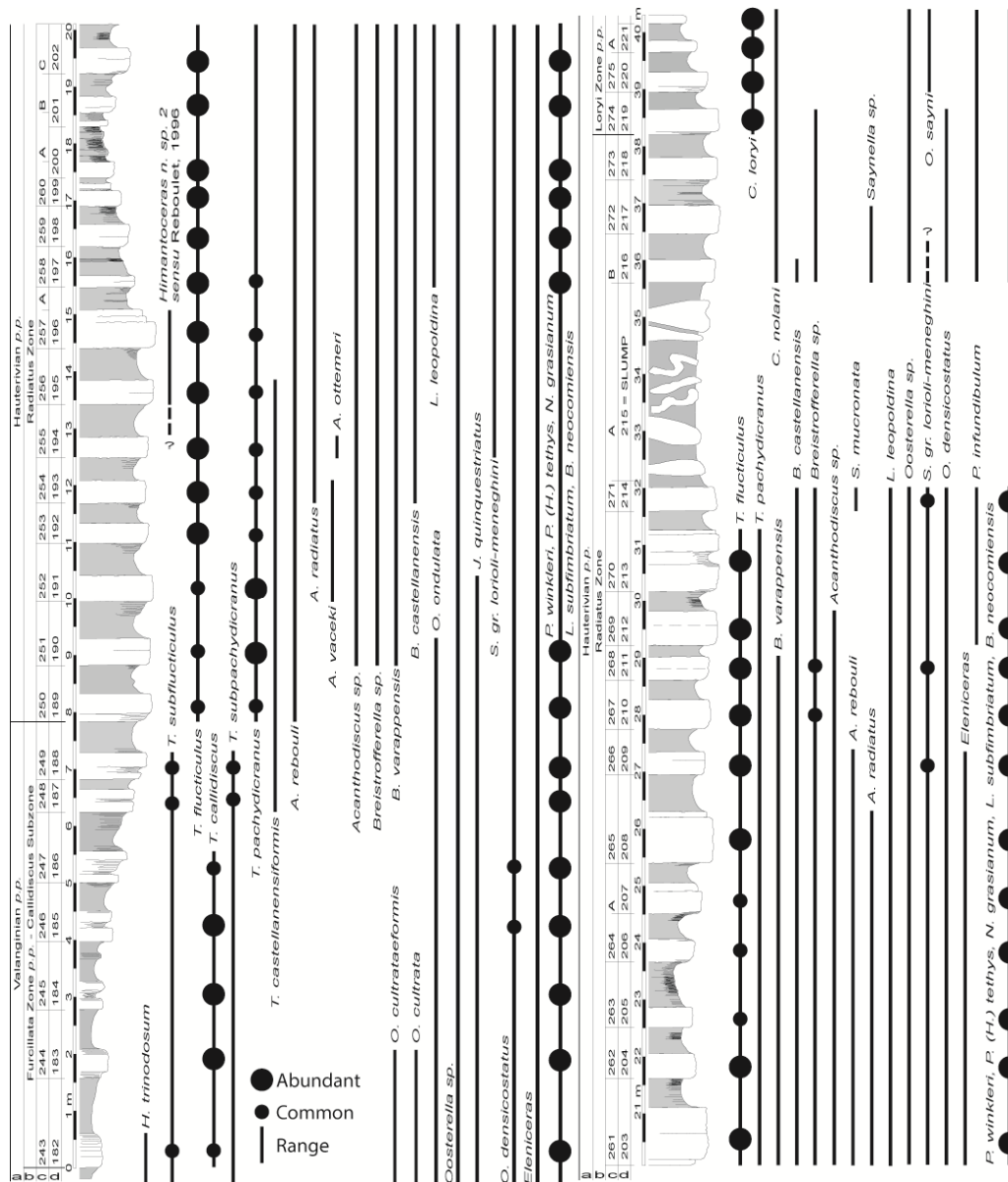


**Photo 14 :** Coupe de La Charce avec le passage Valanginien-Hauterivien ; l'estwing est positionné à la base du banc LCH189 (in Reboulet, 1996 ; base de l'Hauterivien) - @SR.



**Photo 15 :** *Acanthodiscus rebouli*, La Charce LCH189, UCBL-FSL 488870, Collection Reboulet - @ Emmanuel Robert - Le rectangle noir représente 1 cm de longueur.

Des changements dans les assemblages de la faune d'ammonoïdes (cf. *Teschenites*, *Olcostephanus*, *Spitidiscus*, *Oosterella*) autour de la limite Valanginien-Hauterivien permettent aussi de bien la caractériser (Bulot, 1995 ; Reboulet, 1996 et références dans ces 2 monographies). D'autres critères biologiques et physico-chimiques ont été aussi relevés pour constituer d'autres marqueurs de cette limite (cf. Formal proposal, Bulot et al., *in prep*). Dans le cadre de la rédaction du Proposal du GSSP Hauterivien, Luc Bulot et Stéphane Reboulet se sont rencontrés à plusieurs occasions (entre 2006 et 2009) pour relever ensemble plus en détail la série sédimentaire autour de la limite Valanginien-Hauterivien et surtout mettre en commun leurs données et harmoniser les résultats/interprétations au niveau des conceptions systématiques/phylétiques des espèces et de leurs distributions stratigraphiques. Le bilan de ces discussions sera développé dans le Proposal (Bulot et al., *in prep*) et seul est présentée ici dans la Figure 2 la distribution des espèces et la zonation issues de ce travail commun (Bulot et Reboulet ; la correspondance entre la numérotation de bancs utilisée par Reboulet (colonne "d"; Reboulet et al., 1992; Reboulet, 1996, Reboulet et Atrops, 1999) et celle de Bulot (colonne "c", Bulot et al., 1993b, 1995; Bulot, et al., 1996) est aussi donnée).



**Fig. 2 :** La Charce, zonation et distribution des ammonoïdes (*sensu* Bulot et Reboulet) à la limite Valanginien-Hauterivien (d'après Bulot et al., *in prep*).

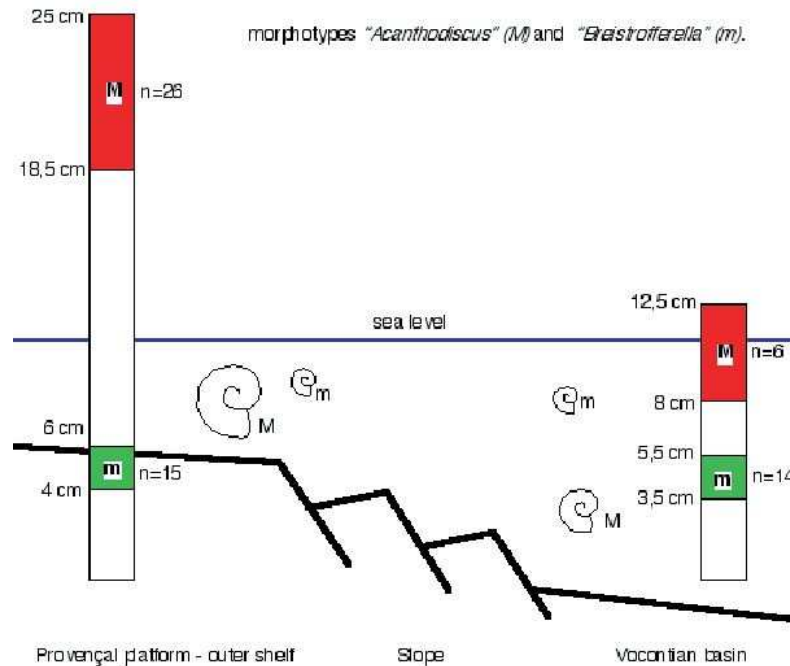
## 2.6- Paléoécologie et paléobiogéographie d'*Acanthodiscus*.

Dans le Sud-Est de la France, *Acanthodiscus* est fréquent à abondant dans les paléoenvironnements peu profonds/proximaux de plate-forme (Provence : Thieuloy et al., 1990 ; Autran, 1993 ; Bulot, 1995 ; Reboulet, 1996 ; Jura : Busnardo et Thieuloy, 1989), mais ce taxon est rare dans les paléoenvironnements profonds/distaux (Bassin Vocontien, Reboulet, 1996 ; Veveyse de Châtel (Suisse), Busnardo et al., 2003). Des observations similaires ont été faites dans d'autres bassins des provinces téthysienne (Espagne, Company, 1987) et atlantique (Maroc, Ettachfini 1991).

En Province Boréale, *Acanthodiscus* est préférentiellement distribué dans les paléoenvironnements peu profonds de l'Europe depuis le Nord-Ouest de l'Allemagne jusqu'en Crimée *via* le couloir polonais (Kemper et al., 1981). Dans le Nord de l'Allemagne, *Acanthodiscus*, qui est généralement rare dans les bancs à *Endemoceras* beds (Kemper, 1973; Rawson, 1973), semble restreint à la zone à *Noricum* dans les coupes des paléoenvironnements profonds (Thieuloy, 1977b ; Quensel, 1988), mais il a été récolté dans la partie supérieure de la zone à *Amblygonium* dans les coupes des paléoenvironnements peu profonds (Kemper et al., 1981 ; Mutterlose et al., 1996). Ainsi, la présence (ou l'absence) d'*Acanthodiscus* dans la partie supérieure de la zone à *Amblygonium* de la province boréale pourrait être principalement contrôlée par des facteurs paléoenvironnementaux (McArthur et al., 2007, et références ; cf. paragraphe 2.7 pour complément de discussion).

Cependant, même si la présence *versus* l'absence d'*Acanthodiscus* est en partie contrôlée par des facteurs paléoenvironnementaux (bathymétrie et/ou proximalité *versus* distalité) comme observé dans le Sud-Est de la France et possiblement dans le Nord de l'Allemagne, ce taxon a une large distribution paléobiogéographique et il est donc un très bon index pour définir la base de l'Hauterivien : Europe (de la France et Allemagne jusqu'en Crimée *via* le couloir polonais (distribué préférentiellement en faciès peu profonds ou condensés), Kemper et al., 1981; McArthur et al., 2007 et références ci-dessus) ; Afrique du Nord (Maroc, Ettachfini, 1991 ; 2004 ; Atrops et al., 2002 ; Reboulet, données non publiées) et Chili (Mourgues, 2007). Pour des données plus complètes sur la distribution paléobiogéographiques de l'espèce biologique *Acanthodiscus*, se reporter à Klein (2005) qui donnent les synonymies exhaustives des différentes espèces typologiques des genres *Acanthodiscus*, *Leopoldia* et *Breistrofferella* qui la composent.

La comparaison des assemblages d'ammonites entre des milieux différents se limitent généralement à l'analyse de leur composition/diversité, comme évoqué précédemment dans le cas des *Acanthodiscus*. Reboulet (2001) analyse pour la première fois en détail les variations de la taille adulte d'ammonoïdes conspécifiques qui vivaient dans des paléoenvironnements différents. Il ressort de cette étude que les individus récoltés sur la plate-forme provençale ont toujours une taille adulte significativement plus grande que ceux récoltés dans le Bassin Vocontien. Cette différence serait principalement liée aux variations du taux de croissance des ammonoïdes sous des conditions bathymétriques différentes (pression et température) ; l'hypothèse d'un contrôle trophique est aussi évoquée. Lors de l'excursion nous prendrons les exemples des *A. radiatus* (Fig. 3) et des *N. peregrinus* et nous pourrions discuter des implications de cette étude en termes de mode de vie des ammonoïdes, de ségrégation de leurs populations et d'hétérochronie du développement.



**Fig. 3 :** Variations de la taille adulte d'individus conspécifiques (ex. « espèce biologique » *A. radiatus*) entre la Plate-forme Provençale et la Bassin Vocontien (Reboulet, 2001).

### 2.7- Corrélations de la zone à *Radiatus* avec les zonations boréale et australe.

Classiquement, la base de la zone à *Amblygonium* de la Province Boréale est corrélée avec la base de la zone à *Radiatus* (Thieuloy, 1973 ; Rawson, 1983 ; 1993 ; Mutterlose et al., 1996 ; Jacquin et al., 1998 ; Ogg et al., 2004). Cette correspondance a été maintenue lors de la 5<sup>ème</sup> réunion du Kilian Group tenue à Ankara en 2013 (Reboulet et al., 2014), où a été présentée la contribution de Peter Rawson sur la corrélation des schémas zonaux des provinces Ouest Méditerranéenne (Zonation Standard, Téthys) et Nord-Ouest Européenne (Boréal) pour le Valanginien-Hauterivien (Tab. 1). Il est important de noter que les corrélations proposées par cet auteur sont uniquement basées sur des arguments paléontologiques (ammonites), qui constituent la principale préoccupation du Kilian Group. Reboulet souligna que l'approche couplée des données paléontologiques et géochimiques (Sr-isotope, cf. McArthur et al., 2007) permet de proposer des alternatives de corrélations, notamment autour de la limite Valanginien/Hauterivien (cf. ci-après).

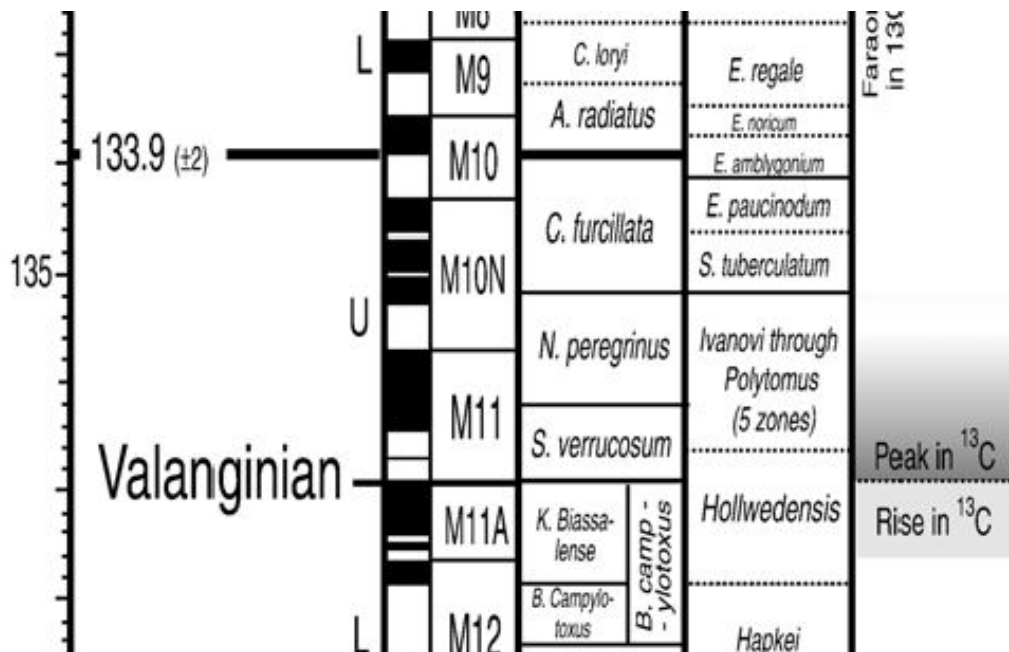
Rawson met en avant les points suivants. Dans le Nord de l'Allemagne, *Olcostephanus* est rapidement remplacé par *Endemoceras*, un genre de Neocomitidae qui est endémique au NW de l'Europe. La première apparition d'*Endemoceras* est généralement utilisée pour marquer la base de l'Hauterivien, ce qui limiterait la zone à *Olcostephanus densicostatus* au Valanginien terminal. Le peu de données de terrain suggère que le genre *Acanthodiscus* apparaît en Allemagne vers le milieu de la zone à *Amblygonium* et son extension stratigraphique se poursuit dans la zone à *Noricum* (Kemper et al., 1981, p. 302), ce qui pourrait indiquer que la base de l'Hauterivien devrait être positionnée au sein de la zone à *Amblygonium*.

Cependant, Bulot et al. (1993b, p. 39) considèrent les spécimens germaniques comme des formes d'*Acanthodiscus* comparables à celles du milieu de la zone à *Radiatus* car elles sont caractérisées par une bande siphonale large. Ainsi, à partir de ces interprétations, la base de l'Hauterivien est toujours mise à la base de la zone à *Amblygonium*. Il faut noter qu'*Acanthodiscus* n'est pas présent dans la partie Est de l'Angleterre (Speeton Clay), où les zones à *Amblygonium* et *Noricum* sont très condensées.

LOWER HAUTERIVIAN	<i>Lyticoceras nodosoplicatum</i>	<i>Olcostephanus (O.) variegatus</i> Horizon	9 →	<i>Speetoniceras inversum</i>	
	<i>Crioceratites loryi</i>	<i>Olcostephanus (Jeannoticeras) jeannoti</i>		8 →	<i>Endemoceras regale</i>
		<i>C. loryi</i>			<i>Endemoceras noricum</i>
<i>Acanthodiscus radiatus</i>		7 →	<i>Endemoceras amblygonium</i>		
UPPER VALANGINIAN	<i>Criosarasinella furcillata</i>	<i>Teschenites callidiscus</i>	6 →	<i>Olcostephanus (O.) densicostatus</i>	
		<i>C. furcillata</i>		<i>Stoicoceras tuberculata</i>	
	<i>Neocomites peregrinus</i>	<i>Olcostephanus (O.) nicklesi</i>	5 →	<i>Dichotomites bidichotomoides</i>	
		<i>N. peregrinus</i>		<i>Dichotomites tryptichoides</i>	
	<i>Saynoceras verrucosum</i>	<i>Karakaschiceras pronecostatum</i>	4 →	<i>Dichotomites crassus</i>	
<i>S. verrucosum</i>		<i>Prodichotomites polytomus</i>			
		3 →			

**Tab. 1 :** Corrélations des schémas zonaux des provinces Ouest Méditerranéenne (Zonation Standard) et Nord-Ouest Européenne d'après Rawson *in* Reboulet et al. (2014).

A partir de données géochimiques (variations de la courbe isotopiques  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ), McArthur et al. (2007) suggèrent que la base de la zone à Amblygonium pourrait être corrélée avec la partie haute de la zone à Furcillata (Tab. 2). Cette correspondance est en accord avec des propositions similaires faites par d'autres auteurs (Thieuloy 1977b ; Kemper et al., 1981 ; Rawson, 1983 ; Mutterlose et al., 1996 ; Fig. 6 of Rawson et al., 1999).



**Tab. 2 :** Corrélations des schémas zonaux des provinces Ouest Méditerranéenne (Zonation Standard) et Nord-Ouest Européenne d'après Reboulet *in* McArthur et al. (2007).

Lors de la réunion d'Ankara, Béatriz Aguirre-Urreta a présenté la corrélation des schémas zonaux des provinces Ouest-Méditerranéenne (Zonation Standard, Téthys) et du Bassin de Neuquén (Province Australe, Tab. 3). La base de la zone à *Holcoptychites neuquensis* est corrélée à celle de la zone à Radiatus (Aguirre-Urreta et Rawson, 2003, p. 595, p. 607).

LOWER HAUTERIVIAN	<i>Lyticoceras nodosoplicatum</i>		7 →	<i>Weavericeras vacaensis</i>	
		<i>Olcostephanus (O.) variegatus</i> Horizon	6 →	<i>Hoplitocrioceras gentili</i>	<i>Hop. gentili</i>
	<i>Crioceratites loryi</i>	<i>O. (Jeannoticeras) jeannoti</i>	5 →	<i>Holcoptychites neuquensis</i>	<i>Hop. giovinei</i>
		<i>C. loryi</i>			<i>Olcostephanus (O.) laticosta</i>
<i>Acanthodiscus radiatus</i>		4 →		<i>Hol. agrioensis</i>	
UPPER VALANGINIAN	<i>Criosarasinella furcillata</i>	<i>Teschenites callidiscus</i>		<i>Pseudofavrella angulatiformis</i>	<i>Hol. neuquensis</i>
		<i>C. furcillata</i>			<i>Decliveites crassicostatus</i>
	<i>Neocomites peregrinus</i>	<i>Olcostephanus (O.) nicklesi</i>	3 →		
	<i>Saynoceras verrucosum</i>	<i>N. peregrinus</i>			<i>P. angulatiformis</i>
		<i>Karakaschiceras pronecostatum</i>		<i>Olcostephanus (O.) atherstoni</i>	<i>Viluceras permolestus</i>
		<i>S. verrucosum</i>			<i>Karakaschiceras attenuatus</i>

**Tab. 3 :** Corrélations des schémas zonaux des provinces Ouest Méditerranéenne (Zonation Standard) et du Bassin de Neuquén (Province Australe) d'après Aguirre-Urreta *in* Reboulet et al. (2014).

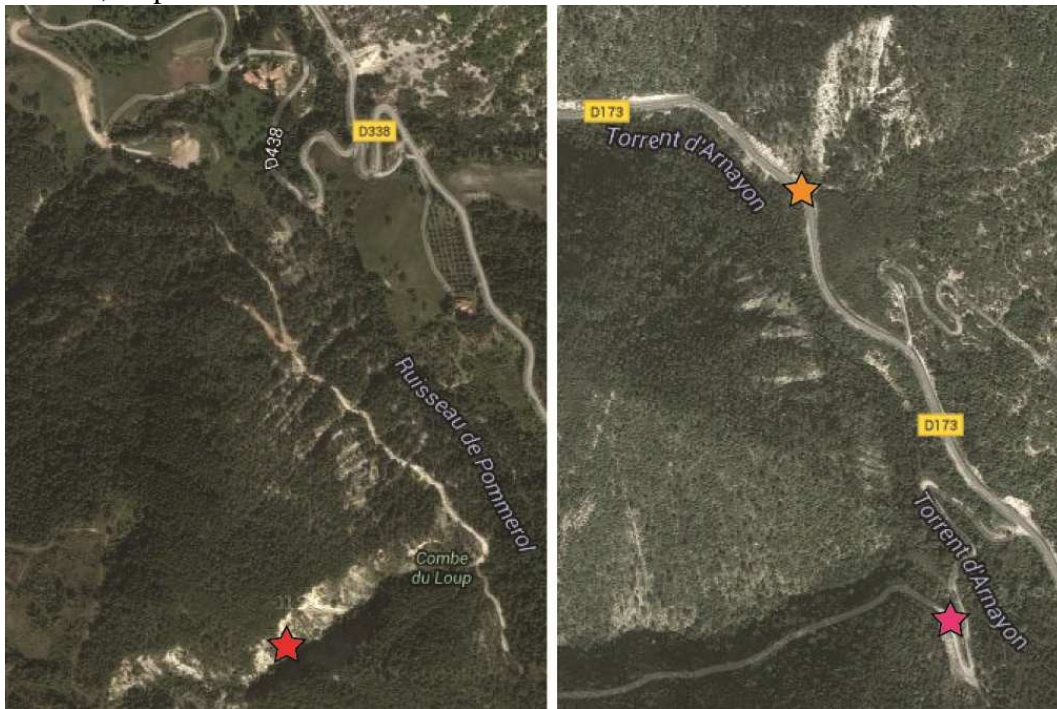
### 3- Les coupes de Pommerol et d'Arnayon : corrélations avec la coupe de La Charce et implications bio/cyclo/chrono-stratigraphiques.

#### 3.1- Introduction.

Afin de compléter l'enregistrement sédimentaire au niveau des 2 slumps localisés dans l'Hauterivien inférieur de la Charce (Fig. 1), Mathieu Martinez et moi-même avons entrepris depuis 2010 une prospection de terrain dans les environs de La Charce pour tenter de trouver une ou plusieurs coupes montrant une continuité dans les intervalles évoqués ci-dessus. Deux coupes ont été sélectionnées et levées par nos soins ; il s'agit des coupes de Pommerol et d'Arnayon (Drôme) dont le dessin détaillé est donnée pour la première fois dans ce livret. Pour l'instant, seule la coupe de Pommerol a pu être exploitée pour les études bio/cyclo-stratigraphiques car la coupe d'Arnayon est en partie grillagée (cf. bord de route). Dans une première étape, c'est l'enregistrement des mesures de Gamma-Ray qui a été réalisée sur la coupe de Pommerol et les résultats cyclostratigraphiques ont été intégrés à ceux obtenus sur d'autres coupes comme celle de La Charce pour obtenir une durée de l'étage Hauterivien (Martinez et al., 2015). Dans une deuxième étape que nous venons de réaliser au cours de cet été 2015, la récolte d'ammonoïdes a été faite, avec l'aide de Nicolas Noclin (étudiant en Licence à l'UCBL1). La présentation de ces 2 études ne suivra pas ici l'ordre chronologique de leur réalisation car il apparaît plus logique de présenter d'abord la lithologie des coupes (Pommerol et Arnayon) et les premières données biostratigraphiques et ensuite celles relatives à l'approche astrochronologique (La Charce-Pommerol).

### 3.2- Lithologie et zonation des coupes de Pommerol et d'Arnayon, corrélations avec la coupe de La Charce.

Les coupes de Pommerol et d'Arnayon (Photo 16) se trouvent à quelques kilomètres du site de La Charce, respectivement au Sud et au Nord-Ouest de cette localité



**Photo 16 :** Localisation des affleurements hauteriviens de Pommerol (étoile rouge, Combe du Loup) et d'Arnayon (étoile orange, bord D173 ; étoile rose, bord chemin) -@Google.

La coupe de Pommerol se présente en série inverse au niveau du ravin de la Gorge du Loup. A l'affleurement, la série de l'Hauterivien inférieur est bien visible et relativement accessible (Photo 17). Une autre campagne de terrain sera nécessaire pour identifier plus clairement les contacts d'un côté avec le Valanginien (intervalle à dégager sur 2 ou 3 bancs) et de l'autre côté avec l'Hauterivien supérieur (échantillonnage d'ammonites à faire). Une grande partie de la succession lithologique classique du Valanginien n'est pas reconnaissable sur cette coupe (couvert végétal, slumps, passées gréseuses); néanmoins une étude de terrain plus approfondie sera faite sur le Valanginien terminal qui est la partie qui montre les meilleurs affleurements. La lithologie de l'Hauterivien inférieur de la coupe de Pommerol est comparable à celle de la Charce mais il faut signaler la présence de quelques passées finement gréseuses au niveau de certains bancs.



**Photo 17 :** Coupe de Pommerol (Combe du Loup), série hauterivienne - @SR.

La coupe d'Arnayon se présente en série normale. Elle a été levée en 2 endroits : sur le bord d'un chemin pour la partie inférieure (Photo 18) et sur le bord de la route départementale (D173) pour la partie supérieure (Photo 19). Malheureusement, la succession du bord de route est grillagée rendant son exploitation impossible ; il nous faudra attendre une période de nettoyage des fossés et des grillages par les services de l'équipement pour accéder à cette partie de la coupe et l'exploiter (ammonoïdes et GRS).



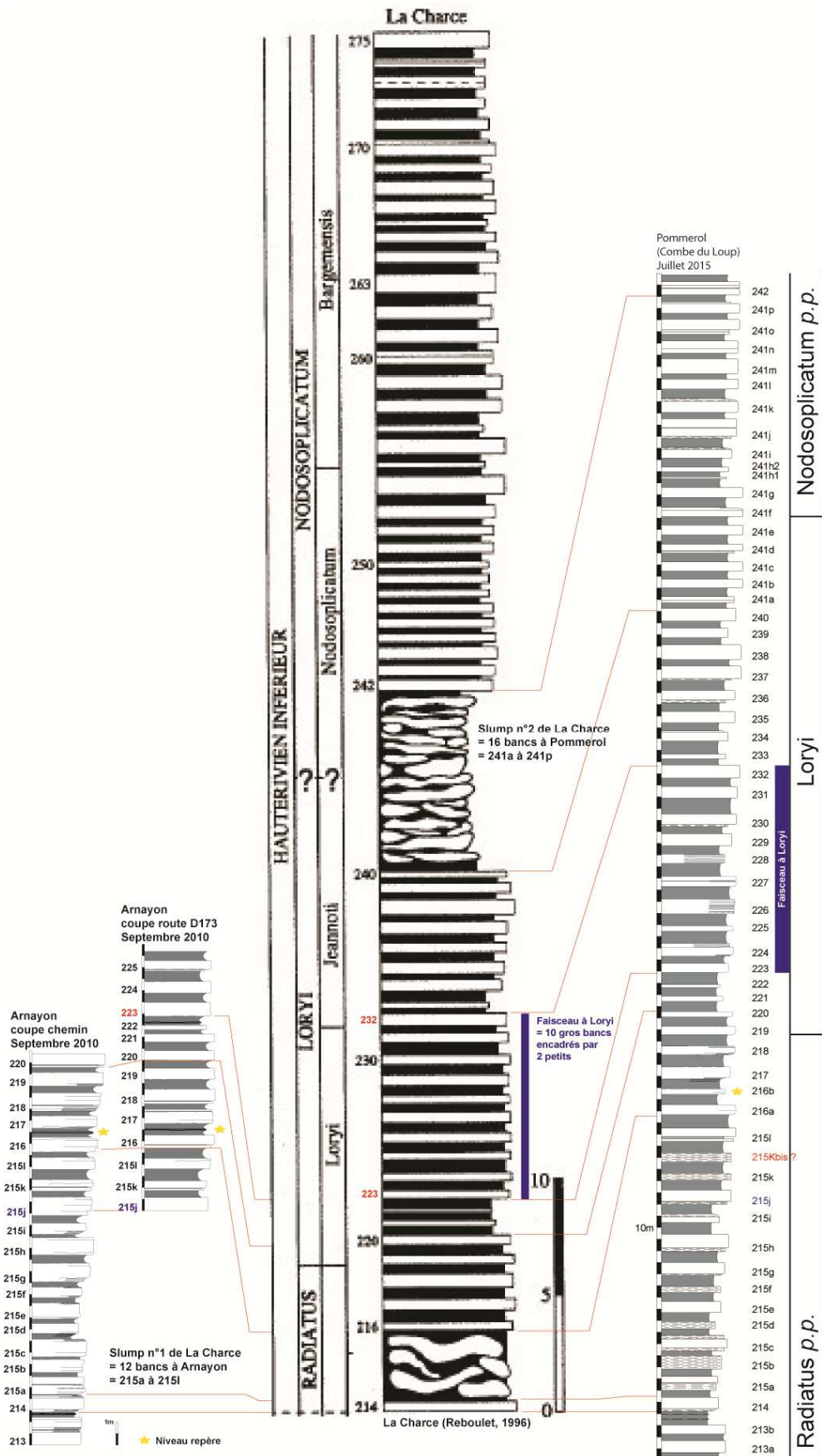
**Photo 18** : Coupe d'Arnayon, affleurement en bordure du chemin - @SR.



**Photo 19** : Coupe d'Arnayon, affleurement en bordure de la D173 - @SR.

La corrélation entre les coupes de Pommerol et La Charce a permis de compléter les intervalles affectés par les slumps au niveau de La Charce, d'en évaluer l'importance en nombre de bancs, et surtout d'avoir une série continue pour l'ensemble de l'Hauterivien inférieur du secteur (Fig. 4). Cette corrélation lithologique a été faite sous contrôle biostratigraphique. La coupe de Pommerol est relativement riche en ammonoïdes qui sont en général plutôt bien conservés. L'étude biostratigraphique préliminaire réalisée au cours de la mission de terrain de cet été 2015 a permis de reconnaître les zones à Radiatus, Loryi et Nodosoplicatum et de positionner avec précision leurs limites (ce qui n'avait pas été possible sur la coupe de La Charce entre les zones à Loryi et Nodosoplicatum). La coupe d'Arnayon a été corrélée avec celle de La Charce en utilisant la corrélation avec Pommerol (Fig. 4).





**Fig. 4 :** Corrélations des coupes de La Charge, Arnayon et Pommerol permettant d'avoir une continuité stratigraphique de l'Hauterivien inférieur et des zones d'ammonites ; travail issu d'une collaboration avec Mathieu Martinez et Nicolas Noclin (données inédites).

### 3.3- Etude astrochronologique des coupes de La Charce et Pommerol.

L'identification des cycles orbitaux terrestres dans les séries sédimentaires permet d'évaluer relativement bien la durée de périodes géologiques. Une calibration astronomique du Valanginien-Hauterivien a été faite par Martinez et al. (2013 ; 2015) avec pour objectif une meilleure contrainte temporelle des changements paléoclimatiques et paléocéanographiques afin de mieux comprendre la succession et les relations de ces événements ayant lieu au cours de cet intervalle de temps. En effet, il y a peu d'âges radiométriques précis et bien datés biostratigraphiquement pour cet intervalle ; de plus, il y a des difficultés d'intercalibrations entre biostratigraphie et magnétostratigraphie. Cette approche astrochronologique fait aussi partie du proposal GSSP Hauterivien (Bulot et al., *in prep*).

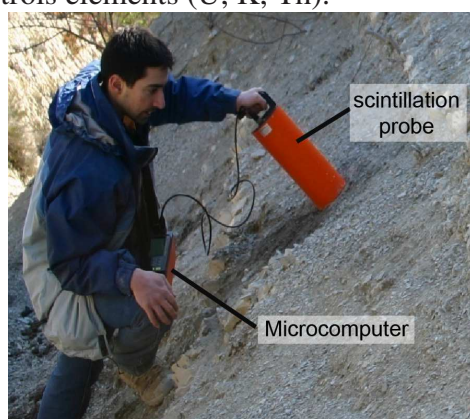
La méthode est présentée succinctement ; pour avoir plus de détails et les références bibliographiques le lecteur pourra se reporter à la thèse de Martinez (2013).

L'orbite terrestre et son axe de rotation sont affectés de perturbations régulières qui modifient la quantité d'ensoleillement et la répartition de l'insolation sur Terre. Ce phénomène entraîne une modulation des contrastes saisonniers, ce qui provoque en retour des modifications climatiques, environnementales et eustatiques à l'échelle de la dizaine de milliers d'années. Les environnements sédimentaires étant sensibles à ces changements, il est possible de retrouver dans les alternances régulières de sédiments (comme celles du Valanginien-Hauterivien du Bassin Vocontien) des enregistrements des cycles astronomiques.

Les cycles orbitaux terrestres (cycles de Milankovitch) présentent l'avantage d'être quasi-périodiques avec des périodes assez bien connues pour le Cénozoïque et le Mésozoïque. Trois paramètres orbitaux sont à l'origine de ces perturbations climatiques et sédimentaires : la précession (périodes principales actuelles 19 et 23 ka), l'obliquité (41 ka), et l'excentricité (95 et 405 ka). Les solutions astronomiques modernes sont fiables au mieux jusqu'à -50 Ma. Au-delà, seule le cycle de l'excentricité à 405 ka, dont la période est stable jusqu'à -250 Ma, peut être utilisée comme outil fiable d'estimations de durée.

Les premiers auteurs ayant travaillé sur la cyclostratigraphie dans le Bassin Vocontien se sont intéressés aux épaisseurs des doublets calcaires-marnes. Partant du postulat qu'un doublet correspondait à une période d'environ 20 ka, leur démarche consistait donc à compter le nombre d'alternances pour estimer la durée de l'Hauterivien (Rio et al., 1989). Malheureusement, l'application de cette méthode nécessite la reconnaissance des lithologies et donc des doublets, ce qui est parfois délicat lorsque des bancs calcaires se délitent en plusieurs petits bancs ou que de fines passées carbonatées apparaissent dans les interbancs marneux. Cette approche devient alors subjective et les résultats de la durée d'un étage vont varier d'un auteur à l'autre pour l'analyse d'une même série (cf. le Valanginien d'Angles ; Duchamps-Alphonse, 2006 *versus* Gréselle, 2007). Il devient alors nécessaire d'utiliser des indicateurs lithologiques capables de différencier objectivement et à haute résolution les variations de lithologie et de minéralogie. Les paramètres/marqueurs sédimentaires qui ont été utilisés par Martinez (Master 2 et Thèse) sont la susceptibilité magnétique (SM), le gamma ray spectral (GRS, qui sera le seul paramètre appliqué sur la coupe de La Charce-Pommerol, cf. Martinez et al., 2015), les minéraux argileux et la teneur en CaCO<sub>3</sub>. L'identification des cyclicités à partir des signaux bruts est impossible sans l'aide d'outils mathématiques appropriés. Ces paramètres sont donc traités de façon statistique pour calculer les périodes des cycles sédimentaires ; le traitement du signal par analyse spectrale consiste à isoler les différentes périodes influençant le signal cyclique. La méthode la plus adaptée est la transformée de Fourier qui permet de passer d'une représentation du signal en temps vers une représentation en fréquences ; les périodes identifiées par analyse de Fourier sont représentées sur une courbe appelée spectre qui permet de visualiser les fréquences sur lesquelles évolue le signal sous forme de pics spectraux.

Le GRS est l'indicateur lithologique utilisé sur la coupe de La Charce-Pommerol (et sur d'autres coupes, cf. Martinez et al., 2015). La mesure du GRS quantifie le rayonnement gamma produit par la roche ; il est lié à l'activité des 3 principaux isotopes radioactifs : le  $^{40}\text{K}$ , le  $^{238}\text{U}$  et le  $^{232}\text{Th}$ . Ils sont très abondants dans les roches endogènes acides. Leur altération lors de la pédogénèse concentre ces éléments dans la phase argileuse. Le K est associé à l'illite ; le Th est associé à la kaolinite ; l'U est associé à la matière organique. À l'inverse, les roches carbonatées d'origine marine contiennent très peu d'isotopes radioactifs. Dans le cadre de séries sédimentaires constituées d'alternances calcaires-marnes, la mesure du GRS est donc un indicateur de l'argilosité de la roche (plus la roche est argileuse plus sa valeur de GRS est élevée), et parfois un marqueur d'enrichissement en matière organique. Sur le terrain, les mesures de GRS sont effectuées *in situ* à l'aide d'un spectromètre portable (Photo 20). Pendant une durée d'acquisition constante d'une minute, la sonde capte chaque rayonnement gamma. Il faut veiller à faire les mesures sur des surfaces les plus planes possibles pour éviter des biais d'enregistrement. À partir de ces mesures, l'unité centrale calcule la concentration des trois éléments (U, K, Th).



**Photo 20** : Mathieu Martinez faisant une mesure GRS avec la sonde GS-512 - @ Martinez.

Plus de 1000 mesures GRS ont été faites sur les coupes de La Charce-Pommerol avec un pas de 20 cm sur l'intervalle allant de la zone à *Verrucosum p.p.* jusqu'à la zone à *Ligatus p.p.*

Le cycle de l'excentricité à 405 ka est présent sur l'ensemble de l'intervalle étudié. La série de La Charce-Pommerol est subdivisée en 15 cycles complets de 405 ka (V8 à H9, Fig. 5) et 2 cycles incomplets (V7 et H10), et la durée du dépôt (des niveaux 0 à 240 m) peut être calculée à  $6.62 \pm 0.41$  Ma (Martinez et al., 2015). L'enregistrement du cycle de l'excentricité (405 ka) a également été reconnu sur d'autres coupes du Valanginien-Hauterivien du SE de la France et des chaînes subbétiques en Espagne (Martinez et al., 2013 ; 2015). A partir de ces résultats/interprétations, les durées de ces étages ont pu être estimées (avec une marge d'erreur de  $\pm 0.41$  Ma) : Valanginien = 5.08 Ma ; Hauterivien = 5.93 Ma.

Enfin, il a été possible d'ancrer un âge absolu à cette série sédimentaire téthysienne. Cet âge U-Pb a été fourni pour la limite Hauterivien inférieur-supérieur dans le bassin de Neuquén (Aguirre-Urreta et al., 2008a ; Martinez et al., 2015 ; cf. partie Vergol). Le couplage des données astrochronologiques (durées des étages Valanginien et Hauterivien) et radiochronologiques (âge U-Pb) permet de proposer un âge de -135.10 Ma pour la base de l'Hauterivien, un âge de -138.06 Ma pour la base du Valanginien supérieur et un âge de -132.59 Ma pour la base de l'Hauterivien supérieur (l'incertitude totale associée à ces âges est estimée à  $\pm 1.9$  Ma, ce qui comprend l'incertitude de l'âge U-Pb ( $\pm 1.3$  Ma ; Aguirre-Urreta et al., 2008a), l'incertitude des résultats astrochronologiques ( $\pm 0.41$  Ma) et l'incertitude liée à la corrélation entre l'âge U-Pb et les résultats astrochronologiques ( $\pm 0.2$  Ma).

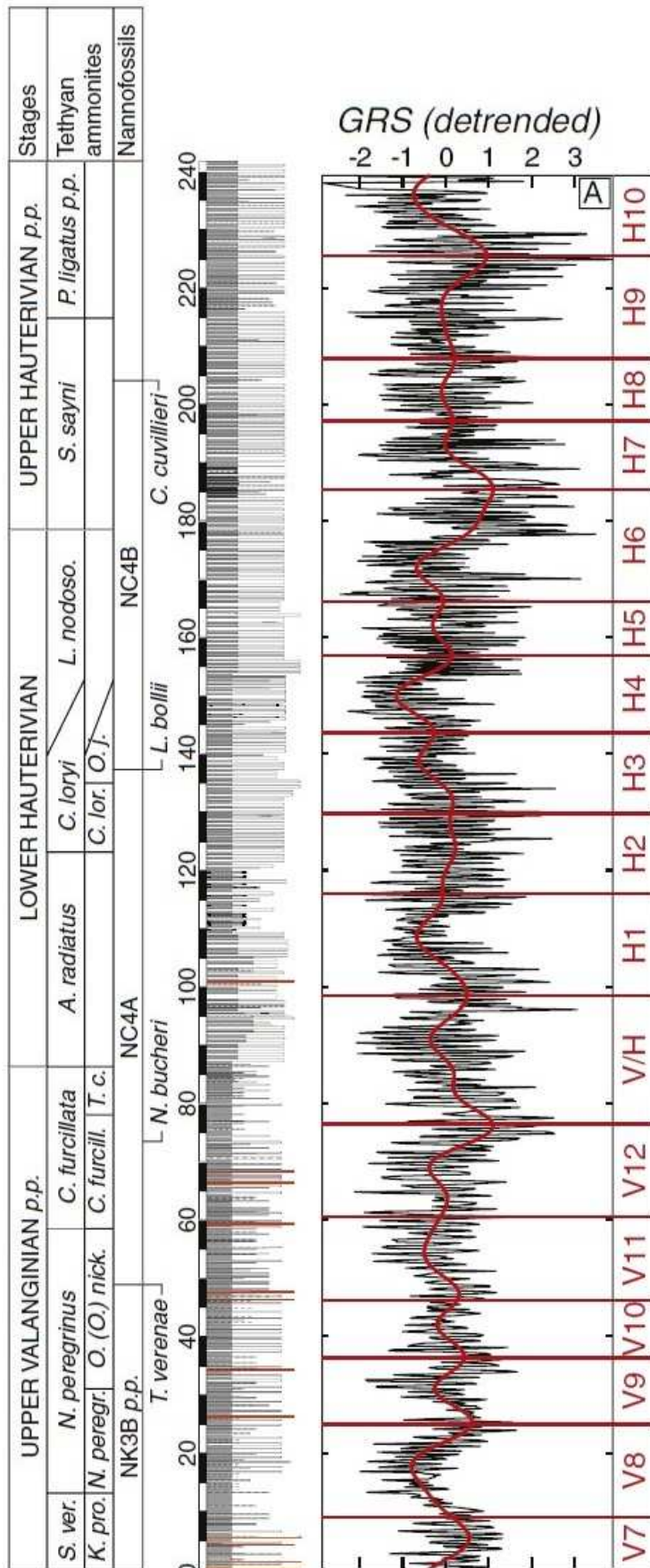


Fig. 5 : Astrochronologie de la coupe de La Charce-Pommerol (Martinez et al., 2015).

## - Partie 3 -

# L'Hauterivien de la bordure ardéchoise : La coupe de Cougourdas (Saint-Martin-sur-Lavezon).

L'objectif de la visite de la coupe de Cougourdas est d'illustrer l'Hauterivien de la marge ardéchoise dans le cadre de la parution récente de la feuille de Privas au 1/50000 (carte : Ledru et al., 2014 ; notice : Thierry et al., 2014) qui a été inaugurée le 19 Juin 2015 dans les locaux de la Préfecture de ce département en présence des représentants de la Mairie, de la Société Géologique d'Ardèche, du PNR des Monts d'Ardèche, de l'Université de Lyon et du BRGM.

### **1- L'Hauterivien de la carte géologique de Privas 1/50000.**

L'Hauterivien hémipélagique est très peu représenté sur la feuille de Privas (= coin Sud-Est de la carte). Une coupe continue d'une partie de l'Hauterivien inférieur a été levée en détail près du hameau de Cougourdas (versant Sud des Rochers de Rouille). Trois formations ont été distinguées sur les 111 m de cette succession lithologique : Faisceau glauconieux (n3a), Vire marneuse (n3b), et Faisceaux calcaires « michoïdes » de Cougourdas (n3c). Elles sont datées de la zone à *Radiatus*. Des formations similaires ont été distinguées sur la feuille Aubenas (Elmi et al., 1996). La schématisation de la série stratigraphique de l'Hauterivien de la montagne de Berg (notice de la feuille Aubenas ; Elmi et al., 1996, Fig. 7, p. 82) permet seulement d'apprécier les variations d'épaisseur des ensembles lithologiques entre les deux localités citées précédemment. Par contre, la coupe de l'Hauterivien de la feuille Bessèges est plus détaillée (Elmi et al., 1989, Fig. 8, p.58-59).

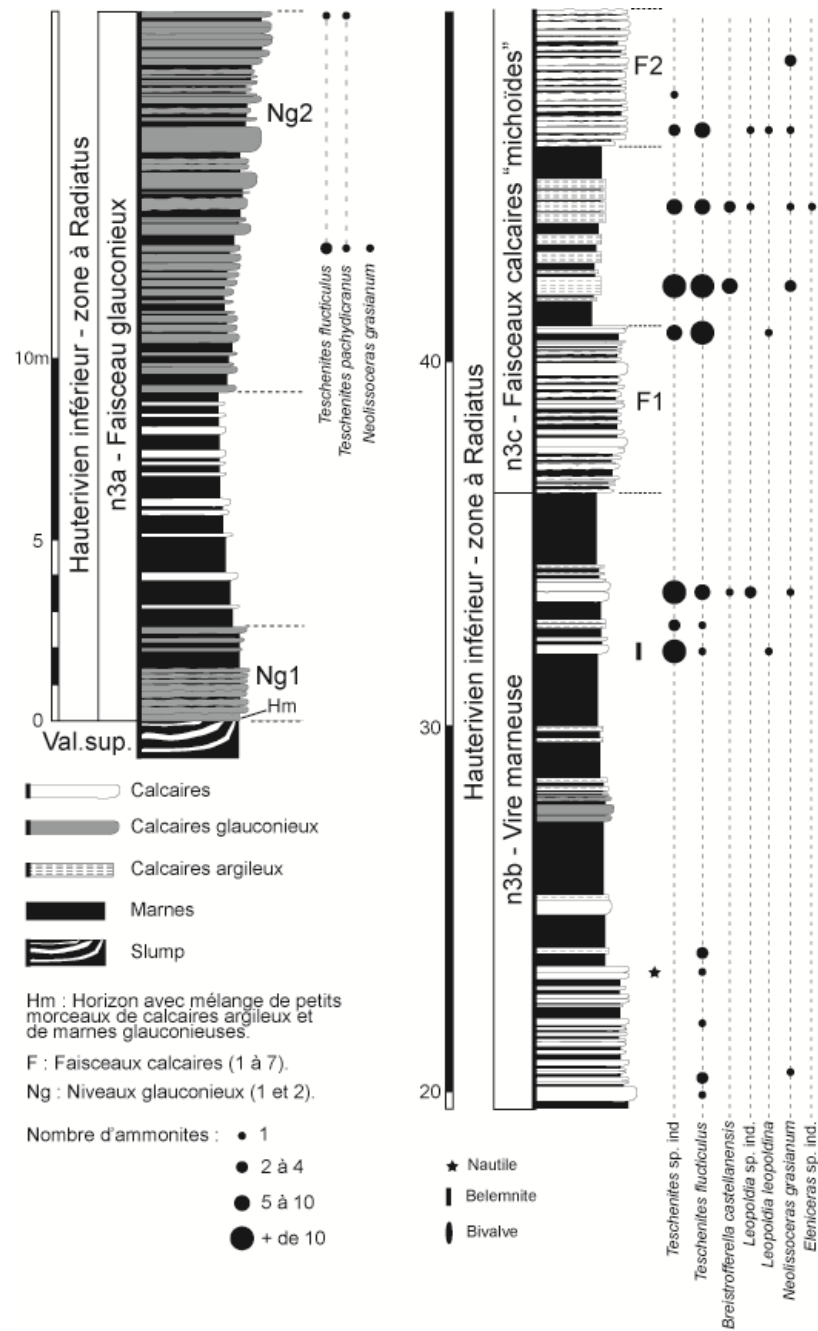
Le passage Valanginien-Hauterivien a pu être observé sur la colline des Rochers de Rouille (au sommet du ravin de Bourdarie), au col des Tribles et à l'Ouest d'Ajoux (ravin de Bourgiout). Le sommet de la coupe de Cougourdas est coiffé par la formation des Basaltes du Plateau du Coiron et ses éboulis. Les formations volcaniques recouvrent également plus ou moins les alternances calcaires-marnes hauteriviennes sur les sites d'Ajoux (ravin de Bourgiout), du serre de la Pège et du sommet de Berguise (colline qui se situe entre les hameaux de Chanègue et de Monoprat). Même si des ammonites ont été trouvées sur l'ensemble de ces sites, la présentation intéressera essentiellement les assemblages de la coupe de Cougourdas qui a fait l'objet d'une récolte plus intensive.

### **n3a - Faisceau glauconieux de Cougourdas.**

La partie inférieure de l'Hauterivien est représentée par une alternance de calcaires et de marnes glauconieux formant un faisceau épais de 20 m environ. Les bancs calcaires sont le plus souvent massifs et épais (fréquemment 20 à 40 cm ; parfois des traces de bioturbation). Les marnes sont parfois assez silteuses. L'abondance en glauconie est assez variable. Cette formation est l'équivalent du "Faisceau glauconieux basal de Forcemâle" de la feuille Aubenas (Elmi et al., 1996) où son épaisseur varie de 12 à 17 m.

Sur la coupe de Cougourdas, on peut distinguer 2 niveaux où la richesse en glauconie est très forte (Ng 1) à forte (Ng2, Fig. 1a) ; ils sont séparés par une alternance calcaires-marnes où la glauconie est plus rare ou absente. Le premier niveau glauconieux (Ng1) est caractérisé par

des bancs calcaires qui sont plutôt friables et présentent assez souvent un débit en boules. A la base de ce niveau (qui surmonte les alternances calcaires-marnes du Valanginien supérieur du ravin de Bourdarie), se trouve un horizon centimétrique (Hm ; Fig. 1a) composé d'un mélange de petits morceaux (quelques cm) de calcaires argileux et de marnes silteuses riches en glauconie (mélange lié à une bioturbation intense lors d'une phase de condensation marquée ? Conglomérat transgressif ?). Cet horizon n'a pas été repéré sur les autres affleurements de la carte Privas et n'a jamais été cité dans les notices des autres feuilles de la bordure ardéchoise (Bessèges et Aubenas). Aucun fossile n'a été trouvé dans cet horizon. La partie supérieure du Valanginien est caractérisée par des slumps. Enfin, des contacts en toplap s'observent dans le Valanginien terminal et à la limite Valanginien-Hauterivien.



**Fig. 1a** : Coupe de Cougourdas (partie 1), lithologie et distribution des ammonites (Reboulet *in* Thierry et al., 2014).

La formation basale n3a de l'Hauterivien est un bon niveau repère caractérisé par la présence de la glauconie et la richesse en ammonites (probablement liée à une moindre dilution du matériel fossile lors d'un plus faible taux de sédimentation). Ainsi, sur le versant Sud du serre de la Pège et le versant Ouest du sommet de Berguise (vers Chanègue), certains bancs de calcaires glauconieux forment parfois des lumachelles à ammonites où *Teschenites flucticulus* domine. On trouve aussi quelques *T. pachydicranus*, *Eleniceras* (aff. *tchechitevi* ?) *Olcostephanus* sp. ind., *N. grasianum* et de rares *Acanthodiscus* sp. ind.. Sur la coupe de Cougourdas, la formation glauconieuse forme une corniche (surplombant le ravin de Bourdarie) et seules quelques strates du Ng2 ont pu être exploitées ; l'assemblage faunique est principalement composé de *Teschenites* (Fig. 1a).

### **n3b – Vire marneuse de Cougourdas.**

Au-dessus de la corniche formée par le Faisceau glauconieux (n3a), il y a une vire à dominante marneuse de 17 m d'épaisseur (Fig. 1a) sur laquelle est installé le chemin qui relie Cougourdas à Saint-Pierre-La-Roche. Elle est plus dilatée (le double environ) au ravin de Bourgiout à l'Ouest d'Ajoux. Cette formation correspond à une alternance où les bancs calcaires ou de calcaires argileux sont séparés par des interbancs marneux relativement épais ; la glauconie est rare ou absente. De nombreux *Teschenites* et quelques *Leopoldia*, *Breistrofferella* et *N. grasianum* ont été déterminés. Cette formation à dominante marneuse pourrait correspondre aux "Marnes inférieures de Malavas" de la feuille Aubenas (n3b, Elmi et al., 1996) où leur épaisseur a été estimée à 100 m.

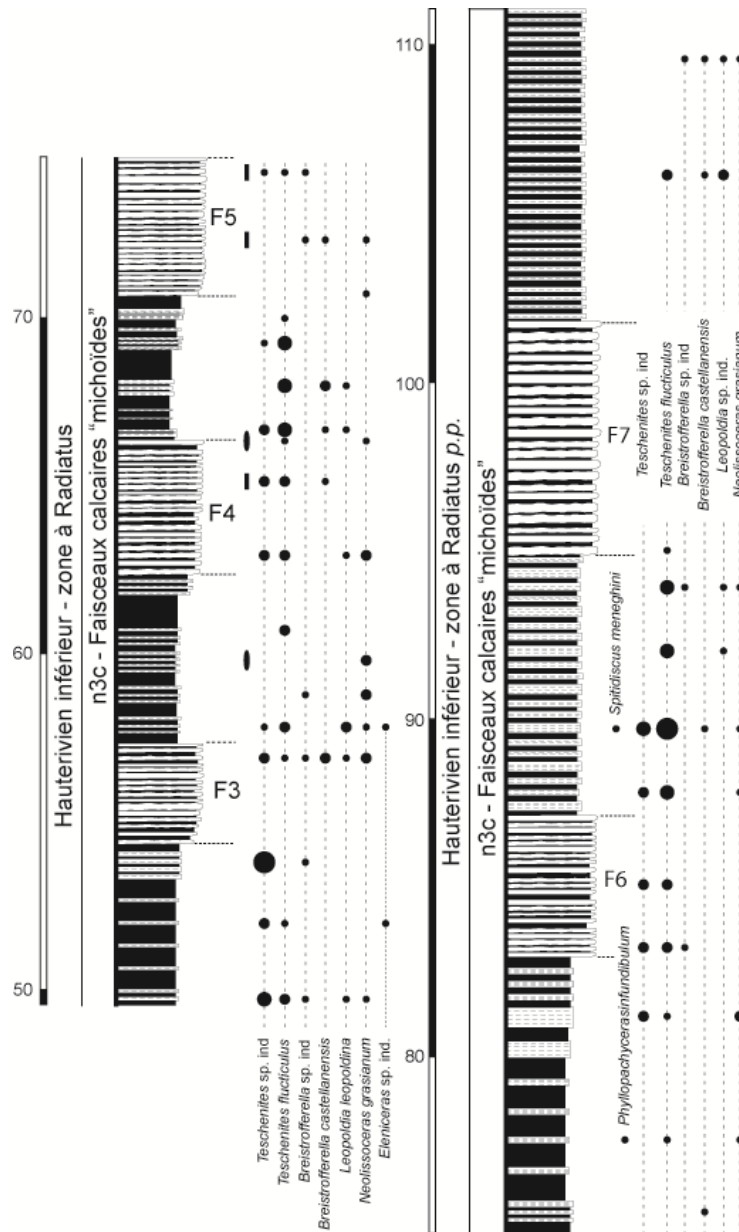
### **n3c - Faisceaux calcaires « michoïdes » de Cougourdas.**

La troisième formation est composée d'une alternance calcaires-marnes qui est organisée en une succession de faisceaux à dominante calcaire séparés par des intervalles à dominante marneuse. Sur la feuille d'Aubenas, la formation des Faisceaux michoïdes de Saint-Pons (n3c) serait l'équivalent de la formation des Faisceaux calcaires michoïdes de Cougourdas.

Sur la coupe de Cougourdas, 7 faisceaux calcaires ont été individualisés (F1 à F7, Fig. 1ab), sur une épaisseur totale de 75 m. Les bancs calcaires des faisceaux présentent soit une stratification régulière, soit une surface ondulée avec un débit (plus ou moins marqué) en miches de pain (faciès « michoïde »). Les calcaires sont souvent silteux. Les intervalles à dominante marneuse sont composés de marnes grises et de calcaires argileux qui ont un débit en plaquettes (calcaires délités). Si l'épaisseur des faisceaux calcaires est relativement constante (environ 4 m pour F1 à F6 ; 7 m pour F7), celle des intervalles marneux tend à augmenter : 4 à 5 m d'épaisseur dans la partie inférieure de la formation et 7 à 8 m d'épaisseur dans sa partie supérieure. Corrélativement, l'épaisseur et le nombre des bancs calcaires délités augmentent au sein des intervalles marneux de la partie supérieure de la formation (au-dessus de F5, Fig. 1b).

La coupe de Cougourdas est assez riche en ammonites (376 spécimens déterminés), notamment au niveau des bancs délités de l'intervalle marneux situé entre F1 et F2. D'une manière générale, la faune est nettement dominée par les *Teschenites* (*T. flucticulus*) alors que *N. grasianum* et *Eleniceras* sont relativement rares. Concernant les taxons à valeur biostratigraphique, *Leopoldia* (*L. leopoldina*) et *Breistrofferella* (*B. castellanensis*) sont communs à fréquents. Leur présence jusqu'au sommet de la coupe indique que l'ensemble de la formation est datée de la zone à *Radiatus* ; par contre, aucun spécimen d'*Acanthodiscus radiatus* n'a été trouvé. Enfin, il faut souligner la récolte d'un spécimen de *Phyllopachyceras infundibulum* dans l'intervalle à dominante marneuse situé entre F5 et F6. Cette espèce apparaissant tardivement dans la zone à *Radiatus* des séries pélagiques du Bassin Vocontien

(Reboulet, 1996), il est possible de supposer qu'il ne manquerait que la partie la plus supérieure de cette zone sur la coupe de Cougourdas.



**Fig. 1b** : Coupe de Cougourdas (partie 2), lithologie et distribution des ammonites (Reboulet *in* Thierry et al., 2014).

## 2- Comparaison des formations hauteriviennes (et valanginiennes) entre les cartes d'Aubenas, Bessèges et Privas.

Sur la feuille Aubenas (Elmi et al., 1996, Fig. 7, p. 82), le sommet de la zone à *Radiatus* a été placé à la base de la formation des Marnes de Valvignères (n3d) surmontant la formation des Faisceaux michoïdes de Saint-Pons (n3c). Ainsi, la zone à *Radiatus* correspond approximativement aux formations n3a, n3b et n3c pour une épaisseur cumulée de 370 m. Même si on considère que la zone à *Radiatus* n'est pas tout à fait complète (cf. remarque liée à la présence de *P. infundibulum*) sur la coupe de Cougourdas (la zone sus-jacente à Loryi n'ayant pas été identifiée), l'épaisseur cumulée (111 m) des formations n3a, n3b et n3c (datées de la zone à *Radiatus*) de la feuille Privas est nettement inférieure à celle de la feuille Aubenas. Sur la feuille de Bessèges (Elmi et al., 1989, Fig. 8, p.58-59), l'épaisseur de la



formation n3a (qui serait l'équivalent des formations n3a + n3b + n3c des feuilles Aubenas et Privas) est environ de 170 m.

La variation d'épaisseur des séries sédimentaires de la zone à *Radiatus* est donc approximativement du simple au double entre les feuilles Privas et Bessèges d'une part et celle Aubenas d'autre part. Une telle variation d'épaisseur peut être également évoquée pour les séries valanginiennes (principalement représenté par des marnes et des alternances calcaires-marnes à dominante marneuse). Sur la feuille Privas, les conditions d'affleurements ne permettent pas de donner une bonne estimation de l'épaisseur de la série stratigraphique de cet étage (épaisseur minimale de 400 à 500 m ?). Sur la feuille Crest (Chenevoy et al., 1977), le Valanginien a été traversé sur 460 m (sondage de Montoisson). Sur la feuille Aubenas (Elmi et al., 1996), le Valanginien des régions de Lussas, Villeneuve-de-Berg (sondage) et St-Maurice-d'Ardèche sont épais respectivement de 980 m, 890 m et 740 m (diminution d'épaisseur du Nord au Sud). Sur la feuille Bessèges, aucune épaisseur n'est donné et il est simplement indiqué que « *le Valanginien de la plaine de Beaulieu est moins épais que celui de Lussas (feuille Aubenas)* » (Elmi et al., 1989).

Il apparait donc que la feuille Aubenas correspond à une zone de plus forte accumulation des sédiments qui traduirait une plus forte subsidence par rapport aux zones situées plus au Nord (feuille Privas) et plus au Sud-Ouest (feuille Bessèges). L'effondrement plus marquée de la « zone centrale » (feuille Aubenas) a probablement contribué à « chenaliser » les sédiments provenant du continent et de la plate-forme. Cette configuration structurale pourrait expliquer la localisation relativement restreinte des laminites de Mirabel (bancs de calcarénites fines ocre alternant avec des interbancs de marnes jaunâtres), formation du Valanginien inférieur (zone à *Campylotoxus*) individualisée seulement au niveau de la feuille Aubenas et non reconnue sur les feuilles Bessèges et Privas. En effet, la formation des laminites est interprétée par Elmi et al. (1996) comme un vaste cône de déjection sous-marin de bas de talus (les bioclastes proviendraient d'une plate-forme située au Nord-Ouest). Ces auteurs signalent sans l'interpréter qu'une « fine lamination s'observe partout » (à supposer dans les bancs et interbancs) ; une origine diagénétique à cette alternance peut être alors envisagée.

## Références.

- Aguado, R., Company, M., Tavera, J.M., 2000. The Berriasian/Valanginian boundary in the Mediterranean region: new data from the Caravaca and Cehegin sections, SE Spain. *Cretaceous Research* 21, 1–21, doi: 10.1006/cres.2000.0198.
- Aguirre-Urreta, M.B., Rawson, P.F., 2003. Lower Cretaceous ammonites from the Neuquén Basin, Argentina: the Hauterivian genus *Holcoptychites*. *Cretaceous Research* 24, 589–613.
- Aguirre-Urreta, M.B., Pazos, P.J., Lazo, D.G., Fanning, C.M., Litvak, V.D., 2008a. First U-Pb SHRIMP age of the Hauterivian stage, Neuquén Basin, Argentina. *J. S. Am. Earth Sci.* 26, 91–99, doi:10.1016/j.jsames.2008.01.001.
- Aguirre-Urreta, M.B., Price, G.D., Ruffell, A.H., Lazo, D.G., Kalin, R.M., Ogle, N., Rawson, P.F., 2008b. Southern hemisphere early Cretaceous (Valanginian–Early Barremian) carbon and oxygen isotope curves from the Neuquén Basin, Argentina. *Cretaceous Research* 29, 87–99, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cretres.2007.04.002>.
- Aguirre-Urreta, B., Lescano, M., Schmitz, M.D., Tunik, M., Concheyro, A., Rawson, P.F., Ramos, V.A., 2015. Filling the gap: new precise Early Cretaceous radioisotopic ages from the Andes. *Geol. Mag.* 152, 557–564, <http://dx.doi.org/10.1017/S001675681400082X>.
- Allemann, F., Grün, W., Wiedmann, J., 1975. The Berriasian of Caravaca (Prov. of Murcia) in the subbetic zone of Spain and its importance for defining this stage and the Jurassic–Cretaceous boundary. *Colloque sur la limite Jurassique-Crétacé, Lyon-Neuchâtel, 1973. Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières* 86, 14–22.
- Atrops, F., Reboulet, S., 1995a. Le Valanginien-Hauterivien basal du bassin vocontien et de la bordure provençale: zonation et corrélations. *Comptes Rendues de l'Académie des Science Paris* 320, 985-992.
- Atrops, F., Reboulet, S., 1995b. *Neolissoceras (Carinites)* nouveau sous-genre d'ammonites du Valanginien du bassin Vocontien (SE de la France). *Comptes rendus de l'académie des sciences de Paris, série II* 321, 1203-1210.
- Atrops, F., Aoutem, M., Lhamyani, B., Masrour, M., 2002. Biostratigraphie par ammonites, au passage Valanginien-Hauterivien, dans le Haut Atlas occidental (région d'Agadir, Maroc). *Strati 2002, Documents des Laboratoires de Géologie de Lyon*, 22.
- Autran, G., 1993. L'évolution de la marge Nord-Est provençale (Arc de Castellane) du Valanginien moyen à l'Hauterivien à travers l'analyse biostratigraphique des séries de la région de Peyroules : séries condensées, discontinuités et indices d'une tectogenèse distensive. *Paléobiologie. Annales du Muséum d'Histoire Naturelle de Nice* 10, 240 p.
- Barbarin, N., Bonin, A., Mattioli, E., Pucéat, E., Cappetta, H., Gréselle, B., Pittet, B., Vennin, E., Joachimski, M., 2012. Evidence for a complex Valanginian nannoconid decline in the Vocontian basin (South East France). *Marine Micropaleontology* 84-85, 3753.
- Beaudoin, B., Agassant, J., André, M., Atrops, F., Bahamian, O., Bulot, L., Delattre, M., Dauphin, L., Eckert, S., Friès, G., Guyard, F., Jacquemin, O., Lalande, M., Marcombes, D., Mazingue, V., Parize, O., Pasquier, C., Pinault, M., Reboulet, S., Rosenzweig, F., Rouger, G., Sandamiani, A., Spindler, P., Szymkowski, B. and Veret, G., 2003. Les bentonites du Crétacé inférieur du SE de la France. *In: Bassin crétacés de France et d'Europe occidentale, 6-7 Novembre 2003, SGF-Maison de la Géologie, Paris, livre des résumés*, p. 8-9.

- Birkelund, T., Hancock, J.M., Hart, M.B., Rawson, P.F., Remane, J., Robaszynski, F., Schmid, F., Surlyk F., 1984. Cretaceous stage boundaries – proposals. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 33, 3-20.
- Blanc, E., 1996. Transect plateforme - bassin dans les séries carbonatées du Berriasien supérieur et du Valanginien inférieur (domaines jurassien et nord-vocontien). *Chronostratigraphie et transferts des sédiments. Géologie Alpine, Mémoire H.S. 25*, 1–311.
- Blanc, E., Bulot, L.G., Paicheler, J.C., 1994. La coupe de référence de Montbrun-les-Bains (Drôme, SE France): un stratotype potentiel pour la limite Berriasien–Valanginien. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Série II* 318, 101–108.
- Bulot, L.G., 1990. Evolution des Olcostephaninae (Ammonitina, Cephalopoda) dans le contexte paléo-biogéographique du Crétacé inférieur (Valanginien-Hauterivien) du Sud-Est de la France. *Diplôme Etude Supérieur, Université de Bourgogne*, 177 p. (non publié).
- Bulot, L.G., 1995. Les formations à ammonites du Crétacé inférieur dans le Sud-Est de la France (Berriasien à Hauterivien) : biostratigraphie, paléontologie et cycles sédimentaires. Thèse, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 398 p (non publiée).
- Bulot, L.G., Thieuloy, J.P., 1995. Les biohorizons du Valanginien du Sud-Est de la France: un outil fondamental pour les corrélations au sein de la Téthys occidentale. *Géologie Alpine Mémoire Hors Serie 20* (1994), 15-41.
- Bulot, L.G., Blanc, E., Thieuloy, J.P., Remane, J., 1993a. La limite Berriasien–Valanginien dans le Sud-Est de la France: Données biostratigraphiques nouvelles. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Série II* 316, 1771–1778.
- Bulot, L.G., Thieuloy, J.P., Blanc, E., Klein, J., 1993b. Le cadre stratigraphique du Valanginien supérieure et de l'Hauterivien du Sud-Est de la France : définition des biochronozones et caractérisation de nouveaux biohorizons. *Géologie Alpine*, 68 (1992), 13-56.
- Bulot, L.G. (rapporteur), et al. (14 co-auteurs) 1996. The Valanginian Stage. *In*: Rawson, P.F., Dhondt, A.V., Hancock, J.M., Kennedy, W.J. (Eds.) "Proceedings of the Second International Symposium on Cretaceous Stage Boundaries », Brussels, 1995. *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Sciences de la Terre* 66, 11–18.
- Bulot L., Reboulet S., Premoli-Silva I., Rawson P.F., Mutterlose J. (coordinateurs), Baudin, F., Emmanuel, F., Gardin, S., Hennig, S., Renard, F., Van de Schootbrugge, B., *in prep.* Formal proposal for the Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) of the Hauterivian Stage, at the base of the Radiatus ammonite Zone at Serre de l'Âne Section (La Charce, Vocontian Basin, SE France).
- Bulot, L.G., Thieuloy, J.P., Arnaud, H. and Delanoy, G., 1995. The Lower Cretaceous of the South Vocontian Basin and margins. *Géologie Alpine, Mémoire H.S. 20* (1994), 383-399.
- Busnardo, R., 1984. Crétacé inférieur : échelles biostratigraphiques. *In* : Debrand Passard S. et al. (eds) : Synthèse géologique du Sud-Est de la France, *Mém. Bur. Rech. Géol. et Min.*, Paris 125, 291-294.
- Busnardo, R., Thieuloy, J.P., 1979. Les zones d'ammonites du Valanginien. *In*: Busnardo, R., Thieuloy, J.P. and Moullade, M. (Eds.), *Hypostratotype mésogéen de l'étage Valanginien*, pp. 58–68, CNRS, Paris.
- Busnardo, R., Thieuloy, J.P., 1989. Les ammonites de l'Hauterivien jurassien : révision des faunes de la région du stratotype historique de l'étage hauterivien. *Mémoire de la Société neuchâteloise de Sciences naturelles* 11, 101-147.

- Busnardo, R., Charollais, J.J., Weidmann, M., Clavel, B., 2003. Le Crétacé inférieur de la Veveyse de Châtel (Ultrahelvétique des Préalpes externes ; canton de Fribourg, Suisse). *Revue de Paléobiologie* 22, 1-174.
- Cecca, F., 1997. Late Jurassic and Early Cretaceous uncoiled ammonites: trophism-related evolutionary processes. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 325, 629-634.
- Cecca, F., 1998. Early Cretaceous (pre-Aptian) ammonites of the Mediterranean Tethys: palaeoecology and palaeobiogeography. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 138, 305-323.
- Chenevoy, M., Elmi, S., Lorenchet de Montjamont, M., Combier, J., Michel, R., 1977. Notice explicative, Carte géologique de la France (1/50000), feuille Crest (842). Orléans : Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 41 p. Carte géologique par Lorenchet de Montjamont, M. (coord.), Chenevoy, M., Gros, J.J., Elmi, S., Ballesio, R., Truc, G., Pascal, M. (1976).
- Company, M., 1987. Los ammonites del Valenginiense del sector de las Corditas Béticas (SE de Espana). Thèse, Universidad de Granada: 294 p.
- Company, M., Tavera, J.M., 1982. Los ammonites del transito Berriasense-Valanginiense en la region de Cehegin (prov. De Murcia, SE de Espana). *Cuadernos de Geologia Ibérica* 8, 651-664.
- Company, M., Tavera, J.M., 2013. Lower Valanginian ammonite biostratigraphy in the Betic Cordillera (southeastern Spain) new data. 9th International Symposium on the Cretaceous System, Ankara, 1-5 September 2013, abstract book, 118-119.
- Company, M., Tavera, J.M., 2015. Lower Valanginian ammonite biostratigraphy in the Subbetic Domain (Betic Cordillera, southeastern Spain). *Carnets de Géologie* 15, 71-88
- Cotillon, P., 1984. Paléogéographie. *In* : Debrand Passard S. et al. (eds) : Synthèse géologique du Sud-Est de la France, Mém. Bur. Rech. Géol. et Min. Paris 125, 328-330.
- Cotillon, P., Ferry, S., Gaillard, C., Jautée, E., Latreille, G. and Rio, M., 1980. Fluctuation des paramètres du milieu marin dans le domaine vocontien (France Sud-Est) au Crétacé inférieur : mise en évidence par l'étude des formations marno-calcaires alternantes. *Bulletin de la Société Géologique de France* 22, 735-744.
- Dauphin, L., 2002. Litho-,bio- et chronostratigraphie comparées dans le Bassin Vocontien, à l'Aptien. Thèse, Université des Sciences et Techniques Lille 1, Lille: 516 p (non publiée).
- Duchamp-Alphonse, S., 2006. Changements paléoenvironnementaux et production carbonatée hémipélagique de la marge nord-ouest téthysienne durant le Valanginien: approches minéralogique, micropaléontologique et géochimique. Thèse, Université de Paris-Sud, Paris XI, 305 p (non publiée).
- Duchamp-Alphonse, S., Gardin, S., Fiet, N., Bartolini, A., Blamart, D., Pagel, M., 2007. Fertilization of the northwestern Tethys (Vocontian basin, SE France) during the Valanginian carbon isotope perturbation: Evidence from calcareous nannofossils and trace element data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 243, 132-151.
- Elmi, S., Brouder, P., Berger, G., Gras, H., Busnardo, R., Bédard, P. and Vautrelle, C., 1989. Notice explicative, Carte Géologique France 1/50000, feuille Bessèges (888). Orléans : BRGM, 115 p. Carte géologique par Berger, C. *et al.* (1988).
- Elmi, S., Busnardo, R., Clavel, B., Camus, G., Kieffer, G., Bérard, P. and Michaëly, B., 1996. Notice explicative, Carte Géologique France 1/50000, feuille Aubenas (865). Orléans : BRGM, 170 p. Carte géologique par Kerrien, Y. *et al.* (1989).

- Erba, E., Bartolini, A., Larson, R.L., 2004. Valanginian Weissert oceanic anoxic event. *Geology*, 32, 149-152.
- Ettachfini, M., 1991. Le Valanginien de l'Atlas atlantique (Maroc) : stratigraphie et ammonitofaune. Thèse, Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences, Marrakech: 153 p (non publiée).
- Ettachfini, M., 2004. Les ammonites Néocomiennes dans l'Atlas atlantique (Maroc). *Biostratigraphie, paléontologie, paléobiogéographie et paléoécologie. Strata (Toulouse)*, 2, 43, 225 p.
- Faraoni, P., Flore, D., Marini, A., Pallini, G., Pezzoni, N., 1997. Valanginian and early Hauterivian ammonite successions in the Mt Catria group (Central Apennines) and in the Lessini Mts (Southern Alps), Italy. *Palaeopelagos* 7, 59-100.
- Ferry, S., 1991. Une alternative au modèle de stratigraphie séquentielle d'Exxon : la modulation tectono-climatique des cycles orbitaux. *Géologie alpine*, 18 H.S, 47-99.
- Ferry, S., Grosheny, D., 2013. Excursion dans le bassin subalpin (20-23 septembre 2013). Turbidites et brèches carbonatées (Jurassique et Crétacé du bassin subalpin). Excursion du Groupe Français du Crétacé, 2013, Série « Excursion », 107 p. <hal-00908177>.
- Ferry, S., Pocachard, J., Rubino, J.L., Gautier, F., 1989. Inversions magnétiques et cycles sédimentaires : un premier résultat dans le Crétacé de la fosse vocontienne (Sud-Est de la France). *Comptes Rendues de l'Académie des Science Paris série II* 308, 773-780.
- Fesneau, C., Deconinck, J.F., Pellenard, P., Reboulet, S., 2009. Evidence of aerial volcanic activity during the Valanginian along the northern Tethys margin. *Cretaceous Research* 30, 533-539.
- Flandrin, J., Bonnefous, J., Arens, G., Willm, C., Berthon, J.L., Drouhin, J.P., Leflaive, R., Siskind, B., Charlot, R., Bardagot, E., El-Roh, S., Rivier, F., 1970. Carte géologique de Luc-en-Diois 1/50000. Bureau de Recherche Géologique et Minière.
- Flandrin, J., Gottis, M., Viallix, J.R., Golenko, N., Riche, P., Parant, J., Rebilly, G., Bejanin, J., Issenman, Rivier, F., 1964. Carte géologique de Séderon 1/50000. Bureau de Recherche Géologique et Minière.
- Gaillard, C., 1984. Bioturbation des sédiments pélagiques du Crétacé inférieur dans le bassin vocontien (Chaînes subalpines méridionales, France). *Geobios, Mém. sp.* 8, 205-214.
- Gaillard, C., Jautée, E., 1987. The use of burrows to detect compaction and sliding in fine-grained sediments: an example from the Cretaceous of SE France. *Sedimentology* 34, 585-593.
- Gardin, S., 2008. Chapter 3. The nannofossil succession of La Charce across the Valanginian-Hauterivian boundary. Guidebook for post-congress fieldtrip in the Vocontian Basin, SE France (September 11-13, 2008), 11-13.
- Gayte, D., 1984. Le Valanginien et l'Hauterivien de la bordure cévenole méridionale. *Biostratigraphie, paléontologie, sédimentologie. Thèse de l'Université Claude Bernard Lyon 1*, 147 p. (non publiée).
- Giraud, F., 1995. Recherche des périodicités astronomiques et des fluctuations du niveau marin à partir de l'étude du signal carbonaté des séries pélagiques alternantes. Application au crétacé inférieur du Sud Est de la France (bassin vocontien), de l'Atlantique central (Site 534 DSDP) et du golfe du Mexique (Site 535 DSDP). *Documents des Laboratoires de Géologie de Lyon* 134, 1-279.
- Goguel, J., 1940. Contribution à l'étude du groupe *Acanthodiscus radiatus*. *Ann. paleont. Paris* 28, 43-67.

- Gréselle, B., 2007. Impact des variations paléoclimatiques sur la sédimentation carbonatée au Valanginien. Thèse, Université de Lyon, 154 p (non publiée).
- Gréselle, B., Pittet, B., 2010. Sea-level reconstructions from the Peri-Vocontian Zone (SE France) point to Valanginian glacio-eustasy. *Sedimentology* 57, 1640–1684.
- Gréselle, B., Pittet, B., Mattioli, E., Joachimski, M., Barbarin, N., Riquier, L., Reboulet, S., Pucéat, E., 2011. The Valanginian isotope event: a complex suite of palaeoenvironmental perturbations. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 306, 41–57.
- Guex, J., 2001. Environmental stress and atavism in ammonoid evolution. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 94, 321-328.
- Guex, J., 2006. Reinitialization of evolutionary clocks during sublethal environmental stress in some invertebrates. *Earth and Planetary Science Letters* 242, 240-253.
- Hennig, S., Weissert, H., Bulot, L., 1999. C-isotope stratigraphy, a calibration tool between ammonite and magnetostratigraphy: the Valanginian-Hauterivian transition. *Geologica Carpathica* 50, 91-96.
- Hoedemaeker, P.J., 1982. Ammonite biostratigraphy of the uppermost Tithonian, Berriasian, and lower Valanginian along the Río Argos (Caravaca, SE Spain). *Scripta Geologica* 65, 1–81.
- Hoedemaeker, P.J., 1993. Ammonite zonation for the Lower Cretaceous of the Mediterranean region; basis for the stratigraphic correlations within IGCP-Project 262. *Revista Española de Paleontología* 8, 117-120.
- Hoedemaeker, P.J., 1995. The Berriasian stage: a review. *Géologie Alpine, Mémoire Hors Série* 20, 5–14.
- Hoedemaeker, P.J., Bulot, L., (reporters), Avram, E., Busnardo, R., Company, M., Delanoy, G., Kakabadze, M., Kotetishvili, E., Krishna, J., Kvantaliani, I., Latil, J.L., Memmi, L., Rawson, P.F., Sandoval, J., Tavera, J.M., Thieuloy, J.P., Thomel, G., Vasicek, Z., Vermeulen, J., 1990. Preliminary Ammonite zonation for the Lower Cretaceous of the Mediterranean region. *Géologie Alpine* 66, 123-127.
- Hoedemaeker, P.J., Company, M., (reporters), Aguirre-Urreta, M.B., Avram, E., Bogdanova, T.N., Bujtor, L., Bulot, L., Cecca, F., Delanoy, G., Ettachfini, M., Memmi, L., Owen, H.G., Rawson, P.F., Sandoval, J., Tavera, J.M., Thieuloy, J.P., Tovbina, S.Z., Vasicek, Z., 1993. Ammonites zonation for the Lower Cretaceous of the Mediterranean region; basis for the stratigraphic correlation within IGCP-Project 262. *Revista Espanola de Paleontologia* 8, 117-120.
- Hoedemaeker, P.J., Reboulet, S., (reporters), Aguirre-Urreta, M.B., Alsen, P., Aoutem, M., Atrops, F., Barragan, R., Company, M., González Arreola, C., Klein, J., Lukeneder, A., Ploch, I., Raisossadat, N., Rawson, P.F., Ropolo, P., Vašíček, Z., Vermeulen, J., Wippich M.G.E., 2003. Report on the 1st International Workshop of the IUGS Lower Cretaceous Ammonite Working Group, the “Kilian Group” (Lyon, 11 July 2002). *Cretaceous Research* 24, 89-94, and erratum (p. 805).
- Jacquin, T., Rusciadelli, G., Amedro, F., De Graciansky, P.C., Magniez-Jannin, F., 1998. The north atlantic cycle: an overview of 2nd-order transgressive/regressive facies cycles in the lower Cretaceous of western Europe. *In* : De Graciansky, P.C, Hardenbol, J., Jacquin, T. and Vail, P.R. (eds): *Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphy of European basins*, SPEM special publication 60, 397-409.

- Janssen, N.M.M., Clément, A., 2002. Extinction and renewal patterns among Tethyan belemnites in the Verrucosum Subzone (Valanginian) of southeast France. *Cretaceous Research* 23, 509-522.
- Kemper, E., 1973. The Valanginian and Hauterivian stages in northwest Germany. *In* Casey, R. and Rawson, P.F. (eds): *The Boreal Lower Cretaceous*, Geological Journal special issue 5, Seel House Press (Liverpool), 327-344.
- Kemper, E., Rawson, P.F., Thieuloy, J.P., 1981. Ammonites of Tethyan ancestry in the early Lower Cretaceous of north-west Europe. *Palaeontology* 24, 251-311.
- Kenjo, S., 2014. Biostratigraphie intégrée à nannofossiles calcaires et ammonoïdes : développement et implications pour la définition et la valorisation des stratotypes d'unité et de limite. L'exemple des étages Berriasien et Valanginien et de leur limite (~140 Millions d'années). Thèse, Université Lyon 1, 273 p. dont 24 Pl. (non publiée).
- Kennedy, W.J., Gale, A.S., Huber, B.T., Petrizzo, M.R., Bown, P., Barchetta, A., Jenkyns, H.C., 2014. Integrated stratigraphy across the Aptian/Albian boundary at Col de Pré-Guittard (southeast France): A candidate Global Boundary Stratotype Section. *Cretaceous research* 51, 248-259.
- Kennedy, W.J., Gale, A.S., Lees, J.A., Caron, M., 2004. Definition of a Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of the Cenomanian Stage, Mont Risou, Hautes-Alpes, France. *Episodes* 27, 21-32.
- Kilian, W., 1910. Valendis-Stufe (Valanginien). *In* : *Lethaea geognostica. Unterkreide (Palaeocretacicum)*, pp. 169–202 (E.Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart).
- Klein, J., 2005. Lower Cretaceous Ammonites I, Perisphinctaceae 1: Himalayitidae, Olcostephanidae, Holcodiscidae, Neocomitidae, Oosterellidae. *In* : Riegraf, W. (ed.): *Fossilium Catalogus I: Animalia*, Backhuys Publishers (Leiden), part 139: 484 p.
- Le Hégarat, G., 1973. Le Berriasien du Sud-Est de la France. *Documents des Laboratoires de Géologie de la Faculté des Sciences de Lyon* 43, 1–576.
- Le Hégarat, G., Remane, J., 1968. Tithonique supérieur et Berriasien de l'Ardèche et de l'Hérault. *Corrélation des ammonites et des calpionelles*. *Geobios* 1, 7–70.
- Ledru, P., Marignac, C., Elmi, S., Dagain, S., Reboulet, S., Roger, J., 2014. Carte géologique de la France (1/50000), feuille Privas (841). Orléans : Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Notice explicative par Thierry, J., Marignac, C., Ledru, P., Reboulet, S., Dagain, J., Naud, G., Roger, J., Laumonier, B., Vernhet, Y., 2014.
- Magniez-Jannin, F., 1992. Enregistrement de l'eustatisme par les foraminifères dans les séquences de dépôt du Crétacé inférieur du bassin vocontien (Sud-Est de la France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 91, 247-262.
- Magniez-Jannin, F., Dommerues, J.L., 1994. Foraminifères vs. ammonites en fosse vocontienne vers la limite Valanginien-Hauterivien. *Comptes Rendues de l'Académie des Science Paris* 319, 957-962.
- Martinez, M., 2013. Calibration astronomique du Valanginien et de l'Hauterivien (Crétacé inférieur): implications paléoclimatiques et paléocéanographiques. Thèse, Université de Bourgogne, 208 p (non publiée).
- Martinez, M., Deconinck, J.-F., Pellenard, P., Reboulet, S., Riquier, L., 2013. Astrochronology of the Valanginian Stage from reference sections (Vocontian Basin, France) and palaeoenvironmental implications for the Weissert Event. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 376, 91–102, doi:10.1016/j.palaeo.2013.02.021.

- Martinez, M., Deconinck, J-F., Pellenard, P., Riquier, L., Company, M., Reboulet, S., Moiroud, M., 2015. Astrochronology of the Valanginian-Hauterivian stages (Early Cretaceous): chronological relationships between the Paraná-Etendeka large igneous province and the Weissert and the Faraoni events. *Global and Planetary Change* 131, 158–173. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.06.001>
- Mattioli, E., Pittet, B., Riquier, L., Grossi, V., 2014. The mid-Valanginian Weissert Event as recorded by calcareous nannoplankton in the Vocontian Basin. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 414, 472–485.
- Maznenot, G., 1939. Les Palaeohoplitidés tithoniques et berriasiens du Sud-Est de la France. *Mém. Soc. géol. France, Paris*, 18, 41-303.
- McArthur, J.M., Janssen, N.M.M., Reboulet, S., Leng, M.J., Thirlwall, M.F., van de Schootbrugge, B., 2007. Palaeotemperatures, polar ice-volume, and isotope stratigraphy (Mg/Ca,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ): The Early Cretaceous (Berriasian, Valanginian, Hauterivian). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 248, 391-430.
- Morton, N., 2015. The Geological site Le Serre de l'Âne, La Charce, Drôme, France. *Geology Today* 31, 2, 48-49.
- Moullade, M., 1966. Etude stratigraphique et micropaléontologique du Crétacé inférieur de la fosse vocontienne. *Documents des Laboratoires de Géologie de Lyon* 15, 369 p.
- Mourgues, A., 2007. La transgression du Crétacé inférieur au Nord du Chili. *Biostratigraphie, Paléontologie (Ammonites), Stratigraphie séquentielle et tectonique synsédimentaire*. Thèse, Université Paul Sabatier, Toulouse: 293 p (non publiée).
- Mutterlose, J. (reporter), *et al.* (14 others), 1996. The Hauterivian Stage. *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Sciences de la Terre* 66 suppl, 19-24.
- O'Dogherty, L., Sandoval, J., Bartolini, A., Bruchez, S., Bill, M., Guex, J., 2006. Carbon-isotope stratigraphy and ammonite faunal turnover for the Middle Jurassic in the Southern Iberian paleomargin. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 239, 311-333.
- Ogg, J.G., Agterberg, F.P. and Gradstein, F.M., 2004. The Cretaceous Period. *In* Gradstein, F., Ogg, J., Smith, A., 2004. *A Geological Time Scale, 2004*. Cambridge University Press, Cambridge, 344-383.
- Ogg, J.G., Hinnov, L.A., Huang, C., 2012. Chapter 27. Cretaceous. *In* Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M.D., Ogg, G.B. (Eds), *The Geologic Time Scale 2012*. Elsevier, Vol. 2, 793-853.
- Olivero, D., 1996. *Zoophycos* distribution and sequence stratigraphy. Examples from the Jurassic and Cretaceous deposits in south-eastern France. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 123, 273-287.
- Paquier, V., 1900. *Recherches géologiques dans le Diois et les Baronnies orientales*. Thèse Université Grenoble, 1-410, (non publiée).
- Pellenard, P., Deconinck, J.F., 2003. Characterization and correlation of Upper Jurassic (Oxfordian) bentonite deposits in the Paris Basin and the Subalpine Basin, France. *Sedimentology* 50, 1035-1060.
- Quensel, P., 1988. Die Ammoniten im Valangin-Hauterive Grenzbereich vom Mittelrandkanal bei Pollhagen. *Berliner geowissenschaftliche Abhandlungen A* 94, 15-71.
- Rawson, P.F., 1973. Lower Cretaceous (Ryazanian-Barremian) marine connections and cephalopod migrations between the Tethyan and Boreal Realms. *In* Casey, R. and



- Rawson, P.F. (eds): The Boreal Lower Cretaceous, Geological Journal special issue, 5, Seel House Press (Liverpool), 131-144.
- Rawson, P.F., 1983. The Valanginian to Aptian stages – current definitions and outstanding problems. *Zitteliana* 10, 493-500.
- Rawson, P.F., 1993. The influence of sea level changes on the migration and evolution of early Cretaceous (pre-Aptian) ammonites. In House, M.R., (ed.): The ammonoidea: Environment, Ecology, and Evolutionary change. Systematics Association Special Volume 47, 227-242.
- Rawson, P., 2004. Report of the IUGS-ICS Subcommittee on Cretaceous Stratigraphy, Newsletter NS 6, 12 p.
- Rawson, P.F., Hoedemaeker, P.J. (reporters) *et al.* (11 others), 1999. Report on the 4th International Workshop of the Lower Cretaceous Cephalopod Team (IGCP-Project 362). *Scripta Geologica, Spec. Issue* 3, 3-13.
- Reboulet, S., 1991. Renouvellement et évolution des faunes d'ammonites, en relation avec les modifications du niveau marin, à la limite valanginien - Hauterivien : l'exemple de la coupe de La Charce (Reboulet Drôme). *Mémoire DEA*, 1-38 (non publié).
- Reboulet, S., 1996. L'évolution des ammonites du Valanginien-Hauterivien inférieur du bassin vocontien et de la plate-forme provençale (Sud-Est de la France): relations avec la stratigraphie séquentielle et implications biostratigraphique. *Documents des Laboratoires de Géologie de Lyon* 137 (1995), 371p.
- Reboulet S., 1998. Diversification des ammonites hétéromorphes. International Symposium "Paleodiversifications Land and Sea Compared", Lyon (France), 6-8 Juillet 1998, book of abstracts, p. 54.
- Reboulet S., 2001. Limiting factors on shell growth, mode of life and segregation of Valanginian ammonoids populations: evidence from adult-size variations. *Geobios* 34, 423-435.
- Reboulet, S., 2002. Les ammonites de l'Hauterivien de l'Aube : systématique et évolution. *Bulletin Annuel de l'Association Géologique Aubeoise* 23, 37-58.
- Reboulet S., 2007. Diversification des ammonoïdes hétéromorphes : l'exemple des *Himantoceras*. Evolution et changements paléoenvironnementaux au Valanginien. *Bulletin annuel de l'Association Géologique Aubeoise* 28, 13-35.
- Reboulet S., 2008. Origination of *Himantoceras* (heteromorphic ammonoids) related to palaeoceanography and climatic changes during the Valanginian. 1st International Meeting on Correlation of Cretaceous Micro- and Macrofossils, Vienna (Austria), 16–18 April, 2008, *Berichte der Geologischen Bundesanstalt*, 74, p. 89-91.
- Reboulet, S., Atrops, F., 1995. Rôle du climat sur les migrations et la composition des peuplements d'ammonites du Valanginien supérieur du bassin vocontien (S-E de la France). *Geobios* 18, 357-365.
- Reboulet, S., Atrops, F., 1997. Quantitative variations of the valanginian ammonite fauna of the Vocontian Basin (south-eastern France) between limestone-marls and within parasequences. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 135, 145-155.
- Reboulet, S., Atrops, F., 1999. Comments and proposals about the Valanginian-Lower Hauterivian ammonite zonation of south-east France. *Eclogae geologicae Helveticae* 92, 183-197.

- Reboulet, S., Rard, A., 2008. Double alignments of ammonoid aptychi from the Lower Cretaceous of Southeast France: Result of a post-mortem transport or bromalites? *Acta Palaeontologica Polonica* 53, 261-274.
- Reboulet, S., Atrops, F., Ferry, S., Schaaf, A., 1992. Renouvellement des ammonites en fosse vocontienne à la limite Valanginien-Hauterivien. *Géobios* 25, 469-476.
- Reboulet S., Giraud F., Mattioli E., Pittet B., Gréselle B., Carpentier A., 2010. Changes in some Cretaceous ammonoid assemblages (planispirals *versus* heteromorphs) and their link to palaeoceanography and climate. 8th International Symposium Cephalopods Present and Past, August 30 – September 3, 2010, Dijon (France), book of abstracts, p. 142.
- Reboulet, S., Giraud, F., Proux, O., 2005a: Ammonoid abundance variations related to changes in trophic conditions across the Oceanic Anoxic Event 1d (Latest Albian, SE France). *Palaios* 20, 121–141.
- Reboulet, S., Hoedemaeker, P.J., (reporters), Aguirre-Urreta, M.B., Alsen, P., Atrops, F., Baraboshkin, E.Y., Company, M., Delanoy, G., Dutour, Y., Klein, J., Latil, J.L., Lukeneder, A., Mitta, V., Mourgues, F.A., Ploch, I., Raisossadat, N., Ropolo, P., Sandoval, J., Tavera, J.M., Vašíček, Z., Vermeulen, J., 2006. Report on the 2nd international meeting of the IUGS lower Cretaceous ammonite working group, the “Kilian Group” (Neuchâtel, Switzerland, 8 September 2005). *Cretaceous Research* 27, 712-715.
- Reboulet, S., Klein, J. (reporters), Barragán, R., Company, M., González-Arreola, C., Lukeneder, A., Raisossadat, S.N., Sandoval, J., Szives, O., Tavera, J.M., Vašíček, Z., Vermeulen, J., 2009. Report on the 3rd International Meeting of the IUGS Lower Cretaceous Ammonite Working Group, the “Kilian Group” (Vienna, Austria, 15th April 2008). *Cretaceous Research* 30, 496-502.
- Reboulet, S., Mattioli, E., Pittet, B., Baudin, F., Olivero, D. and Proux, O., 2003. Ammonoid and nannoplankton abundance in Valanginian (early Cretaceous) limestone-marl successions from the southeast France Basin: carbonate dilution or productivity? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 201, 113-139.
- Reboulet S., Mattioli E., Pittet B., Rard A., 2005b. Ammonoid abundance variations related to changes in trophic conditions across the Lower-Upper Valanginian boundary: the example of the Vergol section (Vocontian basin, SE France). 7th International Symposium on the Cretaceous, Neuchâtel (Switzerland), 5-9 September 2005, book of abstracts, p. 178-179 (1 fig.).
- Reboulet, S., Rawson, P.F., Moreno-Bedmar, J.A. (reporters), Aguirre-Urreta, M.B., Barragán, R., Bogomolov, Y., Company, M., González-Arreola, C., Idakieva Stoyanova, V., Lukeneder, A., Matron, B., Mitta, V., Randrianaly, H., Vašíček, Z., Baraboshkin, E.J., Bert, D., Bersac, S., Bogdanova, T.N., Bulot, L.G., Latil, J.-L., Mikhailova, I.A., Ropolo, P., Szives, O., 2011. Report on the 4th International Meeting of the IUGS Lower Cretaceous Ammonite Working Group, the “Kilian Group” (Dijon, France, 30th August 2010). *Cretaceous Research* 32, 786-793.
- Reboulet, S., Szives, O., Aguirre-Urreta, B., Barragán, R., Company, M., Idakieva, V., Ivanov, M., Kakabadze, M.V., Moreno-Bedmar, J.A., Sandoval, J., Baraboshkin, E.J., Çağlar, M.K., Főzy, I., González-Arreola, C., Kenjo, S., Lukeneder, A., Raisossadat, S.N., Rawson, P.F., Tavera, J.M., 2014. Report on the 5th International Meeting of the IUGS Lower Cretaceous Ammonite Working Group, the Kilian Group (Ankara, Turkey, 31st August 2013). *Cretaceous Res* 50, 126–137. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cretres.2014.04.001>.

- Renevier E., 1874. Tableau des terrains sédimentaires. Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles, Lausanne 13, 218-52.
- Rio, M., Ferry, S., Cotillon, P., 1989. Périodicités dans les séries pélagiques alternantes et variations de l'orbite terrestre. Exemple du Crétacé inférieur dans le Sud-Est de la France. C. R. Acad. Sci II 309, 73-79.
- Thierry, J., Marignac, C., Ledru, P., Reboulet, S., Dagain, J., Naud, G., Roger, J., Laumonier, B., Vernhet, Y., 2014. Notice explicative, Carte géologique de la France (1/50000), feuille Privas (841). Orléans : Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 166 p. Carte géologique par Ledru, P., Marignac, C., Elmi, S., Dagain, S., Reboulet, S., Roger, J., 2014.
- Thierstein, H.R., 1973. Lower Cretaceous Nannoplankton Biostratigraphy. Abh. Geol. B. –A, Wien 29, 52 p.
- Thieuloy, J.P., 1973. The occurrence and distribution of boreal ammonites from the Neocomian of southeast France (Tethyan Province). In Casey, R., Rawson, P.F. (eds): The Boreal Lower Cretaceous, Geological Journal Special Issue, 5, Seel House Press (Liverpool): 289-302.
- Thieuloy, J.P., 1977a. La zone à *Callidiscus* du Valanginien supérieur vocontien (Sud-Est de la France). Lithostratigraphie, ammonitofaune, limite Valanginien-Hauterivien, corrélations. Géologie Alpine 53, 83-143.
- Thieuloy, J.P., 1977b. Les ammonites boréales des formations néocomiennes du Sud-Est français (province subméditerranéenne). Geobios 10, 395-461.
- Thieuloy, J.-P., Fuhr, M., Bulot, L.G., 1990. Biostratigraphie de Crétacé inférieur de l'Arc de Castellane (SE de la France). 1 Faunes d'ammonites du Valanginien supérieur et âge de l'horizon de "La Grande Lumachelle". Geologie Méditerranéenne 17, 55-99.
- Van de Schootbrugge, B., Kuhn, O., Adatte, T., Steinmann, P., Föllmi, K., 2003. Decoupling of P- and C<sub>org</sub>-burial following Early Cretaceous (Valanginian-Hauterivian) platform drowning along the NW Tethyan margin. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 199, 315-331.
- Walter, B., 1991. Changements de faunes de Bryozoaires dans le Valanginien supérieur des Alpes-de-Haute-Provence. Parallélisme avec la crise observée dans le Jura à la même époque. Cretaceous Research 12, 597-606.
- Wippich, M.G.E., 2001. Die tiefe Unter-Kreide (Berrias bis Unter-Hauterive) im südwestmarokkanischen Becken: Ammonitenfauna, Bio-und Sequenzstratigraphie. Thèse, Universität Bochum, 142 p (non publiée).