

REVUE DE
PALÉOBIOLOGIE

VOLUME 35(2) – 2016

mséum
genève

Une institution
Ville de Genève

www.museum-geneve.ch



Un sirénien éocène dans les Pyrénées aragonaises : contexte géologique du site de Janovas (Huesca, Aragon, Espagne)

Cyril GAGNAISON¹, Yannick VAUTIER¹ & Benoît PROUDHON¹

¹ Institut Polytechnique UniLaSalle (site de Beauvais), Département Géosciences, Equipe de Recherche B2R, 19 rue Pierre Waguët, BP 30313, F-60026 Beauvais Cedex, France. E-mail: cyril.gagnaison@unilasalle.fr; yannick.vautier@unilasalle.fr; benoit.proudhon@unilasalle.fr

Résumé

Le site paléontologique inédit de Janovas est décrit. Il se situe sur le flanc ouest de l'anticlinal de Boltaña dans les Pyrénées espagnoles (Huesca, Province d'Aragon). Le contexte stratigraphique place ce site au début du Lutétien et plus précisément au toit du dernier banc de calcaire marin de l'Unité des Calcaires de Boltaña (Formation de Guara). La principale découverte est un squelette en connexion anatomique presque complet d'un sirénien de la famille des ?Dugongidae indet. Ce fossile a été trouvé pris dans un *debris flow* en lien étroit avec la tectonique syn-sédimentaire locale. Ce contexte taphonomique si particulier et la qualité de conservation de ce type de fossile sont des nouveautés dans l'Eocène de l'anticlinal de Boltaña.

Mot-clés

Pyrénées espagnoles, Eocène, Sirenia, Formation de Guara, tectonique syn-sédimentaire, taphonomie.

Abstract

An Eocene sirenian in the Aragonese Pyrenees : geological context of the Janovas site (Huesca, Aragon, Spain).- The unpublished paleontological site of Janovas is described. It is located on the western flank of the Boltaña anticline in the Spanish Pyrenees (Huesca, Aragon Province). The site is stratigraphically located at the top of the the Boltaña Limestones Unit (Guara Formation). Stratigraphic evidence dates the site as Early Lutetian. The main finding is a nearly complete sirenian (?Dugongidae indet.) skeleton in anatomical connection. This fossil was found in a debris flow created by the local syn-sedimentary tectonics. The very specific taphonomic context of the site together with the good quality of conservation of the fossil are unusual in the Eocene of the Boltaña anticline.

Keywords

Spanish Pyrenees, Eocene, Sirenia, Guara Formation, syn-sedimentary tectonic's, taphonomy.

1. INTRODUCTION

Le site paléontologique étudié se trouve à 600 m au sud-sud-est du village abandonné de Janovas et à 2 kilomètres à l'ouest de la ville de Boltaña (Huesca, Province d'Aragon, Pyrénées espagnoles). Il se situe sur le flanc ouest de l'anticlinal de Boltaña (nappe des Sierras Marginales) (Canerot *et al.*, 2008; Legendre & Nicolas, 2015), au fond d'un talweg étroit orienté nord-sud en contrebas de la montagne Santa Marina (Fig. 1). Le niveau fossilifère est localisé dans les derniers bancs calcaires – fortement pentés – de l'Unité des Calcaires de Boltaña (Yprésien supérieur-Lutétien inférieur) qui constituent, dans la région (Fig. 2), le niveau inférieur de la Formation des Calcaires de Guara (Yprésien supérieur-Lutétien moyen). Positionnés en limite avec les premiers dépôts du bassin sédimentaire de Jaca,

ces calcaires sont cachetés par la formation marneuse d'Hecho (Lutétien) contemporaine de la structuration de l'anticlinal de Boltaña (Fig. 2). La principale découverte paléontologique faite sur ce site est un squelette presque complet d'un sirénien du Lutétien (Salaün *et al.*, 2011). Même si d'autres ossements de siréniens sont connus dans le Lutétien du bassin d'Ainsa (Astibia *et al.*, 1999), le fossile de Janovas est le seul exemple de squelette en connexion anatomique connu à ce jour. Ce travail développe quatre aspects du site paléontologique de Janovas : la description succincte du fossile de sirénien éocène avec une identification préliminaire ; le contexte géologique (stratigraphie, sédimentologie et tectonique) ; le contexte taphonomique ; la mise en évidence d'une relation entre la tectonique syn-sédimentaire éocène et le contexte taphonomique du site.

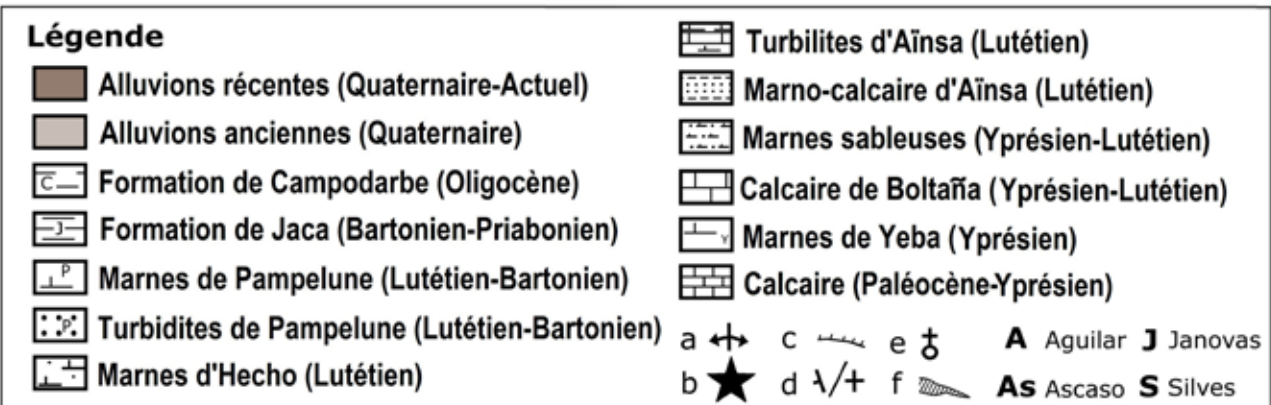
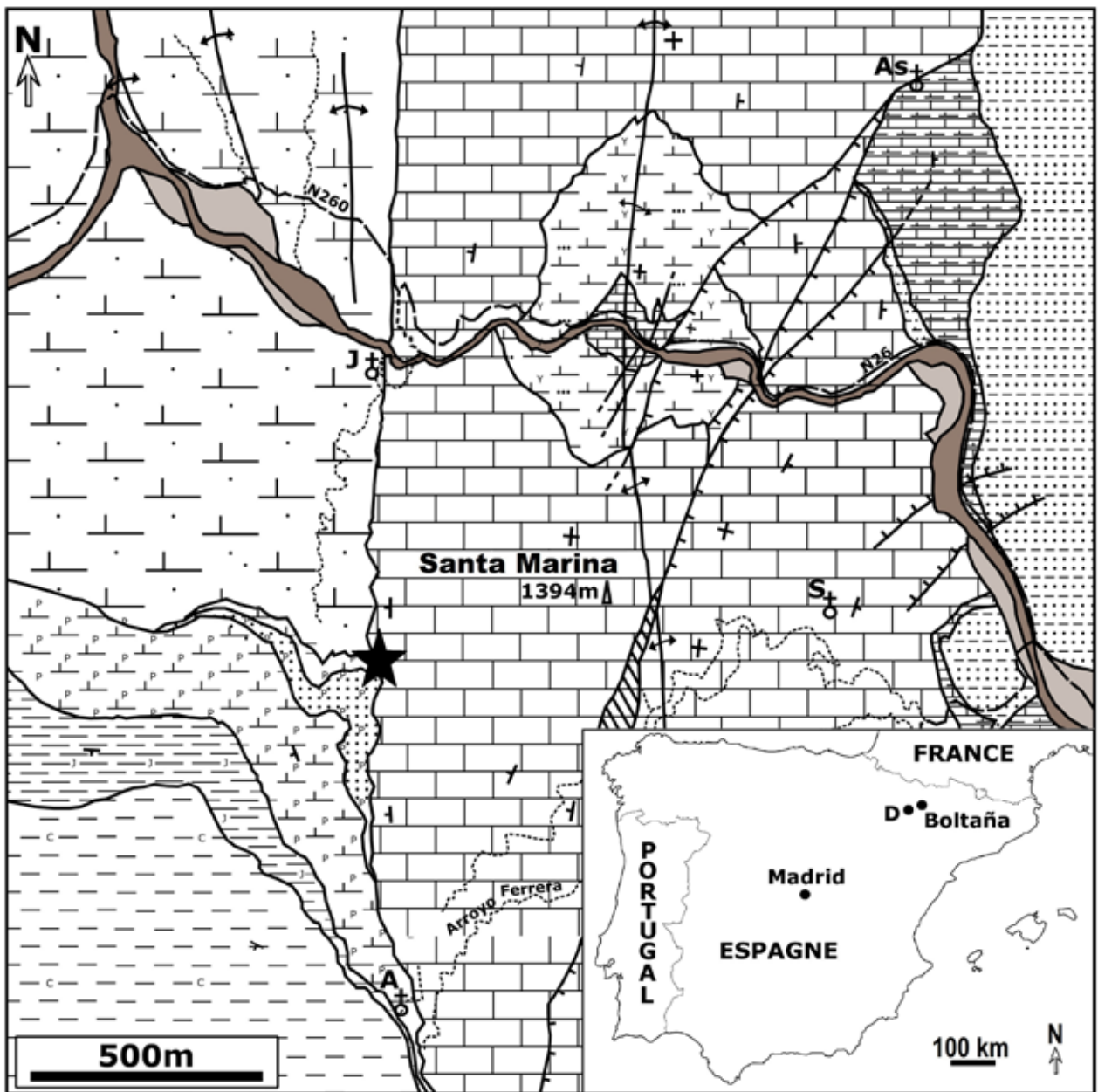


Fig. 1: La carte géologique du site paléontologique de Janovas. a: les axes de plis anticlinaux, b: le site paléontologique, c: les failles normales, d: les pendages géologiques, e: les villages, f: l'escarpement de faille.

| | | | |
|----------|------------------|------------|-------------------------|
| -33,9 Ma | OLIGOCÈNE | | Formation de Campodarbe |
| | ÉOCÈNE | Priabonien | Formation de Jaca |
| | | Bartonien | ----- |
| | | Lutétien | Formations de Pampelune |
| | | | Formation d'Hecho |
| | | Yprésien | Formation de Boltaña |
| -56,0 Ma | PALÉOCÈNE | | Marnes de Yeba |
| | | | Calcaires de base |

Fig. 2: Le tableau général des formations géologiques visibles autour de Janovas. Le sirénien éocène est localisé stratigraphiquement.

2. LE SIRÉNIEN FOSSILE DE JANOVAS (BOLTAÑA, ESPAGNE):

2.1. Historique de la découverte

En 1998, Y. Vautier (UniLaSalle Beauvais) a découvert le fossile de sirénien lors de l'étude géologique de l'anticlinal de Boltaña qu'il effectuait dans le cadre du mémoire de fin d'étude de l'Institut Géologique Albert-de-Lapparent (Vautier, 1999). Y. Vautier est le premier à illustrer ce fossile dans son mémoire (Vautier, 1999). Lors de sa découverte, les os subissent déjà l'érosion atmosphérique (Fig. 3), mais ils sont tous contenus dans un seul banc de calcaire massif bréchiq. Pendant plusieurs années, le sirénien de Janovas tomba dans l'oubli. Il faudra attendre la relance des études géologiques sur l'anticlinal de Boltaña par 3 enseignants-chercheurs de l'Institut Polytechnique UniLaSalle Beauvais (Beauvais, France), Y. Vautier, B. Proudhon et C. Gagnaison, pour qu'il soit retrouvé en 2009. Malheureusement, ce fossile a subi de fortes intempéries successives entraînant une altération très nette des os et surtout son découpage en 2 blocs isolés et éboulés : un bloc contenant la cage thoracique (Fig. 3) et un bloc contenant les vertèbres lombaires, l'humérus et quelques fragments de côtes. En 2010, suite à ce constat et à l'importance de cette découverte, une étude géologique détaillée (cartographie, sédimentologie et tectonique) a été menée par 2 étudiantes de l'Institut Polytechnique UniLaSalle Beauvais: J. Salaün et N. Sterbik (2011). La même année, des bâches de protection ont été positionnées sur les 2 blocs pour ralentir les phénomènes d'érosion. En 2012, une collaboration a été faite entre les enseignants-chercheurs de UniLaSalle Beauvais et différents représentants espagnols du Parc Naturel de la Sierra et des gorges de Guara et du département de Paléontologie (équipe du Département des Sciences de la Terre, Aragosaurus-IUCA) de l'Université de Saragosse (Espagne). L'hélicitreillage du fossile a été effectué en octobre 2012 par les équipes espagnoles. Actuellement,

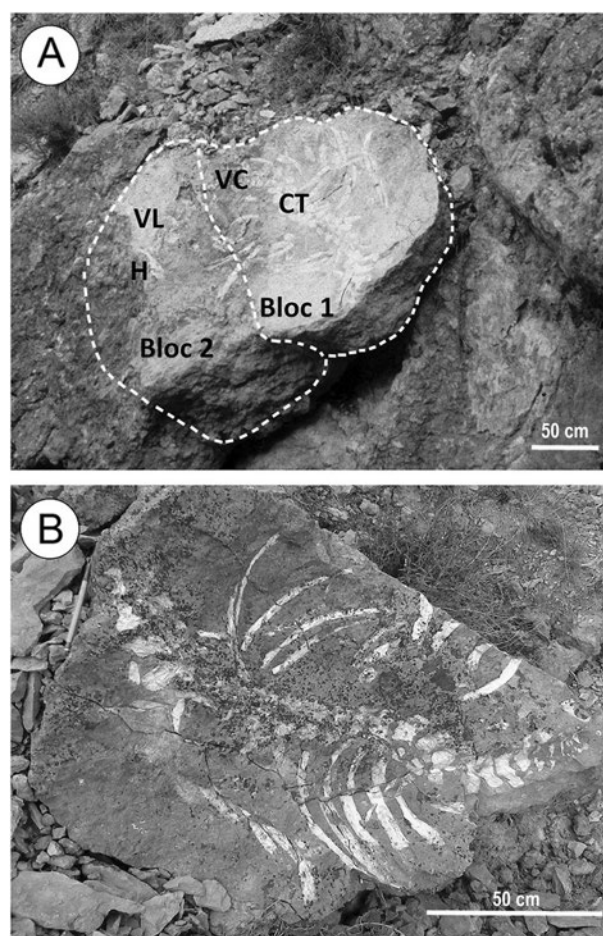


Fig. 3: Le sirénien fossile de Janovas. A: le sirénien fossile en place en 1998. En pointillés: les limites des blocs 1 et 2, CT: la cage thoracique, H: l'humérus, VC: les vertèbres cervicales, VL: les vertèbres lombaires, B: la cage thoracique vue en 2010 (bloc 1).

la préparation et l'étude paléontologique détaillée du sirénien de Janovas sont à la charge de l'équipe du Département de Paléontologie (équipe du Département des Sciences de la Terre, Aragosaurus) de l'Université de Saragosse.

2.3. Systématique

Classe Mammalia Linnaeus, 1758
 Ordre Sirenia Illiger, 1811
 Famille Dugongidae Gray, 1821
 ?Dugongidae indet.

Description succincte et proposition taxonomique: Le squelette du Sirénien de Boltaña est composé par son cou, sa cage thoracique et quelques os isolés: 30 vertèbres, 35 côtes et un humérus droit (Fig. 4). Tous les os sont de couleur blanche. Suite aux nombreux phénomènes

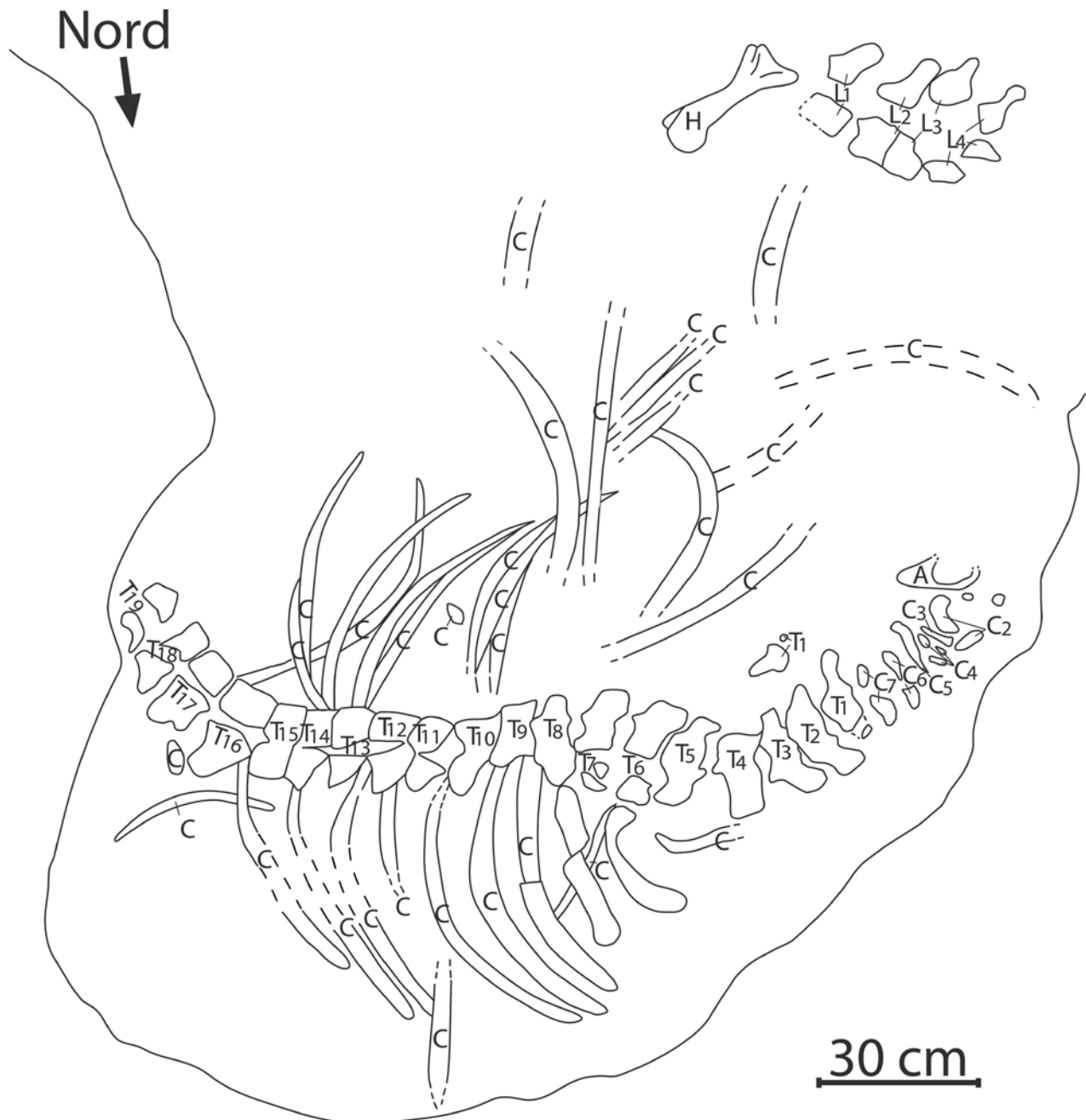


Fig. 4: Le plan détaillé du squelette du sirénien fossile de Janovas. A: l'atlas, aT1: une apophyse de la vertèbre thoracique 1, C: les côtes, C2 à C7: les vertèbres cervicales 2 à 7, H: l'humérus, T1 à T19: les vertèbres thoraciques 1 à 19, L1 à L4: les vertèbres lombaires 1 à 4.

d'érosion atmosphérique, les os sont très fragiles et s'écaillent facilement. Les 7 vertèbres cervicales sont en très mauvais état. Elles ne sont représentées que par de petits fragments: restes d'apophyses ou de corps vertébraux. La moitié de l'atlas est conservée. Les vertèbres thoraciques sont au nombre de 19. Elles sont pratiquement toutes très érodées. Les surfaces articulaires ne sont plus visibles. Les apophyses sont massives, larges et rectangulaires dès la première vertèbre thoracique (Fig. 4). Elles ont des tailles respectivement comparables.

Les 4 vertèbres lombaires sont les plus érodées du fossile. Il est même difficile de confirmer leur détermination (Fig. 4). Comme tous les os du squelette, les 35 côtes sont très érodées. Elles ne sont parfois représentées que par des empreintes ou des fragments. La forme arquée des côtes est bien marquée (Fig. 4). Les côtes antérieures sont plus massives que les côtes postérieures. Leurs sections sont globalement ovales. Les côtes sont toutes spongieuses. L'humérus droit est le seul os visible des membres du squelette du sirénien de Janovas. Il mérite

d'être dégagé de sa gangue calcaire pour en faire une étude très détaillée. Cet os a un aspect général trapu et massif. Sa trochlée est simple, large, et massive. La fosse coronoïde est triangulaire, peu profonde et symétrique. L'épicondyle latéral est massif et bien marqué. La forme globale de la tête de l'humérus est ronde. Le tubercule majeur est bien séparé par la fosse intertuberculaire de la tête humérale. Le tubercule mineur n'est pas visible.

L'organisation et la forme de la colonne vertébrale et de l'humérus permettent des comparaisons avec plusieurs fossiles publiés d'*Eotheroides* (Palmer, 1899), de *Prototherium* (Zigno, 1887) et de différents ?Dugongidae indet. espagnols (Astibia *et al.*, 1999; Astibia *et al.*, 2010; Bizzota, 2005; Pilleri *et al.*, 1989) permettant de proposer une identification préliminaire du fossile de Janovas. Les colonnes vertébrales des taxons *Eotheroides sandersi* (Zalmout, 2008) et *Eotheroides clavigerum* (Zalmout, 2008) du Priabonien de la Formation de Birket Qarun (Egypte) sont similaires à celle du fossile de Janovas. Le nombre de vertèbres est identique. La morphologie générale des vertèbres est similaire au niveau des vertèbres cervicales, thoraciques et lombaires. Le changement morphologique est lui aussi bien marqué entre la vertèbre cervicale 7 et la vertèbre thoracique 1. La forme ovale dans sa largeur de l'atlas se retrouve aussi chez *Eotheroides clavigerum*. La morphologie générale des côtes d'*Eotheroides clavigerum* suit aussi une réduction vers la partie postérieure de la cage thoracique comme sur le sirénien de Janovas. L'humérus droit du fossile type d'*Eotheroides clavigerum* est très proche de celui du sirénien de Janovas. La seule grande différence qui existe entre les fossiles égyptiens d'*Eotheroides* et le fossile de Janovas est la taille plus importante du fossile espagnol par rapport aux siréniens égyptiens. Par exemple, l'humérus d'*Eotheroides clavigerum* mesure 16,2 cm de long alors que celui du sirénien espagnol mesure 27,0 cm de long. Le fragment d'humérus droit de ?Dugongidae indet. de l'Eocène moyen d'Arrasate présente lui aussi les mêmes caractéristiques anatomiques que celui du fossile de Janovas. Ce dernier est lui aussi plus grêle que l'humérus étudié ici (Astibia *et al.*, 2010). Toutes les caractéristiques anatomiques du fossile de Janovas sont très proches de celles des différentes découvertes de ?Dugongidae indet. dans l'Eocène des Pyrénées espagnoles (Astibia *et al.*, 2005, 2006, 2010; Pilleri *et al.*, 1989). Les taxons *Eotheroides* et *Prototherium* ont des morphologies très proches (Astibia *et al.*, 1999; Zigno, 1875) mais les tailles diffèrent légèrement entre les deux taxons. Classiquement les fossiles de siréniens lutétiens des Pyrénées espagnoles sont attribués au genre *Prototherium* alors que ceux du bassin aquitain (France) sont attribués au genre *Eotheroides* (Astibia *et al.*, 1999). D'après toutes ces informations, le sirénien de Janovas semble correspondre à une grande forme de ?Dugongidae indet. dont le genre reste à préciser. Actuellement, la préparation de ce fossile est dirigée par les paléontologues de l'Université de Saragosse. Lorsque le squelette du

sirénien de Janovas sera entièrement dégagé, une étude anatomique détaillée complémentaire sera effectuée par l'équipe paléontologique du Département des Sciences de la Terre, Aragosaurus de l'Université de Saragosse.

3. CONTEXTES STRATIGRAPHIQUE ET SÉDIMENTOLOGIQUE DU SITE PALÉONTOLOGIQUE DE JANOVAS

Le niveau fossilifère du site paléontologique de Janovas se situe au toit de l'Unité des Calcaires de Boltaña (Yprésien supérieur-Lutétien inférieur). Cette série carbonatée constitue les premiers dépôts sédimentaires de la formation des Calcaires de Guara. Le site est recouvert en discordance progressive par le grand ensemble des marnes grises de la Formation d'Hecho (Lutétien) (Salaün & Sterbik, 2011; Salaün *et al.*, 2011), épaisse de plus de 1000 m dans le secteur ouest de l'anticlinal de Boltaña. La géométrie de dépôt de cette série marneuse traduit l'aspect syn-sédimentaire du pli et l'approfondissement important des bassins de part et d'autre de la structure au cours du Lutétien (Vautier, 1999). Plus au sud, dans le secteur de Sarsa-de-Surta, Paules et Alquezar, les marnes du groupe de Hecho disparaissent progressivement à la faveur des calcaires de plateforme d'Asba (Lutétien moyen), unité supérieure de la formation des calcaires de Guara. L'anticlinal de Boltaña, dissymétrique et déversé vers l'ouest, a subi une rotation structurale de sens horaire entre le Cuisien terminal et le Lutétien supérieur; il correspond au pli de rampe latérale occidentale de la nappe des Sierras marginales (Duguey, 1994).

3.1. Les calcaires de Boltaña de l'Unité de Guara (Yprésien supérieur-Lutétien)

Cet ensemble peut se diviser en cinq faciès calcaires distincts séparés par des surfaces d'érosion ou d'arrêts de sédimentation (Fig. 5).

Les calcaires massifs bioclastiques à foraminifères et bivalves (Fig. 5A): Ce premier faciès ressort dans le paysage sous la forme d'une épaisse lame de calcaire pouvant atteindre 4 ou 5 m de puissance. C'est un calcaire gris clair massif très bioclastique de texture *packstone*. Il est constitué principalement de foraminifères benthiques de la famille des nummulitidés (Mutti *et al.*, 1972). De nombreux bioclastes de différentes natures sont visibles en microfaciès: coraux, bivalves (ostréidés) et échinodermes indéterminables. Au nord du site paléontologique de Janovas, il est possible d'observer de grandes rides progradantes typiques d'un environnement marin de plateforme peu profonde (infralittoral) (Salaün & Sterbik, 2011).

Les calcaires gris à textularidés (Fig. 5): Ce second faciès est moins compétent que le précédent. Il ne ressort

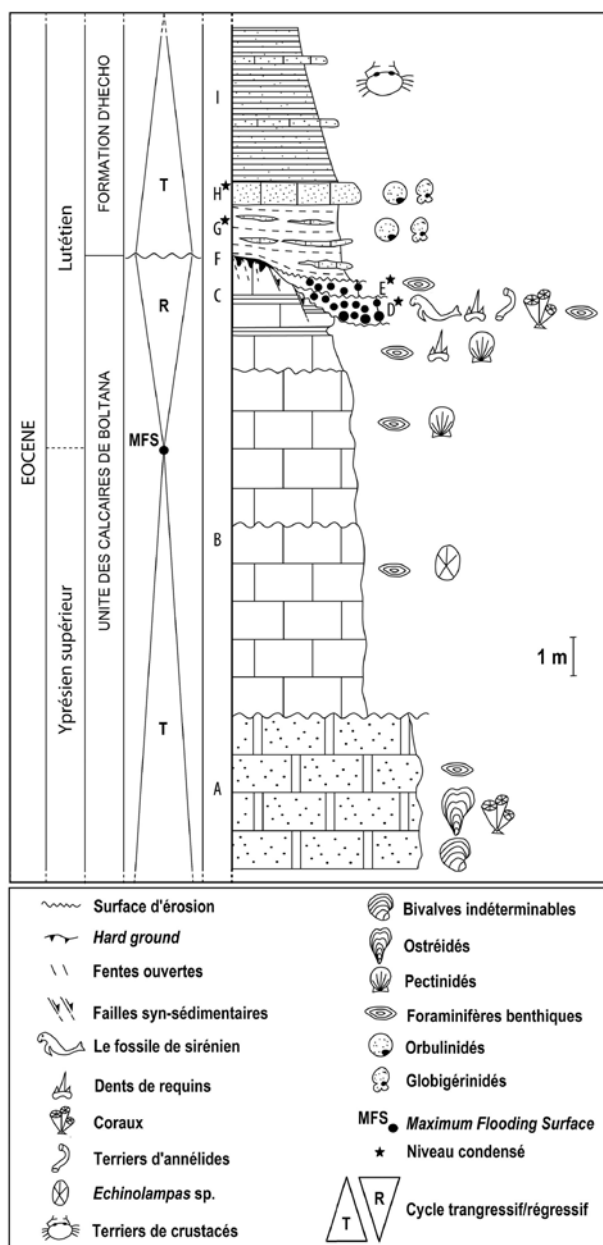


Fig. 5: Colonne lithostratigraphique du site paléontologique de Janovas. A: les calcaires massifs bioclastiques à foraminifères et bivalves, B: les calcaires gris à textularidés, C: l'alternance marno-calcaire à foraminifères, D: le premier *debris flow*, E: le second *debris flow*, F: la surface de discontinuité entre l'Unité des Calcaires de Boltaña et la Formation d'Hecho, G: les marnes grises glauconieuses, H: le banc de calcaire vert à glauconie, I: l'alternance de marnes grises et de bancs de siltites.

que légèrement dans le paysage sous la forme de bancs décimétriques serrés à la patine jaune sur une épaisseur pouvant atteindre 10 m. Ces calcaires ont une couleur grise à la cassure. Il présente de nombreux bioclastes dont principalement des foraminifères nummulitidés et des bivalves indéterminés. Deux gros oursins fousseurs

(*Echinolampas* sp.) ont été observés. Aucune structure sédimentaire n'a été observée dans ce faciès. Mais il est communément admis dans la bibliographie que la limite entre l'Yprésien et le Lutétien se situe dans ce faciès (Vautier, 1999). Au niveau de cette transition, un petit cycle sédimentaire régressif va s'amorcer après une surface d'inondation maximale (MFS), marqué par une concentration très importante en foraminifères planctoniques de la famille des textularidés indiquant un approfondissement de la plateforme carbonatée (infralittoral inférieur) (Salaün & Sterbik, 2011).

L'alternance marno-calcaire à foraminifères (Fig. 5): Ce nouveau faciès correspond à une alternance de bancs calcaires décimétriques et d'interlits marneux de quelques centimètres de puissance. Ces marnes sont compactées et de couleur grise. Ce faciès peut atteindre 3 à 4 m de puissance. De nombreux fossiles marins de l'infralittoral ont été observés: foraminifères benthiques (nummulitidés, orbitoïdés), des bivalves (pectinidés, ostréidés), des débris d'échinodermes indéterminables et quelques dents de sélaciens (lamnidés). Les seules structures sédimentaires visibles dans ce faciès sont des granoclassesment positifs de bioclastes indiquant une sédimentation progressive entre la base d'un banc de calcaire et le toit du niveau de marne qui le superpose. Le toit de ce faciès est perturbé localement par de petites failles syn-sédimentaires parfois associées à des perforations de mollusques lithophages.

Le premier *debris flow* contenant le fossile de sirénien (Fig. 5): Cette première coulée gravitaire s'étend sur une surface d'environ 50 m². L'épaisseur maximale du lobe est de 1,2 m (niveau condensé). Ce corps sédimentaire biseau vers l'est. Sa base est érosive. Un léger granoclassesment positif est visible à sa base. Les éléments constituant ce *debris flow* sont principalement des galets (intraformationnels et perforés d'animaux lithophages) de différentes tailles (centimétriques à décimétriques) et des fossiles cassés et déplacés de l'intertidal-infralittoral supérieur (coraux hexacoralliaires, ostréidés, *Vermetus* sp.). Tout le long du flanc ouest de l'anticlinal de Boltaña, les coulées de débris contemporains à ce premier *debris flow* contiennent tous une faune marine de l'intertidal-infralittoral supérieur dont les principaux représentants sont de très gros fragments de récifs de coraux hexacoralliaires pouvant atteindre un volume d'un mètre cube. Les auteurs citent à plusieurs reprises la présence d'un ancien récif de coraux associé à un environnement de moindre profondeur (intertidal à infralittoral supérieur) dont les seuls témoins restants à l'affleurement correspondent à ces fossiles pris dans ces différentes coulées de débris (Vautier, 1999; Razin *et al.*, 2010). Le squelette de sirénien a été trouvé dans la partie centrale de ce premier *debris flow* mélangé aux fossiles de l'intertidal-infralittoral supérieur. Tous ces éléments sont englobés d'une boue calcaire grise. Ce

faciès correspond à une coulée gravitaire unique qui s'est effectuée sur une pente faible de l'intertidal-infralittoral supérieur vers l'infralittoral franc.

Le second debris flow (Fig. 5): Une seconde coulée gravitaire érode la première. Son lobe a de plus faibles dimensions: une surface d'environ 20 m² et une épaisseur maximale de 0,6 m (niveau condensé). Toutes les caractéristiques pétrographiques et paléontologiques sont identiques à celles du premier *debris flow*.

3.2. La surface de contact entre les Calcaires de Boltaña et la Formation d'Hecho (Fig. 5)

Cette surface est entaillée dans le paysage par un profond talweg et se caractérise par un contraste de couleur entre les calcaires de Boltaña de patine orangée et les marnes grises à bleutées de la Formation d'Hecho. Dans le détail, cette surface de discontinuité est un fond durci (*hard ground*) portant des perforations d'animaux lithophages (bivalves et annélides) ainsi que quelques rares coraux isolés et des bryozoaires celleporiformes. Cette surface est verdie par un léger film de glauconie. De petites failles syn-sédimentaires en marches d'escalier, bien visibles à proximité directe des deux *debris flows*, morcellent la surface en fragments décimétriques polygonaux. Ces derniers ainsi désolidarisés de la surface ont, en partie, alimenté les coulées gravitaires.

Toutes ces observations montrent clairement que cette surface marque le début d'un nouveau cycle transgressif dans le Lutétien: la mise en place des dépôts de bassin de la Formation d'Hecho (Razin *et al.*, 2010).

3.3. Les marnes de la Formation d'Hecho (Lutétien)

Sur le site paléontologique de Janovas, cette formation géologique recouvre la formation des Calcaires de Boltaña sur une trentaine de mètres d'épaisseur.

Les marnes grises glauconieuses (Fig. 5): Au niveau du site paléontologique, la Formation d'Hecho commence par un faciès de marnes grises très riches en glauconie et en foraminifères planctoniques. Ces marnes ont une épaisseur variant de 1,6 à 2 m (niveau condensé). Elles présentent quelques passées discontinues de calcaires mal consolidés (cimentation diagénétique). De fines lamines sont visibles en microfaciès, indiquant une décantation des sédiments en milieu calme. De très nombreux foraminifères planctoniques sont visibles en microfaciès (orbulinidés et globigérinidés) indiquant un environnement marin profond (circalittoral) et confirmant ainsi un nouveau cycle transgressif dans le bassin.

Le banc de calcaire vert à glauconie (Fig. 5): Le faciès précédent est chapeauté par un banc continu de

calcaire glauconieux d'une cinquantaine de centimètres d'épaisseur (niveau condensé). Il contient lui aussi de très nombreux foraminifères planctoniques (orbulinidés et globigérinidés). Aucune structure sédimentaire n'a été observée dans ce banc à cause de la bioturbation. Ce faciès est dans la même logique sédimentaire que le précédent.

L'alternance de marnes grises et de bancs de siltites (Fig. 5): Ce dernier faciès est le plus développé de la Formation d'Hecho. Cette alternance est dominée par des marnes grises à bleutées. Quelques rares bancs de siltites (lobes turbilitiques) centimétriques zèbrent ce faciès. Au nord du village de Janovas, de nombreuses structures sédimentaires liées à des déstabilisations syn-sédimentaires sont visibles dans cet ensemble de marnes: slumps, surface de tronçatures, coulées turbilitiques massives, conglomérat de galets mous (Vorin & Morin, 2012). De rares fossiles sont représentés principalement par des bioturbations d'annélides et de crustacés et quelques oursins (*Shizaster* sp.). Des bioclastes profonds sont visibles dans les résidus de lavage des marnes: ostracodes, spicules de spongiaires et de rares foraminifères planctoniques. Dans les bancs de siltites, les bioclastes sont nombreux, cassés et provenant de l'infralittoral: foraminifères benthiques (nummulitidés, orbitoïdés), bivalves (pectinidés) et gastéropodes (*Cerithium* sp.). Cette alternance correspond à des dépôts profonds de bassin calme (circalittoral-limite bathyal) où la décantation des marnes alterne avec de petites coulées turbilitiques provenant de l'infralittoral.

4. CONTEXTE TECTONIQUE DU SITE PALÉONTOLOGIQUE DE JANOVAS

Ce calendrier tectonique peut se diviser en trois principaux épisodes:

4.1. Contexte tectonique général à la fin de la mise en place de la plateforme carbonatée de l'Unité des Calcaires de Boltaña (Yprésien supérieur-Lutétien)

A l'Yprésien, la région atteint un maximum d'inondation locale liée à la fin de la surrection de l'anticlinal du Mediano: la rampe latérale du Montsech cesse progressivement son activité alors que débute un peu plus à l'ouest la déformation liée à la mise en place de la nappe des Sierras Marginales (Coulardeau & Riess, 2010). L'anticlinal de Mediano, dans sa position nord-sud, surélève la plateforme carbonatée à l'est du futur bassin d'Ainsa (Vergès & Muñoz, 1990) entraînant en direction de l'ouest un approfondissement du milieu de dépôt qui devient progressivement circalittoral: dépôt des calcaires à foraminifères planctoniques (Duguey, 1994).

4.2. La tectonique syn-sédimentaire à la fin de la mise en place de l'Unité des Calcaires de Boltaña (Yprésien terminal-Lutétien inférieur)

Lors du passage entre l'Yprésien et le Lutétien, un léger cycle régressif va s'amorcer dans la région comme le prouve le dépôt de barres calcaires riches en foraminifères benthiques de l'infra-littoral. La rampe latérale ouest des Sierras Marginales, décrochevauchante, est active et se traduit en surface à cette époque par l'amorce de la structuration de l'anticlinal de Boltaña (Roure *et al.*, 1972; Roure *et al.*, 1989). Cette déformation se caractérise par le dépôt en éventail des dernières barres calcaires de la Formation de Boltaña (Vautier, 1999), et la présence de failles syn-sédimentaires (Fig. 6) parallèles au plan axial du pli associées aux *debris flow*. Ces déformations, enregistrées dans la sédimentation au début du Lutétien, annoncent le début de la structuration de l'anticlinal de Boltaña selon un axe initial de direction azimutale N110 degrés. La flexure des couches entraîne une diminution de la bathymétrie au niveau de la voûte du pli et, par conséquent, une relative augmentation de la tranche d'eau, sur ses flancs, qui restera modeste tout le temps de la période de régression (Vorin & Morin, 2012).

4.3. Contexte tectonique pendant la mise en place des marnes de la Formation d'Hecho (Lutétien)

Au cours du Lutétien inférieur et moyen, après la mise en place des dépôts carbonatés de la Formation de Boltaña, la région entre dans une période de transgression brusque et importante. Cet épisode sédimentaire se caractérise par le passage d'une plateforme carbonatée de l'infra-littoral-intertidal (formation supérieure des calcaires de Boltaña) à un environnement de bassin profond circalittoral inférieur (formation des flyschs de Hecho) (Dubois & Laget, 2012). Cette période correspond également à la phase de structuration majeure de l'anticlinal de Boltaña et au comblement des bassins d'Ainsa à l'est et de Jaca à l'ouest. Le pli continue de se soulever et commence à se déverser vers l'ouest tout en opérant progressivement une rotation structurale de sens horaire qui lui confèrera sa géométrie actuelle : un axe de direction N110 degrés au nord (secteur de Broto/Fanlo) qui évolue vers le sud, depuis Fanlo jusqu'à Paulas de Sarsa selon une direction subméridienne. Les marnes de la Formation d'Hecho sont contemporaines de la structuration de l'anticlinal de Boltaña et se déposent ainsi en éventail sur les dernières barres calcaires de la Formation de Boltaña. L'enregistrement de la déformation du pli dans la sédimentation marneuse de Hecho se caractérise par la présence de nombreuses figures de déstabilisations sédimentaires, slumps, olistolites de calcaire de Boltaña et plis gravitaires.

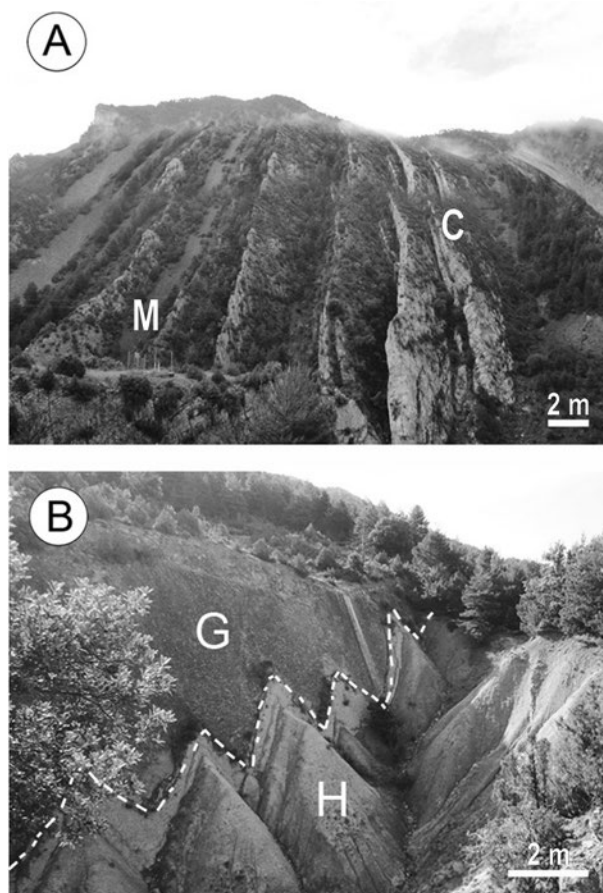


Fig. 6: Le contexte géologique du site paléontologique de Janovas. A: les calcaires massifs (C) et les marnes (M) de l'unité de Boltaña, B: le contact entre l'unité des Calcaires de Boltaña (G) et les marnes d'Hecho (H).

5. CONTEXTE TAPHONOMIQUE

Le fossile de sirénien de Janovas est intégralement pris dans le premier *debris flow* du Lutétien. Il est mélangé avec des galets intraformationnels et de nombreux bioclastes marins cassés (coraux hexacoralliaires, pectinidés et ostréidés indéterminables, terriers de crustacés, dents de lamnidés indéterminables). Des traces d'érosion moderne (atmosphérique, chimique, gélifraction) sont visibles sur tous les os du squelette : éclatement des fibres osseuses, fractures franches et esquilleuses (Fig. 3). Une dizaine de dents cassées de sélaciens (lamnidés indéterminables) ont été trouvées autour du squelette et à proximité directe avec les os. Même si aucune trace de prédation n'est visible directement, cette observation laisse supposer que des requins ont dû charogner la carcasse du sirénien. La majeure partie des os du squelette est encore en connexion anatomique (Fig. 4). Mais il est possible d'observer des désarticulations à différents stades. L'humérus droit, les vertèbres lombaires et 8 côtes gauches sont complètement détachés du squelette et se retrouvent

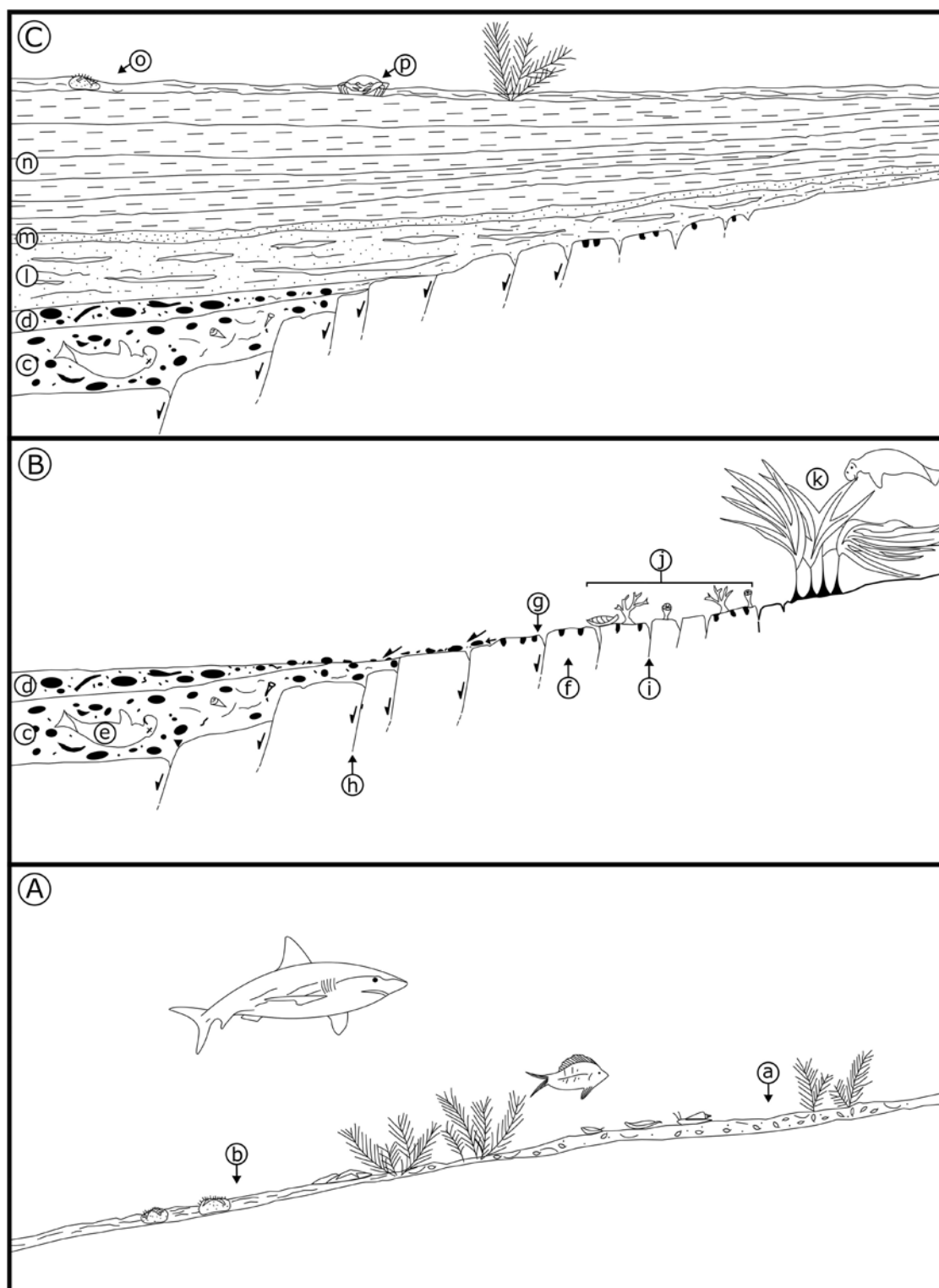


Fig.7: Reconstitutions paléoenvironnementales schématiques et sans échelle du site paléontologique de Janovas. A: la plateforme carbonatée de l'Unité de Boltaña (Yprésien supérieur-Lutétien), B: la sédimentation des deux *debris flows* (Lutétien), C: le bassin à remplissage turbiditique de la Formation d'Hecho (Lutétien), a: le sable à foraminifères benthiques, b: la vase à *Echinolampas* sp., c: le premier *debris flow*, d: le second *debris flow*, e: le fossile de sirénien, f: le calcaire de la Formation de Guara, g: le *hard ground* à traces de mollusques lithophages, h: les failles normales syn-sédimentaires, i: les fentes ouvertes, j: la faune fixée sur le *hard ground* (coraux, bryozoaires, mollusques), k: la prairie à algues de l'intertidal où les siréniens vivaient, l: les marnes grises glauconieuses, m: le banc de calcaire vert à glauconie, n: l'alternance de marnes grises et de bancs de siltites, o: les vases à *Schizaster* sp., p: les vases à crustacés décapodes.

isolés (Fig. 4). La tête du sirénien a été complètement séparée des vertèbres cervicales. L'atlas n'est plus dans l'axe du cou. Un détachement net est visible entre les vertèbres thoraciques 4 et 5. Les côtes gauches sont désorganisées, en partie arrachées des vertèbres et forment un « éventail ». Au contraire, les côtes droites sont rangées et organisées. Une apophyse latérale de la vertèbre thoracique 1 est cassée et se retrouve détachée à 8,0 cm au-dessus de la vertèbre thoracique 2. Toutes ces informations laissent supposer que plusieurs tendons et muscles de la carcasse étaient encore présents. Mais les importantes désarticulations ainsi que la fracture nette de la vertèbre thoracique 1 nous informent que les muscles et les tendons présents du corps du sirénien étaient déjà souples et désagrégés en grande partie. Il est donc fort probable que le sirénien de Janovas était déjà à l'état de cadavre avant d'être emporté et désarticulé par la coulée boueuse.

6. MISE EN ÉVIDENCE D'UNE RELATION ENTRE LE CONTEXTE TAPHONOMIQUE ET LA TECTONIQUE LUTÉTIENNE

Pendant toute la fin de l'Yprésien et le début du Lutétien (Formation de Guara), la région entre Boltaña et Janovas correspond à une grande plateforme carbonatée peu profonde dont la bathymétrie varie du nord vers le sud entre l'intertidal et l'infralittoral franc (Marchandise, 1997; Vautier, 1999). Cet environnement marin, calme, à faibles courants sous-marins permet les dépôts de calcaires et de marnes bioclastiques à foraminifères (Fig. 7). La mise en place de petites failles normales d'extrado syn-sédimentaires, disposées en escalier et parallèles à l'axe nord-sud du pli de Boltaña, est associée à de nombreux glissements sous-marins (turbilites, slumps, *debris flow*), dont les écoulements, obliques à l'axe du pli, apportent des faunes de l'intertidal-infralittoral supérieur dans l'infralittoral franc (Vautier, 1999). C'est dans ce même contexte tectono-sédimentaire, à la faveur du premier *debris flow* visible sur le site, que le cadavre du sirénien de Janovas a été transporté depuis l'intertidal-infralittoral supérieur jusque dans l'infralittoral franc (Fig. 7). Pour finir, les marnes de la formation d'Hecho recouvriront en discordance progressive les calcaires massifs de plateforme de l'Unité de Boltaña (Fig. 7).

7. CONCLUSION

Même si des fossiles de ?Dugongidae indet. de l'Eocène sont déjà connus dans les Pyrénées espagnoles (Astibia *et al.*, 1999, 2010; Badiola *et al.*, 2011; Pilleri *et al.*, 1989), le squelette de Janovas est la première découverte de ce type dans les calcaires de la Formation de Guara de l'ouest de l'anticlinal de Boltaña. L'originalité du site paléontologique de Janovas tient au fait que la

conservation du fossile de sirénien est directement liée à des phénomènes tectoniques éocènes. Habituellement, les squelettes de siréniens sont conservés dans des faciès de faible profondeur et d'environnement de faible énergie à calme, ce qui n'est pas le cas sur le site de Janovas où le sirénien a été transporté dans l'infralittoral par un *debris flow* à la faveur de la tectonique syn-sédimentaire directement liée aux prémices du flexuration de l'anticlinal de Boltaña (Vautier, 1999). Ce type de contexte taphonomique si particulier – en relation avec un fossile de sirénien – est le seul connu à ce jour dans l'Eocène des Pyrénées espagnoles.

REMERCIEMENTS

Nous remercions tous les étudiants de l'Institut Polytechnique UniLaSalle (site de Beauvais) ayant travaillé sur le site de Janovas: J. Salaün, N. Sterbik, A. Barrier, Q. Régnault, M. Grégoire, Q. Fayard et P. Cachén. Nous remercions D. P. Domning du National Museum of Natural History de Washington de nous avoir donné son avis sur le sirénien fossile de Janovas. Merci aussi à R. Rateau et B. Cossard d'avoir participé à la réalisation des figures de ce travail. Nous remercions aussi les rapporteurs ainsi que L. Cavin du Muséum d'histoire naturelle de Genève pour leurs relectures et leurs conseils.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Astibia H., Murelaga X., Payros A., Pereda X. & Tosquella J. 1999. Tortugas y sirenios fósiles en el Eocene marino de Navarra y Cuenca de Jaca. *Geogaceta*, 25: 15-18.
- Astibia H., Payros A., Pereda-Suberbiola X., Elorza J., Berreteaga A., Etxebarria N., Badiola A. & Tosquella J. 2005. Sedimentology and taphonomy of sirenian remains from the Middle Eocene of the Pamplona Basin (Navarre, western Pyrenees). *Facies*, 50: 463-475.
- Astibia H., Pereda-Suberbiola X., Bardet N., Payros A., Berreteaga A. & Badiola A. 2006. Nuevos fósiles de sirenios en el Eocene medio de la Cuenca de Pamplona (Navarra). *Revista Española de Paleontología*, 21: 79-91.
- Astibia H., Bardet N., Pereda-Suberbiola X., Payros A., Buffrénil V. De, Elorza J., Tosquella J., Berreteaga A. & Badiola A. 2010. New fossils of Sirenia from the Middle Eocene of Navarre (Western Pyrenees): the oldest West European sea cow record. *Geological Magazine*, 147(5): 665-673.
- Badiola A., Pereda-Suberbiola X., Bardet A., Humberto A., Berreteaga J. L., Canudo J. L. & Cuenca-Bescós G. 2011. Eocene mammalian fossil record and biodiversity from Iberia: new primate and sirenian discoveries and palaeobiogeographic implications. In: Lehmann T. & Schaal S. F. K. (Eds), *The World at the Time of Messel: Puzzles in Palaeobiology, Palaeoenvironment and the History of Early Primates*, 22nd International Senckenberg Conference Frankfurt am Main, 15th - 19th November 2011, conference volume: p. 27.

- Bizzota B. 2005. La struttura cranica di *Prototherium intermedium* (Mammalia: Sirenia) dell'Eocene superiore Veneto. Nuovi contributi alla sua anatomia e sistematica. *Lavori della Società Veneziana di Scienze Naturali*, 30: 107-125.
- Canerot S. J.-P., Colin J.-P., Platel J.-P. & Bilotte M. 2008. *Pyrénées d'hier et d'aujourd'hui*. Atlantica Editions, Pau, 516 pp.
- Coulardeau S. & Riess A. 2010. *Caractérisation tectonique et sédimentaire du scellement de l'anticlinal de Boltaña par les premiers dépôts du Bassin de Jaca à l'Eocène moyen-supérieur: discordance progressive sur Méga-Troncature (Rampe latérale ouest de la nappe des Sierras Marginales, Aragon, Espagne)*. Mémoire d'Aptitude à la Géologie de 3^e année, cycle général, LaSalle Beauvais, Beauvais, 494, 105 pp.
- Dubois V. & Laget F. 2012. *Etude des séries Paléocène/Eocène du flanc est de l'anticlinal de Boltaña par analyse séquentielle: relations avec la déformation (Bordure NW de la zone Sud Pyrénéenne Centrale, Aragon, Espagne)*. Mémoire d'Aptitude à la Géologie de 3^e année, cycle général, LaSalle Beauvais, Beauvais, 588, 100 pp.
- Duguey E. 1994. *Relation entre déformation, contraintes et sédimentation dans une zone pyrénéenne transverse: le couloir méridien Turbon-Roda de Isabena*. Thèse de l'Université de Paris VI, Paris, 298 pp.
- Legendre H. & Nicolas H. 2015. *Etude sédimentologique et structurale de la bordure sud-ouest de l'anticlinal de Boltaña avec sa limite avec le bassin de Jaca au niveau du village de Campodarbe (Aragon, Espagne)*. Mémoire d'Aptitude à la Géologie de 3^e année, cycle général, LaSalle Beauvais, Beauvais, 711, 152 pp.
- Marchandise B. 1997. *Etude préliminaire de l'anticlinal de Boltaña entre Arcusa et Almazorre*. Mémoire d'Aptitude à la Géologie de 5^e année, cycle général, Institut Géologique Albert-de-Lapparent, Cergy, 170, 90 pp.
- Mutti E., Lutterbacher H., Ferrer J. & Rosell J. 1972. Schema stratigrafico e lineamenti di facies del Paleogene marino della zona centrale sudipirenica tra Tremp (Catalogna) e Pamplona (Navarra). *Memorie - Società Geologica Italiana*, 11: 391-416.
- Pilleri G., Biosca J. & Via L. 1989. *The Tertiary Sirenia of Catalonia*. Ostermundigen: Brain anatomy Institute, University of Berne, 98 pp.
- Razin P., Grelaud C., Odone F. & Debroas E.-J. 2010. *Les systèmes de dépôts tertiaires de la bordure méridionale du bassin sud-pyrénéen dans la Sierra de Guara, contrôle tectonique de la sédimentation et instabilités gravitaires*. RST2010-Bordeaux, livret d'excursion ASF-AGSO, 90 pp.
- Roure F., Choukroune P., Berastteugui X., Muñoz J.-A., Villien A., Matheron P., Bareyt M. & Séguret M. 1972. *Etude tectonique des nappes et séries décollées de la partie centrale du versant sud des Pyrénées (Espagne), caractères synsédimentaires, rôle de la compression et de la gravité*. Série Géologie Structurale, 2, 155 pp.
- Roure F., Choukroune P., Berastteugui X., Muñoz J.-A., Villien A., Matheron P., Bareyt M., Séguret M., Camara P. & Deramond J. 1989. Ecors Deep Seismic Data and balanced cross sections: geometric constraints on the evolution of the Pyrenees. *Tectonics*, 8(1): 41-50.
- Salaün J. & Sterbik N. 2011. *Analyse par stratigraphie séquentielle des séries Paléocène-Eocène inférieur du flanc ouest de l'anticlinal de Boltaña: relation avec la déformation (rampe latérale ouest de la nappe des Sierras Marginales, Aragon, Espagne)*. Mémoire d'Aptitude à la Géologie de 3^e année, cycle général, LaSalle Beauvais, Beauvais, 563: 122 pp.
- Salaün J., Sterbik N., Gagnaison C., Proudhon B. & Vautier Y. 2011. Unique preservation of a skeleton of a fossil sirenian from the Early Lutetian in a debris flow associated to the formation of the Boltaña anticline (Central South Pyrenean Zone, Aragon, Spain). *Congrès A. S. F., Dijon*, poster.
- Vautier Y. 1999. *Cinématique Eocène-Oligocène du pli méridien de Boltaña, relations avec la sédimentation (Aragon, Espagne)*. Mémoire d'Aptitude à la Géologie de 5^e année, cycle général, Institut Géologique Albert-de-Lapparent, Cergy, 122: 188 pp.
- Vergès J. & Muñoz J. A. 1990. Thrust sequences in the Spanish Central Pyrenees. *Bulletin de la Société Géologique de France.*, 8: 265-271.
- Vorin A. & Morin Y. 2012. *Etude par stratigraphie séquentielle et analyse structurale du passage latéral de faciès entre la formation de Guara et les flyschs d'Hecho sur le flanc ouest de l'anticlinal de Boltaña (Aragon, Espagne)*. Mémoire d'Aptitude à la Géologie de 3^e année, cycle général, LaSalle Beauvais, Beauvais, 600: 160 pp.
- Zalmout I. S. 2008. *Late Eocene sea cows (Mammalia, Sirenia) from Wadi Al Hitan in the Fayum basin, Egypt*. Doctorat de Géologie, Université du Michigan: 382 pp.
- Zigno A. DE 1875. Sireнии fossili trovati nel Veneto. *Memorie dell' Real Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti*, 18: 427-456.