

# LE STRATOTYPE DE LIMITE (GSSP) DE L'ETAGE HAUTERIVIEN (CRETACE) : LE SITE DE LA CHARCE (DROME, SUD-EST FRANCE)

Par Stéphane Reboulet <sup>8</sup>

## Introduction

Cet article fait suite à la récente ratification, en Décembre 2019, du stratotype de limite ou « GSSP » (Global Boundary Stratotype Section and Point) de l'étage Hauterivien par l'Union Internationale des Sciences Géologiques (International Union of Geological Sciences = IUGS), et auparavant, en Décembre 2014, de l'inauguration de L'Espace Naturel Sensible (ENS) du Serre de l'Âne (commune de La Charce, Drôme, France ; Photo 1) qui valorise et protège la coupe géologique de La Charce, étant alors la seule coupe candidate au GSSP pour représenter l'étage. Les deux aspects (GSSP et ENS) seront traités dans cet article pour relater les événements de cette aventure géologique, au niveau international et à l'échelle locale. Beaucoup de noms sont donnés dans ce manuscrit afin de bien illustrer que la réalisation de l'ENS et du GSSP est le fruit du travail de plusieurs équipes réunissant de nombreuses personnes venant d'horizons divers ; en espérant n'avoir oublié personne...



**Photo 1** : Le village de La Charce (Drôme) vu depuis le site du Serre de l'Âne - @ S. Reboulet.

## 1 - L'étage Hauterivien : le stratotype de limite et le clou d'or (GSSP)

### 1-1. Notions de stratotype

L'Hauterivien a été introduit par Renevier (1874). La définition de cette unité chronostratigraphique était basée sur des affleurements géologiques situés dans la région d'Hauterive (Neuchâtel, Suisse). Ils constituent un ensemble de formations rocheuses dont la succession définit une coupe-type ou stratotype d'unité qui sert d'étalon pour la définition et l'identification de l'unité stratigraphique dans sa totalité. Elle comprenait à l'origine trois formations : la « Marne jaune de Morteau à *Ammonites astierianus* », la « Marne bleue d'Hauterive à

<sup>8</sup> Laboratoire de Géologie de Lyon (LGL), Observatoire de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1

*Ammonites radiatus* » et la « Pierre Jaune de Neuchâtel » ; Baumberger (1901) apporta une modification en intégrant la Marne à *A. astierianus* dans le Valanginien.

La région d'Hauterive est apparue insatisfaisante du fait de la mauvaise succession des formations sédimentaires, et la nature condensée et lacunaire de certaines parties de la série stratigraphique ; de plus, le faciès néritique de ces séries pauvres en ammonites ne permettait pas de faire des corrélations fiables à grande échelle. Ainsi, dès la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, les auteurs français ont préféré étudier et utiliser les séries subpélagiques du bassin du Sud-Est de la France (domaine vocontien) où les coupes sont plus dilatées et relativement continues. Le développement d'une approche moderne de l'étage Hauterivien est notamment due à Kilian (1888 ; 1895), Lory (1898) et Paquier (1900) qui ont étudié ces séries alternantes calcaires-marnes. Leur richesse en ammonites a permis de faire évoluer la définition de l'étage d'une conception originelle lithostratigraphique vers une conception biostratigraphique (en termes de zones d'ammonites). La recherche d'une coupe à valeur stratotypique, un hypostratotype (coupe de référence décrite dans un autre bassin que celui du stratotype initial), pour représenter l'Hauterivien dans son ensemble a été formalisée lors du Colloque sur le Crétacé de Lyon (1963). Depuis, même si quelques coupes ont été recommandées, aucune n'a été sélectionnée pour devenir un hypostratotype.

Le stratotype d'unité est aussi le stratotype historique car par convention, afin de respecter le principe d'antériorité, il était recommandé de prendre pour référence la coupe-type choisie par la personne ayant créé l'étage. La localité du stratotype historique donne le nom de l'étage. En effet, les noms d'étage ont une origine géographique comme un village, une ville, un département ou une région ; ainsi le nom d'Hauterive a donné le nom Hauterivien pour ce 3<sup>ème</sup> étage du Crétacé inférieur (bien souvent, on ajoute le suffixe "ien" au nom de la localité). La région stratotypique neuchâteloise conserve donc toujours un intérêt scientifique comme l'illustrent assez récemment les travaux de Busnardo et Thieuloy (1989 ; cf. Remane (1989) pour l'approche historique). Au vu des nouvelles connaissances biostratigraphiques, ils démontrent notamment que les formations Marne bleue d'Hauterive et Pierre Jaune de Neuchâtel ne représentent pas en réalité tout l'Hauterivien mais correspondent seulement à l'Hauterivien inférieur.

Au cours de la deuxième moitié du 20<sup>ème</sup> siècle, il est apparu illusoire de vouloir trouver la coupe-type idéale pour représenter la totalité d'un étage ; le stratotype d'unité parfait n'existe pas. En effet, une coupe à elle seule ne présente pas toutes les conditions de continuité dans les enregistrements sédimentaires et fossilifères pour toute la durée de temps correspondant à l'étage (quelques millions d'années). C'est pour cela que, dès le début des années 1970, le concept de stratotype de limite (GSSP) va émerger et s'imposer. Dans cette approche, l'étage est défini par la caractérisation de sa base ; son sommet étant défini par la base de l'étage surincombant. La durée d'une unité chronostratigraphique est donc caractérisée à partir des deux limites, inférieure et supérieure, de l'étage, et ceci même si elles ne se sont pas sur la même coupe ou région.

Afin de bien définir la limite basale de l'étage, il est cependant nécessaire de choisir une coupe montrant la meilleure continuité sédimentaire possible sur l'intervalle stratigraphique encadrant cette surface. La caractérisation de la base de l'étage se fait par l'identification de plusieurs marqueurs (biologiques, géochimiques, géophysiques) ; ils ne sont pas obligatoirement associés à cet horizon mais peuvent être localisés juste en-dessous ou au-dessus. L'ensemble des caractères sédimentologiques, minéralogiques, géochimiques magnétiques et biologiques (micro/macro-faune/flore) va également permettre de corrélérer la limite sur de grandes distances ; de par son statut de référence internationale, il est indispensable que le stratotype de limite fournisse des possibilités de corrélation à l'échelle mondiale. Une étude pluridisciplinaire aboutissant à une stratigraphie intégrée est donc indispensable. Par convention et par commodité, un de ces marqueurs deviendra le premier marqueur pour définir la base de l'étage. Ce marqueur est le repère précis pour fixer la limite inférieure de l'unité chronostratigraphique. Il est symbolisé par le « clou d'or » (golden spike).

Les stratotypes de limite constituent une avancée majeure car ils fournissent une définition claire et précise des étages dont la succession constitue l'échelle chronostratigraphique. Ils ne remplacent pas les stratotypes d'unité (et les hypostratotypes) qui ont pour utilité de représenter l'étage dans son ensemble (sa durée), même si c'est de manière imparfaite à cause des problèmes de continuité (NB : néanmoins, d'une manière générale, la présence d'importantes discontinuités basale et sommitale au niveau des stratotypes historiques en faisait des unités bien reconnaissables par rapport à celles sous- et sus-jacentes). Le stratotype historique sera toujours la référence pour porter le nom de l'étage. Il y a donc complémentarité.

## 1-2. Historique de la proposition à la ratification

Dans le cas de l'Hauterivien, la coupe de La Charce (Fig. 1) fournissait tous les critères géologiques évoqués précédemment pour être ratifiée par l'IUGS comme stratotype de limite ; il faut donc souligner ici que sa valeur intrinsèque n'a pu être démontrée que par les nombreuses études scientifiques réalisées depuis plus de 40 ans. En effet, ce site géologique est très bien documenté sur différents plans. De nombreux travaux en paléontologie et biostratigraphie ont été faits (listes non exhaustives) sur l'intervalle Valanginien-Hauterivien : ammonites (Thieuloy, 1977 ; Reboulet, 1991 ; 1996 ; 2008 ; Reboulet *et al.*, 1992 ; Bulot *et al.*, 1993 ; Bulot, 1995 ; Bulot et Thieuloy, 1995 ; Reboulet et Atrops, 1997 ; 1999), bélemnites (Janssen et Clément, 2002), traces fossiles (Gaillard, 1984 ; Gaillard et Jautée, 1987 ; Olivero, 1996 ; Gaillard et Olivero, 2009), foraminifères (Moullade, 1966 ; Magniez-Jannin, 1992 ; Magniez-Jannin et Dommergues, 1994), radiolaires (Lambert, 1999) et nannofossiles calcaires (Thierstein, 1973 ; Gardin, 2008 ; Mattioli *et al.*, 2014 ; Gollain *et al.*, 2019). Les données et résultats sédimentologiques, cyclostratigraphiques, géochimiques et paléomagnétiques sont aussi disponibles (Cotillon *et al.*, 1980 ; Ferry *et al.*, 1989 ; Ferry, 1991 ; Hennig *et al.*, 1999 ; van de Schootbrugge *et al.*, 2000 ; Gréselle, 2007 ; McArthur *et al.*, 2007 ; Gréselle *et al.*, 2011 ; Kujau *et al.*, 2013 ; Bodin *et al.*, 2015 ; Martinez, 2013 ; 2018 ; Martinez *et al.*, 2015).

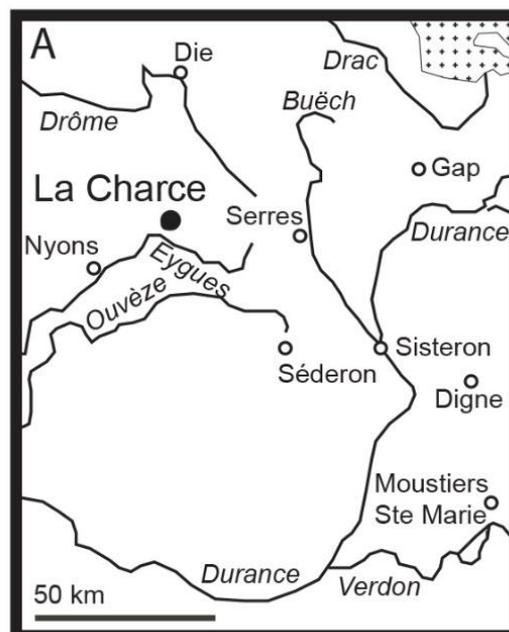


Fig. 1 : Localisation du site de La Charce Drôme, France).

Au vu de l'insuffisance reconnue (cf. médiocrité des affleurements, lacune stratigraphique et condensation) du stratotype historique et considérant les recommandations du Guide Stratigraphique International (Hedberg, 1976), Thieuloy (1977, p. 125) fut le premier auteur à proposer la coupe de La Charce (site du Serre de l'Âne) comme stratotype de limite pour l'étage Hauterivien. En effet, cet auteur avait déjà remarqué la bonne continuité lithologique et la richesse en ammonites de l'intervalle stratigraphique encadrant la limite Valanginien-Hauterivien. Il a publié un travail biostratigraphique de référence sur les faunes d'ammonites de la coupe de La Charce et sur d'autres coupes du Sud-Est de la France.

Aucune autre coupe n'ayant été proposée ailleurs dans le monde comme alternative, le groupe de travail sur l'Hauterivien, réuni en 1995 à Bruxelles (Belgique), a recommandé la coupe de La Charce comme coupe candidate au GSSP de cet étage (Mutterlose *et al.*, 1996). Lors du Congrès Géologique International de Florence (Italie, 2004), Peter Rawson (2004), en sa qualité de président de la Sous-commission Internationale de Stratigraphie du Crétacé de l'IUGS, suggère d'attribuer le GSSP Hauterivien à la coupe de La Charce (Ogg *et al.*, 2004).

Suite à cela, certains membres du groupe de travail sur l'Hauterivien (présidé par Jörg Mutterlose) ont été en charge de rédiger une proposition formelle, ou « formal proposal », dans laquelle est présentée l'ensemble des caractères stratigraphiques de la coupe et le choix du premier marqueur qui servira à définir la base de l'étage. Une douzaine de chercheurs ont contribué à la réalisation de ce document de synthèse sous la co-direction de Bulot, Mutterlose, Rawson et Reboulet (Bulot *et al.*, 2019). En mars 2019, ce document a été soumis à l'ensemble des membres du groupe de travail sur l'Hauterivien ; en avril, il était largement approuvé. Après avoir intégré des corrections suggérées par certains membres de ce groupe, le proposal a ensuite été transmis en août à la Sous-commission Internationale de Stratigraphie du Crétacé (présidée par Maria Rose Pettrizo) ; à la rentrée de septembre, il était là aussi accepté par la plupart de la vingtaine de membres votants élus à cette sous-commission. Certains d'entre eux ont fait des remarques qui ont été considérées avant d'envoyer à la mi-septembre le proposal à la Commission Internationale de Stratigraphie (présidée par David Harper) ; fin novembre, nous étions informés qu'elle avait voté à l'unanimité le choix de la coupe de La Charce. La dernière étape a été réalisée début décembre 2019 avec la ratification à l'unanimité, par l'IUGS (Stanley Finney, secrétaire général), du GSSP Hauterivien assigné définitivement à la coupe de La Charce en considérant que la base de cette unité chronostratigraphique est définie par l'apparition du genre *Acanthodiscus*.

### 1-3. Lithologie et biostratigraphie de la coupe de la Charce

La colonne lithologique du Valanginien supérieur-Hauterivien inférieur de La Charce est décrite de façon détaillée par Reboulet (1996 ; 2008) et Reboulet et Atrops (1999). La succession est une alternance calcaires-marnes (Photo 2). Elle correspond à une répétition décimétrique à métrique de cycles binaires de bancs calcaires beiges et d'interbancs marneux gris. Cette rythmicité est parfois perturbée par des slumps (glissements synsédimentaires). La succession lithologique est dominée par les marnes dans le Valanginien supérieur et par les calcaires dans l'Hauterivien inférieur. La sédimentation est interprétée comme le résultat de cycles de production du nannoplancton causés par des fluctuations climatiques dans la bande de fréquence de Milankovitch (Cotillon *et al.*, 1980 ; Giraud, 1995) ou comme le résultat de cycles de dilution liés à l'export de boues carbonatées des plates-formes peu profondes vers le bassin plus profond (Reboulet *et al.*, 2003 ; Gréselle *et al.*, 2011).



**Photo 2** : La série alternante calcaires-marnes de la coupe de La Charce : à dominante calcaire pour l'Hauterivien inférieur et à dominante marneuse pour le Valanginien supérieur ; la limite entre ces deux étages est soulignée par le trait rouge - @ S. Reboulet.

La coupe de La Charce est bien datée par l'étude des ammonites (Fig. 2) ; elles représentent la quasi-totalité de la macrofaune (Reboulet *et al.*, 1992 ; Atrops et Reboulet, 1995 ; Reboulet, 1996 ; Reboulet et Atrops, 1999 ; voir ces travaux pour connaître la nomenclature complète des taxons utilisés ici). Les autres macrofossiles nectoniques sont des bélemnites et quelques nautilus. Les bivalves et gastéropodes sont rares.

Plus de 15000 ammonites ont été collectées banc par banc, sur une épaisseur de 170 mètres de coupe (Reboulet, 1996). Neuf familles sont à considérer dans l'intervalle stratigraphique étudié. Les renouvellements de la faune d'ammonites, principalement caractérisés par l'évolution des Neocomitidae, Olcostephanidae, Oosterellidae, Holcodiscidae et Ancyloceratidae, ont été interprétés en termes de changements eustatiques et climatique Atrops, 1995 ; Reboulet, 1996).

La plupart des espèces-indices utilisées dans la zonation appartiennent aux deux premières familles citées. Les assemblages d'ammonites sont souvent dominés par les Haploceratidae, Bochianitidae, Phylloceratidae, et Lytoceratidae ; leur abondance témoigne de paléoenvironnements plutôt profonds et/ou distaux (Reboulet, 1996).



Les subdivisions biostratigraphiques du Valanginien supérieur-Hauterivien inférieur reflètent l'évolution de la faune d'ammonites (Reboulet et Atrops, 1999). Le schéma zonal du Valanginien supérieur proposé par ces auteurs a été adopté par le Groupe Kilian (= Lower Cretaceous Ammonite Working Group of the IUGS Subcommittee on Cretaceous Stratigraphy) lors de la réunion tenue à Lyon en 2002 (Hoedemaeker *et al.*, 2003), et maintenue dans la Zonation Standard du Crétacé inférieur lors des réunions suivantes (Reboulet *et al.*, 2006 ; 2009 ; 2011 ; 2014 ; 2018 ; Tab. 1).

La zonation du Valanginien inférieur a été en partie modifiée en 2013 lors de la réunion d'Ankara (Reboulet *et al.*, 2014).

ETAGES		ZONES	SOUS-ZONES
HAUTERIVIEN	supérieur	" <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>
	<i>B. balearis</i>		
	<i>Plesiospitidiscus ligatus</i>		
	<i>Subsaynella sayni</i>		
	inférieur	<i>Lyticoceras nodosoplicatum</i>	
		<i>Crioceratites loryi</i>	<i>Jeannoticeras jeannoti</i>
			<i>C. loryi</i>
<i>Acanthodiscus radiatus</i>			
VALANGINIEN	supérieur	<i>Criosarasinella furcillata</i>	<i>Teschenites callidiscus</i>
			<i>C. furcillata</i>
		<i>Neocomites peregrinus</i>	<i>Olcostephanus nicklesi</i>
	<i>N. peregrinus</i>		
	<i>Saynoceras verrucosum</i>	<i>Karakaschiceras pronecostatum</i>	
		<i>S. verrucosum</i>	
	inférieur	<i>Karakaschiceras inostranzewi</i>	<i>Neocomites platycostatus</i>
			<i>K. inostranzewi</i>
<i>Neocomites neocomiensiformis</i>			
	<i>"Thurmanniceras" pertransiens</i>	<i>Neocomites premolicus</i>	

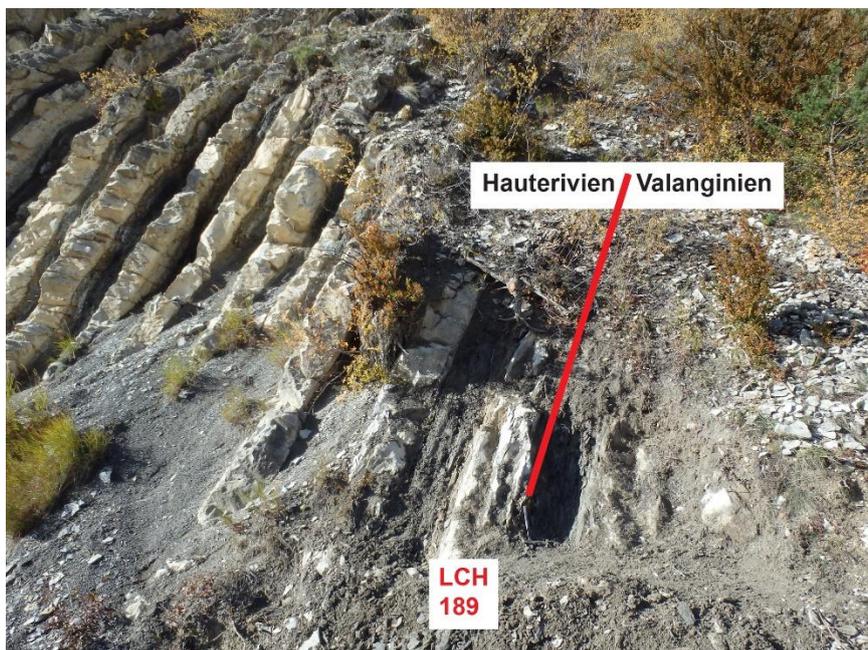
**Tab. 1** : La Zonation Standard développée par le Groupe Kilian pour les étages Valanginien et Hauterivien (d'après Reboulet *et al.*, 2018).

#### 1-4. La zone à *Acanthodiscus radiatus* et le clou d'or du GSSP Hauterivien

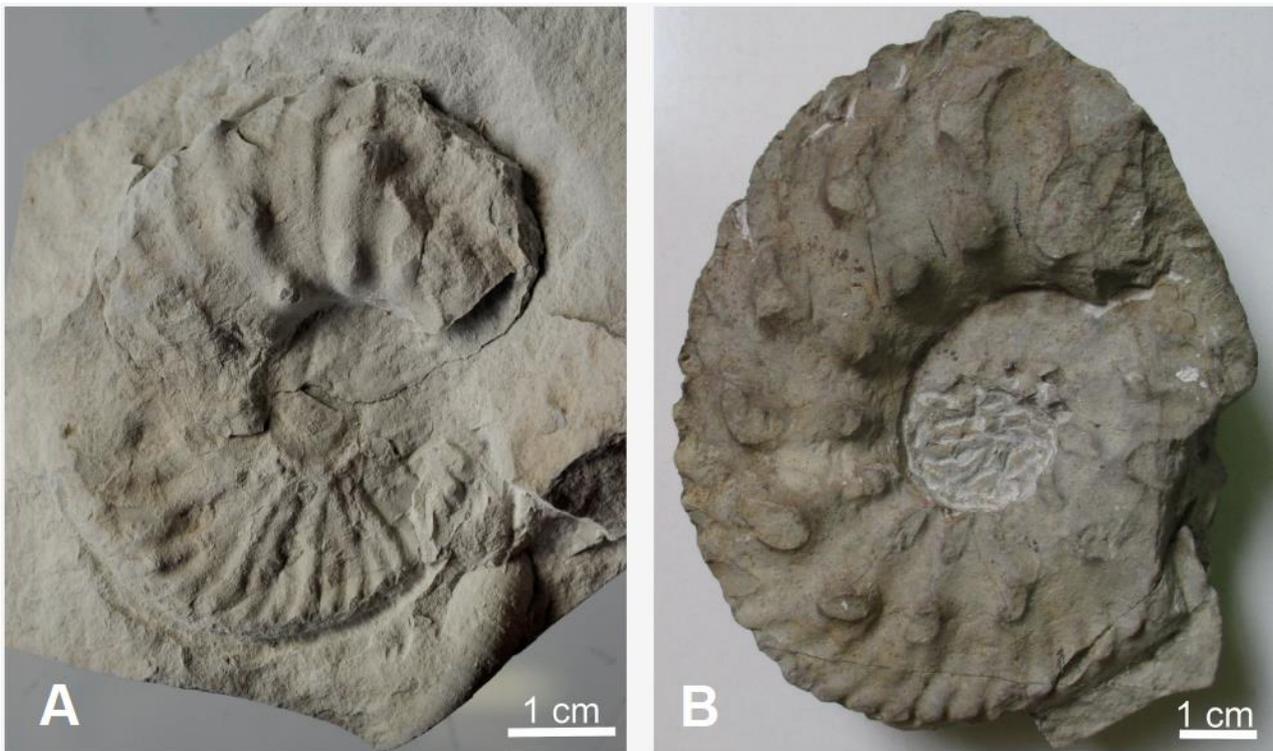
La création de la zone à *Acanthodiscus radiatus* est très ancienne. Son auteur, Paquier (1900), en faisait une sous-zone de la zone à « *Crioceras duvali* » : sous-zone à *Hoplites castellanensis* et *H. radiatus*, ainsi libellée p. 126 de son mémoire, mais ces taxons seront présentés dans un ordre 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, *H. radiatus*. Lorsque Thieuloy (1977, p. 125) formalise sa proposition de limite Valanginien-Hauterivien à partir de la localité type de La Charce, il fait coïncider la base de l'Hauterivien avec la base de la zone à *A. radiatus*, elle-même définie par les premiers représentants du genre *Acanthodiscus*. Lors des premier (Copenhague, 1983) et second (Bruxelles, 1995) Symposiums Internationaux sur le Crétacé, il a été recommandé de positionner la base de l'étage Hauterivien à la première apparition du genre *Acanthodiscus* (Birkelund *et al.*, 1984 ; Mutterlose *et al.*, 1996). La proposition a été reportée dans le « Geologic Time Scale 2004 » (Ogg *et al.*, 2004) et adoptée par le Groupe Kilian (Reboulet *et al.*, 2009).

Reboulet (1996, p. 263) est aussi en faveur de cette définition de la zone à *A. 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 *A. radiatus* est alors possible par l'utilisation de *Breistrofferella* qui y est généralement abondant.

Lors de la rédaction du proposal, l'équipe a adopté les recommandations faites antérieurement. Le Clou d'Or qui symbolise la base de l'étage Hauterivien (= base de la zone à *A. radiatus*) est positionné à la base du banc LCH 189 (Fig. 2 ; Photo 3) de la coupe de La Charce avec la première apparition d'*Acanthodiscus rebouli* (Photo 4A) récolté dans le banc LCH 189 par Reboulet (1996). Le premier *A. radiatus* (Photo 4B) a été enregistré dans le banc LCH 193 (Fig. 2).



**Photo 3** : Coupe de La Charce avec le passage Valanginien-Hauterivien mis à la base du banc LCH 189 (in Reboulet, 1996 ; base de l'Hauterivien) – @ S. Reboulet.



**Photo 4 :**

A- *Acanthodiscus rebouli*, banc LCH 189 de la coupe de La Charce (cf. Reboulet, 1996, Fig. 22, p. 216).

B- *Acanthodiscus radiatus*, banc 208 de la coupe de La Charce, Zone à *Acanthodiscus radiatus* (see Reboulet, 1996, Fig. 22, p. 216; Pl. 14, Fig. 12) - @ S. Reboulet.

Des changements dans les assemblages de la faune d'ammonites (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. le proposal, Bulot *et al.*, 2019).

Plusieurs âges absolus ont été proposés pour la base de l'étage Hauterivien :  $133.9 \pm 2$  Ma (McArthur *et al.*, 2007) ;  $131.96 \pm 1.0$  Ma (Martinez *et al.*, 2015) ;  $131.29 \pm 0.19$  Ma (Aguirre-Urreta *et al.*, 2019). Dans le cadre de la synthèse « Geologic Time Scale 2016 », Ogg *et al.* (2016) donnent un âge de  $134,7$  Ma  $\pm 0.7$  Ma ; la version GTS 2020 devrait annoncer une valeur numérique de  $132.6$  Ma (à confirmer lors de la parution du volume).

## 2 - Aménagement, valorisation et protection de l'ENS du Serre de l'Âne, site de référence mondiale pour l'étage Hauterivien

L'Espace Naturel Sensible (ENS) du Serre de l'Âne (le 9<sup>ème</sup> du département de la Drôme) a été inauguré le vendredi 5 décembre 2014 à La Charce ; cet événement a été relaté par la presse locale et dans un journal géologique (Geology Today, Morton, 2015). Une centaine de personnes étaient présentes. Parmi les élus, il y avait Didier Guillaume, qui était alors président du Conseil Général (Départemental) de la Drôme (CG26) et sénateur, les 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, Camille Frau, Nicol Morton, Stéphane Reboulet, etc.).

Dans leurs discours, Laurent Haro et Didier Guillaume ont fait part de leur satisfaction du travail réalisé qui participe à accroître la culture générale de nos concitoyens. En tant que représentant de la communauté scientifique, Stéphane Reboulet a présenté les principaux thèmes du parcours géologique et souligné l'intérêt du site et les enjeux de son aménagement. Ce fut également l'occasion de 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.

L'ENS du Serre de l'Âne, plus communément appelé ENS de La Charce, a été créé et financé par le département de la Drôme en partenariat avec la commune de La Charce. L'aménagement et la valorisation de cet ENS ont été principalement réalisées dans le cadre du Comité de Pilotage (CP) du site. Il était composé de personnes appartenant à ce moment-là aux structures suivantes :

- Le Département de la Drôme avec les services des ENS (Nicolas Gogué-Meunier, Sophie Thomine et Florent Costa), de la Voirie (direction des Déplacements, Jean-Michel Duvert, Jean-Yves Lalès, Albert Rey, Olivier Turreng), de la Communication (Corinne Martinez), de la Conservation départementale du Patrimoine (Anne-Marie Clappier), de l'Architecture et du Patrimoine (SDAP, Laurence Brangier) ;

- Le Conseil en Architecture Urbanisme et Environnement (CAUE, Sandrine Morel) ;
- Le Syndicat Mixte des Baronnies Provençales (Aurélie Carod et Alexandre Vernin) ;
- Le Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement du Vercors (CPIE ; 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 Dujeu ;
- La mairie de la commune de La Charce (Laurent Haro, maire de La Charce, Vice-Président du Syndicat Mixte des Baronnies Provençales) ;
- Le Centre du Val d'Oule à La Motte Chalacon (directeur Gérard Szoztak, conseiller général du canton de La Motte Chalancon) ;
- La communauté scientifique (représentée dans ce projet par Stéphane Reboulet).

Il y a eu 6 réunions du CP entre 2010 et 2012 ; elles ont 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 CG26 : le président Didier Guillaume et 3 vice-présidents à savoir Hervé Rasclard chargé des Finances, Patrick Royannez chargé de l'Environnement et 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 pour son intérêt géologique majeur. Le site est propriété du département de la Drôme qui a investi 1 520 000 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 de : a) favoriser l'accueil des scientifiques et du grand public sur l'aire aménagée permettant la découverte du site ; b) 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 (PNR) des Baronnies provençales ; 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 œuvre 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 a réalisé 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'œuvre 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.

## 2-1. Aménagement

L'aménagement du site a nécessité deux 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 deux 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 (murets, panneaux, tables, etc.). Le déplacement de la D61 (Photo 5) s'est fait en partie sur la rive droite de la rivière l'Oule qui passe à proximité (Photo 6). Ces travaux ont donc été faits pour répondre aux exigences de la loi sur l'eau (avec obligation de créer un mur de soutènement en gabions pierres pour respecter la largeur du lit mineur).



**Photo 5 :** Travaux de la déviation de la route D61 ; vue sur l'ancienne route qui passait près de la coupe géologique de La Charce (Serre de l'Âne) et le tracé de la nouvelle voie ; en arrière-plan, la rivière l'Oule  
@ S. Reboulet.



**Photo 6** : Travaux sur les berges de la rivière l'Oule en bordure de la nouvelle route D61 ; en arrière-plan, la coupe de La Charce - @ S. Reboulet.

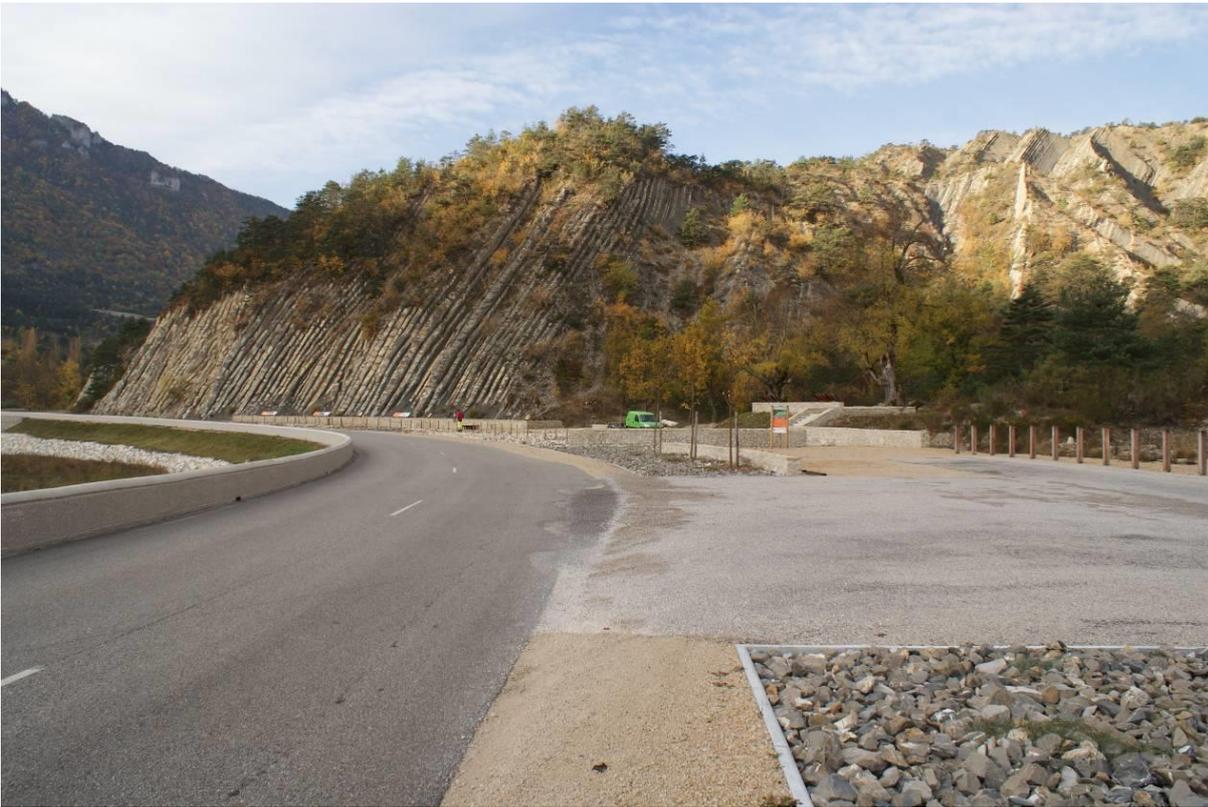
**b) Le coût de l'aménagement de la zone d'accueil et du parcours d'interprétation géologique s'élève à 320 000 euros.**

Le site d'accueil est ouvert au public. Il est composé d'un parking permettant de garer une vingtaine de voitures et un car/bus et d'une aire de pique-nique avec une plantation de jeunes arbres prélevés localement (Photo 7). Il y a un média fait de 3 panneaux disposés en triangle (= le Triptyque, dénommé Totem) ; il présente le site (voir ci-dessous). 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/coupe) et le Jardin des Fossiles (cf. ci-dessous pour de plus amples explications sur le contenu des médias qui composent ce site).

Le site a été conçu pour permettre l'accès aux personnes handicapés ou à mobilité réduite comme par exemple 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, aménagements complémentaires).



**Photo 7 :** 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 - @ S. Reboulet

## 2-2. La valorisation

Sur le site, la valorisation se fait avec des médias/panneaux. Leur conception 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), Kaliblue (graphisme) et Ducaroy-Grange (moulages fossiles, carte en relief du Dois-Baronnies).

### a) Le Triptyque ou Totem (3 panneaux de 130x70 cm).

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 PNR des Baronnies, et de visualiser l'organisation du site.

Le Triptyque est composé de 3 parties intitulées (Photo 8) :

- *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 (gérés par les collectivités locales avec l'aide du département) 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 8 :** Le Triptyque ; en arrière-plan le village de La Charce - @ S. Reboulet. Jardin des Fossiles et le muret du Parcours des Temps Géologiques - @ S. Reboulet

## b) La Terrasse des Grands Paysages (2 panneaux horizontaux 60x250 cm).



Grâce à sa position haute, la terrasse (Photo 9) 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 (comme le pastoralisme, le déboisement). Le deuxième panneau intitulé *D'où viennent ces reliefs étonnants ?* explique la formation des reliefs en termes de tectonique et d'érosion (géomorphologie) ; une carte en relief du Diois-Baronnies est incluse dans ce panneau (Photo

**Photo 9 :** Le Terrasse des Grands Paysages - @ S. Reboulet.



**Photo 10 :** Panneau D'où viennent ces reliefs étonnants ? @ S. Reboulet.

**c) Le Parcours des Temps Géologiques** (3 panneaux 60x30 cm et 3 panneaux 60x250 cm).

Ce parcours se fait en suivant la coupe géologique (au niveau de l'alternance calcaires-marnes de L'Hauterivien inférieur, zone à *A. radiatus*) dont il est séparé de la falaise par un muret en pierre qui sécurise le déplacement des visiteurs (en limitant l'accès à la falaise où des chutes de blocs de pierre peuvent se produire) tout en servant de support aux 6 panneaux présentés ci-dessous (Photo 11).



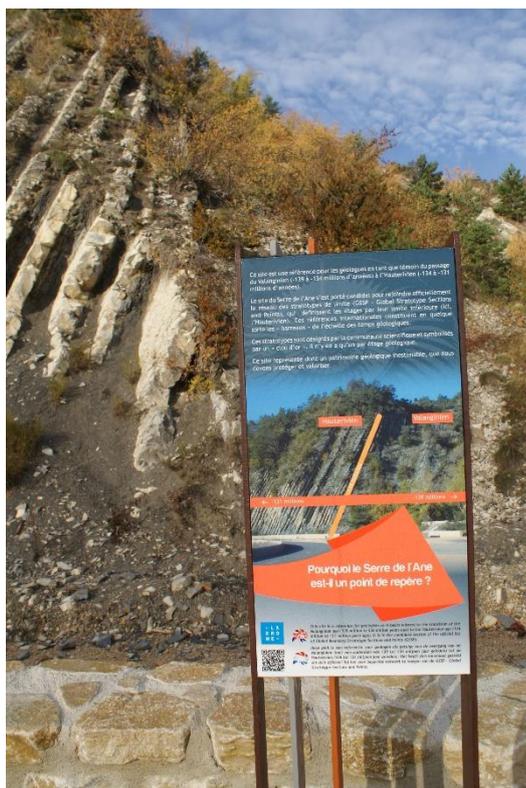
**Photo 11 :** Le muret avec le Parcours des Temps Géologiques - @ S. Reboulet..

- Un premier panneau intitulé **En quoi ce site est-il remarquable ?** présente un géologue (anonyme) qui va servir de guide et donner des explications du site.
- Le panneau suivant, nommé **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 formée ce que nous avons sous les yeux ?** l'ammonite *Acanthodiscus* est positionnée dans la frise des temps géologiques qui illustre les principales étapes de l'évolution du monde vivant.
- Le panneau **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 ?** le mode de formation de l'alternance calcaire-marnes est présenté.

Ce parcours se fait en suivant la coupe géologique (au niveau de l'alternance calcaires-marnes de L'Hauterivien inférieur, zone à *A. radiatus*) dont il est séparé de la falaise par un muret en pierre qui sécurise le déplacement des visiteurs (en limitant l'accès à la falaise où des chutes de blocs de pierre peuvent se produire) tout en servant de support aux 6 panneaux présentés ci-dessous (Photo 11).



**Photo 12 :** Plaque en acier au sol marquant la limite Valanginien-Hauterivien - @ S. Reboulet



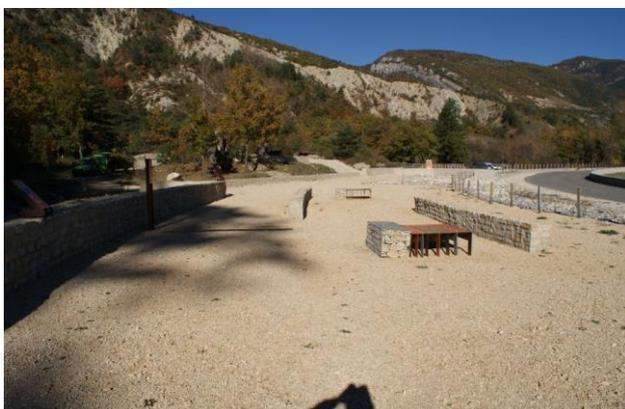
**Photo 13 :** Panneau expliquant l'intérêt des stratotypes - @ S. Reboulet

#### d) Le Jardin des Fossiles (2 tables 120x120 cm).

Il longe le muret du Parcours des Temps Géologiques (Photo 14). Pour chacune de ces tables, il y a des moulages en résine de fossiles (principalement des ammonites).

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 *S. verrucosum*, *N. peregrinus* et *C. furcillata*) et de l'Hauterivien inférieur (zones à *A. radiatus*, *C. loryi* et *L. nodosoplicatum*) pour montrer que les étages sont divisés en unités plus petites, les zones (Photo 15 ; Tab. 1).

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 de groupe de céphalopodes ; il y a aussi des bélemnites.



**Photo 14 :** 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 - @ S. Reboulet.



**Photo 15 :** Table Fossiles stratigraphiques @ S. Reboulet.

### 2-3. Protection

Les pouvoirs publics ont mis en place depuis plus d'un siècle plusieurs types d'outils juridiques pour protéger les espaces naturels : Parc Naturel National (PNN), Parc Naturel Régional (PNR), Espaces Naturels Sensibles (ENS ; protection par la maîtrise foncière ou inaliénabilité des terrains dans le cas d'une acquisition par la taxe d'aménagement ce qui est le cas du Serre de l'Âne), ZNIEFF (Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique), Natura 2000, Loi littoral, Loi montagne, Préservation des zones humides (loi sur l'eau), Arrêté de protection de biotopes et géotopes.

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 pour stopper la chute de blocs sur la route qui passait à proximité) 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).

Ségolène Royal, alors ministre de l'Ecologie, a signé le lundi 8 Décembre 2014 le décret validant la création du PNR des Baronnies provençales. 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 fût un atout très favorable en vu du classement de la coupe de La Charce comme stratotype de limite (GSSP) pour l'étage Hauterivien car la protection et l'accessibilité du site sont dorénavant pérennes.

Maintenant, il reste à mettre en place plus précisément une politique de protection de l'ensemble du site (coupe géologique et panneaux) et d'autorisation d'accès à la coupe pour limiter la dégradation des affleurements et le pillage des fossiles. Cela pourrait être réalisé via un Comité de Gestion qui se ferait en partenariat entre le département de la Drôme, le PNR des Baronnies et la commune de La Charce, et bien sûr en collaboration avec des scientifiques (via notamment le comité scientifique du Parc). 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 Départemental de la Drôme, notamment *via* Maxime Chateauvieux qui est actuellement le Chargé de mission *Ouverture au public et Suivi de gestion des ENS* du département.

### Remerciement

L'auteur remercie Claude Colleté et René Jaffré (AGA), et Emmanuela Mattioli (LGL) pour leur relecture de ce manuscrit.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aguirre-Urreta, B., Martinez, M., Schmitz, M., Lescano, M., Omarini, J., Tunik, M., Kunhert, H., Concheyro, A., Rawson, P.F., Ramos, V.A., Reboulet, S., Noclin, N., Frederichs, T., Nickl, A.L., Pälke, H., 2019. Interhemispheric radio-astrochronological calibration of the time scales from the Andean and the Tethyan areas in the Valanginian-Hauterivian (Early Cretaceous). *Gondwana Research* 70 : 104–132.
- Atrops, F., Reboulet, S., 1995. Le Valanginien-Hauterivien basal du bassin vocontien et de la bordure provençale: zonation et corrélations. *Comptes Rendus de l'Académie des Science Paris* 320, 985–992.
- Baumberger, E., 1901. Über Facies und Transgressionen der unteren Kreide am Nordrande der Mediterraneo-helvetischen Bucht. *Wissenschaftliche Beilage zum Bericht der Töchtereschule zu Basel*, 1–44.
- 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.
- Bodin, S., Meissner, P., Janssen, N.M.M., Steuber, T., Mutterlose, J., 2015. Large igneous provinces and organic carbon burial: Controls on global temperature and continental weathering during the Early Cretaceous. *Global and Planetary Change* 133, 238–253.
- 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 (non publiée), Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 398 p.
- 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., Mutterlose, J., Rawson, P.F., Reboulet, S. (coordinateurs), Aguirre-Urreta, B., Baudin, F., Emmanuel, L., Gardin, S., Martinez, M., O'Dogherty, L., Premoli-Silva, I., Renard, M., 2019. Formal proposal for the Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) of the Hauterivian Stage at La Charce (southeast France), unpublished, 61 p.
- Bulot, L.G., Thieuloy, J.P., Blanc, E., Klein, J., 1993. Le cadre stratigraphique du Valanginien supérieur et de l'Hauterivien du Sud-Est de la France : définition des biochronozones et caractérisation de nouveaux biohorizons. *Géologie Alpine* 68 (1992), 13–56.
- 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.
- Cotillon, P., Ferry, S., Gaillard, C., Jautée, E., Latreille, G., 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.
- Ferry, S., 1991. Une alternative au modèle de stratigraphie séquentielle d'Exxon : la modulation tectono-climatique des cycles orbitaux. *Géologie alpine* 18 Hors-Série, 47–99.
- 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 Rendus de l'Académie des Science Paris* 308, 773–780.
- Gaillard, C., 1984. Bioturbation des sédiments pélagiques du Crétacé inférieur dans le bassin vocontien (Chaînes subalpines méridionales, France). *Geobios, Mémoire spécial* 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.
- Gaillard, C., Olivero, D., 2009. The ichnofossil *Halimedes* in Cretaceous pelagic deposits from the Alps: environmental and ethological significance. *Palaios* 24, 257–270.
- 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.
- 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*. *Annales de paléontologie de Paris* 28, 43–67.
- Gollain, B., Mattioli, E., Kenjo, S., Bartolini, A., Reboulet, S., 2019. Size patterns of the coccolith *Watznaueria barnesiae* in the lower Cretaceous: Biotic versus abiotic forcing. *Marine Micropaleontology* 152, 101740.

- 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., 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.
- Hedberg, H. D., 1976. International stratigraphic guide : a guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure. Wiley & sons (eds), NewYork, 200 p.
- 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., 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 1<sup>st</sup> International Workshop of the IUGS Lower Cretaceous Ammonite Working Group, the “Kilian Group” (Lyon, 11<sup>th</sup> July 2002). *Cretaceous Research* 24, 89–94, and erratum (p. 805).
- 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.
- Kilian, W., 1888. Description géologique de la Montagne de Lure (Basse-Alpes). *Annales des Sciences Géologiques* 19–20, 458 p.
- Kilian, W., 1895. Réunion extraordinaire de la Société géologique de France dans la Montagne de Lure et les environs de Sisteron. *Bulletin de la Société Géologique de France*, Paris 3, 659–803.
- Kujau, A., Heimhofer, U., Hochuli, P.A., Pauly, S., Morales, C., Adatte, T., Föllmi, K., Ploch, I., Mutterlose, J., 2013. Reconstructing Valanginian (Early Cretaceous) mid-latitude vegetation and climate dynamics based on spore-pollen assemblages. *Review of Palaeobotany and Palynology* 197 : 50–69.
- Lambert, E., 1999. Les Radiolaires crétacés du Bassin Vocontien : Stratigraphie, Paléoenvironnements. Thèse (non publiée), Muséum National d’Histoire Naturelle, Paris 209 p.
- Lory, P., 1898. Sur le Crétacé inférieur du Dévoluy et des régions voisines. *Bulletin de la Société Géologique de France* 26 : 132–138.
- 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., Dommergues, 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 (non publiée), Université de Bourgogne, 208 p.
- Martinez, M., 2018. Mechanisms of preservation of the eccentricity and longer-term Milankovitch cycles in detrital supply and carbonate production in hemipelagic marl limestone alternations. In: Montenari, M., *Stratigraphy and Timescales: volume 3, Cyclostratigraphy and Astrochronology*. Elsevier Inc., 383 p.
- 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, E., Riquier, L., Grossi, V., 2014. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 414, 472–485.
- 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.
- Mutterlose, J. (reporter), Autran, G., Baraboschkin, E.J., Cecca, F., Erba, E., Gardin, S., Hengreen, W., Hoedemaeker, P., Kakabadze, M., Klein, J., Leereveld, H., Rawson, P.F., Ropolo, P., Vašíček, Z., von Salis, K., 1996. The Hauterivian stage. In: Rawson, P.F., Dhondt, A.V., Hancock, J.M., Kennedy, W.J. (Eds.), *Proceedings Second International Symposium on Cretaceous Stage Boundaries*, Brussels 8-16 September 1995, *Bulletin de l’Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Sciences de la Terre* 66 (suppl.): 19–24.

- 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., Ogg, G.M., Gradstein, F.M., 2016. Chapter 13 - Cretaceous. *In* Ogg, J.G., Ogg, G.M., Gradstein, F.M., 2016. A Concise Geologic Time Scale 2016. Elsevier, 234 p.
- 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 (non publiée), Université de Grenoble, 410 p.
- Rawson, P., 2004. Report of the IUGS-ICS Subcommittee on Cretaceous Stratigraphy, Newsletter NS 6, 12 p.
- Reboulet, S., 1991. Renouveau 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 (non publié), 38 p.
- 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 biostratigraphiques. *Documents des Laboratoires de Géologie de Lyon* 137 (1995), 371p.
- Reboulet, S., 2002. Les ammonites de l'Hauterivien de l'Aube : systématique et évolution. *Bulletin Annuel de l'Association Géologique Audoise* 23, 37–58.
- Reboulet S., 2008. The Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSP) of the Hauterivian: La Charce section (Drôme, France, Vocontian basin). *In*: Mattioli E., Gardin S., Giraud F., Olivero F., Pittet B., Reboulet S. (Eds). Guidebook for the post-congress fieldtrip in the Vocontian Basin, SE France (September 11-13 2008). *Carnets de Géologie / Notebooks on Geology - Book 2008/01 (CG2008\_BOOK\_01)*, 7–10.
- 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., Atrops, F., Ferry, S., Schaaf, A., 1992. Renouveau des ammonites en fosse vocontienne à la limite Valanginien-Hauterivien. *Géobios* 25, 469–476.
- 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 2<sup>nd</sup> international meeting of the IUGS lower Cretaceous ammonite working group, the "Kilian Group" (Neuchâtel, Switzerland, 8<sup>th</sup> 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 3<sup>rd</sup> International Meeting of the IUGS Lower Cretaceous Ammonite Working Group, the "Kilian Group" (Vienna, Austria, 15<sup>th</sup> 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., 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., Matrion, 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 4<sup>th</sup> International Meeting of the IUGS Lower Cretaceous Ammonite Working Group, the "Kilian Group" (Dijon, France, 30<sup>th</sup> 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., Fözy, I., González-Arreola, C., Kenjo, S., Lukeneder, A., Raisossadat, S.N., Rawson, P.F., Tavera, J.M., 2014. Report on the 5<sup>th</sup> International Meeting of the IUGS Lower Cretaceous Ammonite Working Group, the Kilian Group (Ankara, Turkey, 31<sup>st</sup> August 2013). *Cretaceous Res* 50, 126–137. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cretres.2014.04.001>.
- Reboulet, S., Szives, O. (reporters), Aguirre-Urreta, B., Barragán, R., Company, M., Frau, C., Kakabadze, M.V., Klein, J., Moreno-Bedmar, J.A., Lukeneder, A., Pictet, P., Ploch, I., Raisossadat, S.N., Vašíček, Z., Baraboshkin, E.J.,

- Mitta, V.V., 2018. Report on the 6<sup>th</sup> International Meeting of the IUGS Lower Cretaceous Ammonite Working Group, the Kilian Group (Vienna, Austria, 20<sup>th</sup> August 2017). *Cretaceous Research* 91 : 100–110.
- Remane, J., 1989. The historical type Hauterivian of the Jura mountains : original definition, actual concept, lithostratigraphic subdivision. *Mémoire de la Société neuchâteloise de Sciences naturelles* 11, 9–18.
- Renevier E., 1874. Tableau des terrains sédimentaires. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, Lausanne 13, 218–52.
- Thierstein, H.R., 1973. Lower Cretaceous Nannoplankton Biostratigraphy. *Abhandlungen der geologischen Bundesanstalt–A, Wien* 29, 52 p.
- Thieuloy, J.P., 1977. La zone à *Callidiscus* du Valanginien supérieur vocontien (Sud-Est de la France). *Lithostratigraphie, ammonitofaune, limite Valanginien-Hauterivien, corrélations*. *Géologie Alpine* 53, 83–143.
- Van de Schootbrugge, B., Föllmi, K.B., Bulot, L.G., Burns, S.J., 2000. Paleocyanographic changes during the early Cretaceous (Valanginian-Hauterivian): evidence from oxygen and carbon stable isotopes. *Earth and Planetary Science Letters* 181 : 15–31.