



HAL
open science

“ Il faut sauver le soldat Pinna! ” La Grande nacre de Méditerranée, bivalve patrimonial, est en grave danger d’extinction.

Frédéric Marin, Daniel Jackson, Delphine Pasche, Matthew James Harrington, Jonathan Perrin, Jérôme Thomas, Alain Garcia, Laurent Gilletta, David Luquet, Sébastien Motreuil

► **To cite this version:**

Frédéric Marin, Daniel Jackson, Delphine Pasche, Matthew James Harrington, Jonathan Perrin, et al.. “ Il faut sauver le soldat Pinna! ” La Grande nacre de Méditerranée, bivalve patrimonial, est en grave danger d’extinction.. 16èmes Rencontres Bourgogne-Franche-Comté Nature, Oct 2019, Saint-Brisson, France. pp.233-242. hal-02882309

HAL Id: hal-02882309

<https://hal.science/hal-02882309v1>

Submitted on 18 Dec 2020

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

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

« Il faut sauver le soldat *Pinna* ! » La Grande nacre de Méditerranée, bivalve patrimonial, est en grave danger d'extinction

Frédéric MARIN¹, Daniel JACKSON², Delphine PASCHE³, Matt HARRINGTON^{3,4}, Jonathan PERRIN⁵, Jérôme THOMAS¹, Alain GARCIA⁶, Laurent GILLETTA⁷ David LUQUET⁷ & Sébastien MOTREUIL¹

Résumé

La Grande nacre *Pinna nobilis* est le plus grand bivalve de Méditerranée. Espèce endémique, elle est inféodée aux herbiers de posidonies, vivant sous forme de petites populations clairsemées. C'est une espèce patrimoniale : son byssus a longtemps été collecté pour être utilisé à la confection de gants, bonnets ou étoles. Protégée par une Directive Européenne (1992), *P. nobilis* fait l'objet d'une surveillance étroite au plan national et international. Or depuis fin 2016, une épidémie, dont l'origine semble être un parasite protozoaire, décime les populations (jusqu'à 100 % de mortalité). Décelée au départ sur les côtes espagnoles, elle s'étend sur tout le pourtour méditerranéen. Bien que des mesures aient été prises, les prochaines années pourraient voir l'extinction de ce bivalve emblématique. Hormis sa valeur symbolique, *P. nobilis* est une espèce digne d'intérêt en science des matériaux et composites bio-inspirés. En effet, sa coquille comprend deux couches minéralisées, dont l'une, externe, est constituée de grands prismes calcitiques d'aspect monocristallin, simples en apparence, mais présentant une structuration multi-échelle très complexe. Comprendre leur formation et leur croissance est un challenge en biomimétique. Son byssus forme des filaments très fins remarquablement solides, aux propriétés ultrastructurales différentes de celles du byssus de moule. Jusqu'à présent, la chimie de ce byssus reste mystérieuse. L'appréhender est aussi une gageure en physique des matériaux. Ces différents points sont abordés dans cet article.

Mots-clés : *Pinna nobilis*, disparition, coquille, byssus, protection.

“Save Private *Pinna* !” The Mediterranean fan mussel, a patrimonial bivalve, is in serious danger of extinction

Abstract

Pinna nobilis is the largest bivalve in the Mediterranean Sea. This endemic species lives in the *Posidonia* meadows, in the form of small sparse populations. It is a heritage species: its byssus has long been collected to be woven and used to make gloves, hats or stoles. Protected by a European Directive (1992), *P. nobilis* is closely monitored, nationally and internationally. But since the end of 2016, an epidemic, which origin seems to be a protozoan parasite, decimates populations (up to 100% mortality). This event began on the Spanish coast and spreads now all around the Mediterranean. Although conservation measures have been taken, the next few years could see the extinction of this emblematic bivalve. Apart from its symbolic value, *P. nobilis* is a species worthy of biotechnological interest. Its shell comprises two mineralized layers, one of which, external, calcitic, consists of large monocrystalline prisms, considered as a model in biomineralization. Understanding their formation and growth is a challenge in biomimetics. Its byssus forms very fine remarkably solid filaments, with ultrastructural properties different from those of the mussel byssus. Until now, the chemistry of this byssus remains mysterious. Understanding it is also a challenge in material physics. These different points are discussed in this article.

Key words : *Pinna nobilis*, extinction, shell, byssus, protection.

¹ UMR CNRS 6282 Biogéosciences, Université de Bourgogne-Franche-Comté - 6 Boulevard Gabriel - 21000 Dijon, France - frederic.marin@u-bourgogne.fr

² Department of Geobiology, Georg-August University of Göttingen - Goldschmidtstrasse 3 - 37077 Göttingen, Germany

³ Department of Biomaterials, Max Planck Institute of Colloids and Interfaces - Potsdam Science Park - Am Mühlenberg 1 OT Golm - Potsdam 14424, Germany

⁴ Department of Chemistry, McGill University - 801 Sherbrooke Street West - Montreal, Quebec H3A 0B8, Canada

⁵ Synchrotron SOLEIL, Anatomix beamline - L'Orme des Merisiers - Saint-Aubin - BP 48 - 91192 Gif-sur-Yvette Cedex, France

⁶ Association Alchimie Méditerranée - 86 Boulevard Bischoffsheim - 06300 Nice, France

⁷ Laboratoire d'Océanographie de Villefranche-sur-Mer, UMR 7093, CNR-UPMC - 181 Chemin du Lazaret - 06230 Villefranche-sur-Mer Cedex, France

Introduction : *Pinna nobilis* - taxonomie, biologie, écologie

Pinna nobilis Linnaeus, 1758, encore appelée « Grande nacre », peut légitimement s'enorgueillir du titre de « plus grand bivalve de Méditerranée » : sa longueur atteint en effet les 90 cm, voire un mètre pour les spécimens les plus âgés (VICENTE, 2003). La forme triangulaire caractéristique de sa coquille ainsi que sa couleur brun-rouge sont à l'origine de son surnom de « jambon ou jambonneau de mer ». Parmi les autres noms vernaculaires, citons celui de « jambonneau hérissé », de « pinne noble » ou de « pinne géante ». Les anglo-saxons, quant à eux, la surnomment « fan mussel », « noble pen shell », « razor fish » ou « rough pen shell ».



Figure 1. *Pinna nobilis* et son habitat naturel. A, l'herbier de posidonies ; le plongeur illustre l'épaisseur et la densité que peut atteindre cet herbier au printemps. B, *Pinna nobilis* en position de vie. C, *Pinna nobilis* adulte à proximité de chaînes de mouillage. D, *Pinna nobilis* juvénile.

Au sein de la classe des bivalves, *Pinna nobilis* appartient aux pteriomorphes (Pteriomorphia), vaste sous-classe qui comprend des formes uniquement marines aussi différentes que la moule, l'arche de Noé, l'amande de mer, l'huître creuse, la coquille Saint-Jacques, le spondyle pied d'âne, l'huître perlière, le pétoncle ou l'anomie pelure d'oignon, pour ne citer que les plus connus. Membre de l'ordre des Ostreida, *Pinna nobilis* est un représentant de la super-famille des pinnoides (Pinnoida) et de la famille des pinnidés (Pinnidae). Cette dernière comprend actuellement trois genres vivants (*Pinna*, *Streptopinna*, *Atrina*) et plusieurs dizaines d'espèces. La famille est connue avec certitude depuis le Carbonifère (genres *Aviculopinna*, *Sulcatopinna*, *Pteronites*, etc.). Les membres de cette famille sont tous caractérisés par une coquille triangulaire à microstructures nacro-prismatique, comprenant classiquement une couche interne aragonitique nacrée surmontée d'une couche externe constituée de grands prismes calcitiques. Les prismes des pinnidés sont à l'origine de la terminologie « grands prismes simples ».

Pinna nobilis est une espèce endémique de la Mer Méditerranée, inféodée aux herbiers de posidonies (*Posidonia oceanica*, figure 1A) mais rencontrée aussi dans les prairies à zostères (*Zostera marina*), deux milieux dans lesquels elle peut se camoufler (VICENTE, 2003). Elle vit à des profondeurs variant de 1 à 40 mètres (prof. moyenne : 5-20 mètres). En milieu naturel, *Pinna nobilis* occupe une position verticale caractéristique (figure 1B-D), orientée selon le courant, valves entrouvertes, le tiers inférieur de la coquille fiché dans le substrat meuble sableux ou sablo-vaseux. L'animal sécrète en plus un byssus qui lui permet de s'arrimer latéralement en de multiples points. *Pinna nobilis* est un organisme filtreur microphage, mais son métabolisme de filtration est relativement bas (6,5 à 10 L/jour selon la taille), par rapport à d'autres bivalves filtreurs suspensivores (huîtres, moules). Du fait de sa grande longévité (jusqu'à 40 ans) et de sa sensibilité aux pollutions, *Pinna nobilis* est un organisme-sentinel des conditions de milieu. Les populations sont petites et clairsemées. Typiquement, un champ de grandes nacres comprend quelques dizaines d'individus, avec une densité de population variant de un à une vingtaine d'individus par are (100 m²). Les prédateurs naturels de *Pinna nobilis* sont le poulpe commun (*Octopus vulgaris*) et la daurade (*Sparus aurata*), tous deux ayant la capacité de briser la coquille, l'un avec son bec corné, l'autre avec ses puissantes mâchoires pourvues de dents broyeuses. Cependant, son plus grand ennemi reste l'homme : captures sauvages de spécimens adultes, complètement illégales et punies par la loi, qui visent à ramener des trophées ; ancres et chaînes de bateau de plaisance au mouillage, qui brisent les coquilles d'individus adultes, provoquant leur mort à plus ou moins brève échéance ; au cours d'une mission, nous avons ainsi constaté plusieurs cas de coquilles ébréchées et de Grandes Nacres adultes à proximité immédiate de chaînes de mouillage (figure 1C). Les polluants chimiques déversés en milieu marin peuvent provoquer localement et de manière directe et brutale, des mortalités massives de populations : exemple frappant, en 2012, le naufrage du paquebot de plaisance Costa Concordia, au large de l'île de Giglio, a provoqué une tragédie humaine épouvantable marquée par le décès de 32 personnes mais aussi un désastre écologique de grande ampleur, notamment la destruction de plusieurs centaines de grandes nacres. De manière insidieuse, donc moins directement visible, la régression des herbiers de posidonies, du fait des rejets urbains, ou leur morcellement en aires étriquées, contribuent aussi à la disparition de champs entiers de jambons de mer.

Reproduction, croissance et autres traits de vie

La reproduction de *Pinna nobilis* est caractérisée par un hermaphroditisme successif à maturation des gamètes asynchrone (DE GAULEJAC, 1995) qui évite l'autofécondation. La fécondation n'est possible que si des individus en phase mâle d'une part et femelle d'autre part sont en présence. La phase d'activité sexuelle s'étend de mars à octobre, avec un pic d'émission alternée de gamètes mâles et femelles et de gamétogenèse active entre juin et août. Après émission des gamètes, les ovocytes sont fécondés en pleine eau. Ce mode de reproduction (asynchronisme de la maturation des gamètes d'individus proches, fécondation de pleine eau) est donc un phénomène relativement aléatoire. À l'instar des autres bivalves, la Grande nacre possède un cycle de développement post-embryonnaire passant par un stade « larve trochophore » planctonique (stade durant lequel la toute première coquille est élaborée), puis « larve véligère » (qui comporte un velum cilié) nageuse, puis pédivéligère. Cette dernière se fixe sur un substrat et accomplit sa métamorphose pour donner un indi-

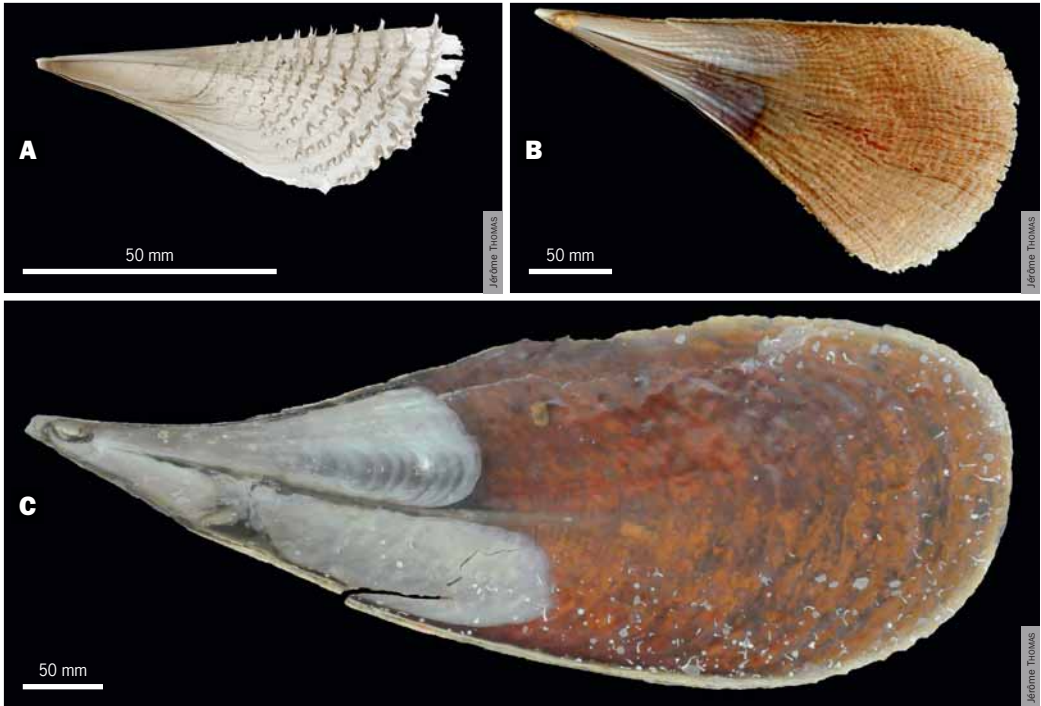


Figure 2. Coquille de *Pinna nobilis*, à différents stades de croissance. A, spécimen juvénile, 7-8 mois; B, spécimen jeune à 28-30 mois. C, spécimen âgé d'env. 7-8 ans. Remarquez sur le spécimen juvénile les piquants acérés, et sur le spécimen plus âgé, la couche nacréée blanche qui couvre moins de la moitié de l'intérieur de la valve.

vidu juvénile. Les juvéniles sont caractérisés par une coquille très fine, quasi-transparente et ornée de piquants calcitiques acérés sur la surface externe, qui servent de protection contre la prédation par des poissons (figure 1D, figure 2A). La croissance de la coquille suit un modèle de von Bertalanffy (MORETEAU & VICENTE, 1982) : elle est rapide et linéaire dans les premières années (figure 2B), pour se ralentir de plus en plus au fur et à mesure du vieillissement et atteindre un plateau. Les *Pinna* les plus âgées auraient 45 années et un âge de 30 ans est couramment atteint. Durant la croissance, les piquants, très présents chez les individus jusqu'à 3-4 ans (40 cm), encore fragiles, vont progressivement s'éroder tandis que la coquille s'épaissit (figure 2C). Chez les individus âgés, la surface externe de la coquille est quasiment lisse (sauf dans la partie la plus récemment sécrétée) mais recouverte d'organismes encroûtants et la coquille est fortement épaissie. Outre leur fonction défensive, les piquants servent aussi de points d'ancrage à des algues épibiontes (algues vertes, algues rouges encroûtantes), qui contribuent au camouflage, en particulier chez les juvéniles, et de niche à des assemblages micro- et macrofauniques épibiontes complexes (COSENTINO & GIACOBBE, 2007). Ce véritable microcosme comprend des éponges, des bryozoaires, de petits mollusques, des annélides calcifiants, des crustacés et des ascidies. Fait marquant durant la croissance, pendant les premières années, les jeunes *Pinna nobilis* souvent fixées en zones de petits fonds, se déplacent à l'aide de leur pied et profitent des courants pour gagner des zones favorables à leur développement, à plus grande profondeur. Par contre, à partir d'une certaine taille (environ 30 cm), les grandes nacres ne peuvent plus se déplacer du fait leur poids et se sédentarisent. Autre fait marquant, pendant la plus grande partie de sa vie, *Pinna nobilis* héberge un petit crabe pinnothère (« garde-pinne », *Nepinnotheres pinnotheres*, originellement décrit comme *Cancer pinnotheres*) ou bien un couple de petites crevettes translucides de l'espèce *Pontonia pinnophylax* (RABAOUI *et al.*, 2007). Dans un cas comme dans l'autre, il s'agit d'un mutualisme de nettoyage, les crustacés bénéficiant d'un abri sûr et des particules alimentaires concentrées par leur hôte tandis qu'ils lui nettoient ses branchies et l'alertent de tout danger en modifiant leur comportement, déclenchant ainsi la fermeture des valves.

***Pinna nobilis*, bivalve patrimonial**

Pinna nobilis est une espèce que l'on peut qualifier de patrimoniale, dans le sens où c'est une espèce rare, protégée, qui a une valeur symbolique, culturelle, et qui a fait l'objet de diverses utilisations par l'être humain depuis la Préhistoire. Pour preuve de son statut particulier, un certain nombre de timbres représentant *Pinna nobilis* ont été émis par les pays du pourtour méditerranéen, incluant l'Algérie, la Croatie, le Monténégro, la République de Malte ou la Principauté de Monaco. Même la Guinée Bissau, pourtant éloignée géographiquement des préoccupations méditerranéennes, y a été de son timbre.

Parmi les usages passés les plus simples et directs, citons la consommation fréquente de la chair de *P. nobilis*, au XIX^e et XX^e siècles, documentée notamment à Malte, en Corse et dans les Balkans. Il faut cependant noter que ce bivalve a été consommé dès l'âge du Bronze Moyen dans la péninsule grecque et que sa collecte en milieu profond a très certainement fait l'objet d'une technique sophistiquée de ramassage (BECKER, 1996). Signalons aussi que, de manière totalement illégale, la chair de *Pinna nobilis* continuait d'être consommée encore tout récemment, notamment dans très nombreux restaurants des îles de la Mer Égée (KATSANEVAKIS *et al.*, 2014).

Autre exemple d'utilisation passée : la nacre. Chez les spécimens adultes, la nacre, bien que restreinte au premier tiers de la coquille, est particulièrement épaisse et solide (> 8 mm dans la zone du crochet). Dans le passé (XVIII^e-XX^e siècles), elle a fait l'objet d'une exploitation à la fabrication de boutons de vêtements, en Sicile, dans le Sud de la péninsule italienne mais aussi à Malte.

Dans l'Antiquité pré-romaine, les coquilles d'individus de grande taille étaient utilisées comme moules naturels pour la fabrication de lingots de plomb dans les régions galénifères du Sud-Est de l'Espagne (Sierra de Carthagène). Révélés par la fouille d'une épave (IV^e-III^e s. av. J.-C.) près de l'îlot de Cabrera, au Sud de Majorque, ces lingots étaient acheminés par bateau le long des côtes françaises et italiennes (DOMERGUE, 2004). Quelques exemplaires sont conservés au Musée du Biterrois de Béziers.

Pinna nobilis produit, de temps en temps, des perles naturelles, autour d'un corps étranger, grain de sable ou autre. D'une jolie couleur - variant du brun mat au rouge-orangé translucide - due à des pigments de type caroténoïdes, ce sont des perles prismatiques calcitiques, non nacrées, et par conséquent relativement fragiles. Plus rarement, on trouve des perles 100 % nacrées ou biphasiques (macro-prismatiques). Ces perles n'ont pas de valeur marchande, mais sont cependant très prisées de la communauté des collectionneurs de perles naturelles (GAUTHIER *et al.*, 1994).

Enfin, la coquille de *Pinna nobilis* a servi - et sert malheureusement encore - d'objet de décoration de toute sorte : appliques murales, trophée en vitrine, plat à poissons, etc. Du fait d'une relative transparence à la lumière, les deux valves réunies, une fois décapées et polies, ont souvent servi d'abat-jour à des lampes qui diffusent une chaude lumière dorée.

Mais la « grande affaire », ce qui confère à la Grande nacre son statut d'espèce patrimoniale, c'est son byssus, un produit résultant de la sécrétion de fils très fins et résistants à la traction, par la glande byssogène (CZIHAK & DIERL, 1961). En effet, il semble que depuis l'Antiquité phénicienne, chaldéenne, égyptienne et romaine, le byssus de *Pinna nobilis* ait été collecté ; cependant les sources historiques demeurent incertaines. La première mention de l'utilisation du byssus est de Tertullien aux II^e-III^e siècle apr. J.-C. L'objet le plus ancien fabriqué en byssus de Grande nacre et encore conservé est un bonnet datant du XIV^e siècle (MAEDER & HALBEISEN, 2001 ; SICKEN, 2017), visible au Musée d'Art et d'Histoire de Saint-Denis. Le procédé de travail du byssus a sans doute été mis au point très tôt. Une fois prélevé de l'animal, le byssus était lavé dans un bain de vinaigre, de jus de citron, voire d'ammoniac (urine), puis rincé à l'eau claire et séché ; il revêtait alors des teintes bronze doré et une consistance souple et soyeuse, à l'origine de l'appellation « soie des mers » (« sea silk ») ou « soie des rois ». Cette soie pouvait alors être cardée puis filée avant d'être tissée ou servir à la broderie. On estime que 250 grammes de fils nécessitaient le sacrifice d'un millier de spécimens. Aux XVIII^e et XIX^e siècles, de très nombreux objets ont ainsi été confectionnés, notamment pour le haut clergé et la noblesse, en France et en Italie : capelines, bonnets, gants, bas, étoles, écharpes. Pour la petite histoire, en 1862, 2 700 Grandes Nacres furent « mises à contribution », autrement dit, sacrifiées, pour la confection de la cape nuptiale portée par Maria Pia de Savoie, fille du Roi d'Italie Victor-Emmanuel II, lors de ses noces avec le Roi du Portugal, Louis I (CATTANEO-VIETTI *et al.*, 2016). À cette époque, Tarente,

dans les Pouilles, et la Sardaigne constituaient de véritables centres de production de soie des mers (MAEDER & HALBEISEN, 2001). D'ailleurs, la tarentine désignait le tissu fabriqué à partir de byssus. On peut penser qu'une telle industrie, même artisanale, nécessitait une gestion rigoureuse de la matière première pour éviter l'extinction de l'activité, activité maintenue dans le Sud de l'Italie jusque dans les années 60-70. Actuellement, du fait de la rareté de la ressource, une seule personne, Chiara Vigo, à Sant'Antioco (dans l'île du même nom au Sud de la Sardaigne), est encore habilitée à prélever le byssus de *P. nobilis* (sans sacrifier l'animal), pour le tisser et en faire des napperons. Il existe d'ailleurs, dans cette même petite localité, un musée du byssus. Pour finir, il est intéressant de constater que la soie des mers est à l'origine d'une interprétation « alternative » du mythe de la « Toison d'Or ».

Une espèce protégée et surveillée...

La rareté de *Pinna nobilis* a fait de ce joyau de la Méditerranée une espèce protégée et un arsenal législatif conséquent a été mis en place au cours des 30 dernières années pour en assurer la protection, au plan national, mais aussi européen et international. Au niveau national, *Pinna nobilis* figure en bonne place sur la liste des animaux de la faune marine protégée sur l'ensemble du territoire, par le biais de deux arrêtés : celui du 26 novembre 1992 (publié le 19 janvier 1993 au JORF), puis celui du 20 décembre 2004 (publié le 7 janvier 2005 au JORF), plus contraignant encore au niveau des interdictions. Au plan européen, la Directive 92/43/CEE, dite Directive Habitat-Faune-Flore liste *Pinna nobilis* en page 59 de son annexe IV parmi les espèces animales et végétales présentant un intérêt communautaire et nécessitant une protection stricte. Enfin, au plan international, *Pinna nobilis* figure aussi dans l'amendement de la liste de l'annexe II du Protocole dit « de Barcelone », relatif aux aires spécialement protégées et à la diversité biologique en Méditerranée, signé le 10 juin 1995 et adopté à Marrakech le 5 novembre 2009. Cette liste fait l'objet du décret n° 2014-1195 qui porte publication de l'amendement de Barcelone, décret publié au Journal Officiel de la République Française (n° 0242 du 18 octobre 2014, page 17308). Les sanctions encourues pour toute pêche de *Pinna nobilis* sont dissuasives : une peine de prison (6 mois avec sursis) assortie d'une amende (jusqu'à 2 000 €). La plupart des pays du pourtour Méditerranéen se sont aussi dotés de lois nationales de protection de cette espèce.

En France, bien avant l'arsenal législatif mis en place dans les années 90 et 2000, *Pinna nobilis* bénéficiait d'une situation enviable puisqu'elle faisait l'objet d'un suivi de populations sur le long terme, en côte d'Azur et en Corse. Ce travail titanesque a été le fait de l'Institut Océanographique Paul Ricard, basé à l'Île des Embiez, et particulièrement de l'équipe du Professeur Nardo Vicente, spécialiste mondialement reconnu (MORETEAU & VICENTE, 1982 ; TRIGOS & VICENTE, 2018). C'est notamment cette équipe qui a réalisé les études les plus complètes à ce jour sur la biométrie, l'écologie, la physiologie et la reproduction de *Pinna nobilis*. Des suivis de population sur le long terme ont également été réalisés en Espagne (équipe du Pr. J. R. Garcia-March), en Croatie et en Tunisie : le « premier séminaire international sur la Grande nacre de Méditerranée » a fait un état des lieux précis dans ces différents pays (VICENTE, 2003).

Le travail de communication sur la rareté de *Pinna nobilis*, les sanctions dissuasives mais peut-être aussi une prise de conscience individuelle et collective des plongeurs amateurs et des plaisanciers ont permis, au cours des années 2000, de voir les effectifs des populations de *Pinna nobilis* remonter, un phénomène perçu notamment par les plongeurs professionnels (Sébastien MOTREUIL, comm. pers. ; programme de suivi du CRIOBE en baie de Peyrefitte, Pyrénées Orientales, depuis 2014). Jusqu'à récemment, en France, les seuls prélèvements autorisés étaient à but strictement scientifique, ne concernaient qu'un nombre très limité d'individus et requéraient une autorisation ponctuelle de la Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM) couvrant la zone de prélèvement.

... mais menacée de disparition prochaine

Les efforts lents et constants pour maintenir les populations de *Pinna nobilis* - voire pour chercher à en augmenter les effectifs - ont été balayés par un évènement brutal, sans précédent pour cette espèce. À l'automne 2016, des mortalités de masses, détruisant jusqu'à 100 % des individus, ont été signalées au large des côtes espagnoles sur des sites distants entre eux de plusieurs centaines de kilomètres. Ce phénomène a été décrit,

quantifié et publié durant l'été 2017 (VÁZQUES-LUIS *et al.*, 2017). Depuis cette première alerte, l'épidémie a gagné les côtes françaises, italiennes, croates, grecques, turques et chypriotes, mais aussi celles du Maroc et de la Tunisie. En France par exemple, tous les spécimens répertoriés de la réserve de Scandola (Corse) ont été décimés. La carte établie par l'International Union for Conservation of Nature (IUCN), remise à jour en juin 2019, montre que c'est l'ensemble de la Méditerranée qui est touché (cf. <https://www.iucn.org/news/mediterranean/201907/mediterranean-noble-pen-shell-crisis-pinna-nobilis-june-2019-update>). À terme, c'est-à-dire à l'échelle de quelques années, c'est l'espèce qui est menacée de disparition totale sur l'ensemble de son aire de répartition.

Quelques mois après la publication du premier article, le responsable des mortalités de masse est identifié (DARRIBA, 2017). Il s'agit d'un parasite protozoaire, *Haplosporidium pinnae*, qui se fixe dans la glande digestive et bloque son fonctionnement. Des caractérisations histologiques, microscopiques (MEB, MET) et par biologie moléculaire sont alors réalisées sur ce parasite (CATANESE *et al.*, 2018), qui pourrait soit être une espèce allochtone, invasive, amenée par des eaux de ballast de navires marchands, soit une espèce dormante autochtone, dont l'activation aurait été favorisée par un mécanisme déclencheur. Parmi les causes possibles, la piste du changement climatique - en particulier l'augmentation, hélas, bien réelle de la température des eaux méditerranéennes au-dessus du seuil de 13,5 °C - est la plus souvent envisagée. L'influence de la salinité, dans une gamme de 36,5 à 39,5 psu (practical salinity unit), pourrait être également déterminante. Il semble enfin que des courants de surface soient responsables de la propagation rapide de ce parasite, notamment sur les côtes françaises (CABANELLAS-REBOREDO *et al.*, 2019).

En 2019 est publié un article identifiant un second responsable potentiel de mortalités massives de *Pinna nobilis* le long des côtes tyrrhéniennes (CARELLA *et al.*, 2019). Il s'agit cette fois d'un bacille de la famille des mycobactéries (*Mycobacterium*), à l'origine de lésions inflammatoires des tissus conjonctifs entourant le système digestif et les gonades. Pour le moment, on ne sait si ces deux micro-organismes constituent deux causes séparées, indépendantes et géographiquement distinctes des mortalités massives, ou s'ils peuvent agir en synergie, dans des organismes aux systèmes immunitaires, par ailleurs, affaiblis par les changements globaux.

Les mesures de protection

Face à l'étendue du désastre, il n'existe aucune parade directe. Cependant, au plan national, les mesures prises ou en train de l'être opèrent à quatre niveaux différents :

- Mission d'information auprès du grand public : l'épidémie est couverte par la presse, notamment la presse régionale.
- Identification et inventaire précis et périodique des populations décimées, de celles résistantes à l'infestation et de celles non encore touchées.
- Captage de larves et développement en milieu protégé et contrôlé, que ce soit en milieu naturel ou en laboratoire.
- Transfert de populations saines, soit en milieu plus froid (plus profond), ou à salinité anormale, ou bien en milieu contrôlé (aquarium).

Actuellement, il semble que les milieux lagunaires et les baies abritées (Bassin de Thau, Delta de l'Ebre, par exemple) soient moins touchés que les aires littorales de pleine eau. Ces zones présentent souvent des salinités anormales (hautes ou basses), en dehors des limites de tolérance du parasite haplosporidien. De même, les zones profondes de pleine eau, « froides » tout au long de l'année sont à rechercher. Ces milieux, lagunaires ou « froids », pourraient donc servir de zones-refuges temporaires ou de longue durée à des spécimens sains. Soulignons le rôle essentiel des plongeurs bénévoles, qui peuvent communiquer les résultats de leurs « observations de terrain », via des sites internet tels que DORIS (Données d'Observation pour la Reconnaissance et l'Identification de la faune et la flore Subaquatique, cf. <https://doris.ffesm.fr/>).

Au plan international, une prise de conscience se met en place, qui associe les scientifiques et les citoyens, en particulier les plongeurs amateurs ; ainsi, une vaste étude publiée ces derniers mois et qui associe données de terrain et modélisation a simulé la dynamique de progression de l'épidémie et l'existence de foyers de résistance (CABANELLAS-REBOREDO *et al.*, 2019). Par ailleurs, le programme PINNA SPOT, piloté par l'Institut Océanographique

Paul Ricard (Prof. N. VICENTE), en partenariat avec l'Espagne, Monaco et le Monténégro, a pour but un inventaire des populations, des captages larvaires suivis d'études génétiques. Enfin, depuis le début de l'épidémie, l'IUCN a émis toute une série de préconisations et mesures à suivre, visant à évaluer la situation dans les zones touchées et non touchées, en vue de préparer un programme d'action dans ces zones. Les recommandations de l'IUCN peuvent d'ailleurs être consultées sur le lien Internet suivant : <https://www.iucn.org/fr/news/mediterranean/201907/crise-de-la-grande-nacre-en-mediterranee-pinna-nobilis-mise-a-jour-juin-2019>. Outre les mesures de cartographie périodique des populations saines et atteintes et les possibles transferts dans des sites protégés (lagunaires ou de basse température constante au long de l'année), le captage de larves véligères de *Pinna nobilis* sur des collecteurs en plastique (type « treillis de nylons empaquetés dans des filets à oignons ») est sans doute LA mesure à développer d'urgence. Décrit de manière très pratique par KERSTING & HENDRIKS (2019), ce captage, réalisé en période de reproduction, a pour finalité la reconstitution des stocks par réimplantation en milieu naturel sain ou par élevage en milieu confiné.

Un bivalve à haute valeur scientifique

Le constat pessimiste sur l'avenir très proche de *Pinna nobilis* ne doit pas faire oublier que ce bivalve a fait et fait toujours l'objet d'un certain nombre d'études scientifiques fondamentales. Outre les aspects physiologiques évoqués plus haut, ces études portent sur la biominéralisation coquillière et sur le byssus.

La biominéralisation coquillière de *P. nobilis* est étudiée depuis le XIX^e siècle. En particulier, la couche prismatique calcitique externe, qui confère à la coquille sa couleur brun-rouge, a été très largement analysée des points de vue structural, cristallographique et biochimique (pour une revue détaillée des travaux anté-2010, cf. MARIN *et al.*, 2011). En plongeant des fragments de coquille de *Pinna nobilis* dans de l'eau de javel, on peut ainsi dissocier entièrement la couche prismatique en éléments cristallins élémentaires, les grands prismes, par dissolution des gaines organiques péri-prismatiques qui maintiennent ces cristaux entre eux (figures 3A-C). De manière étonnante, chaque prisme a un comportement optique et cristallographique de monocristal (extinction unique en lumière polarisée-analysée, unique patron de diffraction). Or, il n'en est rien : chaque prisme comprend une fraction organique dite « intraprismatique » (0,3 % environ de son poids) et présente de plus plusieurs niveaux de structuration cristalline, ce qui revient à dire que les nano-grains minéraux constitutifs des prismes, liés entre eux par de l'organique, ont une seule orientation cristallographique. La façon dont les prismes sont nucléés et croissent a donné lieu à des interprétations faisant intervenir à la fois des phénomènes de compétition de croissance cristalline, mais surtout les concepts de cristallisation « non classiques » (WOLF *et al.*, 2012). Actuellement, le débat est « polarisé » entre les partisans d'une croissance des prismes régulée par des contraintes essentiellement physico-chimiques, et où, somme toute, l'organique intervient peu, et ceux qui pensent au contraire que la matrice organique des prismes est l'élément-clé qui confère aux prismes leur structure ordonnée depuis l'échelle nanométrique jusqu'au millimètre. Nos toutes récentes données (non publiées) sur le transcriptome du manteau calcifiant les prismes nous amènent à penser que les protéines ont un rôle régulateur majeur dans la formation des prismes et leur croissance.

Le byssus (figure 3D) constitue le second point de focalisation des recherches fondamentales actuelles. Contrairement au byssus de moule, bien étudié depuis les années 90, celui de la Grande nacre n'a commencé à être exploré que ces dernières années : les études publiées récemment (PASCHE *et al.*, 2018 ; PASCHE *et al.*, 2019) montrent que le byssus de *Pinna nobilis* a des propriétés biochimiques et ultrastructurales assez différentes de celles de la moule comestible, ce qui tend à montrer que, du point de vue évolutif, la capacité de former un byssus a été acquise indépendamment (convergence évolutive) chez les représentants de ces deux ordres distincts, en lien avec leur mode de vie. En particulier, le byssus de la Grande nacre est composé majoritairement de protéines globulaires non-collagéniques organisées en structures hélicoïdales supramoléculaires (à deux sous-unités protéiques par tour) qui s'assemblent en nano-fibres dispersées dans une matrice. Cette organisation semble unique dans le monde des protéines extracellulaires. Le comportement élastique du byssus de la Grande nacre s'explique par la capacité des structures hélicoïdales à s'étirer de manière réversible comme les spires d'un ressort lorsqu'une tension

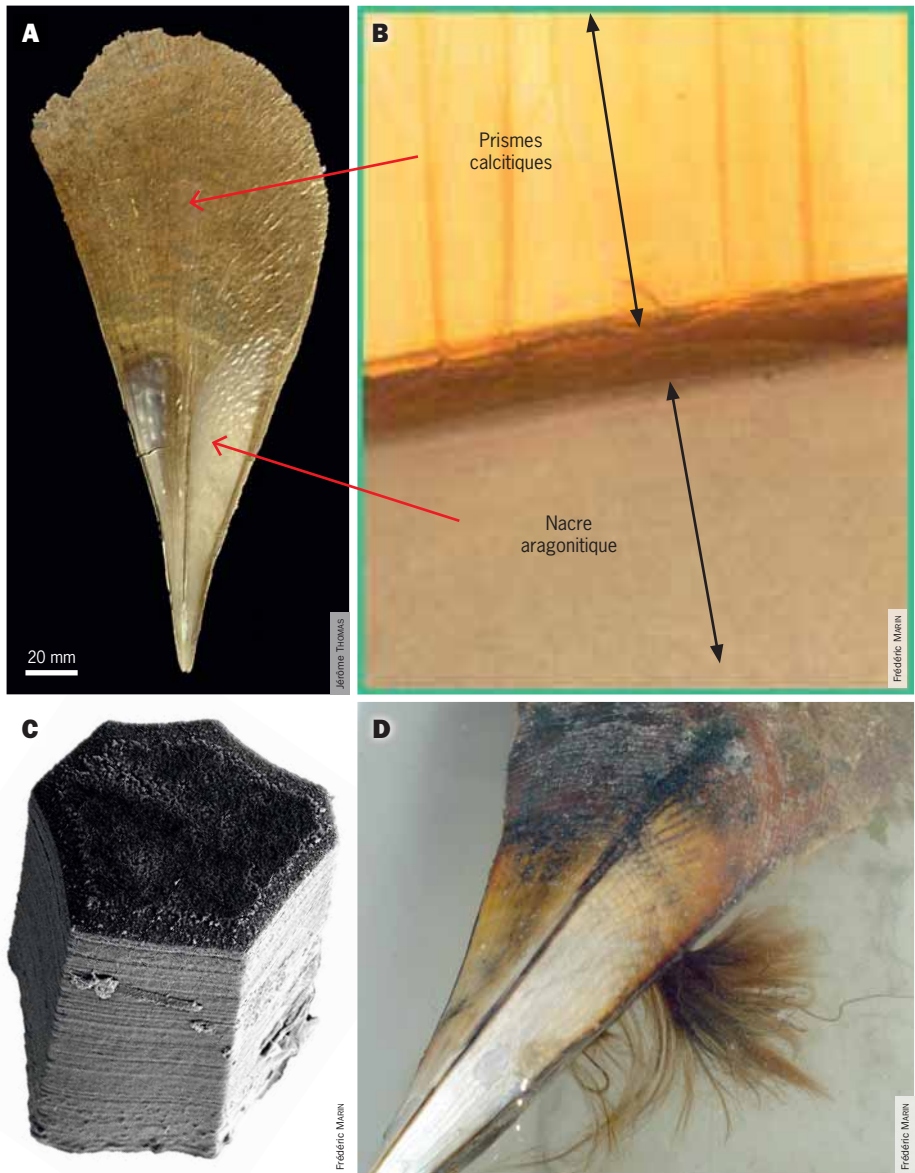


Figure 3. Microstructure coquillière de *Pinna nobilis* et byssus. A, vue interne d'une valve d'un jeune individu montrant les microstructures prismatiques et nacrés. B, section de coquille, vue en microscopie optique, montrant la superposition des microstructures. C, prisme calcitique isolé vu en microscopie électronique à balayage. D, byssus de *Pinna nobilis*.

est appliquée, mais aussi, lorsqu'une tension plus forte est exercée, par la capacité des modules protéiques globulaires de base à s'étirer à leur tour par rupture de liaisons intramoléculaires. Les recherches se poursuivent actuellement, visant à identifier les gènes, et par là même, les séquences des protéines structurales du byssus de *Pinna nobilis*.

Conclusion

Ce bref tour d'horizon de divers aspects des recherches et données scientifiques récentes sur *Pinna nobilis* a pour but de faire un peu mieux connaître ce bivalve, qui, bien que familier des plongeurs en Méditerranée, reste largement ignoré du grand public. *Pinna nobilis* est une espèce patrimoniale qui subit depuis fin 2016 une crise biologique majeure - sans doute la plus grave de l'histoire de cette espèce - qui amènera très vraisemblablement

son extinction d'ici quelques années si aucune mesure concrète n'est appliquée dans l'urgence. Les mêmes causes (changement climatique) produisant les mêmes effets, au-delà du « cas *Pinna nobilis* », ce sont d'autres espèces endémiques de Méditerranée - encore moins étudiées ou moins emblématiques - qui risquent fort de connaître un sort analogue.



Frédéric MARIN

Directeur de Recherche CNRS, paléontologue spécialiste des biominéralisations carbonatées (coquilles, exosquelettes) chez les métazoaires.

Remerciements

Les recherches des auteurs sur *Pinna nobilis* sont ou ont été financées par plusieurs sources : ANR MOBi (ref. ANR-18-CE02-0014, J. PERRIN coordinateur), la société savante Max Planck, la DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft, programme HA6369/4-1), l'Observatoire des Sciences de l'Univers (OSU Theta, SRO 2017) et le Centre Européen de Ressources Biologiques Marines (EMBRC, AAP2017).

Bibliographie

- BECKER C. 1996. Nourriture, coquilles, ornements... Les témoignages d'une exploitation variée des mollusques marins à Ayios Mamas (Chalcidique, Grèce). *Anthropozoologica* 24: 3-17.
- CABANELLAS-REBOREDO M. et al. 2019. Tracking a mass mortality outbreak of pen shell *Pinna nobilis* populations: a collaborative effort of scientists and citizens? *Scientific Reports* 9: art. numb. 13355.
- CARELLA F., ACETO S., POLLARO F., MICCIO A., IARIA C., CARRASCO N., PRADO P. & DE VICO G. 2019. A mycobacterial disease is associated with the silent mass mortality of the pen shell *Pinna nobilis* along the Tyrrhenian coastline of Italy. *Scientific Reports* 9: art. numb. 2725.
- CATTANEO-VIETTI R., DONEDDU M. & TRAINITO E. 2016. Dyes, tissues, and materials. In : CATTANEO-VIETTI R., DONEDDU M. & TRAINITO E. (eds.) *Man and Shells: Molluscs in the History*. Bentham Science Publishers: 149-161.
- CATANESE G., GRAU A., VALENCIA J.M., GARCIA-MARCH J.R., VAZQUES-LUIS M., ALVAREZ E., DEUDERO S., DARRIBA S., CARBALLAL M.J. & VILLALBA A. 2018. *Haplosporidium pinnae* sp. nov., a haplosporidan parasite associated with mass mortalities of the fan mussel, *Pinna nobilis*, in the Western Mediterranean Sea. *Journal of Invertebrate Pathology* 157: 9-24.
- COSENTINO A. & GIACOBBE S. 2007. Aspects of epizootic mollusk assemblages on *Pinna* shells. Composition and Structure. *Cahiers de Biologie Marine* 48: 187-197.
- CZIHAK G. & DIERL W. 1961. *Pinna nobilis* L. - Eine Präparationsanleitung. Grosses Zoologisches Praktikum, Heft 16a. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 40 p.
- DARRIBA S. 2017. First haplosporidan parasite reported infecting a member of the superfamily Pinnoidae (*Pinna nobilis*) during a mortality event in Alicante (Spain, Western Mediterranean). *Journal of Invertebrate Pathology* 148: 14-19.
- DE GAGLEJAC B. 1995. Successive hermaphroditism with asynchronous maturation of *Pinna nobilis* (L.) (Bivalvia, Pterioidea). *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences, série III, Sciences de la Vie* 318(1): 99-103.
- DOMERGUE C. 2004. Les mines et la production des métaux dans le monde méditerranéen au I^{er} millénaire avant notre ère. Du producteur au consommateur. In : LEHOËRF A. (dir.) *L'artisanat métallique dans les sociétés anciennes en Méditerranée occidentale. Techniques, lieux et formes de production* (Actes du colloque de Ravello, mai 2000), Collection de l'École française de Rome 332, Rome: 141-142.
- GAUTHIER J.P., CASEIRO J. & LASNIER B. 1994. Les perles rouges de *Pinna nobilis*. *Revue de Gemmologie, A.F.G.*, 118: 2-4 ; 119: 2-4.
- KATSANEVAKIS S., POURSANIDIS D., ISSARIS Y., PANOÛ A., PETZA D., VASSILOPOULOU V., CHALDAIOU I. & SINI M. 2014. "Protected" marine shelled molluscs: thriving in Greek seafood restaurants. *Mediterranean Marine Science* 12(2): 429-438.
- KERSTING D.K. & HENDRIKS I.E. 2019. Short guidance for the construction, installation and removal of *Pinna nobilis* larval collectors. IUCN, 6 p.
- MAEDER F. & HALLBEISEN M. 2001. Muschel-seide: Auf der Suche nach einel vergessenen Material. *Waffen- und Kostumkunde* 43: 33-41.
- MARIN F., NARAYANAPPA P. & MOTREUIL S. 2011. Acidic shell proteins of the Mediterranean fan mussel *Pinna nobilis*. In : MÜLLER W.E.G. (ed.) *Molecular Biomineralization: Aquatic Organisms Forming Extraordinary Materials. Progress in Molecular and Subcellular Biology* 52: 353-395.
- MORETEAU J.C. & VICENTE N. 1982. Évolution d'une population de *Pinna nobilis* L. (Mollusca, Bivalvia). *Malacologia* 22: 341-345.
- PASCHE D., HORBELT N., MARIN F., MOTREUIL S., MACIAS-SANCHEZ E., FALINI G., HWANG D.S., FRATZL P. & HARRINGTON M. 2018. A new twist on sea silk: The peculiar protein ultrastructure of fan shell and pearl oyster byssus. *Soft Matter* 14(27): 5654-5664.
- PASCHE D., HORBELT N., MARIN F., MOTREUIL S., FRATZL P. & HARRINGTON M.J. 2019. Self-healing silk from the sea: role of helical hierarchical structure in *Pinna nobilis* byssus mechanics. *Soft Matter* 15(47): 9654-9664.
- RABAOUI L., TLIG ZOUARI S. & BEN HASSINE O.K. 2007. Two species of Crustacea (Decapoda) associated with the fan mussel, *Pinna nobilis* Linnaeus, 1758 (Mollusca, Bivalvia). *Crustaceana* 81(4): 433-446.
- SICKEN A. 2017. Morphology, properties and microscopic identification of sea silk. In : ENEGREN H.L. & MEO F. (ed.) *Treasures from the Sea - Sea Silk & Shellfish Purple Dye in Antiquity*. Oxbow Books, Oxford: 20-28.
- TRIGOS S. & VICENTE N. 2018. Population status of *Pinna nobilis* in four protected areas of France and Monaco. *Life & Environment* 68(2-3): 145-149.
- VAZQUEZ-LUIS M., ALVAREZ E., BARRAJON A., GARCIA-MARCH J.R., GRAU A., HENDRICKS I.E., JIMENEZ S., KERSTING D., MORENO D., PEREZ M., RUIZ J.M., SANCHEZ J., VILLALBA A. & DEUDERO S. 2017. SOS *Pinna nobilis*: a mass mortality event in Western Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science* 4: UNSP220.
- VICENTE N. 2003. La grande nacre de Méditerranée *Pinna nobilis*. Présentation générale. In : VICENTE N. (ed.) *Mémoires de l'Institut Océanographique Paul Ricard, 1^{er} Séminaire International sur la grande Nacre de Méditerranée : Pinna nobilis*, 10-12 Octobre 2002, Institut Océanographique Paul Ricard: 7-16.
- WOLF S.E., LIEBERWIRTH I., NATALIO F., BARDEAU J.F., DELORME N., EMMERLING F., BARREA R., KAPPL M. & MARIN F. 2012. Merging models of biomineralization with concepts of nonclassical crystallization : is a liquid amorphous precursor involved in the formation of the prismatic layer of the Mediterranean fan mussel *Pinna nobilis*? *Faraday Discussions* 159: 433-448.