

Volume 9 - 2022

CARNETS NATURES



Carnetsnatures.fr

CARNETS NATURES

Carnets natures.fr

Les **Carnets natures** (ISSN 2427-6111 en ligne) sont destinés à constituer un vecteur rapide de diffusion d'articles traitant de sujets naturalistes, dans tous les domaines des sciences de la Nature : botanique, lichénologie, entomologie, géologie, paléontologie, minéralogie, histoire des sciences,... Ces travaux intéressent le territoire français.

Les **Carnets natures** n'accueillent que des travaux originaux, en français ou en anglais, excluant toute compilation ou revue bibliographique.

Une relecture par des pairs et le **Comité de lecture** permanent de la revue sont garants de la qualité des contenus qui répondent au standard des publications scientifiques de niveau international.

Les **Carnets natures** sont une édition de l'**ASNAT** (Amis des Sciences de la Nature) association dont le siège social est hébergé par le **Muséum d'Histoire naturelle de Gaillac** (Tarn, France).

Les articles sont disponibles en Open Access : Accès libre, gratuit, immédiat et permanent. Aucun frais n'est demandé aux auteurs ou à leurs institutions pour la soumission ou la publication de leur article. La consultation et le téléchargement des articles ne sont soumis à aucun enregistrement préalable obligatoire, à aucun frais d'abonnement, ni à aucune contribution financière.

Les articles sont déposés et sauvegardés sur la plate-forme d'archives ouvertes HAL (Hyper Articles en Ligne) sur laquelle ils peuvent être visualisés et téléchargés librement : <https://hal.archives-ouvertes.fr/search/index?q=Carnets+natures> Ces documents sont automatiquement versés sur la plate-forme d'archivage pérenne du **CINES** pour une sauvegarde à long terme.

Comité éditorial

Abdellatif Chemsseddhoa
Clother Coste
Laurent Cournault
André Laforge
Jacques Magontier
Claude Majesté-Menjoulas
Daniel Martin

Informations et soumission de manuscrits

Philippe Fauré
1 Avenue de Lavar, 81100, Castres, France
Email : contact@carnetsnatures.fr
<https://carnetsnatures.fr>

DOAJ

DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

La revue est certifiée dans le répertoire de revues en open access
Directory of open access journal (DOAJ).

Les articles et les actes nomenclatureaux sont enregistrés dans la base de données **ZooBank**.
<https://zoobank.org/6CED0C0F-D0EA-49D7-9C35-9CB592DCF35A>

Photo de couverture : *Ventocoris rusticus* (Fabricius, 1781), Avignonnet-Lauragais (Haute-Garonne)

CARNETS NATURES

- Lejeune Romain et Savon Christophe.** Observations de la punaise *Ventocoris rusticus* (Fabricius, 1781) (Hemiptera – Pentatomidae) en plusieurs localités du Lauragais (Aude et Haute-Garonne, France).
Carnets natures, 2022, vol. 9
1-9
- Chaix Xavier et Plicot Jérôme.** Les gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales, aux environs de Sougraigne (Aude, France). Sixième étude.
Carnets natures, 2022, vol. 9 :
11-19
- Fauré Philippe.** Le bassin stéphano-permien de Réalmont Un bassin post-varisque peu connu de la partie méridionale du Massif Central. Essai de synthèse.
Carnets natures, 2022, vol. 9 :
21-43
- Bertrand Jean, Coste Clothier et Garrigue Joseph.** Première contribution à l'étude des diatomées de la réserve naturelle nationale de la forêt de la Massane (Pyrénées-Orientales).
Carnets natures, 2022, vol. 9 :
45-66
- Chaix Xavier et Plicot Jérôme.** Les gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales, aux environs de Sougraigne (Aude, France). Septième étude.
Carnets natures, 2022, vol. 9 :
67-76
- Fauré Philippe.** Le Miocène marin (Burdigalien, Langhien) de l'Île Saint-Martin (Gruissan, Aude) Essai de synthèse.
Carnets natures, 2022, vol. 9 :
77-92



Ces articles sont protégés par les droits d'auteur, sans restriction, conformément au code de la propriété intellectuelle. Ils sont distribués sous la licence [Creative Common Attribution 4.0 International CC-BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Observations de la punaise *Ventocoris rusticus* (Fabricius, 1781) (Hemiptera – Pentatomidae) en plusieurs localités du Lauragais (Aude et Haute-Garonne, France)

Romain LEJEUNE¹ et Christophe SAVON²

Résumé

Nous relatons la découverte et les observations de la punaise pentatomidé, *Ventocoris rusticus* (Fabricius, 1781) dans le Lauragais, aux marges de son aire de distribution en France. Cette punaise se nourrit aux dépens de plantes du genre *Nigella* L. Une revue des informations disponibles est effectuée sur les aspects chorologiques et taxonomiques de l'insecte et de sa plante nourricière. Cinq observations de *V. rusticus* (Fabricius), distinctes géographiquement, ont été réalisées en 2021 par 3 observateurs. Les arguments en faveur d'une progression de l'espèce au sein de l'aire extra-méditerranéenne française, sont discutés.

Mots-clés : *Ventocoris rusticus*, Heteroptera, punaise, nigelle, chorologie.

Abstract

We relate the discovery and observations of the shield bug, *Ventocoris rusticus* (Fabricius, 1781) in Lauragais, at the margins of its distribution area in France. This bug feeds on plants of the genus *Nigella* L. A review of the available information is carried out on the chorological and taxonomic aspects of the insect and its food plant. Five geographically distinct observations of *V. rusticus* (Fabricius) were made in 2021 by three observers. The arguments in favor of a progression of the species within the French extra-Mediterranean area are discussed.

Key words : *Ventocoris rusticus*, Heteroptera, shield bug, nigella, chorology.

Ventocoris rusticus (Fabricius) est une punaise d'assez grande taille au sein de la faune des pentatomidés de France métropolitaine. Sa coloration est également assez remarquable, non pas qu'elle soit très vive, au contraire, elle attirerait plus le palais des gourmets que l'œil des naturalistes, par sa coloration contrastée rappelant un bonbon au chocolat fourré d'une crème à la vanille (**Fig. 1**). Cet aspect lui doit également d'être affublé du nom de « Tourteau fromager » (Lupoli & Dusoulier 2015) en référence à la spécialité culinaire du même nom.

1. Écologie et plantes nourricières

À l'instar de la majorité de ses semblables, il s'agit d'une espèce phytophage qui se nourrit du suc des plantes, préférentiellement celui contenu dans leurs fruits et graines. Elle appartient à un petit groupe d'espèces, le sous-genre *Ventocoris* (*sensu stricto*), qui est réputé oligophage sur un unique genre de plante : les nigelles *Nigella* L., 1753. Dans le monde, on compte une trentaine d'espèces de nigelles. Le centre

de diversité du genre se situe entre la région égéenne (plus de 12 taxons, en comptant les sous-espèces de *Nigella arvensis* L.) et la région irano-touranienne, de l'Anatolie au Kazakhstan (plus de 10 taxons également). Dans le bassin méditerranéen occidental, seule une espèce, de répartition ibéro-maghrébine, est indigène, la Nigelle d'Espagne *Nigella hispanica* L. En France, peuvent se développer spontanément *in natura* (c'est-à-dire, sans intervention humaine apparente directe), quatre espèces de nigelles (Tison *et al.* 2014) : la Nigelle d'Espagne *Nigella hispanica* L. (**Fig. 2A**), sous sa variété messicole (*var. hispanica*, alias Nigelle de France), la Nigelle des champs *Nigella arvensis* L. (**Fig. 2B**), la Garidelle *Nigella nigellastrum* (L.) Willk. (**Fig. 2C**) et la Nigelle de Damas *Nigella damascena* L. (**Fig. 2D**). Toutes sont vraisemblablement allochtones mais naturalisées depuis très longtemps (archéophytes) car elles accompagnent l'Homme cultivateur du Néolithique, soit de manière délibérée, comme espèce médicinale cultivée à l'image de la Nigelle de Damas (Heiss

1 - F-31290 Villefranche-de-Lauragais - romain.lejeune@nymphalis.fr

2 - F-31290 Villefranche-de-Lauragais - christophe.savon@nymphalis.fr



Fig. 1 - *Ventocoris rusticus*, Souilhe, Aude (11), 11 septembre 2021 (C. Savon).

& Oeggl 2005), soit de manière fortuite comme strictes messicoles pour les trois autres taxons. Une cinquième espèce, la Nigelle cultivée *Nigella sativa* L. (**Fig. 2E**), n'est pas autonome (c'est-à-dire, pouvant se naturaliser) en France et ne se rencontre que de façon occasionnelle au sein de jardins potagers.

Deux de ces espèces sont devenues très rares en France à l'instar d'autres messicoles, la Nigelle des champs et la Garidelle. Ces espèces ont peu de chances d'être rencontrées par un observateur, même averti, et certainement pas beaucoup plus par notre punaise. Ainsi, parmi ces espèces potentiellement nourricières, seules deux présentent des populations françaises assez importantes pour accueillir des populations viables de *V. rusticus* : la Nigelle de Damas, cultivée dans de très nombreux jardins et naturalisée dans les friches et pelouses méditerranéennes plus ou moins anthropisées, et la Nigelle d'Espagne, qui occupe essentiellement les cultures de céréales du tiers sud du pays et qui y est devenu rare, voire très rare, selon les secteurs. En France, *V. rusticus* est ainsi réputé monophage car les larves et les ponctions sont essentiellement observées sur la Nigelle de Damas (Péricart 2010 ; Lupoli & Dusoulhier 2015). L'écologie de l'espèce est donc en quelque sorte dictée par celle de la plante. Or, cette plante n'est

vraiment abondamment naturalisée qu'en zone méditerranéenne. C'est donc dans cette région et au sein de ces divers types d'habitats que la recherche de cette punaise est généralement tentée par les amateurs.

2. Chorologie et taxonomie

L'espèce *V. rusticus* posséderait actuellement (Dursun & Fent 2013) une assez vaste aire de répartition mondiale, concordant peu ou prou avec ce que les phytogéographes nomment l'aire méditerranéo-touranienne (ou méditerranéo-steppique) qui combine deux régions biogéographiques, la région méditerranéenne et la région irano-touranienne (steppes d'Asie centrale). Ainsi, globalement, elle se rencontrerait depuis le Maroc et la péninsule Ibérique, jusqu'à la dépression touranienne d'Asie centrale en passant par le Proche-Orient (jusqu'en Israël au sud) et la région sarmatique (steppes d'Europe orientale) d'Ukraine, au nord (Dursun & Fent 2013). Cette aire de répartition effective serait en fait quelque peu différente de celle évoquée dans l'ouvrage de référence de Péricart (2010) sur les pentatomidés euro-méditerranéens. Pour ce dernier auteur, trois espèces, vicariantes géographiques, se partageraient cette vaste aire de répartition : *Ventocoris trigonus* (Krynicky, 1871) dans la zone méditerranéenne

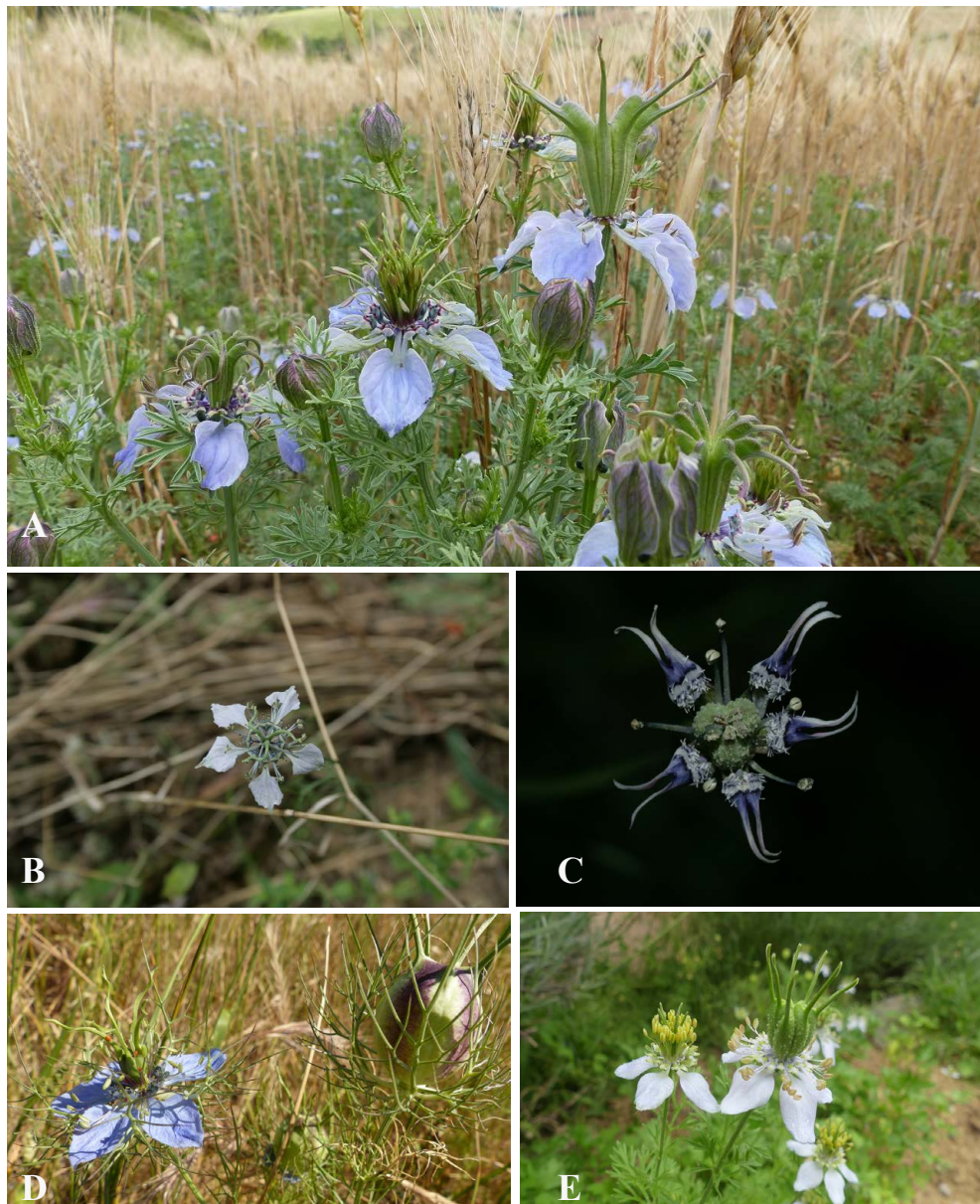


Fig. 2 - **A.** *Nigella hispanica* var. *hispanica*, Avignonet-Lauragais, Haute-Garonne (31), 18 juin 2015 (R. Lejeune) ; **B.** *Nigella arvensis*, Dun-sur-Auron, Cher (18), 3 août 2007 (R. Lejeune) ; **C.** *Nigella nigellastrum*, Vaucluse (84), 29 mai 2008 (R. Lejeune) ; **D.** *Nigella damascena*, Saint-Paulet, Aude (11), 5 juin 2015 (R. Lejeune) ; **E** - *Nigella sativa*, jardin, Haute-Garonne (31), 30 juin 2018 (R. Lejeune).

orientale et la zone pontique, *Ventocoris nigellae* (Fabricius, 1787), en Afrique-du-Nord et *V. rusticus* (Fabricius, 1781) au nord de la Méditerranée. Dursun et Fent (2013) mettent ces trois espèces en synonymie après une analyse des pièces génitales des mâles étudiés dans les collections de référence. Cette conception des auteurs turcs semble pouvoir être au moins étayée grâce à plusieurs faits qui concernent l'écologie de la section *Ventocoris*. Nous avons vu, en effet, qu'il n'y a, pour tout le bassin ouest-méditerranéen, qu'une seule espèce indigène de ce genre, la Nigelle d'Espagne, représentée

par au moins deux écotypes ou variétés, dont un présent en France. Or, cette espèce de nigelle n'est jamais citée comme plante-hôte nourricière de la punaise par les ouvrages de référence. Elle reste également introuvable par recherche internet ciblée, sur moteur de recherche classique ou sur la base de données du GBIF (Global Biodiversity Information Facility). Les espèces sur lesquelles des individus sont photographiés (nombreuses photos) dans cette base concordent en revanche parfaitement avec ce que livre la littérature (Péricart 2010 ; Dursun & Fent 2013 ; Lupoli & Dusoulier 2015 ; Rabitsch

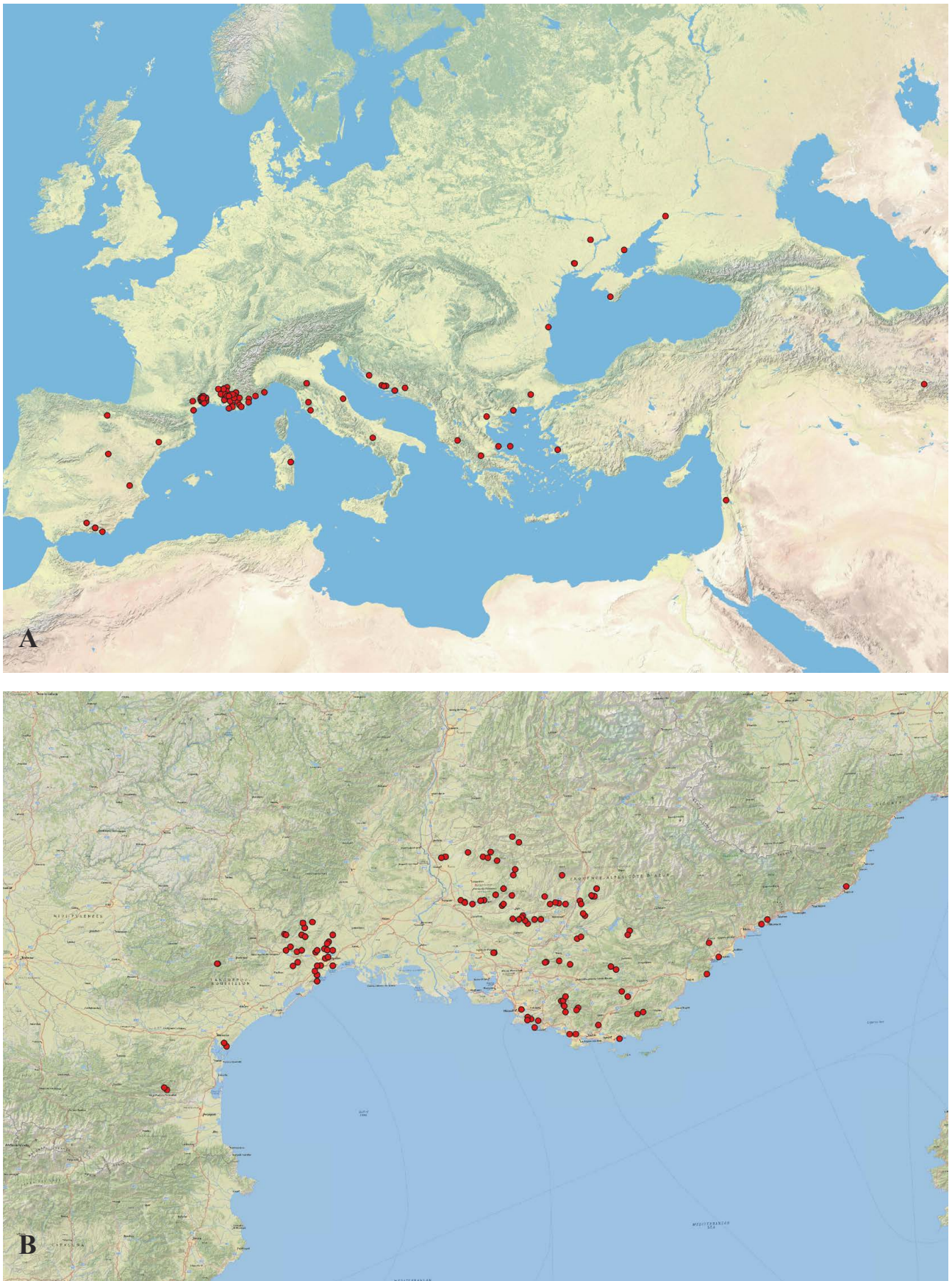


Fig. 3 - A. Localisation des observations mondiales de *V. rusticus* disponibles au sein de la base de données Global Biodiversity Information Facility (GBIF.org 2022) ; **B.** Localisation des données d'observations nationales de *V. rusticus* actuellement présentes dans la base de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (MNHN & OFB, 2022), additionnée des données nationales représentées au sein du GBIF (GBIF.org 2022).

2016) : *Nigella arvensis* L. (plusieurs taxons) et *Nigella damascena* L. apparaissent bien comme les deux principales plantes-hôtes. À ces deux espèces, nous pouvons rajouter également quelques individus photographiés sur *Nigella nigellastrum* (L.) Willk (photographies de Carlos Jimenez et Yael Orgad publiées sur le site *inaturalist*, consulté en février 2022). Toutes ces espèces étant originaires du bassin méditerranéen oriental, il apparaît également très probable que *V. rusticus* soit originaire de cette zone. Dans ce cas, l'existence d'un taxon *nigellae* qui utiliserait des plantes-hôtes introduites (Nigelle des champs et Nigelle de Damas), semble improbable d'un point de vue évolutif. Par ailleurs, la répartition originelle de *V. rusticus* recoupe alors sensiblement celle donnée pour *V. trigonus* (voir cartes de répartition in Péricart 2010), ce qui est également de nature à instiller un doute quand on connaît la proximité de l'habitus et des mœurs de ces deux espèces supposées.

Ainsi, à l'heure actuelle, le sous-genre *Ventocoris*, spécialiste des nigelles, comprendrait donc deux espèces originaires des centres de diversité du genre *Nigella* : *Ventocoris horvathi* (Puton, 1896) de la région irano-touranienne et *Ventocoris rusticus* (Fabricius) à large aire de répartition méditerranéo-touranienne mais à aire originelle vraisemblablement plus restreinte (zone égéenne comme *Nigella arvensis* ?) avant l'expansion de ses plantes-hôtes durant le Néolithique. La consultation de la base de données du GBIF (janvier 2022) fournit la carte suivante (**Fig. 3A**). Elle est très inégale avec une surreprésentation probable des données françaises (INPN, CEN PACA, Forum du Monde des insectes, pour les institutions les plus contributrices), et ne reflète vraisemblablement pas la fréquence ni la répartition exhaustive actuelle du taxon. Elle a le mérite, cependant, de proposer des observations très récentes et validées par des référents (R. Lupoli étant un validateur et contributeur important). Nous pouvons y noter la transgression de l'espèce hors de la région biogéographique méditerranéenne, en direction du nord-est (sud de l'Ukraine et Crimée) et de l'est. En effet, le secteur de présence ukrainien possède un climat de type continental à hivers froids et étés chauds avec des précipitations globalement faibles (< 500 mm), en dehors d'une très faible bande au sud de la Crimée considérée comme portant une végétation méditerranéenne en lien avec un climat équivalent (Douguedroit & Zimina 1987).

3. Distribution connue en France

L'espèce occupe seulement l'arc méditerranéen continental (**Fig. 3B**) avec un gradient de raréfaction notable dans les deux directions ouest-est, est-ouest, à

partir de la Provence et de la Région montpelliéraine, secteurs où l'espèce apparaît plus répandue sans y être *a priori* très commune (Lupoli & Dusoulier 2015). Elle est ainsi considérée comme rare à très rare dans les parties méditerranéennes du département de l'Aude et était, jusqu'à récemment, considérée comme absente des Pyrénées-Orientales avant son observation dans le Fenouillèdes au début des années 2010 (Minssieux 2018). Elle apparaît également rare sur la Côte d'Azur. À notre connaissance, elle n'a jamais été répertoriée hors de la zone méditerranéenne en France. Sa plante-hôte étant basophile, l'espèce est retrouvée essentiellement sur des terrains calcaires (Lupoli & Dusoulier 2015).

4. Nouvelles observations de *V. rusticus* dans le Lauragais

La première observation de l'espèce a été faite par l'un d'entre nous (R. Lejeune) sur la commune d'Avignonet-Lauragais (31), le 7 juin 2021, sur un pied de Nigelle d'Espagne *Nigella hispanica* (**Fig. 4**). À cette période, *N. hispanica* commence seulement à fleurir et les capsules sont absentes. L'unique individu observé est posté à l'insertion d'une feuille supérieure près du bouton floral. La découverte fut fortuite car l'objectif de notre visite était de répertorier les pieds de nigelles se trouvant dans la parcelle de blé. Ce fut également une belle surprise car nous avions déjà eu l'occasion de visiter de nombreuses stations de nigelles d'Espagne dans le secteur, sans jamais apercevoir cette punaise. La station a été visitée à nouveau en juillet mais aucune punaise n'a alors pu y être observée malgré la présence de nombreuses capsules bien formées. À partir de cette observation, nous avons engagé une recherche plus systématique de l'espèce en parcourant différentes stations connues de Nigelle de Damas et de Nigelle d'Espagne au sein de cette petite région du Lauragais.

Les observations suivantes de l'espèce ont alors pu être faites :

- Deux individus observés sur la commune de Saint-Félix-Lauragais (Haute-Garonne) ponctionnant les follicules de Nigelle de Damas *N. damascena*, le 1^{er} juillet 2021. La station se trouve sur l'accotement d'un chemin communal bordant une culture annuelle. L'intérêt de ce site est de présenter, dans un environnement proche, les deux espèces de nigelles. *Ventocoris rusticus* n'aura pu alors être observée que sur les capsules de *N. damascena* malgré une recherche attentive réalisée au sein de belles stations voisines de *N. hispanica*.

- Trois individus, avec accouplement, observés sur la commune de Saint-Paulet (11), ponctionnant des capsules de *N. damascena*, le 3 juillet 2021. La station

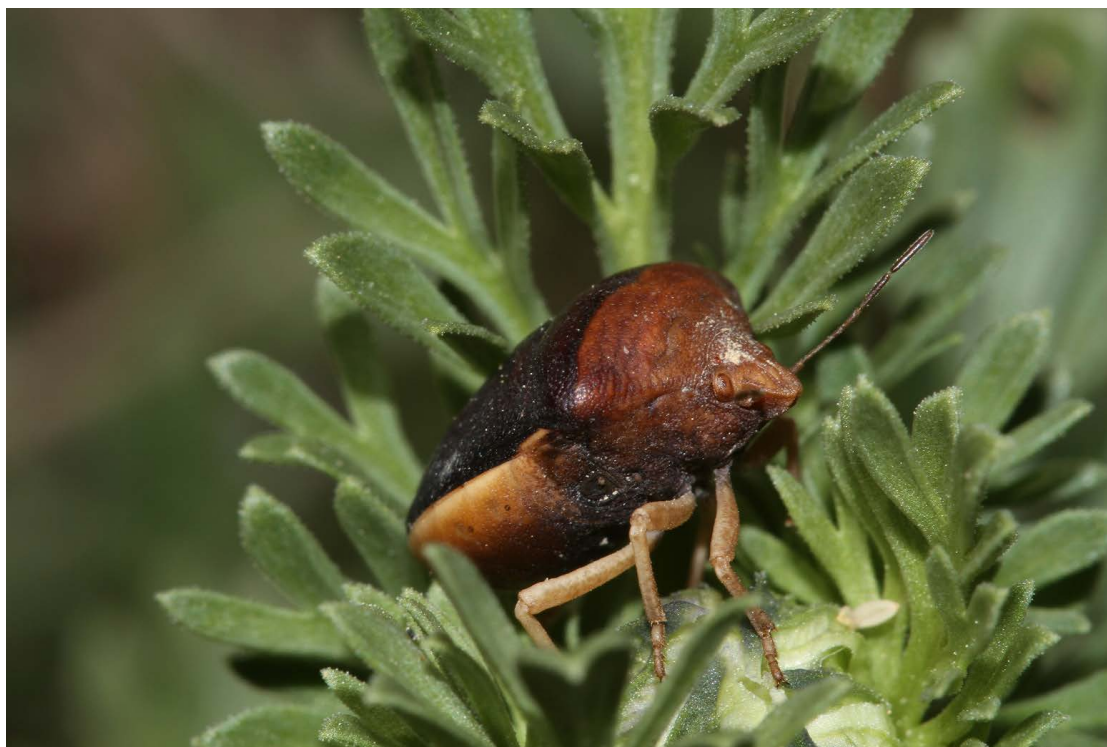


Fig. 4 - *Ventocoris rusticus*, Avignonet-Lauragais (31), 7 juin 2021 (R. Lejeune).

est également présente au niveau d'un espace herbeux entre une culture annuelle et un chemin. La Nigelle de Damas se retrouve ici en position quasi messicole, loin de toute habitation mais tout de même proche d'un crassier (zone de dépôts divers et variés).

- Quatre individus, avec accouplement, observés en plein centre du bourg de Souilhe (Aude), ponctionnant des capsules de *N. damascena*, le 6 août 2021. Les nigelles sont dans ce dernier cas ornementales, échappées d'un jardin proche, et colonisent les abords de la route principale du village.

La base de données naturalistes en ligne de l'Union des associations naturalistes d'Occitanie (OcNat) fait état d'une donnée de *V. rusticus* renseignée par Hubert Lelong, sur la commune de Caraman en Haute-Garonne, en 2021. Cette commune est également intégrée au Lauragais et se trouve à une quinzaine de kilomètres seulement au nord-ouest des stations mentionnées au-dessus. L'observation, réalisée le 20 juin 2021, est assortie d'un commentaire précisant que plusieurs individus ont été vus et photographiés dans son jardin sur la Nigelle de Damas.

Après renseignements pris auprès de Pierre-Olivier Cochard, François Dusoulhier et enfin Jean-Philippe Maurel, naturalistes tout particulièrement intéressés par les punaises, il s'agit des premières mentions de l'espèce au sein de l'ancienne région Midi-Pyrénées. À fortiori, il s'agit des premières mentions hors du secteur biogéographique méditerranéen, dans le contexte français. En effet, nous avons vu, au sein des paragraphes précédents, qu'il s'agissait d'une

espèce qui transgressait largement les limites de l'aire biogéographique méditerranéenne dans la partie orientale de son aire de répartition mondiale (zone sarmatique).

Ces observations sont distantes d'au minimum 80 km des premières mentions de *V. rusticus* contemporaines, et représentées dans les bases de données consultées, qui se situent dans la plaine de la Narbonnaise et dans le massif des Corbières orientales-Fenouillèdes (**Fig. 5**) au sein de secteurs méditerranéens *sensu stricto*. L'observation d'Hubert Lelong est, à ce jour, la plus nord-occidentale de l'aire de répartition française connue de l'espèce.

5. Discussion

Les observations effectuées dans le Lauragais sont à ce jour les plus occidentales de l'espèce en France. La petite région naturelle du Lauragais constitue un véritable carrefour biogéographique, positionné à l'interface entre le domaine atlantique de la vaste région euro-sibérienne à l'ouest, et le domaine catalano-provençal de la région méditerranéenne, à l'est. Le relief local, même modeste, y joue un rôle important dans l'expression de l'une ou l'autre de ces deux entités biogéographiques, avec dominance de l'élément méditerranéen seulement au niveau des pentes accentuées et bien exposées. A priori, rien d'étonnant, donc, à ce que l'on y retrouve des espèces méditerranéennes comme cette punaise. Cependant, le nombre relativement important d'observations faites sur une si courte période et sur un secteur aussi

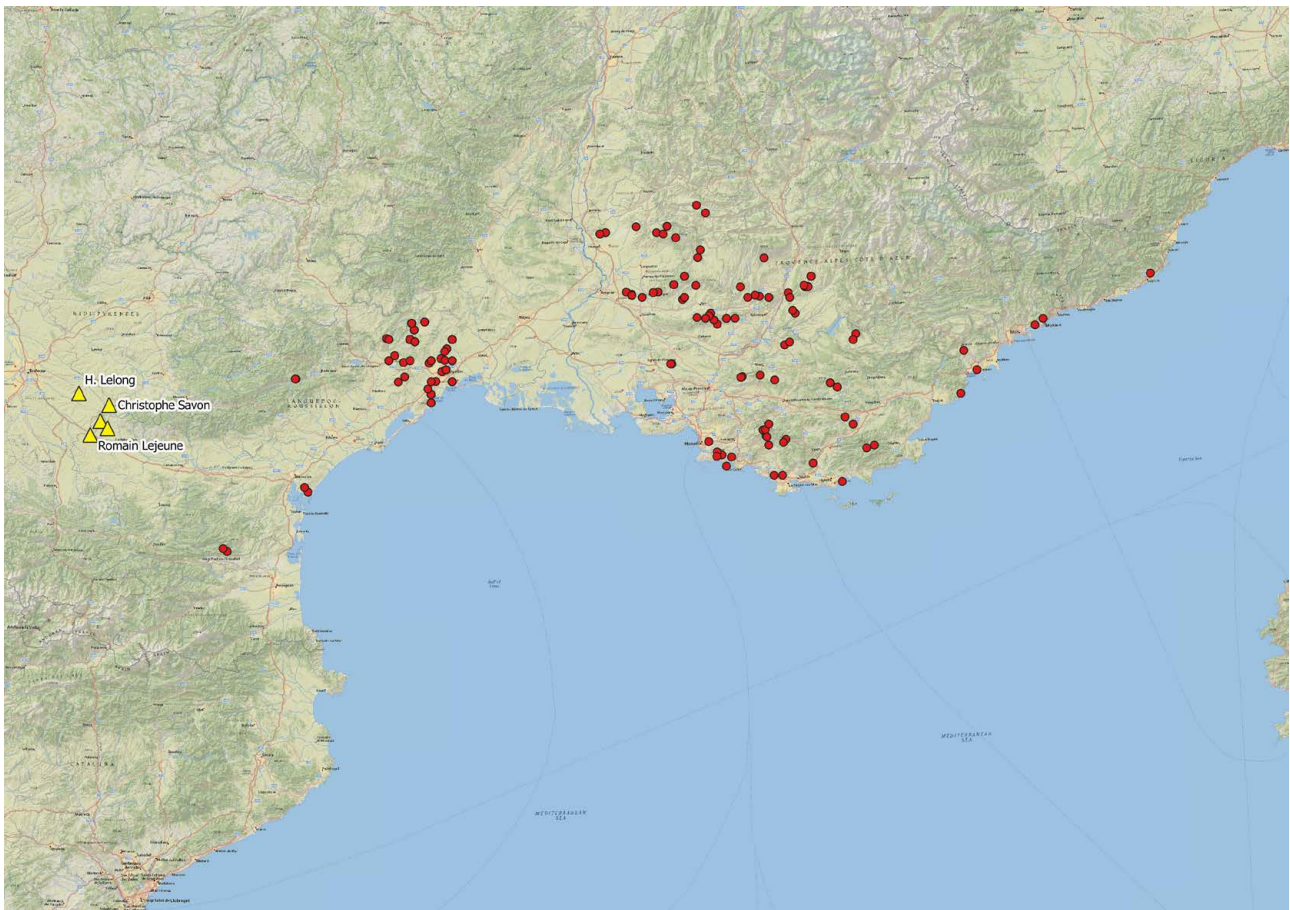


Fig. 5 - Localisation des observations de *V. rusticus* effectuées dans le Lauragais en 2021 (triangles jaunes) en regard des observations présentes dans les bases de données de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (MNHN & OFB, 2022) et du GBIF (2022) (cercles rouges).

distant des observations contemporaines récentes, posent question.

5.1. Extension d'aire ?

À l'image d'autres pentatomidés, les populations locales présentent souvent de faibles effectifs et les individus apparaissent assez sédentaires, ne s'éloignant guère de leur plante nourricière principale. Pour ces raisons, l'espèce pourrait avoir été négligée, notamment en raison de son aspect cryptique et de l'absence de recherche ciblée sur sa plante hôte principale.

Si l'on considère une colonisation récente de ce territoire, comme le font remarquer Lupoli & Dusoulier (2015), l'espèce doit avoir des capacités de déplacement importantes, auxquelles nous pourrions ajouter une capacité de détection de ces plantes très développée, pour pouvoir cibler les minuscules stations de nigelles à l'échelle des vastes paysages qu'elle traverse.

À défaut d'observations plus systématiques de ce groupe, ou mieux, de cette espèce en particulier, par les naturalistes, seul un travail minutieux d'analyse des collections et écrits anciens, ainsi qu'une forte

expérience, que nous ne possédons pas jusqu'ici, permettraient d'échafauder des hypothèses sur ce point. Or, il apparaît, en effet, que l'impression actuelle serait plutôt à une amélioration conjointe de la fréquence et de l'aire de répartition de cette espèce (Lupoli & Dusoulier 2015).

Plusieurs faits nous portent également à croire (au même titre que Lupoli & Dusoulier 2015) que ces observations pourraient être les prémices d'une progression annoncée de l'espèce vers le nord de l'aire subméditerranéenne :

- Les observations réalisées ne correspondent pas aux secteurs à végétation xérique naturelle du Lauragais (coteaux bien exposés) mais apparaissent totalement liées à la présence de nigelles, qu'elles soient cultivées dans des jardins ou ensauvagées dans les cultures et sur leurs marges ;
- L'espèce demeure quand même difficilement négligeable par les amateurs un peu éclairés par son habitus singulier ; nous supposons donc que les cartes, présentées ici, donnent une bonne image actuelle de son aire de répartition ;
- La recrudescence des observations sur l'été 2021

(5 observations) est vraiment remarquable pour une espèce déjà très rarement observée dans l'Aude méditerranéenne proche. Par ailleurs, deux des cinq observations n'étaient pas du tout ciblées et coordonnées (deux observateurs indépendants) ;

- Il s'agirait vraisemblablement d'un archéobioté dans l'espace ouest-méditerranéen et médio-européen, considérant que ses deux espèces nourricières principales y sont elles-mêmes, des archéophytes, c'est-à-dire des espèces cultivées ou adventices, naturalisées avant la découverte de l'Amérique. L'espèce montre donc dès l'origine, des capacités de dispersion importantes en lien avec l'extension de ces plantes-hôtes par l'Homme ;

- Elle vient d'être retrouvée en Autriche (Rabitsch 2016) après plus de 60 ans d'absence. Elle occupait les espaces agricoles de culture de ce pays jusque dans les années 50. Sa plante nourricière est ici la sous-espèce messicole stricte de *Nigella arvensis*.

Après une disparition vraisemblablement causée par l'intensification de l'agriculture, l'espèce est donc capable de coloniser à nouveau les marges de son aire de répartition antérieure et ce, même dans un contexte au sein duquel sa plante nourricière locale demeure rare.

Une observation récente, qui date de 2014 (message de Chrysoneye 2017, publié sur le forum du Monde des insectes), semble combler également en partie le vide audois. Cette donnée ne semble pas reprise dans le GBIF. Il s'agit d'une observation réalisée à Villegailhenc, près de Carcassonne, donc au niveau de la « ligne de Wallace » classique qui sépare, sur le front occidental français, les régions méditerranéennes et eurosibériennes. Cette observation rapproche de 40 km les plus proches observations récentes des observations de 2021 réalisées dans le Lauragais.

La progression discrète de l'espèce le long du sillon audois apparaît donc vraisemblable, même si les données d'observations demeurent très rares actuellement dans cette zone.

5.2. Plante nourricière locale

Nos observations, ultérieures à la première découverte sur la Nigelle d'Espagne, ciblées sur les deux espèces locales de nigelles se sont révélées seulement fructueuses sur la Nigelle de Damas. Ces observations confirment, au moins en France, l'importance de cette dernière plante dans le cycle de développement de *V. rusticus*. L'observation unique d'un individu sur la Nigelle d'Espagne semble anecdotique et liée probablement à la proximité phylogénique et donc probablement chimique de ces deux plantes. Des différences phénologiques

notables existent, en effet, entre ces deux taxons avec, notamment, une fructification et une décoloration des capsules (favorable au mimétisme larvaire), retardées de plus d'un mois en défaveur de la Nigelle d'Espagne (obs. pers.). *V. rusticus* étant univoltin, ce décalage pourrait expliquer la primauté donnée à *N. damascena*.

D'autres hypothèses sont possibles, car les capsules des deux espèces partagent d'autres différences morphologiques importantes. *N. damascena* possède des capsules globuleuses renflées ménageant un espace intérieur abrité plus important que celles de *N. hispanica* et globalement, le plus important du genre. Ce caractère pourrait ainsi accroître les capacités d'accueil et d'abri des adultes et larves de l'espèce. Cependant, ce point concernant l'attractivité potentielle des capsules des différentes espèces de nigelles en fonction de la qualité de l'abri offert reste à éclaircir. En effet, ce constat semblerait *a priori* aller à l'encontre de l'utilisation, à l'échelle de l'Europe centro-méridionale, de *N. arvensis*, espèce possédant des follicules fins et une cavité interne très ténue.

Il est à noter également qu'une très grosse différence pour les individus de *V. rusticus* du Lauragais, sont les traitements locaux réservés aux deux espèces de nigelles, en lien avec leur écologie. La Nigelle d'Espagne possède un risque très élevé d'être fauchée avec la moisson en juillet, période évidemment assez peu favorable à la survie ultérieure des larves.

Cependant, la majorité des pieds de nigelles peuvent survivre et refleurir au sein des éteules, sans compter souvent la présence de pieds marginaux non touchés. Néanmoins, un déchaumage précoce peut également parachever la destruction de tous les pieds de nigelles en août-septembre. La Nigelle de Damas, quant à elle, n'impose pas ces contraintes à son hôte, car, soit elle est présente au sein de secteurs délaissés, soit, les fruits sont généralement conservés au jardin. Par conséquent, est-ce un réel tropisme dans le choix local de l'espèce de nigelle hôte ou un choix par défaut ?

À ce stade, il conviendrait de collecter d'autres observations ciblées sur *N. hispanica* pour évaluer l'intérêt nourricier effectif de cette plante aussi bien pour les juvéniles que pour les imago. Par exemple, à proximité de stations de nigelles de Damas, cette espèce pourrait se révéler intéressante, au moins pour nourrir les adultes ou des larves en fin de saison et accroître les stations favorables du Lauragais pour cette punaise. Cette région constitue, en effet, la région française actuellement connue pour accueillir les stations les plus importantes de *N. hispanica*.

6. Conclusion

V. rusticus est une espèce méditerranéo-steppique qui n'était, en France, jusqu'ici pas signalée en dehors de la zone méditerranéenne. Longtemps cantonnée à la Provence et à la région des Garrigues (schématiquement, région couvrant le nord de Montpellier jusqu'aux Cévennes), cette punaise semble vraisemblablement en progression en direction de l'espace français à climat subméditerranéen (un mois sec en moyenne à Toulouse), le quart Sud-Ouest. Cette apparente et soudaine progression, si elle s'avère effective dans les prochaines années, pourrait être la conséquence de plusieurs phénomènes, non mutuellement exclusifs :

- Une altération climatique aux marges de l'aire méditerranéenne. Les modèles climatiques prévoient une « méditerranéisation » de l'espace subméditerranéen atlantique notamment ;
- La progression réelle et relativement récente de la Nigelle de Damas, espèce rustique et de culture facile, plébiscitée au sein des jardins et espaces périurbains avec la généralisation de la mode des « jachères fleuries » qui généralement contiennent des cultivars de cette plante ;
- Ces deux phénomènes n'excluent pas, a priori, le fait que les punaises font l'objet d'une plus grande attention depuis quelques années, et donc de prospections plus ciblées.

L'appel est donc lancé ici aux naturalistes d'Occitanie pour qu'ils posent un regard moins distrait aux plates-bandes hébergeant des nigelles à la recherche de ces punaises.

Remerciements à MM. Pierre-Olivier Cochard et Jean-Philippe Maurel pour leurs renseignements sur la punaise dans le Lauragais et leur encouragement à écrire cet article. Nous tenons à remercier M. François Dusoulier pour la relecture et l'analyse critique de cet article.

Références

- Douguedroit A. & Zimina R.P. (1987) – La végétation méditerranéenne en France et en U.R.S.S. In : Méditerranée, troisième série, tome 61, 2-3-1987. Alpes - Caucase. Alpes du sud • Caucase oriental • Crimée. *À la mémoire de l'académicien I.P. Gerasimov*. : 61-73. DOI : <https://doi.org/10.3406/medit.1987.2472>
- Dursun A. & Fent M. (2013) – Overview of the subgenus *Ventocoris* s. str. (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae) with new records and a revised key to the *Ventocoris* species of Turkey. *Zoo taxa*, 3681(1) : 151-177.
- GBIF.org (27 January 2022) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.a7tdpk>
- Heiss A. & Oeggl K. (2005) – The oldest evidence of *Nigella damascena* L. (Ranunculaceae) and its possible introduction to central Europe. *Vegetation History and Archaeobotany*. 14. 562-570. 10.1007/s00334-005-0060-4.
- iNaturalist contributors, iNaturalist (2022). iNaturalist Research-grade Observations. iNaturalist.org. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/ab3s5x> accessed via GBIF.org on 2022-02-24. <https://www.gbif.org/occurrence/3327936201>
- iNaturalist contributors, iNaturalist (2022). iNaturalist Research-grade Observations. iNaturalist.org. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/ab3s5x> accessed via GBIF.org on 2022-02-24. <https://www.gbif.org/occurrence/2814277380>
- Le Monde des insectes, 2017. Message et photographie de « Chrysoneye ». In : Forum du Monde des Insectes [en ligne]. 16 Juillet 2017. [Consulté le 27 janvier 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.insecte.org/forum/viewtopic.php?t=171785&hilit=187284>
- Lupoli R. & Dusoulier F. (2015) – Les punaises Pentatomoidea de France. Ed. *Ancyrosoma*. Fontenay-sous-Bois. 429 p.
- Minssieux E. (2018) – Deux espèces de *Graphosoma tini* (Heteroptera, Pentatomidae, Podopinae) nouvelles pour les Pyrénées-Orientales. Première citation de la présence de *Tholagmus flavolineatus* dans le sud-ouest et extension de la répartition française de *Ventocoris rusticus*. *Revue de l'Association Roussillonnaise d'Entomologie* - Tome XXVI (2) : 103-106.
- MNHN & OFB [Ed]. (2003-2022) – Fiche de *Ventocoris rusticus* (Fabricius, 1781). Inventaire national du patrimoine naturel (INPN). Site web : https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/238408 - Le 27 janvier 2022.
- Péricart J. (2010) – Hémiptères Pentatomoidea Euro-Méditerranéens. Vol. 3. Podopinae et Asopinae. *Faune de France*. Vol. 93. *Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles*, Paris : 291 p. + 24 pls.
- Rabitsch W. (2016) – Notizen zur Wanzenfauna (Hemiptera: Heteroptera) von Wien, mit fünf Neufunden für Österreich. *Beiträge zur Entomofaunistik*, 17 : 39-54.
- Tison J.-M. & de Foucault B. coord. (2014) – Flora Gallica-Flore de France: *Biotope éditions*. *Société botanique de France*, Mèze. 1196 p.

Accepté le 4 mars 2022

Publié en ligne (pdf) le 14 mars 2022

Les Gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales aux environs de Sougraigne (Aude, France) Sixième étude

Xavier CHAIX et Jérôme PLICOT

Résumé

L'étude de nouveaux affleurements du Crétacé supérieur des Corbières méridionales (Aude) a permis la récolte de nombreux gastéropodes dans les Formations des Marnes bleues de Sougraigne et de la Montagne des Cornes, datées du Santonien inférieur, zone à Carezi et du Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. Sont cités dans cette sixième étude les genres et sous genres suivants : *Exechocircus*, *Turritella*, *Archimediella*, *Torquesia*, *Bathrotomaria* et *Pleurotomaria*. Deux nouveaux taxons sont décrits : *Bathrotomaria teodorii* et *Pleurotomaria cloutetsensis*.

Mots clés : Gastropoda, Crétacé supérieur, Santonien, Corbières, Aude, France.

The gastropods of the Upper Santonian (Upper Cretaceous) southern Corbières, in the hinterland of Sougraigne (Aude, France). Sixth study

Abstract

News outcrops of the Upper Cretaceous of Sougraigne (southern Corbières, Aude) has allowed to collect numerous gastropods in the "Marnes bleues de Sougraigne" and "Montagne des Cornes" Formations dating from the Lower Santonian, Carezi Zone and the Upper Santonian, Polyopsis Zone, Paraplanum Sub-zone. In this. Are studied in this sixth study, representatives of the genera *Exechocircus*, *Turritella*, *Archimediella*, *Torquesia*, *Bathrotomaria* and *Pleurotomaria*. Two new taxa are described for the first time in the Corbières Santonian : *Bathrotomaria teodorii* et *Pleurotomaria cloutetsensis*.

Keyword : Gastropoda, Upper Cretaceous, Santonian, Corbières, Aude, France.

1. Introduction

Le présent travail a pour but de poursuivre la réactualisation de la systématique des Gastéropodes du Santonien (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales aux alentours de Sougraigne (Aude), qui n'ont pas fait d'étude paléontologique depuis les travaux anciens de d'Archiac (1854), de Roussel (1885), de Cossmann (1896-97, 1902, 1903), de Delpy (1938, 1942) et de Termier (1954). Dans la première étude de cette étude (Chaix & Plicot,

2018) ont été décrites et figurées deux espèces nouvelles, *Confusiscala faurei* Chaix et *Pletzachia plicoti* Chaix, dans la seconde étude (Chaix & Plicot, 2020a), *Pleurotomaria plicoti* Chaix, *Bathrotomaria bilottei* Chaix et *Bathrotomaria delpeyi* Chaix, dans la troisième étude (Chaix & Plicot, 2020b), *Helicocryptus lardieri* Chaix, *Palaeocypraea plicoti* Chaix, dans la cinquième étude (Chaix & Plicot, 2021b), *Pterocerella faurei* Chaix, *Kaunowenia laurenti* Chaix. Pour cette sixième étude, *Pleurotomaria teodorii* nov. sp. et *Pleurotomaria cloutetsensis* nov. sp.

1. Musée de Paléontologie et de Préhistoire, 12 rue Saint-Mammès, F-11160, Villeneuve-Minervois.
bernadette.chaix@wanadoo.fr

2. Jérôme Plicot, F-11200, Saint-André-de-Roquelongue.

Pour plus de détails sur le cadre historique et stratigraphique, se reporter toujours à la première étude de cette révision (Chaix & Plicot, 2018). Rappelons cependant que les dépôts du Crétacé supérieur des Corbières méridionales appartiennent à la couverture méridionale du Massif hercynien de Mouthoumet et qu'ils s'expriment particulièrement bien au niveau du Synclinal de Rennes-les-Bains dans lequel se développe un dispositif prodeltaïque à deux composantes sédimentaires disposées en relais latéral, l'ensemble témoignant d'une polarité vers le sud représentative de la marge nord-aquitaine (Bilotte, 2007).

- Au nord, un complexe sédimentaire de 100 à 250 mètres d'épaisseur, de type deltaïque, regroupé dans la Formation de la Montagne-des-Cornes, au sein duquel se développent des bioconstructions récifales à rudistes, qui occupent les trois reliefs de la Montagne-des-Cornes, des Cloutets et du Brenz.

- Au sud, la Formation des Marnes bleues de Sougraigne, uniformément constituée de 100 à 250 m. de marnes micacées (parfois de couleur gris-bleu), témoignent d'un milieu de dépôt plus profond, représentant les faciès de type prodelta.

- Des faciès de transition et des indentations entre ces deux formations concourent à la complexité de la succession lithostratigraphique des environs de Sougraigne où divers faciès intermédiaires, latéralement bien délimités, ont été individualisés sous diverses dénominations, désignant des membres lithologiques très localisés tels les « Calcaires à Lima », les « Marnes à Turritelles et Corbules », les « faciès terrigènes à ossements de Mosasaures », ou encore les « Marnes du Moulin Tiffou ». La coupe historique du chemin de Sougraigne aux Cloutets recoupe certains d'entre eux.

Étude systématique, par Xavier Chaix

Embranchement : Mollusca

Classe : Gastropoda

Ordre : Caenogastropoda

Super famille : Cerithioidea Ferussac, 1819

Famille : Cerithidae Fleming, 1822

Sous famille : Uchauxiinae Kollmann, 2005

Genre : *Exechocircus* Cossmann, 1906

Espèce type : *Cerithium reticosum*

J. de C. Sowerby, 1835

***Exechocircus barrandei* (d'Archiac, 1854)**

Figs. 67-68

1854 - *Cerithium barrandei* d'Archiac, p. 221, pl. 4, fig. 7-8.

1954 - *Potamides reticosum* Termier, p. 356-357, fig. 46, avec la synonymie.

2005 - *Exechocircus barrandei* (d'Archiac). Kollmann, p. 117, pl. 18, fig. 17 a-b.

Holotype : Il est conservé dans la collection Renaux (non vérifié), à l'Université de Montpellier.

Dimensions :

- K11684 (**Fig. 67**) : hauteur : 29 mm ; hauteur reconstituée : 30 mm ; diamètre dernier tour : 10 mm.

- K11683 (**Fig. 68**) : hauteur : 19 mm ; hauteur reconstituée : 29 mm ; diamètre du dernier tour : 10 mm.

Description :

Espèce de petite taille, composée d'une dizaine de tours presque plans. L'ornementation est formée de quatre rangées de cordons spiraux, portant des nodules rapprochés les uns des autres, au nombre d'une vingtaine par tour. Le plus souvent la rangée adapicale (= en direction de l'apex) se différencie facilement de celle des autres *Cerithidae* récoltés dans les mêmes niveaux, par une ornementation plus fine. Présence également de varices (**Fig. 68**), en nombre variable selon les échantillons. Ouverture incomplète sur tous nos échantillons, mais présence d'un bord columellaire étalé sur la base et d'un court canal siphonal (**Fig. 67**). La base, arrondie à sa périphérie, possède une ornementation concentrique, portant de fines nodosités. Divers auteurs signalent sur certaines variétés la présence de filets intercalaires entre les quatre rangées de cordons spiraux, mais nous ne l'avons pas observé sur les échantillons de Sougraigne.

Remarques :

Nous classons le taxon *barrandei* dans la nouvelle sous-famille des Uchauxidae créée par Kollmann (2005, p. 166) en raison des caractères suivants « coquille turriculée, tours plus ou modérément convexes, base assez peu élevée, ornementation noduleuse générée par le croisement d'éléments colabiaux et spiraux, présence d'un canal adapical et d'un petit canal siphonal ». Cette espèce, que nous avons récoltée en abondance à Sougraigne dans les niveaux du Santonien supérieur, est toujours incomplète, tant au niveau de l'apex, que de l'ouverture. *Exechocircus barrandei*, est très proche de plusieurs espèces décrites par Termier (1954), qu'il conviendrait très certainement de considérer comme devant être rattachées au taxon de d'Archiac. Elles ne

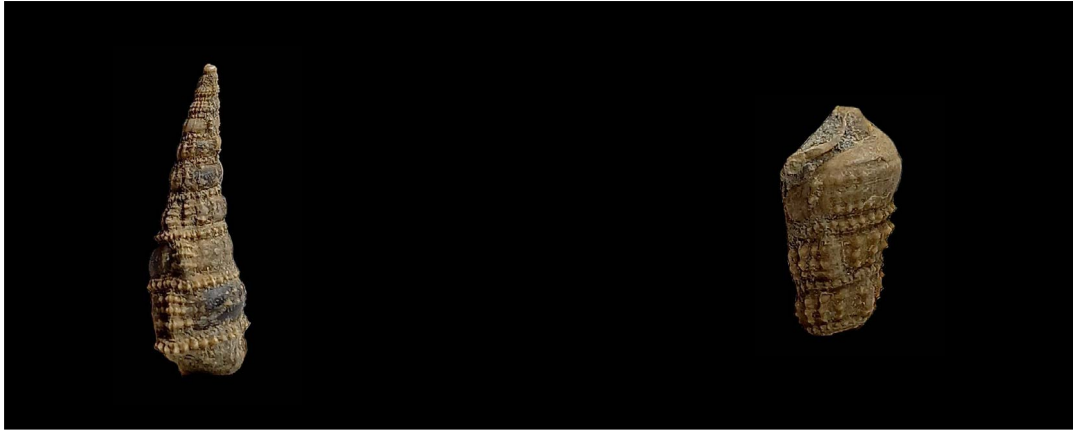


Fig. 67 - *Exechocircus barrandei* (d'Archiac, 1854). K11684. En bordure du Chemin des Cloutets à Sougraigne X 1,5.

Fig. 68 - *Exechocircus barrandei* (d'Archiac, 1854). K11683. En bordure du Chemin des Cloutets à Sougraigne X 1,5.

se différencient les unes des autres que par la présence ou l'absence de feuillet plus ou moins marquées situés entre les cordons longitudinaux, de leur 4^{ème} rangée de tubercules (parfois 5) et par un angle spiral pouvant très légèrement varier.

Si nous acceptons notre proposition de regroupement en un seul taxon, ce dernier à une large répartition et se retrouve dans tout le Sénonien du Sud-Est de la France, ainsi que dans la région de Gosau (Autriche). Signalons à titre informatif qu'un « *Cerithium barrandei* » a été décrit dans le Bathonien des Ardennes (Piette, 1856).

Âge et provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. Niveau des Marnes bleues sur le Chemin des Cloutets à Sougraigne.

Matériel étudié : K11684 (**Fig. 67**) et K11683 (**Fig. 68**) appartiennent à une population d'une quarantaine de spécimens. Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).

Famille : Turritellidae Lovén, 1847

Genre : *Turritella* Lamarck, 1799

Espèce type : *Turbo terebra* (Linné, 1758)

***Turritella* (*Archimediella*) *fittoni* (Goldfuss, 1841)**

Fig. 69

1841 - *Turritella fittoniana* Goldfuss, pl. 147, fig. 10.

1852 - *Turritella fittoniana* Goldfuss. Zekeli, pl. 1, fig. 7.

1902 - *Turritella fittoni* Cossman, pl. 4, fig. 24.

1912 - *Turritella* (*Haustator*) *fittoni* (Goldfuss). Cossmann, p. 116.

Holotype : Il est conservé dans la collection Goldfuss (non vérifié), à l'Université de Bonn (Allemagne).

Dimensions : Hauteur : 23 mm ; hauteur reconstituée : 30 mm ; largeur du dernier tour : 9,5 mm.

Description :

Petite espèce turritulée, composée d'une dizaine de tours nettement imbriqués les uns dans les autres. Ornementation formée de 4 cordons spiraux plus ou moins granuleux selon l'état de la coquille, avec entre eux, présence de stries beaucoup plus fines. À l'âge adulte, d'après Cossmann (1902) « *les rampes suturales des derniers tours de spire s'atténuent peu à peu, de sorte que l'aspect et le profil ne sont pas tout à fait semblables à ceux des premiers tours* ». L'ouverture et la base ne sont pas conservées.



Fig. 69 - *Turritella* (*Archimediella*) *fittoni* (Goldfuss, 1841). K10630. Chemin des Cloutets, à Sougraigne (Aude) X 2.

Remarques :

Ce fossile est très fréquent dans les Marnes bleues de Sougraigne dans lesquelles nous avons pu récolter une cinquantaine d'exemplaires. Termier, dans ses diverses publications, considère cependant *Turritella fittoni* Goldfuss, comme une simple variété de *Turritella eichwaldi* (Goldfuss), et regroupe sous cette dernière appellation de nombreuses espèces dont la détermination serait à préciser : *Turritella eichwaldiana* (Goldfuss 1841-44, p. 107, pl. 147, fig. 4) ; *Turritella affinis* Müller (1847, p. 31, pl. 4, fig. 11) ; *Turritella eichwaldiana* Zekeli (1852, p. 22, pl. 1, fig. 2, porté par erreur comme « *fittonana* » dans la légende de la planche) ; *Turritella proteiformis* Cossmann (1902, p. 553, pl. 4, fig. 14 à 16) ; *Turritella (Archimediella) eichwaldi* Cossmann (1912, p. 121-122). Nous n'acceptons pas la proposition de Termier et nous considérons *Turritella fittoni* comme une espèce valide, très fréquente dans le Crétacé supérieur.

Âge et provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum, Marnes bleues, sur le chemin des Cloutets, à Sougraigne (Aude).

Matériel étudié : Le spécimen K10630 (**Fig. 69**) appartient à une population d'une cinquantaine d'individus, très variables dans leur ornementation, tous incomplets. Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).

Turritella proteiformis (Cossmann, 1902)

Fig. 70

1902 - *Turritella proteiformis* Cossmann, p. 15, pl. 4, fig. 14-16.

Holotype : Il est conservé dans les collections du Muséum d'Histoire naturelle de Paris.

Dimensions : Hauteur : 51 mm ; hauteur reconstituée : 55 mm ; diamètre dernier tour : 15 mm.

Description et remarque :

L'ornementation est extrêmement variable avec six cordons principaux, plus ou moins carénés, perlés, parfois dédoublés. Cossmann (1902) rapproche notre fossile de divers autres taxons dont *Turritella fittoni* Goldfuss (1836, p. 109, pl. 142) et *Turritella disjuncta* Zekeli (1852, pl. 1, fig. 5). Ce fossile devrait être considéré comme l'un des nombreux variants de *Turritella eichwaldi* Goldfuss, 1841. Cependant une étude complémentaire devra le confirmer.



Fig. 70 - *Turritella proteiformis* (Cossmann, 1902). K11685. Marnes bleues de Sougraigne, dans le lit de la Sals, à proximité du Moulin (« Moulin Tiffou ») (Rennes-les-Bains) X 1,25.

Âge et provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum, Marnes bleues de Sougraigne, dans le lit de la Sals, à proximité du Moulin (« Moulin Tiffou ») (Rennes-les-Bains).

Matériel : K11685 (**Fig. 70**) et neuf autres spécimens, ici non figurés. Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).

Turritella sexlineata (Roemer in Goldfuss, 1840)

Fig. 71

1840 - *Turritella sexlineata* Roemer, p. 80, pl. 11, fig. 22.

1841-44 - *Turritella sexlineata* Goldfuss, p. 107, pl. 147, fig. 2.

1842- 43 - *Turritella difficilis* D'Orbigny, p. 39, pl. 151, fig. 19-20.

1847 - *Turritella sexlineata* (Goldfuss). Müller, p. 28, pl. 4, fig. 2.

1847 - *Turritella multilineata* Müller, p. 29, pl. 4, fig. 3, 4, 6.

1902 - *Turritella varusensis* Cossmann, p. 552, pl. 4, fig. 25.

1902 - *Turritella michaleti* Cossmann, p. 555, pl. 4, fig. 22-23.

1912 - *Turritella difficilis* D'Orbigny. Cossmann, p. 111.

1913 - *Turritella difficilis* D'Orbigny. Roman & Mazeran, p. 43, pl. 5, fig. 16.

1932 - *Turritella difficilis* D'Orbigny. Basse, pl. 12, fig. 5-6.

1932 - *Turritella subdifficilis* Basse, p. 95, pl. 12, fig. 3.

1954 - *Turritella sexlineata* (Goldfuss). Termier, fig. 22.

Holotype : Collection Goldfuss (non vérifié), Université de Bonn (Allemagne).

Dimensions : Hauteur : 35 mm ; hauteur reconstituée : 40 mm ; diamètre dernier tour : 18 mm.

Description :

Coquille turriculée formée d'une dizaine de tours de spire convexes. L'ornementation spirale est formée, selon les échantillons, de 4 à 7 cordons plus ou moins proéminents avec, parfois, présence d'un ou deux filets intercalaires difficilement visibles sur les échantillons de Sougraigne. Sur un dessin de Termier (1954, fig. 32), ils semblent très légèrement ponctués. L'ouverture n'est pas conservée. La base porte très certainement une ornementation formée de filets concentriques.

Remarques :

C'est avec beaucoup d'hésitations que nous avons attribué notre fossile au taxon figuré et succinctement décrit par Termier (1954, fig. 22) qui a regroupé sous cette appellation tout un spectre d'espèces très proches les unes des autres, qui selon les descriptions et les figurations des auteurs qu'elle cite (voir liste synonymique), ne diffèrent les unes des autres que par la concavité plus ou moins prononcée des tours de spire et le nombre variable de cordons spiraux. Comme il est difficile de trancher entre ces diverses formes, nous

gardons la proposition du taxon *Turritella sexlineata* (Roemer, 1840), en l'attente d'une éventuelle révision des *Turritellidae* du Crétacé supérieur.

Âge et provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. Calcaires marneux situés au-dessus du vieux cimetière, à Sougraigne (Aude).

Matériel étudié : K11686 (**Fig. 71**) parmi quatre exemplaires mal fossilisés. Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).

***Turritella (Torquesia) rigida*
(J. de C. Sowerby, 1831)
Fig. 72**

1831 - *Turritella rigida* J. de C. Sowerby, pl. 38, fig. 19.

1852 - *Turritella rigida* J. de C. Sowerby. Zekeli, p. 22, pl. 1, fig. 1.

1888 - *Turritella rigida* J. de C. Sowerby. Depéret, p. 567.

1954 - *Turritella rigida* J. de C. Sowerby. Termier, fig. 31.

1980 - *Turritella (Torquesia) rigida* (J. de C. Sowerby). Kollmann, p. 200, pl. 2, fig. 13-15.

Holotype : Il est conservé dans les collections du British Museum de Londres (Grande-Bretagne).

Dimensions : Hauteur : 50 mm ; hauteur reconstituée : 70 mm ; diamètre dernier tour : 16 mm.



Fig. 71 - *Turritella sexlineata* (Roemer in Goldfuss, 1840). K11686. Calcaires marneux au-dessus du vieux cimetière, à Sougraigne (Aude) X 1,5.



Fig. 72 - *Turritella (Torquesia) rigida* (J. de C. Sowerby, 1831). K11687. Chemin des Cloutets à Sougraigne (Aude) X 1,2.

Description :

Coquille turriculée, formée d'une dizaine de tours de spire légèrement concaves. L'ornementation spirale est composée de sept cordons longitudinaux bien distincts. L'ornementation axiale est définie par des lamelles d'accroissements nettement espacées avec, comme le précise Termier (1954, fig. 21), un fort sinus médian. L'ouverture n'est pas conservée. La base porte très certainement une ornementation identique au reste de la coquille.

Remarques :

Turritella rigida (J. de C. Sowerby, 1831) se rencontre dans les mêmes niveaux que *Turritella sexlineata* (Roemer in Goldfuss, 1840) mais l'état de conservation des coquilles, peut parfois prêter à confusion. Ce taxon semble être également présent, dans le Turonien de Provence.

Âge et provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. Marnes bleues, sous le chemin des Cloutets à Sougraigne (Aude).

Matériel étudié : K11687 (**Fig. 72**), parmi trois exemplaires de conservation imparfaite. Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).

Autres espèces de Turritellidae signalées par divers auteurs, comme présentes à Sougraigne (Aude), mais que nous n'avons pas pu retrouver

Turritella eichwaldi Goldfuss (1841-42, pl. 147, fig. 4).

Espèce qui est invalidée car synonyme de *Turritella fittoni* Goldfuss (1841-42, pl. 147, fig. 10) (voir Fig. 69 du présent travail).

Turritella difficilis d'Orbigny (1852, p. 39, fig. 16).

Espèce de petite taille (moins de 30 mm) caractérisée par des tours faiblement convexes, portant de 5 à 6 cordons spiraux, sa base est également convexe.

D'Archiac (1854, p.193) indique ce taxon comme présent à Sougraigne dans son 5^{ème} niveau, correspondant aux Marnes bleues, mais en donner de description et renvoyant le lecteur à la figuration donnée par d'Orbigny et figurée par Roman & Mazeran (1920, p.43-44, pl. 5, fig. 16) qui signalent pour cette espèce une vaste extension stratigraphique et sa présence dans le Sénonien des Corbières.

Kollmann (2005, p. 12), à la suite à la révision de la collection d'Orbigny, n'a pas retrouvé d'exemplaire

significatif. En outre, les figurations données par d'Orbigny (pl. 151, fig. 19-20) ne correspondant pas à sa description. Il est donc dans l'impossibilité de nommer un holotype, ou même un lectotype. Kollmann (2005, p. 12) précise également que *Turritella difficilis* d'Orbigny ne peut être rattachée à l'espèce *Turritella difficilis* (Zekeli) dont elle se distingue par des carènes spirales nettement accentuées.

En conclusion, nous ne pouvons considérer « *Turritella difficilis* », comme étant présente dans le Santonien supérieur de Sougraigne.

Turritella peroni (Cossmann, 1902, p. 553, pl. 4, fig.14-16).

Il s'agit d'une petite espèce, connue par un seul exemplaire, haute d'une dizaine de millimètres, se caractérisant par une ornementation spirale formée de six cordons spiraux, dont un caréné, et d'une ornementation axiale d'environ huit épaisses costules. Cossmann reste incertain pour la classification de ce taxon « *l'ouverture n'est pas assez intacte, pour que nous puissions caractériser un nouveau genre ou un nouveau sous genre* ». La présence de costules nous fait rejeter l'attribution au genre *Turritella*.

Turritella prevosti d'Archiac (1854, pl. 4, fig. 6a).

Espèce signalée par cet auteur comme fréquente, à l'état de fragments, dans les Marnes bleues de Sougraigne et qu'il rapproche de *Turritella uchauxiana* d'Orbigny (1842, pl. 151, fig. 21-23). C'est une espèce du Turonien qu'il a dû confondre avec *Turritella eichwaldi* Goldfuss (comme il l'a fait pour plusieurs autres taxons). Selon Termier (1954), il pourrait s'agir en fait d'exemplaires juvéniles de *Potamides cingulatum* Zekeli (1852, pl. 18, fig. 6).

Ordre : Vetigastropoda

Sous ordre : Pleurotomariina

Super famille : Pleurotomarioidea Swainson, 1840

Famille : Pleurotomariidae Swainson, 1840

Genre : *Bathrotomaria* (Cox ,1956)

Espèce type : *Trochus reticulatus* (J. Sowerby, 1821)

Bathrotomaria teodorii nov. sp.

Fig. 73A-C

Localité et strate type : L'Holotype provient de la formation des Marnes bleues et a été récolté en place sur le chemin des Cloutets à Sougraigne (Aude).

Âge : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum.

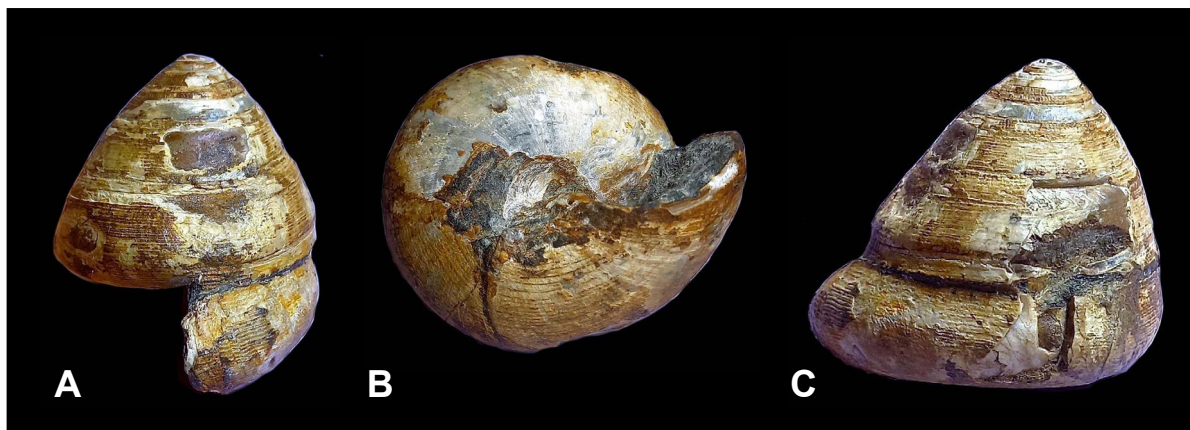


Fig. 73A-C - *Bathrotomaria teodorii* nov. sp. **Holotype**. K11688. Chemin des Cloutets à Sougraigne (Aude) X1.

Holotype : Spécimen N° K11688 (**Fig. 73A-C**) de la collection Chaix, conservé dans les collections du Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse. L'Holotype est un individu adulte et complet.

Dimensions : Hauteur : 40 mm ; diamètre dernier tour : 35 mm ; angle spiral : 55°.

Origine du nom : Dénommé en l'honneur de Dominique Téodori, qui a récolté en place ce spécimen.

Description :

L'Holotype est une coquille conique, composée d'environ huit tours de spire légèrement convexes et étagés, présentant une rampe où se situe la sélénizone (échancrure siphonale se refermant avec l'accroissement de la coquille). L'ornementation spirale est formée d'une vingtaine de très fins filets légèrement ponctués. Aucune ornementation axiale n'est visible. La base, largement convexe, porte en continuité avec le reste de la coquille, de nombreux et fins filets, non visibles sur l'holotype, mais que nous avons pu observer sur un échantillon de même provenance conservé dans une collection privée. L'ouverture largement étalée s'enfonce au départ dans l'ombilic, puis se recourbe pour atteindre la zone opposée.

Remarques :

Il convient de rattacher notre nouvelle espèce au genre *Bathrotomaria* (Cox, 1956) en raison de la position de la sélénizone, située sur l'angulation des tours (Kollmann, 2005, p. 233).

La forme la plus proche de notre taxon est *Pleurotomaria royana* d'Orbigny (1842, pl. 203,

fig. 5-6) dont l'angle spiral est plus ouvert. Cependant Kollmann (2005, p. 214) précise que « *le type (moule interne) figuré dans la Paléontologie Française, de la craie chlorité supérieure de la 4ème zone à rudistes, n'a pas été retrouvé* », ce qui le conduit à considérer l'espèce décrite par d'Orbigny comme « *incertae sedis* ». D'Orbigny (1842-43, p. 269) précise dans sa description, et en accord avec sa figuration, que les tours portent une nette angulation située au milieu de leur hauteur ; en outre la position de la sélénizone n'est pas la même que pour notre taxon.

Genre : *Pleurotomaria* (Cox, 1956)

Espèce type : *Trochus reticosus* (J. Sowerby, 1821)

Pleurotomaria cloutetsensis nov. sp.

Fig. 74A-B

Localité et strate type : L'Holotype provient de la formation des Marnes bleues de Sougraigne. Il est récolté en place dans le niveau des marno-calcaires, sur le chemin des Cloutets à Sougraigne (Aude).

Âge : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum.

Holotype : Spécimen K11689 (**Fig. 74A-B**), de la collection Chaix, conservé dans les collections du Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse.

Dimensions : Hauteur 40 mm ; diamètre du dernier tour 45 mm ; angle spiral 60°.

Origine du nom : Nommé en référence au chemin des Cloutets à Sougraigne (Aude), lieu de la découverte de l'Holotype.

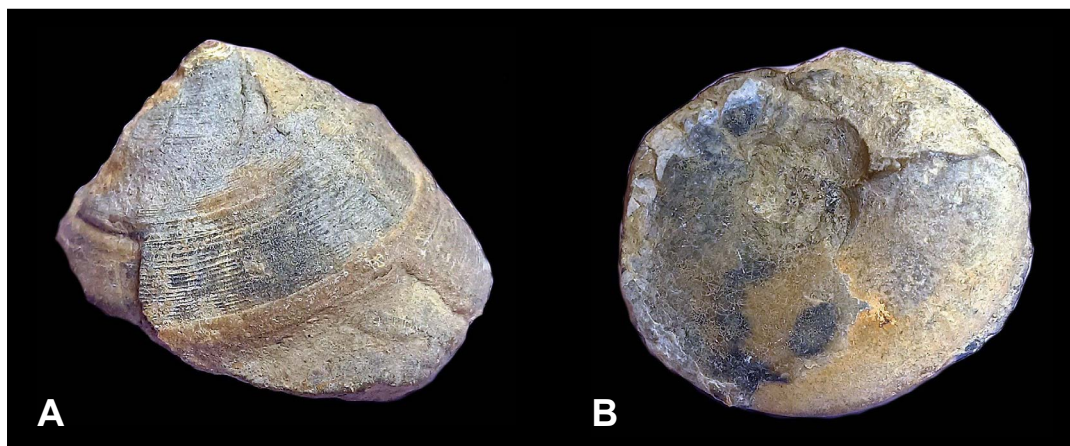


Fig. 74A-B - *Pleurotomaria cloutetsensis* nov. sp., **Holotype**. K11689. Chemin des Cloutets à Sougraigne (Aude) X1.

Description :

L'Holotype est une coquille conique, composée d'environ 8 tours de spire convexes et étagés, présentant une rampe bien visible sur notre échantillon. La sélénizone (= échancrure siphonale se refermant avec l'accroissement de la coquille), se situe semble-t-il à mi-hauteur du tour. L'ornementation spirale est formée, comme pour l'espèce précédente, d'une vingtaine de fins filets, dont un nettement granuleux est proche du déhanchement. L'ornementation axiale, si elle existe, ainsi que celle de la base, ne sont pas visibles. Sur notre échantillon, l'ouverture de la coquille est tronquée, car mal conservée.

Remarques :

Compte-tenu de la position de la sélénizone, nous pensons pouvoir attribuer ce taxon au genre *Pleurotomaria* (Kollmann 2005, p. 233).

L'espèce la plus proche, tout du moins dans le Crétacé supérieur français, semble être, comme pour l'espèce précédente, *Pleurotomaria royana* d'Orbigny 1842, pl. 203, fig. 5-6) du Sénonien supérieur (Maestrichien-Campanien) des Charentes-Maritimes, taxon considéré par Kollmann (2005, p. 269), comme « *incertae sedis* ».

Références

- Archiac A. d' (1854) - Coupe géologique des environs des Bains de Rennes (Aude), suivie de la description de quelques fossiles de cette localité. *Bulletin de la Société Géologique de France*, Paris, (2), 11 : 185-230.
- Basse E. (1932) - Faune malacologique du Crétacé

supérieur du sud-ouest de Madagascar. *Annales de Paléontologie*, 21. 117 p.

- Bilotte M. (2007) - Permanence, au Crétacé supérieur, de la position de la limite de la plate-forme/bassin dans la zone sous-pyrénéenne orientale (Aude, France). Implications géodynamiques. *Géologie de la France*, 1 : 33-53.
- Chaix X. & Plicot J. (2018) - Les Gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales, aux environs de Sougraigne (Aude, France). Première étude. *Carnets natures*, 5 : 17-33.
- Chaix X. & Plicot J. (2020a) - Les Gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales, aux environs de Sougraigne (Aude, France). Deuxième étude, *Carnets natures*, 7 : 15-28.
- Chaix X. & Plicot J. (2020b) - Les Gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales, aux environs de Sougraigne (Aude, France). Troisième étude, *Carnets natures*, 7 : 79-93.
- Chaix X. & Plicot J. (2021a) - Les Gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales, aux environs de Sougraigne (Aude, France). Quatrième étude, *Carnets natures*, 8 : 53-65.
- Chaix X. & Plicot J. (2021b) - Les Gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales, aux environs de Sougraigne (Aude, France). Cinquième étude, *Carnets natures*, 8 : 112-122.
- Cossmann M. (1896 -1897) - Observations sur quelques coquilles crétaciques recueillies en France. *Association française pour l'avancement*

- des Sciences*, Paris, 25^e session (congrès de Carthage) : 243-269.
- Cossmann M. (1902) - Observations sur quelques coquilles crétaciques recueillies en France. (5^{ème} article). *Association française d'avancement des Sciences*, Paris, 31^e session (congrès de Montauban) : 539-557.
- Cossmann M. (1903) - Observations sur quelques coquilles crétaciques recueillies en France. (6^{ème} article). *Association française d'avancement des Sciences*, Paris, 32^e session (congrès d'Angers) : 626-632.
- Cossmann M. (1912) - Essais de Paléoconchologie comparée, 9^{ème} livraison, édit. F.R. de Rudeval, Paris. 216 p.
- Cox L.R (1956) - A new genus of mesozoic Pleurotomariidae. *Journal of Mollusca studies*, 32 (1/2) : 79.
- Delpey G. (1938) - Gastéropodes recueillis par P. Sénesse dans le Santonien supérieur des Corbières. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 72 : 155-162.
- Delpey G. (1942) - Gastéropodes du Crétacé supérieur dans le sud-ouest de la France (Groupe I). *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 77 : 161-197.
- Dépéret C. (1888) – Note sur l'existence d'un horizon à faune saumâtre dans l'étage Turonien supérieur de la Provence. *Bulletin de la Société géologique de France*, 16 : 559-573.
- Fleming J. 1882 – The Philosophy of Zoology or a general view of the structure, functions and classification of animals, Edimburg, 2. 618 p.
- Ferussac A.E. (1819-1932) - Histoire Naturelle générale et particulière des mollusques terrestres et fluviatiles. A. Bertrand et J.B. Baillière, Paris. 95 p., 76 pl.
- Golffuss G.A. (1826-1844) - Petrefacta germanica, Düsseldorf. 1er partie (1826-1833), 252 p. ; 2ème partie (1834-1840), 312 p. ; 3ème partie (1841-1844), 122 p., 199 pl.
- Kollmann H.A. (2005) - Révision critique de la Paléontologie française, d'Alcide d'Orbigny, Backhuys édit., Leyden, Pays-Bas. 239 p., 18 pl.
- Kollmann H.A. (1980) - Gastropoden aus der Sandkalkbank Hochmoosschichtza, Obersanton), des Beckens von Gosau. *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien*, 88 :197-213.
- Lamarck J.B. (1799) - Système des Animaux sans Vertèbres, ou Tableau général des classes, des ordres et des genres de ces animaux, 2ème édit., Déterville, Paris. 432 p.
- Lovén S. (1847) - Malacozoologi. Ofverst af Kongliga Ventenkaps. *Academinens forhandlingal*. Stockholm, 4 : 175-199.
- Müller J. (1847) - Monographie des Petrefacten der Aachener Kreideformation, Bonn. 88 p., 6 pl.
- Orbigny A. d' (1842-1843) - Paléontologie française. Terrains crétacés. (II) : Gastéropodes. édit. Arthus-Bertrand (Paris) : 1-456, pl. 149-236.
- Piette E. (1856) – Description des *Cerithium* enfouis dans les dépôts bathoniens de l'Aisne et des Ardennes. *Bulletin de la Société géologique de France*, 14(2) : 546.
- Roemer F.A. (1841) - Die Versteinrungen des norddeutschen Kreidegebirges, Hanovre. 145 p.
- Roman F. & Mazeran P. (1920) - Monographie paléontologique de la faune du Turonien du bassin d'Uchaux et de ses dépendances. *Archives du Muséum d'Histoire naturelle de Lyon*, 32 (2). 138 p., 35 fig., 11 pl.
- Roussel J. (1885) - Note sur le Crétacé supérieur et le Tertiaire des départements de l'Ariège et de l'Aude. *Bulletin de la société ariégeoise des Sciences Lettres et Art* (I) : 327-337.
- Sowerby J. & J. de C. (1822-1832) - The Mineral Conchology of Great-Britain; or coloured figures and descriptions of those remains of testaceous animals and shells, which have been preserved at various times and depths in the earth, London.
- Swainson W.A. (1840) - A Treatise on Malacology : or the classification of Shells and Shell-Fish. 419 p.
- Termier G. (1954) - Gastéropodes du Crétacé supérieur dans le sud-ouest de la France (Groupe II). *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 89 : 323-382.
- Zekeli F. (1852) - Die Gastropoden der Gosaugebilde. *Abhandlungen der Kaiserlich - Königlichen Geologischen Reichsanstalt*, Wien, 2 : 1-124.

Accepté le 3 avril 2022

Publié en ligne (pdf) le 14 avril 2022

Le bassin stéphano-permien de Réalmont

Un bassin post-varisque peu connu de la partie méridionale du Massif Central

Essai de synthèse

Philippe FAURÉ

Résumé

Le bassin de Réalmont (Tarn, France) est un bassin à remplissage molassique stéphano-permien (Carbonifère supérieur, Permien) d'étendue limitée, situé dans la partie sud-occidentale du Massif Central. Sont identifiées quatre unités sédimentaires, Série grise, stéphanienne, Série grise et rosée, à faciès autunien, Série rouge et Série conglomératique rouge, à faciès saxono-thuringien. Malgré l'absence de datation radiométrique due au manque de roche volcanique interstratifiée, l'âge de ces dépôts continentaux a pu être précisé. Nous présentons une tentative de corrélation entre les épisodes sédimentaires et les principaux événements tectoniques et magmatiques qui se sont produits dans le domaine continental de Réalmont.

Mots-clés : Carbonifère, Permien, Bassin stéphano-permien, Tarn, Montagne Noire, tectono-magmatisme.

Abstract

The Réalmont basin (Tarn, France) is a Stephano-Permian (Upper Carboniferous, Permian) molasses-filled basin of limited extent, located in the southwestern part of the Massif Central. Four sedimentary units are identified, Grey Serie, Stephanian, Gray and Dew Series, with Autunian facies, Red Series and Red Conglomeratic Series, with Saxono-Thuringian facies. Despite the absence of radiometric dating due to the lack of interstratified volcanic rock, the age of these continental deposits could be specified. We present an attempt to correlate sedimentary episodes with the main tectonic and magmatic events that occurred in the continental Réalmont domain.

Keywords : Carboniferous, Permian, Bassin stéphano-permien, Tarn, Montagne Noire, tectono-magmatism.

1. Introduction

La chaîne varisque est un imposant système montagneux qui s'étend sur plus de 8 000 km du Caucase aux Appalaches. Sa formation est induite par la convergence des deux plaques lithosphériques, Gondwana (Afrique, Europe méridionale) et Laurussia (Laurentie, Baltique, Avalonie) du Silurien supérieur au Carbonifère (Matte, 2001). L'orogénèse varisque est caractérisée par une tectonique polyphasée qui aura duré près de 150 Ma, entre il y a 430 Ma et 300 Ma, et aboutit à la formation du supercontinent Pangée. Après la période d'épaississement crustal qui voit la mise en place des structures chevauchantes, l'orogène varisque est soumis, dans toute l'Europe occidentale

et centrale, à des réajustements tectoniques syn- et post-orogéniques, avec amincissement crustal et phénomènes transtensionnels tardifs qui en disloquent le bâti (Faure *et al.*, 2005 ; 2009). Ils déterminent, durant la période Stéphanien-Permien, la formation de multiples fossés d'effondrement et de bassins intra-montagneux étroits, de type pull-apart, ou demi-graben, orientés par des accidents de socle. Les molasses fini-hercyniennes issues de l'érosion de la chaîne nouvellement formée vont s'y accumuler dès le Carbonifère supérieur (Pennsylvanien supérieur) et durant toute la durée du Permien. L'activité thermique est marquée par une activité magmatique particulièrement intense autour de la limite Carbonifère – Permien dont témoigne la mise en

1. Muséum d'Histoire naturelle de Toulouse, Allées Jules Guesde, 31000, Toulouse. philipfaure@gmail.com

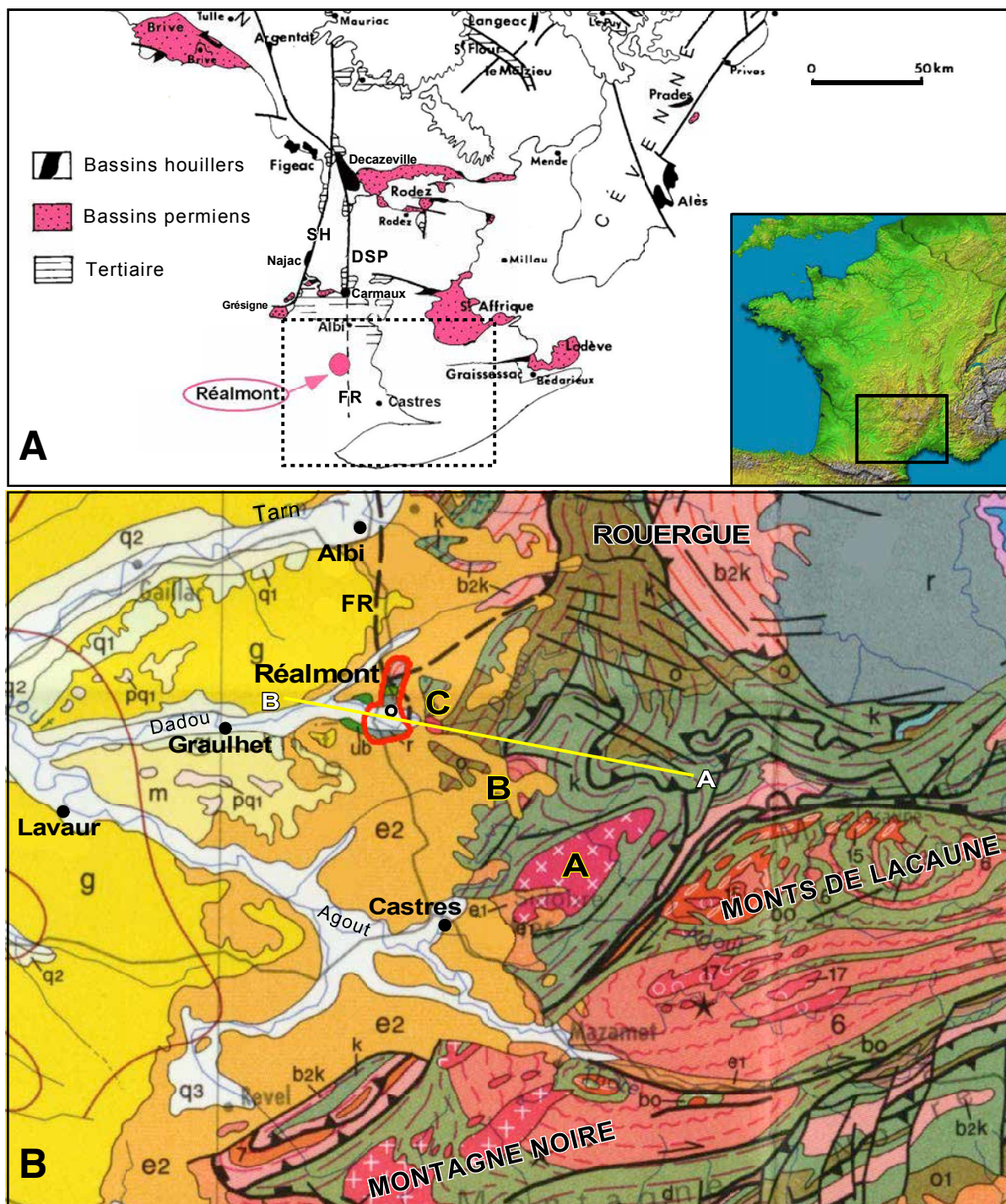


Fig. 1 – A. Situation géographique du bassin de Réalmont par rapport aux autres bassins stéphano-permiens du sud du Massif Central. DSP : Dislocation de la Salvétat-Peyrales ; FR : Faille de Réalmont ; SH : Sillon houiller. **B.** Cadre géologique du bassin de Réalmont (carte géologique au 1 :1000000, B.R.G.M).

Légende. A : laccolithe du Sidobre ; B : Granite de Montredon-Labessonié ; C : Granite de Peyrebrune ; Ligne A-B : axe de la coupe de la Fig. 3.

place de multiples plutons de granitoïdes, dits tardihercyniens, qui recoupent les structures précoces et sont synchrones des déformations tardives de l'orogénèse varisque.

Le bassin de Réalmont est l'un de ces bassins. Il est une excellente zone d'étude car il enregistre une

séquence sédimentaire exceptionnellement complète qui va du Stéphaniens au Permien supérieur (Delsahut, 1981). L'objectif de cette étude est de contraindre l'évolution structurale du fossé de Réalmont dans le cadre chronologique de l'évolution post-varisque de la Montagne Noire.

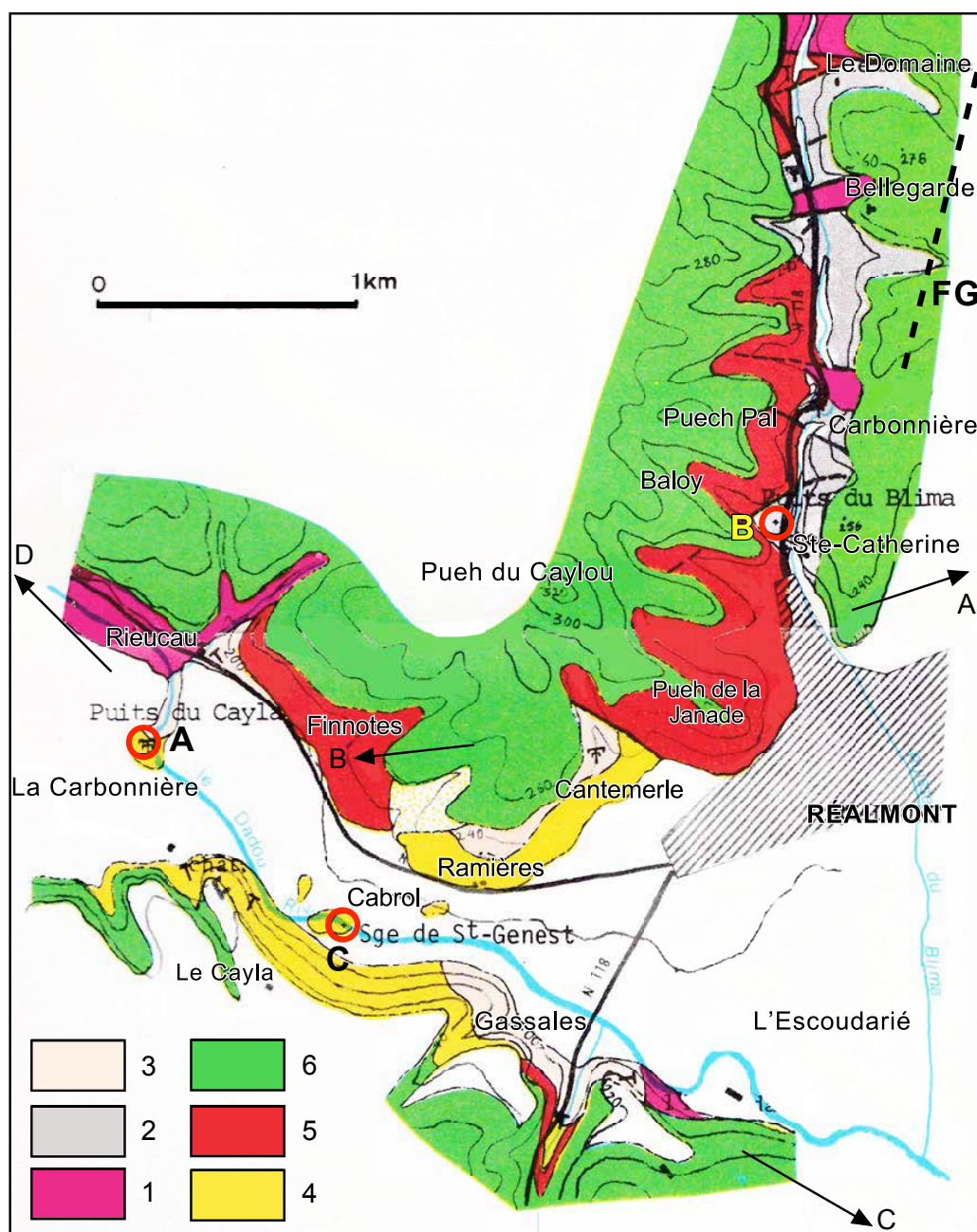


Fig. 2 – Carte géologique à 1/50000ème du Stéphano-Permien du bassin de Réalmont, reproduite de Delsahut (1981). **Légende** : 1. Socle leptynitique ; 2. Série grise. Stéphanién ; 3 et 4. Série grise et rouge ; 3. Formation conglomératique rosée de base et Formation grésopélitique grise ; 4. Formation argilo-pélitique grise et rouge ; 5. Série rouge et Série conglomératique rouge supérieure ; 6. Tertiaire discordant. **Cercles rouges** : A. puits du Moulin de Cayla ; B. puits du Blima ; C. sondage de Saint-Genest ; FG. Faille de Gédoul ; Lignes fléchées : tracé approximatif des coupes illustrées **Fig. 16**. A-B, coupe haut ; C-D, coupe bas.

2. Contexte géologique

Le bassin de Réalmont est le plus méridional des bassins stéphano-permiens du Massif Central (**Fig. 1**). Situé à l'ouest des Monts de l'Agout et du Ségalias, ses dépôts apparaissent sous les Argiles à graviers du Tertiaire de l'Aquitaine, à la faveur d'une fenêtre d'érosion, découvrant un bassin molassique de dimensions pluri-kilométriques (7 km dans le sens

nord-sud, 2,5 km dans le sens est-ouest, pour 4,5 km²) (**Fig. 1, 2**) correspondant à un fossé d'effondrement (**Fig. 3**). Il est orienté par une faille de direction nord-sud, la Faille de Réalmont, reconnue depuis les travaux de Bergeron (1889). Elle se place dans le prolongement méridional d'un réseau de plusieurs failles disposées en relais, qui unit les bassins houillers de Decazeville et de Carmaux et se prolonge vers Réalmont : la Dislocation de la Salvétat-Peyralès

(Collomb, 1970) (**Fig. 1A**). A Réalmont, cet accident de socle n'est pas visible à l'affleurement, mais la « Faille de Gédoul » identifiée par Servelle (1979), dans l'Éocène proche, pourrait exprimer le jeu de cet accident plus ancien, sous-jacent (**Fig. 2**).

Les dépôts stéphano-permiens sont hachés par un réseau de failles de direction prédominante est-ouest, n'affectant pas le Tertiaire, de signification vraisemblablement synsédimentaire, délimitant de multiples horsts de socle (Bergeron, 1889 ; Delsahut, 1981) (**Fig. 2, 8**).

Le socle leptynitique altéré et rubéfié et le Stéphano-Permien de Réalmont sont recouverts par le Tertiaire discordant du Bassin d'Aquitaine dont les sédiments les plus anciens sont d'âge éocène, bartonien vraisemblable : les « Argiles à graviers de l'Albigeois et du Carmausin » (**Fig. 1, 16**). Ce sont des argiles rutilantes intercalées de lits de galets de quartz blancs et d'éléments métamorphiques arrachés au socle sous-jacent. Leur intense coloration rouge est héritée du remaniement des dépôts du Permien.

2.1. Contexte structural

Les structures varisques les plus représentatives qui constituent l'environnement du bassin de Réalmont sont représentées par une superposition d'unités structurales à vergence méridionale dont la mise en place est rapportée à un événement tectono-métamorphique tangentiel d'âge Carbonifère inférieur (345-330 Ma) (Guérangé-Lozes & Burg, 1990 ;

Costa, 1990 ; Faure *et al.*, 2005) (**Fig. 3**). Elles y sont affectées par un métamorphisme de faible degré, ne dépassant pas le faciès « schistes verts ».

Le socle des formations stéphano-permiennes proprement-dites est très altéré mais, à l'ouest de Réalmont (Rieucan), il apparaît, en fenêtre sous les Argiles à graviers du Tertiaire (Durand, 1939) à la faveur d'une faille de direction NE-SW. Le talus de la RD 631, en montre un long affleurement (**Fig. 4**). Il s'agit d'un corps constitué de gneiss leptynitiques foncés, grenus, massifs, intercalés de lits d'amphibolites vert clair, au niveau desquels on peut reconnaître une foliation de direction N10-20 °E, de faible pendage vers l'Ouest (20°). Plusieurs faciès pétrographiques y sont reconnus : gneiss à petits yeux (leptynites) à amphibole et à grenats, amphibolites sombres ; amphibolites vert-clair ; gneiss amphibolitiques ; aplites et granodiorites en filons (Guérangé-Lozes *et al.*, 1996).

Ce corps se prolonge vers l'Albigeois où sa répartition cartographique se superpose à une anomalie gravimétrique lourde (Corpel *et al.*, 1987). On lui rapporte aussi des gneiss et des amphibolites identiques affleurant aux environs de Carmaux, de Laguëpie et de Najac, suggérant de rassembler l'ensemble sous l'appellation de Complexe leptyno-amphibolitique de Réalmont-Najac-Laguëpie. Ce complexe relève, notamment dans le Massif Central, d'un magmatisme bimodal d'âge Ordovicien basal (480 Ma, environ) (Pin & Lancelot, 1982 ; Lotout *et al.*, 2016 ; Pouclet *et al.*, 2016). Il pourrait correspondre

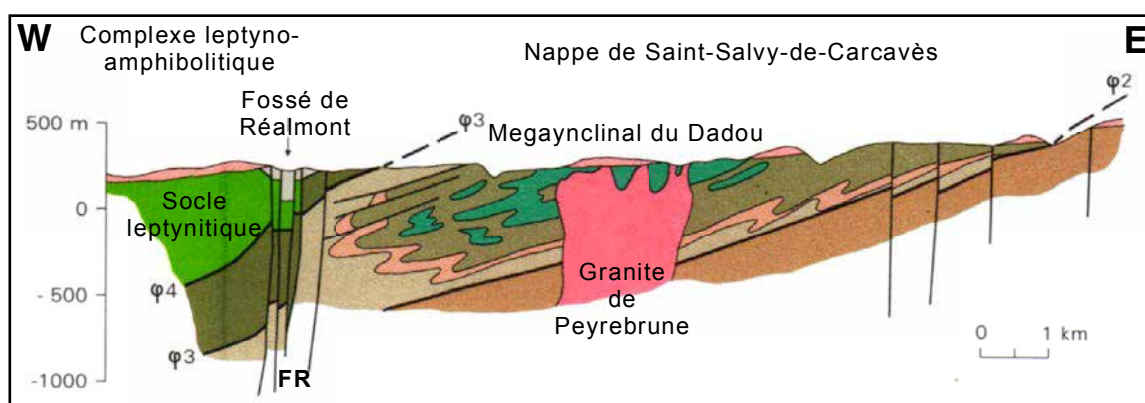


Fig. 3 – Coupe est-ouest passant par Réalmont (voir axe **Fig. 1**), d'après la carte géologique B.R.G.M. de Réalmont au 1/500000^e. D'est en ouest : **La nappe de Saint-Salvy de Carcavès** est constituée de plusieurs ensembles lithologiques échelonnés du Cambrien inférieur à l'Ordovicien, ployés en un synclinal couché, déversé vers le sud, le Mégasynginal du Dadou. Des sills et des coulées de « roches vertes » (métadolérites et metabasaltes) (en vert) témoignent d'un volcanisme basique ordovicien de type tholéitique. Les **granites de Peyrebrune** (en rouge) sont en relation très vraisemblable avec un corps granitique profond caché. Le **Complexe leptyno-amphibolitique** (en vert clair) appartient à une unité supérieure chevauchante. Les gneiss forment le substratum du fossé d'effondrement de Réalmont qui est délimité par un faisceau de failles normales subméridiennes dont la Faille de Réalmont (FR).



Fig. 4 – Les gneiss leptynitiques du Complexe leptyno-amphibolique, à l’ouest de Rieucan (ouest de Réalmont). **A.** long affleurement le long du talus de la RD 631 ; **B.** gneiss foncés, massifs, de composition basique; **C.** pendage de la foliation en direction de l’ouest.

à une ancienne croûte d’un domaine océanique plus ou moins étendu, disloquée et métamorphisée, ou bien à un bassin arrière-arc. Sa signification et sa structuration présenteraient de grandes analogies avec d’autres séries leptyno-amphibolitiques du Massif Central, telle celle qui caractérise la « Ceinture du Levezou » (Bodinier & Burg, 1980-81 : Lotout *et al.*, 2016).

De nombreux corps de granitoïdes d’âge pennsylvanien supérieur à permien inférieur recoupent les structures hercyniennes précoces et sont synchrones des déformations les plus tardives de l’orogénèse varisque, pour les principaux et les plus proches, les massifs du Sidobre, de Montredon-Labessonnié et de Peyrebrune, situés respectivement au sud-est et à l’est du bassin de Réalmont (**Fig. 1B**).

2.2. Le contexte chronostratigraphique général

Le découpage chronostratigraphique des dépôts du Carbonifère et du Permien qui prévalait jusque dans

les années 1990, était fondé en Europe occidentale sur des successions sédimentaires déposées en milieu uniquement continental, difficiles à synchroniser d’un bassin à un autre, sujettes à des variations latérales de faciès et dépourvues de repères paléontologiques autres que ceux donnés par les flores et les microflore. Ce découpage stratigraphique n’a pu résister à la confrontation avec des échelles chronostratigraphiques élaborées sur des séries marines, reposant sur la stratigraphie des foraminifères (fusulines), des conodontes ou des ammonoïdés. Des stratotypes et des références de limite d’étage (points GSSP) définis dans des aires souvent très éloignées (Alpes Carniques, Dolomites, Tunisie, Iran, Amérique, Chine) ont été depuis entérinés par les référentiels internationaux (ICN, 2021)(**Fig. 5**).

Il est, depuis lors, devenu essentiel de pouvoir corréler les molasses européennes continentales de la fin du Carbonifère (Stéphanien) et du Permien (Autunien, Saxonien, Thuringien) avec l’échelle chronostratigraphique globale établie dans des séries

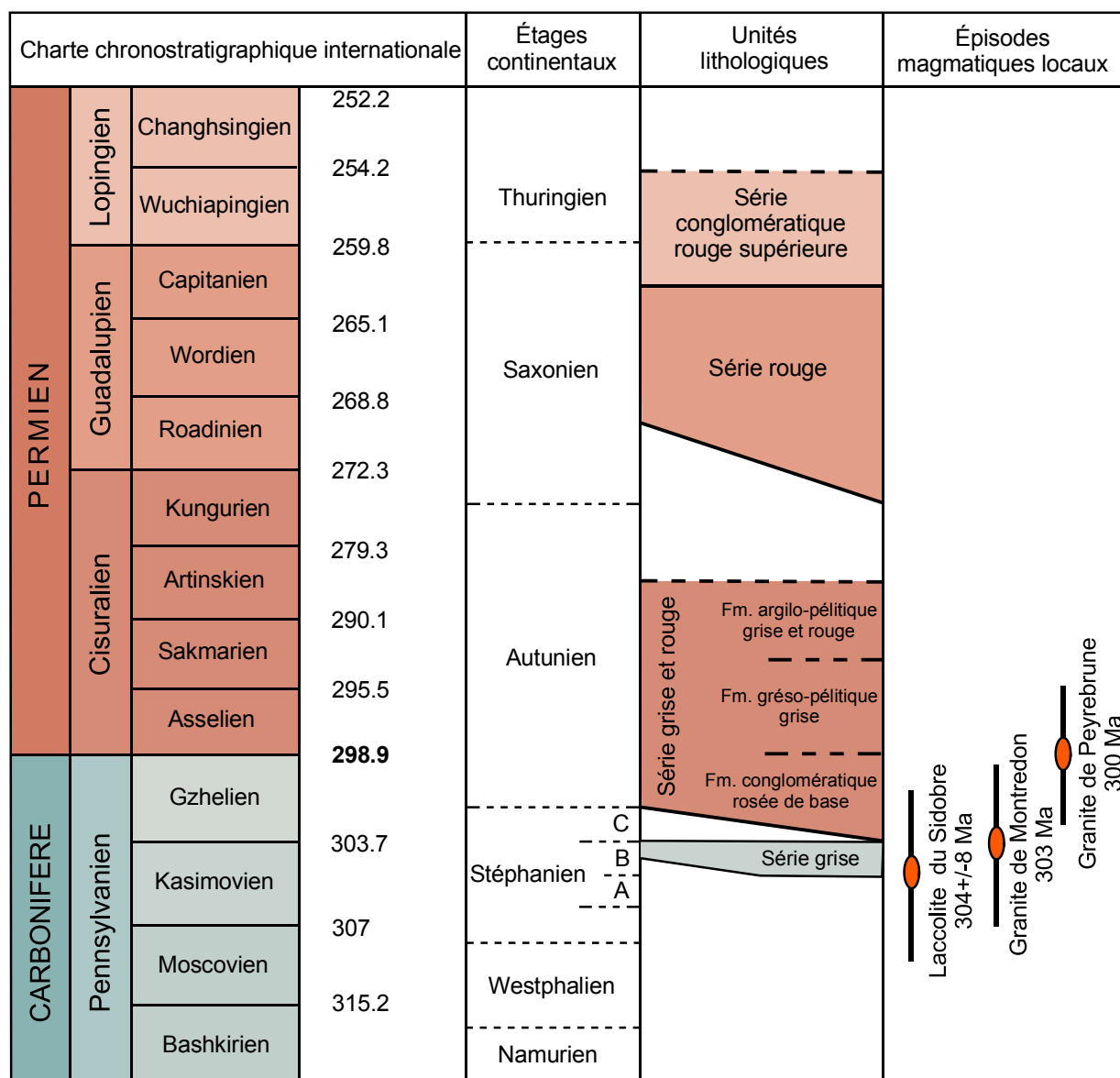


Fig. 5 – Schéma de corrélation entre la charte internationale des étages (Cohen *et al.*, 2013, modifiée 2021) et les étages continentaux (Montanez & Poulsen, 2013). Proposition de corrélation avec les formations lithologiques identifiées dans le Stéphanio-Permien du bassin de Réalmont. Trois intrusions de granitoïdes géographiquement proches sont replacées dans le contexte des âges radiométriques connus.

Remarques : La limite entre le Carbonifère et le Permien, aujourd'hui précisément placée à **298.9±0.15 Ma** (Cohen *et al.*, 2013), est aussi la limite entre les étages Gzhélien et Assélien (**Fig. 5**). La première interrogation a été de situer cette limite par rapport à la limite entre les deux étages continentaux Stéphanien et Autunien. Rappelons qu'en domaine continental, le premier de ces « étages » est considéré comme le dernier du Carbonifère, le second, comme le premier du Permien. Les études les plus récentes tendent à prouver que la limite Carbonifère-Permien se placerait beaucoup plus bas que la limite Stéphanien-Autunien, la partie inférieure de l'Autunien faisant ainsi partie du Carbonifère. Les intuitions des auteurs (Feys & Greber, 1972) qui réunissaient dans le bassin d'Autun, le Stéphanien et la base de l'Autunien dans un « étage Stéphanio-Autunien » rattaché à l'étage Pennsylvanien, se trouvent confirmées par la datation d'un tonstein de l'Autunien inférieur du bassin d'Autun autour de la limite Gzhélien- Assélien (Pellenard *et al.*, 2017).

La subdivision du Permien en trois parties, Autunien, Saxonien, Thuringien, qui prévalait jusqu'aux années 1990, était fondée sur des faciès continentaux d'Europe occidentale. L'Autunien était choisi comme type de l'étage inférieur par référence aux formations du bassin d'Autun, le Saxonien à partir des grès rouges d'Europe centrale (« Nouveaux Grès rouges »), notamment de la Saxe, et le Thuringien, mis en équivalence avec le Zeichstein allemand. En l'absence de critère chronostratigraphique, la limite entre l'Autunien et le Saxonien était conventionnellement placée au niveau de la discordance qui exprime la phase saalienne (Feys & Greber, 1972), la limite entre Saxonien et Thuringien ne trouvant aucun repère, dans les zones non atteintes par la transgression marine du Zeichstein. Fondée sur des bases uniquement continentales, la stratigraphie de cette trilogie du Permien a dû faire place à une chronostratigraphie élaborée en domaine marin et les étages continentaux d'Europe occidentale sont désormais utilisés en tant que faciès. Le système Permien est désormais divisé en trois séries et neuf étages définis par leurs limites (GSSP), mais la corrélation entre les séries « autunienne, saxonnienne et thuringienne » avec cette charte internationale reconnue en milieu marin, reste encore l'objet de nombreuses controverses.

marines. Mais la plupart des travaux se sont heurtés à la difficulté de corréler les contenus floristiques et faunistiques continentaux avec les organismes marins qui ont servi à l'élaboration des standards internationaux (Deroin *et al.*, 2005).

Depuis les années 2000, la chronologie absolue est devenue un outil de corrélation incontournable. Cette technique permet maintenant de disposer d'échelles parallèles à l'échelle planétaire permettant de proposer une corrélation fiable entre les « stratotypes » continentaux et leurs équivalents en domaine marin (Montanez & Poulsen, 2016). La charte chronostratigraphique 2013 de l'IUC (International Commission on Stratigraphy) (Cohen *et al.*, 2013) est ici prise comme référence (Fig. 5).

2.3. Contexte stratigraphique local

La prédominance de brèches, de conglomérats et de grès grossiers gris ou rouges, suggère une sédimentation détritique d'origine continentale et des apports d'origine locale, proche (Delsahut, 1981). L'âge des formations reste imprécis, principalement en raison du manque de fossile à valeur biostratigraphique dans les dépôts détritiques et de l'absence, à ce jour, de donnée d'âge absolu. Dans ces environnements continentaux, les dépôts sont diachrones ce qui rend difficile leur corrélation au sein du même bassin, mais aussi avec d'autres bassins stéphanopermiens de l'extrémité méridionale du Massif Central, comme les bassins de Carmaux et de Najac. Dans tous ces bassins, la subdivision continentale des dépôts permien reste couramment utilisée (Delsahut, 1981, 1989), mais le manque de contraintes d'âge absolu rend difficile sa corrélation précise avec la charte chronostratigraphique internationale (Cohen *et al.*, 2013) (Fig. 5). La position de la limite Carbonifère-Permien, la position du Stéphanien et le découpage du Permien restent controversés.

Dans ce travail, nous avons distingué quatre groupes lithologiques principaux, inspirés du découpage lithologique de Delsahut (1981, 1989) et de Broutin *et al.* (1983), qui peuvent être corrélés d'un bassin du Massif Central à l'autre. Leur épaisseur totale, à Réalmont, n'excède pas 450 m. Aucun épisode volcanique interstratifié n'y est repéré.

Nous distinguons :

- **La Série grise** ou « Houiller », à faciès carbonifère ;
- **La Série grise et rouge**, à faciès autunien ;
- **La Série rouge**, à faciès saxonien ;
- **La Série conglomératique rouge**, à faciès saxono-thuringien.

3. La Série grise ou « Houiller » du Bassin de Réalmont

Dépôts les plus anciens du bassin de Réalmont, ils sont très tôt reconnus comme appartenant aux « formations houillères » et on fait, en conséquence, l'objet d'une recherche opiniâtre de houille exploitable.

3.1 Histoire de la recherche de houille à Réalmont

Caraven-Cachin (1898, p. 121) nous donne des indications originales sur l'histoire des recherches de charbon à Réalmont. Il nous apprend « qu'un charbon de bonne qualité que des forgerons employaient avec succès » était exploité dans une mine « découverte au Cayla » en 1756 (Fig. 6). Au point que le Chevalier de Solage, qui a déjà main mise sur l'exploitation du charbon du bassin de Carmaux, veut se l'approprier. En 1768, il « fit faire des fouilles sur la rive droite du Dadou pour pénétrer par dessous la rivière dans la mine du Cayla, mais les propriétaires du terrain s'y opposèrent, ainsi que les commissaires du Diocèse ».

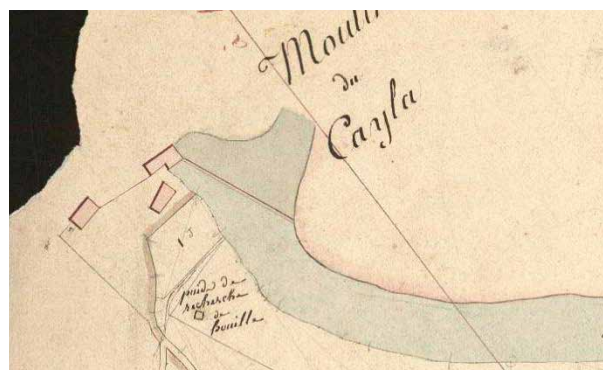


Fig. 6 – Le « puits de recherche de houille » du Moulin de Cayla est bien localisé sur la rive droite du Dadou sur une carte du 18^{ème} siècle.

L'ingénieur des mines Manès (1836) nous donne les rapports de deux sondages effectués par « une société », le premier, dans la vallée du Blima (Fig. 2, nord de Réalmont), aurait atteint 102 m de profondeur, le second, au niveau du château de Cayla (Fig. 2, Ouest de Réalmont), 109 m. Selon Manès (1836) et de Boucheporn (1848), tous deux ont traversé une série de schistes et de grès pouvant appartenir au Houiller « sans fournir de charbon exploitable », au point que la question de l'âge réel du « Houiller » de Réalmont sera posée.

Bergeron (1889), dans sa magistrale étude du Massif Central, reprend l'étude géologique du Houiller de Réalmont dont il souligne la complexité tectonique (Fig. 8A). Il découvre une flore dans les déblais provenant du forçage du puits du Moulin

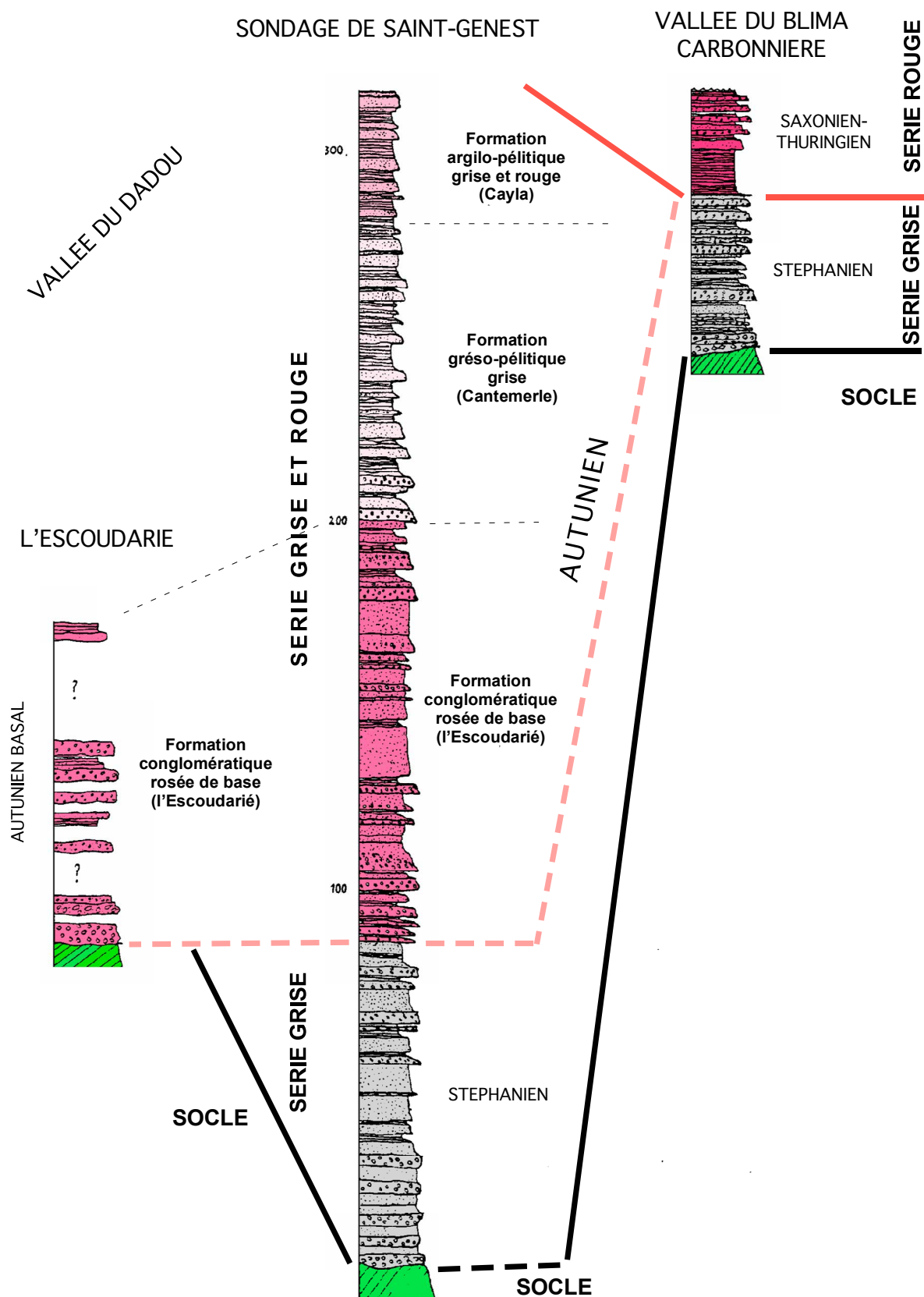


Fig. 7 – Succession lithologique des dépôts du Stéphanien-Permien du bassin de Réalmont, d'après Delsahut (1981) modifié. Au centre, succession lithologique du sondage d'exploration de Saint-Genest, avec coupe du Stéphanien et des trois formations de la série autunienne. Comparaison avec : à gauche, la coupe de l'Escoudarié ; à droite, la coupe de la vallée du Blima au niveau de Carbonnière.

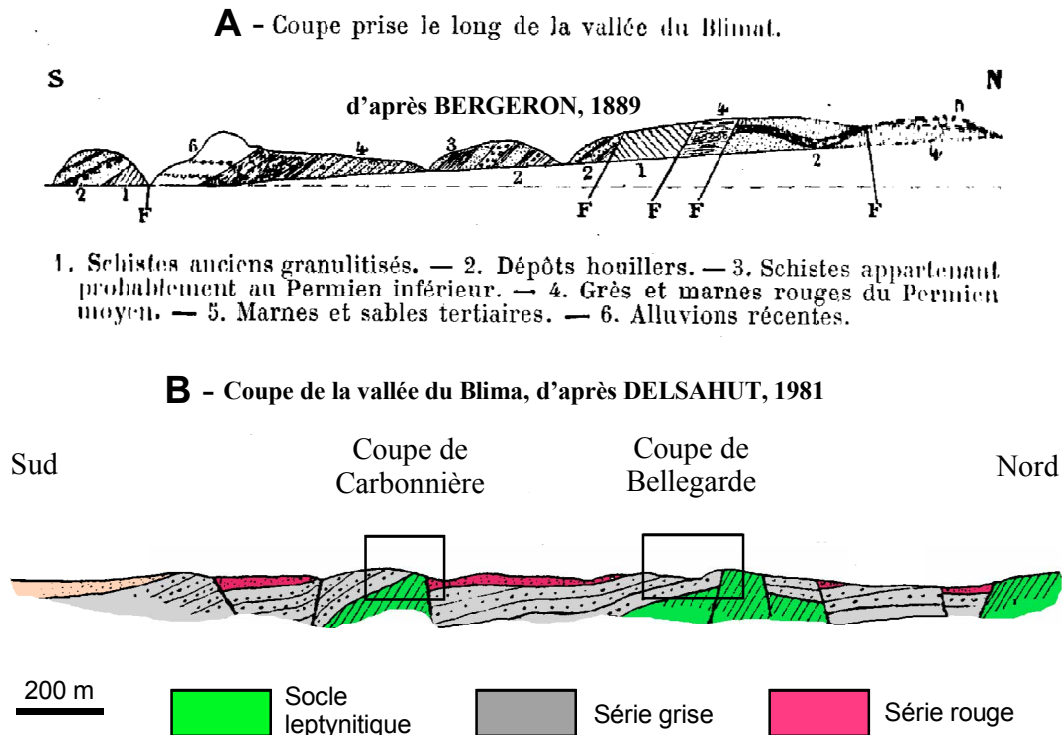


Fig. 8 – Coupe nord-sud de la vallée du Blima (nord de Réalmont). **A** : d'après Bergeron (1889) ; **B** : d'après Delsahut (1981). Le Stéphien est haché de failles de direction est-ouest.

du Cayla (**Fig. 6**), qui lui confirme son attribution au Houiller, avec « *Callipteridium ovatum*, *C. gigas*, *Pecopteris hemithelioides*, *Odontopteris minor*, *Nevropteris heterophylla*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Samaropsis* sp. ». Caraven-Cachin (1898, 1902) complète ces récoltes de végétaux mais ne fournit aucune précision supplémentaire quant à l'âge de ces couches.

L'intérêt pour la recherche de houille dans le bassin de Réalmont reprend dans les années 1970-80, avec les études de Vetter & Mazeaud (1976) et de Doubinger (1976), et la réalisation par les Houillères du bassin d'Aquitaine, d'un sondage d'exploration, dit de Saint-Genest (**Fig. 7**). La synthèse géologique de Delsahut (1981, 1989) sera le dernier travail sur la « Série du Blima » (Delsahut, 1981), encore appelée « Série de Réalmont » par Delsahut (1989). Nous ferons de nombreux emprunts à ce travail.

3.2 Stratigraphie de la Série grise

Les dépôts « houillers » affleurent principalement au nord de Réalmont où ils montrent de bons affleurements dans la vallée du Blima, le long du talus de la RN 612. Les couches sont hachées par un réseau de faille de direction prédominante est-ouest, interdisant d'en lever une coupe continue. A

Bellegarde, elles s'y disposent en panneaux de part et d'autre d'un horst du socle leptynitique altéré, déjà observé par Bergeron (1889) et Delsahut (1981) (**Fig. 8**).

Entre Carbonnière et Puech Pal (nord de Réalmont), le socle leptynitique n'est plus visible depuis les travaux de déviation de la RN 612 et seule la partie basale du Carbonifère affleure le long du talus de l'ancienne route. Avec un pendage de 35° vers le sud-ouest, on observe d'est en ouest (**Fig. 9A et 10**) :

- 2-3 m : Plusieurs bancs compacts de brèches sédimentaires polygéniques constituées de fragments anguleux, hétérométriques et mal triés, de quartz et de gneiss à amphibole, de dimensions décimétriques, remaniant des éléments du substratum, cimentés par une matrice siliceuse peu abondante.
- 20 m, environ : superposition de séquences grano-classées de type fluvatile, d'épaisseur métrique, montrant la répétition des termes suivants, de bas en haut :

- Conglomérats en bancs compacts ravinant la séquence précédente. Ils sont constitués de galets polygéniques roulés (quartz, gneiss, aplite verdâtre,...) dans une matrice grés-micacée peu abondante.
- Grès arkosiques grossiers, très micacés, lités.

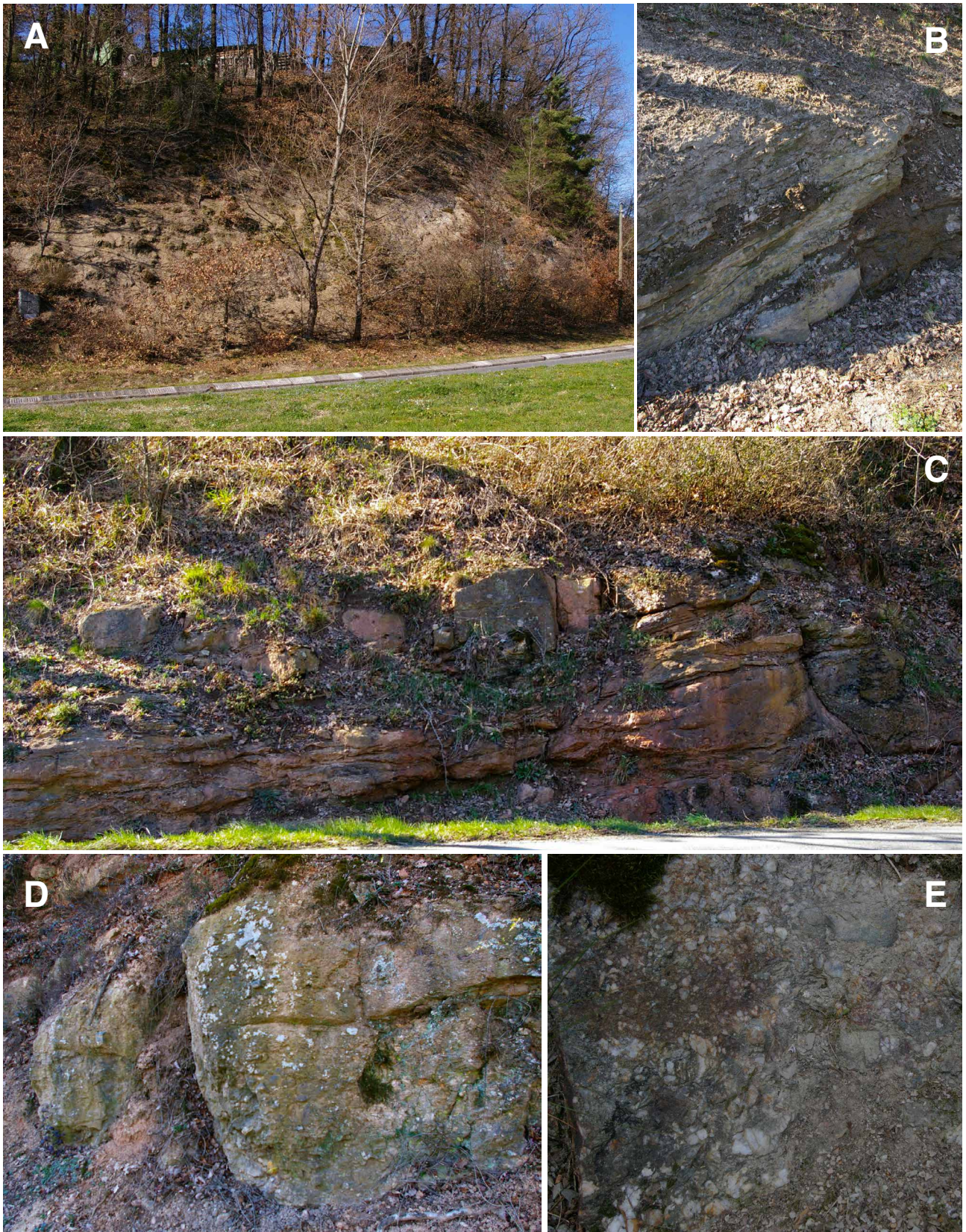


Fig. 9 – Série grise. Le Stéphanien de la vallée du Blima. **A.** Coupe de Puech Pal - Carbonnière, bancs de conglomérats, de grès et de pélites avec un pendage de 35° vers le sud-ouest, le long de la déviation de la RD 612, au niveau d'une stèle. **B-E.** Coupe de Bellegarde : **B.** Silts sombres riches en matière organique qui ont fourni une flore en ce point ; **C.** coupe des bancs du Stéphanien. Vue générale du talus de la RD 612 ; **D.** Banc grano-décroissant à la base d'une séquence fluviatile, de brèche polygénique à grès grossiers ; **E.** Brèche polygénique à éléments de quartz blanc et de roches métamorphiques.

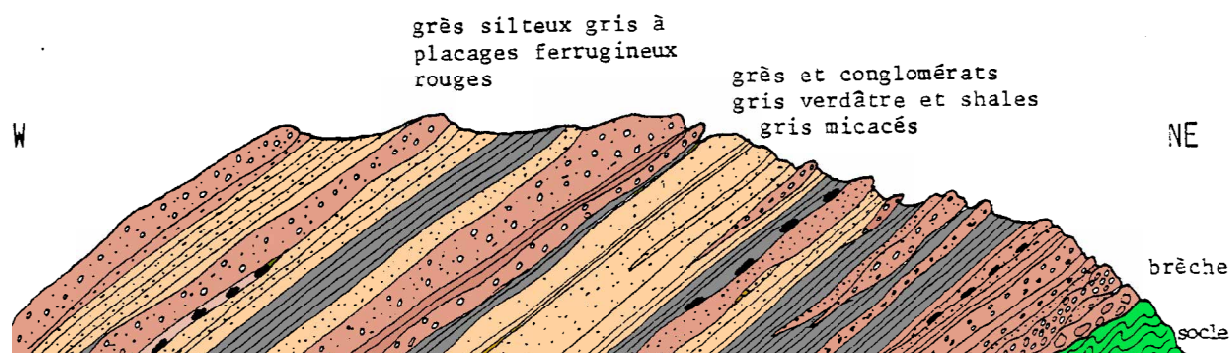


Fig. 10 – Coupe du Stéphanien de Carbonnière, relevée sur le talus de la déviation de la RD 612 (voir Fig. 9A, d'après Delsahut, 1981).

- Grès silteux gris - verdâtres, micacés, souvent très altérés.

Face à Bellegarde, le Carbonifère, affleure sur une trentaine de mètres d'épaisseur le long du talus de la RN 612, au sud d'un horst de leptynites altérées. Les sédiments sont représentatifs d'un niveau élevé, non sommital, du Stéphanien de Réalmont (**Fig. 9B-E**). Ils s'y agencent en plusieurs séquences sédimentaires grano-classées, de type fluvatile, dont la succession des termes est, de bas en haut :

- Banc grés-conglomératique grano-classés massifs et compacts, à base érosive, constitué de galets polygéniques roulés dans une matrice grésomiacée peu abondante (**Fig. 9D, E**).
- Grès arkosiques grossiers, très micacés, à stratifications irrégulières, souvent obliques.
- Grès silteux et micacés gris verdâtres, souvent épais, finement lités, à nodules de sidérite, pouvant comporter des lits de matière organique.

Les niveaux silteux, riches en matière organique, plus nombreux et plus épais dans cette partie plus élevée du Carbonifère (**Fig. 9B**), ont fourni en ce point la flore stéphanienne déterminée par Vetter & Mazeaud (1976).

Les couches carbonifères les plus récentes sont affectées par une rubéfaction probablement liée à la contamination des dépôts du Permien rouge qui leur succèdent en discordance.

3.3 Autres affleurements

La « Série du Blima » (Delsahut, 1981) est traversé sur 90 m d'épaisseur par le sondage de Saint-Genest, implanté dans la vallée du Dadou, à proximité de Cabrol, qui en donne une coupe continue avant d'atteindre le socle hercynien à 300 m de profondeur (*in* Delsahut, 1981) (**Fig. 7**). Après une série bréchique reposant sur un socle leptynitique altéré, se succèdent des séquences répétitives de type fluvatile associant,

dans des proportions variables, des conglomérats, des grès et des silts à niveaux riches en matière organique et débris de végétaux. La taille des éléments diminue globalement de la base vers le sommet au sein d'une succession globalement grano-décroissante (Delsahut, 1981). Le sondage ne traverse aucune couche de houille, mais une veinule de houille aurait été traversée lors du fonçage du puits du Blima en 1813 (*in* Manès, 1836).

A l'ouest de Réalmont, les couches stéphanien affleurent au raz de l'eau, dans le lit du Dadou, en amont de La Carbonnière (Moulin du Cayla), où Manès (1836) et Bergeron (1889) avaient constaté la présence de plusieurs sondages d'exploration effectués au XIX^e siècle (**Fig. 6**).

3.4. Signification sédimentologique

Le Stéphanien de Réalmont débute partout par une assise bréchique qui remanie des éléments provenant du substratum. Celle-ci est particulièrement développée au sud de Sainte-Catherine (nord de Réalmont) où son épaisseur peut témoigner de la proximité de la faille bordière active du bassin (Delsahut, 1981).

L'examen sédimentologique montre ensuite une prédominance des dépôts détritiques grossiers agencés en séquences de type fluvatile, dans un environnement clairement continental, qui témoignent d'écoulements torrentiels de haute énergie et de la proximité des apports détritiques.

3.5. Âge de la Série grise du bassin de Réalmont

Les récoltes de Bergeron (1889) ont été complétées par celles de Caraven-Cachin qui publie en 1898 et en 1902 une liste exhaustive de la flore de Réalmont. Mais la nécessité d'une révision taxonomique des espèces citées et l'absence de figuration ne permettent pas de préciser l'âge carbonifère supérieur.

Plus récemment une flore à cachet stéphanien évident est recueillie à Bellegarde (nord de Réalmont)

par Vetter et Mazeaud (1976, liste inédite reproduite dans Delsahut, 1981) (**Fig. 9B**). Une microflore déterminée par Doubinger (1976 *in* Delsahut, 1981) indique plus précisément la **partie supérieure du Stéphanien B**.

Ce niveau est actuellement corrélé avec la partie supérieure de l'étage **Kasimovien** (307,0–303,7 Ma). Montanez & Poulsen (2013) privilégient un Stéphanien B court, d'une durée inférieure à 1 Ma, autour d'il y a 303–304 Ma (**Fig. 5**).

A noter que le Carbonifère de Réalmont est plus récent que celui du bassin de Carmaux (Stéphanien inférieur), mais que son âge est identique à celui des bassins de Najac et de Laguëpie.

4. La Série grise et rouge du Bassin de Réalmont

4.1. La découverte du Permien

Manès (1836) avait déjà constaté que le « Houiller » de la vallée du Dadou était surmonté « de grès psamnitiques et d'argiles schisteuses » qu'il attribuait au « Grès bigarré ». Bergeron (1889) montre à son tour que le Houiller, qu'il vient de dater, est surmonté en continuité par des « schistes du Permien inférieur ou Autunien (...) et les grès rouges du Permien moyen ou Rothliegende ». Caraven-Cachin (1898) en donne encore une bonne description lithologique et cet auteur distingue trois assises principales : le Houiller, l'Autunien et le Saxonien. Depuis, le Permo-Carbonifère de Réalmont est divisée en trois groupes sédimentaires : une formation houillère, attribuée au Stéphanien, une « Formation à dominante grise, ou série grise » qui représente le groupe Autunien et une « Formation à dominante rouge, ou série rouge », qui représente le groupe Saxonien (Delsahut, 1981).

Il faudra attendre les données du sondage d'exploration dit de Saint-Genest (*in* Delsahut, 1981) pour enfin disposer d'une coupe complète montrant la superposition des différents faciès et les rapports des formations entre elles (**Fig. 7**).

4.2. Stratigraphie

4.2.1 Formation conglomératique rosée de base

A l'ouest de l'Escoudarié (sud de Réalmont), les couches de la base du Permien reposent directement sur le socle leptynitique très altéré. La piste de l'Escoudarié les recoupe sur 60 m d'épaisseur (**Fig. 11A**).

On observe de bas en haut :

- Brèches à éléments non classés de quartz et de roches cristallophylliennes arrachés au substratum (couches actuellement non affleurantes) (3 m).

- Grès et silts à lamines sombres, riches en matière organique (2-3 m).

- Superposition de séquences grésopélitiques, de couleur rouge, d'abord incomplètes, comportant ensuite trois termes sédimentaires principaux :

- Conglomérats plus ou moins chenalisés à galets de quartz et matrice argilo-gréseuse rouge (**Fig. 11C**) ;
- Grès arkosique rouge ;
- Grès et passées argilo-gréseuses grises ou rouges (**Fig. 11B**).

Les faciès dominants sont des grès et des conglomérats organisés en séquences grano-décroissantes de type fluvio-torrentiel dont la succession résulte de crues au fort pouvoir érosif sur le substratum, d'épandages de rivières à fort débit ou de cônes conglomératiques.

Cette formation est définie par Delsahut (1981) comme « Ensemble de l'Escoudarié ou Autunien I » ou comme « Conglomérats de base » (Delsahut, 1989). Elle affleure aussi à Rieucan dans le lit du Dadou, au droit du Moulin du Cayla, à Cantemerle et à Ramières. Elle est traversée sur 120 m d'épaisseur par le sondage de Saint-Genest (**Fig. 7**).

Elle fait suite aux dépôts du houiller, sans discontinuité, ni discordance apparente.

À l'Escoudarié, elle repose directement sur le socle.

4.2.2. Formation grésopélitique grise

Dans le quartier de Cantemerle, des grès fins et des pélites grises et beiges disposés en bancs massifs affleurent de façon discontinue à la faveur de travaux ou de talus (**Fig. 12**). Les sédiments, bien lités, sont agencés en séquences rythmiques grano-décroissantes, de type fluvatile, d'épaisseur métrique, dont les plus complètes comportent de la base au sommet (**Fig. 12D-E**) :

- Conglomérats ou grès grossiers plus ou moins ravinant à la base, évoquant un dépôt de chenal.
- Silts à lamines planes ou à traces de rides et pélites silteuses et micacées correspondant à des dépôts de plaine d'inondation.
- lits de siltites charbonneuses litées à traces de végétaux et écailles de poissons.

Il s'agit encore de séquences de type fluvatile, résultant de la divagation de rivières au pouvoir érosif moyen sur une plaine d'inondation distale. L'énergie globale des cours d'eau est en nette diminution alors que se développent les environnements palustres.

Cette formation est définie par Delsahut (1981, 1989) comme « Ensemble de Cantemerle ou Autunien II » ou encore Autunien gris. Elle affleure également à Ramières. Le sondage de Saint-Genest la traverse sur 60 m d'épaisseur.

4.2.3 Formation argilo-pélique grise et rouge

Sur la rive gauche du Dadou, entre Gassalès et le Cayla, les dépôts du Permien constituent l'ossature du relief est-ouest qui domine la rive gauche du Dadou. Une centaine de mètres à l'ouest de Gassalès, plusieurs carrières abandonnées situées au NW du point côté 250 montrent, avec un pendage vers le sud, une centaine de mètres de grès micacés fins et de shales argilo-gréseux de couleur alternativement grise, verte, ou rouge lie-de-vin (**Fig. 13**).

Les séquences, d'épaisseur métrique, qui se

superposent voient se succéder les faciès suivants :

- Grès à rides de courant, lamines obliques et entrecroisées évoquant un chenal ou un lit majeur de rivière ;
- Pélites rouges de plaine d'inondation ;
- Silts laminés et pélites charbonneuses d'environnement palustre, à débris de végétaux.

Il s'agit encore de séquences de type fluvatile, évoquant une plaine d'inondation soumise au vagabondage méandrique périodique de rivières de faible énergie.

Cette formation est définie par Delsahut (1981) comme « Ensemble du Cayla ou Autunien III » ou « Autunien gris et rouge » (Delsahut, 1989). Elle est traversée sur plus de 100 m par le sondage de Saint-Genest.



Fig. 11 – Formation conglomératique rosée de base. Coupe à l'ouest de l'Escoudarié.

A. Vue générale de la coupe en talus de la piste de l'Escoudarié ;
B. Sommet de séquence grésopélique et base de séquence gréseuses plus ou moins chenalisée ;
C. Base de séquence bréchique à éléments de quartz et de roches métamorphiques.

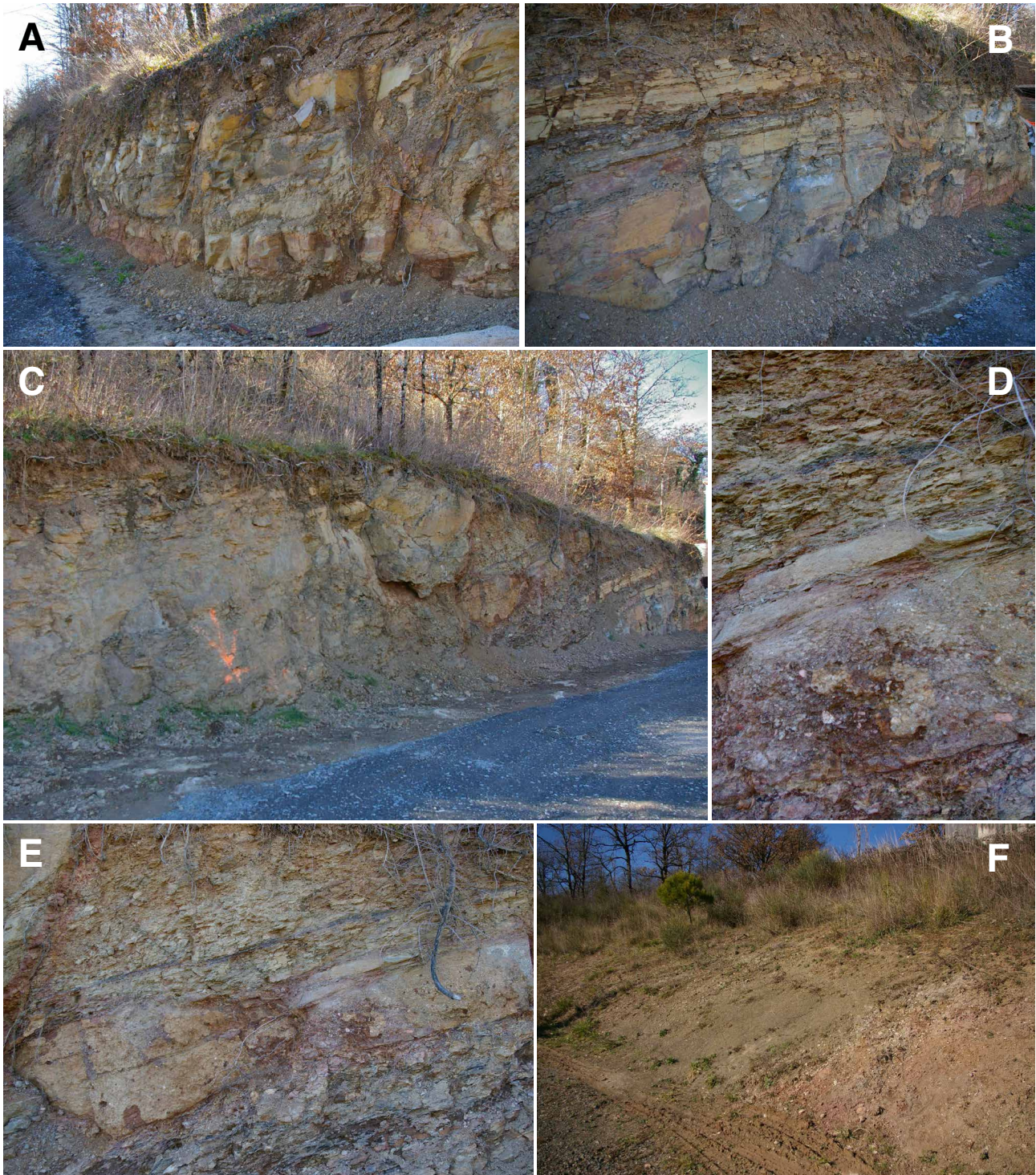


Fig. 12 - Formation grésopélitique grise. Affleurements du quartier de Cantemerle, à Réalmont. **A.** Succession rythmique de bancs compacts de grès et de pélites grises et beiges ; **B.** Les pélites gréseuses en bancs compacts passent à des pélites silteuses tendres, microlitées et laminées ; **C.** Vue générale de l'un des affleurements ; **D, E.** Séquence complète, détail (D) et vue générale (E), avec de la base au sommet : conglomérat érosif à sa base, grès, pélites intercalées d'un lit riche en matière organique ; **F.** Pélites silteuses grises et beiges tendres.

4.2.4. Âge de la Série grise et rouge :

Les rares flores récoltées dans le Permien ne permettent pas de préciser davantage l'âge Autunien donné à la Série grise et rouge de Réalmont :

- Le Conglomérat rosé de base n'a fourni aucune flore

permettant de préciser son âge, encore stéphanien ou déjà autunien. La présence dans un niveau équivalent du sondage de Lavaur, de shales bitumineux à faciès euxinique suggère à Delsahut (1981) un âge encore carbonifère, que l'on peut, par comparaison avec le

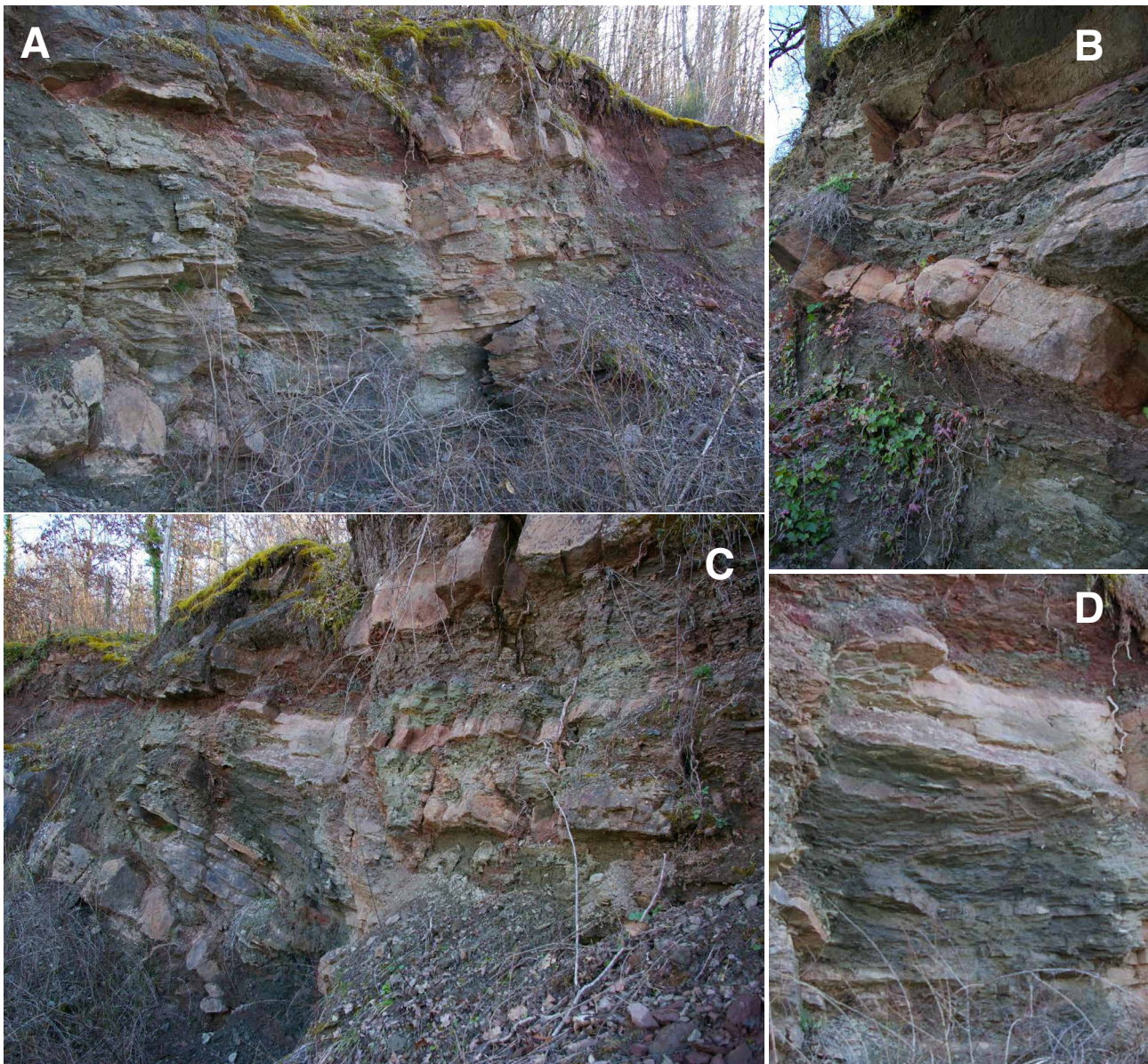


Fig. 13 - Formation argilo-pélitique grise et rouge. Affleurement dans une carrière située à l'ouest de Gassalès. Grès micacés et pélites vertes ou rouges agencés en séquences.

bassin de Salagou (Schneider *et al.*, 2006) ou le bassin d'Autun (Pellenard *et al.*, 2017), placer dans l'étage Gzhélien (Carbonifère terminal) (**Fig. 5**).

- Seule la partie moyenne de la Série grise et rouge de Réalmont a fourni quelques végétaux fossiles à Mazeaud & Vetter (1976), avec *Callipteris conferta*, *Odontopteris*, comparables à ceux trouvés dans les Schistes de Muse du bassin d'Autun (Broutin *et al.*, 1983), assise que l'on place actuellement dans un intervalle compris entre le Gzhélien et le Sakmarien inférieur (Gand *et al.*, 2017) (**Fig. 5**).

- La partie supérieure de l'Autunien, qui a fourni *Lebachia piniformis* et divers *Odontopteris* dans le bassin de Najac, serait absente à Réalmont sous la discordance des pélites à faciès saxonien.

5. La Série rouge du Bassin de Réalmont

Au nord de Réalmont, les dépôts du Permien affleurent assez largement sur la rive droite du Blima où ils sont faciles à observer sur le talus de la RN 612, entre Sainte Catherine et Puech Pal.

5.1. Stratigraphie

A l'est de Baloy, une trentaine de mètres (visibles) de pélites rouges présentent le faciès typique des ruffes de la Grésigne ou du Salagou. Il s'agit d'une alternance cyclique et monotone de bancs de grès rouges, de siltites rouges et de lits argileux rouges ou verdâtres (**Fig. 14**), dans lesquels s'intercalent de rares bancs carbonatés peu épais.

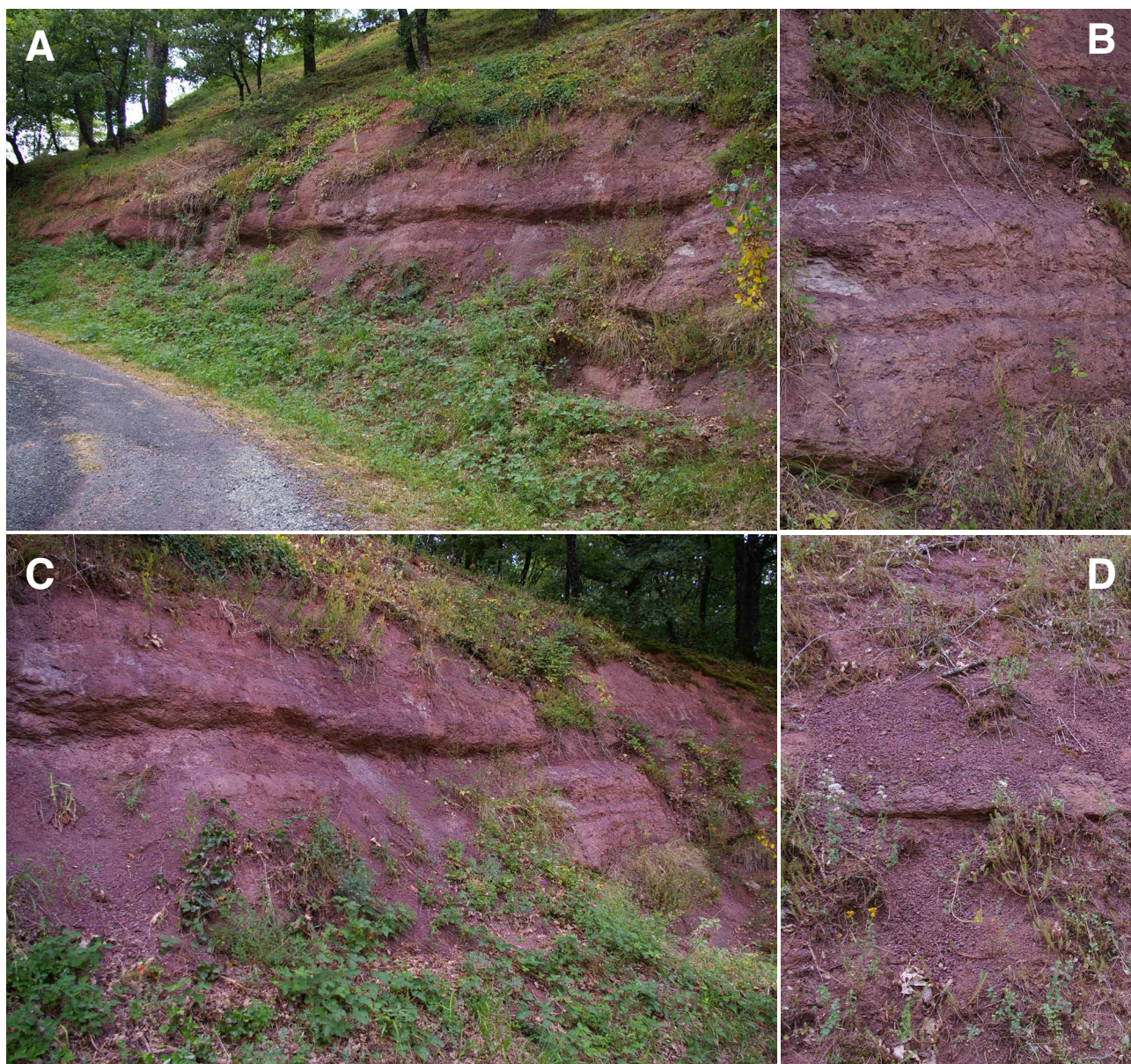


Fig. 14 - Série rouge à faciès saxonien de la vallée du Blima. Affleurement à l'est de Baloy, au nord de Réalmont. Succession rythmique de bancs de grès rouges et d'épais lits de siltites rouges.

Cette formation est définie par Delsahut (1981) comme « Formation rouge » et par Guérangé-Lozes *et al.* (1996) comme « Formation de Réalmont ».

La Série rouge de Réalmont repose en discordance sur des niveaux d'âges variables : sur la Série grise stéphanienne, au nord de Réalmont (vallée du Blima) ; sur les Conglomérats rosés de base de l'Autunien, à l'ouest de Réalmont (entre Ramières et Rieucan) ; sur la Série grés-pélitique grise de la partie moyenne de l'Autunien, au sud de Réalmont (Cantemerle, Gassalès)(**Fig. 16**).

5.2. Sédimentologie

Ses dépôts résultent d'une sédimentation fluviale distale, de faible énergie, sur une large plaine

d'inondation parcourue d'oueds. Des sebkhas ou des lacs désertiques expliquent la présence de niveaux carbonatés, parfois de gypse, dans ces dépôts. Ils permettent d'envisager un environnement semi-aride, désertique, rythmé par de courtes périodes de pluviosité abondante. La signification de la coloration rouge est discutée (Delsahut, 1981, p. 172). Il est maintenant établi qu'elle n'est pas l'indice d'un climat désertique mais d'un environnement chaud et humide, en zone intertropicale, la couleur pouvant aussi être héritée de l'érosion de reliefs altérés sous un climat rubéfiant (Delsahut, 1981).

5.3. Âge de la Série rouge

Aucun fossile ne permet de dater les dépôts de

la Série rouge de Réalmont qui est, par convention, attribuée au **Saxonien** par analogie avec les régions voisines (Grésigne, Salagou,...). Les faciès saxoniens sont assimilables à ceux du OberRotliegend. Dans le bassin de Lodève, ils peuvent être parallélisés avec ceux de la Formation Salagou (Mb. Octon en particulier), dont l'âge Cisuralien supérieur à Guadalupien (étages Kurugien à Capitanien) est suggéré par Schneider *et al.* (2006). A noter qu'une entomofaune fossile, trouvée dans ces dépôts fournit un âge indicatif à l'étage Wordien (Deroin *et al.*, 2005) (**Fig. 5**).

6. La Série conglomératique rouge supérieure du Bassin de Réalmont

6.1. Stratigraphie

A l'ouest de Saint-Catherine (sortie nord de Réalmont), la Série rouge est surmontée par une vingtaine de mètres de conglomérats plus ou moins lités, en bancs métriques, à éléments quartzeux et cristallophyliens, intercalés de lits d'arkose, dont les éléments sont emballés dans une matrice silteuse rouge (**Fig. 15A, B**). Nous retrouvons également d'importantes accumulations bréchiques, peu ou mal stratifiées, dans la partie haute de l'agglomération, sur le flanc oriental du Puech de la Janade (**Fig. 15C, D**), suggérant, pour cette formation, une épaisseur d'une cinquantaine de mètres.

Ces accumulations conglomératiques deltaïques signifient que la faille de Réalmont était active en créant une zone d'alimentation à partir de laquelle les débris grossiers s'étaient vers l'ouest (**Fig. 16**).

6.2. Âge de la Série conglomératique rouge supérieure

Pour Delsahut (1981), la série conglomératique de Réalmont évoque, par son faciès et ses environnements de dépôt, la partie supérieure de la série de la Grésigne, « Complexe détritique de Merlin », que l'on retrouve également dans le sondage de Lavour. Son âge thuringien a été évoqué par Durand-Delga (1979) parce que cette assise est recouverte par des pélites rouges à niveaux de gypse (Fm. de Merlin), qu'il propose de corréliser avec le Zeichstein allemand. A savoir que le Zeichstein allemand représenterait la série lopingienne (**Fig. 5**). Mais tous ces « étages » au contenu paléontologique absent ou d'attribution ambiguë, ne peuvent être conservés qu'en tant que faciès que l'on peut qualifier de saxono-thuringien.

On observe, dans le bassin de Lodève, une évolution identique. Au sommet du Permien, les faciès

de la Formation de Lieude sont aussi caractérisés par l'arrivée soudaine de coulées conglomératiques, avec progradation de cônes alluviaux en rapport avec un changement climatique et de fortes précipitations épisodiques. Cet épisode est placé dans le Capitanien inférieur par Schneider *et al.* (2006).

7. Discussion

7.1. Géodynamique des dépôts (**Fig. 16**)

Le manque d'affleurement et leur exiguïté rendent difficile une reconstitution de la géodynamique des dépôts du Stéphano-Permien de Réalmont.

Les dépôts du **Stéphanien** sont les premiers à recouvrir le socle varisque (**Fig. 16**). Il n'existe aucune continuité sédimentaire entre les bassins intra-montagneux du sud du Massif Central qui sont étroits et profonds, et dont l'évolution sédimentologique et les âges représentés sont différents (Stéphanien A à Carmaux ; Stéphanien C à Réalmont).

Les dépôts de l'**Autunien** débutent par des conglomérats de base qui suggèrent la proximité d'une faille active. A Réalmont, cette assise est placée en continuité avec le Stéphanien (**Fig. 16**), mais peut être discordante sur lui, comme dans le Bassin de Carmaux (Delsahut, 1981). La répartition et les faciès du Stéphanien et de la base de l'Autunien sont très proches, mais ces derniers débordent largement l'aire de dépôt du Stéphanien. Ils sont par exemple discordants sur le socle au sud-est de Réalmont (**Fig. 16**). Les sédiments permien s'étendent largement sous les dépôts éo-oligocène de l'Albigeois comme en témoignent les nombreux sondages qui les ont atteint, par exemple, le sondage de Lavour (Delsahut, 1981). Cet élargissement de l'aire de dépôt des faciès autuniens, par rapport à ceux du Stéphanien, est un phénomène général en Europe occidentale reconnu sous le nom de « inondation autunienne » (Pruvost, 1947). Tous les bassins du sud du Massif Central présentent une même succession stratigraphique. Cette homogénéisation des compositions stratigraphiques suggère qu'ils appartenaient à une beaucoup plus vaste entité qui les intégrait tous, un bassin nord-aquitain (Delsahut, 1981).

Les dépôts du **Saxonien et du Thuringien** recouvrent toujours des faciès carbonifères ou permien préexistants. Jamais, ils ne sont retrouvés directement transgressifs sur le socle. Alors que dans de nombreux bassins, il existe une continuité apparente entre les dépôts autuniens et saxoniens, à Réalmont, la Série rouge est clairement discordante et repose tantôt sur le Stéphanien (vallée du Blima),



Fig. 15 - Série conglomératique rouge supérieure. **A-B** : Affleurement de Sainte-Catherine (sortie nord de Réalmont). Brèches polygéniques à matrice silteuse rouge litées ; **C-D** : Affleurement sur le versant sud-est du Puech de la Janade.

tantôt sur les faciès autuniens (vallée du Dadou) suggérant que son dépôt succède à une importante phase tectonique (**Fig. 16**). L'absence de l'Autunien rouge, sous le Saxonien, permet de supposer que cette formation a été érodée (Delsahut, 1981, 1989). Cette pulsation intra-permienne constante en Europe de l'Ouest, avec discordance angulaire, marque la phase saalienne des anciens auteurs. Elle est induite par un changement des contraintes tectoniques, avec passage d'un régime de décrochement dextre à un régime sénestre, phénomène synchrone d'un changement des caractéristiques chimiques du magmatisme aux alentours de 275 Ma (Derooin *et al.*, 2005). Bien que

parfois particulièrement épais (3000 m dans le sondage de la Grésigne), il semble que les faciès saxoniens présentent une répartition plus étroite que celle des faciès autuniens. Il pourrait s'agir du remplissage de bassins résiduels particulièrement subsidents, à l'intérieur des bassins autuniens (Delsahut, 1981).

7.2. Le contexte structural

Le rôle des grandes failles dans la mise en place des bassins molassiques stéphano-permiens n'est plus à prouver. Les failles subméridiennes de Réalmont et de Rieucan, sont très probablement à l'origine d'une structure extensive de type pull-apart, subsidente,

au sein de laquelle s'accumulent les produits de l'érosion des escarpements de faille et des reliefs de voisinage (**Fig. 16**). Ces deux failles principales sont reliées par des failles transversales, suscitées par le mouvement de cisaillement, bien repérables lorsque la sédimentation est relativement réduite (vallée du Blima), alors qu'elles sont peu visibles et masquées par le caractère syntectonique des dépôts, lorsque la sédimentation est plus épaisse (vallée du Dadou).

Le remplissage de la gouttière stéphanienne de Carmaux en donne un bon exemple qui montre la complexité des phénomènes tectoniques. Plusieurs modèles structuraux ont été élaborés par Delsahut (1981) qui, tous, suggèrent le cisaillement d'une espace préalablement fracturé ou non, compris entre deux failles subméridiennes. L'hypothèse d'un décrochement sénestre est privilégiée par cet auteur.

Le mécanisme structural à l'origine du bassin de Réalmont peut être éclairé par l'étude des contraintes structurales subies par la région de Réalmont lors de la mise en place des massifs de granitoïdes géographiquement proches, dont les âges proposés de mise en place, stéphanien et autunien, obligent à admettre le synchronisme avec le dépôt des molasses de Réalmont (**Fig. 5**). Les massifs de granitoïdes les plus proches sont (**Fig. 1**) :

- **Le laccolite du Sidobre**, daté de 304 $\pm$ 8 Ma (Pin, 1991 *in* Gebelin *et al.*, 2009). Son âge, situé autour du passage entre les étages Kasimovien et Gzhélien, est synchrone des dépôts du Stéphanien B de Réalmont (303 – 304 Ma). Orienté NE-SW (Nord 50°E), sa mise en place dans la nappe des Monts de Lacaune est rattachée à la phase de déformation tardive D4 (Guérangé-Lozes & Burg, 1990). Elle est contemporaine d'un cisaillement dextre de direction NE-SW (Moisy, 1993), né d'une compression de direction WNW-ESE. Ce mouvement aurait permis au magma d'intruder les méta-sédiments cambro-ordoviciens à la faveur de l'ouverture de discontinuités préexistantes (Magontier, 2016).

- **Le massif de Montredon** relève probablement d'un même mécanisme structural. Repéré par son anomalie gravimétrique légère (Corpel *et al.*, 1987), l'existence de ce corps granitique caché d'orientation NE-SW est confirmée par des affleurements granitiques (Barras, 1979 ; Béziat & Tollon, 1980) et un métamorphisme de contact qui a pu être daté autour de 303 Ma (Costa, 1990), soit un âge stéphanien sensiblement identique à celui du laccolithe du Sidobre.

- **Le massif de Peyrebrune** et les corps filoniens annexes qui l'accompagnent sont intrusifs dans les

schistes ordoviciens du flanc inverse du Synclinal du Dadou (**Fig. 3**). L'un d'eux, plissé par D5, a fourni un âge minimal à 300 Ma sur biotite (Costa, 1990), ce qui date sa mise en place du passage Carbonifère - Permien inférieur, base de l'Assélien, période que l'on peut synchroniser avec le dépôt de la Série rouge et grise de Réalmont. L'orientation NE-SW des corps intrusifs et leur disposition en échelons (Magontier, 2012), évoquent des fentes de tension au cours d'un cisaillement dextre en réaction à une compression persistante, selon un modèle similaire à celui du Sidobre. Pour Durand (1966 *in* Guérangé-Lozes, 1987 et Guérangé-Lozes & Burg, 1990), ces filons seraient en relation avec un granite caché sous-jacent de même orientation, hypothèse déjà évoquée par Raguin & Vincienne (1947).

L'essentiel du plutonisme se déroule donc sur une durée de moins de 10 Ma qui coïncide avec le Pennsylvanien supérieur et la base du Permien (Guérangé-Lozes & Burg, 1990 ; Magontier, 2012) (**Fig. 5**). L'ouverture du bassin de Réalmont et son remplissage molassique sont ainsi contemporains de la mise en place de plusieurs massifs de granitoïdes géographiquement proches, dont l'âge s'échelonne du passage Kasimovien-Gzhélien (Sidobre, Montredon-Labessonié) à la base de l'Assélien (Peyrebrune).

Bien que géographiquement relativement proches, il n'existe aucune relation géométrique entre les granitoïdes et les couches sédimentaires du bassin molassique de Réalmont. L'absence de volcanites dans les dépôts de l'Autunien apparaît frappante et singulière, malgré la proximité géographique des granitoïdes de Peyrebrune (moins de 5 km) (**Fig. 1**) et bien que ces derniers présentent des faciès sub-volcaniques (microgranites, granophyres...) (Raguin & Vincienne, 1947 ; Guérangé-Loze *et al.*, 1996).

Une synchronisation exacte des phénomènes magmatiques et des dépôts sédimentaires impliquerait toutefois de disposer d'âges absolus sur des intercalations de volcanites « fini-hercyniennes » (**Fig. 5**), non disponibles ici. Aucune n'est identifiée dans les séries de Réalmont mais « un tuf volcanique et un tuf porphyrique » ont été recoupés dans le sondage de Lavour, au-dessus d'un épisode de schistes bitumineux de la partie basale de l'Autunien (Delsahut, 1981), dont l'âge se situe vraisemblablement dans l'étage Gzhélien.

La majorité des massifs de granitoïdes de l'extrémité méridionale du Massif Central se sont mis en place au cours des phases tardives de la

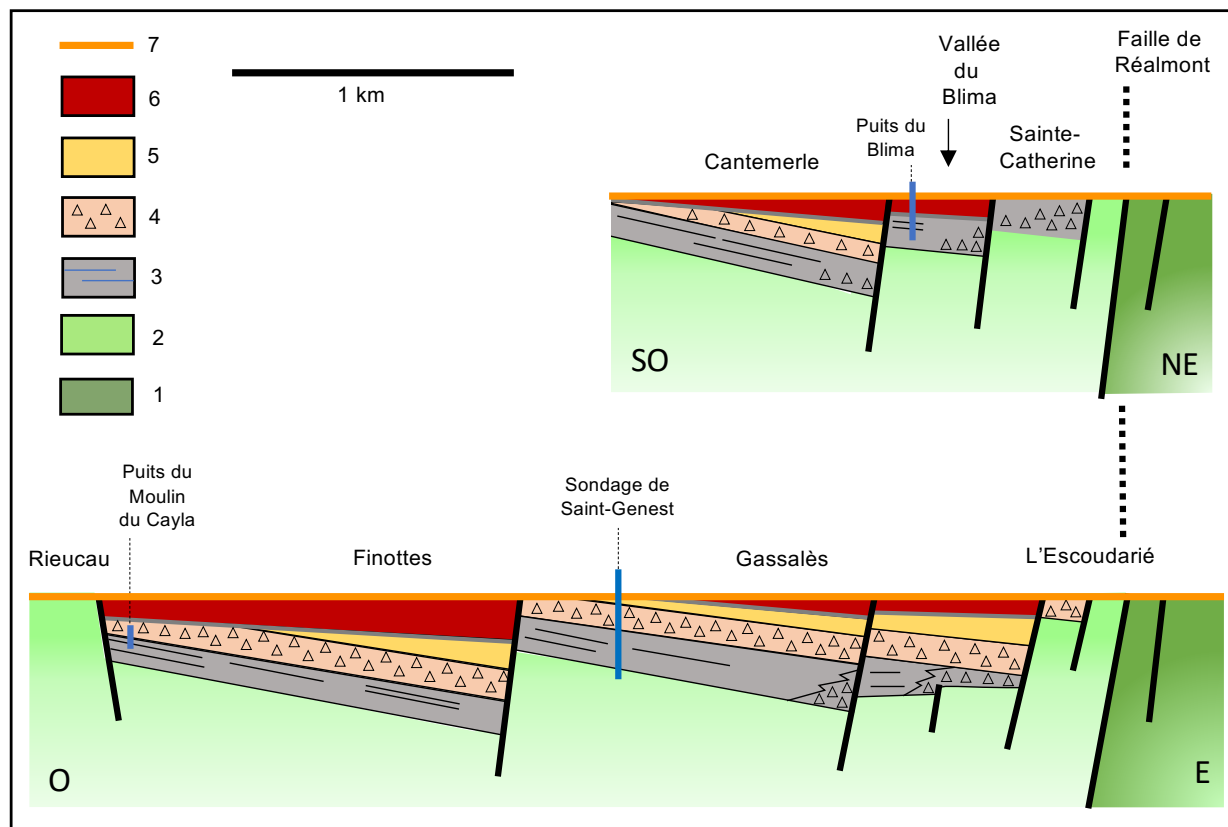


Fig. 16 – Reconstitution géodynamique des dépôts molassiques stéphano-permiens du fossé de Réalmont montrant un modèle de dépôt en pull-apart. **Coupes** (voir axes Fig. 2). **A-B** : coupe nord-est – sud-ouest passant au nord de Réalmont ; **C-D** : coupe est-ouest, dans l'axe de la vallée du Dadou.

Légende. 1 : socle schisteux de la Nappe de Saint-Salvy-de-Carcavès ; 2 : Socle de gneiss leptynitique ; 3 : Série grise, Houiller ; 4 : Série conglomeratique rosée de base ; 5 : Série argilo-pélitique grise ; 6 : Série argilo-pélitique grise et rouge ; 6 : Série rouge et Série conglomeratique rouge ; 7 : Recouvrement tertiaire.

déformation hercynienne, D4 et D5 (Guérangé-Lozes & Burg, 1990 ; voir aussi Magontier, 2012).

La déformation D4 traduit un régime transtensif dextre en réponse à une compression persistante de direction moyenne W.NW-E.SE, les granitoïdes s'injectant dans des failles en échelons ou dans des espaces en extension plus larges de type pull-apart (Magontier, 2016).

D4 et D5 déterminent la formation de grandes antiformes, par exemple le dôme orthogneissique de Montredon-Labessonnié (Guérangé-Lozes & Burg, 1990).

Un même régime de contrainte, cette fois appliqué sur des failles décrochantes, probablement sénestres, de direction subméridienne, serait à l'origine du fossé d'effondrement dissymétrique, de type pull-apart, de Réalmont, dans lesquels vont s'accumuler les molasses post-hercyniennes, régime qui perdure durant le Permien inférieur et permet de souligner le caractère syntectonique des dépôts.

Conclusion

Le bassin de Réalmont (Tarn, France) est un bassin étroit, d'étendue limitée, situé dans la partie sud-occidentale du Massif Central. Le remplissage molassique stéphano-permien, d'origine continentale, atteint 450 m d'épaisseur. Quatre unités sédimentaires principales sont distinguées, de bas en haut (**Fig. 17**) :

- **La Série grise**, formation houillère attribuée au Stéphanien B, Kasimovien supérieur (90 m). Aucune couche de houille exploitable n'y est mentionnée.

- **La Série grise et rosée**, à faciès autunien, concordante mais latéralement transgressive sur le socle, déborde les zones de remplissage stéphanien (280 m). Les sédiments, d'abord conglomeratiques, puis gréseux et pélitiques s'échelonnent du Gzhélien au Sakmarien inférieur.

- **La Série rouge**, à faciès saxonien (60 m), discordante à la fois sur le Stéphanien et sur l'Autunien, dont les dépôts s'échelonnent du Kurugien au Capitanien.

. **La Série conglomératique rouge**, à faciès saxono-thuringien (50 m, environ), qui pourrait représenter la série lopingienne.

On peut qualifier de syntectonique l'ensemble de ces dépôts molassiques qui sont contemporains des phases compressives hercyniennes tardives D4-D5, auxquelles on rapporte l'essentiel du plutonisme avec la mise en place de plusieurs massifs de granitoïdes, géographiquement proches (**Fig. 1**), dont les âges s'échelonnent du passage Kasimovien-Gzhélien (Sidobre, Montredon-Labessonnié) à la base de l'Assélien (Peyrebrune) (**Fig. 5**).

Un même régime de contraintes, cette fois appliqué sur deux failles décrochantes de direction subméridienne, doit pouvoir rendre compte de la structuration en pull-apart du bassin de Réalmont.

L'absence de dépôt volcanoclastique ou de coulée dans la région de Réalmont, proche des massifs de granitoïdes doit être relativisée par la présence de volcanites gzhéliennes à l'aplomb de Lavaur.

Malgré l'absence de données géochronologiques concernant des roches volcaniques interstratifiées dans les unités sédimentaires, l'âge des dépôts continentaux du bassin de Réalmont a pu être revisité et précisé à la lumière des datations effectuées dans d'autres bassins stéphano-permiens (bassins de Lodève, d'Autun,...). Nous avons aussi tenté de le corréler avec les principaux événements tectoniques et magmatiques qui se sont produits dans le domaine continental de Réalmont au Carbonifère supérieur et au Permien (**Fig. 5**).

L'histoire sédimentaire du bassin stéphano-permien de Réalmont, et les événements tectono-magmatiques qui lui sont associés, s'inscrivent dans un contexte extensif post-orogénique NE-SW à l'échelle du Massif Central Français, permettant ainsi l'achèvement de l'amincissement de la croûte continentale (Faure & Becq-Giraudon, 1993 ; Faure, 1995 ; Faure *et al.*, 2005, 2009) épaissie au Dévonocarbonifère, à la suite de l'orogénèse hercynienne.

Remerciements : Un grand merci à Jacques Magontier pour sa relecture du manuscrit, ses judicieux conseils éclairés par une grande connaissance des mécanismes structuraux qui ont modélisé notre région, et qui ont permis de grandement améliorer la portée de cette étude.

Références

Baras E. (1979) – Le dôme « orthogneissique » de Montredon-Labessonnié (Tarn) et son enveloppe métamorphique. Thèse 3^e cycle, Toulouse.

Bergeron J. (1889) – Étude géologique du Massif ancien situé au Sud du Plateau central. *Masson Ed.*, Paris, 355 p., 9 pl. 1 carte.

Béziat P. & Tollon F. (1980) – Le district à W-Sn (F) de Montredon-Labessonnié (Tarn) France. Itinéraires géologiques, 26^e CGI. *Bulletin des Centres de Recherche Exploration-Production Elf-Aquitaine*, 3 : 435-439.

Bodignier J.L. & Burg J.P. (1980-81) – Évolution métamorphique et tectonique des séries cristallophylliennes du Rouergue occidental : mise en évidence d'un chevauchement dans la région de Najac (Aveyron). *Bulletin du B.R.G.M.*, sect I : 315-339.

Boucheporn Bertrand de F. (1848) – Explication de la carte géologique du département du Tarn. Imprimerie nationale, Paris, 114 p.

Broutin J., Châteauneuf J.-J., Delsahut B., Doubinger J. & Vetter P. (1983) – Flore et microflore des terrains autuniens situés entre Réalmont, Najac et la Grésigne (Quercy et Albigeois). *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 297, II : 753.

Caraven-Cachin A. (1898) – Description géographique, géologique, minéralogique, paléontologique, paléthnologique et agronomique des départements du Tarn et Tarn et Garonne. *Privat, Toulouse & Masson, Paris*. 684 p.

Caraven-Cachin A. (1902) – Flore fossile des terrains houillers du Tarn. *Ed. Masson*, Paris, 34 p.

Cohen K.M., Finney S.C., Gibbard P.L. & Fan J.-X. (2013 update 2021) – The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Épisodes*, 36: 199-204.

Collomb P. (1970) – Étude géologique du Rouergue cristallin. *Mémoires pour servir à l'explication de la carte géologique de France*. 419 p.

Corpel J., Debégli N. & Guérangé-Lozes J. (1987) – Apport de la gravimétrie à la cartographie et structurale de l'Albigeois. Rapport B.R.G.M. 87 DT 015 GPH.

Costa S. (1990) – De la collision continentale à l'extension tardi-orogénique : 100 millions d'années d'histoire varisque dans le Massif central français. Une étude chronologique par la méthode ⁴⁰Ar/³⁹Ar. Thèse de doctorat de l'Université de Montpellier II. 441 p.

Delsahut B. (1981) – Dynamique du bassin de Carmaux (Tarn) et géologie du Stéphano-permien des environs (entre Réalmont et Najac). Thèse 3^e cycle, Toulouse.

Delsahut J. (1989) – Le Permien de la Grésigne et des environs (Quercy – Albigeois) B9, in Synthèse

- géologique des bassins permien français. *Éditions du B.R.G.M.*, 128 : 85-89.
- Deroin J.P., Broutin J., Cassinis G., Gand G., Henderson C., Menning L. & Vachard A. (2005) – Permien. *Annales de la Société géologique du Nord*, 11, 2 : 159-167.
- Doubinger J. (1976) – Études palynologiques des secteurs de la vallée du Cérou et de Réalmont. Rapport inédit Houillères d'Aquitaine in Delsahut (1981, annexe I-2).
- Durand J. (1939) – Carte géologique à 1/800000^e, 2^{ème} édition. Feuille d'Albi, 219.
- Durand-Delga M., Bou C., Cubaynes R. & Sajus J.G. (1979) – Documents sur la géologie de la Grésigne. *Document de l'académie de Toulouse*. 48 p.
- Faure M. & Becq-Giraudon J.F. (1993) – Sur la succession des épisodes extensifs au cours du des épaississements carbonifères du Massif Central français. *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, 2, 316 : 967-973.
- Faure M. (1995) – Late orogenic carboniferous extensions in the Variscan French Massif Central. *Tectonics*, 14 : 132-153.
- Faure M., Mèzème E., Duguet M., Cartier C. & Talbot J.Y. (2005) – Paleozoic tectonic evolution of medio-Europa from the example of the French Massif Central and Massif Armorica, in The Southern Variscan Belt. Edited by R. Carosi *et al.*, *J. Virtual Explorer*, 19, Paper 4.
- Faure M., Lardeaux J.M. & Ledru P. (2009) – A review of the pre-Permian geology of the Variscan French Massif Central. *Comptes Rendus Geoscience*, 341, 2 : 202-213.
- Feys R. & Greber C. (1972) – L'Autunien et le Saxonien en France In *Rotliegend Essays on European Lower Permian*. E.J. Brill édit : 1114-1136.
- Gand G., Pellenard P., Galtier J., Broutin P. & Stéyer J.S. (2017) – Le stratotype autunien du bassin d'Autun (Bourgogne, France) : Evolution de la stratigraphie et des âges. *Bulletin de la société d'histoire naturelle d'Autun* : 19-36.
- Gébelin A., Roger F. & Brunel M. (2009) – Syntectonic crustal melting and high grade metamorphism in a transpressional regime, Variscan Massif Central, France. *Tectonophysics*, 477 : 229-243.
- Guérangé-Lozes J. (1987) – Les nappes varisques de l'Albigeois cristallin. Lithostratigraphie, volcanisme et déformations. Thèse d'État, Documents du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 135. 259 p. (+ 7 annexes).
- Guérangé-Lozes J. & Burg J.P. (1990) – les nappes varisques du Sud-Ouest du Massif central (cartes géologique et structurale à 1/250000 Montpellier et Aurillac). *Géologie de la France*, 3-4 : 71-106.
- Guérangé-Lozes J., Guérangé B., Mouline M.P. & Delsahut B. (1996) – Carte géologique à 1/50000^e, feuille Réalmont (959). Orléans, BRGM.
- Lotout C., Pitra P., Poujol M. & Van den Driessche J. (2016) – Ordovician magmatism in the Lévézou massif (French Massif Central): tectonic and geodynamic implications. *International Journal of Earth Sciences*, 106, 2 : 501-515.
- Magontier J. (2012) – Géologie de la nappe de Saint-Salvi-de-Carcaves. Lithostratigraphie et déformations. Site ASNAT. <https://asn.fr/Dossier%20geologie/dossier-saintsalvy/Nappe-de-Saint-Salvi.pdf>
- Magontier J. (2016) – Le Massif du Sidobre (Tarn, France) : un laccolithe monzo-granodioritique finicarbonifère mis en place par bouffées magmatiques successives. *Carnets natures*, 3 : 13-29.
- Manès M. (1836) – Mémoire géologique et statistique sur les terrains de grès avec houille, dans les départements du Tarn et de l'Aveyron. *Annales des Mines*, 3, X : 147-191.
- Matte P. (2001) – The Variscan collage and orogeny (480-290 Ma) and the tectonic definition of the Armorica microplate: a review. *Terra Nova*, 13 : 122-128.
- Moisy M. (1993) – Évolution de la perméabilité et de la circulation des fluides hydrothermaux dans une zone de cisaillement fragile. Thèse Université de Grenoble. 214 p.
- Montanez I.P. & Poulsen C.J. (2013) – The late Paleozoic Ice age: An evolving paradigm. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 41: 24.1-24.28. doi: 10.1146/annurev.earth.031208.100118
- Pellenard P., Gand G., Schmidt M., Galtier J., Broutin P. & Stéyer J.S. (2017) – Hight-precision U-Pb Zircon ages for explosive volcanism calibrating the NW European continental Autunian stratotype. *Gondwana Research*, 51: 118-136.
- Pin C. & Lancelot J.R. (1982) – U-Pb dating of an Early Paleozoic bimodal magmatism in the French Massif Central and of its further metamorphic evolution. *Contribution Mineralogy Petrology*, 79 : 1-12.
- Poucllet A., Álvaro J.J., Bardintzeff J.M., Imaz A.G., Monceret E. & Vizcaíno D. (2016) – Cambrian-early Ordovician volcanism across the south armorican and occitan domains of the variscan belt in France : continental break-up and rifting

- of the northern Gondwana margin. *Geoscience Frontiers* : 1-38.
- Pruvost P. (sous la direction de) (1947) – Paléozoïque supérieur, fasc. 4all. Lexique stratigraphique international. Éd. du CNRS.
- Raguin E. & Vincienne H. (1947) – Le gisement plombo-zincifère de Peyrebrune, Tarn. *Bulletin de la Société française de Minéralogie*, 70, 1-6 : 153-163.
- Schneider J.W., Körner F., Roscher M. & Kroner U. (2006) – Permian climate development in the northern peri-Tethys area. The Lodève basin, French Massif Central, compared in a European and global context. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 240 : 161-183.
- Servelle C. (1979) – Le rôle morphologique de la faille de Gédoul (près de Réalmont, Tarn). *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 115, 1-2 : 197-298.
- Vetter P. & Mazeaud N. (1976) – Rapport inédit Houillères d'Aquitaine in Delsahut (1981), annexe I-2.

Soumis le 30 mai 2020

Accepté le 20 juin 2022

Publié en ligne (pdf) le 5 juillet 2022

Première contribution à l'étude des diatomées de la réserve naturelle nationale de la forêt de la Massane (Pyrénées-Orientales)

Jean BERTRAND¹, Clothier COSTE² et Joseph GARRIGUE³

Résumé

Cette première contribution à l'étude des diatomées de la réserve naturelle nationale (RNN) de la forêt de la Massane montre l'importance de ce groupe fréquemment associé aux lichens (diatomées épilichéniques). 378 taxons sont identifiés dont 65 trouvés dans la rivière et 313 diatomées épilichéniques, avec seulement 8 espèces en commun. 197 taxons sont également répertoriés sur la RNN du Mas Larrieu qui possède 9 espèces en commun avec celles de la Massane. Ce travail permet de comprendre la relation entre la répartition de la colonisation éolienne et les reliefs spécifiques de la RNN, et également d'évaluer quelles sont les relations avec les diatomées des torrents, celles de la rivière dans la plaine et celles du bord de mer. Nous pouvons conclure que la répartition des diatomées, qu'elles soient d'origine naturelle ou/et anthropique, est influencée par les vents dominants sur les reliefs. Les actions anthropiques et leur répercussion sur l'évolution des colonies de diatomées épilichéniques sont évaluées en comparant la situation actuelle avec des colonies présentes sur des lichens conservés en collection depuis 1932. Il est ainsi démontré que les systèmes d'irrigation agricole sont à l'origine d'une dissémination aérienne des diatomées sur de longues distances. Des interrogations sur l'impact du changement climatique sur les diatomées de milieux humides sont soulevées. L'évolution actuelle des cultures, notamment céréalières et maraîchères, dans la plaine du Roussillon et l'impact prévisible des aspersions agricoles sur les milieux naturels, doit nous alerter.

Mots clés : lichens, diatomées, épilichénique, Réserve naturelle nationale, La Massane, Mas Larrieu.

Abstract

This first contribution to the study of diatoms in the national nature reserve (RNN) of the Massane Forest shows the importance of this group frequently associated with lichens (epilichenic diatoms). 378 taxa are identified including 65 found in the river and 313 epilichenic diatoms, with only 8 species in common. 197 taxa are also listed on the RNN of Mas Larrieu which has 9 species in common with those of Massane. This work makes it possible to understand the relationship between the distribution of the wind colonization and the specific reliefs of the RNN, and also to evaluate what the relationships with the diatoms of the torrents are, also those of the river in the plain and those of the coastline. We can conclude that the distribution of diatoms, whether natural or/and of anthropogenic origin, is influenced by the prevailing winds on the reliefs. Anthropogenic actions and their impact on the evolution of colonies of epilichenic diatoms is evaluated by comparing the current situation with colonies present on lichens kept in collections since 1932. It is thus demonstrated that agricultural irrigation systems are at the origin of the aerial dissemination of diatoms over long distances. Questions about the impact of climate change on diatoms in wetlands are raised. The current evolution of crops, particularly cereals and those of market gardening, in the Roussillon Plain and the foreseeable impact of agricultural spraying on natural environments, should raise an alarm for us.

Keywords : lichens, diatoms, epilichenic, National Nature Reserve, La Massane, Mas Larrieu.

1. 42 rue de Malvoisine, 45800, St Jean-de-Braye. j.r.bertrand@orange.fr

2. 26 rue de Venise, 81100, Castres. cloter@wanadoo.fr

3. Laboratoire Arago, 66650, Banyuls-sur-Mer. rnn.massane@espaces-naturels.fr



1. Introduction

Cette étude s'inscrit dans un projet global d'inventaire de biodiversité à l'échelle de la Réserve Naturelle Nationale de la forêt de la Massane (RNN).

Les efforts portés sur ce site depuis plus d'un siècle font de cet espace naturel l'un des mieux connus au monde, avec plus de 9000 espèces répertoriées sur seulement 336 ha. Depuis plusieurs années, on cherche à comprendre ce qu'irrigue ce cœur de biodiversité, de quoi il est constitué, ce qui arrive de l'extérieur, ce qui en ressort, avec quelle conséquence en matière de conservation de la nature.

Plusieurs travaux ont déjà montré que la RNN était soumise à des facteurs extérieurs. Qu'il s'agisse de polluants atmosphériques comme l'ozone (Lombard *et al.*, 2014), de métaux lourds ou de micro-plastiques. Elle est aussi soumise à la circulation d'organismes divers, tels les pollens du hêtre (Oddou-Muratorio *et al.*, 2015), l'arrivée ou la disparition de plantes ou de macrofaune comme les insectes, etc... La RNN est également soumise aux changements globaux du climat (Garrigue *et al.*, 2018), avec des répercussions importantes sur les organismes et la fonctionnalité des écosystèmes.

Dans la réserve, une seule étude avait été réalisée sur des microalgues unicellulaires colonisant la rivière de la Massane (Moreau *et al.*, 2011). Elle révèle la présence importante de *Cyanophycées* et de microalgues des genres *Ochromonas* et *Nanochloris*, mais n'a pas abordé la présence ou non des *bacillariophycées* telles que les diatomées. Pourtant celles-ci étaient utilisées depuis 1990 pour évaluer la qualité des eaux de la partie basse de cette rivière, près d'Argelès-sur-Mer (naiades.eaufrance.fr, 2021).

En prolongement de nos recherches récentes « Inventaire des diatomées sur les lichens et causes de leur présence » (Bertrand *et al.*, 2020), il nous a paru intéressant de mener un même type d'analyse sur la RNN de la Massane, en comparant l'inventaire des diatomées de la rivière à celui des diatomées que l'on trouve sur les lichens (diatomées épilichéniques). Aucune étude des relations lichens-diatomées dans un contexte plus global, prenant en compte les conditions climatiques et le contexte orogénique, n'ayant été réalisé à ce jour.

Ne disposant pas de référentiel ancien qui permette une analyse diachronique et ne pouvant analyser l'évolution du peuplement en diatomées dans le temps, notre analyse s'est portée sur des récoltes anciennes de lichens conservées en herbiers. Tous

les lichens conservent en effet, sur et dans leur thalle, des squelettes de diatomées mortes dont l'étude des populations permet de comparer la flore diatomique à différentes périodes. Pour ce, nous disposons de deux herbiers réalisés dans le périmètre de la Réserve, celui de Des Abbayes, en 1932, et celui de Clauzade, en 1958, tous deux comportant des annotations précises mentionnant l'espèce, la date, le lieu-dit et l'altitude, et nous donnant la possibilité de ré-échantillonner sur les mêmes stations.

2. Site d'étude

La réserve naturelle nationale est classée à ce titre depuis 1973, mais les initiatives de préservation commencent dès la fin du 19^{ème} siècle avec l'arrêt officiel de toute exploitation forestière. Principalement constituée de hêtres, la RNN conjugue de nombreux critères qui lui ont permis d'avoir conservé une riche diversité, à savoir, pour une forêt, l'ancienneté, la continuité et un fort degré de naturalité. Elle est classée au patrimoine mondial pour sa valeur universelle et exceptionnelle (VUE) en 2022. Elle est un des trop rares exemples, en Europe, de forêt laissée en libre évolution.

La RNN de la Massane couvre 336 ha sur la commune d'Argelès-sur-Mer (Pyrénées-Orientales, **Fig. 1**) et correspond au dernier contrefort des Pyrénées avant la Méditerranée, s'éageant de 600 à 1154 m d'altitude. Elle est parcourue par le petit fleuve côtier la Massane, qui y prend sa source avant d'aller se jeter dans la Méditerranée après 23 km d'un parcours torrentiels et sinueux. La RNN est orientée sud-ouest - nord-est, ce qui fait d'elle une barrière bio-géographique entre la plaine du Roussillon, au nord, et celle de l'Empordà au sud. Cette configuration orogénique de vallée perchée lui confère des caractéristiques particulières, notamment une pluviométrie de 1100 mm en moyenne par an due en partie aux entrées maritimes, qui lui ont permis de maintenir une hêtraie à une aussi basse altitude. Ces fortes précipitations et les vents dominants orientés nord-ouest - sud-est, perpendiculaires aux crêtes, exposent particulièrement la RNN aux composants transportés par le vent qui peuvent s'y déposer.

La Forêt de la Massane est aussi particulièrement exposée aux changements climatiques. Depuis 1959, on enregistre une baisse de 150 mm, en moyenne, des précipitations ainsi que, depuis 1976, une élévation de 1,9°C de la moyenne des températures. On enregistre aussi une occurrence accrue des événements climatiques comme les crues dues aux fortes précipitations, les sécheresses et les canicules.

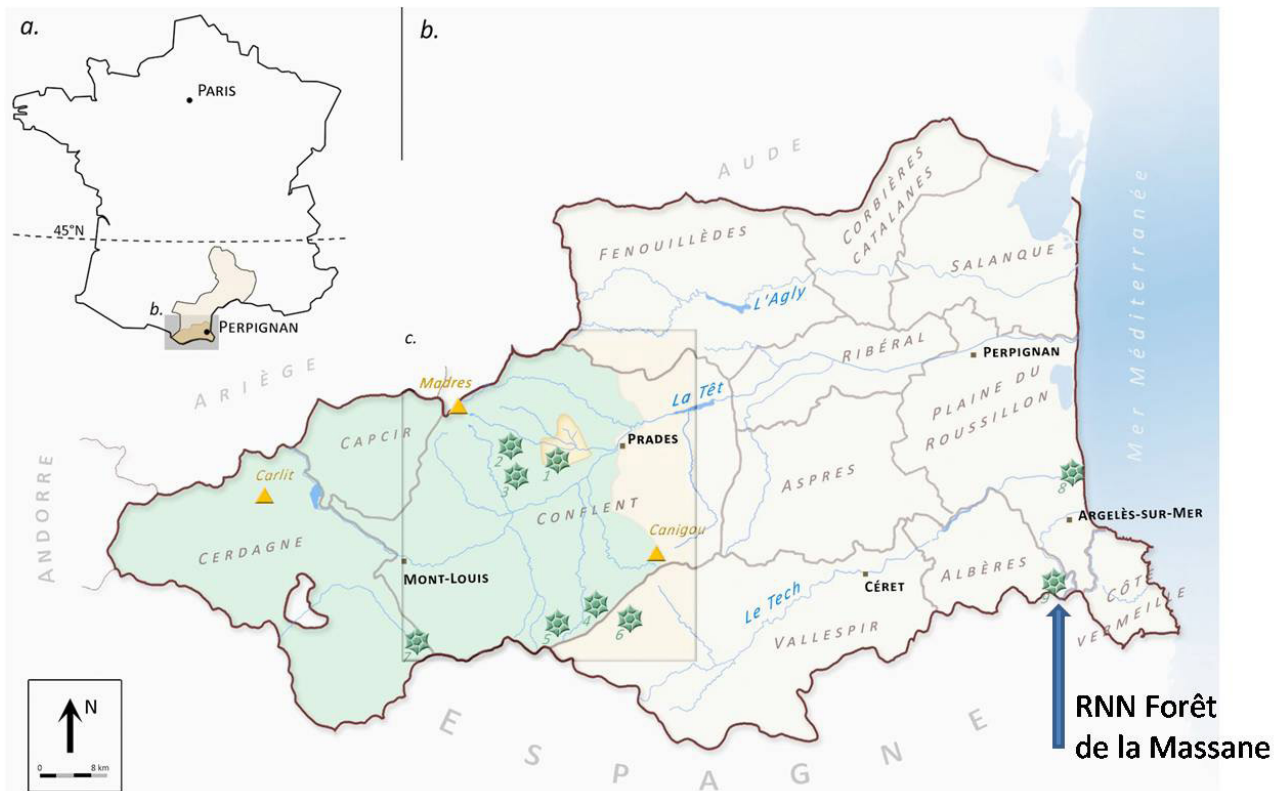


Fig. 1 – Localisation de la réserve naturelle nationale (RNN) de la forêt de la Massane en France et dans le département des Pyrénées-Orientales.

Toutes ces perturbations exceptionnelles ont un fort impact sur la RNN (Magdalou *et al.*, 2005, 2009).

Cette disposition géographique nous est apparue convenir parfaitement pour explorer quelles sont les relations entre les lichens spécifiques de cette région et les populations de diatomées, ainsi que leurs répartitions orographiques.

3. Matériel et Méthode

3.1. Récoltes et détermination des lichens

En raison de la répartition aléatoire, éolienne, des diatomées dans les lichens (Bertrand *et al.*, 2016, 2020) nous n'avons retenus pour cette étude, comme acceptable, que les genres de lichens répondant aux mêmes conditions écologiques que celles des études précédentes. 81 récoltes de lichens ont été effectuées (**Fig. 2**). Nous avons bien conscience de la faiblesse statistique de cet échantillonnage. Les genres de lichens, leur nombre et les lieux de récoltes sont reportés dans les **Tabs. 1 et 2**. Par ailleurs, afin d'évaluer l'influence du torrent sur les colonisations des diatomées épilichéniques, nous avons effectué 16 récoltes, 8 sur les roches et 8 sur les végétaux immergés proches, qui ont été analysées sur 8 stations

dans le torrent de la Massane (**Fig. 2**). Pour permettre une comparaison statistiquement acceptable, des prélèvements d'espèces de lichens identiques à ceux des collections anciennes ont été effectués dans les mêmes sites.

Pour effectuer des comparaisons avec l'herbier de Des Abbayes (1932), les récoltes ont été faites sur les crêtes de Puig de Sallfort (1080 m). Pour comparaison avec celui de Clauzade (1958), nous avons échantillonné les pentes de la RNN où nous avons sélectionné des genres identiques.

Afin de permettre une comparaison des diatomées de la RNN avec celles de la plaine et du bord de mer, deux sites complémentaires de collectes ont été choisis (**Fig. 3**) : 1. la RNN du Mas Larrieu, au nord d'Argelès-sur-Mer ; 2. le lac de Villeneuve-de-la-Raho, situé à 25 km au nord-est de la réserve, dans lequel nous avons effectué deux collectes visant à valider notre hypothèse de dissémination aérienne des diatomées.

3.2. Méthode d'extraction des diatomées

Pour les diatomées du torrent nous avons prélevé par brossage sur des roches immergées suivant les

directives admises pour le calcul de la qualité des eaux (Prygiel J. & Coste, 1995). Pour le lac de Villeneuve-de-la-Raho nous avons prélevé 30 litres d'eau que nous avons filtrés pour récupérer les diatomées. Pour l'extraction des diatomées des lichens, la méthode est celle définitivement adoptée dans Bertrand *et al.*, 2020. Les diatomées ont été extraites des thalles des lichens ou des podetions par la méthode suivante : réhydratation pendant 24 heures avec 3 cm³ d'eau. Puis ajout d'H₂O₂ à 30% dans 125 cm³ d'eau pendant 3 jours. Complément à la précédente étude, la récolte est passée aux ultrasons dans l'eau pendant 20 minutes, puis retrait des thalles de lichens du béccher après une forte agitation. Les sorédies restantes sont concentrées au fond du béccher. Elles sont ensuite mises dans de l'H₂O₂ et chauffées à 60°C pendant 4 heures. Après décantation et 3 lavages successifs à l'eau déminéralisée, les diatomées sont prêtes pour le grillage, étape indispensable afin d'éliminer les dernières traces de matières organiques et la chitine des hyphes des lichens. Les diatomées traitées sont séchées par évaporation lente sur une lamelle. La

lamelle séchée est déposée sur une plaque chauffante à environ 600°C (couleur rouge sombre) pendant 10 minutes, recouverte d'un couvercle afin de confiner la chaleur et éviter les courants convectifs. Après destruction de la matière organique par grillage, y compris de la cellulose et de la chitine, il ne subsiste normalement que la silice des diatomées et la cendre des résidus. Après refroidissement de la lamelle, celle-ci est montée au Naphrax® (indice de réfraction 1,74) et observée au microscope optique en contraste de phase. Les comptages en abondance, pour détecter le maximum de taxons, ont été effectués sur une moyenne de 579 frustules par lamelle. Pour obtenir des valeurs d'abondance absolue des diatomées sur les lichens pour un gramme de matière sèche de lichen, les échantillons séchés ont été pesés avant traitement. Puis les culots ont été dilués dans 3 à 10 cm³ d'eau distillée suivant l'abondance ou l'opacité des résidus, dans laquelle il a été prélevé, après homogénéisation, cinq gouttes qui sont déposées sur une lamelle dégraissée. Les comptages en valeur absolue ont été effectués sur la totalité de la surface déposée (temps

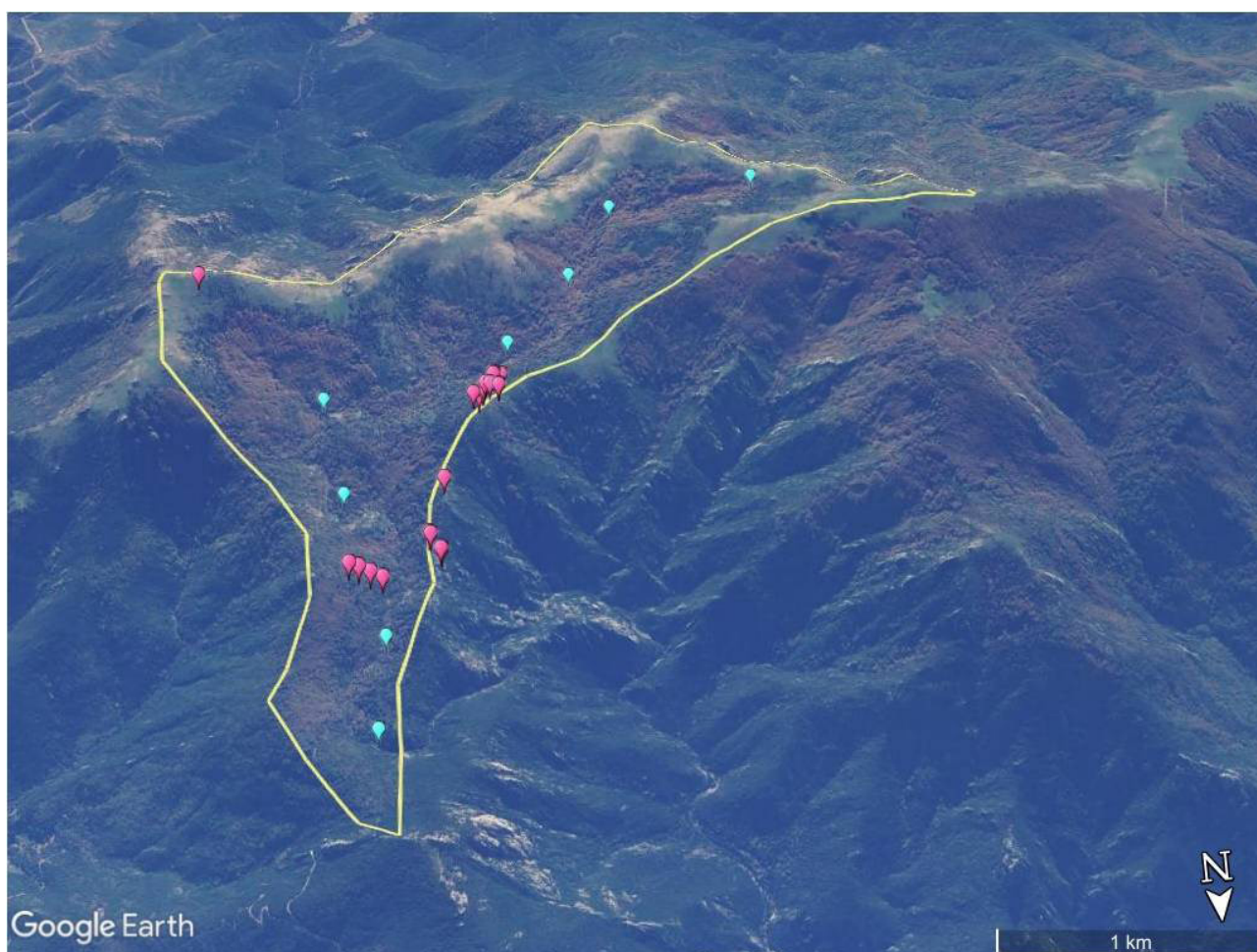


Fig. 2 – Localisations des prélèvements au sein de la RNN de la Massane : en bleu les prélèvements dans la rivière et en rouge les prélèvements de lichens.

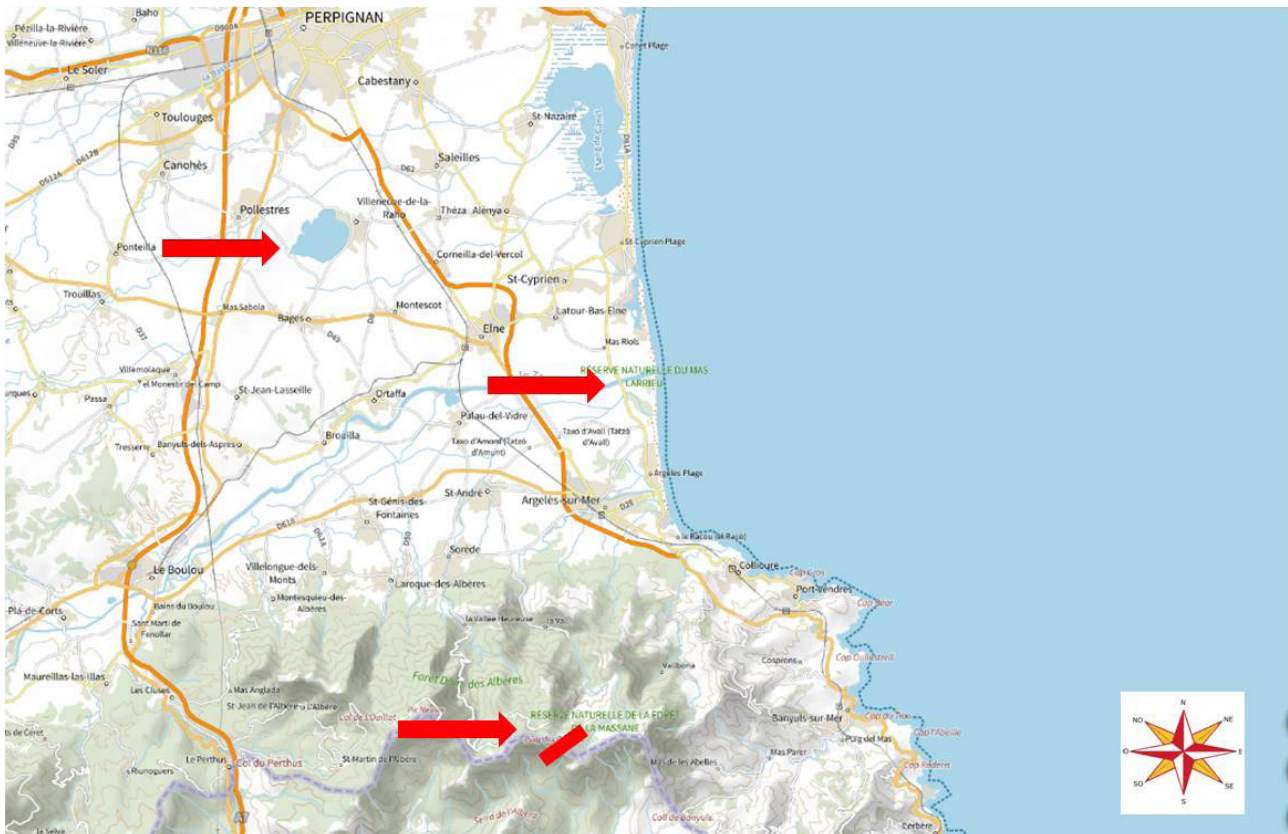


Fig. 3 – Localisation géographique de la RNN de la forêt de la Massane, du Lac de Villeneuve-de-la-Raho et de la RNN du Mas Larrieu.

moyen d'observation, 5 heures par lame). À l'aide de la formule suivante, on obtient : Nombre absolu pour un gramme de matière sèche = Nombre de cellules comptées x (volume de dilution / volume des 5 gouttes) / Poids de l'échantillon en grammes (ou surface prélevée en cm²). Avant de procéder aux calculs de corrélation (Pearson) nous avons normalisé les peuplements diatomiques qui suivent tous une loi hyperbolique (confirmée par le grand écart entre la moyenne et la médiane) par $NL = (n + 1) \times \text{Log}_2$, où « n » correspond au nombre d'individus par espèce, $NL = \log$ de n. Les indices de Shannon (Shannon & Weaver, 1949) ont été calculés également avec Log_2 , les effectifs par espèce ont aussi été log-transformés. Les analyses statistiques AFC (analyse factorielle des correspondances) ont été conduites à l'aide du logiciel ADE4 (Doledec & Chessel, 1994 ; Thioulouse *et al.* 1997). Les courbes de richesse ont été analysées et étudiées d'après les travaux de Canard & Poinot (2004). Les genres et espèces des diatomées ont été déterminés d'après, Krammer (2002), Lange-Bertalot (2001, 2011), Lowe *et al.* (2014) ainsi que la littérature régionale la plus récente telle que : Peeters & Ector (2017a, b et 2018), et les autres atlas régionaux. Les genres et espèces de lichens ont été

déterminés d'après Smith *et al.* (2009). Les diatomées marines ont été déterminées d'après Paulmier (1997) et Peragallo (1984).

4. Avertissements : limites des déterminations.

Compte tenu du mode de préparation des diatomées incluses dans les lichens, la lecture et leur identification ne peut être plus précise que le niveau de l'espèce et, souvent, avec des réserves, et nous avons dû confondre toutes les sous-espèces et les variantes au sein de l'espèce mère. Les déterminations sont rendues difficiles par les positions aléatoires des diatomées sur la lamelle, tantôt connectives, obliques, en partie cachées, parfois incluses dans les restes des cendres... De plus, la faiblesse des effectifs dans les préparations, ainsi que la fracturation des frustules ne permet pas une approche plus discriminante (voir Bertrand *et al.*, 2016, fig. 4).

L'appréciation de la qualité de l'eau de la rivière de la réserve, grâce aux diatomées, a été évaluée selon la méthode développée par Prygiel & Coste (2000). Celle des eaux du lac de Villeneuve-de-la-Raho a été évaluée selon la méthode issue des travaux sur les mares (Bertrand *et al.* 2015).

Genre de lichens	Lichens frais de la Massane	Herbier Des Abbayes 1932	Récoltes de lichens frais 2021 sur les sites de Des Abbayes	Herbier Clauzade 1959	Récoltes de lichens frais 2021 sur les sites de Clauzade	RN de Mas Larrieu	Total par genre
<i>Anaptychia</i>	4				2		6
<i>Cladonia</i>	8						8
<i>Évernia</i>	6	1	2		2		11
<i>Parmelia</i>	2	2	2				6
<i>Parmotrema</i>	4				2		6
<i>Ramalina</i>	14	2	5	4	2	2	29
<i>Ricasolia</i>		2					2
<i>Lobaria</i>		2					2
<i>Sphaerosphora</i>		1					1
<i>Pseudevernia</i>			1				1
<i>Xanthoparmelia</i>				3			3
<i>Menegazzia</i>				1			1
<i>Xanthoria</i>						4	4
<i>Flavoparmelia</i>						1	1
Total des récoltes	38	10	10	8	8	7	81

Tab. 1 – Genres de lichens testés et localisations des échantillons.

L'évaluation de la qualité de l'air avec les diatomées épilichéniques ne peut être réalisée car les diatomées ont été projetées par les vents de manière aléatoire et conservées mortes longtemps dans les lichens.

5. Lexique (rappel)

. Abondance : Quantité d'individus de la même espèce dans un lieu donné.

. Richesse : Quantité d'espèces dans un lieu donné.

. Indice de Shannon : Indice mesurant la richesse dans un peuplement donné (indice = 0 = peuplement très homogène composée d'une seule et même espèce).

. Peuplement : quantité d'espèces et leur abondance dans un lieu donné.

6. Résultats et comparaisons

6.1. Diatomées épilichéniques des pentes jusqu'aux crêtes de la Massane

Cette étude, basée sur l'examen des 38 récoltes effectuées sur six genres de lichens, a permis d'inventorier un total de 313 taxons de diatomées (minimum 12 jusqu'à 43 espèces par récolte), pour

un comptage cumulé de 18565 frustules (68 à 1436 par récolte, la limite d'exploration étant fixée par la surface du dépôt des 5 gouttes sur la lamelle). La caractéristique dominante de toutes ces récoltes est la répartition régressive de l'abondance des espèces selon une loi hyperbolique prononcée (2 ou 3 espèces fortement dominantes).

Dix-huit récoltes sur les pentes (rives, pentes basses, pentes hautes) nous ont délivré 239 espèces (moy. 42, max 75, min 19). Seize récoltes ont une courbe de richesse parabolique (88 %), une logarithmique et une mixte (incertitude entre la courbe parabolique et logarithmique). L'indice de Shannon (moy. 3.92 ; max 5.1 ; min 2.25) est particulièrement élevé. L'abondance absolue pour 1g de matière sèche de lichen varie de 2920 jusqu'à 49200 frustules. Les corrélations en fonction de la situation orogénique sont nulles pour trois comparaisons : nb. d'espèces/altitude ($p < 0.0548$) ; nb. d'espèces/distance du torrent ($p < 0.1115$) ; nb. d'espèces/hauteur du sol ($p < 0.0220$). La corrélation entre abondance absolue et altitude de récolte est forte ($p < 0.5278$) ; entre abondance absolue et distance du torrent est moyenne ($p < 0.3490$).

Vingt récoltes sur les crêtes nous ont délivré 181 espèces (moy. 31 ; max 49 ; min 18). Huit récoltes (40 %) ont une courbe de richesse parabolique ; sept récoltes (35 %) ont une courbe logarithmique et cinq ont une courbe mixte. L'indice de Shannon (moy. 3.08, max. 3.77, min. 2.17) est plus faible que dans les pentes. L'abondance absolue varie de 5189 jusqu'à 148 800 frustules. Les corrélations sont nulles entre l'indice Shannon/abondance absolue ($p < 0.1026$) et Indice de Shannon/nb. de cellules comptées ($p < 0.2070$). Par contre, les corrélations sont fortes à très fortes pour abondance absolue/nb. esp. ($p < 0.5535$) et abondance absolue/nb cellules comptées ($p < 0.7260$). La **Fig. 4** regroupant les corrélations des diatomées sur les genres de lichens situées sur les crêtes, montre l'indépendance des peuplements de diatomées en fonction des récoltes. Trois cas particuliers confirment ces faits :

1. Crête des Colomates sur *Cladonia* (n° 210 531.13) : abondance absolue 105536 ; 25 espèces pour 1162 frustules comptées ; indice de Shannon 2,17 ; courbe logarithmique.
2. Crêtes des Colomates sur *Ramalina* (n° 210 531.24) : abondance absolue 5 289 ; 24 espèces pour 201 frustules comptées ; indice de Shannon 3,08 ; courbe mixte.
3. Col del Fondo sur *Parmelina* (n° 210 531.32) : abondance absolue 148800 ; 49 espèces pour 1488 frustules comptées ; indice de Shannon 2,61 ; courbe parabolique.

Lieux	Nombre d'échantillons
Bords du torrent	6
Pentes basses au dessus du torrent	7
Pentes hautes près du refuge	4
Col del Fondo	6
Entre Colomates et Col del Fondo	2
Crête de Colomates	13
Crête de Sallfort	20
Récoltes 2021 sur stations de Clauzade	16
Mas Larrieu	7
Total	81

Tab. 2 – Localisations et nombre d'échantillons récoltés à la RNN de la forêt de la Massane et la RNN de Mas Larrieu.

Les abondances absolues des diatomées des crêtes sont plus de deux fois supérieures à celles des pentes (moyenne 47 523 vs 21 493) alors que le nombre moyen d'espèces est inverse, de 31 pour les crêtes et 42 pour les pentes. Cet état est confirmé par la richesse (indices moyens de Shannon) : crêtes 3.08 ; pentes 3.92. **Dès lors nous constatons une divergence prononcée entre les pentes et les crêtes.**

Le classement par abondance dégressive des espèces de l'ensemble pentes et crêtes, nous montre que cinq espèces seulement sont communes aux 38 récoltes,

Evernia	0					
Parmelia	0,4266 p < 0,05	0				
Ramalina	0,9053 p < 0,001	0,7462 p < 0,001	0			
Cladonia	0,5428 p < 0,01	0,9676 p < 0,001	0,8224 p < 0,001	0		
Parmotrema	0,7926 p < 0,001	0,6041 p < 0,001	0,6041 p < 0,001	0,7631 p < 0,001	0	
Anaptychia	0,9289 p < 0,001	1,000 p < 0,001	0,7220 p < 0,001	0,3903 p < 0,05	0,7389 p < 0,001	0
	Evernia	Parmelia	Ramalina	Cladonia	Parmotrema	Anaptychia

Fig. 4. – Corrélations des peuplements des diatomées lichéniques sur les différents lichens récoltés sur les crêtes de la Massane. Nous remarquons que pour leur presque totalité, les corrélations sont fortes, montrant la liaison de ces colonisations.

une commune à 37 et une commune à 36 récoltes. 67 espèces (21 %) englobent 95 % de l'abondance totale des récoltes. Par ailleurs 163 espèces recensées (52 %) ne sont présentes que dans une seule récolte à la fois. Les sept espèces de diatomées dominantes communes aux pentes et aux crêtes se répartissent ainsi en fonction de leur abondance : *Aulacoseira granulata*, 18.36 % (**Fig. 5**), *Cyclostephanos dubius*, 11 %, *Thalassiosira visurgis*, 4.27 %, *Aulacoseira italica*, 6.46%, ce sont quatre espèces d'origine aquatique stricte. Trois espèces sont aérophiles et terricoles : *Pinnularia borealis*, 17.74 %, *Hantzschia amphioxys*, 7.90 %, *Luticola mutica*, 5.82 %. Une espèce, *Thalassiosira visurgis*, dont la présence est faible dans les pentes mais constante et forte sur les crêtes, est une espèce marine-saumâtre présente sur toutes les côtes du globe (Paulmier, 1997).

Nous avons effectué une analyse factorielle des correspondances (AFC) (Doledec & Chessel, 1994) afin de juger de la répartition orographique des récoltes allant des rives de la Massane aux crêtes dominantes de cette vallée. Pour effectuer cette AFC nous avons retenu les 67 espèces réparties dans six groupes distincts de récoltes dont : rives = 1 ; pentes basses = 2 ; pentes hautes = 3 ; Col del Fondo = 4 ; Crêtes et col del Fondo = 5 ; Crêtes des Colomates = 6 (**Figs. 6, 7, 8**). La répartition des trois axes dominants dont l'inertie totale est de 63 % se distribue comme suit : axe 1, 29.8 % ; axe 2, 18.7 % ; axe 3, 14.5 %. Comparativement à l'étude générale (Bertrand *et al.*, 2020), la concentration sur les trois premiers axes est deux fois plus importante : 63 % au lieu de 28.3 %. Cette concentration confirme bien la présence générale des 7 espèces dominantes. Cette AFC est présentée en 3 figures (**Figs. 6, 7, 8**) permettant de comprendre la distribution exceptionnelle des récoltes et ainsi, la répartition des diatomées issues des lichens.

. La **Fig. 6** (AFC axes 1 et 2, inertie 48.5 %) montre la répartition des récoltes dont le centre d'inertie est à l'intersection des deux axes. Elle renseigne également sur l'isolement des groupes 1 et 2, des autres groupes fortement concentrés sur l'axe 3.

. La **Fig. 7** (AFC axes 1 et 3, inertie 44.3 %), de lecture plus facile, montre le groupe 1, des rives, proche du centre général entièrement distribué à droite de l'axe 3. Il confirme ainsi la présence d'espèces diatomiques différentes des autres groupes de récoltes.

Le groupe 5, largement distingué des autres n'est composé que de 2 récoltes de distribution opposée ayant pour support lichénique des *Cladonia*. Or, il a été bien noté (Bertrand *et al.*, 2020) que cette espèce était toujours colonisée par des diatomées aérophiles

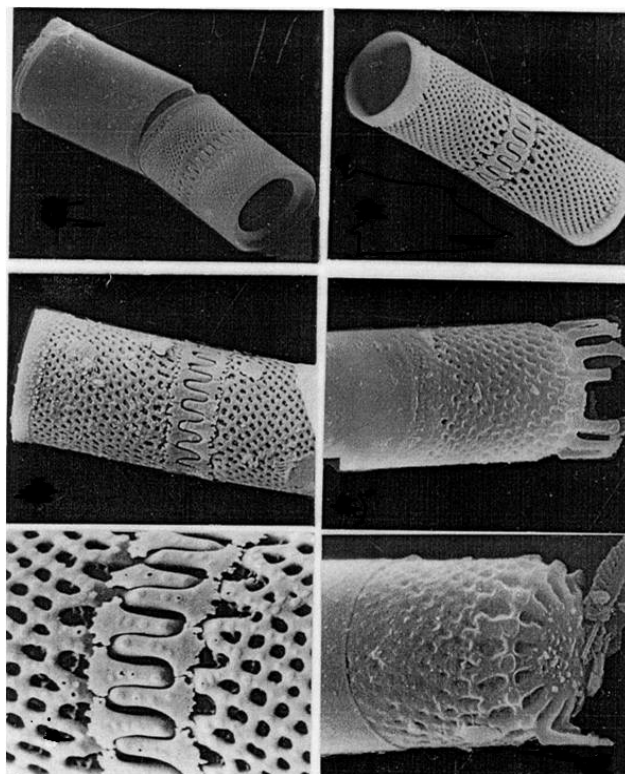


Fig. 5 – Diatomées dominantes des crêtes de la Massane. *Aulacoseira granulata* (photo au microscope électronique) de deux cellules accouplées (abondance 18,5 % dans les lichens et abondance maximale (60,3 %) dans le lac de Villeneuve-de-la-Raho en juin 2022. Diatomées strictement aquatiques des eaux eutrophes.

et terricoles. Les groupes 2, 4 et 6, dont les centres d'inertie sont fortement concentrés, montrent une très large distribution commune. Le groupe 3 des pentes hautes se répartit sur l'axe 1 et au-dessus. Il confirme déjà l'appartenance diatomique au groupe des crêtes.

. La **Fig. 8** (AFC axes 2 & 3, inertie 33.2 %) dissocie plus nettement les récoltes 1 des rives, des autres récoltes qui s'alignent le long de l'axe 3. Les récoltes des diatomées épilichéniques des rives sont donc en grande partie indépendantes des autres récoltes, sauf pour les cinq espèces communes.

Par ailleurs nous avons observé deux genres de diatomées fossiles : *Cyclotella alvarniensis* et *Tertiarius* sp. (5 frustules endommagées dans 4 récoltes). Dans le classement par occurrence des 67 espèces il apparaît que *Cyclotella alvarniensis* se rencontre dans 27 récoltes (71 %) mais en très faible quantité (94) soit une à deux en moyenne par récolte. Sauf une exception caractéristique, la récolte sur lichen *Ramalina* près du refuge, qui comporte dix *C. alvarniensis* à elle seule.

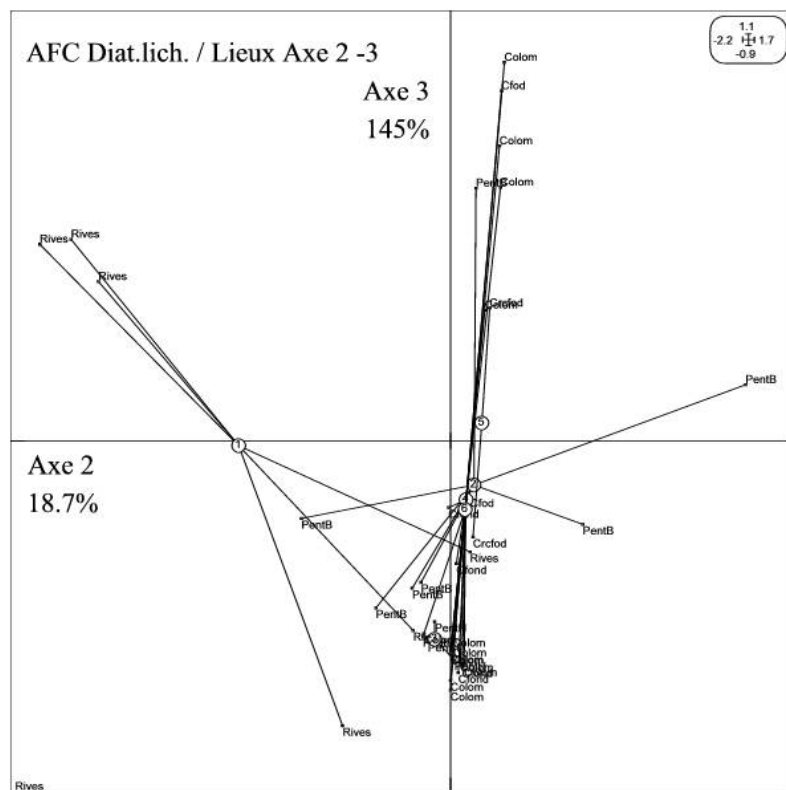
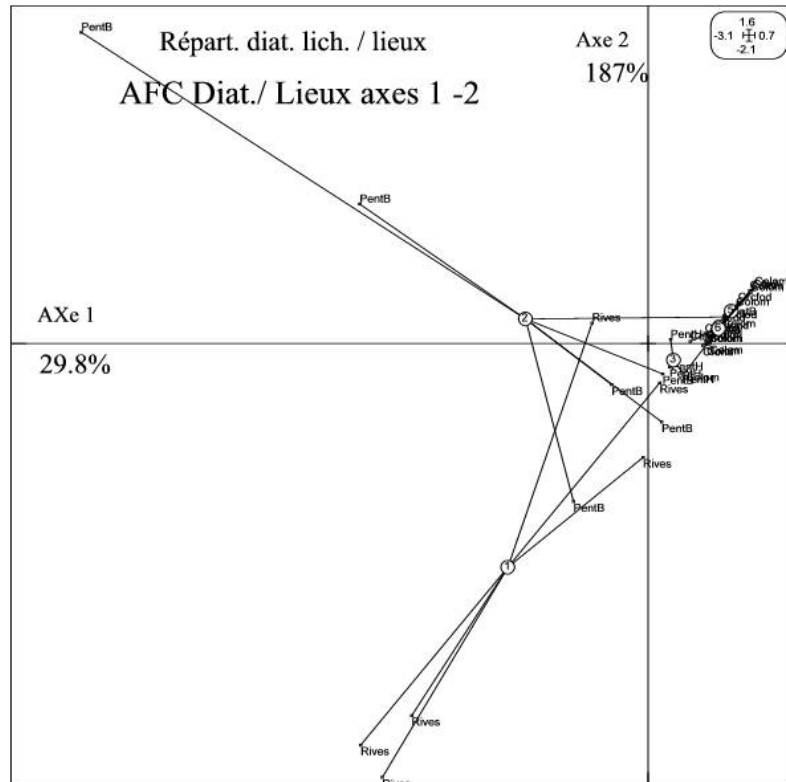


Fig. 6 et 7 – Analyse factorielle des correspondances (AFC) de 95 % de l’abondance des diatomées lichéniques des pentes et crêtes de la Massane. Les 5 % restant sont des espèces mono-récolte ou d’abondance inférieure à 10.

Signalétique : Les cercles numérotés indiquent les centres d’inertie de chaque groupe de récoltes. Rives (Riv 01 à 07) ; Pentes basses (Pth 1 à 7) ; Pentes hautes (Pth 4) ; Col del Fondo (Cfd 1 à 6) ; Crêtes et Col del Fondo (Crfd 1-2) ; Crêtes des Colomates (1 à 13).

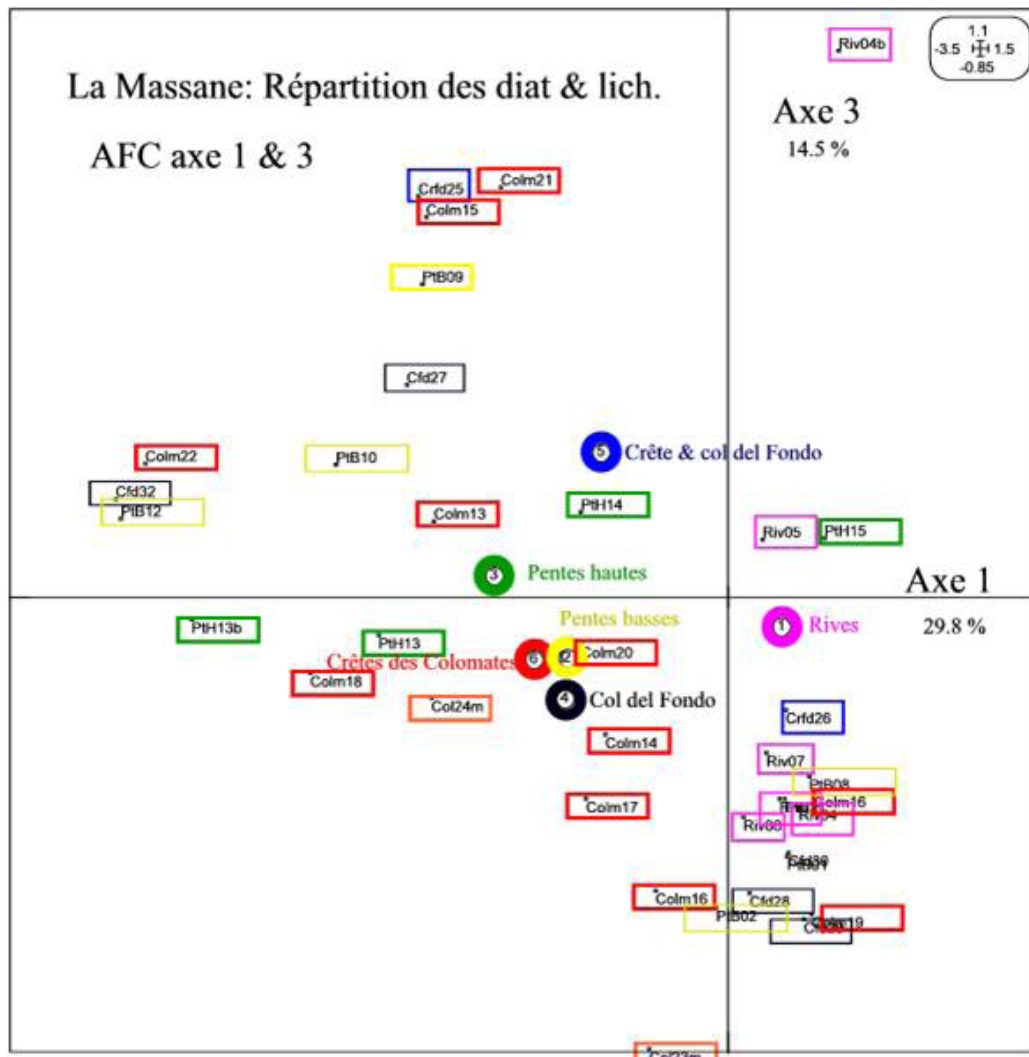


Fig. 8 – AFC 1 & 3 de l'ensemble des pentes et crêtes de la Réserve de La Massane. Les rives du torrents (1) sont bien individualisées (à droite de l'axe 3) mais proche du centre d'inertie principal. La concentration des espèces n'est troublée que par 1 récolte (Riv04b). Par contre les crêtes et col del Fondo (5) sont franchement isolées, dispersées, montrant leur appartenance aux lichens *Cladonia*.

En résumé nous avons déterminé 313 taxons dont 239 espèces sur les pentes et 181 sur les crêtes qui sont plus abondantes que sur les pentes. Sept espèces seulement sont communes aux pentes et aux crêtes, dont le genre *Aulacoseira* diatomée strictement aquatique et deux diatomées fossiles des genres *Cyclotella* et *Tertiarius*. Les diatomées colonisent tous les lichens sans préférence pour un genre spécifique. Les analyses factorielles réalisées montrent que les associations de diatomées peuvent être classées en deux grands groupes : **1.** les diatomées présentes sur les pentes hautes et les crêtes ; **2.** les diatomées présentes sur les pentes basses et les rives de la Massane.

6.2. Diatomées du torrent de la Massane

6.2.1. Récoltes ponctuelles passées

Concernant la qualité des eaux du torrent de la Massane, un seul point de suivi, d'une durée de quatre ans, a été réalisé dans l'agglomération d'Argelès-sur-Mer (aval du pont du Mas Boy), très en aval de la RNN. 88 espèces de diatomées y avaient été récoltées sur 4 ans (moy. 33.6, max. 49, mini 17 de 2010 à 2014). Nous n'avons pas pu avoir accès aux résultats de 2015 à 2020. Pour cette mesure de la qualité des eaux, l'abondance relative est fixée par les normes à 400 frustules par récolte, avec comme résultat, des IBD (Indice Biologique des Diatomées, Prygiel

et Coste) dégressifs de 16 à 11/20 au cours du temps. Par ailleurs, l'analyse des taxons de diatomées durant ces 4 années ne montre aucune corrélation avec ce que nous avons recueilli sur les pentes et les crêtes de RNN de la Massane : corrélation nulle (-0.3024 $p < 0.1$).

6.2.2. Récoltes en RNN en 2022

Dix récoltes dans la rivière de la Massane ont été effectuées le 2 juin 2022, de la source à la limite aval de la RNN : 8 points dans l'eau de la Massane et 2 analyses sur les mousses. La qualité biologique des eaux du torrent dans la réserve est de 13.9/20 (IPS). Ces dix récoltes, avec un comptage de 6924 frustules (moy. 692, max 705, min 676), nous ont donné 65 espèces (max 25, min 13). Quatre taxons sont nettement dominants : *Rhoicosphenia abbreviata* : 41 % (**Fig. 9**) ; *Platessa oblongella* : 11.3 % ; *Cocconeis placentula* : 7,1 % (**Fig. 10**) et *Planothidium lanceolatum* : 7,9 % (**Fig. 11**). La richesse est faible et se traduit par un indice de Shannon moyen de 2.52 (max 3.01, min 1.94). Les courbes de richesse sont toutes logarithmiques en accord avec le fort développement de quelques espèces, comme généralement constaté dans les ruisseaux rapides. 14 taxons présents dans les 12 récoltes représentent à eux seuls 95 % de l'abondance. Par ailleurs 29 taxons ne sont présents que dans une seule récolte pour une abondance de 1.8 %.

Près de la source, ce peuplement est surtout constitué d'espèces de petites dimensions alors que dans les récoltes les plus éloignées de la source, nous récoltons en très faible abondance des *Ulnaria ulna* ainsi que de petites *Fragilaria capucina*.

6.2.3. Comparaison entre torrent, pentes et crêtes

La comparaison entre les deux biotopes montre que seulement 9 taxons sont communs (**Tab. 3, en annexe**). Dans des volumes d'abondance de 4580 frustules pour le torrent contre 1077 pour les pentes et crêtes. Il est à noter que, dans les pentes et les crêtes, les courbes de richesse sont majoritairement paraboliques alors qu'elles sont logarithmiques pour le torrent.

La corrélation est nulle entre ces deux biotopes (-0.1805 $p < 0.1$).

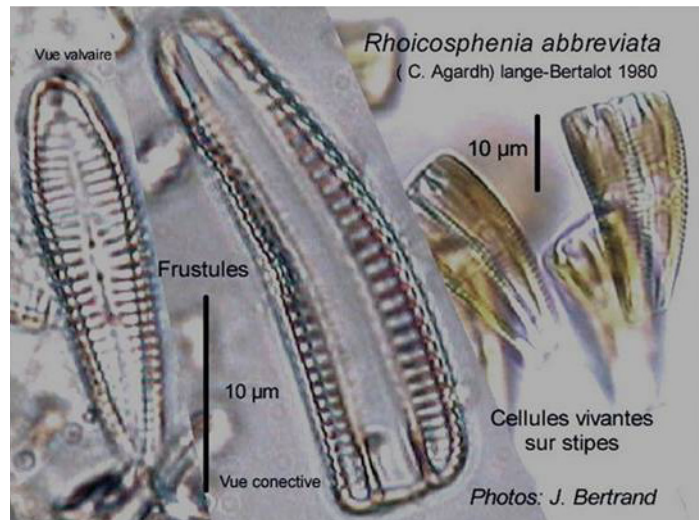


Fig. 9 – Diatomées du torrent La Massane ; *Rhoicosphenia abbreviata* ; abondance 41,5 % sur les rochers et les plantes aquatiques.

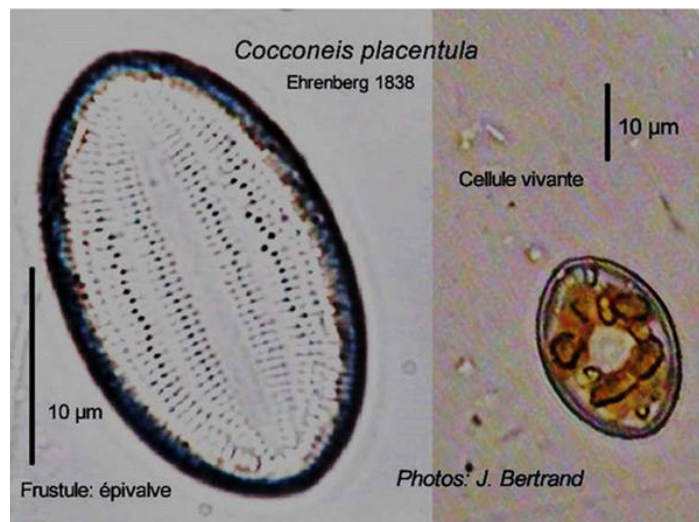


Fig. 10 – *Cocconeis placentula* vue au microscope optique, vivante et sous préparation.

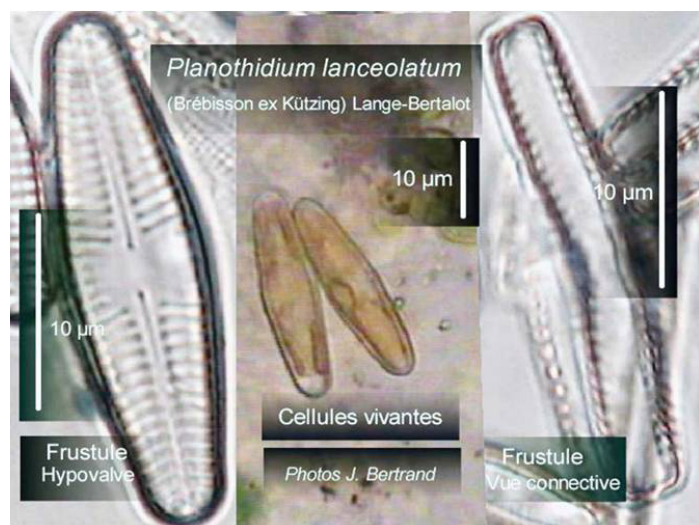


Fig. 11 – *Planothidium lanceolatum* vue au microscope optique, vivante et sous préparation.

6.3. Lac de Villeneuve-de-la-Raho (Fig. 1, 12). Comparaison avec la RNN de la Massane

Deux récoltes ont été effectuées dans le lac :

. Décembre 2021 : 25 espèces, dont 14 espèces communes avec les 67 espèces des pentes et crêtes de la RNN de la Massane. La **corrélation est nulle** (-0.0816 $p < 0.1$) entre les eaux du lac et les pentes et crêtes de la RNN.

. Juin 2022 : 12 espèces. Les eaux du lac sont saturées d'*Aulacoseira granulata* en filaments (abondance 60 % contre 13 % à la Massane) et de *Fragilaria crotonensis* en plaquettes. Ces deux espèces sont strictement aquatiques. La qualité biologique des eaux au mois de juin est basse (MSA 12/20 ; MSO 11/20) (Bertrand *et al.*, 2015). La **corrélation est très forte** (0.2156 $p < 0.001$) avec les 67 espèces prélevées dans les pentes et crêtes de la RNN de la Massane. Neuf espèces sont communes.

6.4. RNN du Mas Larrieu (Fig. 1, 12)

Sept récoltes, le 1er mars 2022, ont permis d'y dénombrer 198 espèces comprises dans 4703 frustules. 77 espèces (39 %) représentent 95 % de l'abondance, alors que 40 espèces (24.75 %) ne sont représentées que dans une seule récolte, soit 1.02 % de l'abondance. Les courbes de richesse sont à 50 % paraboliques et logarithmiques, avec un indice de Shannon compris entre 3.90 et 5.31.

Neuf espèces sont communes aux deux RNN de la Massane et du Mas Larrieu et la **corrélation est très forte** entre les deux RNN (0.2735 $p < 0.001$). Elle est dominée par les mêmes espèces mais en cellules uniques et non en longs rubans comme dans le Lac de Villeneuve-de-la-Raho. En particulier *Aulacoseira granulata* est en quantité équivalente (27 %) dans les deux lieux et *Cyclostephanos dubius* (12 % contre 4.8 % à la Massane).

Fait surprenant, les diatomées d'origine maritime sont rares avec 19 espèces (9.7 %) pour une abondance de 87 (1.85 %) (Paulmier 1997 ; Peragallo 1984). *Raphoneis amphiros* est la plus courante, avec 23 frustules dans 2 récoltes seulement et *Hantzschia virgata* avec 15 frustules.

6.5. L'herbier Des Abbayes (1932)

Récoltes de 1932

Dans les 10 récoltes effectuées par Des Abbayes sur les crêtes du Puig de Sallfort, 110 espèces sont comprises dans 5363 frustules comptées. Alors que 32 espèces représentent 95 % de l'abondance, 19 espèces (17.3 %) ne sont présentes que dans

une seule récolte et ne représentent que 0.35 % de l'abondance. Les courbes de richesse sont toutes paraboliques avec des indices de Shannon variant entre 1.89 et 4.86, confirmant la très grande diversité des colonisations des diatomées sur les lichens. Parmi les 80 % d'abondance, nous trouvons un panel de diatomées telles que *Diademsia contenta* (34 %), *Pinnularia borealis* (11 %) et *Luticola mutica* (3 %), qui sont des diatomées aérophiles, mais aussi *Orthoseira roseana* et *O. dendroterres* (11.5 %) qui sont des colonisatrices des mousses et des lieux humides, ainsi que *Eunotia praerupta* (6.8 %).

Comparaison avec les récoltes de 2022

Pour effectuer une comparaison objective nous avons effectué dix récoltes sur les mêmes crêtes du Puig de Sallfort. Nous avons également retrouvé 110 espèces, seulement comprises dans 4411 frustules (soit 18 % de moins). Alors que 32 espèces représentent 95 % de l'abondance, 50 espèces (45.5 %) ne sont présentes que dans une seule récolte. Les sept premières espèces, par ordre d'abondance, représentent 77.1 % de l'abondance et sont communes aux 10 récoltes. Il s'agit de *Aulacoseira granulata* et *A. italica* (30.5 %), *Cyclostephanos dubius* (18.5 %), *Pinnularia borealis* (11.2 %), *Hantzschia amphioxys* (7.2 %), *Thalassiosira visurgis* (6.2 %) et *Cyclotella meneghiniana* (3.5 %).

La **corrélation avec les récoltes de 1932 est nulle** (0.0988 $p < 0.1$). 24 espèces seulement sont communes, mais d'abondance inverse. Les courbes de richesses sont logarithmiques pour 4 récoltes et paraboliques pour les 6 autres, avec des indices de Shannon variant entre 2.92 et 4.88, confirmant ainsi un changement notable dans le rapport abondance/richeesse.

6.6. L'herbier Clauzade (1958)

Récoltes de 1958

Dans les huit récoltes effectuées par Clauzade dans les pentes de la RNN de la Massane, nous avons trouvé 113 espèces (max 61, min 12 espèces/récolte) comprises dans 2961 frustules (max 1421, min 79 frustules/récolte). 49 espèces (1.65 %) représentent 95 % de l'abondance. Alors que 22 espèces (13.7 %) ne représentent que 0.74 % de l'abondance et ne concernant que les diatomées mono-récoltes. Les courbes de richesse sont tantôt paraboliques, tantôt logarithmiques, confirmant des indices de Shannon compris entre 3.1 et 4.99 (moy. 3.82). Nous constatons une grande diversité, avec 7 taxons particulièrement



Fig. 12 – Carte de la région des Pyrénées-Orientales montrant la situation de la réserve naturelle nationale de La Massane. Nous précisons la présence et la direction des vents dominants (La Tramontane) ainsi que la région des irrigations par pulvérisation haute-pression.

intéressants car ils sont présents dans toutes les récoltes en quantité non négligeable : *Gomphonema minutum* présent dans 4 récoltes mais dominant dans une seule pour 22 % de l'abondance totale (collection. J. Bertrand. n°220 307.02) ; *Navicula cryptotenella*, dans la même récolte, au deuxième rang des abondances totales avec 11.4 % ; les sept espèces suivantes, présentes dans les 8 récoltes communes, représentent 57.2 % de l'abondance, avec *Aulacoseira granulata*, 6.7 % de l'abondance, *Luticola mutica* (6.7 %), *Hantzschia amphioxys* (4.4 %), *Pinnularia borealis* (4%) et *Cyclostephanos dubius* (2 %).

Comparaison avec les récoltes de 2020

Sept récoltes ont été effectuées dans les mêmes lieux que ceux de Clauzade et nous ont procurés 1989 frustules contenant 138 espèces (max 75, min 19). 76 espèces (55 %) renferment 95 % de l'abondance. Cependant 7 espèces sont dominantes dans les 7 récoltes : *Aulacoseira granulata* (14.7 %), *Hantzschia amphioxys* (11 %), *Aulacoseira italica* (10.2 %), *Luticola mutica* (6.7 %), *Cyclostephanos dubius* (5.4 %), *Diademsis contenta* (4.5 %) et *Pinnularia borealis* (3.2 %). À elles seules, elles représentent 55.7 % de l'abondance. Les courbes de

richesse sont plus ou moins mixtes avec un indice de Shannon de 3.80.

La corrélation est très forte ($0.6175 p < 0.001$) entre les deux récoltes de 1958 et de 2020, que ce soit pour les taxons dont l'abondance est de 95 %, ou pour les mono-récoltes (corrélation $0.7612 p < 0.001$) dans lesquelles les taxons communs représentent 38.5 % du total des deux groupes.

7. Discussions - Conclusion

Au total, ce travail aura permis de répertorier 378 taxons de diatomées dans la RNN de la forêt de la Massane, dont 65 trouvés dans la rivière et 313 diatomées épilichéniques, avec seulement 8 espèces en commun (**Tab. 3**). En complément, cette étude a permis de répertorier 197 taxons sur la RNN du Mas Larrieu avec 9 espèces en commun avec celle de la Massane. Ce travail vient conforter l'intérêt de cette approche lichénique pour l'étude des diatomées.

7.1. Des apports d'origine purement éolienne

La quantité considérable d'espèces qui ne sont présentes que dans une seule récolte à 1 ou 2 exemplaires (50 % environ) et le faible nombre

d'espèces communes en grande abondance dans toutes les récoltes (4 %), permet de conclure que les apports de diatomées sur les lichens sont aléatoires et, de ce fait, probablement d'origine purement éolienne. La distribution aléatoire des diatomées est confirmée par les comparaisons intra-genres des peuplements lichéniques entre les rives et les pentes qui montre des corrélations faibles à nulles entre les populations de diatomées et leur localisation. Le nombre de diatomées est plus faible sur les pentes que sur les crêtes, mais le nombre d'espèces est deux fois supérieur sur les pentes où cette population est représentée par une majorité de petites diatomées de moins de 10 µm et dont les plus grosses représentantes sont *Hantzschia amphioxys* (8 %) et quelques *Pinnularia borealis* (5 %) (Bertrand *et al.*, 2020). Tout cela montre bien le caractère aérophile des espèces et l'origine éolienne de leur dispersion. Leur présence est logique en ces lieux soumis à l'influence des vents dominants, parmi lesquels, la Tramontane est le plus important (60 % du temps).

Avec une direction nord-ouest à sud-est, la Tramontane est canalisée par les vallées et souffle perpendiculairement aux crêtes de la Massane (Fig. 12) où sa vitesse peut atteindre et parfois dépasser 180 km/h (réf. Météo). La forêt peut être balayée par des courants « rabattants » propices au dépôt de particules diverses, poussières et diatomées (Fig. 13). Le gradient altitudinal brutal, exagéré par l'action du vent, génère de la condensation et des précipitations favorables également au dépôt de matériaux transportés.

7.2. Une dissémination aéroportée de diatomées d'eau eutrophisée

La présence, largement dominante, des *Aulacoseira* (22 %), diatomée strictement aquatique, habituellement issue d'eaux eutrophisées, pose en revanche un problème dans la RNN de la Massane, à une altitude de 600 à 900 mètres, en l'absence de nappe d'eau significative située à proximité immédiate. Nous avons démontré plus haut que les associations d'espèces présentes dans la rivière étaient complètement indépendantes des associations d'espèces aéroportées, comme soutenu par le calcul de la qualité des eaux (IPS 13.9/20) qui dénote d'une bonne qualité biologique.

Nous avons alors émis l'hypothèse d'une pollution anthropique aéroportée dont l'origine serait à rechercher en dehors de la RNN. C'est dans la plaine du Roussillon que nous avons recherché la source la plus probable de telles diatomées issues d'eaux

eutrophisées. Nos recherches nous ont rapidement orienté vers le lac de Villeneuve-de-la-Raho, lac très fréquenté en période estivale et, de l'avis général, extrêmement pollué. D'une surface de 230 ha, ce lac situé à 25 km au nord-ouest de la Massane a été créé en 1970 par le Conseil Général pour alimenter en eau les plaines agricoles environnantes. Une première récolte (décembre 2021) n'avait pas montré de corrélation entre le lac et les diatomées de la Massane. L'absence de *Aulacoseira* y était probablement due à la dormance de cette diatomée. Mais une nouvelle récolte (juin 2022) nous a confirmé la saturation des eaux du lac par les *Aulacoseira* et d'autres espèces d'eau fortement eutrophisées (Van Dam *et al.* 1994). La très forte corrélation entre les eaux de ce lac et les crêtes de la Massane peut s'expliquer par la contamination aéroportée des crêtes de la RNN par les diatomées eutrophes issues des eaux d'irrigation et surtout de leur aspersion sous haute pression sur les cultures arboricoles et maraîchères de toute la plaine.

Il devenait ensuite indispensable d'évaluer l'étendue géographique de cette « pollution » dont les diatomées sont d'excellents indicateurs. Les récoltes effectuées dans la RNN du Mas Larrieu, au nord d'Argelès-sur-Mer, et au bord de la mer sont sans appel : la présence des *Aulacoseira* y est également importante, avec une forte corrélation avec la RNN de la Massane, alors que sur l'ensemble des peuplements, seules 9 espèces sont communes aux deux réserves.

7.3. Âge du début de la contamination agricole par voie aérienne

Les lichens sont des accumulateurs permanents de diatomées. Il est donc impossible de fixer une date de commencement de la dissémination diatomique. Par contre, la comparaison de séries de récoltes de lichens collectionnées par le passé et mis en herbier avec les récoltes actuelles, devait permettre de juger si les transformations d'origine anthropique suspectées étaient bien réelles. Elle devait nous permettre de situer le début de cette dissémination diatomique par voie aérienne dans les milieux naturels, dont les diatomées sont de formidables indicatrices. Deux collections lichéniques ont été étudiées, celle de Des Abbayes (1932) et celle de Clauzade (1958).

La collection de Des Abbayes de 1932 : la présence de diatomées aérophiles y est importante et normale alors que les *Aulacoseira* y sont absentes. Ces diatomées strictement aquatiques et spécifiques des eaux eutrophes sont pourtant abondantes sur les crêtes du Sallfort en 2021. Cette absence de corrélation

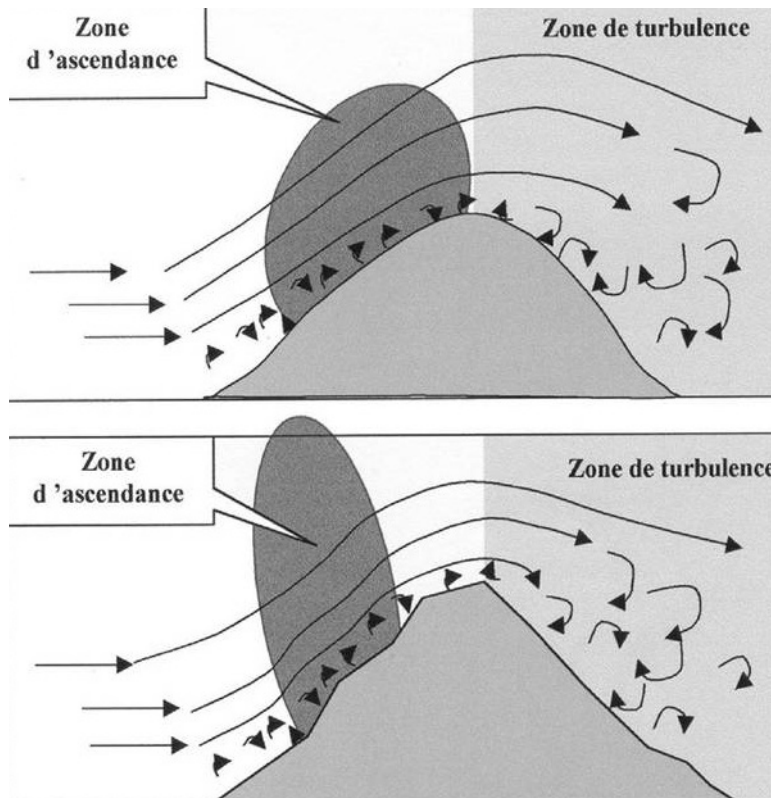


Fig. 13 – Schéma des vents rabattants lors du franchissement d'une crête de montagne, le flux d'air est accéléré sur la crête et se disperse en tourbillons sur la face opposée. Les vitesses et les dispersions sont fonction de la forme et l'aspérité des crêtes.

permet de conclure qu'en 1932, il n'y avait pas de contamination des crêtes de la RNN par des diatomées aquatiques d'eau eutrophisée.

La collection Clauzade de 1958 : l'inventaire des diatomées épilichéniques nous montre cette fois une très forte corrélation avec les espèces actuelles. Si l'on compare les indices de Shannon entre les récoltes de 1958 et de 2020, ils sont égaux (3.82 en 1958 et 3.80 en 2020), mais l'abondance des espèces est plus importante en 1958 (2961) qu'en 2020 (1989). Les espèces mono-récoltes sont également bien corrélées entre 1959 et 2020, ainsi que les espèces aérophiles qui sont les mêmes et représentées parmi les 8 premières espèces (60 % de l'abondance). Nous remarquons que *Aulacoseira* y a déjà atteint 6.7 % en 1958 (22 % actuellement). Il y a bien un début de contamination par les eaux agricoles.

Ces résultats restent malgré tout compatibles avec notre hypothèse car, bien que l'irrigation forcée à haute pression n'ait commencé qu'en 1970 avec la création du Lac de Villeneuve-de-la-Raho, l'irrigation des cultures et des vergers du Roussillon est bien antérieure, mais avec des pulvérisations moins

efficaces et moins violentes, telles que l'irrigation par gravité ou par petits asperseurs basse pression. Avec la généralisation de l'irrigation haute pression, l'abondance d'*Aulacoseira* atteint maintenant 22 %.

7.4. Disparition de certaines espèces. Origine climatique ?

La disparition de certaines espèces telles que les *Orthoseira*, diatomées spécifiques des lieux humides et des mousses, dont la présence est constatée sur 5 des 7 récoltes de l'herbier Des Abbayes 1932 mais aussi de l'herbier de Clauzade 1958, pose d'autres questions. Quelle peut-être la part des changements climatiques enregistrés sur la RNN dans leur disparition, avec le réchauffement enregistré (+1,9°C depuis 1976), la diminution des précipitations (-150 mm depuis 1959) et l'occurrence accrue des sécheresses, canicules et vents violents desséchants ?

7.5. Peu d'espèces marines

Le peu d'espèces marines épilichéniques trouvées dans la RNN du Mas Larrieu pose des questions qui

restent pour l'instant sans réponse. Pourquoi un taux si faible de diatomées alors que les embruns sont denses et fréquents en arrière-dune ? Les espèces marines se fixeraient-elles moins sur les lichens ? Les vents marins souvent violents inhiberaient-ils la fixation durable des diatomées sur les lichens ?

7.6. Une diatomée fossile d'origine méridionale

La présence d'une diatomée fossile (*Cyclotella alvarniensis*, Straub F. & Aboal M., 1992), originaire de la région de Murcie, en Espagne, est quasi constante sur les pentes et les crêtes de la Massane et au Mas Larrieu où elle est retrouvée dans 11 récoltes. Cette diatomée est par ailleurs absente sur les échantillons provenant des herbiers. Cette espèce est également trouvée en faible quantité dans toutes les récoltes issues des Pyrénées (Bertrand *et al.* 2020). Sa répartition géographique et les causes de sa dispersion ne sont pas claires. Son dépôt a-t-il pour origine des vents violents de sud, amenant également les argiles rouges du Sahara ?

8. Conclusion

Dans un précédent travail (Bertrand *et al.* 2016, 2020), nous avons montré que les lichens étaient toujours colonisés par les diatomées mortes capturées par le mucus exsudé des algues et/ou par le mycélium du lichen, avec la constatation que le nombre de diatomées épilichéniques était toujours très supérieur à celui des diatomées des écorces d'arbres situées à proximité (39 à 105 espèces *vs* 29 à 35 espèces sur les écorces), supérieur aussi à celui des diatomées de l'eau de rivière qui s'écoule à proximité (30 à 37 espèces dans l'eau). Les lichens accumulent les diatomées de manière aléatoire. Dans l'environnement immédiat des grands fleuves et des étangs de grandes dimensions, les diatomées des lichens situés sur les arbres sont apportées par l'action des vents. Par contre, l'influence des vents est nulle pour les rivières encaissées ou à l'intérieur des forêts.

Dans le présent travail nous démontrons que la dispersion et la répartition des diatomées épilichéniques est aléatoire, et de ce fait, probablement d'origine purement éolienne, qu'elle soit d'origine naturelle ou/et anthropique. Leur répartition est déterminée par les vents dominants sur les reliefs, la topographie et les conditions aérologiques locales (**Fig. 13**).

Les associations sont particulièrement contaminées par une diatomée *Aulacoseira*, curieusement abondante sur les crêtes et les pentes de la RNN,

diatomée qui a été identifiée en grand nombre dans le lac de Villeneuve-de-la-Raho où elle témoigne d'un fort niveau d'eutrophisation et de pollution des eaux (**Fig. 12**). Nous démontrons que l'irrigation haute pression des vergers et des cultures de la plaine du Roussillon est à l'origine d'une dissémination aérienne des diatomées sur de longues distances et d'une véritable « pollution agricole » qui s'étend à la totalité de la région et atteint les bords de Méditerranée.

L'étude des diatomées épilichéniques de deux collections anciennes de lichens conservés en herbier nous permet une approche du début de cette « pollution agricole ». Elle est absente en 1932 (herbier Des Abbayes) et est à son début en 1958 (herbier Clauzade) où la diatomée *Aulacoseira* atteint 6 % des associations. Elle est actuellement de 22 %. L'évolution actuelle des cultures, notamment céréalières et maraîchères, dans la plaine du Roussillon et l'impact prévisible des aspersions agricoles sur les milieux naturels doit nous alerter.

Les changements climatiques enregistrés sur la RNN sont vraisemblablement à l'origine d'une modification des associations et de la disparition de certaines diatomées. Depuis 2016, on observe des changements dans la distribution des vents et l'on constate que la Tramontane n'est plus le vent dominant, changement qui pourrait entraîner des modifications d'humidité avec des conséquences sur les diatomées liées à ces milieux humides.

L'inventaire des diatomées, actuellement axé sur les diatomées aérophiles et aquatiques, devra être poursuivi, mais la disparition probable des taxons des milieux humides et des mousses, en lien avec ces changements climatiques, suggère de réorienter nos études vers des taxons d'affinité plus terrestre.

Dès à présent, reconstituer des herbiers de lichens de référence pourrait être un moyen de suivi intéressant à mettre en œuvre.

Remerciements

Merci à François Charles et son équipe (Gilles, François et Béatrice) de l'OOB (Observatoire Océanologique de Banyuls) pour leur aide généreuse et inventive à la filtration des eaux du lac de Villeneuve-de-la-Raho. Merci à Valentine Ruiz et à Claudie Parra pour leur aide à l'extraction des échantillons d'herbiers ainsi qu'à la collecte de lichens frais sur les crêtes de Colomates. Merci à la Fondation Hermès pour le soutien financier apporté à ces missions exploratoires. Merci à Valérie Peeters pour la mise à jour des dénominations des diatomées. Thanks to our friend Peter Culleton for the translation

of the abstract.

Références

- Bertrand J., Ector L. & Renon J.-P. (2015) - Écologie des mares. Mesures de la qualité des eaux par les diatomées. Deux nouveaux indices spécifiques, comparaison avec l'indice IPS. *Symbioses* nouvelle série 33 : 50-72.
- Bertrand J., Coste C., Le Cohu R., Renon, J.-P., & Ector L. (2016) - Étude préliminaire sur la présence de diatomées sur les lichens. *Botany Letters* 163(2) : 93-113.
- Bertrand J., Coste C. & Rolland D. (2020) - Inventaire des diatomées sur les lichens et causes de leur présence. *Carnets Natures* vol. 7 : 41-67. https://carnetsnatures.fr/volume%207/diatomees-lichens_Bertrandetal.pdf
- Canard A. & Poinso D. (2004) - La répartition spatiale des individus et des peuplements par la méthode des quadrats. *Rapport, Université de Rennes*. 28 p.
- Doledec S. & Chessel D. (1994) - Co-inertia analysis : an alternative method for studying species–environment relationships. *Freshwater Biology*, 31 : 277-294. [doi:10.1111/j.1365-2427.1994.tb01741.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1994.tb01741.x)
- Garrigue J., Magdalou J.-A. & Sorel D. (2018) - Climatologie, analyse des données 2017. *Travaux de la Massane*, n°112. 36 p.
- Krammer K. (2002) - Diatoms of Europe, *Cymbella*, Edited by Horst Lange-Bertalot Vol. 3. 584 p.
- Lange-Bertalot H. (2001) - Diatoms of European Inland Waters and comparable Habitats. *Navicula sensu stricto*, 10 genera separated from *Navicula sensu lato*, *Frustulia*. Edited by Horst Lange-Bertalot Vol. 2. 526 p.
- Lange-Bertalot H, Malgorzata B. & Witkowski A. (2011) - *Eunotia* and some related genera, Diatoms of Europe, Edited by Horst Lange-Bertalot Vol. 6. 747 p.
- Lombard M., Vas N. & Dalstein L. (2014) - Effet de l'ozone sur la végétation. *Travaux de la Massane*, n° 102. 28 p.
- Lowe R. L., Kociolek P., Johansen J. R., Vijver B. Van de, Lange-Bertalot H. & Kopalová K. (2014) - *Humidophila* gen. nov., a new genus for a group of diatoms (Bacillariophyta) formerly within the genus *Diadema* : species from Hawai'i, including one new species. *Diatom Research*, 29 (4): 351-360. [doi:10.1080/0269249X.2014.889039](https://doi.org/10.1080/0269249X.2014.889039)
- Magdalou J.-A., Hurson Ch. & Garrigue J. (2005) - Étude des effets de la conjonction sécheresse/canicule de 2003 sur la forêt de la Massane. *Travaux de la Massane*, n°72. 49 p.
- Magdalou J.-A., Hurson Ch. & Garrigue J. (2009) - Dynamique du bois mort et impact des crues sur quelques espèces riveraines. *Travaux de la Massane*, n°80. 52 p.
- Moreau H., Grimsley N., Subirana L. & Margaine M. (2011) - Suivi spatio-temporel des microalgues du fleuve côtier. *Travaux de la Massane*, n° 91. 11 p.
- Oddou-Muratorio, S. et al. (2015) - Impact du dépérissement et de l'isolement reproducteur sur la qualité de la régénération du hêtre (*Fagus sylvatica*) ». *Travaux de la Massane*, n°100. 100 p.
- Paulmier G. (1997) - Atlas des diatomophycées des côtes françaises et des aires océaniques adjacentes. IFRMER-DRV / RH / RST / 97-14 / Concarneau. 439 p.
- Peeters V. & Ector L. (2017a) - Atlas des diatomées des cours d'eau du territoire bourguignon, Centriques, Araphidées ; *Direction régionale de l'Environnement et de l'Aménagement et du logement Bourgogne-Franche-Comté*, vol. 1. 309 p.
- Peeters V. & Ector L. (2017b) - Atlas des diatomées des cours d'eau du territoire bourguignon, Naviculacées ; *Direction régionale de l'Environnement et de l'Aménagement et du logement Bourgogne-Franche-Comté*, vol. 3. 323 p.
- Peeters V. & Ector L. (2018) - Atlas des diatomées des cours d'eau du territoire bourguignon, Monoraphidées, Brachyraphidées, *Direction régionale de l'Environnement et de l'Aménagement et du logement Bourgogne-Franche-Comté*, vol. 2. 271 p.
- Peragallo M., 1984 - Diatomées Marines de France et ses districts maritimes voisins, *Ed. Tempère 1897-1908, repris 1984 Koeltz Scientific Books D-6240 Koenigstein*.
- Prygiel J. & Coste M. (2000) - Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomées NF T 90-354. *Cemagref, Agence de l'Eau* : 134 p. + 89 pl. + cd-rom TAX'IBD français/anglais.
- Shannon C.E. & Weaver W. (1949) - The mathematical theory of communication. *Urbana and Chicago. The Mathematical Gazette*, 34(310) : 312-313.
- Smith C.W., Aptroot A., Coppins B. J., Fletchert A., Gilbert O. L., James P. W. & Wolseley P. A. (2009) - The lichens of Great Britain and Ireland.

British lichen society, London : 1-1046.

Straub F. & Aboal M. (1992) - Note sur une forme tripolaire tripolaire de *Cyclotella* (Bacillariophyceae) du SE de l'Espagne et révision du taxon *Alvarniensis* Wuthrich 1979. *Bulletin de la Société neuchâteloise de Sciences naturelles*, t. 115 : 13-29.

Thioulouse J., Chessel D., Doledec S. & Olivier J.-M. (1997)-ADE-4:amultivariateanalysisandgraphical display software. *Statistic and Computing*, 7 (1): 75-83. [doi:10.1023/A:1018513530268](https://doi.org/10.1023/A:1018513530268)

Van Dam H., Mertens A. & Sinkeldam J. (1994) - A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28 (1) :



Soumis le 11 octobre 2022

Accepté le 13 novembre 2022

Publié en ligne (pdf) le 17 novembre 2022

Annexe. Tab. 3 – Liste des 142 espèces de diatomées pour une abondance de 95 % dans chaque lieu de récoltes et pourcentage en rapport du nombre d'espèces par récolte.

Taxons diatomées	Pentes et Crêtes de la RNN de la Massane	RNN du Mas Larieu	Torrent La Massane	Argelès-sur-mer (ville)	Lac Villeneuve de la Raho	Herbier Des Abbayes 1932	Herbier Clauzade 1958
<i>Achnantheidium duardtii</i> Rimet & Couté		0,13					
<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	2,38	1,57	3,94	4,85		7,74	0,84
<i>Achnantheidium pyrenaicum</i> (Hustedt) Kobayasi		3,72					
<i>Achnantheidium rivulare</i> Potapova & Ponader				4,80			
<i>Achnantheidium subatomus</i> (Hustedt) Lange-Bertalot				1,04			
<i>Achnantheidium subhudsonis</i> Cantonati et Lange-Bertalo				1,65			
<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing		0,09					
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow	1,19	0,19					0,41
<i>Amphora veneta</i> Kützing				0,24			
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	0,3				1,49		
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	0,15	2,30				0,89	
<i>Aulacoseira crenulata</i> (Ehrenberg) Twaites	1,34						
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehrenberg) Simonsen	0,26	0,39				0,24	3,38
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	21,53	21,52			60,30	0,89	6,72
<i>Aulacoseira italica</i> (Ehrenb.) Simonsen	3,81	2,54				0,24	0,61
<i>Caloneis bacillum</i> (Grunow) Cleve							0,2
<i>Caloneis molaris</i> (Grunow) Krammer	0,13						
<i>Cocconeis euglypta</i> (Ehr.) Grunow			5,24	0,52			
<i>Cocconeis lineata</i> (Ehrenberg)	0,57	1,15		1,32			
<i>Cocconeis neodiminuta</i> Krammer in Ricard		0,09					
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg						0,24	0,91
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	0,45		7,11				
<i>Coscinodiscus lineatus</i> Ehrenberg		0,09					
<i>Cyclostephanos dubius</i> (Fricke) Round	5,57	12,67			1,63	0,78	2,70
<i>Cyclotella alvarniensis</i> Staub F. & Aboal M	0,85	0,09					
<i>Cyclotella memeghyniana</i> Kützing	2,84	2,83		0,24			0,54
<i>Cyclotella ocellata</i> Pantocsek	1,81	2,38					0,57
<i>Cyclotella striata</i> (Kützing) Grunow		0,26					
<i>Cymbella cymbiformis</i> Agardh	0,13						
<i>Cymbella leptoceros</i> (Ehrenberg) Kützing							0,61
<i>Cymbella turgidula</i> Grunow sensu Cleve & Möller						0,56	
<i>Denticula tenuis</i> Kützing	0,31						
<i>Diatoma hyemalis</i> (Roth) Heiberg	0,21		1,25			0,63	
<i>Diatoma vulgaris</i> Bory							0,31
<i>Diploneis elliptica</i> (Kützing) Cleve		0,13					
<i>Diploneis forcipata</i>		0,17					
<i>Discostella stelligera</i> (Hüsedt) Houk & Klee							0,20
<i>Discotella wolterckii</i> (Hüsedt) Houk & Klee	1,01	1,19					0,51
<i>Encyonema neogracile</i> Krammer	0,17						
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch in Rabh.) D.G. Mann	0,11	1,06		2,03		0,37	

Taxons diatomées	Pentes et Crêtes de la RNN de la Massane	RNN du Mas Larieu	Torrent La Massane	Argelès-sur-mer (ville)	Lac Villeneuve de la Raho	Herbier Des Abbayes 1932	Herbier Clauzade 1958
<i>Eolimna minima</i> (Grunow) Lange-Bertalot	1,15	0,55	8,09	2,54		4,38	1,35
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	0,38						
<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehrenberg) Mills	0,17						
<i>Eunotia diodon</i> Ehrenberg						0,28	
<i>Eunotia minor</i> (Kützing) Grunow in Van Heurck			1,23			1,34	
<i>Eunotia naegelii</i> Migula	0,29						
<i>Eunotia pectinalis</i> (Kütz.) Rabenhorst						0,34	
<i>Eunotia praerupta</i> Ehrenberg						6,67	0,51
<i>Fistulifera saprophila</i> Lange-Bertalot & Bonick				1,08			
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazieres	0,71	0,32		0,38		0,82	0,24
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton					33,06		
<i>Fragilaria rumpens</i> (Kütz.) G.W.F. Carlson				0,71			
<i>Fragilaria vaucheriae</i> (Kützing) Petersen				0,94			1,22
<i>Fragiliforma virescens</i> (Ralfs) D.M. William & Roudn		0,19					
<i>Gomphonema clavatum</i> Ehrenberg	0,39						
<i>Gomphonema minutum</i> (Ag.) Agardh		0,74	3,12			0,24	22,66
<i>Gomphonema parvulum</i> Lange-Bertalot & Reichardt	0,55	0,38	1,25	0,33		0,99	0,34
<i>Gomphonema productum</i> (Grunow) Lange-Bertalot & Reichardt							0,57
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst	0,17						
<i>Halamphora holsatica</i> (Hustedt) Levkov		0,21					
<i>Halamphora submontana</i> (Hustedt) Levkov		0,21					
<i>Handmannia bodanica</i> (Eulenstein ex Grunow)							0,31
<i>Hantzschia abundance</i> Lange-Bertalot						0,51	
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) W; Smith	3,98	3,81				1,68	4,36
<i>Hantzschia virgata</i> (Roper) Grunow		0,41				0,45	
<i>Hippodonta pseudacceptata</i> (H. Kobayasi) Lange-Bertalot				1,08			
<i>Humidophila contenta</i> (Grunow) Lowe	1,51	1,52				33,97	5,23
<i>Humidophila gallica</i> (Grunow) R.L. Lowe et al.	0,19						
<i>Hyppodonta capitata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot		0,13		0,24			
<i>Lemnicola exigua</i> Grunow in Cleve				0,52			
<i>Luticola cohnii</i> (Hilse) D.G. Mann	0,96	0,26				0,54	0,37
<i>Luticola goeppertianna</i> (Bleisch) D.G. Mann	1,01	0,15				1,41	0,31
<i>Luticola mutica</i> (Kützing) D.G. Mann	3,72	5,57				3,24	6,65
<i>Luticola nivalis</i> (Ehrenberg) D.G. Mann	0,29	0,26					
<i>Luticola saxophila</i> (Bock ex Hustedt) D.G. Mann	0,26						
<i>Mayamaea atomus</i> (Kützing) Lange-Bertalot	0,27	0,17		13,42			0,98
<i>Melosira varians</i> Agardh	0,13			2,54			2,03
<i>Meridion circulare</i> (Greville) Agardh	0,22	0,15		0,38			
<i>Navicula capitatoradiata</i> Germain ex Gasse							0,51
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	0,51			2,68			
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot		0,41					11,42
<i>Navicula gregaria</i> Donkin		0,45		2,54			

Taxons diatomées	Pentes et Crêtes de la RNN de la Massane	RNN du Mas Larieu	Torrent La Massane	Argelès-sur-mer (ville)	Lac Villeneuve de la Raho	Herbier Des Abbayes 1932	Herbier Clauzade 1958
<i>Navicula menisculus</i> Schumann		0,29					0,51
<i>Navicula radiosa</i> Kützing							0,19
<i>Navicula striolata</i> (Grunow) Lange-Bertalot		0,71					
<i>Navicula tripunctata</i> (O.F. Müller) Bory	0,17						2,91
<i>Navicula trivialis</i> Lange-Bertalot							0,19
<i>Navicula veneta</i> Kützing		0,11		0,38			
<i>Nitzschia debilis</i> Arnott				0,99			
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	0,45	0,96					
<i>Nitzschia constricta</i> (Gregory) Grunow		0,26					
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Grunow		0,38		0,38			0,74
<i>Nitzschia fasciculata</i> (Grunow) Grunow							1,01
<i>Nitzschia fonticola</i> Grunow	0,17	0,45		1,88			
<i>Nitzschia fossilis</i> (Grunow) Grunow		0,11					0,74
<i>Nitzschia frustulum</i> (Kützing) Grunow				2,31			
<i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow	0,19	1,34	0,99	28,97			
<i>Nitzschia microcephala</i> Grunow				0,33			
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith	0,15	0,31		0,42			
<i>Nitzschia paleacea</i> Grunow		0,32					
<i>Nitzschia perminuta</i> (Grunow) Peragallo	0,13	0,45					
<i>Nitzschia sociabilis</i> Hustedt							0,41
<i>Nitzschia</i> sp1				1,51			
<i>Nitzschia valdestriata</i> Aleem & Hustedt							0,19
<i>Nupela lapidosa</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot var.lapidosa	0,45						
<i>Orthoseira dendroteres</i> (Ehrentenberg) Genkal& Kulikovskiy						5,52	
<i>Orthoseira roseana</i> (Rabenhorst) Pfitzse						5,95	0,61
<i>Pauliella taeniata</i> (Grunow) Round & Basson			1,27				
<i>Pinnularia acoricola</i> Husredt		0,72					
<i>Pinnularia appendiculata</i> (Agardh) Cleve	0,13						
<i>Pinnularia borealis</i> Ehrenberg	12,67	0,29				10,38	4,09
<i>Pinnularia obscura</i> Ktrasske						0,26	
<i>Pinnularia subcapitata</i> Gregory	0,17						0,31
<i>Planothidium delicatulum</i> (Kütz.) Round & Bukhtiyarova		0,11					
<i>Planothidium ellipticum</i> (Cleve) Round				0,28			
<i>Planothidium frequentissimum</i> (Brebisson ex Kützing) Lange-Bertalot				1,74			
<i>Planothidium holstii</i> (Cleve) Lange-Bertalot		0,17					
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brebisson e Kützing) Lange -Bertalot	2,41	3,61	7,89	1,51		1,62	
<i>Platessa conspicua</i> (A.Mayer) Lange-Bertalot		0,17					
<i>Platessa oblongella</i> (Østrup) C.E. Wetzel, Lange-Bertalot & Ector	0,40	0,45	11,33			1,79	
<i>Platessa stewartii</i> (Patrick) Potapova		0,09					
<i>Psammothidium daonense</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot		0,11					
<i>Psammothidium grischunum</i> (Wuthrich) Bukhtiyarova et Round		2,19					
<i>Psammothidium rossii</i> (Hustedt) Bukhtiyarova et Round	0,25						

Taxons diatomées	Pentes et Crêtes de la RNN de la Massane	RNN du Mas Larieu	Torrent La Massane	Argelès-sur-mer (ville)	Lac Villeneuve de la Raho	Herbier Des Abbayes 1932	Herbier Clauzade 1958
<i>Pseudostaurosira</i>				1,46			
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> (Grunow) Williams & Round	2,19	2,41				0,37	1,28
<i>Raphoneis amphicerus</i> (Ehrenberg) Ehrenberg		0,51					
<i>Reimeria sinuata</i> (Gregory) Kociolek & Stoermer		0,85	1,02	0,89			
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (Agardh) Lange-Bertalot	0,72	0,85	41,21				0,47
<i>Rossithidium pusillum</i> (Grunow) F.E. Round & Bukhtiyarova		1,81					
<i>Sellaphora minima</i>				2,26			
<i>Sellaphora nigri</i> (De Not.) C.E. Wetzel et Ector	2,32	0,13		0,52			1,08
<i>Sellaphora pupula</i> (Kützinger) Mereschkovsky	0,29			0,38			
<i>Staurosira construens</i> Ehrenberg				2,12			
<i>Staurosira construens</i> Ehrenberg	0,28	0,29					
<i>Staurosira elliptica</i> Pseudostaurosira elliptica (Schumann) Edlund, Morales & Spaulding	1,57	0,13					
<i>Staurosira martyi</i> (Héribaud) Lange-Bertalot (Heribaud) Lange-Bertalot	0,32						0,34
<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehr.) Williams & Round	1,64	0,81					0,84
<i>Tertiarius</i> sp.	0,32						
<i>Thalassiosira visurgis</i> Hustedt	3,61	3,98				0,59	1,18
<i>Ulnaria acus</i> (Kützinger) Aboal	0,38						
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	0,85	0,19				0,26	0,41

Abondance des frustules observées des herbiers Des Abbayes et Clauzade						3814	2961
Abondance des frustules observées récoltes de 2020-2022	18565	4703	6924	2123	4007	4411	1989
Nombre d'espèces déterminées	313	197	65	89	10	113	111
Nombre d'espèces retenues pour 95% de l'abondance	66	73	14	41	4	34	50
Ratio % : Nb. sp. retenues / Nb. sp. déterminées	21,4	38,1	21,5	46,1	40	31	45

Les Gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales aux environs de Sougraigne (Aude, France) Septième étude

Xavier CHAIX¹ et Jérôme PLICOT²

Résumé

L'étude de nouveaux affleurements du Crétacé supérieur des Corbières méridionales (Aude) a permis la récolte de nombreux gastéropodes dans les Formations des Marnes bleues de Sougraigne et de la Montagne des Cornes, datées du Santonien inférieur, zone à Carezi et du Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. Sont cités, dans cette septième étude, les genres et sous genres suivants : *Faureicerithium* nov. gen., *Dentitriangularum* nov. gen., *Paosia*, *Eucyclus*, *Calliostoma* et *Tudicla*. Deux nouveaux taxons sont décrits : *Faureicerithium bidentata* et *Dentitriangularum pacaudi*.

<https://zoobank.org/115AC7B2-3ED3-4789-A7F9-79BDA64CF509>

Mots clés : Gastropoda, Crétacé supérieur, Santonien, Corbières, Aude, France.

The gastropods of the Upper Santonian (Upper Cretaceous) southern Corbières, in the hinterland of Sougraigne (Aude, France). Seventh study

Abstract

News outcrops of the Upper Cretaceous of Sougraigne (southern Corbières, Aude) has allowed to collect numerous gastropods in the "Marnes bleues de Sougraigne" and "Montagne des Cornes" Formations dating from the Lower Santonian, Carezi Zone and the Upper Santonian, Polyopsis Zone, Paraplanum Sub-zone. In this. Are studied in this seventh study, representatives of the genera *Faureicerithium* nov. gen., *Dentitriangularum* nov. gen., *Paosia*, *Eucyclus*, *Calliostoma* et *Tudicla*. Two new taxa are described for the first time : *Faureicerithium bidentata* and *Dentitriangularum pacaudi*.

Keyword : Gastropoda, Upper Cretaceous, Santonian, Corbières, Aude, France.

Introduction

Le présent travail a pour but de poursuivre la réactualisation de la systématique des Gastéropodes du Santonien (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales aux alentours de Sougraigne (Aude), qui n'ont pas fait d'étude paléontologique depuis les travaux anciens de d'Archiac (1854), de Roussel (1885), de Cossmann (1896-97, 1902, 1903), de

Delpy (1938, 1942) et de Termier (1954). Dans cette septième étude nous décrivons deux genres et deux espèces nouveaux : *Faureicerithium bidentata* nov. gen, nov. sp. et *Dentitriangularum pacaudi* nov.gen, nov. sp.

Pour plus de détails sur le cadre historique et stratigraphique, se reporter à la première étude de cette révision (Chaix & Plicot, 2018). Rappelons

1. Musée de Paléontologie et de Préhistoire, 12 rue Saint-Mammès, F-11160, Villeneuve-Minervois.
bernadette.chaix@wanadoo.fr

2. Jérôme Plicot, F-11200, Saint-André-de-Roquelongue.



cependant que les dépôts du Crétacé supérieur des Corbières méridionales appartiennent à la couverture méridionale du Massif hercynien de Mouthoumet et qu'ils s'expriment particulièrement bien au niveau du Synclinal de Rennes-les-Bains dans lequel se développe un dispositif prodeltaïque à deux composantes sédimentaires disposées en relais latéral, l'ensemble témoignant d'une polarité vers le sud représentative de la marge nord-aquitaine (Bilotte, 2007).

Au nord, un complexe sédimentaire de 100 à 250 mètres d'épaisseur, de type deltaïque, regroupé dans la Formation de la Montagne-des-Cornes, au sein duquel se développent des bioconstructions récifales à rudistes, qui occupent les trois reliefs de la Montagne-des-Cornes, des Cloutets et du Brenz.

Au sud, la Formation des Marnes bleues de Sougraigne, uniformément constituée de 100 à 250 mètres de marnes micacées (parfois de couleur gris-bleu), témoignent d'un milieu de dépôt plus profond, représentant les faciès de type prodelta.

Des faciès de transition et des indentations entre ces deux formations concourent à la complexité de la succession lithostratigraphique des environs de Sougraigne où divers faciès intermédiaires, latéralement bien délimités, ont été individualisés sous diverses dénominations, désignant des membres lithologiques très localisés tels les « Calcaires à Lima », les « Marnes à Turritelles et Corbules », les « faciès terrigènes à ossements de Mosasaures », ou encore les « Marnes du Moulin Tiffou ». La coupe historique du chemin de Sougraigne aux Cloutets recoupe certains d'entre eux.

Étude systématique, par Xavier Chaix

Embranchement : Mollusca

Classe : Gastropoda

Ordre : Caenogastropoda

Super famille : Campaniloidea Douvillé, 1904

Famille : Campanilidae Douvillé, 1904

***Faureicerithium* nov. gen.**

zoobank.org/F87DE67A-A922-4AE6-9AD4-524D9F0126F6

Générotipe : *Faureicerithium bidentata* nov. sp. de la collection Chaix, conservé dans les collections du Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse (Haute-Garonne).

Origine du nom : Ce genre nouveau est dédié au paléontologue et stratigraphe audois Philippe Fauré, spécialiste du Jurassique et du Crétacé inférieur des Pyrénées audoises.

Diagnose :

Genre caractérisé par la présence de dents labrales externes (en creux sur les moules internes) et par l'absence d'un net appendice aliforme. Tours presque plans, portant parfois les restes d'une mince coquille et une ornementation axiale fine et légère. Sutures profondes. Ouverture ovale, incurvée au niveau du labre et rectiligne dans sa partie columellaire. Canal siphonal recourbé en arrière.

Discussion et comparaisons :

Nous rattachons ce nouveau genre à la famille des *Campanilidae* (Douvillé, 1904) car Delpy a précisé (1941, p. 5) que l'un des premiers représentants de cette famille est *Cerithium belgicum* Münster in Goldfuss (1843, p. 34, pl. 174, fig. 5), qui présente « sur le dernier tour opposé au labre, les empreintes de deux dents au plafond et de deux dents labiales ». Nous y voyons un net rapprochement avec la présence des dents labrales présentes sur les moules internes de notre nouveau genre.

Remarques :

Faureicerithium se rapproche aussi, par sa morphologie générale, du genre *Rostrocirithium* (Cossmann, 1906, p. 59, pl. 8, fig. 11-13) dont l'espèce-type est *Rostellaria plicata* J. de C. Sowerby (1835, pl. 38, fig. 22). Dans le travail du docteur Murchinson sur la faune autrichienne de Gosau, paru en 1835, et dont la partie paléontologique a été confiée à J. de C. Sowerby, *Rostellaria plicata* est bien indiqué sur le tableau récapitulatif en bas de la p. 418 et figuré pl. 38, fig. 22, mais il n'est accompagné d'aucune description et doit donc être considéré comme invalide. L'espèce *Rostrocirithium plicatum* (J. de C. Sowerby) étant devenu invalide, nous proposons que le genre *Rostrocirithium* soit réservé à des formes ne présentant aucune dent interne labrale, cette dernière caractéristique étant donc réservée à notre nouveau genre *Faureicerithium*.

Âge et répartition géographique : Le genre *Faureicerithium*, n'a été récolté à ce jour que dans les Marnes bleues du Santonien supérieur de Sougraigne (Aude), zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum, où il est relativement fréquent.

Faureicerithium bidentata nov. sp.

Fig. 75 A-B, 76

Localité et strate type : l'holotype et le paratype ont été récoltés en place dans les Marnes bleues, niveau à Mosasaures et retrouvés en place sous le chemin des Cloutets à Sougraigne (Aude).

Âge : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum.

Holotype : Spécimen K11691 (**Fig. 75A-B**) de la collection Chaix, est une coquille adulte conservée dans les collections du Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse (Haute-Garonne).

Paratype : Spécimen K11693 (**Fig. 76**) de la collection Chaix. Individu adulte conservé dans les collections du Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse (Haute-Garonne).

zoobank.org/83DFD689-89C1-4379-9D65-DB7A6DC27062

Dimensions :

- K11691. **Holotype** : hauteur : 75 mm ; hauteur reconstituée : 110 mm ; diamètre du dernier tour : 32 mm.

- K11693. **Paratype** : hauteur : 65 mm ; hauteur reconstituée : 80 mm ; diamètre du dernier tour : 32 mm.

Origine du nom : En raison de la présence de dents internes au labre.

Diagnose et description :

Coquille de grande taille, turriculée, à tours presque plans mais légèrement convexes, dont la hauteur est au trois quart inférieure à leur largeur, séparés par de profondes sutures. Présence de deux profondes dents labrales externes (ici en creux) portant à leur extrémité des restes de la coquille. Le tour le plus proche de l'ouverture porte une unique ornementation longitudinale de faible épaisseur, d'environ 2 mm. Pouvant laisser supposer l'existence d'une prolongation labrale sans doute festonnée. Cette ligne débute entre les des deux dents labrales (ici en creux). L'ouverture siphonale se courbe nettement vers la gauche. Sur la face opposée (**Fig. 75A**), présence d'un pli en forme de « S » inversé, doublement incurvé, sans doute dû à un traumatisme, ayant déterminé un arrêt de croissance. Le dernier tour est arqué à la périphérie de la base, qui est convexe. L'ouverture est ovale incurvée au niveau du labre et rectiligne dans sa partie columellaire.

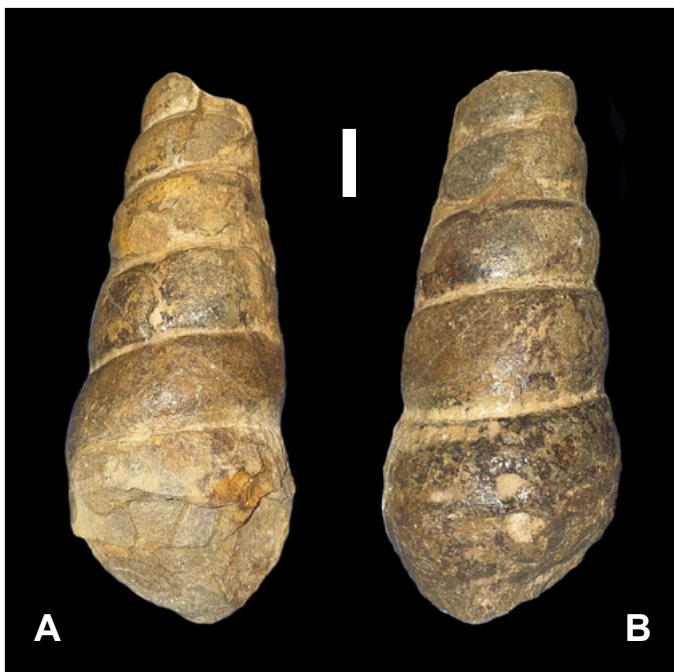


Fig. 75A-B - *Faureicerithium bidentata* nov. sp. **Holotype**. K11691. Marnes bleues, niveau à Mosasaures, sous le chemin des Cloutets à Sougraigne (Aude) X1. Échelle 1 cm.

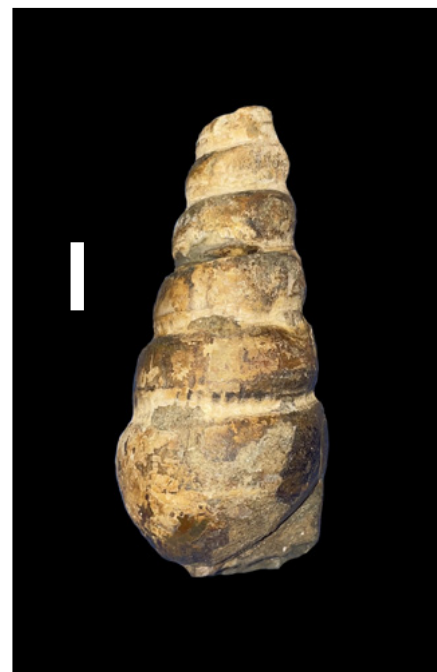


Fig. 76 - *Faureicerithium bidentata* nov. sp. **Paratype**. K11693. Marnes bleues, niveau à Mosasaures, sous le chemin des Cloutets à Sougraigne (Aude) X1. Échelle 1 cm.

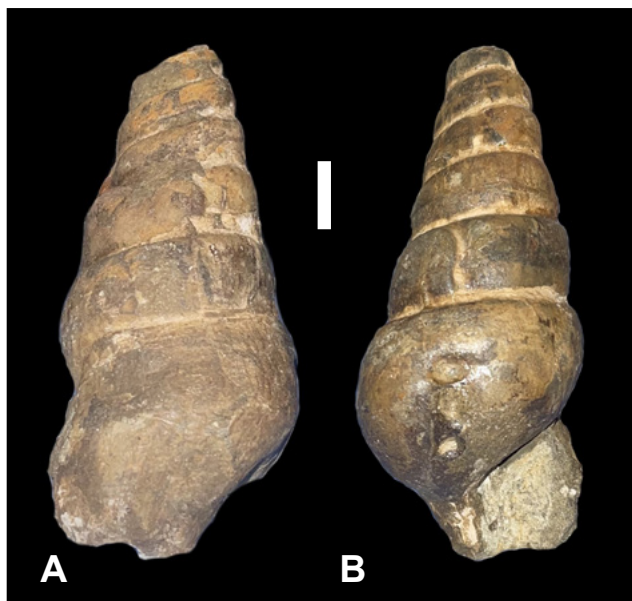


Fig. 77A-B - *Faureicerithium bidentata tridentata* nov. var. **Forme type**. K11692. Marnes bleues, niveau à Mosasaures, sous le chemin des Cloutets à Sougraigne (Aude) X1. Échelle 1 cm.

Le paratype (**Fig. 76**) et plusieurs autres échantillons provenant de collections privés, montrent une fine ornementation axiale formée de fines lignes d'accroissement obliques, légèrement incurvées, séparées par des intervalles deux à trois fois plus larges.

Genre : *Faureicerithium* nov. gen.

Espèce type : *Faureicerithium bidentata* nov. sp.

Faureicerithium bidentata tridentata nov. var.

Fig. 77A-B

Localité et strate type : le type de la sous-espèce a été récolté en place dans les Marnes bleues, niveau à Mosasaures, et retrouvé en place sous le chemin des Cloutets à Sougraigne (Aude).

Âge : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum.

Type : Spécimen K11692 (**Fig. 77**) de la collection Chaix, conservé dans les collections du Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse (Haute-Garonne).

Dimensions : hauteur : 70 mm ; hauteur reconstituée : 83 mm ; diamètre du dernier tour : 23 mm.

Origine du nom : En raison de la présence de trois dents labrales.

Diagnose et description :

Coquille de grande taille, comptant sept tours de spire conservés (une douzaine si le fossile était complet). Ce taxon présente les mêmes caractéristiques morphologiques que *Faureicerithium bidentata*, si ce n'est la présence d'une troisième dent labrale. Il porte aussi la trace d'une ornementation axiale formée de fines lignes légèrement incurvées. Le canal siphonal est nettement arqué.

Remarques :

Ce fossile n'est connu que par deux exemplaires dont un, de petite taille (collection particulière). Tous deux proviennent des Marnes bleues du Santonien de Sougraigne.

Famille : Cypraeidae Rafinesque, 1815

Genre : *Dentitriangularum* nov. gen.

zoobank.org/7164582D-78AD-47F8-8711-62250DBFFA9A

Générotype : *Dentitriangularum pacaudi* nov. sp. de la collection Chaix, conservé dans les collections du Muséum d'histoire Naturelle de Toulouse (Haute-Garonne).

Origine du nom : En raison de la présence de plusieurs larges dents triangulaires au niveau d'une partie de la zone columellaire.

Diagnose :

Forme ovoïde de petite taille, à face ventrale aplatie et face dorsale bombée. Au niveau des lèvres, présence d'un côté, de larges dents triangulaires centrales auxquelles correspondent, du côté opposé, des dents plus petites et en continu.

Discussion et comparaison :

Nous n'avons pu rapprocher nos spécimens d'aucune forme connue de « porcelaine » du Crétacé. Il conviendrait sans doute de créer, pour notre nouveau genre, une nouvelle famille ou sous famille. Le nombre d'échantillons pouvant lui être rattaché est actuellement insuffisant pour permettre de proposer une réponse satisfaisante.

Le genre *Palaeocypraea* (Schilder, 1928) semble le plus proche morphologiquement, mais notre espèce en diffère par sa petite taille et la forme triangulaire de ses dents.

Âge et répartition géographique : Le genre *Dentitriangularum* n'a été récolté à ce jour que

dans les Marnes bleues du Santonien supérieur de Sougraigne (Aude), zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum, où il est très rare.

***Dentitriangularum pacaudi* nov. sp.**

Fig. 78 A-C

Localité et strate type : L'Holotype a été récolté en place dans les Marnes bleues, niveau à Mosasaures, sous le chemin des Cloutets à Sougraigne (Aude).

Âge : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum.

Holotype : Spécimen K10655 (Fig. 78A, B, C) de la collection Chaix, conservé dans les collections du Muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse (Haute-Garonne), L'Holotype est un individu adulte. Il est extrait d'un lot de deux spécimens, dont un (K11698) en mauvais état de conservation.

zoobank.org/30B577FC-1B50-48D2-86FD-97C0E4644B67

Dimensions de l'holotype : longueur : 29 mm ; largeur maximum de face : 19 mm.

Origine du nom : Dénommé en l'honneur de Jean-Michel Pacaud, paléontologue spécialiste de la faune des gastéropodes du Tertiaire et plus particulièrement des Cypraeacea. Il est responsable de la typothèque au M.N.H.N de Paris.

Diagnose et description :

L'état de conservation de l'holotype permet une bonne description de ce taxon. Forme ovoïde de petite taille, d'âge adulte. La face dorsale est bombée et la face ventrale aplatie, toutes deux s'infléchissant légèrement en direction d'une ouverture légèrement

arquée. La zone columellaire est pourvue d'un net sillon longitudinal. Le canal exhalant est étroit, recourbé vers l'apex, et le canal siphonal un peu plus large. La fossula est indistincte sur notre échantillon. Au niveau des lèvres, les larges dents triangulaires caractéristiques du genre, s'interrompent vers la partie terminale en direction de l'apex. Par contre, sur la lèvre opposée, elles sont plus petites et continues. Curieusement la surface dorsale porte par endroit de très fines costules, séparées par de larges intervalles, correspondant sans doute à la croissance de la coquille.

Superfamille : Loxonematoidea Koken, 1889

Famille : Pseudomelaniidae Fischer, 1885

Genre : *Paosia* Böhm, 1895

Espèce type : *Paosia fadaltensis* Böhm, 1895

***Paosia jacobi* (Delpy, 1938)**

Fig. 79-80A-B

1938 - *Trajanella jacobi* Delpy, fig. 3, pl. 20, fig. 4.

Holotype : localisation non vérifiée.

Dimensions :

- K11690 (Fig. 79) : hauteur : 30 mm ; hauteur reconstituée : 35 mm ; diamètre dernier tour : 10 mm.
- K10636 (Fig. 80) : hauteur : 28 mm ; hauteur reconstituée : 32 mm ; diamètre dernier tour : 10 mm.

Description :

Spire allongée dont le dernier tour est presque aussi grand que le reste de la coquille. Taxon par ailleurs caractérisé par un col columello-pariétal bien développé. Sur le dernier tour, la partie supérieure de la spire (située en direction de l'apex), porte un



Fig. 78A, B, C - *Dentitriangularum pacaudi* nov. sp. Holotype. K10655. Marnes bleues, niveau à Mosasaures, sous le chemin des Cloutets à Sougraigne (Aude) X1,5. Échelle 1 cm.



Fig. 79 - *Paosia jacobi* (Delpey, 1938). K11690. Marnes bleues de Sougraigne, dans le lit de la Sals, à proximité du Moulin (« Moulin Tiffou ») (Rennes-les-Bains) X1,5. Échelle 1 cm.



Fig. 80A-B - *Paosia jacobi* (Delpey, 1938). K10636. Marnes bleues de Sougraigne, du chemin des Cloutets, à Sougraigne X1,5. Échelle 1 cm.

net et large renflement. L'ouverture, incomplètement conservée, devait très certainement posséder un bord labral s'arrondissant en une échancrure à son point de contact avec la columelle. Ce bord labral est fin et oblique.

L'échantillon K10636 montre une fine ornementation axiale difficilement visible, composée de vingt à trente unités par tours.

Remarques :

Dans sa description de l'holotype, Delpey (1938), classe l'espèce *jacobi* dans le genre *Trajanella* (Popovici & Hatzeg, 1899). Cependant Kollmann (2005, p. 23), contrairement à l'avis de Cossmann (1925, p. 33) et d'autres auteurs, considère que le genre *Paosia* (Böhm, 1895, p. 145, pl. 5, fig. 5 a, b) a priorité sur le genre *Trajanella* qui a été décrit plus tard.

Notre spécimen pourrait être également rapproché d'*Eulima tabulatum* (Zekeli, 1852, pl. 3, fig. 9a, b), mais il s'en distingue par une ornementation très différente. Précisons que le genre *Eulima* a été rattaché au genre *Kellostoma* par Stoliczka (1865) dans la révision de la faune de Gosau (Autriche). Nous considérons, que les espèces rattachées au genre *Paosia*, présentent une large variabilité.

L'échantillon K11690 (**Fig. 79**) provient du même gisement que l'holotype. Si ce dernier n'était pas retrouvé, il pourrait être considéré comme néotype.

Âge et provenance :

Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. K11690 (**Fig. 79**) : Marnes bleues de Sougraigne, dans le lit de la Sals, à proximité du Moulin (« Moulin Tiffou ») (Rennes-les-Bains) ; K10636 (**Fig. 80**) : Marnes bleues à Sougraigne, récolté en place sur le chemin des Cloutets.

Matériel étudié :

- K11690 (**Fig. 79**) et K10636 (**Fig. 80**). Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).

Sous-ordre : Trochina Cox & Knight, 1960

Super-famille : Amberleyoidea Wenz, 1938

Famille : Amberleyidae Wenz, 1938

Genre : Eucylus Eudes-Deslongchamps, 1860

Espèce type : Eucylus obeliscus Eudes-Deslongchamps, 1860

***Eucylus tabulatus* Cossmann, 1903**

Fig. 81A-B

1903 - *Eucylus tabulatus* Cossmann, p. 7, pl. 3, fig.1, 2.

Holotype : Collection Cossmann, conservée au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris (non vérifié).

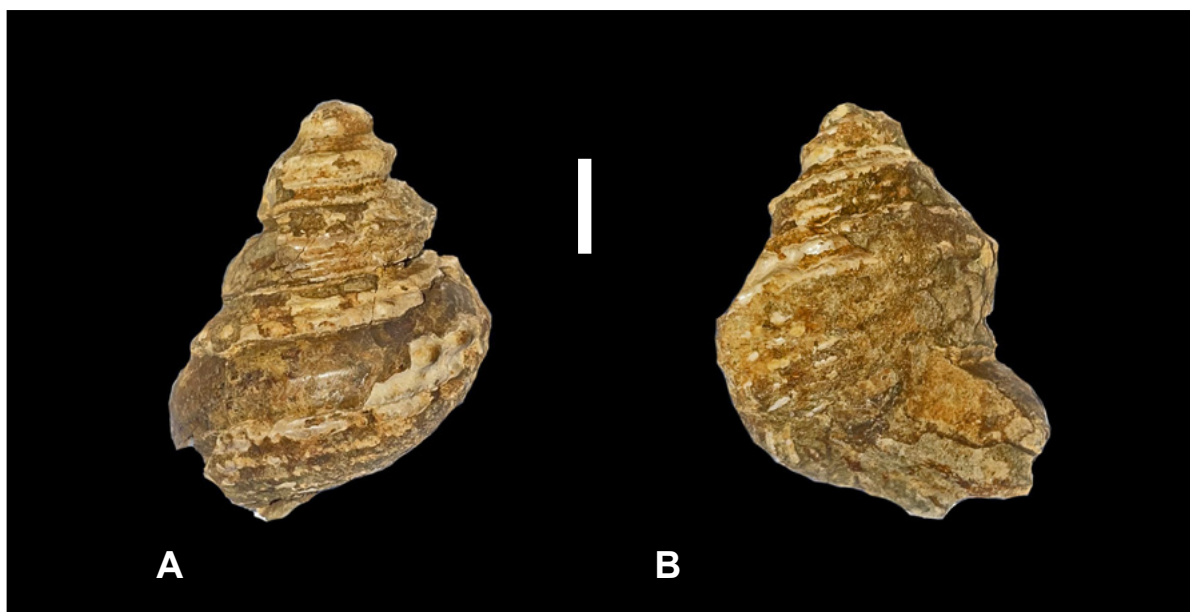


Fig. 81A-B - *Eucyclus tabulatus* Cossmann, 1903. K11694. Marnes bleues, sur le chemin des Cloutets, à Sougraigne (Aude) X1,25. Échelle 1 cm.

Dimensions : hauteur : 48 mm ; hauteur reconstituée : 52 mm ; diamètre du dernier tour : 38 mm.

Description :

Tours nettement étagés, avec une suture très enfoncée. Présence d'une carène presque médiane, fortement ornée de petites punctuations. La région dirigée vers l'apex est de forme plane-inclinée et porte trois forts cordons. La zone opposée est ornée de quatre cordons. La base porte de 8 à 10 cordons spiraux. L'ouverture est mal conservée sur notre spécimen.

Remarques :

Eucyclus tabulatus n'est connue actuellement que dans le Santonien de Sougraigne. L'espèce se distingue facilement des autres *Eucyclus* présents dans les mêmes niveaux, par sa grande taille et ses tours nettement étagés. Tous les exemplaires que nous avons pu récolter, ou étudier dans des collections particulières, sont de taille nettement plus grande que les 31 mm de l'holotype. Sur un échantillon très bien conservé et conformément à ce qu'écrit Cossmann (1903), l'ouverture est bien subcirculaire, avec un péristome oblique et épais.

Âge et provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. Marnes bleues, sur le chemin des Cloutets, à Sougraigne (Aude).

Matériel étudié : K11694 (**Fig. 81**). Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).

Ordre : Vetigastropoda

Super-famille : Trochoidea

Sous-famille : Calliostomatinae Thiele, 1924

Genre : *Calliostoma* Swainson, 1840

Espèce type : *Trochus conulus* Linné, 1758

Calliostoma plicatogranulosum
(Münster, 1841-44)

Fig. 82

1841-44 - *Trochus plicato-granulosus* Münster, p. 60, pl. 182, fig. 3.

1852 - *Trochus plicato-granulosus* Münster. Zekeli, p. 50, pl. 9, fig. 2.

Holotype : Musée de Paléontologie de Munich (Allemagne), non vérifié.

Dimensions : hauteur : 10 mm ; hauteur reconstituée : 10 mm ; diamètre du dernier tour : 8 mm.

Description :

Petite espèce de forme conique composée de six à sept tours plans, portant quatre à cinq cordons granuleux dont le supérieur forme une légère carène.

La base, lisse, est nettement convexe ce qui donne à ce fossile une allure si particulière.



Fig. 82 - *Calliostoma plicatogranulosum* (Münster, 1841-44). K11695. Marnes Bleues de la Jouane, à Sougraigne (Aude) X3. Échelle 1 cm.

Comparaisons :

Cette coquille de petite taille est fréquente dans les Marnes bleues et correspond tout à fait aux figurations données par Zekeli (1852, pl. 9, fig. 2). Nous la distinguons du spécimen illustré par cet auteur en fig. 1, même si son ornementation est identique, car elle est nettement plus grande et surtout d'un diamètre bien supérieur.

Calliostoma massiliense (Cossmann, 1903, pl. 2, fig. 13-14) est une forme proche, connue d'après son auteur par un exemplaire unique provenant du Coniacien de Méjan près de Marseille (Bouches-du-Rhône), mais qui mériterait d'être révisé.

Delpey 1942 (p. 36-37) suggère que *Calliostoma plicato-granulosum* pourrait présenter un dimorphisme angulaire, qui se retrouverait également sur les formes de Gosau (Autriche) et celles du Sinaï (matériel du service géologique d'Égypte). Nous rejetons cette proposition et ne conservons le nom de *Calliostoma plicatogranulosum* que pour les formes à angle aigu.

Âge et provenance : Santonien supérieur, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum, Marnes Bleues de la Jouane, à Sougraigne (Aude).

Matériel étudié : K11695 (Fig. 82). Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).

Ordre : Neogastropoda

Super-famille : Buccinoidea Rafinesque, 1815

Famille : Tudicidae Cossmann, 1901

Genre : *Tudicla* Röding, 1798

Espèce type : *Tudicla carinata* Röding, 1798
(= *Murex spirillus* Linné, 1767,
par désignation ultérieure d'Angas, 1878)

Tudicla cf. *planulata* (Nilsson, 1827)

Fig. 83A, B

1827 - *Pyrula planulata* Nilsson, p. 13, pl. 3, fig. 5.

1954 - *Tudicula planulata* (Nilsson). Termier, fig. 71.

Holotype : Localisation non vérifiée.

Dimensions : hauteur : 42 mm ; hauteur reconstituée : 120 mm ; diamètre dernier tour : 26 mm.

Description :

Ce moule interne en mauvais état de conservation, est composé de cinq à six tours de spire. Deux carènes sont visibles. L'une d'elles porte des tubercules largement espacés les uns des autres.

Remarques :

C'est avec réserve que nous rapprochons notre fossile de l'espèce *planulata*, qui n'a jamais été signalée à Sougraigne et que Termier (1954) indique comme ayant été récoltée dans le Santonien de la région de Périgueux (Dordogne). Nous n'avons

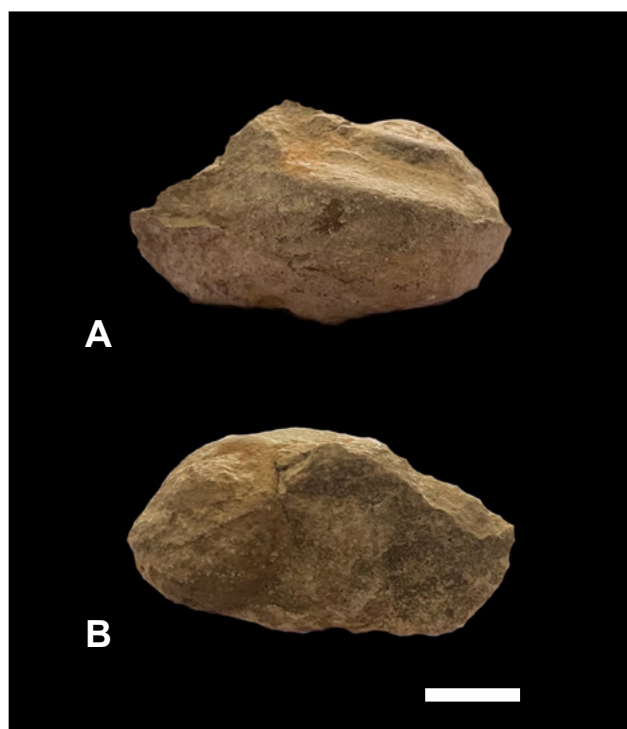


Fig. 83a, b - *Tudicla* cf. *planulata* (Nilsson, 1827). K11696. Niveaux terrigènes du Vieux Cimetière, à Sougraigne (Aude) X1,25. Échelle 1 cm.

volontairement pas cité dans la liste, les autres figurations que Termier propose en synonymie. Bien que très proches de notre taxon, les échantillons sont souvent mal conservés et nous ont paru souvent douteux. Ils ont en commun une spire plane portant sur le dernier tour au moins une carène. Certains peuvent porter des plissement au niveau du labre ou de la columelle. Dans l'attente d'échantillons mieux conservés, il est difficile de rattacher toutes ces figurations (portant souvent d'autres noms) à l'espèce *planulata* (Nilsson, 1827).

Tudicula granulosa Termier (1954, fig. 72) est une forme voisine, signalée dans le Maestrichien, qui se distingue de notre taxon par une plus petite taille et une surface ornée de nombreux cordons granuleux.

Enfin précisons que l'orthographe du genre est bien « *Tudicla* (Röding, 1798) » et non « *Tudicula* (Ryckholt, 1862).

Âge et provenance : Santonien, zone à Polyopsis, sous zone à Paraplanum. Marnes bleues du Vieux Cimetière, à Sougraigne (Aude).

Matériel étudié : Un exemplaire K11696 (**Fig. 83**). Musée de Paléontologie et de Préhistoire de Villeneuve-Minervois (Aude).

Remerciements : À Philippe Fauré pour ses conseils quant à la compréhension de la stratigraphie des terrains prospectés, sa relecture, et pour son aide précieuse à la rédaction et à la mise en page.

Références

- Archiac A. d' (1854) - Coupe géologique des environs des Bains de Rennes (Aude), suivie de la description de quelques fossiles de cette localité. *Bulletin de la Société Géologique de France*, Paris, (2), 11 : 185-230.
- Bilotte M. (2007) - Permanence, au Crétacé supérieur, de la position de la limite de la plate-forme/bassin dans la zone sous-pyrénéenne orientale (Aude, France). Implications géodynamiques. *Géologie de la France*, 1 : p. 33-53.
- Böhm J. (1895) - Gastropoden des marmocatakalkes : *Palaeontographica*, Stuttgart, 42 : 211-308.
- Chaix X. & Plicot J. (2018-2022) - Les Gastéropodes du Santonien supérieur (Crétacé supérieur) des Corbières méridionales, aux environs de Sougraigne (Aude, France). *Carnets natures* : Première étude, 2018, 5 : 17-33 ; Deuxième étude, 2020a, 7 : 15-28 ; Troisième étude, 2020b, 7 : 79-93 ; Quatrième étude, 2021a, 8 : 53-65 ; Cinquième étude, 2021b, 8 : 112-122 ; Sixième étude, 2022, 9 : 11-19.
- Cossmann M. (1896-1897) - Observations sur quelques coquilles crétaciques recueillies en France. *Association française pour l'avancement des Sciences*, Paris, 25^e session (congrès de Carthage) : 243-269.
- Cossmann M. (1901) - Essai de Paléoconchyologie comparée, Paris. Quatrième livraison. 294 p.
- Cossmann M. (1902) - Observations sur quelques coquilles crétaciques recueillies en France. (5^{ème} article). *Association française d'avancement des Sciences*, Paris, 31^e session (congrès de Montauban) : 539-557.
- Cossmann M. (1903) - Observations sur quelques coquilles crétaciques recueillies en France. (6^{ème} article). *Association française d'avancement des Sciences*, Paris, 32^e session (congrès d'Angers) : 626-632.
- Cossmann M. (1906) - Essai de Paléoconchologie comparée. Paris. Septième livraison. 261 p.
- Cossmann M. (1925) - Essai de Paléoconchologie comparée, Paris. Treizième livraison. 345 p.
- Cox L.R. (1959) - Thoughts on the classification of the Gastropoda, *Malacological Society of London*. V3, 3.
- Delpey G. (1938) - *Trajanella* Popovici-Hatzeg, genre méditerranéen du Crétacé supérieur. *Bulletin de la Société géologique de France*, Paris, 5, 8 : 297-303.
- Delpey G. (1942) - Gastéropodes du Crétacé supérieur dans le sud-ouest de la France (Groupe I). *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 77 : 161-197.
- Eudes-Deslongchamps E. (1860) - Observations concernant quelques Gastéropodes fossiles des terrains jurassiques placés par l'auteur de la Paléontologie française dans les genres *Purpurina*, *Trochus* et *Turbo*. *Bulletin de la Société linnéenne de Normandie*, 5 : 119-137.
- Douvillé H (1904) - In J. de Morgan, Mission scientifique en Perse, tome 3, Études géologiques, partie IV, Paléontologie, Mollusques fossiles. 369 p.
- Ferussac A.E. (1819-1932) - Histoire Naturelle générale et particulière des mollusques terrestres et fluviatiles. A. Bertrand et J.B. Baillière, Paris. 95 p., 76 pl.
- Fischer P. (1887) - Manuel de Conchyologie et de Paléontologie conchyliologique, Paris, Savy Ed. 1369 p.

- Golffuss G.A. (1826-1844) - *Petrafacta germanica*, Düsseldorf. 1er partie (1826-1833), 252 p. ; 2ème partie (1834-1840), 312 p. ; 3ème partie (1841-1844), 122 p., 199 pl.
- Kollmann H.A. (2005) - Révision critique de la Paléontologie française d'Alcide d'Orbigny, Backhuys édit., Leyden, Pays-Bas. 239 p., 18 pl.
- Koken E. (1889) - Üeber die entwicklung der Gastropoden von Cambrium bis zur Trias. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*. Beilage-Band, 6 : 305-484.
- Münster G. (1841-44), voir à Goldfuss (1826-1844).
- Murchison (1835), voir à J. de C. Sowerby (1822-1832).
- Nillson S. (1827) - *Petrifacta suecana formationis Cretacea, descripta et iconicus illustrata*. Ex officina berlingiana. 39 p.
- Orbigny A. d' (1842-1843) - Paléontologie française. Terrains crétacés. (II) : Gastéropodes. Edit. Arthus-Bertrand (Paris) : 1-456, pl. 149-236.
- Popovici-Hatzeg V. (1899) - Contribution à l'étude de la faune du Crétacé supérieur de la Roumanie, environs de Campulung et de Sinaia. *Mémoires de la Société géologique de France*, Paris, 8, 20. 22 p.
- Rafinesque C.S. (1815) - *Analyse de la Nature, ou tableau de l'Univers et des corps organisés*. Palerme. 242 p.
- Röding P.F. (1798) - *Museum Boltenarium, Catalogus Cimeliorum E Tribus Regnis Naturae*, (2) Hamburg. 199 p.
- Ryckholt P. (1862) - *Mélanges paléontologiques*. Imprimé à compte d'auteur (3), pl. 21-36.
- Roussel J. (1885) - Note sur le Crétacé supérieur et le Tertiaire des départements de l'Ariège et de l'Aude. *Bulletin de la société ariégeoise des Sciences Lettres et Art*, (I) : 327-337.
- Sowerby J. & J. de C. (1822-1832) - *The Mineral Conchology of Great-Britain; or coloured figures and descriptions of those remains of testaceous animals and shells, which have been preserved at various times and depths in the earth*, London.
- Stoliczka F. (1865) - Eine Revision der Gastropoden der Gosauschichten in den Ostalpen. *Sitzungsberichter der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Class der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften*, Wien, 52, 1 : 104-223.
- Termier G. (1954) - Gastéropodes du Crétacé supérieur dans le sud-ouest de la France (Groupe II). *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 89 : 323-382.
- Thiele J. (1924) - Revision der Trochacea : *Mitteilungen aus dem Zoologischen Museum in Berlin*, V. 11 : 47-74.
- Wenz W. (1938) - Gastropoda (in O.H. Prosobranchia Schindewolf, édit. *Handbuch der Paläozoologie*) Berlin - Prosobranchia, 6, 1 : 1-480.
- Zekeli F. (1852) - Die Gastropoden der Gosaugebilde. *Abhandlungen der Kaiserlich - Königlichen Geologischen Reichsanstalt*, Wien, 2 : 1-124.

Le Miocène marin (Burdigalien, Langhien) de l'Île Saint-Martin (Gruissan, Aude) Essai de synthèse

Philippe FAURÉ¹

Résumé

Nous décrivons plusieurs nouveaux affleurements de Miocène marin discordants sur le Crétacé inférieur de la façade méditerranéenne de l'Île Saint-Martin (Gruissan, Aude). Aucun n'avait été identifié à ce jour. Ils sont les témoins, au Langhien (15,9 - 13,65 Ma), d'un maximum de la transgression marine du Néogène sur la marge languedocienne du Golfe du Lion.

Mots-clés : Miocène, Burdigalien, Langhien, Île Saint-Martin, Clape, Aude, France.

Abstract

We describe several new unconformable marine Miocene outcrops on the Lower Cretaceous of the Mediterranean coast of Saint-Martin Island (Gruissan, Aude). None had been identified to date. They are evidence of a maximum Neogene marine transgression on the Languedoc margin of the Lion Gulf in the Langhian (15,9 - 13,65 My).

Keywords : Miocene, Burdigalien, Langhien, Saint-Martin Island, Clape, Aude, France.

1. Introduction

Le Paléogène et le Néogène du Bas-Languedoc sont une période clé pour la compréhension de l'évolution post-pyrénéenne de la marge occidentale du Golfe du Lion. L'extension crustale affecte désormais la bordure languedocienne. Celle-ci est dissociée par la reprise, en inversion tectonique négative, des rampes de chevauchement éocènes de la Nappe des Corbières et cède la place à un dispositif en blocs basculés, horsts et grabens, à l'origine de la création de fossés tectoniques subsidés dont le principal est le fossé de Narbonne-Sigean (Gorini, 1993 ; Gorini *et al.*, 1991). À son remplissage sédimentaire lacustre ou saumâtre, en milieu continental, durant l'Oligocène (Stampien, Chattien) succède, au Miocène (Burdigalien, Langhien), une sédimentation marine permise par l'ouverture marine franche du Bassin provençal.

Durant tout ce temps, le massif de la Clape se place en position de horst. La permanence de son relief est confirmée par la constance, sur ses flancs, de dépôts conglomératiques mal stratifiés dont l'âge miocène inférieur est stratigraphiquement mal contraint (Aquitainien vraisemblable). La transgression marine du Miocène moyen, qui envahit largement le fossé de Narbonne-Sigean, y laisse peu de traces, alors qu'elle abandonne d'importantes accumulations sédimentaires aux environs de Narbonne (collines de Moussan et de Marcorignan) et de l'Île Sainte-Lucie, et que les dépôts marins à huîtres atteignent vers l'ouest le méridien de Lézignan-Corbières.

Le bloc de Crétacé inférieur représenté par l'Île Saint-Martin jouit d'une situation paléogéographique intermédiaire entre le horst de la Clape et les régions effondrées du fossé de Narbonne-Sigean, en témoigne la persistance de nombreux témoins et placages de

1. Muséum d'Histoire naturelle de Toulouse, Allées Jules Guesde, 31000, Toulouse. philipfaure@gmail.com



Fig. 1 – L'Île Saint-Martin et la partie méridionale du massif de la Clape. **A.** Localisation géographique du secteur étudié. **B.** Carte topographique IGN (Source Geoportail) de la Clape et de l'Île Saint-Martin (encadré).

sédiments marins bioclastiques du Miocène, jusqu'à une altitude de 28-30 m, qui montrent la submersion partielle de son substrat mésozoïque par la mer du Burdigalien et, surtout par celle du Langhien.

Le Miocène de l'Île Saint-Martin a pourtant été largement ignoré et, à l'exception du placage miocène des Pujols et du témoin du Pech, à Gruissan, qui avaient été reconnus par d'Archiac (1859), aucun des autres n'a été pris en compte par les levers des différentes cartes géologiques de Narbonne au 1.80000^{ème} (Doncieux, 1902 ; Barrabé, 1942) et au 1.50000^{ème} (Lepinasse *et al.*, 1982).

2. Contexte géologique

L'Île Saint-Martin se situe dans le prolongement méridional du massif de la Clape (**Fig. 1**), dont elle est séparée par l'Étang de Gruissan. Son ossature correspond à une succession globalement monoclinale de Crétacé inférieur (Barrémien à Aptien supérieur) (**Fig. 2**) présentant un pendage dominant, modéré vers l'est, dont nous avons entrepris la révision stratigraphique. Un nouveau relevé des contours géologiques (**Fig. 3**), nous révèle une complexité tectonique dont ne rend pas compte la dernière carte géologique de Narbonne au 1.50000^{ème} (Lepinasse

et al., 1982)(**Fig. 2**). Il révèle également la présence de nombreux témoins de Paléogène et de Néogène, discordant sur le Crétacé inférieur, non étudiés à ce jour, qui ont pu être datés par comparaison avec des dépôts homologues des environs de Narbonne et de Sigean. Il s'agit (**Fig. 3**) :

- De calcaires lacustres lités blancs appartenant de toute évidence à l'Oligo-Miocène (dépression de l'Évêque, Combe Espesse, Les Pujols). Totalement inconnus à ce jour sur l'Île Saint-Martin, leur description est en cours (Fauré, 2023). Nous leur donnons un âge Chattien à Aquitanien, par analogie avec les calcaires lacustres des environs de Bages, de Sigean et de l'Île Sainte Lucie (Formation de Sigean).
- D'assises conglomeratiques à éléments dominants de grès albien, que nous rapprochons des conglomerats qui ourlent l'extrémité méridionale de la Clape, aux environs de Capitou et de Berthéliers. Ils avaient été décrits au Pech de Gruissan par d'Archiac (1859) mais demeuraient inconnus sur l'Île Saint-Martin proprement dite. Nous admettons leur âge aquitanien

(Lespinasse *et al.*, 1982). Ces conglomerats parsèment aussi la paléosurface supérieure de l'Île Saint-Martin.

- De calcaires et marnes bioclastiques à faune marine (pectinidés, huîtres,...) d'âge miocène sous forme de multiples placages de calcaire lumachellique ou conglomeratique à *Crassostrea* (Garbirou, Penelle, La Clotte, sud des Pujols, Pech des Moulins)(**Fig. 2, 3**). L'affleurement situé au sud des Pujols, sur la face occidentale de l'Île Saint Martin, est le plus complet (**Fig. 2, 3**). Nous y avons reconnu la superposition de deux formations échelonnées du Burdigalien moyen à supérieur (Dalle à *Pecten tournali*) au Langhien inférieur (Calcaires et marnes à *Crassostrea gryphoïdes*) et montré que cette succession était identique à celle de l'Île Sainte-Lucie (Fauré, 2020).

Nous décrivions récemment le nouvel affleurement de Miocène marin de Garbirou (Fauré, 2020), situé au centre de l'Île Saint-Martin (**Fig. 2, 3, 9, 10**).

Dans le présent article, sont décrits plusieurs nouveaux affleurements du même âge, situés sur la côte orientale de l'Île Saint-Martin.

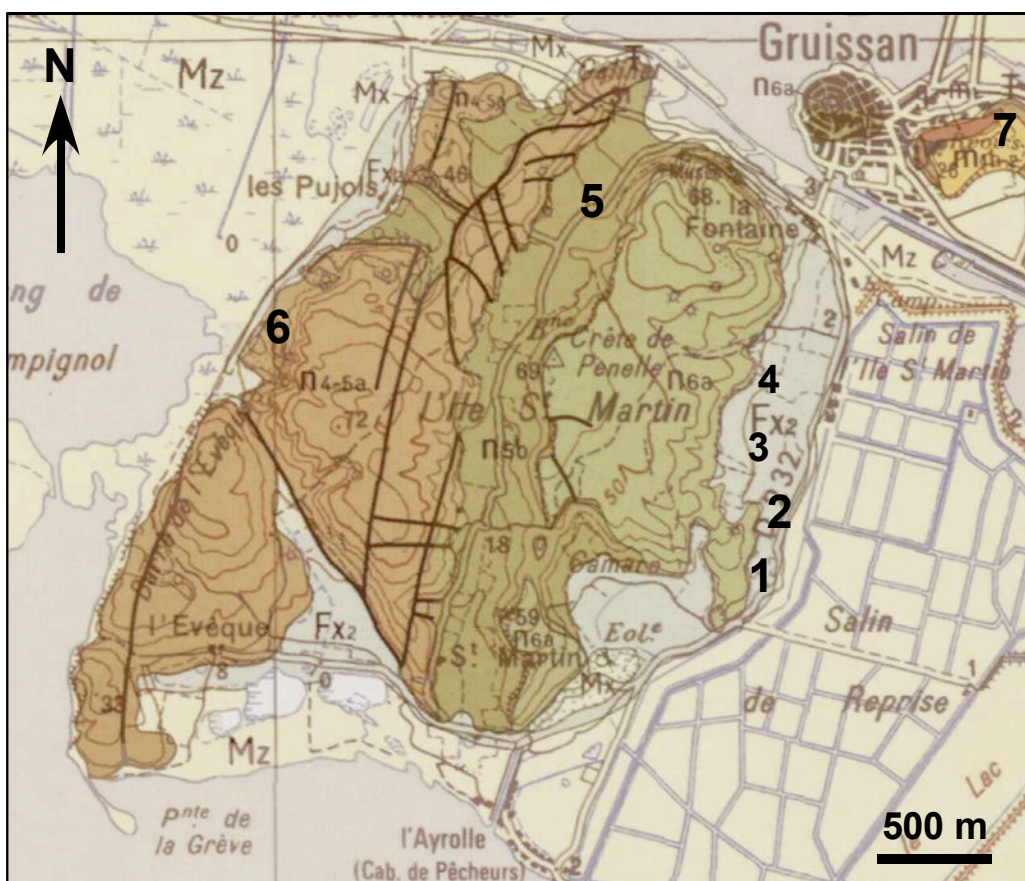


Fig. 2 – Carte géologique de l'Île Saint-Martin. Extrait de la carte géologique au 1.50000^{ème} de Narbonne (Lespinasse *et al.*, 1982)(source Geoportail). Localisation des affleurements de Miocène marin cités dans le texte : 1. La Clotte ; 2. Entre la Clotte et Penelle ; 3. Penelle ; 4. Nord de Penelle ; 5. Garbirou ; 6. Sud des Pujols ; 7. Pech des Moulins. **Légende** : n4-5a : Barrémien et Aptien inférieur ; n5b : Aptien inférieur ; n6a : Aptien supérieur ; Mx : quaternaire marin ; Fx₂ : colluvions quaternaires ; Mz : dépôts marins actuels.

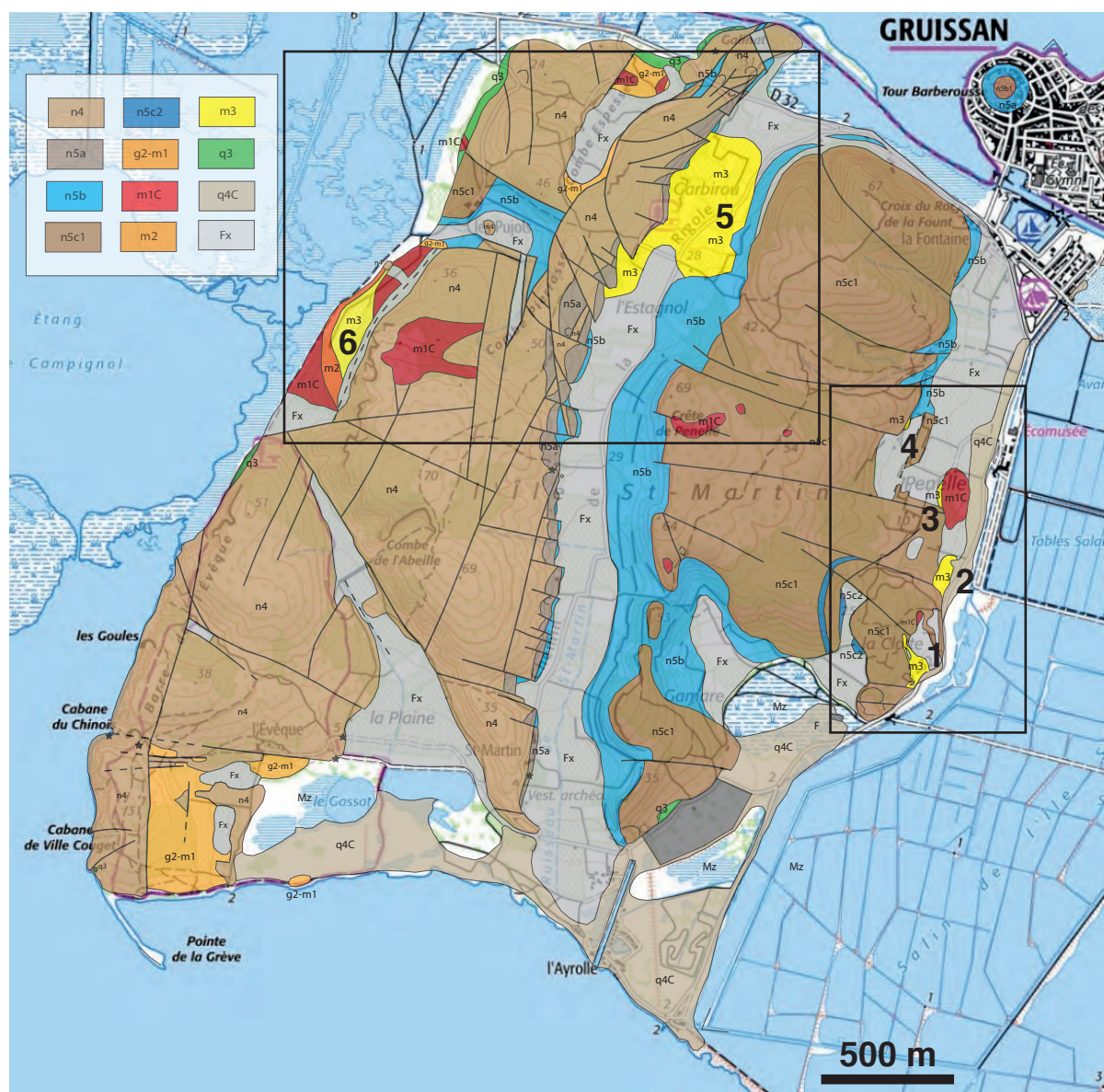


Fig. 3 – Carte géologique de l'Île Saint-Martin (levers personnels) sur le fond topographique de la carte IGN au 1.25000^{ème} de Narbonne (source Geoportail). Localisation des affleurements de Miocène marin cités dans le texte : 1. La Clotte ; 2. Entre la Clotte et Penelle ; 3. Penelle ; 4. Nord de Penelle ; 5. Garbirou ; 6. Sud des Pujols. Les encadrés représentent les agrandissements reproduits dans les **Fig. 6** et **Fig. 8**.

Légende : n4 : Formation du Puech de Labade (Barrémien) ; n5a : Membre de l'Estagnol (Aptien inférieur) ; n5b : Formation de Ramade (Aptien inférieur et supérieur *pars*) ; n5c1 : Formation du Plan de Roques (Aptien supérieur) ; n5c2 : Formation de Tuffarel (Aptien supérieur) ; g2-m1 : Calcaires lacustres blancs (Chattien à Aquitaniens inférieur, Fm. de Sigean) ; m1c : Conglomérats de « type Berthéliers » (Aquitaniens) ; m2 : Calcaires à *Pecten tournaei* (Burdigalien moyen-supérieur) ; m3 : Calcaires bioclastiques et marnes à *Crassostrea gryphoides* (Langhien) ; q3 : Calcaires bioclastiques à *Cerastoderma umbonatum* de la transgression thyrrhénienne (Pleistocène) ; q4C : Cordon littoral à *Glycymeris violascens* (Holocène) ; Fx : colluvions quaternaires diverses.

3. Nouveaux affleurements de la façade méditerranéenne de l'Île Saint-Martin

3.1. La Clotte

Ce témoin des dépôts marins néogènes est préservé dans une concavité de la façade méditerranéenne de l'Île Saint Martin, au sud de Gruissan (**Fig. 3, 6**). Il

se présente sous la forme d'un placage de calcaire bioclastique bien stratifié à débris d'huîtres, étagé entre 3 et 10 m NGF, à la base orientale de la colline de la Clotte. L'affleurement se présente sous la forme d'un « front » étroit, de 125 m de longueur et de quelques mètres de largeur, suggérant le front de taille d'une exploitation ancienne. Vers le nord et le nord-est, les dépôts semblent s'étaler sous les cultures, au



Fig. 4 – La Clotte. **A** : Paléosurface de transgression des dépôts miocènes, topographiquement la plus basse, corrodée par les mollusques lithophages ; **B** : Gros plan de la même surface. Les alvéoles sont comblées par un matériel bioclastique ; **C** : Une paléosurface de transgression, topographiquement plus élevée, particulièrement corrodée dans les lithophages ; **D** : La paléosurface est encroûtée par un sédiment grés-bioclastique à valves de pectinidés.

niveau d'une paléosurface située vers 3-4 m NGF où ils ne sont plus signalés que par la présence des débris d'huîtres qui jonchent le sol. Ils disparaissent progressivement sous les colluvions après une cinquantaine de mètres. Vers le sud, l'affleurement se prolonge, à une même altitude, jusqu'à la RD 232. La surface totale de l'affleurement est d'environ 5000 m². Au sud et à l'est, les dépôts bioclastiques

reposent clairement, en pseudo-concordance, sur les bancs de calcaires de l'Aptien supérieur. Plusieurs paléosurfaces subhorizontales de transgression sont bien identifiées à leur forte corrosion par les lithophages (**Fig. 4A-C**). L'une d'elle est dégagée sur plusieurs mètres carrés (**Fig. 4A-B**), à une altitude de 3 m NGF où elle est encroûtée de sédiments bioclastiques à tests de pectinidés (**Fig. 4D**).



Le « front » d’affleurement des dépôts miocènes est propice au lever d’une coupe.

À l’extrémité orientale de l’affleurement, on relève de bas en haut, reposant sur la surface corrodée et encroutée des calcaires de l’Aptien supérieur (**Fig. 4D, 5A-C**) :

- 0,20 m. Banc de calcaire bioclastique beige très organogène, riche en débris bioclastiques parmi lesquels des débris d’huîtres et des valves de nombreux pectinidés. Sont reconnus *Chlamys justiana* (Fontannes, 1878), *C. fushi* (Fontannes, 1878) et de rares *Oppenheimopecten subbenedictus* (Fontannes, 1878) (**Fig. 4D**).
- 1,4 m. Plusieurs bancs de calcaire massif, induré, très grossièrement bioclastique, agencés en plusieurs séquences, alternant avec les lits de calcaire marneux silteux tendres, sans fossile. Leur surface supérieure est plane et corrodée (**Fig. 5A-B**). Les pectinidés y sont remplacés par des huîtres, nombreuses, dont *Crassostrea gryphoides* (Schlotheim, 1813).
- 0,5 m. Calcaires bioclastiques grossiers, plus tendres, alvéolés, silteux et renfermant des graviers de 1 à 2 cm ainsi que des galets épars de grès roux pouvant atteindre 20 à 40 cm de grand axe. Cette assise est très riche en tests fragmentés de *Crassostrea* (**Fig. 5C**).

Dans la partie occidentale de l’affleurement, on relève dans la continuité de la succession précédente, sur 2 m d’épaisseur (**Fig. 5D-E**) :

- Marnes silteuses blanchâtres sans fossile.
- 0,6 à 0,8 m. Banc compact et massif de calcaire bioclastique à huîtres, renfermant des graviers dispersés. Sa surface inférieure, ondulée, ravine le sédiment tendre sous-jacent, alors que sa surface supérieure est plane.
- 0,6 m. Calcaire marneux silteux grumeleux, finement biodétritique, sans fossile.
- 0,55 m. Banc compact de calcaire bioclastique grossier, alvéolé, gréseux, à graviers et renfermant des galets roulés de grès albien de 10 à 15 cm de grand axe, pouvant atteindre 35 cm (**Fig. 5D-E**).

À noter que la partie inférieure du « front » des calcaires marins est partiellement masqué par un dépôt silteux, très fin, jaunâtre, évocateur d’une accumulation éolienne de loess quaternaire.

3.2. Entre La Clotte et Penelle

Situé 250 m plus au nord, un placage de sédiments miocènes se signale par des débris de *Crassostrea gryphoides* qui jonchent le sol d’une ancienne vigne située entre La Clotte et Penelle, face aux tables salantes

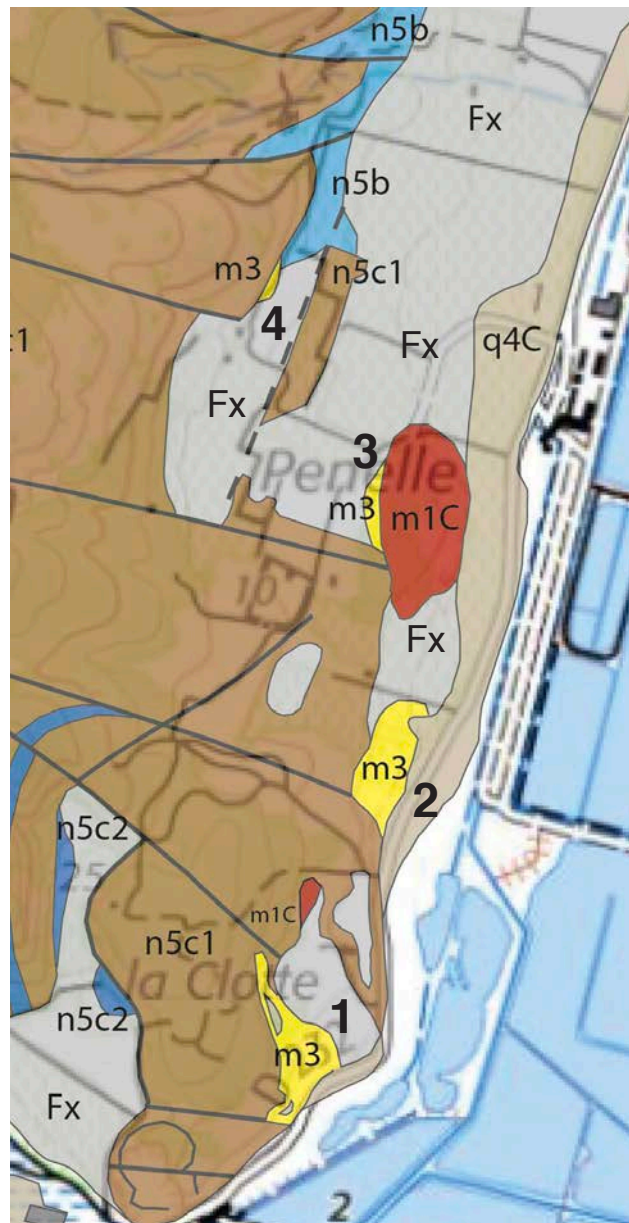


Fig. 6 – Les affleurements de Miocène (**m3**) de la façade méditerranéenne de l’Île Saint-Martin. Aggrandissement de la carte géologique (leviers personnels). **1**. La Clotte ; **2**. Entre la Clotte et Penelle ; **3** : Penelle ; **4** : Nord de Penelle. Même légende que celle de la Fig. 3.

Fig. 5 – La Clotte. Calcaires et marnes bioclastiques à *Crassostrea gryphoides*. **A** : Alternance de calcaires et marnes à l’extrémité orientale de l’affleurement de Miocène ; **B** : Détail du même affleurement ; **C** : Faciès de calcaire bioclastique très organogène à *Crassostrea* ; **D** : Front occidental de l’affleurement des calcaires bioclastiques à *Crassostrea* ; **E** : Des galets de grès albien se mêlent au sédiment bioclastique à huîtres.



Fig. 7 – Entre la Clotte et Penelle, face aux tables salantes des salins de Reprise. Dans une ancienne vigne, épandage de coquilles d’huître brisées et de galets de calcaires et de grès de Crétacé inférieur.

des salins de Reprise, à une altitude comprise entre 2 à 2,5 m NGF environ (**Fig. 3, 6, 7**). L’affleurement mesure environ 110 m sur 53 m dans ses plus grandes dimensions, pour une surface totale d’affleurement de 3000 m² environ. Les coquilles d’huîtres brisées s’y mêlent à quelques galets de calcaires et de grès de Crétacé inférieur (**Fig. 7**).

Dans sa partie méridionale apparaît un calcaire bioclastique, très lumachellique, à fragments d’huîtres et de mollusques, dont on retrouve de nombreux blocs dans les murs en pierres sèches et dont un affleurement existe, en talus, en retrait de la RD 232. Il s’agit très vraisemblablement là de l’emprise d’une ancienne exploitation de matériau de construction. Dans la partie occidentale de l’affleurement, apparaissent des marnes silteuses jaunes renfermant quelques débris d’huîtres, qui reposent clairement sur les calcaires de l’Aptien supérieur.

Vers le nord, le Miocène s’enfonce sous un cordon de galets à élément de quartz et de roches métamorphiques dont la matrice sableuse renferme de nombreux mollusques subfossiles (*Glycymeris violascens*, *Acanthocardia tuberculata*, *Arca barbata*, *Callista chione*, *Bolinus brandaris*). Il s’agit de l’empreinte d’un paléorivage d’âge holocène (versilien), connu sur la face orientale de l’Île Saint-Martin où il s’étire depuis de rivage de l’étang de l’Ayrolle jusqu’au chenal du Grazel (**Fig. 3, 6**).

3.3. Penelle

Nous attribuons au Miocène un mauvais affleurement de marnes silteuses jaunes, sans fossile, situé 250 m plus au nord (**Fig. 3, 6**). Ce placage peu épais, qui émerge des colluvions, mesure environ 45 m dans le sens nord-sud, 8 m de largeur, pour une surface d’environ 300 m². Il semblent reposer au sud et à l’ouest sur les calcaires de l’Aptien supérieur et moule, vers 5 m d’altitude NGF, le versant occidental de la colline boisée qui culmine à 8 m d’altitude et dont l’ossature correspond à une accumulation conglomératique de galets de grès roux albiens.

Ces conglomérats n’avaient pas été décrits en ce point, à ce jour. Des conglomérats identiques, à éléments de grès roux, existent non loin, sur la colline du Pech, à Gruissan, et nous en avons observé des affleurements en de nombreux points de l’Île Saint-Martin (sud des Pujols, Combe Espesse, Combe Pierrasse, Crête de Penelle). Nous les avons parallélisé avec les conglomérats « de type Berthéliers » dont nous admettons partout l’âge aquitain (Fauré, 2023).

3.4. Penelle nord

C’est avec doute que nous attribuons au Néogène un affleurement de marnes silteuses homogènes, jaunes dans lesquelles nous n’avons trouvé qu’un fragment de *Crassostrea*. Ce placage situé vers 15 m

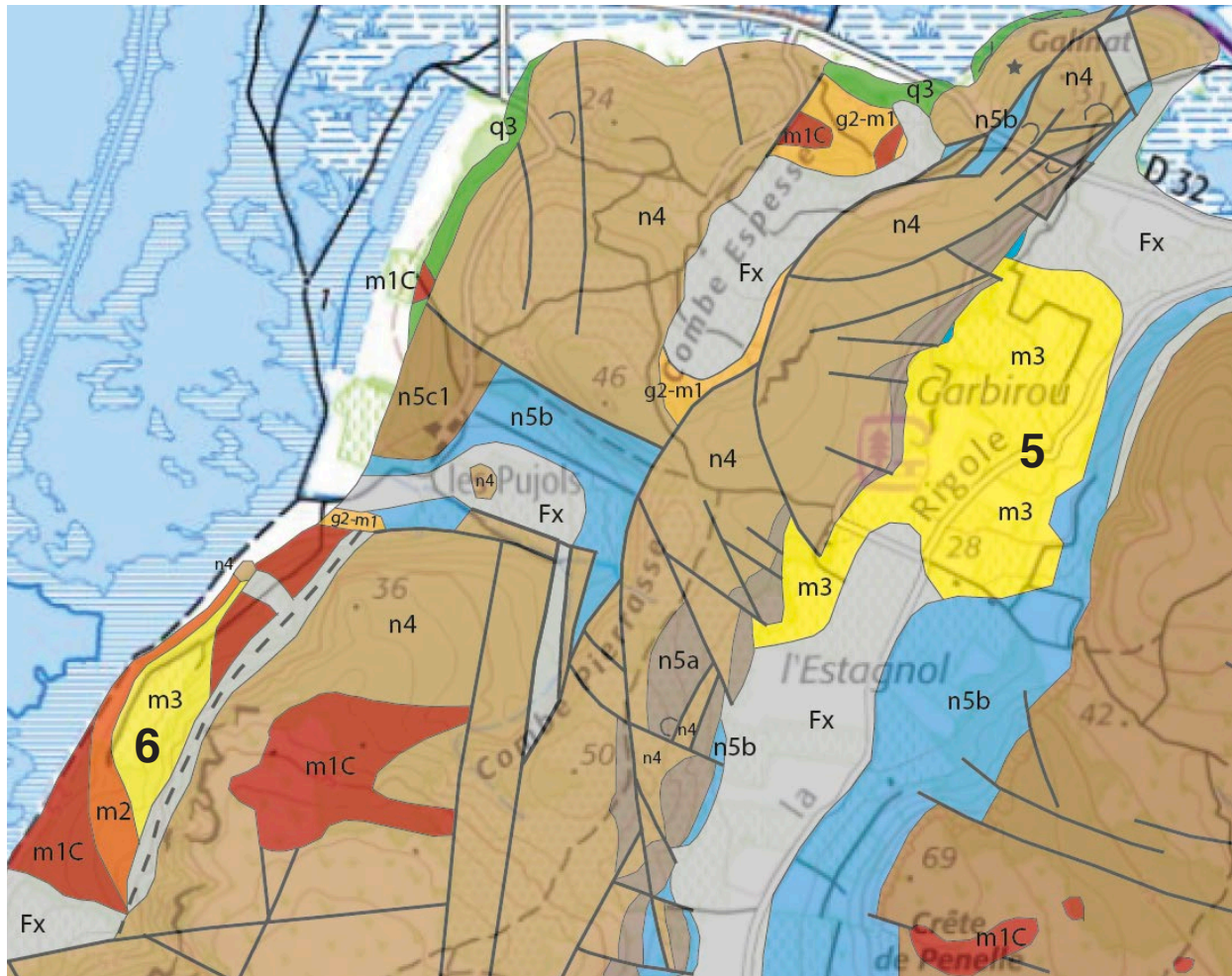


Fig. 8 – Les affleurements de Miocène (**m3**) du centre et de la façade occidentale de l'Île Saint-Martin. Aggrandissement de la carte géologique (leviers personnels). 5. Garbirou ; 6 : Sud des Pujols. Même légende que celle de la Fig. 3.

d'altitude NGS est en contact, à l'ouest, avec les calcaires à rudistes de l'Aptien supérieur et repose au nord sur les marnes beiges fossilifères de l'Aptien inférieur à nodules de limonite et fossiles marins (Brachiopodes, *Ceratostreon*,...) (**Fig. 3, 6**).

4. Affleurement de la partie centrale de l'Île Saint-Martin

Un important placage de dépôts miocènes tapisse la dépression de Garbirou, au centre de l'Île Saint-Martin, où il atteint 28-30 m d'altitude (Fauré, 2020) (**Fig. 3, 8**). Il témoigne de la submersion partielle, au Miocène, de la dépression méridienne offerte par les marnes aptiennes entre les deux plateaux calcaires. Nous avons montré (Fauré, 2020) que ce large affleurement avait été vraisemblablement identifié par Tournal (1830), mais oublié depuis, puisqu'il ne figure sur aucune des éditions des cartes géologiques de Narbonne (Doncieux, 1902 ; Barrabé, 1942 ; Lespinasse *et al.*, 1982).

La présence du Miocène se reconnaît à ses épandages conglomératiques et à l'abondance des débris de grosses huîtres qui parsèment les vignes de la dépression de Garbirou, sur 600 m dans un sens nord-sud et 200 m environ dans un sens est-ouest, la surface d'affleurement étant d'environ 37000 m². Le faciès prédominant est un conglomérat délité par les cultures, à éléments de calcaire lumachellique gréseux, auxquels se mêlent des galets de grès roux d'âge albien, de calcaire à rudistes aptien ainsi que de quartz laiteux (**Fig. 9C-D**). Les huîtres, qui peuvent atteindre une taille de 15 à 20 cm, sont toujours fragmentées, usées et parfois perforées par les lithophages. Elles appartiennent typiquement à l'espèce miocène *Crassostrea gryphoides*. La roche mère affleure rarement dans la dépression de Garbirou, Il s'agit toujours de pointements d'un calcaire gréseux grossier à microbréchiq à graviers et débris d'huîtres (**Fig. 9A**). Le chemin de la Rigole le recoupe autour d'une altitude de 10 m (**Fig. 9B**). À l'Estagnol, dans la partie méridionale de l'affleurement, ce sont



Fig. 9 – Garbirou, au centre de l’ Île Saint-Martin. **A** : Pointement de calcaire gréseux microconglomératique grossier à graviers et débris d’huîtres ; **B** : Brèche litée à quelques huîtres recoupée par le chemin de la Rigole ; **C** : Conglomérats délités par les cultures, à *Crassostrea* et galets de grès rouge et de calcaire du Crétacé inférieur ; **D** : Gros plan d’un même sol.

les calcaires lumachelliques bien lités à *Crassostrea gryphoides* qui prédominent.

5. Affleurement de la partie occidentale de l’Île Saint-Martin

Situé sur la façade occidentale de l’Île Saint-Martin, au sud des Pujols, cet important placage de miocène se place entre la falaise des calcaires barrémiens et le rivage de l’étang de Campignol (**Fig. 3, 8**). Les dépôts néogènes y affectent une disposition globalement synclinale et reposent en concordance apparente sur un plus vaste affleurement de conglomérats aquitaniens « de type Berthéliers »,

également non porté sur les cartes géologiques et jamais mentionnées à ce jour, dont le substratum n’est pas apparent.

Rappelons qu’après les premières descriptions de d’Archiac (1859), de Viguier (1887), puis de Doncieux (1903), il est reporté sur la carte géologique de Narbonne-Marseillan au 1.80000^{ème} (Doncieux, 1902 ; Barrabé, 1942), mais « oublié » par la carte géologique de Narbonne au 1.50000^{ème} (Lespinasse *et al.*, 1982).

Le Miocène marin y affleure sur 450 m, environ, dans le sens nord-sud et 90 m dans le sens est-ouest, pour une surface totale d’affleurement de 38700 m²



Fig. 10 – Sud des Pujols, sur la façade occidentale de l'Île Saint-Martin. **Calcaires molassiques à *Pecten tournali***. **A** : Partie nord de l'affleurement. Falaise des calcaires en bancs épais et compacts à *Pecten tournali* ; **B** : Gros plan des mêmes calcaires bioclastiques ; **C** : Gros plan montrant la texture alvéolaire du sédiment ; **D** : Les calcaires à *Pecten tournali* présentent un net pendage vers le nord dans la partie méridionale de l'affleurement ; **E** : *Pecten (Gigantopecten) tournali* en place.



Fig. 11 – Sud des Pujols, sur la façade occidentale de l’Île Saint-Martin. **Calcaires et marnes à *Crassostrea gryphoides***. **A** : Terrasse des calcaires et marnes bioclastiques altérés par les cultures, à nombreuses *Crassostrea gryphoides* ; **B** : Gros plan sur les nombreuses *Crassostrea gryphoides* ; **C** : Calcaires bioclastiques à *Crassostrea* et galets de grès vert. Noter la similitude des faciès avec ceux de l’affleurement de la Clotte (**Fig. 4D**).

et une altitude qui atteint 20 m. Nous avons pu distinguer deux ensembles lithologiques principaux (Fauré, 2020) :

• **Calcaires molassiques à *Pecten tournali* (4,5 m)**, qui forment une petite falaise de 5-6 m de hauteur qui surplombe les formations subactuelles (**Fig. 10A**). Cette assise est caractérisée par la présence de *Pecten*

(*Gigantopecten*) *tournali-terebratulaeformis* (de Serres, 1829) :

- 0,5 m. Calcaires bioclastiques gréseux, grossiers (0,5 m) à quelques graviers et *P. (G.) tournali*.
- 4 m. calcaires blancs disposés en plusieurs bancs épais et compacts, parfois alvéolaires, séparés par des bancs sableux plus tendres (**Fig. 10B-C**). La faune y

est peu abondante. Comme Doncieux (1903) nous y avons trouvé *P. (G.) tournali* (Fig. 10E).

. **Calcaires et marnes à *Crassostrea gryphoides* (environ 15 m)**, affleurant en terrasse dans une vigne et le talus qui la surmonte (Fig. 11A-C) :

- 3 à 4 m. Marnes sableuses claires et bancs de calcaire marneux, très peu visibles, à quelques débris d'huîtres.

- 3,5 m. Calcaires gréseux lités à quelques fragments d'huîtres (1,5 m) passant progressivement à des calcaires lumachelliques très indurés (2 m) disposés en deux bancs principaux, particulièrement riches en *Crassostrea gryphoides* de grande taille et souvent bien conservées (Fig. 11B). Le banc sommital (Fig. 11C) renferme des rangs de galets de grès vert d'allure albienne. Il faut noter ici la similitude des faciès de cette assise avec ceux de l'affleurement de la Clotte, sur la bordure méditerranéenne de l'Île.

- 7 à 8 m. Marnes beiges sableuses renfermant encore un lit de *C. gryphoides* affleurant dans la partie haute d'une vigne.

Le Miocène des Pujols est ainsi particulièrement complet et sa composition est identique à celle de l'Île Sainte-Lucie (Fig. 1) qui fait figure de référence pour le Miocène marin du Bassin de Narbonne-Sigean (Jacquemet, 1899 ; Doncieux, 1903 ; Magné, 1978). Les deux formations superposées, Calcaires molassiques à *Pecten tournali* et Calcaires et marnes à *Crassostrea gryphoides*, y sont retrouvées à l'identique, mais leur épaisseur (30 m) y est plus importante à l'Île Sainte-Lucie. L'ensemble miocène y repose sur les formations continentales lagunaires de l'Aquitanién et non, comme au Pujols, sur des conglomérats « de type Berthéliers ».

6. Affleurements du Pech, à Gruissan

C'est à d'Archiac (1859) que l'on doit la première description, au Pech de Gruissan, « d'un poudingue à gros éléments de grès surmontant un grès calcarifère riche en huîtres ». Doncieux (1903) en fera du Miocène et l'affleurement sera, depuis, reporté sur les cartes géologiques successives de Narbonne.



Fig. 12 – Carte géologique de Gruissan et de la colline du Pech (leviers personnels). Le substratum crétacé apparaît comme à une succession globalement monoclinale à faible pendage vers l'ouest au niveau de laquelle se succèdent, de bas en haut, des calcaires barrémiens (n4) (nord-est du Pech), des marnes aptiennes (n5b) (cimetière, Gruissan village) et une butte témoin de calcaires à rudistes de l'Aptien supérieur (n5c1) sur laquelle est juchée la Tour Barberousse. Des conglomérats à éléments de grès roux « de type Berthéliers » (m1c) d'âge aquitanién reposent en discordance à l'horizontale sur le crétacé inférieur du Pech. Des épandages d'huîtres du Miocène moyen (Langhien) (m3) se concentrent dans la partie nord-orientale du Pech, au niveau d'une surface d'aplanissement située autour de 20 m NGF (Fig. 13). Même légende que Fig. 3.



Fig. 13 – Le Pech, à Gruissan. **A** : Surface d’aplanissement située autour de 20 m NGF, représentant la paléosurface de transgression des dépôts miocènes à grandes huîtres ; **B**. Le sol est jonché de tests fragmentés de *Crassostrea gryphoides* auxquels se mêlent de galets remaniés de grès roux et de calcaire du Crétacé inférieur.

Le Miocène du Pech (**Fig. 12, 13**) se présente comme un épandage de grosses huîtres fragmentées, de grande taille, correspondant typiquement à des *Crassostrea gryphoides* (**Fig. 13B**). Aucun affleurement de sédiment miocène lithifié n’est repéré. Les coquilles se mêlent à des galets parmi lesquels une dominante de grès ferrugineux, vraisemblablement remaniés du conglomérat aquitainien sous-jacent. Les épandages d’huîtres prédominent au niveau d’une surface d’aplanissement située autour de 20 m NGF, qu’il est facile de repérer dans la topographie dans la partie nord-orientale du Pech (**Fig. 13A**). On retrouve également quelques huîtres, à une même altitude, dans la partie occidentale du Pech (**Fig. 12**) où, avec les mêmes galets de grès, le conglomérat est riche en éléments de calcaire aptien. Cette paléosurface est établie sur une dalle de conglomérats qui recouvre la subtotalité du Pech et atteint une dizaine de mètres d’épaisseur. Elle est uniformément constituée de galets de grès verts et rouge de l’Albien, à éléments hétérométriques, non classés, souvent volumineux, et pouvant atteindre 0,5 m de grand axe, identiques aux conglomérats de « type Berthéliers », dont l’âge aquitainien est admis par ailleurs. L’urbanisation ne permet aucun relevé sur les versants est et sud du Pech, mais d’après les observations de d’Archiac (1859) et de Doncieux (1903), ces conglomérats pourraient reposer, sur le versant oriental du Pech, sur des « marnes blanches panachées de rouge et des calcaires lacustres

blancs » dont le faciès évoque un dépôt oligocène (Chattien à Aquitainien). L’ensemble néogène repose à l’horizontale, en discordance angulaire évidente, sur un Crétacé inférieur monoclinale (Barrémien à Aptien supérieur), présentant un faible pendage vers l’ouest, qui se place, au nord du chenal du Grazel, dans le prolongement naturel des structures du compartiment oriental de l’Île Saint-Martin (**Fig. 3, 12**).

7. Âge du Miocène marin de l’Île Saint-Martin

. Calcaires molassiques à *Pecten tournali* :

Ces calcaires bioclastiques à *Pecten* (*Gigantopecten*) *turnali* forment une barre compacte à la partie inférieure du Miocène de la seule partie occidentale de l’Île Saint-Martin, au sud des Pujols (**Fig. 10**). Cette formation, caractérisée par le même fossile, n’était connue à ce jour que sur l’Île Sainte-Lucie ainsi qu’à Montfort où elle surmonte les formations de l’Oligo-Miocène lacustre du Bassin de Narbonne-Sigean. Dans le Biterrois, l’équivalent latéral de cette formation est le Calcaire de Bréguines, souvent qualifiée de « Dalle à *Pecten tournali* ». Selon Magné (1978), son âge est burdigalien moyen à supérieur.

. Calcaires et marnes à *Crassostrea gryphoides* :

Ce sont les dépôts argilo-carbonatés bioclastiques et les calcaires lumachelliques toujours très riches en

débris de grandes huîtres qui leur succèdent (sud des Pujols) mais que l'on retrouve le plus souvent sous forme de placages directement discordants sur les formations crétacées (Garbirou, la Clotte, Penelle). Les *Gigantopecten* y sont absents, remplacés par plusieurs espèces de pectinidés (la Clotte). *Crassostrea gryphoides* y est particulièrement abondante.

Depuis les travaux de Magné (1978), il est établi que les formations miocènes marquées par un grand nombre de *Crassostrea gryphoides* doivent être rapportées au Langhien inférieur. Elles ont pour équivalent latéral la « Molasse marine miocène », qui peut dépasser une centaine de mètres d'épaisseur dans les bassins du Narbonnais et du Biterrois (Moussan, Marcorignan). Des couches à grandes huîtres, au faciès identique, de la région de Lézignan-Corbières, plus proches du continent, ont fourni des restes de rongeurs de cet âge (Aguilar & Magné, 1978), sensiblement rajeunis, depuis, au Langhien supérieur, voire au Serravalien inférieur par Aguilar *et al.* (1994, 2010).

Les affleurements de Garbirou, de la Clotte et de Penelle doivent donc être placés dans le seul Langhien. Le placage à grandes huîtres du Pech de Gruissan serait d'un âge identique, comme celui de tous les autres placages de sédiments marins du Miocène discordant situés dans le massif de la Clape (les Bugadelles, Pech Rouge, Petite-Rouquette, Saint-Pierre-la-Mer,...) (Fauré, 2020). Tous sont des témoins d'un maximum transgressif d'âge langhien.

8. Conclusion

Nous décrivons, sur l'Île Saint-Martin, plusieurs placages de sédiments carbonatés bioclastiques à grandes huîtres du Miocène marin, à ce jour inconnus et n'ayant jamais été figurés sur aucune carte géologique. Tous sont discordants sur le Crétacé inférieur : l'un, au centre de l'Île (lieu-dit Garbirou, sud-ouest de Gruissan) et plusieurs sur sa façade orientale (la Clotte, Penelle, au sud de Gruissan). Leur âge langhien est identique à celui d'autres dépôts à *Crassostrea gryphoides* situés à la partie supérieure du Miocène marin du Narbonnais (Magné, 1978 ; Aguilar *et al.*, 1994, 2010).

Sur la façade occidentale de l'Île, au sud des Pujols, un large affleurement de Miocène, autrefois analysé par d'Archiac (1859) et Doncieux (1903) s'avère plus complet et comparable à celui de l'Île Sainte-Lucie qui est la série marine de référence du Bassin de Narbonne-Sigean. Nous y reconnaissons, à l'identique, la superposition des deux formations :

Calcaires molassiques à *Pecten tournali*, d'âge burdigalien moyen à supérieur ; Calcaires et marnes à *Crassostrea gryphoides*, d'âge langhien.

Au plan paléogéographique, la « Dalle à *Pecten tournali* » du Burdigalien ne dépasse pas les limites de l'hémigraben de Narbonne-Sigean (façade ouest de l'Île Saint-Martin, Île Sainte-Lucie, Montfort). Les dépôts littoraux conglomératiques et lumachelliques à grande huîtres (*Crassostrea gryphoides*) présentent par contre une plus large extension et se retrouvent sous forme de placages multiples, particulièrement sur la façade méditerranéenne de l'Île Saint-Martin et de la Clape, où ils sont toujours discordants sur le Crétacé inférieur, à des altitudes qui témoignent d'un haut niveau marin : jusqu'à 28 m d'altitude à Garbirou où l'on observe la quasi-submersion de la dépression centrale de l'Île Saint Martin ; 20 m au Pech de Gruissan ; jusqu'à 50 m aux Bugadelles (Fleury), où l'on ne peut exclure la possibilité de réajustements tectoniques postérieurs.

Succédant à la phase de rifting, Oligocène à Aquitanien, qui est responsable des épandages conglomératiques à galets de grès albiens et de leur accumulation particulière dans les environs de Gruissan, les dépôts du Miocène marquent la fin de l'activité tectonique et la base d'une transgression majeure d'âge burdigalien. Celle-ci est initiée par l'ouverture marine du Bassin provençal et une première phase d'expansion océanique du Golfe du Lion qui résulte de la rotation anti-horaire de la micro-plaque corso-sarde (entre 23-19 Ma, Aquitanien supérieur, et 15-18 Ma, Burdigalien) (Serrane *et al.*, 1999).

Le prisme sédimentaire qu'elle engendre sur la marge passive languedocienne est bien visualisé par les données offshore (Gorini, 1993). Il enregistre une séquence sédimentaire cyclique au sein de laquelle on peut distinguer un groupe transgressif (Aquitanien supérieur à Burdigalien inférieur), qui ne laisse aucun témoin sédimentaire dans le Narbonnais, et un groupe progradant (Burdigalien supérieur à Tortonien). Le maximum transgressif, en période de haut niveau marin, est atteint dès le Burdigalien supérieur et surtout le Langhien, étage auquel on peut rapporter les témoins et les placages de sédiments littoraux à huîtres que l'on retrouve, discordants sur le substratum méso-cénozoïque de l'Île Saint-Martin et de la Clape.

Remerciements : Un grand merci à Jacques Magontier pour sa relecture et ses remarques qui ont permis l'amélioration du manuscrit.

Références

- Aguilar J.-P. & Magné J. (1978) – Nouveaux gisements à rongeurs dans les formations marines miocènes du Languedoc méditerranéen. *Bulletin de la Société géologique de France*, 7, 20 : 803-805.
- Aguilar J.-P., Calvet M. & Michaux J. (1994) – Les rongeurs de Castelnou 6 (Pyrénées-Orientales, France) et les corrélations entre faunes ibériques et françaises au Miocène moyen. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paleontologie, Monatshefte*, 192 (1) : 109-131.
- Aguilar J.-P., Michaux J. & Lazzari V. (2010) – Nouvelles faunes de rongeurs (Mammalia, Rodentia) d'âge miocène moyen en Languedoc-Roussillon (sud de la France) ; biostratigraphie et corrélations. *Geodiversita*, 32 (3) : 501-513.
- Archiac A. d' (1859) – Les Corbières. Études géologiques d'une partie des départements de l'Aude et des Pyrénées-Orientales. *Mémoire de la Société géologique de France*, 2, VI, 2 : 27-446.
- Barrabé L. (1942) – Carte géologique de Narbonne (244). Marseillan (245) au 1/80000^{ème} 2^{ème} édition.
- Doncieux L. (1902) – Carte géologique de Narbonne (244). Marseillan (245) au 1/80000^{ème} 1^{ère} édition.
- Doncieux L. (1903) – Monographie géologique et paléontologique des Corbières orientales. *Annales de l'Université de Lyon*, nouvelle série, I, 11. 377 p.
- Fauré Ph. (2020) – Le Miocène (Burdigalien, Langhien inférieur) de l'Île Saint-Martin (Gruissan, Aude). *Carnets natures*, 7 : 29-39. <https://carnetsnatures.fr/volume%207/Miocene%20StMartin-Faure2020.pdf>
- Gorini C. (1993) – Géodynamique d'une marge passive : le Golfe du Lion (Méditerranée occidentale). Thèse, Toulouse. 256 p.
- Gorini C., Viallard P. & Déramond J. 1991 – Modèle d'inversion structurale négative : la tectonique extensive post-nappe du fossé de Narbonne-Sigean (Corbières, Sud de la France). *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 312 : 1013-1019.
- Jacquemet (1899) – Note sur les formations miocènes des bassins de l'étang de Thau, de l'Hérault et de l'Aude. *Bulletin de la Société géologique de France*, 3, 27 : 750-758.
- Lepinasse P., Aloisi J.-C., Barruol J., Durand-Delga M., Got H., Monaco A. & Marchal J.-P. (1982) – Carte géologique de la France au 1.50000^{ème}. Narbonne (1061).
- Magné J. (1978) – Études stratigraphiques sur le Néogène de la Méditerranée nord-occidentale. Le Néogène du Languedoc méditerranéen. *Laboratoire de Géologie méditerranéenne, Université Paul Sabatier*, Toulouse. 435 p.
- Séranne M. (1999) – The Gulf of Lion continental margin (NW Mediterranean) revisited by IBS: an overview. In: *The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine Orogen* (Eds B. Durand, L. Jolivet, F. Horváth & M. Séranne), Special Publication 156: 15-36. The Geological Society, London.
- Tournai P. (1830) – Description géognostique du bassin inférieur de l'Aude et de la Berre. *Journal de Géologie*, Paris, 1 : 247-337.
- Viguié M. (1887) – Études géologiques sur le département de l'Aude. Thèse, Montpellier, Imprimerie Grolier & Fils. 308 p.

DOAJ

DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS



Soumis le 1 décembre 2022
Accepté le 12 décembre 2022
Publié en ligne (pdf) le 21 décembre 2022

