Université de POITIERS

Faculté de Médecine et de Pharmacie

ANNÉE : 2024

THÈSE
POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT
DE DOCTEUR EN PHARMACIE

(arrêté du 8 avril 2013)

présentée et soutenue publiquement
le 10 Juillet 2024 à POITIERS
par Madame RAMSAMY Révadi
Née le 12 Janvier 1992

Envenimations marines : le point sur les envenimations par *Physalia* spp

Composition du jury :

Présidente : Madame MARIVINGT-MOUNIR Cécile, Maître de Conférence en Pharmacochimie (HDR)

Membre : Madame OMARJEE Karima, Docteur en Pharmacie

Directrice de thèse : Madame IMBERT Christine, Professeure des Universités en Parasitologie et Mycologie Médicale

Université de POITIERS

Faculté de Médecine et de Pharmacie

ANNÉE : 2024

THÈSE
POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT
DE DOCTEUR EN PHARMACIE

(arrêté du 8 avril 2013)

présentée et soutenue publiquement
le 10 Juillet 2024 à POITIERS
par Madame RAMSAMY Révadi
Née le 12 Janvier 1992

Envenimations marines : le point sur les envenimations par *Physalia* spp

Composition du jury :

Présidente : Madame MARIVINGT-MOUNIR Cécile, Maître de Conférence en Pharmacochimie (HDR)

Membre : Madame OMARJEE Karima, Docteur en Pharmacie

Directrice de thèse : Madame IMBERT Christine, Professeure des Universités en Parasitologie et Mycologie Médicale

LISTE DES ENSEIGNANTS

Année universitaire 2023 – 2024

SECTION MEDECINE

Professeurs des Universités-Praticiens Hospitaliers

- ALBOUY Marion, santé publique – **Référente égalité-diversité**
- BINET Aurélien, chirurgie infantile
- BOISSON Matthieu, anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
- BOULETI Claire, cardiologie
- BOURMEYSTER Nicolas, biochimie et biologie moléculaire
- BRIDOUX Frank, néphrologie
- BURUCOA Christophe, bactériologie-virologie
- CHEZE-LE REST Catherine, biophysique et médecine nucléaire
- CHRISTIAENS Luc, cardiologie
- CORBI Pierre, chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
- COUDROY Rémi, médecine intensive-réanimation – **Assesseur 2nd cycle**
- DAHYOT-FIZELIER Claire, anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
- DONATINI Gianluca, chirurgie viscérale et digestive
- DROUOT Xavier, physiologie – **Assesseur recherche**
- DUFOUR Xavier, Oto-Rhino-Laryngologie – **Assesseur 2nd cycle, stages hospitaliers**
- FAURE Jean-Pierre, anatomie
- FRASCA Denis, anesthésiologie-réanimation
- FRITEL Xavier, gynécologie-obstétrique
- GARCIA Rodrigue, cardiologie
- GERVAIS Elisabeth, rhumatologie
- GICQUEL Ludovic, pédopsychiatrie
- GOMBERT Jean-Marc, immunologie
- GOUJON Jean-Michel, anatomie et cytologie pathologiques
- GUILLEVIN Rémy, radiologie et imagerie médicale
- HAUET Thierry, biochimie et biologie moléculaire
- ISAMBERT Nicolas, cancérologie
- JAAFARI Nematollah, psychiatrie d'adultes
- JABER Mohamed, cytologie et histologie
- JAYLE Christophe, chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
- KARAYAN-TAPON Lucie, cancérologie
- KEMOUN Gilles, médecine physique et de réadaptation *(en disponibilité)*
- LECLERE Franck, chirurgie plastique, reconstructrice
- LELEU Xavier, hématologie
- LEVEQUE Nicolas, bactériologie-virologie – **Assesseur 1er cycle**
- LEVEZIEL Nicolas, ophtalmologie
- MACCHI Laurent, hématologie
- MCHEIK Jiad, chirurgie infantile
- MEURICE Jean-Claude, pneumologie
- MILLOT Frédéric, pédiatrie, oncologie pédiatrique
- MIMOZ Olivier, médecine d'urgence
- NASR Nathalie, neurologie
- NEAU Jean-Philippe, neurologie – **Assesseur pédagogique médecine**
- ORIOT Denis, pédiatrie
- PACCALIN Marc, gériatrie – **Doyen, Directeur de la section médecine**
- PELLERIN Luc, biologie cellulaire
- PERAULT-POCHAT Marie-Christine, pharmacologie clinique
- PERDRISOT Rémy, biophysique et médecine nucléaire – **Assesseur L.AS et 1er cycle**
- PERRAUD CATEAU Estelle, parasitologie et mycologie
- PRIES Pierre, chirurgie orthopédique et traumatologique
- PUYADE Mathieu, médecine interne
- RAMMAERT-PALTRIE Blandine, maladies infectieuses
- RICHER Jean-Pierre, anatomie
- RIGOARD Philippe, neurochirurgie
- ROBLOT France, maladies infectieuses, maladies tropicales
- ROBLOT Pascal, médecine interne
- SAULNIER Pierre-Jean, thérapeutique
- SCHNEIDER Fabrice, chirurgie vasculaire
- SILVAIN Christine, gastro- entérologie, hépatologie – **Assesseur 3e cycle**
- TASU Jean-Pierre, radiologie et imagerie médicale
- THIERRY Antoine, néphrologie – **Assesseur 1e cycle**
- THILLE Arnaud, médecine intensive-réanimation
- TOUGERON David, gastro-entérologie
- WAGER Michel, neurochirurgie
- XAVIER Jean, pédopsychiatrie

Maîtres de Conférences des Universités-Praticiens Hospitaliers

- ALLAIN Géraldine, chirurgie thoracique et cardio-vasculaire *(en mission 1 an à/c 01/11/2022)*
- BEN-BRIK Eric, médecine du travail **(en détachement)**
- BILAN Frédéric, génétique
- BRUNET Kévin, parasitologie et mycologie
- CAYSSIALS Emilie, hématologie
- CREMNITER Julie, bactériologie-virologie
- DIAZ Véronique, physiologie – **Référente relations internationales**
- EGLOFF Matthieu, histologie, embryologie et cytogénétique
- EVRARD Camille, cancérologie
- GACHON Bertrand, gynécologie-obstétrique *(en dispo 2 ans à/c du 31/07/2022)*
- GARCIA Magali, bactériologie-virologie *(absente jusqu'au 29/12/2023)*
- GUENEZAN Jérémy, médecine d'urgence
- HARIKA-GERMANEAU Ghina, psychiatrie d'adultes
- JAVAUGUE Vincent, néphrologie
- JUTANT Etienne-Marie, pneumologie
- KERFORNE Thomas, anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire *(en mission 1 an à/c 01/11/2022)*
- LAFAY-CHEBASSIER Claire, pharmacologie clinique
- LIUU Evelyne, gériatrie
- MARTIN Mickaël, médecine interne – **Assesseur 2nd cycle**
- MASSON REGNAULT Marie, dermato-vénéréologie
- PALAZZO Paola, neurologie *(en dispo 5 ans à/c du 01/07/2020)*
- PICHON Maxime, bactériologie-virologie
- PIZZOFERRATO Anne-Cécile, gynécologie-obstétrique
- RANDRIAN Violaine, gastro-entérologie, hépatologie
- SAPANET Michel, médecine légale

- THUILLIER Raphaël, biochimie et biologie moléculaire
- VALLEE Maxime, urologie

Maître de Conférences des universités de médecine générale

- MIGNOT Stéphanie

Professeur associé des universités des disciplines médicales

- FRAT Jean-Pierre, médecine intensive-réanimation

Professeur associé des universités des disciplines odontologiques

- FLORENTIN Franck, réhabilitation orale

Professeurs associés de médecine générale

- ARCHAMBAULT Pierrick
- AUDIER Pascal
- BIRAULT François
- BRABANT Yann
- FRECHE Bernard

Maîtres de Conférences associés de médecine générale

- AUDIER Régis
- BONNET Christophe
- DU BREUILLAC Jean
- FORGEOT Raphaèle
- JEDAT Vincent

Professeurs émérites

- BINDER Philippe, médecine générale (08/2028)
- DEBIAIS Françoise, rhumatologie (08/2028)
- GIL Roger, neurologie (08/2026)
- GUILHOT-GAUDEFFROY François, hématologie et transfusion (08/2023) – renouvellement 3 ans demandé – en cours
- INGRAND Pierre, biostatistiques, informatique médicale (08/2025)
- LECRON Jean-Claude, biochimie et biologie moléculaire (08/2028)
- MARECHAUD Richard, médecine interne (24/11/2023)
- RICCO Jean-Baptiste, chirurgie vasculaire (08/2024)
- ROBERT René, médecine intensive-réanimation (30/11/2024)
- SENON Jean-Louis, psychiatrie d'adultes (08/2026)

Professeurs et Maîtres de Conférences honoraires

- AGIUS Gérard, bactériologie-virologie
- ALCALAY Michel, rhumatologie
- ALLAL Joseph, thérapeutique (ex-émérite)
- ARIES Jacques, anesthésiologie-réanimation
- BABIN Michèle, anatomie et cytologie pathologiques
- BABIN Philippe, anatomie et cytologie pathologiques
- BARBIER Jacques, chirurgie générale (ex-émérite)
- BARRIERE Michel, biochimie et biologie moléculaire
- BECQ-GIRAUDON Bertrand, maladies infectieuses, maladies tropicales (ex-émérite)
- BEGON François, biophysique, médecine nucléaire
- BOINOTCatherine, hématologie – transfusion
- BONTOUX Daniel, rhumatologie (ex-émérite)
- BURIN Pierre, histologie
- CARRETIER Michel, chirurgie viscérale et digestive (ex-émérite)
- CASTEL Olivier, bactériologie-virologie ; hygiène
- CAVELLIER Jean-François, biophysique et médecine nucléaire
- CHANSIGAUD Jean-Pierre, biologie du développement et de la reproduction
- CLARAC Jean-Pierre, chirurgie orthopédique
- DABAN Alain, cancérologie radiothérapie (ex-émérite)
- DAGREGORIO Guy, chirurgie plastique et reconstructrice
- DEBAENE Bertrand, anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
- DESMAREST Marie-Cécile, hématologie
- DEMANGE Jean, cardiologie et maladies vasculaires
- DORE Bertrand, urologie (ex-émérite)
- EUGENE Michel, physiologie (ex-émérite)
- FAUCHERE Jean-Louis, bactériologie-virologie (ex-émérite)
- FONTANEL Jean-Pierre, Oto-Rhino Laryngologie (ex-émérite)
- GILBERT-DUSSARDIER Brigitte, génétique
- GOMES DA CUNHA José, médecine générale (ex-émérite)
- GRIGNON Bernadette, bactériologie
- GUILLARD Olivier, biochimie et biologie moléculaire
- GUILLET Gérard, dermatologie
- HERPIN Daniel, cardiologie (ex-émérite)
- JACQUEMIN Jean-Louis, parasitologie et mycologie médicale
- KAMINA Pierre, anatomie (ex-émérite)
- KITZIS Alain, biologie cellulaire (ex-émérite)
- KLOSSEK Jean-Michel, Oto-Rhino-Laryngologie
- KRAIMPS Jean-Louis, chirurgie viscérale et digestive
- LAPIERRE Françoise, neurochirurgie (ex-émérite)
- LARSEN Christian-Jacques, biochimie et biologie moléculaire
- LEVARD Guillaume, chirurgie infantile
- LEVILLAIN Pierre, anatomie et cytologie pathologiques
- MAIN de BOISSIERE Alain, pédiatrie
- MARCELLI Daniel, pédopsychiatrie (ex-émérite)
- MARILLAUD Albert, physiologie
- MAUCO Gérard, biochimie et biologie moléculaire (ex-émérite)
- MENU Paul, chirurgie thoracique et cardio-vasculaire (ex-émérite)
- MORICHAU-BEAUCHANT Michel, hépato-gastro-entérologie
- MORIN Michel, radiologie, imagerie médicale
- PAQUEREAU Joël, physiologie
- POINTREAU Philippe, biochimie
- POURRAT Olivier, médecine interne (ex-émérite)
- REISS Daniel, biochimie
- RIDEAU Yves, anatomie
- RODIER Marie-Hélène, parasitologie et mycologie
- SULTAN Yvette, hématologie et transfusion
- TALLINEAU Claude, biochimie et biologie moléculaire
- TANZER Joseph, hématologie et transfusion (ex-émérite)
- TOUCHARD Guy, néphrologie (ex-émérite)
- TOURANI Jean-Marc, cancérologie
- VANDERMARCQ Guy, radiologie et imagerie médicale

Bât. D1 - 6 rue de la Milétrie – TSA 51115 - 86073 POITIERS CEDEX 9 - France
☎05.49.45.43.43 - 🖷 05.49.45.43.05

SECTION PHARMACIE

Professeurs des universités-praticiens hospitaliers

- DUPUIS Antoine, pharmacie clinique – **Assesseur pédagogique pharmacie**
- FOUCHER Yohann, biostatistiques
- GREGOIRE Nicolas, pharmacologie et pharmacométrie
- MARCHAND Sandrine, pharmacologie, pharmacocinétique
- RAGOT Stéphanie, santé publique

Professeurs des universités

- BODET Charles, microbiologie
- CARATO Pascal, chimie thérapeutique
- FAUCONNEAU Bernard, toxicologie
- FAVOT-LAFORGE Laure, biologie cellulaire et moléculaire
- GUILLARD Jérôme, pharmacochimie
- IMBERT Christine, parasitologie et mycologie médicale
- OLIVIER Jean-Christophe, pharmacie galénique, biopharmacie et pharmacie industrielle – **référent relations internationales**
- PAGE Guylène, biologie cellulaire, biothérapeutiques
- RABOUAN Sylvie, chimie physique, chimie analytique (**retraite au 01/12/2023**)
- SARROUILHE Denis, physiologie humaine – **Directeur de la section pharmacie**

Maîtres de conférences des universités-praticiens hospitaliers

- BARRA Anne, immuno-hématologie
- BINSON Guillaume, pharmacie clinique
- THEVENOT Sarah, hygiène, hydrologie et environnement

Maîtres de conférences

- BARRIER Laurence, biochimie générale et clinique
- BON Delphine, biophysique
- BRILLAULT Julien, pharmacocinétique, biopharmacie
- BUYCK Julien, microbiologie (HDR)
- CHAUZY Alexia, pharmacologie fondamentale et thérapeutique
- DEBORDE-DELAGE Marie, chimie analytique
- DELAGE jacques, biomathématiques, biophysique
- GIRARDOT Marion, biologie végétale et pharmacognosie
- INGRAND Sabrina, toxicologie
- MARIVINGT-MOUNIR Cécile, pharmacochimie (HDR)
- PAIN Stéphanie, toxicologie (HDR)
- PINET Caroline, physiologie, anatomie humaine
- RIOUX-BILAN Agnès, biochimie – **Référente CNAES – Responsable du dispositif COME'in – référente égalité-diversité**
- TEWES Frédéric, chimie et pharmacotechnie (HDR)
- THOREAU Vincent, biologie cellulaire et moléculaire
- WAHL Anne, phytothérapie, herborisation, aromathérapie

Maîtres de conférences associés - officine

- DELOFFRE Clément, pharmacien
- ELIOT Guillaume, pharmacien
- HOUNKANLIN Lydwin, pharmacien

A.T.E.R. (attaché temporaire d'enseignement et de recherche)

- ARANZANA-CLIMENT Vincent, pharmacologie
- KAOUAH Zahyra, bactériologie
- MOLINA PENA Rodolfo, pharmacie galénique

Professeur émérite

- COUET William, pharmacie clinique (08/2028)

CENTRE DE FORMATION UNIVERSITAIRE EN ORTHOPHONIE (C.F.U.O.)

- GICQUEL Ludovic, PU-PH, **directeur du C.F.U.O.**
- VERON-DELOR Lauriane, maître de conférences en psychologie

ENSEIGNEMENT DE L'ANGLAIS

- DEBAIL Didier, professeur certifié

CORRESPONDANTS HANDICAP

- Pr PERDRISOT Rémy, section médecine
- Dr RIOUX-BILAN Agnès, section pharmacie

Remerciements

À Madame MARIVINGT-MOUNIR Cécile,
Je tiens à vous exprimer ma sincère gratitude pour avoir accepté de présider le jury de cette thèse. Je vous suis reconnaissante pour le temps et l'énergie que vous consacrerez à l'évaluation de mon travail. Votre présence à la présidence du jury est pour moi un honneur et un privilège.

À Madame Imbert Christine,
Je manque de mots pour vous exprimer toute ma gratitude et ma reconnaissance, non seulement pour avoir accepté de diriger cette thèse, mais aussi pour votre gentillesse, votre bienveillance, votre disponibilité, vos encouragements et vos précieux conseils. Je suis particulièrement reconnaissante pour la rigueur scientifique que vous m'avez inculquée, et qui m'accompagnera tout au long de ma carrière. Sachez que vous serez toujours la bienvenue pour déguster un rougail saucisse.

À mes parents Jean Yves et Clarisse,
Merci pour votre amour, votre présence et votre soutien inconditionnel tout au long de ces années. Merci pour tous vos sacrifices qui m'ont permis de poursuivre mes études en France. Votre soutien, particulièrement dans mes moments les plus difficiles, a été inestimable. Je vous aime profondément et vous suis éternellement reconnaissante.

À mes petits frères Navinkoumar et Natésan,
Merci pour votre amour, votre soutien et vos encouragements constants. Merci d'être toujours présent lorsque j'ai besoin de votre aide. Je vous aime très fort.

À Charlette,
Merci pour ton amitié, ta gentillesse, ta bonne humeur, et ton soutien. Merci pour tous tes conseils, nos fous rires et les innombrables moments passés ensemble. Un énorme merci à tes parents pour leur gentillesse et leurs délicieux plats, ainsi qu'à tes frères pour leur aide précieuse.

À Karima,
Tout d'abord, je tiens à te remercier d'avoir accepté de faire partie de mon jury. Merci à toi de prendre le temps d'évaluer mon travail. Je te suis également reconnaissante pour ton amitié au fil des années, pour toutes nos conversations enrichissantes et les bons moments passés ensemble.

À toutes mes amies,
Marion, Anne-Sophie, Véronique, Alicia, Camille, Natacha, Rebecca, Rachel, merci pour tous les merveilleux moments partagés ensemble.

À tous les pharmaciens et aux équipes officinales qui m'ont accueillie chez eux,
Merci pour votre précieuse aide, votre chaleureux accueil et tous vos précieux conseils.

À Docteur Gin,
Merci d'avoir cru en moi et de m'avoir soutenue tout au long de ces années, surtout dans les moments difficiles.

À Corine, Dominique et Isabelle,
Merci pour votre amitié, votre gentillesse, votre joie de vivre et votre soutien. Notre rencontre est la plus belle chose qui me soit arrivée ces dernières années.

Table des matières

INTRODUCTION....7
Partie I : Envenimation....8
1) Introduction à l'envenimation....8
a) Définition et répartition des animaux venimeux....8
b) Différenciation entre envenimation et intoxication....9
c) Présentation de l'appareil venimeux....10
i. Description des glandes à venin....11
ii. Description de l'appareil inoculant....12
2) Envenimation principales par les animaux terrestres....13
a) Les envenimations par ophidiens....13
i. Les différents appareils venimeux des ophidiens et leur venin....13
ii. Épidémiologie des morsures d'ophidien....18
iii. Manifestations cliniques de l'envenimation par ophidien....20
iv. Gestion de l'envenimation ophidienne : traitement et conduite à tenir en cas de morsure 23
b) Les envenimations par scorpions....24
i. Le telson : l'appareil venimeux des scorpions....25
ii. Épidémiologie de l'envenimation par scorpions dans le monde et en France....26
iii. Manifestations cliniques de l'envenimation par scorpions....28
iv. Traitement des envenimations par scorpions....30
3) Envenimations principales par les animaux marins....30
a) Les envenimations par les raies....31
i. Description de l'appareil venimeux des raies....31
ii. Épidémiologie des piqûres de raies....32
iii. Manifestations cliniques des envenimations par les raies....32
iv. Prise en charge des envenimations par les raies....32
b) Les envenimations par poissons venimeux : exemple des poissons-pierres et des pterois...33
i. Description de l'appareil venimeux....33
ii. Épidémiologie des envenimations....33
iii. Manifestations cliniques des envenimations....34
iv. Prise en charge des envenimations....34
c) Les envenimations par ophidiens marins....35
i. Description de l'appareil venimeux des ophidiens marins....35
ii. Épidémiologie des envenimations par les ophidiens marins....35
iii. Manifestations cliniques des envenimations par ophidiens marins....36
iv. Prise en charge des envenimations par ophidiens de mer....36
d) Les envenimations par cnidaires....37
i. Épidémiologie des envenimations par cnidaires....37
ii. Manifestions cliniques des envenimations par cnidaires....38
iii. Prise en charge et prévention des envenimations par cnidaires....39
Partie II: Les cnidaires....40
1) Cnidaires : fondements et classification....40
a) Présentation et reproduction....40
i. Description des cnidaires....40
ii. Reproduction....42
b) Classification des cnidaires....44
i. Le clade des Endocnidozoaires :....45
ii. La classe des Anthozoaires :....46

iii. Le Clade des Méduzoaires :.....47
c) Le fonctionnement des cnidocytes.....51
i. Mécanisme de décharge du cnidocyte.....52
ii. Le venin des cnidaires : découverte et fonctionnement.....52
d) L'utilisation des cnidaires en santé humaine.....55
i. Les applications dan la régénérescence tissulaire et substitut osseux.....55
ii. Perspectives en tant que composés anti-cancéreux :.....56
iii. Perspectives en tant que composés anti-diabétique :.....57
iv. Perspectives en tant que composés anti-infectieux :.....58
v. Valorisation des cnidaires en tant que sources de protéines fluorescentes :.....58
e) Les organismes coloniaux du genre *Physalia*.....59
2) *Physalia physalis :* l'espèce et ses caractéristiques.....60
a) Taxonomie et répartition géographique.....60
i. Classification.....60
ii. La répartition de *P. physalis* :.....61
b) Description morphologique et cycle de vie.....62
c) Reproduction et développement.....64
d) Aspects nutritionnels.....67
3) *Physalia utriculus*.....67
a) Classification et présentation de *Physalia utriculus*.....67
i. Classification de *P. utriculus* 67
ii. Présentation de *P. utriculus* :.....68
b) Répartition géographique.....69
Partie III: Envenimation par *Physalia* spp.....70
1) Épidémiologie des envenimations et exemple d'un dispositif de surveillance.....70
a) Incidence des envenimations dans différentes région du monde.....70
i. Épidémiologie des envenimations par *P. physalis* en France.....70
ii. Épidémiologie des envenimations et des observations de *P. physalis* en Europe.....72
iii. Épidémiologie des envenimations et des observations de *Physalia* spp en Australie.…72
iv. Épidémiologie des envenimations et des observations de *P. physalis* en Afrique du Nord 73
v. Épidémiologie des envenimations et des observations de *Physalia* spp en Amérique.....73
vi. Épidémiologie des envenimations et des observations de *P. physalis* en Asie :.....77
b) PhysaTox® : exemple d'un dispositif de surveillance en France métropolitaine.....77
2) Caractéristiques cliniques de l'envenimation par *Physalia* spp.....79
a) Manifestations cliniques des envenimations par *Physalia* spp.....79
b) Les complications possibles d'une envenimation par *P. physalis*.....81
3) Traitement et prévention de l'envenimation par *Physalia* spp.....82
a) Prise en charge de l'envenimation par *Physalia* spp.....82
b) Place des « remèdes maisons » dans le traitement de l'envenimation par *Physalia* spp.....83
c) Prévenir les envenimations.....83
CONCLUSION.....85

Liste des abréviations :

ARS : Agence Régionale de Santé

ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail

BFP : Protéine Fluorescente Bleue

CAPTV : Centres Antipoison et de Toxicovigilance

CRS : Compagnie Républicains de Sécurité

ECG : Electrocardiogramme

GFP : Protéine Fluorescente Verte

IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'exploitation de la Mer

InVS : Institut de Veille Sanitaire

MTT : bromure de 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl tetrazolium

NAC : Nouveaux Animaux de Compagnie

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

s.d : sans date

SAMU : Service d'Aide Médicale Urgente

SPF : Santé Publique France

Table des Figures

Figure 1 : Exemple d'un appareil venimeux (crochet et glande) chez un ophidien.....13
Figure 2 : Appareils venimeux des ophidiens.....15
Figure 3 : Schéma de l'appareil venimeux d'un ophidien aglyphe.....16
Figure 4 : Schéma de l'appareil venimeux d'un ophidien opisthoglyphe.....16
Figure 5 : Schéma de l'appareil venimeux d'un ophidien protéroglyphe.....18
Figure 6 : Schéma de l'appareil venimeux d'un ophidien solénoglyphe.....19
Figure 7 : Répartition géographique du nombre estimé d'envenimations par morsure d'ophidien et de décès.....21
Figure 8 : Répartition mensuelle du nombre de morsures d'ophidiens observées par les Centres Antipoison en France métropolitaine entre le 01/01/2012 et le 30/10/2016.....23
Figure 9 : (A) Face dorsale de *Androctonus australis*. (B) Face ventrale *Androctonus australis*.....29
Figure 10 : Répartition géographique et incidence des envenimations par scorpion.....31
Figure 11 : Répartition géographique des piqûres de scorpions en France et dans les territoires d'Outre-mer.....35
Figure 12 : Classification internationale des envenimations par scorpions.....37
Figure 13 : Schéma d'une raie.....39
Figure 14 : *Synanceia verrucosa* par E. Morcel.....43
Figure 15: schéma d'une coupe longitudinale d'un polype *d'Obelia geniculata*.....55
Figure 16: Schéma de la morphologie polype et de la morphologie méduse.....57
Figure 17: Cycle de vie des méduses hydrozoaires © C. Fitoussi.....58
Figure 18: Fission transversale chez *A. stellula*.....59
Figure 19: Fission longitudinale chez *A. elegantissima*.....59
Figure 20: Classification des cnidaires.....60
Figure 21: Coupe transversale de l'actinopharynx de *Megalactis sp* © 2000 Adorian Ardelean.....64
Figure 22: Coupe transversale de l'actinopharynx de *Megalactis sp* © 2000 Adorian Ardelean.....64
Figure 23: *E. cavolini* © T. de Bettignies.....65
Figure 24: *C. gigantea* Biobs © Adrien Weckel.....65
Figure 25: *H. viridissima*.....65
Figure 26: Schéma d'une rhopalie.....67
Figure 27: *P. noctiluca* © Benjamin Guichard Agence des aires marines protégées.....67
Figure 28: *A. aurita* © Vincent Maran.....67
Figure 29: *C. fleckeri*.....68
Figure 30: *C. marsupialis* Biobs © Marguerite et Henri Grateau.....68
Figure 31: *L. quadricornis* © Lysanne Des Landes.....69
Figure 32: *H. octoradiatus*.....69
Figure 33: Schéma d'un cnidocyste avant et après stimulus.....70
Figure 34: Le venin de N. nomurai inhibe la prolifération des cellules de HepG2.....76
Figure 35: *P. physalis*.....80
Figure 36: Carte de répartition de *P. physalis* en France métropolitaine.....82
Figure 37: Carte de répartition mondiale de *P. physalis*.....82
Figure 38: *P. physalis* Linnaeus (1758). © Casey Dunn.....84
Figure 39: Représentation schématique de l'anatomie d'une colonie de *P. physalis*.....86
Figure 40: Photographies de spécimens de *P. physalis* en développement fixés au formol.....88
Figure 41: *P. utriculus*.....91
Figure 42: Carte de répartition mondiale de *P. utriculus*.....92
Figure 43: Répartition dans le temps du nombre de *P. physalis* et des cas d'envenimations humaines sur les plages de Calhau et Sao Marcos, en 2015 et 2016.....98
Figure 44: Éruptions de papules après contact avec *Physalia* spp.....103

Liste des tableaux

Tableau 1: Gradation des envenimations vipérines en Europe.....23
Tableau 2 : Composition des venins des cnidaires.....56
Tableau 3: Caractéristiques des envenimations par *P. physalis* observées sur la côte Atlantique du sud de la France par le Centre Antipoison de Bordeaux depuis 2008.....75
Tableau 4 : Caractéristiques des envenimations par *P. physalis* signalées sur les 15 plages de la province de Yogyakarta, en 2019-2020.....81

Liste des annexes

Annexe 1: Evolution du nombre de cas d'envenimation par *P. physalis*, de 2011 à 2015.....88
Annexe 2: Affiche « Les animaux marins venimeux ».....89

INTRODUCTION

Les envenimations par *Physalia* spp, communément appelée la galère portugaise, représentent un problème de santé publique dans de nombreuses régions côtières à travers le monde. Connue pour son apparence singulière et ses tentacules urticants, cette espèce de siphonophore est souvent confondue avec les méduses, bien qu'elle appartienne à un groupe taxonomique distinct. Les rencontres avec *Physalia* spp peuvent entraîner des envenimations douloureuses et potentiellement dangereuses, affectant non seulement les baigneurs et les pêcheurs, mais aussi les professionnels de santé qui peuvent être amenés à prendre en charge les effets des piqûres.

La première partie de ce travail explore l'envenimation chez les animaux en général, en examinant les mécanismes, l'épidémiologie ainsi que les symptômes et les traitements des envenimations à travers quelques exemples. Cette partie permettra de poser des bases pour comprendre les spécificités de l'envenimation causée par *Physalia* spp.

La deuxième partie se concentre sur les cnidaires, phylum auquel appartient *Physalia* spp. En explorant la biologie, la diversité et les interactions associés à ces organismes marins, nous pourrons mieux appréhender le rôle crucial que jouent les cnidaires, et par extension *Physalia* spp, dans les écosystèmes marins et les interactions avec l'Homme.

Enfin, la troisième partie de cette thèse se penche spécifiquement sur l'envenimation causée par *Physalia* spp. Nous explorerons en détail leur répartition géographique, leur anatomie, ainsi que les mécanismes et les conséquences de leur piqûre. Nous examinerons également les stratégies de prévention, de traitement et de gestion des incidents impliquant ces espèces venimeuses.

En rassemblant ces différentes perspectives, cette thèse vise à fournir une synthèse des connaissances actuelles sur *Physalia* spp, son impact sur les écosystèmes marins et son interaction avec l'Homme. En comprenant mieux ces créatures énigmatiques, nous pourrons mieux appréhender les défis et les opportunités liés à sa présence dans nos océans et sur nos côtes.
La finalité de cette recherche est de contribuer à l'amélioration de la prise en charge des envenimations par *Physalia* spp et de sensibiliser les populations à risque aux mesures de prévention et de traitement disponibles.

Partie I : Envenimation

1) Introduction à l'envenimation

a) Définition et répartition des animaux venimeux

L'envenimation, en raison de sa gravité et de sa prévalence, est un phénomène qui suscite depuis longtemps l'intérêt des scientifiques, des professionnels de santé et du grand public. La compréhension des mécanismes, des symptômes et des traitements des envenimations revêt une importance cruciale pour la santé publique, notamment dans les régions où les rencontres avec des animaux venimeux sont fréquentes.
La première étape pour aborder ce sujet complexe consiste à définir précisément ce qu'est une envenimation et à examiner la répartition des animaux venimeux à travers le monde. Cette introduction vise à fournir une base solide pour la compréhension des envenimations, en mettant en lumière la diversité des espèces animales impliquées et les risques qu'elles représentent pour l'homme.

Selon le dictionnaire médical de l'Académie Nationale de Médecine, l'envenimation se définit comme l'ensemble des troubles consécutifs à l'inoculation d'un venin, c'est-à-dire à l'introduction volontaire ou accidentelle d'une substance venimeuse dans l'organisme par piqûre ou morsure (Dictionnaire médical de l'Académie de Médecine, 2020).

Les animaux venimeux sont répandus à travers le monde et dans divers milieux, bien que leur présence soit plus prononcée dans la zone intertropicale et les zones tempérées chaudes. En milieu terrestre, on peut observer une grande diversité, comprenant toutes les espèces de scorpions, la plupart des araignées (environ 99,9 % des espèces), ainsi que diverses espèces d'ophidiens et d'insectes (notamment les hyménoptères et les fourmis). Dans les milieux aquatiques, on retrouve les espèces du phylum des cnidaires, des raies, des poissons (par exemple : poissons-pierres, vives), des ophidiens de mer, et bien d'autres (Heurtault et al., 1999).

La croissance démographique dans les zones intertropicales, ainsi que les flux migratoires provenant de diverses origines, y compris le tourisme, mettent en évidence la problématique des animaux venimeux en tant que question de santé publique dans les pays concernés. L'épidémiologie des envenimations dépend naturellement du pays considéré et des animaux que les individus peuvent rencontrer à proximité de leur lieu de résidence ou dans leur environnement naturel. L'augmentation des voyages vers des destinations exotiques, parfois accompagnée d'une importation illégale par des collectionneurs d'animaux sauvages, ainsi que la tendance à domestiquer de nouveaux animaux de compagnie (NAC), tels que les araignées et les ophidiens, soulignent la nécessité de connaître tous les risques associés (Morand & Morand, 2024).

Les activités humaines telles que la création de milieux artificiels, la déforestation incontrôlée, les travaux d'irrigation permettant le développement de la filière agricole, les monocultures extensives et l'extension des espaces périurbains ont des conséquences sur la démographie ou le comportement des populations animales. L'anthropisation grandissante augmente le risque de contact avec la faune, notamment avec les espèces venimeuses.

La gravité de l'envenimation dépend de la quantité et de la toxicité du venin inoculé, et donc de l'espèce animale concernée. Elle dépend également de la qualité de la prise en charge de l'accident. L'accès rapide à un traitement efficace est notamment décisif (Chippaux, 2009).

À noter que la létalité et la prévalence des séquelles sont plus élevées dans les pays en développement, non seulement en raison de la présence accrue d'espèces dangereuses, mais également en raison du manque et de l'éloignement des centres de soins, ainsi que l'insuffisance des traitements disponibles (Chippaux & Goyffon, 2006).

Pour la suite de notre étude, il est essentiel de définir le terme venin. Le venin se définit comme une substance toxique, composée d'une ou plusieurs toxines, causant des dommages physiologiques dépendant de la dose qui est transférée passivement ou activement du milieu interne d'un organisme à celui d'un autre via un appareil inoculant et une blessure mécanique. Cette définition a été consolidée par (Nelsen et al., 2014) à partir de l'analyse 28 définitions différentes provenant d'articles traitant du venin, de manuels de toxicologie ou de toxinologie, de dictionnaires scientifiques et de livres consacrés au venin ou aux animaux venimeux.

Les espèces venimeuses utilisent leurs venins pour se nourrir, c'est-à-dire pour capturer, immobiliser et digérer leurs proies, ou pour se défendre. La composition des venins varie d'une espèce à l'autre, mais ils sont généralement constitués d'un mélange de substances comprenant d'une part des toxines, qui ont une action nocive plus au moins spécifique, et d'autre part des composés non toxiques à première vue, mais à des concentrations tellement élevées qu'ils deviennent toxiques. Parmi ces composés, nous pouvons citer des enzymes, des amines biogènes telles que la sérotonine, l'histamine et l'acétylcholine, des ions, ainsi que diverses protéines (telles que la bradykinine par exemple) (Rollard et al., 2015).

Les caractéristiques chimiques et les mécanismes d'action étant propres à chaque venin, il existe une grande diversité de symptômes affectant différents organes et présentant des degrés de sévérité variables, allant de réactions cutanées mineures à un risque potentiel de décès (Heurtault et al., 1999).

b) Différenciation entre envenimation et intoxication

Avant d'aborder l'appareil venimeux et le mécanisme d'envenimation, il est important de clarifier la distinction entre envenimation et intoxication, deux termes souvent confondus mais qui désignent des processus physiologiques distincts, comme nous le verrons dans la suite de cette section.

L'intoxication se caractérise par l'absorption, l'ingestion ou l'inhalation de substances toxiques, pouvant avoir diverses origines : animales, végétales ou chimiques. Cette exposition à des substances nocives entraîne une altération du bon fonctionnement de l'organisme, provoquant divers symptômes, dont la gravité dépend de la nature et de la quantité de substance, ainsi que de la voie d'exposition. Tout comme dans les cas d'envenimation, les symptômes peuvent être légers (comme des nausées ou des étourdissements) ou, dans les cas les plus graves, provoquer la mort (Nkontcheu et al., 2023). À titre d'exemple, nous pouvons citer les intoxications dues à la consommation de poisson vénéneux (exemple : le fugu) (de Haro et al., 2020), ou les intoxications par coquillage bivalve (Cedillo, 2021). Les intoxications après contact avec des amphibiens

produisant un mucus toxique peut également être classées dans cette catégorie (Labadie et al., 2016).

Contrairement à l'intoxication, l'envenimation ne se produit que chez les espèces animales munies d'un appareil inoculant capable d'injecter un venin produit par des glandes à venin. Ainsi, on distingue les animaux venimeux, toxiques grâce à leur venin et leurs appareils inoculants, des animaux vénéneux, toxiques par ingestion ou simple contact, qui ne possèdent pas de dispositif d'injection ou de glandes à venin (Chippaux & Goyffon, 2006).

Il est donc important de faire la distinction entre l'envenimation ou l'intoxication car les traitements et les interventions médicales nécessaires diffèrent en fonction de la nature spécifique de la toxine impliquée. C'est pourquoi il est essentiel de comprendre les mécanismes d'envenimation, de connaître les différents tableaux cliniques et d'appliquer les traitements appropriés afin d'assurer une prise en charge rapide et adaptée, réduisant ainsi les risques de complications et de décès (Heurtault et al., 1999).

Au cours de notre recherche bibliographique, nous avons constaté que plusieurs auteurs ne font pas la distinction entre envenimation et intoxication et utilisent le terme d'envenimation même en l'absence d'appareil inoculant ou de glande à venin. Il est donc important de préciser que, pour la suite de notre étude, nous avons choisi de ne traiter que des espèces possédant un appareil inoculant et une glande à venin. De plus, devant le nombre important d'animaux répondant à ces critères, nous nous concentrerons dans ce document sur les animaux les plus étudiés et les mieux documentés.

c) Présentation de l'appareil venimeux

La fonction venimeuse est exécutée par une variété d'appareils qui diffèrent considérablement entre les groupes zoologiques. Les appareils venimeux doivent donc être vus comme des adaptations spécialisées à chaque espèce.

Malgré cette diversité, les appareils venimeux sont des dispositifs complexes associant deux structures : une glande sécrétrice de venin et un appareil inoculant (Figure 1).
Voici quelques exemples d'appareils inoculants et les espèces chez lesquelles ils peuvent être rencontrés :

- Soies urticantes : présentes chez les annélides, les insectes lépidoptères et les mygales.
- Cnidocytes : présents chez tous les cnidaires.
- Dards et stylets : observés chez les scorpions, les insectes hyménoptères, les gastéropodes conidés et les poissons venimeux.
- Crochets : caractéristiques des ophidiens et de certaines araignées.

En fonction des groupes zoologiques, leur localisation varie considérablement, mais ils sont le plus souvent situés autour de la région buccale (par exemple chez les ophidiens), dans les organes préhenseurs (par exemple chez les cnidaires), à l'arrière du corps (par exemple chez les scorpions) ou même à des endroits exposés, tels que les poils urticants des chenilles (Rollard et al., 2015).

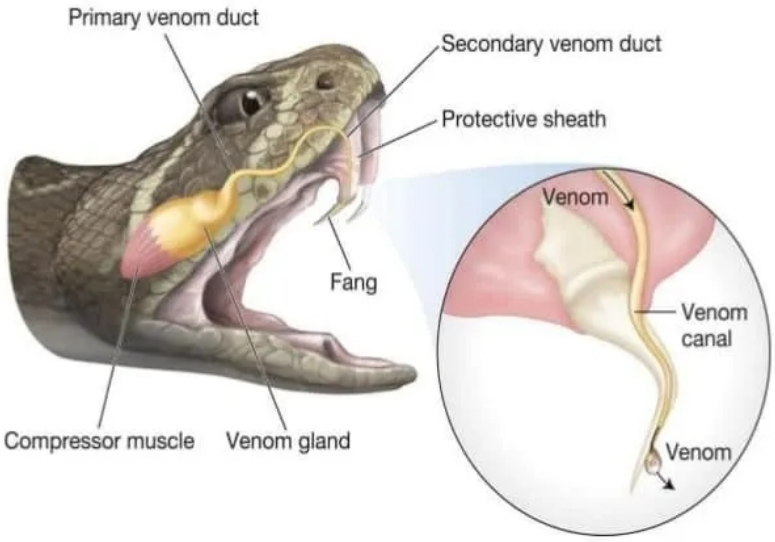


Figure 1 : Exemple d'un appareil venimeux (crochet et glande) chez un ophidien (Pacey, 2022)

i. Description des glandes à venin

Les glandes chez les animaux venimeux présentent une grande diversité de structures et de fonctionnalités. Elles sont pluricellulaires et exocrines, et ont généralement une origine embryologique ectodermique. Elles peuvent adopter différentes formes, telles que acineuses ou tubuleuses ; être simples ou composées (Rollard et al., 2015). Elles sont parfois superficielles, situées en surface, comme c'est le cas chez certains poissons venimeux. De nombreuses glandes venimeuses produisent une sécrétion protéique, régulée selon les étapes normales de la sécrétion protéique intracellulaire. Cette sécrétion est ensuite expulsée par exocytose à travers des canaux excréteurs, uniques ou ramifiés, qui débouchent dans les acini ou les tubes glandulaires (Heurtault et al., 1999 ; Rollard et al., 2015).

Dans certains cas, le venin est élaboré par deux glandes successives, dont les produits agissent de manière synergique. Ces glandes de type « réacteur » nécessitent que les produits de sécrétion interagissent pour former le venin. Les glandes peuvent également être associées à des réservoirs non glandulaires permettant l'accumulation du venin, comme c'est le cas chez les hyménoptères.

Ni la toxicité ni la quantité de venin injecté ne dépendent de la taille des glandes. En effet, la taille des glandes peut varier considérablement au sein d'un même groupe zoologique, que ce soit chez les ophidiens ou chez les araignées, sans influence sur la toxicité ou la quantité de venin injecté. Par exemple chez les araignées la glande peut être située uniquement dans les chélicères ou bien s'étendre dans tout le thorax. De plus, la localisation des glandes peut varier d'un groupe zoologique à l'autre, avec des positions plus ou moins proches de l'appareil inoculant lui-même (Heurtault et al., 1999 ; Rollard et al., 2015).

ii. Description de l'appareil inoculant

L'appareil inoculant a pour rôle d'injecter du venin dans la proie. Il s'agit de franchir la barrière corporelle de la proie et bien souvent la barrière vasculaire. Il comporte deux parties : le dispositif d'injection et le dispositif de pénétration. Les modalités d'action de l'appareil dépendent de l'espèce, il peut s'agir d'une piqûre ou d'une morsure.

Le dispositif d'injection comprend la glande à venin et des muscles associés afin de propulser le venin hors de la glande. Le dispositif peut se présenter sous deux formes distinctes (Seifert et al., 2022) :

- Un dispositif en forme de poire : il s'agit du dispositif le plus couramment retrouvé. Il est constitué de la glande à venin et les muscles disposés autour ou en aval de la glande. Les muscles peuvent être autour de chaque cellule glandulaire (comme chez les myriapodes) ou autour d'une glande complexe, ce qui représente la majorité des cas. La contraction musculaire permet l'expulsion du venin vers les organes vulnérables de la proie, et il permet également à l'animal de contrôler la quantité de venin à injecter. Ceci permet de dire qu'il n'existe pas de volume prédéfini de venin à injecter lors d'une morsure ou d'une piqûre.
  Ce dispositif est retrouvé chez les ophidiens, les araignées ou les insectes (exemple : aiguillon de guêpe).
- Le dispositif de la seringue à piston : il s'agit d'un dispositif plus rare, trouvé par exemple dans l'aiguillon de l'abeille. Il comprend la glande à venin et des muscles qui forment un système de piston pour exercer une pression sur la glande afin d'expulser le venin.

Le dispositif de pénétration est un dispositif acéré à son extrémité pour faciliter la pénétration de la barrière corporelle de la proie. Ce sont des structures conçues pour faciliter l'entrée du venin dans la proie en perforant ou en déchirant les tissus (Rollard et al., 2015). Nous pouvons citer :

- L'aiguille : il s'agit du dispositif le plus simple. Il est constitué d'une partie effilée qui permet une pénétration efficace et un retrait rapide ; il est le plus souvent lisse à ouverture sub-terminale qui empêche le canal (par lequel s'écoule le venin) de se boucher. Comme exemple, nous pouvons citer les crochets des ophidiens, l'aiguillon du scorpion ou les chélicères des araignées.
- La pointe de harpon : cette structure ressemble à un stylet et est caractérisée par une pointe effilée et barbelée. La pointe est conçue pour permettre une pénétration efficace dans les tissus de la proie, tout en fournissant un mécanisme de retenue pour empêcher le retrait facile de la pointe après l'injection, ce qui augmente la douleur et les dommages causés à la proie. Ce dispositif est retrouvé chez les cnidaires.
- La scie : ce dispositif est caractérisé par la présence d'au moins deux stylets perforants et barbelés. La pénétration des tissus est obtenue par cisaillement grâce aux mouvements alternatifs des stylets. Nous pouvons citer par exemple les épines du poisson-pierre.

La localisation de l'appareil inoculant varie considérablement selon les groupes ; il est souvent situé près de la région buccale (ophidiens), parfois dans les organes de préhension (cnidaires), ou à l'ar-

rière du corps (scorpions, hyménoptères), ou à des endroits relativement exposés (poils urticants des chenilles et des araignées) (Rollard et al., 2015).

2) Envenimation principales par les animaux terrestres

En milieu terrestre, les arthropodes venimeux sont très nombreux : arachnides, myriapodes, insectes. Parmi les vertébrés, batraciens et ophidiens prédominent (Goyffon & Chippaux, 1990).

Dans ce travail, nous allons nous limiter à deux exemples : les envenimations par ophidiens (plus communément connus sous le nom de serpents) et les envenimations par scorpions.

a) Les envenimations par ophidiens

En 2018, plus de 3500 espèces d'ophidiens étaient recensées (Ossiboff, 2018). Les ophidiens sont des reptiles allongés et sans pattes avec un corps recouvert d'écailles ; ils possèdent une tête distincte et un corps cylindrique qui se rétrécit vers une queue effilée.

i. Les différents appareils venimeux des ophidiens et leur venin

Chez les ophidiens la glande à venin est généralement localisée le long de la mâchoire supérieure, en arrière de l'œil, et reliée par un canal excréteur à la base du crochet venimeux.

Les différents types d'appareils venimeux retrouvés chez les ophidiens.

Les ophidiens peuvent être classés en fonction de la morphologie de leur appareil venimeux. Il existe en effet quatre morphologies différentes, et donc quatre groupes d'ophidiens (Figure 2) : les aglyphes, les opisthoglyphes, les protéroglyphes et les solénoglyphes (Chippaux & Goyffon, 2006).

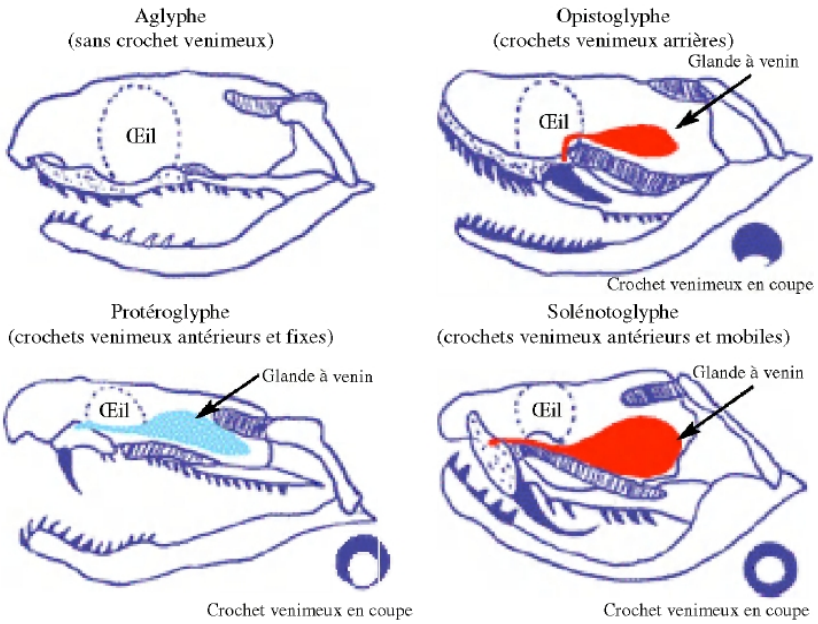


Figure 2 : Appareils venimeux des ophidiens (Chippaux, 2002)

- Les ophidiens aglyphes (Figure 3) : ils ne possèdent pas de glande venimeuse et ne sont donc pas venimeux. Ce dispositif se trouve chez les boas, les pythons et la majorité des couleuvres (à l'exception de la couleuvre de Montpellier et la couleuvre vipérine). Ils ne seront pas traités dans le cadre de notre thèse.

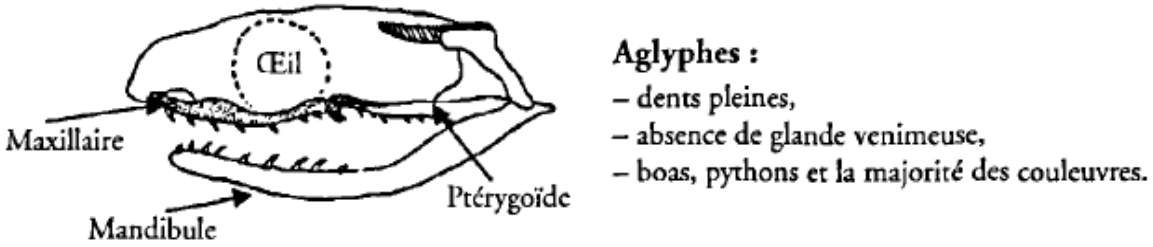


Figure 3 : Schéma de l'appareil venimeux d'un ophidien aglyphe (Chippaux, 2002)

- Les ophidiens opisthoglyphes (Figure 4) : ils possèdent des crochets sillonnés le long d'une ou plusieurs dents, en arrière de la mâchoire. Cette structure permet au venin de pénétrer dans les tissus de la proie. Selon les espèces, le sillon peut adopter différentes formes, telles qu'une gouttière ou un crochet cannelé avec une ouverture souvent large afin de permettre un écoulement aisé du venin, car il ne possède pas de muscle associé à la glande et l'inoculation se fait donc par capillarité lors de la morsure. Les ophidiens opisthoglyphes possèdent une glande tubulaire ramifiée, produisant des sécrétions séreuses élaborées ainsi que des sécrétions muqueuses contenant des enzymes, comme des protéases, des cholinestérases, des phosphatases, des hyaluronidases, des collagénases, des phospholipases ainsi que diverses enzymes agissant sur la coagulation sanguine (Chippaux, 2002 ; Guyadec, 2022).

  L'envenimation est généralement moins grave en raison de la faible quantité de venin produite et stockée ainsi que la localisation en arrière des crochets sillonnés. Seules quelques espèces telles que *Dispholidus typus* et *Thelotornis* spp. possèdent un venin hautement toxique et ont pu être responsables d'envenimations mortelles. Le *Malpolon monspessulanus*, que l'on peut retrouver en France métropolitaine, fait partie des ophidiens opisthoglyphes (Goyffon & Chippaux, 1990).

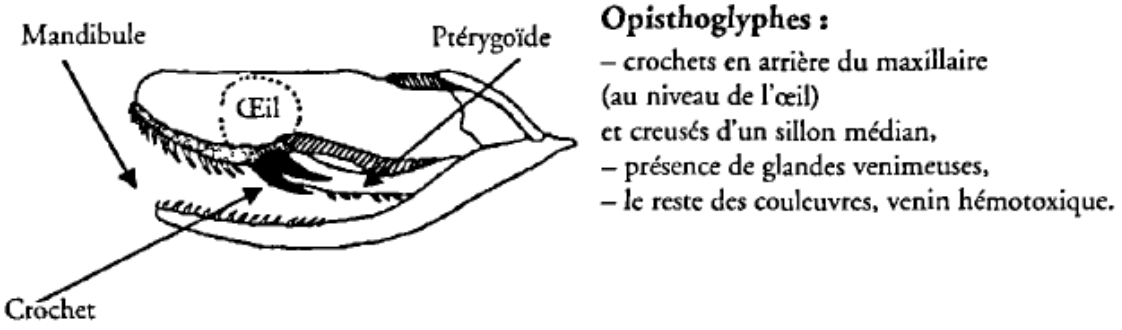


Figure 4 : Schéma de l'appareil venimeux d'un ophidien opisthoglyphe (Chippaux, 2002)

- Les ophidiens protéroglyphes (Figure 5) : ils possèdent une mâchoire relativement courte qui a acquis une certaine mobilité, qui lui permet un mouvement de bascule autour du ptérygoïde. La mâchoire porte un ou plusieurs crochets cannelés fixes, munis d'un sillon pratiquement clos, suivis de 1 à 15 dents pleines à l'arrière.
  La glande à venin est entourée d'une gaine fibreuse et est localisée à l'arrière de l'œil, en région temporale, où elle apparaît piriforme. Il s'agit d'une glande lobulée composée de cellules séreuses disposées en acini ; les sécrétions sont stockées dans des granules cytoplasmiques avant de rejoindre la lumière de la glande. De plus, des glandes muqueuses accessoires sont disposées le long du conduit efférent et se déversent dans le canal excréteur, qui s'ouvre à la base du crochet.
  Le venin est riche en toxines agissant sur des récepteurs cellulaires spécifiques et comprend un nombre restreint d'enzymes. L'expulsion du venin se fait par la contraction de muscles entourant la glande, ce qui permet de mettre en pression le venin et de l'éjecter à distance.
  À ce groupe se rattachent deux familles, les *Elapidae* et les *Hydrophidae*. Certaines espèces, notamment *Naja nigricollis* et *Naja mossambica* sont capables de projeter leur venin à distance (de l'ordre de 2 ou 3 mètres) sous forme de fines gouttelettes (Chippaux, 2002 ; Goyffon & Chippaux, 1990).

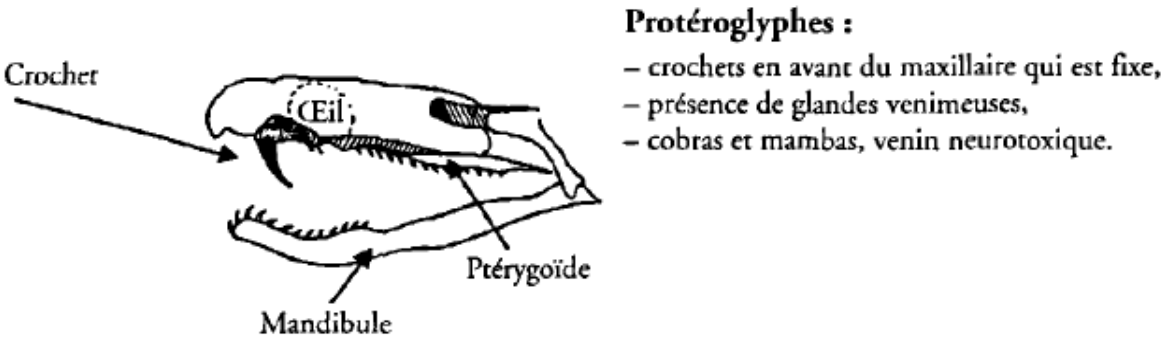


Figure 5 : Schéma de l'appareil venimeux d'un ophidien protéroglyphe (Chippaux, 2002)

- Les ophidiens solénoglyphes (Figure 6) : leur mâchoire est raccourcie et comporte une paire de crochets longs, canaliculés, rétractiles, dont le sillon se ferme complètement pour former un conduit isolé, permettant d'inoculer le venin sous pression. Au repos, les crochets sont repliés contre le palais et se redressent au moment de la morsure. Il existe des crochets de remplacement prêts à prendre la place des crochets fonctionnels si ces derniers tombent. C'est le dispositif d'inoculation le plus élaboré chez les ophidiens. L'inoculation du venin s'accomplit dans un geste rapide tenant plus de la piqûre que de la morsure.
  La glande à venin se situe en région temporale. C'est une glande séreuse, divisée en lobes, et chacune des cellules présentes dans la portion centrale de la glande est capable de synthétiser l'ensemble des constituants du venin. Ces constituants sont fabriqués successivement par la cellule sécrétrice et/ou à des vitesses différentes, ce qui peut expliquer une variation de toxicité du venin au cours du cycle sécrétoire. La lumière de chaque lobe permet le stockage d'une grande quantité de venin et le canal excréteur présente des renflements sécrétant du mucus. Il s'ouvre directement à la base du crochet venimeux. La

glande venimeuse est entourée d'une forte musculature, qui assure une injection sous pression du venin. L'action toxique particulièrement rapide du venin vient compléter ce dispositif élaboré en empêchant la proie de s'éloigner. La composition du venin est complexe et principalement constituée d'enzymes nombreuses et variées.
Dans ce groupe, nous retrouvons les ophidiens de la famille des *Viperidae* et du genre *Atractaspis* (Chippaux, 2002 ; Goyffon & Chippaux, 1990 ; Guyadec, 2022).

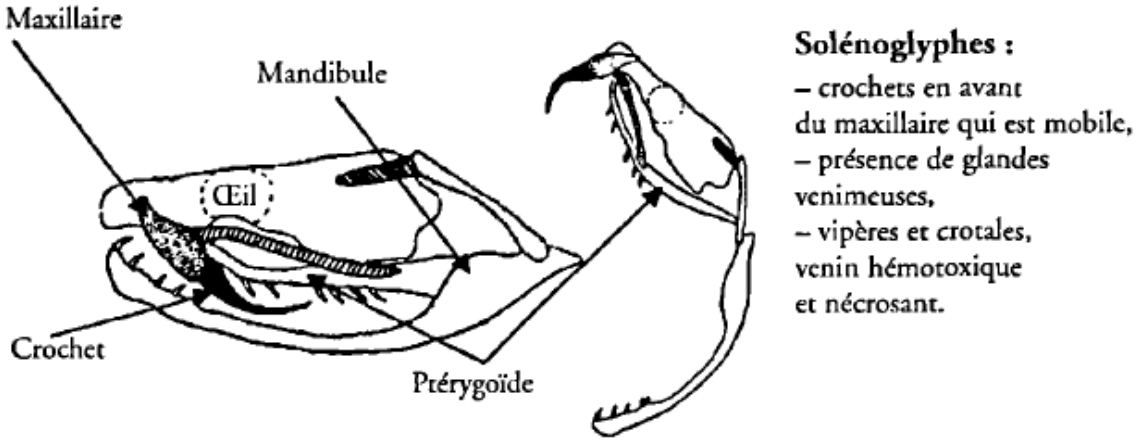


Figure 6 : Schéma de l'appareil venimeux d'un ophidien solénoglyphe (Chippaux, 2002)

<u>Les composants retrouvés dans les venins d'ophidiens.</u>

Les venins possèdent un double objectif : immobiliser rapidement la proie et commencer la digestion. Ils sont essentiellement composés d'enzymes et de toxines, tels que (Goyffon & Chippaux, 1990) :

- Des phospholipases qui hydrolysent les phospholipides libres, ce qui provoque une hémolyse, et surtout les phospholipides membranaires. Elles peuvent agir seules ou en synergie avec d'autres composés du venin pour augmenter la perméabilité cellulaire. À faible concentration, les phospholipases peuvent augmenter l'excitabilité des membranes cellulaires ; et à forte concentration, elles peuvent inhiber des fonctions membranaires normales telles que la transmission de l'influx nerveux, voire provoquer une cytolyse.
- Des estérases qui sont capables d'hydrolyser les nucléotides ou l'acétylcholine. Elles peuvent également catalyser la formation de kinines, substances capables d'agir sur la pression artérielle.
- Des hyaluronidases qui favorisent la diffusion des substances toxiques du venin.
- Des protéases qui provoquent la destruction tissulaire, conduisant en partie à la nécrose.
- Des enzymes de type thrombinique peuvent se substituer plus ou moins spécifiquement à l'une des enzymes humaines qui activent la coagulation. Par exemple, la coagulation peut être activée en amont de la formation de fibrine. Nous pouvons également citer le venin de *Vipera russelli***,** comme celui de nombreux *Crotalidae*, qui active le facteur X ; ou la plupart des venins de *Viperidae*, notamment *Vipera aspis,* qui possèdent un complexe enzymatique activant le facteur V. Le venin *d'Echis carinatus* contient une glycoprotéine qui transforme la prothrombine en thrombine.

- Des toxines qui sont capables de se fixer sur des récepteurs cellulaires spécifiques dont elles inhibent ou perturbent le fonctionnement. Par exemple, les cytotoxines ont une grande diversité d'effets pharmacologiques (contraction de la fibre musculaire striée, dépression cardio-musculaire, hémolyse, etc.), et provoquent une brusque dépolarisation irréversible de la membrane cellulaire. Les neurotoxines peuvent bloquer la transmission neuromusculaire. Les toxines post-synaptiques se lient au récepteur de l'acétylcholine de la jonction neuro-musculaire et entraînent une paralysie flasque des muscles squelettiques. Ces protéines appartiennent à deux groupes structuraux : les neurotoxines courtes (60-62 acides aminés, 4 ponts disulfures) et les longues (66-74 acides aminés, 5 ponts disulfures). I1 est possible que les neurotoxines courtes atteignent plus rapidement leur cible, mais les neurotoxines longues auraient une liaison plus forte avec le récepteur cellulaire. Les toxines pré-synaptiques, plus volumineuses et plus complexes que les précédentes, empêchent la libération de l'acétylcholine.

ii. Épidémiologie des morsures d'ophidien

Chaque année, il est estimé que près de 5 millions de personnes dans le monde sont mordues par des ophidiens, et entre 1,8 à 2,7 millions de cas d'envenimations surviennent (Figure 7). Dans 50 % des cas, le plus souvent en Afrique et Asie du Sud-est, l'envenimation nécessite une intervention médicale rapide et un sérum antivenimeux adapté. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), ces envenimations causent chaque année entre 94 000 et 125 000 décès dans le monde, et dans 400 000 cas, la victime souffre d'un handicap à la suite de la blessure (OMS, 2023).

Toujours selon l'OMS, environ 2 millions de personnes sont mordues par des ophidiens venimeux chaque en année en Asie, et en Afrique, on estime entre 435 000 et 580 000 le nombre de morsures nécessitant un traitement. Il est difficile d'avoir le nombre exact de cas d'envenimations et de décès car, dans de nombreux pays où les morsures d'ophidiens sont fréquentes, les systèmes de santé ne disposent pas des infrastructures et des ressources pour collecter des données statistiques solides sur ce problème (OMS, 2023). Évaluer l'impact réel est plus difficile car seul un petit nombre de cas sont signalés aux ministères de la Santé par les cliniques et les hôpitaux. De nombreuses victimes, en raison de facteurs socio-économiques et culturels, ne consultent jamais les services de santé primaires et ne sont donc pas comptabilisées. Ces facteurs influent sur le choix des traitements, avec de nombreuses victimes préférant des remèdes traditionnels aux soins hospitaliers.

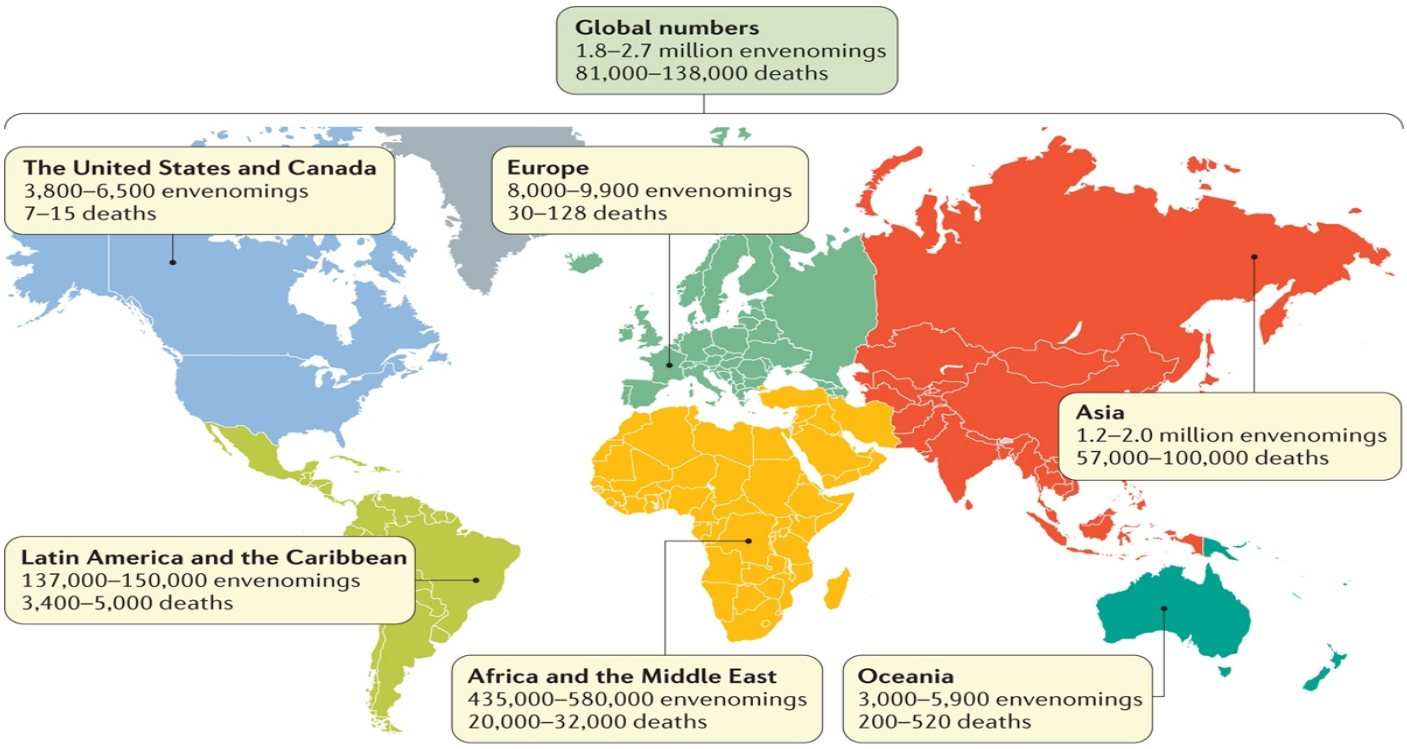


Figure 7 : Répartition géographique du nombre estimé d'envenimations par morsure d'ophidien et de décès (Gutiérrez et al., 2017)

Contrairement aux régions tropicales et subtropicales, l'envenimation ophidienne est rare dans les pays tempérés (Figure 7) ; on estime entre 30 et 128, le nombre de décès par an en Europe.

En France, les ophidiens venimeux autochtones se trouvent principalement :

- au sud de la Loire dans les environnements secs, avec *V. aspis* ;
- dans le nord ainsi que dans une partie du Massif central, généralement en altitude, où l'on retrouve *Vipera berus*.

Le *Vipera ursinii* est plus rare et se trouve dans les Alpes-de-Haute-Provence, tandis que *Vipera seoanei* est présente au Pays basque et *Vipera ammodytes* près de la frontière italienne (Morand & Morand, 2024).

Dans le bulletin de vigilance de l'Anses de Mars 2017, est publié une répartition mensuelle du nombre de morsures d'ophidiens en France métropolitaine d'après les cas signalés aux Centres Antipoisons de Janvier 2012 à Novembre 2016 (Figure 8), permettant de constater une incidence plus importante des morsures d'Avril à Septembre, probablement liée à la sortie d'hibernation de ces espèces, ainsi qu'à des températures plus clémentes encourageant les promenades, ce qui augmente le risque de rencontre avec ces espèces. Selon l'Anses 90 % des morsures surviennent pendant cette période (Sinno-Tellier, 2017).

En 2016, sur les 369 cas rapportés aux CAP, 61 % étaient dus à une vipère, 8 % à une couleuvre, et dans 31 % des cas, l'ophidien n'a pas pu être identifié. Un tiers de ces envenimations ont nécessité un sérum antivenimeux (Sinno-Tellier, 2017).

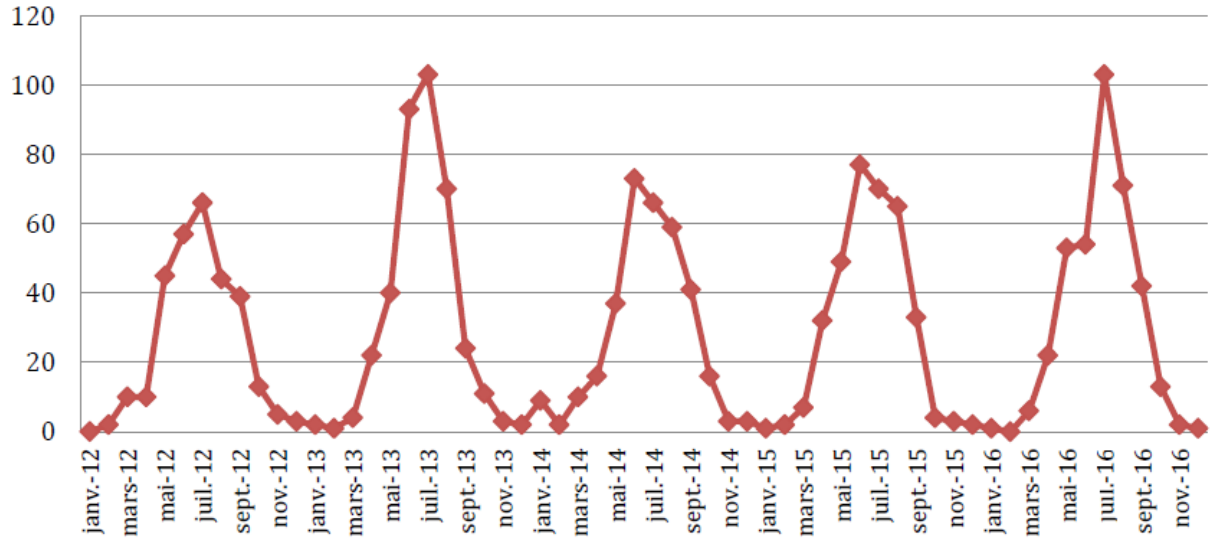


Figure 8 : Répartition mensuelle du nombre de morsures d'ophidiens observées par les Centres Antipoison en France métropolitaine entre le 01/01/2012 et le 30/10/2016 (Sinno-Tellier, 2017)

En ce qui concerne les territoires d'Outre-mer, en Martinique, *Bothrops lanceolatus* est responsable d'une vingtaine de morsures par an, et *Bothrops atrox* est le principal responsable d'envenimations ophidiennes en Guyane française (Morand & Morand, 2024).

La plupart des morsures survient au niveau des extrémités inférieures de l'Homme, généralement aux alentours du crépuscule ou de l'aube (Friday & Depenbrock, 2014). Selon (Goyffon & Chippaux, 1990), il faut distinguer deux types de morsures : les morsures accidentelles, qui se produisent dans la nature lors de rencontre avec le ophidien ; et les morsures hasardeuses, qui surviennent lors d'une manipulation volontaire de l'animal. La plupart de ces morsures hasardeuses sont imputées aux NAC, de plus en plus observés en France métropolitaine. Dans ce cas, la connaissance de l'espèce ainsi que la proximité des centres de soins rend le pronostic favorable.

iii. Manifestations cliniques de l'envenimation par ophidien

Les variabilités dans la composition du venin de ophidien sont responsables des diverses manifestations cliniques, allant de lésions tissulaires locales à des effets généraux potentiellement mortels.

Plusieurs facteurs peuvent modifier l'effet toxique des venins et sont à prendre en compte pour les symptômes (Guyadec, 2022) :

- La quantité de venin injecté : un ophidien est capable d'injecter entre 10 % à 50 % de sa capacité glandulaire lors de la morsure. La quantité injectée varie selon différents facteurs, tels que : l'espèce de ophidien, les circonstances (attaque ou défense), la taille du ophidien et de sa proie et le nombre de morsures déjà réalisées par le ophidien.
- La localisation de la morsure : les morsures au niveau de la tête et du tronc sont plus mortelles que celles touchant les membres.

- Le poids et l'âge de la victime : les morsures sont plus graves chez l'enfant à cause de leur masse corporelle plus faible.
- La sensibilité au venin est variable d'un individu à un autre.
- Le type de venin : la virulence du venin d'une même espèce de ophidien peut varier selon la région géographique et les envenimations sont généralement plus grave dans les régions tropicales.

Les manifestations cliniques peuvent donc être très variables. Dans tous les cas, la douleur est constante. Il est important de rechercher les traces de morsure, notamment afin d'identifier si elle a été réalisée par un ophidien possédant des crochets et possiblement venimeux. Pour cela, on repère deux plaies ponctiformes séparées d'environ 1 cm, fréquemment entourées d'un œdème et/ou d'ecchymoses. En l'absence de venin, l'évolution est favorable et, dans le cas contraire, des signes cliniques vont apparaître dans les heures qui suivent.

Il peut arriver qu'une morsure ne soit pas accompagnée d'injection de venin, il s'agit alors d'une morsure sèche. Les symptômes sont alors liés à la morsure (douleurs) et il n'y pas de symptômes généraux. En cas de morsure avec injection de venin, les premiers symptômes locaux sont des douleurs vives au site de la morsure, ainsi qu'un œdème accompagné d'ecchymoses. L'œdème peut s'étendre localement à une partie ou à tout le membre. Les symptômes généraux qui peuvent apparaître de 30 minutes à quelques heures après la morsure incluent (Gutiérrez et al., 2017) :

- des symptômes digestifs tels que : des nausées, des vomissements, des maux de ventre et des diarrhées ;
- des symptômes cardiovasculaires tels que : des malaises, des chutes de tension artérielle, une tachycardie ;
- des troubles cutanées tels que la nécrose ;
- des troubles respiratoires tels que des dyspnées ;
- un choc anaphylactique ;
- des troubles neurologiques tels que la confusion et des vertiges.

En cas d'envenimation par une vipère, il existe un risque de complication appelé le syndrome vipérin (Serghini et al., 2016). Ce syndrome associe une inflammation locale, des troubles cutanés, des nécroses et des troubles hématologiques. Une fois le venin injecté, la destruction des tissus environnants débute et crée une thrombose extensive le long des axes vasculaires (Morand & Morand, 2024). La douleur vive est immédiate et parfois syncopale, à type d'écrasement, permanente, et irradiant vers la racine du membre atteint.
L'œdème apparaît rapidement, il est dur et tendu. Au niveau cutané, la peau est inflammatoire, érythémateuse, purpurique, se fissure et finit par s'ischémier. La nécrose est progressive et débute dans la zone d'injection, ce qui explique qu'elle puisse être initialement profonde.
Au bout de quelques heures, apparaissent les premiers symptômes d'une coagulation intravasculaire disséminée tels qu'un saignement prolongé au site de la morsure, des hémorragies au point de ponction, un purpura, des épistaxis, une hématurie, une hémoptysie, une hématémèse ou des rectorragies, des métrorragies ou encore une hémorragie méningée généralement mortelle. De plus, des signes digestifs comme des diarrhées, des vomissements, ainsi qu'une fièvre à 39°C, des

dyspnées asthmatiformes avec œdème glottique d'origine immunoallergique ou un œdème pulmonaire de type lésionnel peuvent survenir (Gutiérrez et al., 2017 ; Morand & Morand, 2024).

À partir de ces symptômes, a été créée en Europe, une gradation clinique des envenimations vipérines, comportant 4 grades, allant du grade 0 (morsure sèche) au grade III (le plus sévère) (Tableau 1).

Tableau 1 : Gradation des envenimations vipérines en Europe (Boels et al., 2009)

Gradation des envenimations vipérines en Europe		
Grade d'envenimation	Symptômes	Traitement
Grade 0	Aucun symptôme, marque des crochets, pas d'œdème pas de réaction locale	Observation 4 h à l'hôpital pour être sûr que cela n'évolue pas vers un grade 1.
Grade I	Œdème localisé autour de la morsure / douleur pas de symptômes généraux	Antiseptique local. Biologie toutes les 6 h. **Surveillance 24 h** à l'hôpital pour être sûr que cela n'évolue pas vers un grade 2.
Grade II a	Œdème extensif de la main ou pied +/- suffusion hématique, +/- adénopathie satellite ou saignement persistant au point de morsure.	Sérum antivenimeux le plus précocement possible, au mieux dans les 6 premières heures mais encore possible 36 h après la morsure dans les formes sévères.
Grade II b	Grade IIa + : Signes généraux : nausées, vomissements, diarrhée, hypotension, sueurs (ils sont possibles avant l'apparition de signes locaux). et/ou Signes biologiques : GB ≥ 15000/mm³ , TP ≤ 60 %, Plaquettes ≤ 150000/mm³, Fibrinogène ≤ 2 g/l, D-dimères augmentés	
Grade III	Extension de l'œdème au tronc, signes généraux sévères : réaction anaphylactoïde, choc, œdème pulmonaire, insuffisance rénale, coagulopathie …	

De même, en cas d'envenimation par un ophidien de la famille des Elapidae ou du genre *Bungarus*, une complication nommée le syndrome cobraïque peut survenir (Mion & Larréché, 2008). Les manifestations précoces du syndrome cobraïque peuvent être un ptôsis bilatéral, ou la paralysie d'une paire crânienne pouvant provoquer une diplopie et une ophtalmoplégie. Il est également possible d'observer des trémulations ou des contractures musculaires. D'autres symptômes incluent un trouble de la déglutition, une dysphonie, une sensation de soif et sécheresse des muqueuses, des céphalées, des acouphènes, des convulsions, un trouble de la conscience. Quelques symptômes digestifs sont également décrits tels que des nausées et des vomissements. Très rapidement une paralysie respiratoire s'installe pouvant provoquer la mort en 24 heures (Mion & Larréché, 2008).

Cette appellation peut porter à confusion car ce syndrome n'est pas limité aux morsures de cobras. La totalité des espèces de la famille des Elapidae est capable d'induire un tel syndrome, ainsi que des ophidiens d'autres familles tels que certains Crotalinae ou plusieurs espèces ou sous-espèces de vipère.

En cas de prise en charge tardive ou inadaptée d'une morsure, des séquelles sont possibles. Il peut y avoir des amputations, des déficits fonctionnels (une insuffisance rénale par exemple) et des greffes cutanées. D'où l'importance d'identifier, lorsque c'est possible, l'espèce responsable de la morsure, ainsi que de prendre en charge le plus rapidement les cas d'envenimations modérées ou sévères (Chippaux, 2015).

iv. Gestion de l'envenimation ophidienne : traitement et conduite à tenir en cas de morsure

La prise en charge des envenimations repose sur l'administration d'un traitement symptomatique en cas d'envenimation ne présentant pas de signes généraux. En cas d'envenimation plus sévère, il est nécessaire d'administrer un traitement spécifique, le sérum antivenimeux, aussi appelé dans la littérature sérothérapie antivenimeuse ou antivenin. En plus de l'administration intraveineuse de sérum antivenimeux, d'autres traitements peuvent être nécessaires tels que des analgésiques, un support ventilatoire et une antibiothérapie.

L'examen clinique d'un sujet envenimé doit être complet, soigneux et répété. Il faut dessiner les limites de l'érythème, de l'éventuel purpura ou de la nécrose. Tout symptôme évoquant un trouble de l'hémostase impose l'hospitalisation en urgence. Il faut rechercher des signes d'anaphylaxie (bronchospasme, angio-œdème, hypotension), ainsi que des anomalies neuropsychiques. Même lorsque l'examen est strictement normal initialement, il est fondamental, lorsque l'anamnèse est sans ambiguïté comme dans les cas de morsure d'ophidien ou lorsqu'il s'agit d'un enfant, d'hospitaliser le blessé car les signes d'envenimation peuvent apparaître plusieurs heures après la morsure, et tout délai apporté à l'administration du sérum antivenimeux grève le pronostic (Morand & Morand, 2024).

Afin d'éviter les morsures, quelques gestes simples peuvent prévenir des accidents, comme nous l'indique l'Institut Pasteur (*Institut Pasteur*, 2016). Il recommande entre autres le port de chaussures montantes fermées, des pantalons longs et frapper le sol avec un bâton ou de faire du bruit en marchant pour faire fuir les ophidiens ; ne jamais toucher les ophidiens même s'ils semblent déjà morts ; secouer ses vêtements, son sac, son sac de couchage ou ses draps avant usage.

En cas de morsure, une conduite à tenir peut aider à la prise en charge (Ameli, 2024 ; Friday & Depenbrock, 2014 ; Morand & Morand, 2024) :

- S'assurer de la morsure et, sans prendre de risque, identifier l'animal (par exemple en prenant une photo).
- Alerter les secours, rassurer la victime et l'immobiliser afin de diminuer la diffusion du venin ; si possible, la mettre en position latérale de sécurité.
- Si nécessaire, ôter les bagues, les montres ou les chaussures avant l'apparition d'œdèmes.
- Si possible, désinfecter la plaie avec un antiseptique ou de l'eau et du savon, et en cas de douleur, utiliser uniquement du paracétamol, car les anti-inflammatoires et l'aspirine augmentent le risque de saignement.
- Proscrire le garrot, les incisions, le débridement, la cautérisation, l'aspiration et l'application de glace.
- Ne pas donner d'alcool, de thé ou de café au blessé, car ces substances peuvent augmenter le rythme cardiaque et donc la diffusion du venin.
- Ne pas utiliser les « kits anti-venins » dont l'efficacité n'a pas été prouvée et qui risquent de retarder la prise en charge.

b) Les envenimations par scorpions

Les scorpions sont des arachnides reconnaissables à leur corps divisé en trois parties distinctes (Figure 9) : le prosoma, l'abdomen et le post-abdomen, également appelé la queue.

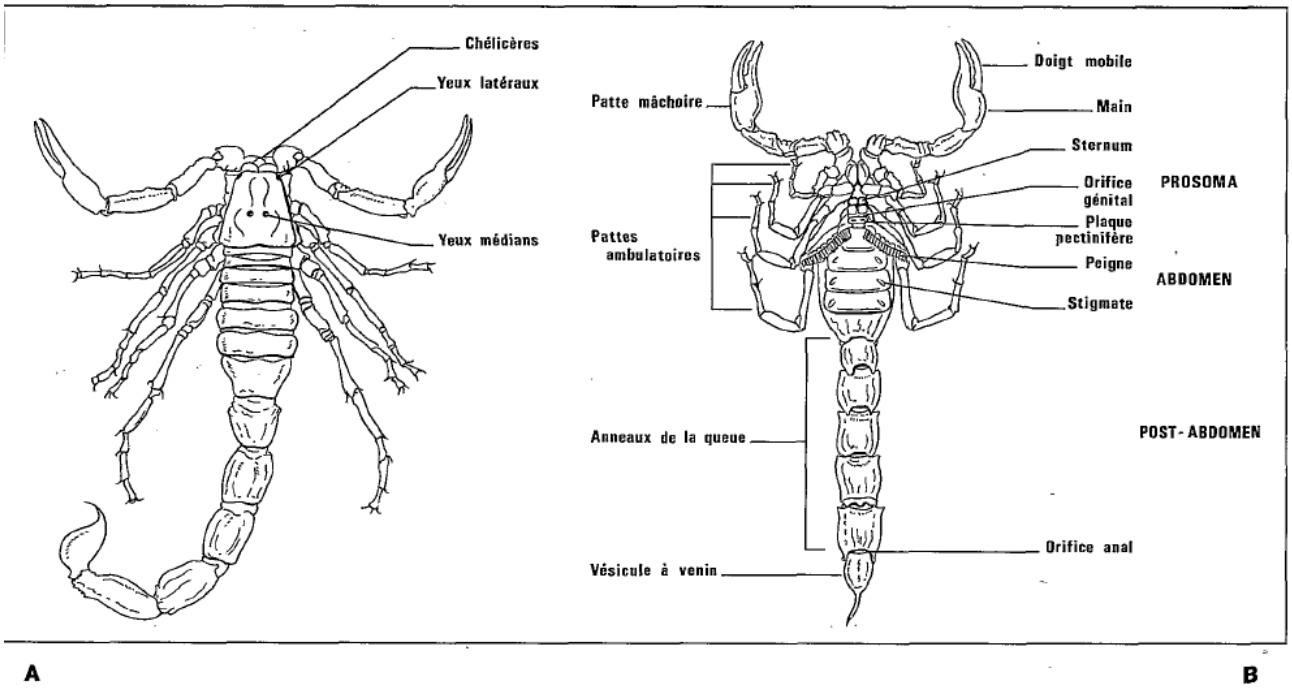


Figure 9 : (A) Face dorsale de Androctonus australis. *(B) Face ventrale* Androctonus australis *(Goyffon & Chippaux, 1990)*

Les scorpions comptent environ 2200 espèces ; elles sont toutes venimeuses, mais seules une cinquantaine d'espèces, appartenant en majorité à la famille des Buthidae, des Hemiscorpiidae et des Scorpionidae, représentent un réel danger pour l'Homme (Ward et al., 2018). Les scorpions sont abondants dans les régions tropicales, où ils favorisent particulièrement les lieux humides des zones sub-désertiques chaudes. Ainsi, la morbidité et la mortalité par piqûre de scorpions sont particulièrement élevées en Amérique centrale, en Afrique du Nord et au Moyen Orient (Chippaux & Goyffon, 2006).

En Afrique du Nord, les scorpions trouvent refuge dans les jardins où les plantes, comme les figuiers et les plantes grimpantes, leur offrent un abri. Ils peuvent également se faufiler dans les maisons mal entretenues, profitant des crevasses dans les murs pour se cacher. Le manque d'hygiène crée un environnement propice à leur survie et à leur alimentation, ce qui augmente le risque de piqûre domestique (Goyffon & Tournier, 2014).
Par ailleurs, il est possible qu'un environnement urbain favorise le développement de nouvelles populations de scorpions. Par exemple, en France, la construction du Canal du Midi au 18e siècle a facilité la migration de l'espèce inoffensive *Euscorpius flavicaudis* de la côte méditerranéenne à la côte atlantique. Elle a ainsi pu se répandre dans les villes le long de la Garonne, de Sète à Bordeaux, grâce aux péniches qui transportaient involontairement les scorpions. Ainsi, des villes comme Bordeaux sont désormais colonisées par ce petit scorpion noir, parfois retrouvé dans les caves à vin (Goyffon & Tournier, 2014).

En Argentine et au Brésil, la situation est différente. Les grandes villes telles que Buenos Aires en Argentine, et Brasilia ou São Paulo au Brésil, abritent des espèces parthénogénétiques du genre dangereux *Tityus* spp, notamment *Tityus trivittatus* en Argentine et *Tityus serrulatus* au Brésil. Ces scorpions se nourrissent de blattes présentes dans les bâtiments, offrant ainsi une source de nourriture abondante. Ils ont probablement été transportés involontairement par différents moyens de transport tels que les voitures ou les camions. Brasilia ainsi que Buenos Aires sont confrontées à un véritable problème de santé publique (Goyffon & Tournier, 2014).

i. Le telson : l'appareil venimeux des scorpions

Le telson, situé à l'extrémité de la queue, se compose d'une glande à venin et d'un aiguillon (Chippaux & Goyffon, 2006). La glande est entourée de muscles striés, permettant au scorpion de décider de l'inoculation ou non du venin. L'aiguillon est recourbé et possède une ouverture sub-terminale ; la piqûre se fait d'arrière en avant, par courbure antérieure puis extension de l'abdomen (Goyffon & Chippaux, 1990).
Les scorpions sont capables de piquer leur proie à plusieurs reprises, mais il semble que la première piqûre les prive presque complètement de leur venin lorsqu'il est utilisé (Friday & Depenbrock, 2014).

Le venin de tous les scorpions est composé de chaîne de résidus d'acides aminés, qui peuvent être courtes, avec entre 30 à 40 acides aminés, ou longues avec environ 60 acides aminés. Les toxines à courte chaîne possèdent un motif structural commun appelé le motif CSab pour « Cystein Stabilized alpha-beta », constitué de trois ponts disulfures, dont deux relient l'hélice alpha et la feuille bêta et le troisième connecte l'hélice alpha à l'extrémité C-terminal de la chaîne protéique. Les toxines à chaîne longue contiennent également le motif CSab, avec comme différence la présence d'un quatrième pont disulfure reliant les deux extrémités de la chaîne protéique. La toxine à chaîne longue n'a été décrite que chez les scorpions de la famille des Buthidae (Goyffon & Tournier, 2014).

La toxicité des venins de Buthidae est essentiellement due aux toxines qui agissent sur les canaux ioniques des cellules membranaires des tissus excitables, en particulier les nerfs pour les toxines à chaîne longue, et sur de nombreux tissus pour les toxines à chaîne courte.

Les venins à chaîne longue agissent sur les canaux sodium, ce qui est la principale cause des symptômes chez l'homme. Ils ne passent pas la barrière hémato-encéphalique, donc leur effet se limite aux nerfs périphériques et n'affecte pas les centres nerveux (Goyffon & Tournier, 2014). Ces venins prolongent l'ouverture des canaux sodium, entraînant ainsi une dépolarisation durable. Ils ciblent les cellules excitables du système neuromusculaire (Goyffon & Chippaux, 1990). Il existe deux types de toxines : les toxines alpha et les toxines bêta.
Les toxines alpha, présentes dans les venins des scorpions du Vieux Monde (originaires d'Afrique, d'Asie et d'Europe), inactivent le potentiel de fermeture du canal sodium sans modifier le potentiel d'ouverture. Ces toxines agissent uniquement lorsque le canal est ouvert, d'où leur nom de "potentiel-dépendantes". Elles provoquent une forte dépolarisation de la membrane suivie, dans un second temps, par une perte d'excitabilité.

Les toxines bêta, présentes dans les venins des scorpions du Nouveau Monde (originaires d'Amérique), ont une activité indépendante du potentiel de la membrane (Chippaux & Goyffon, 2008).

Les venins à chaîne courte agissent sur les canaux potassiques ou les canaux chlorures des cellules membranaires et sont présents en petites quantités dans les venins de tous les scorpions (Chippaux & Goyffon, 2008).

Les venins de scorpion dangereux pour l'Homme sont pauvres en enzymes, ne contenant généralement que de l'hyaluronidase et de la métalloprotéase. Cependant, les venins de scorpions n'appartenant pas à la famille des Buthidae peuvent contenir des enzymes avec une activité hémolysante, pouvant très rarement provoquer des accidents de nécrose létale. Ces venins ne sont pas dangereux pour l'Homme, à l'exception du venin de *Hemiscorpius lepturus (Goyffon & Chippaux, 1990)*.

ii. Épidémiologie de l'envenimation par scorpions dans le monde et en France

Tout comme pour les envenimations par ophidiens, il est difficile de donner les chiffres exacts de l'envenimation par scorpions car tous les cas bénins ne sont pas reportés aux centres antipoisons et seuls les cas graves sont reportés.

Au niveau mondial, on estime à environ 1,2 millions de piqûres par an pour 3,250 décès. L'incidence moyenne dans le monde est de 20 envenimations par an pour 100 000 habitants. Même si le nombre de piqûre est important, beaucoup sont des piqûres sèches, c'est-à-dire sans inoculation de venin (Abroug et al., 2020).

Sur la (Figure 10) nous pouvons voir que les régions où l'incidence est supérieure à 100 envenimations pour 100 000 habitants sont : le Mexique, le Brésil, l'Afrique du Nord et le Moyen Orient (Abroug et al., 2020).

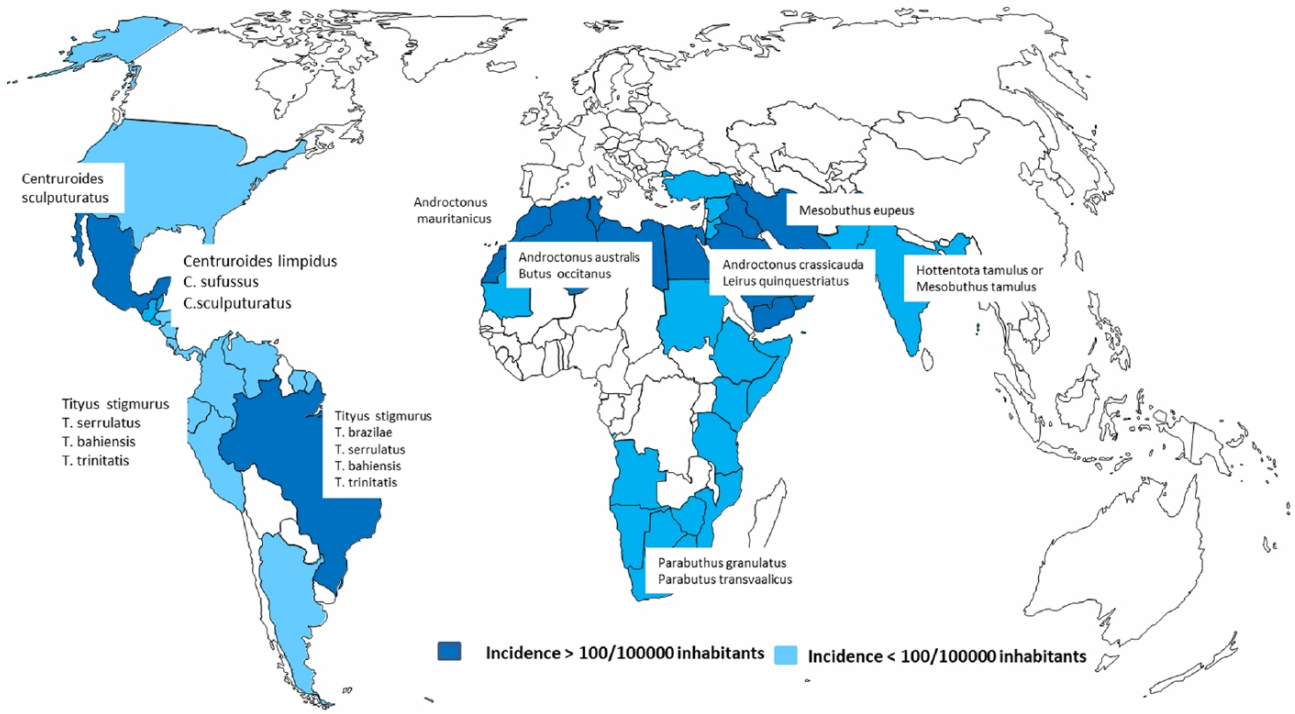


Figure 10 : Répartition géographique et incidence des envenimations par scorpion (Abroug et al., 2020)

En 2012, on dénombrait 67 espèces de scorpions en France et dans les Outre-mer avec une incidence de 90 envenimations par an pour 100 000 habitants (Vaucel, Larréché, et al., 2022a). Jusqu'en 2021, six espèces étaient présentes en France métropolitaine et en Corse, et elles sont toutes relativement inoffensives pour l'Homme : *Buthus occitanus*, *Euscorpius flavicaudis*, *Euscorpius italicus*, *Euscorpius concinnus*, *Euscorpius tergestinus* et *Belisarius xambeui* (Vaucel, Larréché, et al., 2021). La pénétration de l'aiguillon peut être douloureuse et dans les rares cas d'envenimation plus grave, les symptômes généraux sont des manifestations mineures (Vaucel et al., 2023). À noter que même si aucun cas d'envenimation grave avec *Buthus occitanus* n'a été décrit en France et en Espagne, il est considéré au Maroc comme une espèce dangereuse pouvant entraîner la mort. Cette différence s'explique par le climat non propice au développement de quantités importantes de toxine, contrairement au Maroc où il y un taux d'ensoleillement ainsi que des températures supérieures (de Haro, 2009).
En 2021, une nouvelle espèce a été décrite, *Buthus pyrenaeus*, portant à sept le nombre d'espèces en France métropolitaine (Vaucel et al., 2022). Selon (Vaucel et al., 2023), les cas d'envenimation par *B. pyrenaeus* en France n'ont présenté que des symptômes de classe I et aucun décès.

Du côté des territoires d'Outre-mer, on dénombre 13 espèces de scorpions aux Antilles, 38 espèces en Guyane, 8 espèces dans les îles de l'Océan Pacifique et 3 dans les îles de l'Océan Indien (Vaucel, Larréché, et al., 2022b).

Les envenimations en France métropolitaine sont rares et généralement peu graves. Les espèces dangereuses pouvant provoquer des envenimations sévères se trouvent en Outre-mer, et plus précisément le genre *Centruroides* aux Antilles, et le genre *Tityus* en Guyane (Vaucel, Larréché, et al., 2022b).

Une étude a été réalisée en 2021 sur la répartition géographique des piqûres en France et dans les territoires d'Outre-mer, d'après les cas déclarés aux Centres Antipoisons du 1er Janvier 2011 au 31 Décembre 2020. Sur les 975 cas enregistrés, uniquement 624 patients ont été inclus dans l'étude car seuls étaient inclus les piqûres par scorpions originaires des territoires français (Vaucel, Gil-Jardiné, et al., 2021).
Une grande majorité des piqûres a été rapportée en été le long de la côte méditerranéenne (Figure 11) pour la France et en Guyane pour les territoires d'Outre-mer. Les piqûres ont été observées principalement en intérieur et pendant la journée. Le scorpion impliqué a pu être identifié dans 50 % des cas. Les patients ont été divisés en 3 classes selon la gravité des symptômes :

- classe III symptômes sévères, c'est-à-dire symptômes potentiellement mortels : 2 cas (1%)
- classe II symptômes mineurs : 51 cas (8%)
- classe I symptômes locaux : 444 cas (71%)
- asymptomatiques : 127 cas (20%)

Cette étude permet de dire que les scorpions potentiellement mortels, *T. obscurus*, *Tityus sylvestris* et *Centruroides pococki* se trouvent essentiellement en Guyane, Guadeloupe et Martinique ; en France métropolitaine on observe principalement des cas d'envenimations de classe II, surtout pour *B. occitanus* et *Euscorpius* spp, et uniquement des symptômes locaux pour *B. xambeui* (Vaucel, Gil-Jardiné, et al., 2021).

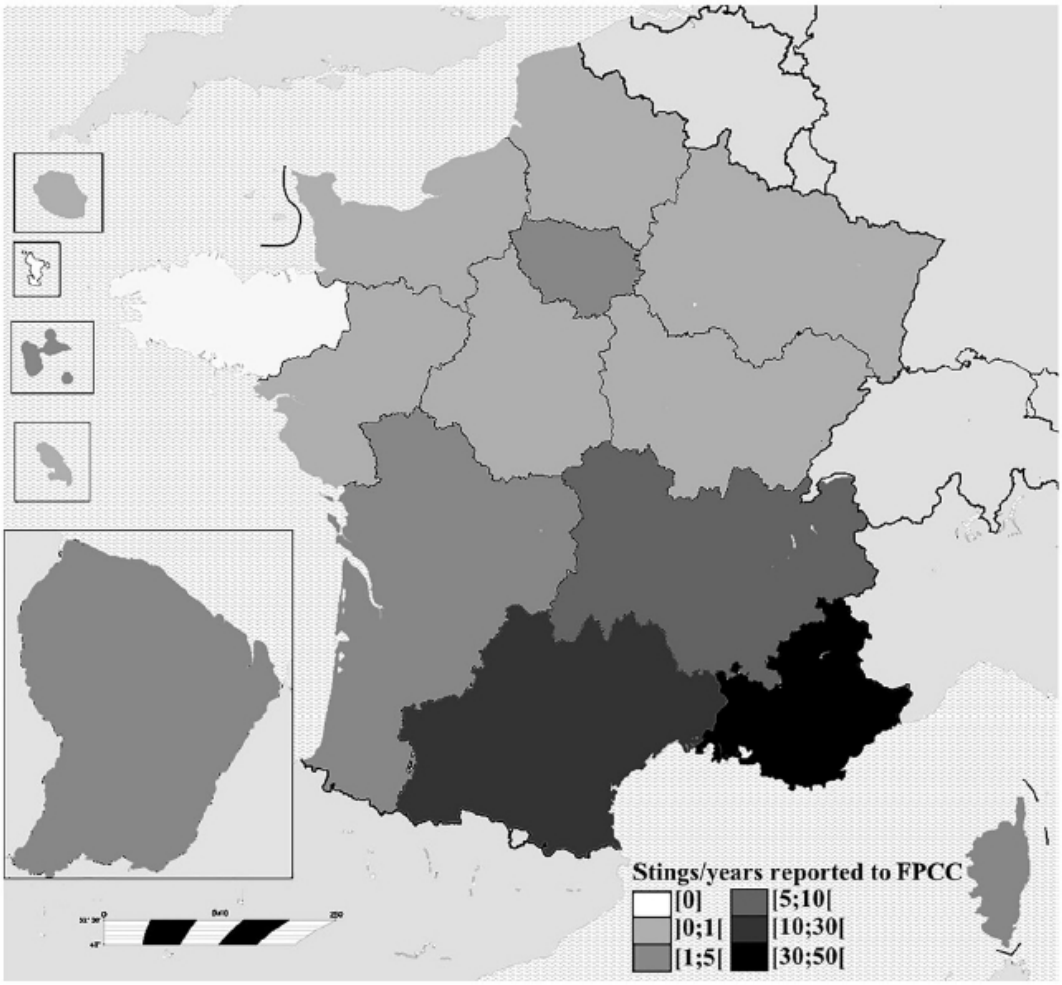


Figure 11 : Répartition géographique des piqûres de scorpions en France et dans les territoires d'Outre-mer d'après l'étude de (Vaucel, Gil-Jardiné, et al., 2021)

iii. Manifestations cliniques de l'envenimation par scorpions

L'envenimation par scorpions peut provoquer une grande diversité de symptômes, qui peuvent varier en fonction de la gravité de l'envenimation et de l'espèce responsable. Dans les cas d'envenimations de classe I, seuls des symptômes locaux ont été observés (Figure 12). Les symptômes les plus courants sont des douleurs intenses à type de brûlure ou de broiement, des œdèmes, des hématomes, ainsi qu'un prurit . L'évolution est le plus souvent favorable.

Dans les cas d'envenimation mineure de classe II (Figure 12), de nouveaux symptômes apparaissent en quelques heures (Chippaux, 2012 ; Chippaux & Goyffon, 1997 ; Goyffon & Chippaux, 1990) :

- sueur profuse, frissons, pâleur et tremblements ;
- des symptômes neurologiques : céphalées, convulsions, confusion et agitation ;
- des symptômes digestifs et urogénitaux : diarrhées, nausées, vomissements et hématurie ;
- des symptômes ORL : hypersialorrhée, rhinorrhée et larmoiement ;
- des symptômes cardiovasculaires : hypertension artérielle et tachycardie ;

- des symptômes musculaires : crampes, fasciculations et arthralgies.

Dans les cas d'envenimations sévères de classe III (Figure 12), l'état général du patient s'aggrave en quelques heures. À ce stade, les défaillances neurologiques (coma, paralysie musculaire), respiratoires (dyspnée, cyanose, œdème pulmonaire) et cardiaques (arythmie, état de choc, bradycardie) sont potentiellement mortelles, surtout chez l'enfant (Chippaux, 2012 ; Goyffon & Chippaux, 1990 ; Vaucel, Larréché, et al., 2022a).

S'il n'y a pas eu d'aggravation dans les 24 premières heures, les envenimations de classe I ou de classe II évoluent spontanément vers une guérison rapide. Les envenimations de classe III doivent en revanche bénéficier d'une prise en charge médicale adaptée pour éviter que les complications cardiovasculaires et/ou pulmonaires n'aboutissent au décès rapide du patient. Classiquement, on considère que si le patient survit au premier jour suivant la piqûre, le pronostic vital n'est plus en jeu (de Haro, 2009).

Classe I : manifestations locales	Classe II : manifestations mineures		Classe III : manifestations sévères
Symptômes locaux	**Symptômes généraux**	**Symptômes pulmonaires**	**Défaillance neurologique**
Éruption bulleuse	Hypothermie	Stridor	Glasgow Coma Scale ≤ 8 points
Sensation de brûlure	Hyperthermie	Wheezing	Paralysie musculaire
Ecchymoses	Sueurs	**Symptômes abdominaux et urogénitaux**	
Érythème	Frisson	Diarrhée	**Défaillance hémodynamique**
Hyperesthésie	Pâleur	Hémorragie digestive	Arythmie ventriculaire
Prurit	**Symptômes neurologiques**	Hématurie	Bradycardie
Nécroses	Agitation	Météorisme	Défaillance cardiaque
Paresthésie	Anisocorie	Nausée	État de choc
Douleur	Ataxie	Pancréatite	
Purpura/Pétéchie	Confusion	Priapisme	**Défaillance respiratoire**
Œdème	Convulsion	Rétention d'urine	Cyanose
Paresthésie	Dystonie	Vomissement	Dyspnée
	Encéphalopathie	**Symptômes ORL**	Œdème pulmonaire
	Fasciculation	Hypersialorrhée	
	Céphalée	Larmoiement	
	Myosis	Odynophagie	
	Mydriases	Rhinorrhée	
	Nystagmus	Xérostomie	
	Paresthésies diffuses	**Symptômes musculaires**	
	Prostration	Arthralgie	
	Ptôsis	Crampes musculaires	
	Somnolence	Myoclonie/fasciculation	
	Symptômes cardiovasculaire		
	Hypertension artérielle		
	Tachycardie		

Figure 12 : Classification internationale des envenimations par scorpions d'après (Khattabi et al., 2011) et traduit par (Vaucel, Larréché, et al., 2022b)

iv. Traitement des envenimations par scorpions

Le traitement d'une envenimation par scorpion débute par l'identification de l'espèce responsable lorsque c'est possible (photo, description, région concernée, etc.) afin de mieux orienter la prise en charge. Il est prudent de garder les victimes en observation au moins 12 heures (Kaouadji et al., 2004).

Le traitement des envenimations de classe I et de classe II est uniquement symptomatique (désinfection, anesthésiant local en crème ou patch, anti-émétique, etc.). Le traitement symptomatique est important et ne doit pas être négligé. La douleur peut être atténuée par des analgésiques classiques (paracétamol), un refroidissement local du site de la piqûre par tous les moyens disponibles (eau, glace, agents de refroidissement). Les salicylates et leurs dérivés peuvent être d'une grande aide, tant comme analgésiques que comme anti-inflammatoires. Lorsque les piqûres se produisent au niveau d'un doigt, un anneau d'anesthésie locale peut apporter un soulagement important. Dans 95 % des cas, ce traitement sera suffisant pour un adulte (Chippaux & Goyffon, 2008 ; Vaucel, Larréché, et al., 2022b).

Dans les formes généralisées graves, de classe III, une prise en charge en service de soins intensifs s'impose et doit s'adapter en fonction du développement des différentes complications (Kaouadji et al., 2004 ; Vaucel, Larréché, et al., 2022b).

Des mesures préventives peuvent être mises en place afin de limiter les risques de piqûre. Au niveau individuel, il est recommandé de vérifier l'absence de scorpions dans les vêtements et dans les chaussures avant de s'habiller. Au niveau collectif, dans les régions les plus concernées par des envenimations fréquentes, il est conseillé de procéder régulièrement au nettoyage des accès des maisons et d'utiliser des revêtements lisses pour la construction des murs des maisons afin d'éviter les crevasses (Chippaux & Goyffon, 2008).

3) Envenimations principales par les animaux marins

Dans le passé, les envenimations marines étaient considérées comme des évènements rares. Cependant, avec le dérèglement climatique et l'augmentation de la fréquentation des océans et des pays exotiques pour les activités nautiques, une hausse de l'incidence des envenimations marines est observée. Ce risque ne concerne pas seulement les touristes, mais aussi la population locale, les pêcheurs côtiers et les plongeurs.

Contrairement aux envenimations terrestres, les envenimations marines sont peu étudiées, car elles sont dans la plupart des cas moins sévères et beaucoup de victimes ne consultent pas après une piqûre. Il est également important de préciser que les envenimations marines peuvent se produire dans l'eau, mais aussi hors de l'eau, sur la plage.

Ces envenimations comprennent les envenimations par poissons venimeux (raies, poissons-pierres, vives, etc.), les ophidiens marins, certains cnidaires, certains Conidae, et bien d'autres.

Tout comme pour les envenimations par animaux terrestres, nous avons choisi d'illustrer les envenimations par quelques poissons venimeux (raie, poissons-pierres et pterois), les ophidiens marins et les cnidaires.

a) Les envenimations par les raies

Les raies sont présentes dans les océans tempérés et tropicaux du monde, et de ce fait, les piqûres de raie chez les humains sont courantes mais rarement mortelles. On recense plus de 500 espèces de raies dans le monde (Parsons & Rutledge, 2015).

i. Description de l'appareil venimeux des raies

L'appareil venimeux des raies est constitué d'un dard acéré à bords crénelés de chaque côté, situé au niveau de la queue (Figure 13), et capable de pénétrer profondément dans les tissus des victimes (Morand & Morand, 2024). Le long de chaque bord se trouve une glande à venin (McGoldrick & Marx, 1991). La taille du dard varie selon les espèces et peut atteindre plusieurs centimètres, jusqu'à environ 20 cm pour *Dasyatis pastinaca* (Benois et al., 2008).

Malheureusement les venins de raie font l'objet de peu d'études, notamment en raison du manque de glandes à venin à étudier, de la difficulté d'extraction et d'isolement des constituants du venin qui sont instables (Diaz, 2008). En dépit de ces difficultés, il a été quand même possible de découvrir que le venin est composé principalement d'enzymes (phosphodiestérase, 5'-nucleotidase), de sérotonine, et de vasoconstricteurs (Parsons & Rutledge, 2015). Le venin de raie, qui est thermolabile, possède une action neurotoxique et cardiotoxique (Benois et al., 2008).

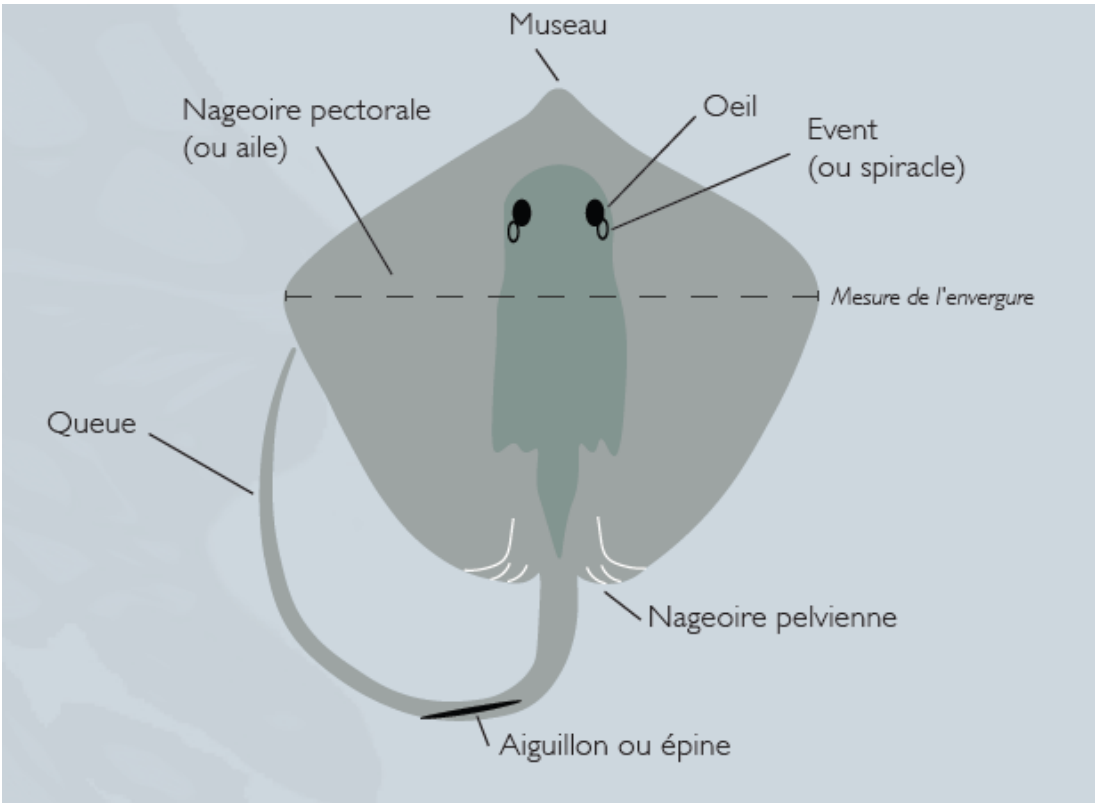


Figure 13 : Schéma d'une raie (Réserve naturelle nationale de l'île du Grand-Connétable, 2022)

ii. Épidémiologie des piqûres de raies

Il a été difficile de trouver des données sur le nombre de piqûres de raies car très peu d'études sont disponibles à ce sujet. Les seules données que nous avons pu trouver indiquent que le nombre de piqûres aux États -Unis est estimé entre 750 et 2000 piqûres par an (Diaz, 2008).

Aucun chiffre n'a été trouvé concernant le nombre de piqûres en France, mais sur le site du ministère de la Santé, une phrase mentionne que les cas d'envenimations par les raies sont rares en France métropolitaine (Ministère chargé de la santé, 2008). Sur les côtes françaises, deux espèces, *Dasyatis pastinaca* et *Myliobatis aquila*, sont principalement retrouvées (Morand & Morand, 2024).

Dans la grande majorité des cas, les piqûres se trouvent au niveau des membres inférieurs et, dans 90 % des cas, les piqûres se produisent lorsque la victime marche par mégarde sur la raie qui vit enfouie dans le sable sur le plancher océanique (Benois et al., 2008).

iii. Manifestations cliniques des envenimations par les raies

La piqûre entraîne des douleurs intenses immédiates et syncopales pouvant durer plusieurs heures. Mis à part les douleurs, les symptômes locaux incluent un œdème, une nécrose et une possible hémorragie (Benois et al., 2008 ; McGoldrick & Marx, 1991 ; Morand & Morand, 2024).

En cas d'envenimation plus sévères, les symptômes généraux comprennent une hypotension artérielle, des troubles du rythme cardiaque et des troubles de la conscience (Benois et al., 2008).

iv. Prise en charge des envenimations par les raies

Pour débuter, il est important de neutraliser l'effet du venin. Il faut commencer par enlever le dard s'il est visible et toujours présent dans la plaie ; de plus, puisque le venin est thermolabile, il est recommandé d'immerger la zone touchée dans une eau chaude à 43°C – 45°C (en fonction de la tolérance de la victime) pendant 30 à 90 minutes, jusqu'à diminution de la douleur (McGoldrick & Marx, 1991). Dans certains cas, une chirurgie peut être nécessaire car le dard peut être logé assez profondément dans la plaie (Morand & Morand, 2024).

En parallèle, un traitement symptomatique pour gérer la douleur (antalgique) doit être initié, ainsi que la mise en place d'un éventuel traitement antibiotique, en fonction de l'état de la plaie.

Il est également conseillé de garder la victime 3 à 4 heures en observation pour surveiller l'éventuelle apparition de symptômes généraux (McGoldrick & Marx, 1991).

À noter qu'à ce jour, aucun sérum antivenimeux n'existe pour les venins de raies.

b) Les envenimations par poissons venimeux : exemple des poissons-pierres et des pterois

Les poissons-pierres, réputés comme les poissons les plus dangereux et venimeux, regroupent quatre espèces distinctes (Grandcolas et al., 2008). Les pterois sont des poissons des récifs coralliens, de couleur vive, recherchés pour les aquariums. Ces deux groupes appartiennent à la famille des Scorpaenidae.

i. Description de l'appareil venimeux

L'appareil venimeux de ces poissons est situé au niveau des nageoires et des opercules, et comprend des épines creuses reliées à une glande à venin (Morand & Morand, 2024). Les poissons-pierres et les pterois possèdent 12 à 13 épines dorsales, 2 épines pelviennes et 3 épines anales, avec des glandes appariées à leur base contenant chacune 5 à 10 mg de venin (Balhara & Stolbach, 2014).

Le venin du poisson-pierre figure parmi les plus puissants dans le monde marin. Il est composé de trois toxines, la stonustoxine, la verrucotoxine et la trachynilysine (Balhara & Stolbach, 2014), ayant des propriétés myotoxiques, neurotoxiques et cardiotoxiques (Balhara & Stolbach, 2014 ; McGoldrick & Marx, 1991). Il contient également une hyaluronidase capable d'induire une hémolyse et une hypotension (Hifumi et al., 2020).

Le venin de pterois est thermolabile et possède également des propriétés neurotoxiques et hémolytiques (Geistdoerfer & Goyffon, 2004). Il contient principalement de l'acétylcholine à forte concentration (Morand & Morand, 2024).

ii. Épidémiologie des envenimations

L'envenimation résulte très souvent d'un contact accidentel lors d'activités de loisir (baignade, plongée sous-marine, aquariophilie) ou de capture accidentelle (pêche). La lésion initiale est une piqûre, unique ou multiple, siégeant à la plante du pied dans 85 % des cas, et à la main dans 15 % des cas (Maillaud & Maillard, 2004).

Il y a très peu de données sur les envenimations par poissons venimeux car, comme ils sont enfouis dans le sable, il est difficile de les identifier. Toutes les données que nous avons pu trouver sont sur des piqûres supposées de Scorpaenidae.

Une étude récente a été menée en 2023 sur les piqûres supposées de *Synanceia verrucosa* (Figure 14) à la Réunion du 01/01/20 au 31/12/21. Pendant cette période, 59 cas supposés ont été enregistrés sur la base de données du dispositif de toxicovigilance de l'Océan Indien, mais aucune identification de l'espèce concernée n'a été possible. Sur les 59 cas, 97 % des piqûres siégeaient au niveau des pieds et 3 % au niveau de la face interne des mains. Les symptômes relevés pendant l'étude étaient des douleurs intenses et des œdèmes ; aucun décès n'a été relevé pendant l'étude (Maillot et al., 2023).

Figure 14 : Synanceia verrucosa par E. Morcel (INPN, s. d.)

Au niveau mondial, seulement 5 décès dus à des poissons-pierres ont été décrits dans la littérature (Hornbeak & Auerbach, 2017).

iii. Manifestations cliniques des envenimations

Après une piqûre de poisson-pierre, la douleur décrite est instantanée et constante, et peut durer de quelques heures à quelques jours. La douleur peut être d'intensité variable mais elle est en général intolérable, à type de brûlure pouvant s'étendre à l'ensemble du membre blessé. L'envenimation est particulièrement violente avec des symptômes locaux incluant des œdèmes inflammatoires plus ou moins étendus (qui peuvent durer de 1 à 3 semaines (Geistdoerfer & Goyffon, 2004)), des phlyctènes, et parfois même des nécroses aux points d'injection. En cas d'envenimation plus sévère, les manifestations générales incluent une agitation, des lipothymies, des syncopes (Maillaud & Maillard, 2004), des nausées, des vomissements, des diarrhées, de l'angoisse et une hypothermie (Geistdoerfer & Goyffon, 2004). Dans les cas plus graves, le pronostic vital peut être engagé en raison des accidents cardiovasculaires et neurologiques, ainsi que des troubles respiratoires pouvant aller jusqu'à la détresse respiratoire (Geistdoerfer & Goyffon, 2004 ; Morand & Morand, 2024).

iv. Prise en charge des envenimations

Il faut tout d'abord neutraliser le venin avec une immersion du membre dans de l'eau chaude à environ 45°C (Maillaud & Maillard, 2004). La prise en charge doit se faire sans délai (après une anesthésie locale à la lidocaïne), pour exciser la zone envenimée, et assurer une cicatrisation et une antisepsie adéquate de la plaie. Le paramètre le plus important est de calmer la douleur, ce qui peut nécessiter des morphiniques ou une anesthésie locorégionale. L'intensité de

l'œdème peut induire un syndrome des loges imposant une chirurgie de décompression (Morand & Morand, 2024).

Pour les envenimations par poissons-pierres sévères, il existe un sérum antivenimeux (Stonefish Antivenom®, Commonwealth Serum Laboratories, Melbourne, Australia) limitant la douleur et l'extension de la nécrose à condition d'être administré moins de 30 minutes après la piqûre. Ce sérum est à base d'immunoglobulines équines, fractionnées, et est associé à un risque d'anaphylaxie immédiate ou de maladie sérique 4 à 14 jours plus tard. Une surveillance initiale en soins intensifs est donc conseillée (Alcoba, 2020 ; Morand & Morand, 2024).

c) Les envenimations par ophidiens marins

Les ophidiens marins comprennent la famille des Hydrophiinae qui vivent dans l'Océan Pacifique et dans l'Océan Indien, sur les côtes de l'Australie, d'Afrique de l'Est et d'Asie du Sud-Est, ainsi que sur celles de Nouvelle-Calédonie et de Polynésie (Aubry, 1998).

i. Description de l'appareil venimeux des ophidiens marins

Ces ophidiens ont un appareil venimeux de type protéroglyphe ; leurs crochets venimeux, situés sur l'avant des maxillaires, sont fixes. Ces crochets fragiles peuvent se casser et rester dans la blessure. Les glandes venimeuses occupent la région temporale (Geistdoerfer & Goyffon, 2004). Seules quelques espèces sont agressives, mais leurs crochets venimeux sont implantés très en arrière de la bouche, qui est elle-même fort étroite, rendant la morsure d'un être humain difficile et même exceptionnelle (Morand & Morand, 2024).

Le venin des ophidiens de mer, en particulier celui de l'espèce *Enhydrina schistosa*, est considéré comme le plus toxique connu, principalement en raison de sa puissante toxicité musculaire attribuée à la présence de la phospholipase A2 (Morand & Morand, 2024). Composé de diverses fractions protéiques, ce venin présente également des propriétés neurotoxiques et hémolytiques, entraînant des conséquences graves telles qu'une hémolyse intravasculaire, une nécrose des muscles squelettiques, et à long terme, des lésions tubulaires rénales. Ces caractéristiques soulignent l'extrême dangerosité des morsures de ces ophidiens de mer, ainsi que la nécessité d'une intervention médicale rapide et appropriée en cas d'envenimation (McGoldrick & Marx, 1991).

ii. Épidémiologie des envenimations par les ophidiens marins

La plupart des morsures concernent les pêcheurs et sont accidentelles, les ophidiens se retrouvant souvent piégés dans leurs filets (McGoldrick & Marx, 1991). La véritable incidence des morsures de ophidiens de mer n'est pas connue, car de nombreuses morsures surviennent probablement en mer et dans de petits villages de pêche où il peut être difficile de signaler les incidents. Bien que moins fréquentes que les morsures d'ophidiens terrestres, les morsures de ophidiens de mer, en raison de leur puissant venin neurotoxique, entraînent un taux élevé de morbidité et, potentiellement, de mortalité si elles ne sont pas traitées rapidement (Fuehrer et al., 2024).

Selon (Alcoba, 2020), quelques dizaines de décès sont enregistrés par an dans le monde.

iii. Manifestations cliniques des envenimations par ophidiens marins

Les signes d'envenimation surviennent 30 à 60 minutes après la morsure associant : myalgies, raideur des membres et des cervicales, trismus et des signes de curarisation. La paralysie des muscles squelettiques se poursuit progressivement de façon ascendante à partir de la zone mordue. Le décès peut survenir par hyperkaliémie, insuffisance rénale et arrêt respiratoire par lyse des muscles respiratoires (Aubry, 1998).

Une morsure de ophidien de mer se caractérise généralement par l'absence de douleur initiale. Il y a des marques de crocs composées de plusieurs petites perforations, habituellement de 1 à 4, mais pouvant aller jusqu'à 20. Les symptômes caractéristiques de l'envenimation comprennent des mouvements musculaires douloureux, une paralysie des membres, un trismus et une ptose. Les symptômes sont généralement présents dans l'heure qui suit, mais peuvent être retardés jusqu'à 6 à 8 heures. Si aucun symptôme n'est apparu dans les 6 à 8 heures, il est possible de considérer qu'il n'y a pas eu d'envenimation. Une envenimation sévère se caractérise par des symptômes de plus en plus intenses. La myoglobinurie devient généralement évidente 3 à 4 heures après l'envenimation. La détresse respiratoire, la paralysie bulbaire, l'hypoxie liée à l'aspiration, les troubles électrolytiques et l'insuffisance rénale aiguë contribuent au décès (McGoldrick & Marx, 1991).

Les symptômes caractéristiques de cette envenimation sont : l'euphorie ou, au contraire, le malaise et l'anxiété, la sensation de froid et les sueurs abondantes, les myalgies, la douleur aux mouvements, la paralysie musculaire (généralement flasque) qui progresse de manière ascendante avec trismus, dysphagie, dysphonie, ptosis, diminution de la vision avec réflexe pupillaire réduit, et diaphorie. De plus, une hémoglobinurie, en raison de la rhabdomyolyse, ainsi qu'une myoglobinurie (urine d'abord jaune foncé puis brun rouge), sont communes et apparaissent 3 à 6 heures après la morsure. Les symptômes oculaires, un ptosis et des vomissements, sont de mauvais pronostic. Les symptômes peuvent durer des semaines ou des mois (par exemple persistance de la myoglobinurie). La rhabdomyolyse entraîne une hyperkaliémie dangereuse pour la fonction cardiaque et qui peut entraîner la mort. La mort peut également résulter d'une insuffisance rénale grave, multifactorielle en général, dans les heures qui suivent la morsure et jusqu'à une douzaine de jours après (Geistdoerfer & Goyffon, 2004).

iv. Prise en charge des envenimations par ophidiens de mer

Le traitement est symptomatique et nécessite l'administration d'un sérum antivenimeux dès que possible, lorsque des symptômes d'envenimation sont présents. Il est primordial de retirer le patient de l'eau, car la paralysie des muscles squelettiques peut entraîner la noyade. Une insuffisance respiratoire peut également survenir en raison de la paralysie du diaphragme, et les victimes peuvent nécessiter une intubation et une ventilation mécanique jusqu'à ce que le sérum antivenimeux soit administré pour neutraliser le venin (Fuehrer et al., 2024).
Il est déconseillé de pratiquer une incision, un drainage ou une aspiration de la zone de la morsure, car ces méthodes sont peu susceptibles d'éliminer efficacement le venin. De plus, les risques de dommages cutanés et de surinfection l'emportent sur les avantages hypothétiques d'une élimination partielle du venin. La surveillance de la production d'urine devrait également être envisagée pour

évaluer la myoglobinurie. De plus, la mesure fréquente de la créatinine sérique et des électrolytes devrait être effectuée, et les électrolytes supplémentés au besoin (Fuehrer et al., 2024).

En l'absence de sérum antivenimeux, l'hémodialyse peut être envisagée et, théoriquement, pourrait être utile dans les cas réfractaires compte tenu de la petite taille protéique (6 000 à 8 000 daltons) de la neurotoxine (Fuehrer et al., 2024).

L'envenimation due à une morsure d'ophidien de mer nécessite une intervention immédiate, suivant un protocole similaire à celui des morsures d'ophidiens terrestres : immobilisation du membre blessé avec une attelle, et administration d'un sérum antivenimeux. En Australie, un sérum antivenimeux est spécifiquement fabriqué pour *Enhydrena schistosa*, ainsi que pour *Notechis scutatus*, tandis que dans d'autres régions, un sérum polyvalent est utilisé. Il est à noter que ces sérums antivenimeux ne sont pas disponibles en France. Dans les cas les plus graves, une assistance respiratoire peut s'avérer nécessaire (Geistdoerfer & Goyffon, 2004 ; McGoldrick & Marx, 1991).

d) Les envenimations par cnidaires

Les cnidaires représentent la principale source d'envenimations marines. Cependant, bien que nombre d'entre eux puissent poser un risque pour l'Homme, certains sont inoffensifs car tous leurs cnidocytes ne peuvent pas traverser l'épithélium humain pour injecter leur venin (Geistdoerfer & Goyffon, 2004). Les effets des piqûres varient selon les espèces et entraînent généralement une érosion cutanée. Cependant, les conséquences peuvent être plus graves, voire mortelles. Les symptômes dépendent de l'espèce de cnidaire, de la surface de peau touchée et de l'état général de la personne, notamment d'éventuelles allergies, avec des réactions plus graves chez les enfants que chez les adultes. Les piqûres sont souvent très douloureuses, voire atroces, et peuvent déclencher des réactions anaphylactiques fréquentes (Geistdoerfer & Goyffon, 2004).

Les venins, caractérisés par leur composition chimique variable, sont sensibles à la chaleur et restent mal connus. Dans la partie II, nous examinerons en détail l'appareil venimeux, le cnidocyte, et la composition des venins des cnidaires.

Ci-dessous, nous présenterons brièvement quelques cnidaires fréquemment responsables d'envenimations chez l'Homme.

i. Épidémiologie des envenimations par cnidaires

L'incidence des envenimations causées par les cnidaires reste largement méconnue, bien que certains taxons soient identifiés comme plus fréquemment impliqués dans de telles occurrences. Parmi ceux-ci, nous pouvonc citer les Anthozoaires avec les *Actinaria* (anémones de mer), les Scyphozoaires (méduses), les Cubozoaires (cuboméduses), ainsi que *Physalia* spp chez les Hydrozoaires (Berger & Caumes, 2004).

Les Anthozoaires sont des organismes sédentaires, fixés aux rochers, ce qui implique que la plupart des envenimations surviennent accidentellement lors d'activités nautiques telles que la plongée ou la pêche, ou lors de manipulation volontaire par curiosité.

Les symptômes principalement observés sont des réactions cutanées, comme le montre l'étude de (Loeuillet et al., 2018), sur les envenimations par *Actinaria* en France métropolitaine de 1999 à 2017. Parmi les 188 cas recensés, tous présentaient des symptômes locaux tels que des œdèmes, des brûlures, des nécroses, des douleurs, des érythèmes et des prurits. En plus de ces symptômes, des vomissements et des myalgies ont été rapportés comme symptômes généraux. Aucun décès ni aucune envenimation sévère n'ont été rapportés dans le cadre de cette étude. L'étude conclut que les envenimations par *Actinaria* ne sont pas rares, avec en moyenne 8 cas par an, principalement dans le Sud de la France (environ 50 % des cas) (Loeuillet et al., 2018).

Sur les côtes atlantiques, telles que celles du Pays Basque et de la Bretagne, ainsi que sur les côtes méditerranéennes, les espèces les plus couramment rencontrées sont *Anemonia sulcata* et *Actinia equina*. *A. sulcata* est également le cnidaire le plus fréquent en mer Adriatique (Morand & Morand, 2024).

Bien que la plupart des envenimations entraînent des envenimations mineures ou modérées, des décès ont été signalés (Morand & Morand, 2024). Les espèces les plus dangereuses comprennent les espèces de la famille des Actinodendronidae, ainsi que *Telmatactis* spp, *A. equina* et *A. sulcata* (J. Prentis et al., 2018).

Les envenimations par Scyphozoaires sont beaucoup plus fréquentes. Les Scyphozoaires sont des individus pélagiques nageant librement et, même échouées sur les plages, ils restent venimeux et sont donc capables de provoquer une envenimation à leur contact. Les incidents surviennent lors de baignades, de promenades sur la plage ou lors de pratiques nautiques telles que le surf, la pêche ou la plongée. Les espèces les plus dangereuses observées sur le littoral français sont *Pelagia noctiluca* et *Aurelia automnalis* (Berger & Caumes, 2004 ; Morand & Morand, 2024).

Les Cubozoaires se distinguent des Scyphozoaires notamment par leur forme cubique. Les circonstances d'envenimations par Cubozoaires sont similaires à celles des Scyphozoaires, mais leur venin peut être beaucoup plus toxique. Parmi les espèces les plus dangereuses, nous pouvons citer *Chironex fleckeri* (en Australie), *Chiropsalmus quadrigatus* (aux Philippines) et *Chiropsalmus quadrumanus* (dans le golfe du Mexique) (Morand & Morand, 2024). Les cuboméduses se trouvent principalement dans la région indo-pacifique et en Asie ; aucune espèce n'est connue en France.

Les cuboméduses sont responsables de centaines de décès par an dans les mers tropicales. Par exemple, à Cairns, en Australie, 116 cas sévères ont été enregistrés en 3 ans, et un décès tous les 2 ans est rapporté (70 depuis 1883). Aux Philippines, environ 20 à 50 personnes décèdent chaque année des piqûres de cuboméduses *Chironex*. En Malaisie, plusieurs lieux sont associés à des décès annuels dus à ces cuboméduses (Alcoba, 2020).

L'envenimation par *Physalia* spp sera traitée dans la troisième partie de ce document.

ii. Manifestions cliniques des envenimations par cnidaires

Les envenimations par cnidaires présentent une variété de manifestations cliniques. Les symptômes immédiats incluent une douleur intense et une sensation de brûlure au site de la piqûre, souvent accompagnées d'érythèmes, d'œdèmes et de lésions cutanées telles que des papules ou des vésicules. En cas de contact avec des espèces particulièrement venimeuses, comme les méduses

cubozoaires, des symptômes généraux peuvent survenir, tels que des nausées, des vomissements, des crampes abdominales, des difficultés respiratoires et, dans les cas sévères, un choc anaphylactique. Les envenimations graves peuvent également entraîner des dysfonctionnements cardiaques, notamment des arythmies, et une défaillance cardiovasculaire (Berger & Caumes, 2004 ; Berling & Isbister, 2015 ; Geistdoerfer & Goyffon, 2004 ; Hifumi et al., 2020).

En ce qui concerne les séquelles, elles sont principalement d'ordre dermatologique avec des chéloïdes, des dyschromies, des gangrènes, des cicatrices rétractiles ou une lichénification (Berger & Caumes, 2004).

Les décès résultent d'une réaction anaphylactique mortelle, d'un arrêt cardio-respiratoire ou d'une noyade (Berger & Caumes, 2004).

iii. Prise en charge et prévention des envenimations par cnidaires

La prise en charge initiale consiste à nettoyer la plaie, à éviter le déchargement des cnidocytes intacts et à soulager les douleurs, qui peuvent être intenses.

En cas d'envenimation dans l'eau, il faut commencer par sortir la victime de l'eau pour éviter les risques de noyade. Le traitement initial comprend le rinçage de la zone affectée avec de l'eau de mer (il ne faut jamais utiliser de l'eau douce, car elle est hypo-osmotique et peut donc provoquer l'éclatement des cnidocytes et la libération de venin). L'application de vinaigre ou d'acide acétique à 5 %, peut inactiver les cnidocytes restants, mais ce n'est pas le cas de toutes les espèces et leur utilisation est très discutée. La suite du traitement consiste à appliquer du sable sec ou de la mousse à raser pour piéger les tentacules restés sur la victime et à ôter ces derniers avec un morceau de carton rigide, un abaisse-langue ou une carte de crédit (Morand & Morand, 2024).

Pour calmer la douleur, en plus des traitements analgésiques, une immersion du membre dans de l'eau chaude pendant 10 à 20 minutes est utilisée dans certains pays (Weinstein et al., 2009). Toutefois, cette mesure est à considérer avec prudence, ici encore car l'effet pourrait être variable suivant l'espèce de méduse en cause.

Dans les cas d'envenimations moins graves, le reste du traitement est symptomatique, incluant des antihistaminiques et une antisepsie des plaies ainsi qu'une surveillance (Bedry & de Haro, 2007).

Dans les cas sévères, une prise en charge médicale urgente est essentielle pour prévenir les complications potentiellement mortelles.

Il existe un sérum antivenimeux, « CSL Boxjellyfish Antivenom », utilisé notamment en Australie pour les envenimations sévères par *C. fleckeri*. Il n'est indiqué qu'en cas d'inconscience, d'arrêt cardio-respiratoire, de collapsus, de trouble du rythme ou d'hypoventilation, de douleur intense (malgré une analgésie parentérale) ou d'atteinte majeure et extensive de la peau (Andreosso et al., 2014 ; Morand & Morand, 2024).

Les mesures préventives sont les mêmes que pour les envenimations par *Physalia* spp et seront abordées dans la troisième partie.

Partie II: Les cnidaires

1) Cnidaires : fondements et classification

a) Présentation et reproduction

i. Description des cnidaires

Le phylum des cnidaires regroupe plus de 9000 espèces marines, principalement réparties dans les mers et les océans, puisque seulement environ un pour cent se trouvent dans les eaux douces. C'est un phylum d'une grande diversité ; il inclut les hydres, les méduses, les anémones de mer, les coraux et bien d'autres espèces. Les cnidaires peuvent vivre librement, ou être fixés à un support, en ayant un mode de vie colonial (exemple : physalie) ou solitaire (exemple : méduse) (UCLouvain, 2014).

Malgré cette grande diversité, les cnidaires se forment à partir d'une base commune : le corps en forme cylindrique et allongé possède un orifice unique, servant à la fois de bouche et d'anus, entouré de tentacules, et présente au centre une cavité gastro-vasculaire qui sert notamment à la digestion.

Ce sont des organismes diploblastiques, dont les tissus sont composés à partir de deux feuillets embryonnaires nommés ectoderme et endoderme (Figure 15).

L'ectoderme, couche la plus externe, est composée de plusieurs types de cellules (Technau & Steele, 2011) :

- les cnidocytes : ces cellules urticantes caractéristiques des cnidaires, aussi appelées nématocytes, remplissent une double fonction grâce au venin qu'elles sécrètent : elles assurent la capture de proies et la défense ;
- les cellules épithélio-musculaires : réparties longitudinalement, ces cellules sont responsables de contractions simples ;
- les cellules sensorielles : elles portent un cil à leur extrémité qui permet de détecter les proies ou les prédateurs. Au pôle basal de ces cellules, des prolongements cytoplasmiques se ramifient et entrent en contact avec les cellules nerveuses dans la mésoglée ;
- les cellules interstitielles : ces cellules sont des cellules embryonnaires non différenciées, qui confèrent aux cnidaires leur grande capacité de régénération.

L'endoderme est la couche la plus interne qui joue un rôle dans la reproduction et la digestion. Il est constitué principalement de cellules épithélio-musculaires dotées d'un flagelle et disposées transversalement. Des cellules glandulaires qui sécrètent les enzymes digestives sont également présentes et assurent la décomposition des proies.

La mésoglée est la couche intermédiaire, elle se trouve entre l'ectoderme et l'endoderme. Il s'agit d'une matrice extracellulaire principalement constituée de collagène et d'eau, ainsi que de laminines et de protéoglycanes (Schmid & Bally, 1988). C'est à l'intérieur de cette matrice que résident quelques cellules nerveuses, constituant les prémices d'un système nerveux rudimentaire (Technau & Steele, 2011).

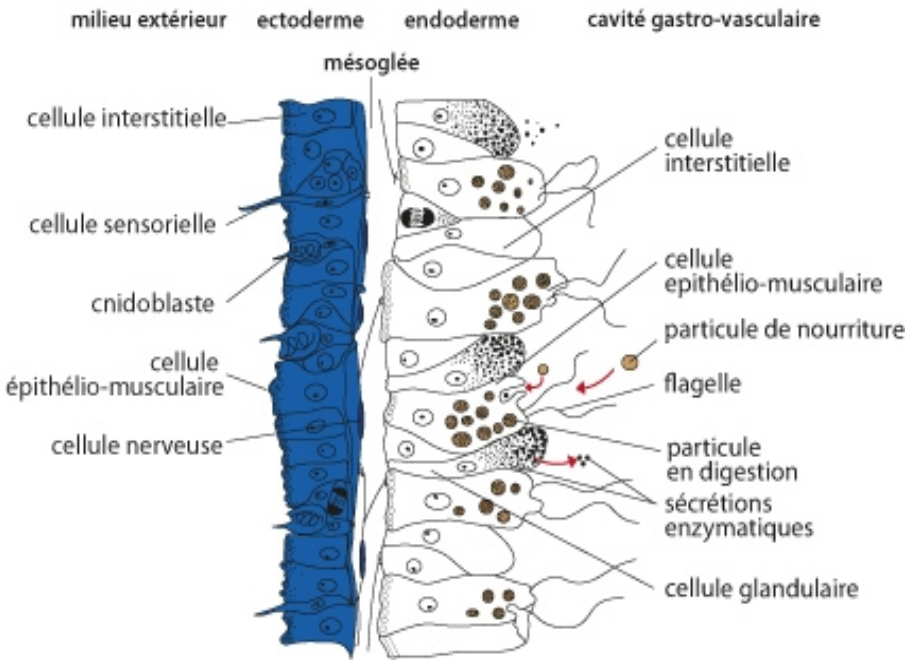


*Figure 15 : schéma d'une coupe longitudinale d'un polype d'*Obelia geniculata *(Organisation similaire pour la plupart des cnidaires) (UCLouvain, 2014)*

En ce qui concerne leur organisation, les cnidaires présentent au stade adulte une symétrie radiaire externe, caractérisée par des structures anatomiques disposées de manière circulaire autour de l'axe oral-aboral (allant de la bouche/anus au pied) et à une distance égale de cet axe. Cette symétrie particulière leur permet de piquer et de capturer des proies provenant de toutes les directions (UCLouvain, 2014).

Les cnidaires ne possèdent pas de système circulatoire. Les nutriments se déplacent des cellules qui les absorbent dans la cavité gastro-vasculaire, à travers la mésoglée, vers toutes les autres cellules. Ils ne disposent pas non plus de système ou d'organe excréteur, et les déchets sont évacués par l'unique orifice ou diffusent à travers leur tégument vers l'environnement extérieur (Fowler et al., 2013).

Ils ne possèdent pas non plus de surface d'échanges respiratoires spécialisées, les échanges gazeux se font par diffusion entre les cellules de l'ectoderme et l'eau présente dans l'environnement, et entre les cellules de l'endoderme et l'eau de la cavité gastro-vasculaire (Daniel et al., 1997).

Les cnidaires peuvent adopter deux morphologies distinctes (Figure 16) (SFMU, 2017) :

- Stade polype : il correspond au stade benthique ; il se présente sous la forme d'un tube creux ouvert à sa partie supérieure et fixé à un substrat par son pied.
- Stade méduse : il correspond au stade pélagique ; il est en forme de disque, libre, avec en son sommet une structure arrondie et concave connue sous le nom d'ombrelle. La bouche est située au bout d'un tube central appelé le manubrium.

Au cours de leur cycle de vie, certains cnidaires peuvent adopter à la fois la forme polype et la forme méduse. Cependant, selon les espèces, l'une des deux phases est dominante par rapport à l'autre (Hawaii University, 2011).

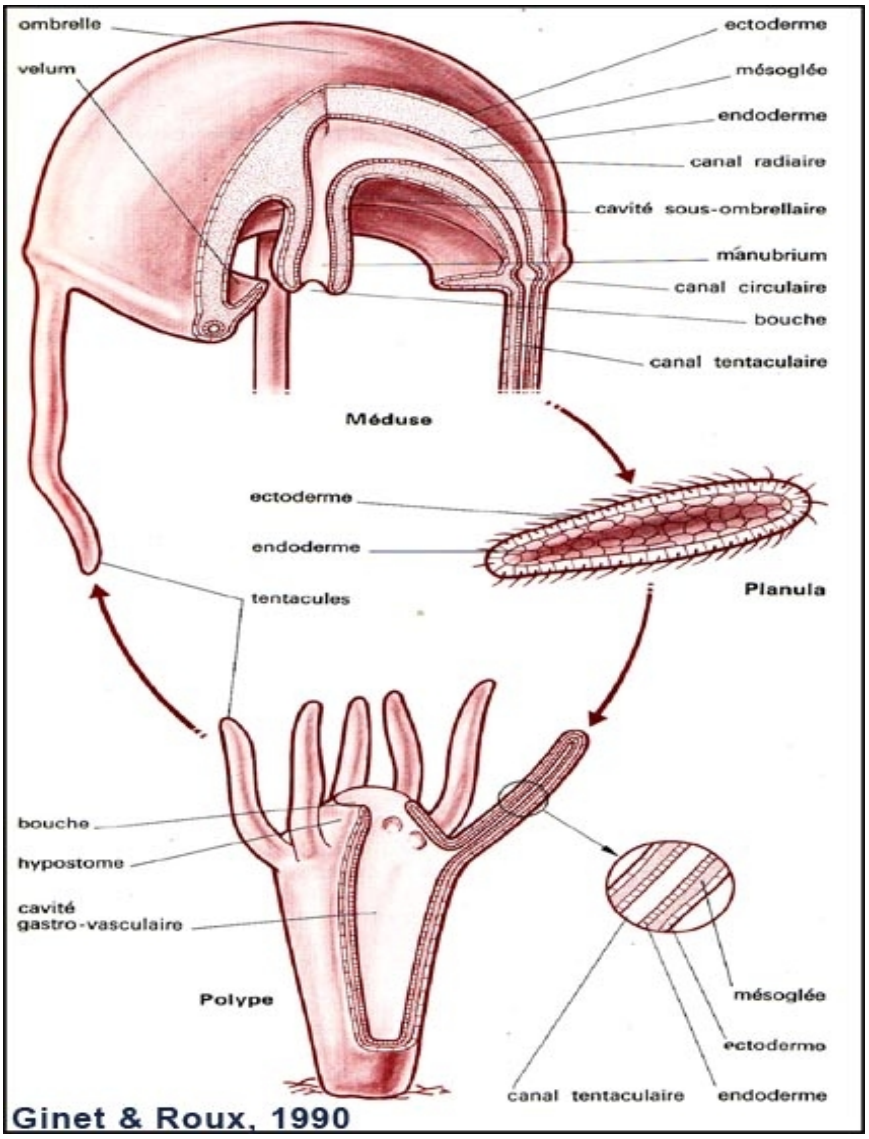


Figure 16 : Schéma de la morphologie polype et de la morphologie méduse (Ginet & Roux, 1990)

ii. Reproduction

Il existe chez les cnidaires deux modes de reproduction : sexué et asexué. En fonction des espèces, la reproduction peut se limiter à la voie sexuée (exemple : *Pelagia noctiluca*, *Caryophyllia inornata*) ou alterner entre les deux (exemple : *Pocillopora verrucosa*).
Concernant la reproduction sexuée, certains individus sont dioïques, c'est-à-dire qu'ils produisent uniquement des gamètes mâles ou femelles (exemple : *Aurelia aurita*, *Physalia physalis*), tandis que d'autres sont hermaphrodites et peuvent produire à la fois des gamètes mâles et femelles (exemple : *Hydra circumcincta, Hydra viridissima*).

La reproduction sexuée débute avec la libération des gamètes dans l'environnement ; la phase de fécondation a ensuite lieu, et aboutit à la formation d'un zygote. Au cours du développement embryonnaire, ce zygote subit des divisions cellulaires successives pour donner naissance à une blastula qui se présente sous la forme d'une sphère creuse remplie d'eau. Par la suite, la gastrulation se produit, transformant la blastula en gastrula. À ce stade, apparaissent les deux feuillets embryonnaires. La cavité interne disparaît car les cellules de l'endoderme migrent à l'intérieur, tandis que les cellules de l'ectoderme développent des cils permettant à la larve de se déplacer activement. Ces transformations conduisent à la formation d'une larve ciliée appelée planula (Figure 17) (García-Rodríguez et al., 2023).

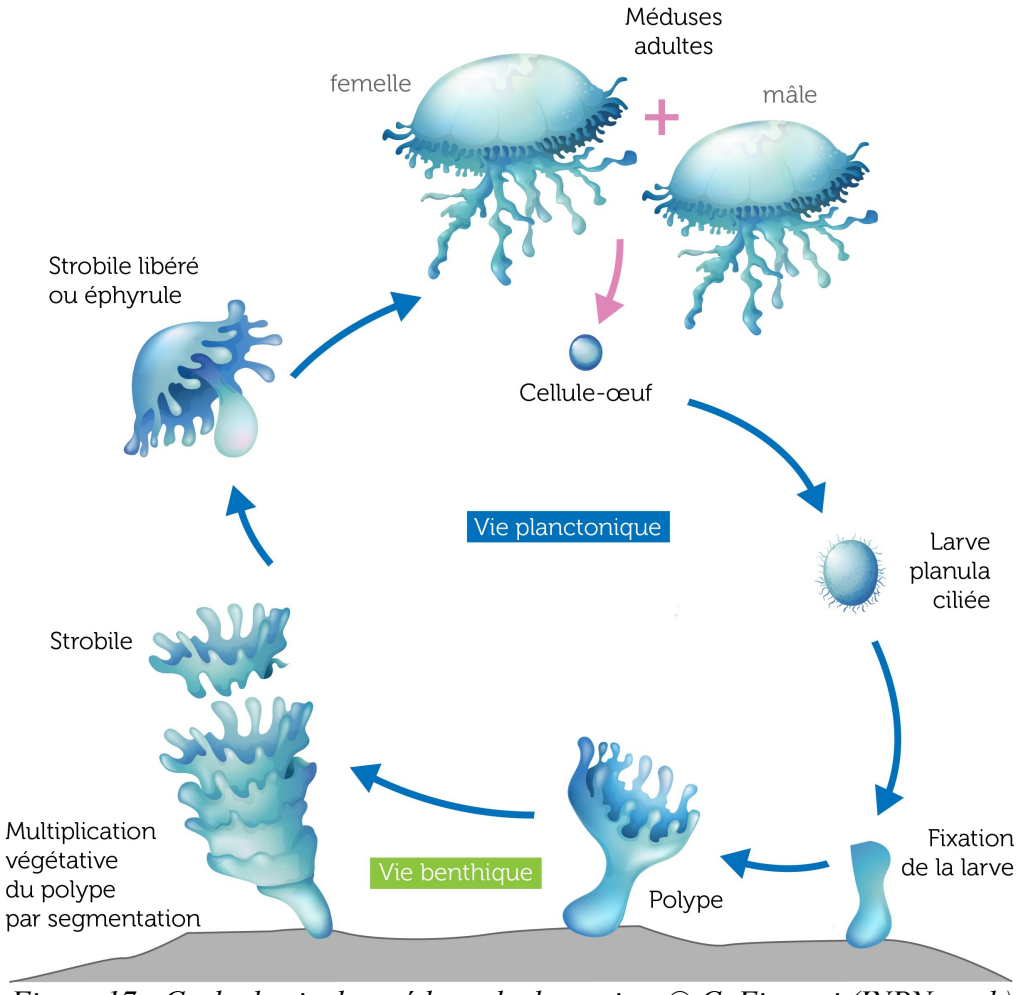


Figure 17 : Cycle de vie des méduses hydrozoaires © C. Fitoussi (INPN, s. d.)

À ce stade, deux possibilités s'offrent à la planula : elle peut soit continuer à se développer pour devenir un nouvel individu, soit se fixer pour entamer le processus de reproduction asexuée, lequel varie selon les espèces.

La reproduction asexuée peut se produire par bourgeonnement : un bourgeon émerge d'une hernie formée à partir de l'ectoderme et de l'endoderme du polype-mère. Ce bourgeon s'allonge et se perfore afin de former l'orifice et des petits tentacules. Une fois son développement achevé, le bourgeon se détache du polype-parent par pincement à la base pour donner un nouvel individu

solitaire ou bien pour former une colonie. Ce premier mode de reproduction aséxué par bourgeonnement s'observe, par exemple, chez *Corallium rubrum*.

Chez les scyphozoaires, la reproduction asexuée peut également se produire par strobilation : il s'agit d'un mode de bourgeonnement particulier. La planula se fixe et donne naissance à un jeune polype nommé scyphistome, où se forme un empilement de bourgeons aussi appelé strobiles (Figure 17). Les strobiles ainsi formés se détachent un à un pour donner naissance à des larves éphyrules, qui se développent jusqu'à l'âge adulte (Al-Shaer et al., 2023 ; Fowler et al., 2013). La strobilation s'observe chez *Cassiopea andromeda* et *A. aurita*.

Un autre mode de reproduction asexuée consiste en une division par fission : l'organisme se divise en deux parties et régénère les parties manquantes de chaque nouvel organisme. La fission peut être transversale comme chez *Anthopleura stellula* (Figure 18), ou longitudinale comme chez *Antopleura elegantissima* (Figure 19) (Bocharova, 2016 ; Fowler et al., 2013).

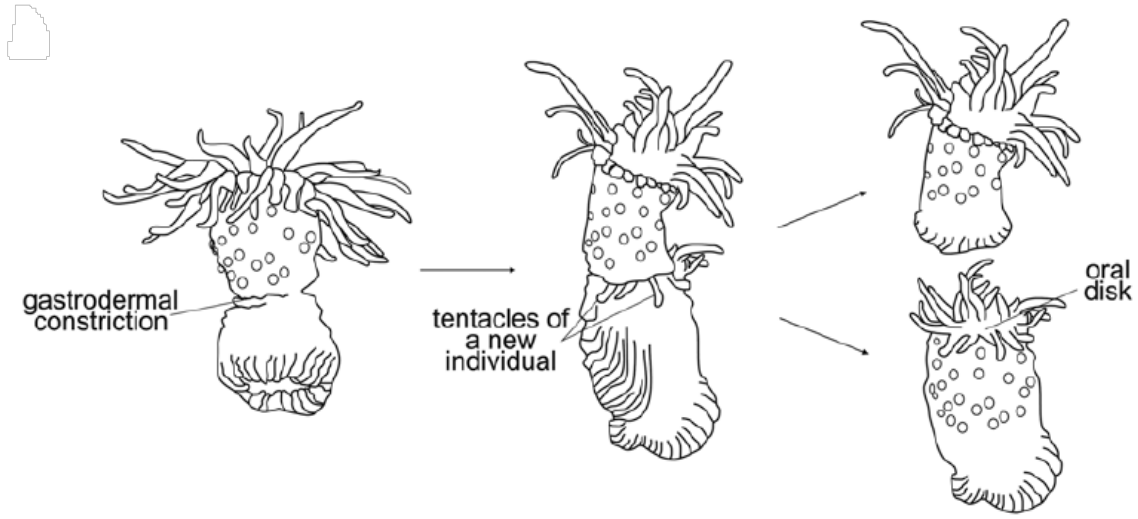


Figure 18 : Fission transversale chez A. stellula *(d'après Schmidt 1970) (Bocharova, 2016)*

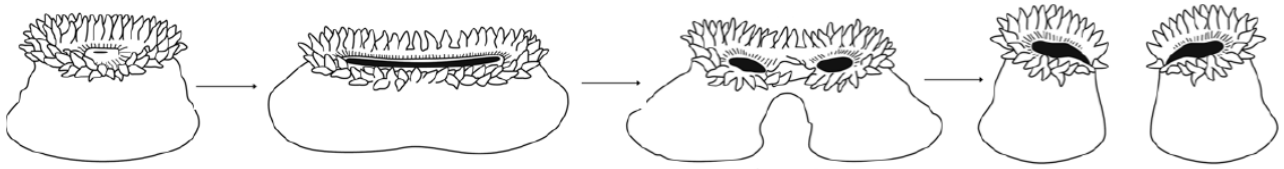


Figure 19 : Fission longitudinale chez A. elegantissima *(d'après Sebens 1983) (Bocharova, 2016)*

Plusieurs études ont démontré que la reproduction asexuée des cnidaires peut être influencée par de nombreux facteurs environnementaux tels que la température de l'eau, sa salinité, la lumière, et l'abondance de nourriture dans l'environnement (Hubot et al., 2017 ; Purcell, 2007 ; Rentzsch et al., 2019).

b) Classification des cnidaires

Les cnidaires suscitent un intérêt considérable dans le domaine de la biologie évolutive et de la taxonomie. La classification précise de ces organismes est importante pour la compréhension de leur diversité morphologique, de leurs traits biologiques et de leur évolution. Cette classification repose sur la phylogénie, qui vise à établir les relations évolutives entre les différentes classes de cnidaires. Il a été démontré que l'utilisation de marqueurs nucléaires, en nombre suffisant et représentatifs de chaque classe, ainsi que l'utilisation de tests statistiques appropriés, est nécessaire pour garantir la fiabilité des résultats phylogénétiques (Pratlong et al., 2017).

Une étude génomique et transcriptomique menée en 2018 sur 67 taxons de cnidaires représentant 75 espèces différentes, a généré un ensemble de données comprenant 53 539 sites de séquençage d'ADN ou d'ARN (Kayal et al., 2018). Les résultats de cette analyse (Figure 20) suggèrent une division du phylum des cnidaires en trois clades : le clade des Anthozoaires (formant une classe), le clade des Endocnidozoaires et le clade des Médusozoaires.

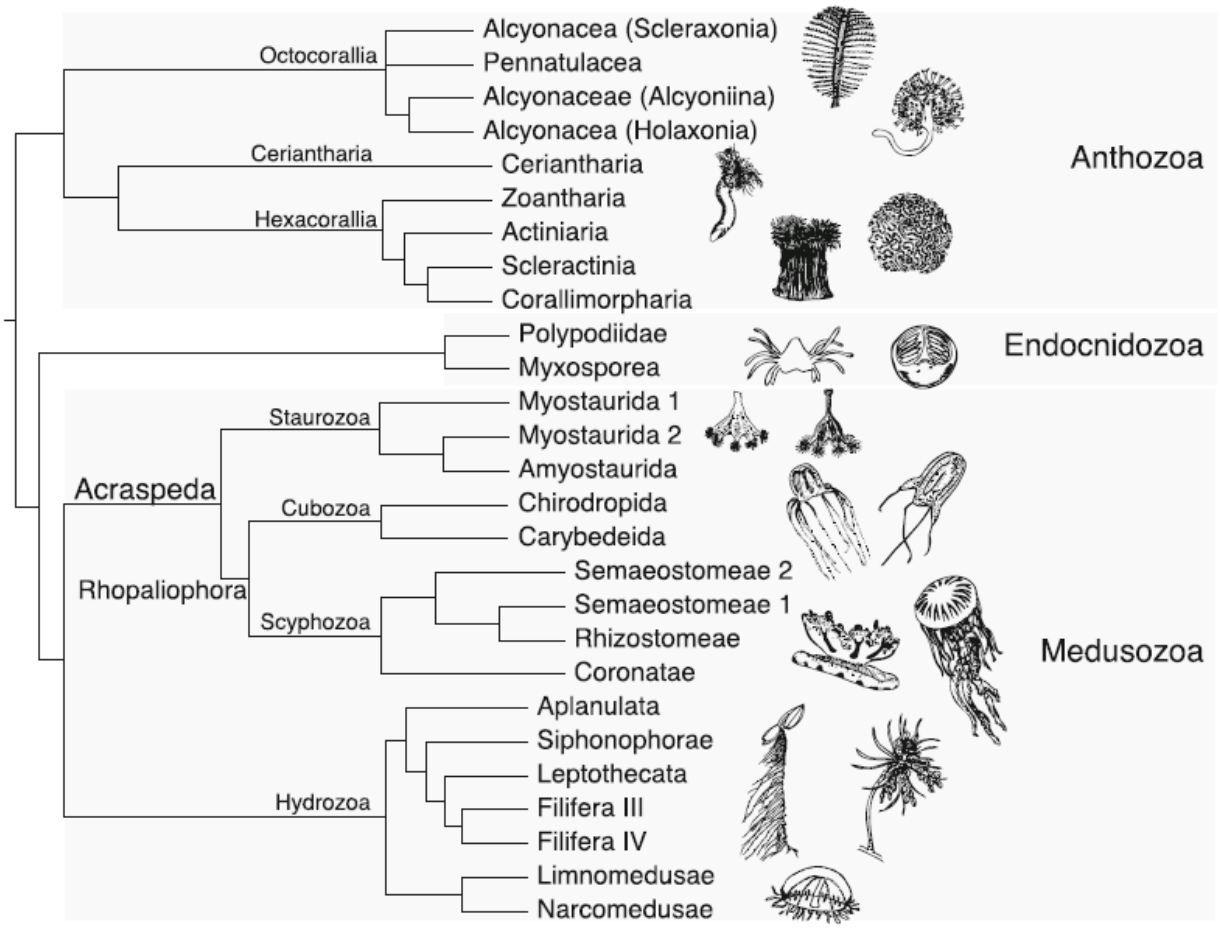


Figure 20 : Classification des cnidaires selon l'étude de (Kayal et al., 2018)

i. Le clade des Endocnidozoaires :

Le clade des Endocnidozoaires inclut les Myxosporea ainsi que les Polypodiidae (Figure 20), qui sont des cnidaires parasites de certains poissons (Chinh et al., 2023). Il est important de souligner que les Endocnidozoaires ont récemment été intégrés à la classification des cnidaires. Ce groupe se compose d'espèces parasites de vertébrés et d'invertébrés marins, et est toujours en évolution avec de nouvelles espèces découvertes (Mota et al., 2024). En conséquence de cette évolution constante, nous avons pris la décision de ne pas décrire en détails le clade des Endocnidozoaires dans notre travail, préférant nous concentrer sur les cinq principales classes de cnidaires.

ii. La classe des Anthozoaires :

Les Anthozoaires se subdivisent en deux groupes frères, l'un englobant les sous-classes des Cérianthaires et des Hexacoralliaires, tandis que l'autre inclut la sous-classe des Octocoralliaires (Figure 20). La classe des Anthozoaires réunit les coraux, les anémones de mer et les gorgones.

Toutes les espèces de la classe des Anthozoaires adoptent exclusivement la morphologie polype. De plus, ces organismes partagent trois caractères anatomiques communes (Figure 21 et 22) (Daly et al., 2006) :

- l'actinopharynx ou stomodeum : il s'agit d'un petit tube qui s'étend dans la cavité gastro-vasculaire. Il régule l'ouverture et la fermeture de la bouche grâce à un anneau de fibres musculaires et est revêtu de cellules épithéliales ciliées et allongées qui facilitent le passage des nutriments (Coral Polyp Anatomy NOAA, 2023).
- le siphonoglyphe : il s'agit d'une gouttière longitudinale ciliée et glandulaire de la paroi pharyngienne. Il peut être unique, en paire, voire présent en plus de deux exemplaires. Il permet de propulser l'eau dans la cavité gastro-vasculaire même lorsque la bouche est fermée (Berking, 2007).
- les mésentères : il s'agit de feuillets de tissus disposés radialement, qui s'étendent de l'ectoderme du polype à l'actinopharynx. Ils s'étendent jusqu'à mi-chemin à travers la cavité gastro-vasculaire et contiennent les cellules reproductrices, les cellules épithélio-musculaires, les cellules glandulaires et les cnidocytes (Daly et al., 2006).

Exemple d'Anthozoaire : *A. elegantissima*, *A. stellula*, *C. rubrum*, *P. verrucosa*, *C. inornata*, *Eunicella cavolini* (Figure 23), *Condylactis gigantea* (Figure 24).

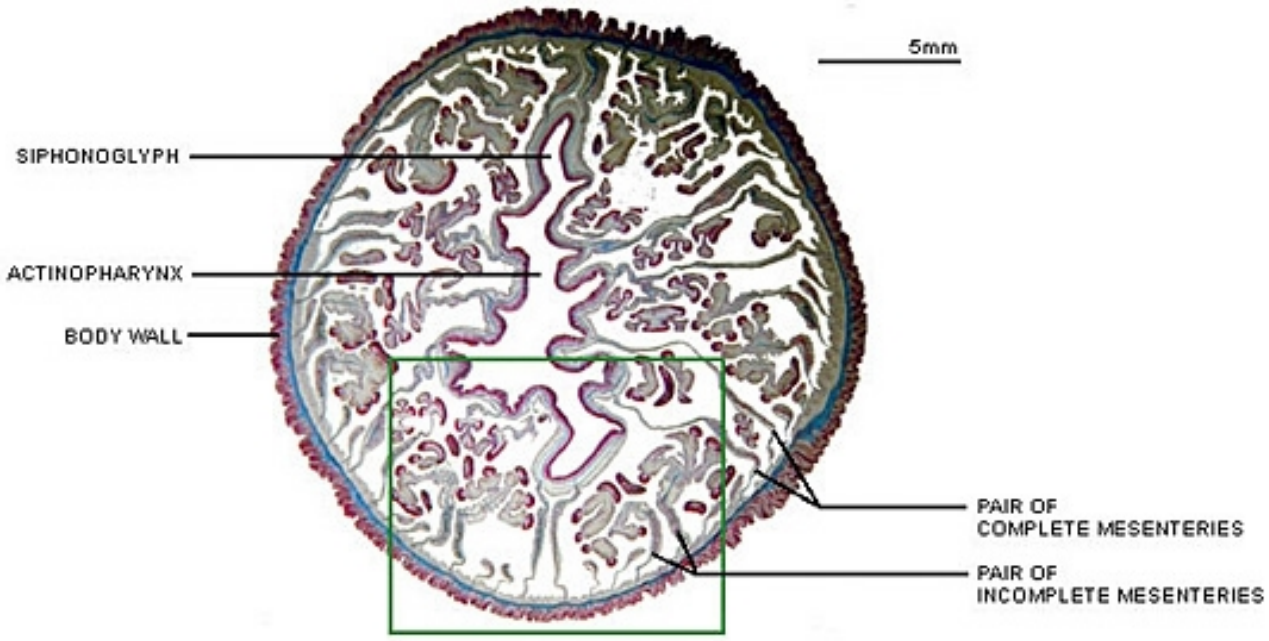


Figure 21 : Coupe transversale de l'actinopharynx de Megalactis sp *© 2000 Adorian Ardelean (Coral Polyp Anatomy NOAA, 2023)*

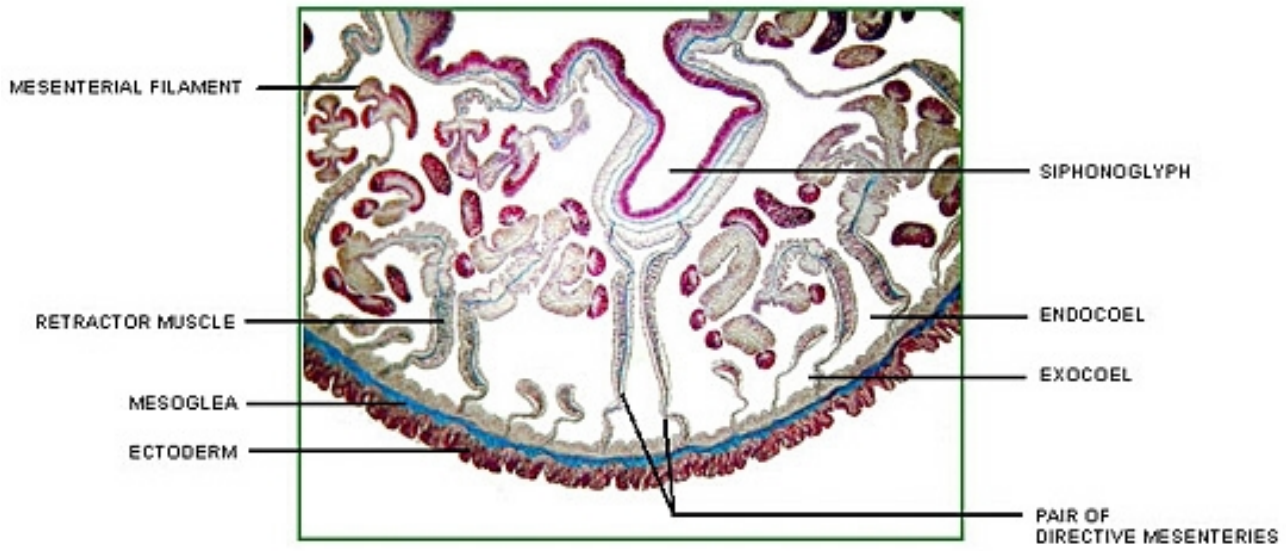


Figure 22 : Coupe transversale de l'actinopharynx de Megalactis sp *© 2000 Adorian Ardelean (Coral Polyp Anatomy NOAA, 2023)*

Figure 24 : C. gigantea *Biobs © Adrien Weckel (INPN, s. d.)*

Figure 23 : E. cavolini *© T. de Bettignies (INPN, s. d.)*

iii. Le Clade des Méduzoaires :

Le clade des Méduzoaires se divise en deux groupes frères (Figure 20) : l'un regroupant les Hydrozoaires, et l'autre constitué par le groupe des Acraspeda, incluant les Staurozoaires, les Cubozoaires et les Scyphozoaires. Les Cubozoaires et les Scyphozoaires forment le groupe des Rhopaliophora, qui est le groupe frère des Staurozoaires.

La classe des Hydrozoaires :

Cette classe regroupe des espèces qui peuvent être solitaires ou coloniales et qui présentent une alternance entre la morphologie méduse et la morphologie polype, cette dernière étant prédominante au cours de leur cycle de vie. Le polype a une cavité gastrique non cloisonnée et ne possède pas de pharynx.
La méduse est caractérisée par une sous-ombrelle partiellement refermée par un diaphragme appelé vélum, et la reproduction asexuée par strobilation n'est pas observée (Cheng, 2021).
Les Hydrozoaires se divisent en deux sous classes (Figure 20) : les Hydroidolina et les Trachylina.
Exemple d'Hydrozoaire : *O. geniculata*, *H. circumcincta*, *H. viridissima* (Figure 25), *P. physalis* (Figure 35).

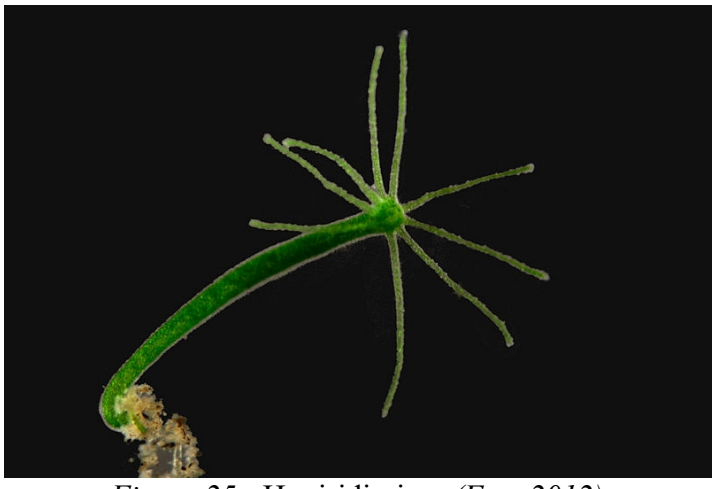


Figure 25 : H. viridissima *(Fox, 2012)*

La classe des Scyphozoaires :

Également connus sous le nom de « Méduses vraies », les Scyphozoaires regroupent des espèces dont la morphologie méduse prédomine, avec une morphologie polype brève, voire même absente dans certains cas (la larve planula donnant alors directement naissance à une méduse). Les caractéristiques des Scyphozoaires incluent l'absence de vélum, puisque leur cavité sous-ombrelle est complètement ouverte (Cheng, 2021).

Ces organismes possèdent des rhopalies (Figure 26), qui sont des structures sensorielles en forme de « doigt », disposées autour du bord de l'ombrelle des méduses, généralement en multiples de quatre. À l'extrémité terminale de chaque rhopalie se trouve un amas de grandes cellules endodermiques appelées lithocystes ou statocystes, contenant des cristallins statolithes recouverts d'un mince épithélium ectodermique. Le poids de ce statocyste provoque la courbure de la rhopalie en forme de « doigt » en réponse à la gravité (Helm, 2018). Chez les Scyphozoaires, chaque rhopalie abrite deux ocelles (yeux), qui sont des organes pluricellulaires à fonction photoréceptrice. Les ocelles sont composés de cellules sensorielles photoréceptrices réparties parmi des cellules pigmentaires non sensorielles. Dans le cas des Scyphozoaires les cellules pigmentaires se présentent sous forme de simples tâches oculaires ou d'ocelle à coupelle pigmentaire (Martin, 2002).

Du côté oral, l'ocelle est constitué de cellules pigmentaires endodermiques en forme de coupelle. Sur le côté aboral, dans l'ectoderme, l'ocelle est constitué de cellules pigmentaires épidermiques. À proximité de cet ocelle se trouve une « plaque tactile » composée d'une épaisse plaque de cellules sensorielles épidermiques ciliées (Helm, 2018 ; Nakanishi et al., 2009).

Grâce à ces organes sensoriels, les méduses peuvent détecter des stimuli environnementaux tels que la lumière et la gravité, ce qui leur permet de se déplacer, de détecter les proies et les prédateurs, ainsi que de maintenir leur équilibre dans l'eau (Nakanishi et al., 2009).

La classe des Scyphozoaires comprend deux groupes frères (Figure 20) : l'ordre des Coronatae et la sous-classe des Discomedusae, qui est à son tour divisée en deux ordres : les Rhizostomae et les Semaeostomae (Bayha et al., 2010).

Exemple de Scyphozoaire : *P. noctiluca* (Figure 27), *A. aurita* (Figure 28), *C. andromeda*.

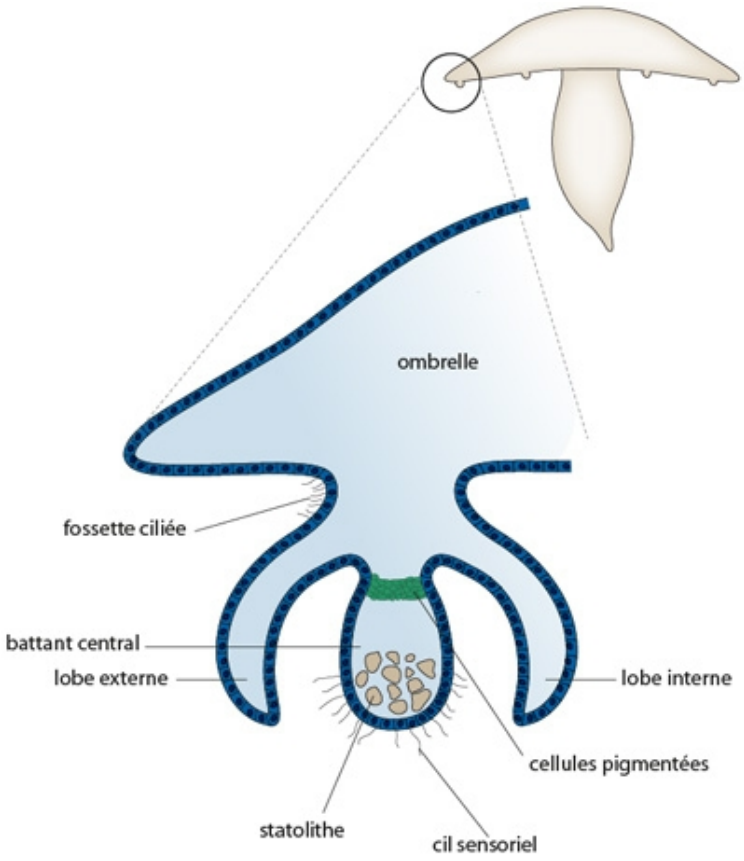


Figure 26 : Schéma d'une rhopalie (UCLouvain, 2014)

Figure 28 : A. aurita © *Vincent Maran (DORIS, s. d.)*

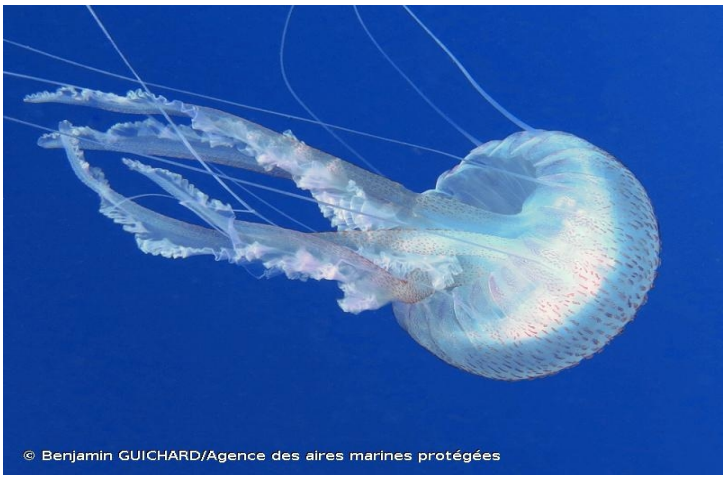


Figure 27 : P. noctiluca © *Benjamin Guichard Agence des aires marines protégées (DORIS, s. d.)*

La classe des Cubozoaires :

Les Cubozoaires, également appelés cuboméduses ou méduses boîtes, se distinguent par leur apparence de méduses transparentes dotées d'une ombrelle en forme cubique. Cette classe comprend certaines des espèces les plus dangereuses pour l'Homme, telles que *Chironex fleckeri* (Geistdoerfer & Goyffon, 2004).
Les Cubozoaires sont réputés pour posséder les yeux les plus complexes parmi les cnidaires. Ils possèdent quatre rhopalies, chacune abritant six yeux, de trois types différents : il y a deux ocelles en forme de fente, deux ocelles en forme de fosses et deux yeux complexes constitués d'une cornée, d'un cristallin cellulaire, d'un espace vitré et d'une rétine avec des cellules pigmentées. Ces yeux complexes procurent une vision spatiale aux cubozoaires, leur permettant de détecter et d'éviter les obstacles (Coates, 2003). Les rhopalies sont disposées en rayons autour du corps central de la méduse.

Une caractéristique partagée avec les hydrozoaires est la présence d'un vélum, qui réduit l'ouverture de la sous-ombrelle. Les tentacules des cubozoaires se concentrent aux quatre coins interradiaux et possèdent des bases musculaires épaissies appelées pédalies. Leur cavité gastrique est divisée en quatre compartiments, formés à partir des replis de l'endoderme (Daly et al., 2006).

Les cubozoaires se divisent en deux ordres (Figure 20) : les Carybdeida et les Chirodropida.

Exemple de Cubozoaire : *Carybdea marsupialis* (Figure 29), *C. fleckeri* (Figure 30).

Figure 30 : C. marsupialis *Biobs © Marguerite et Henri Grateau (DORIS, s. d.)*

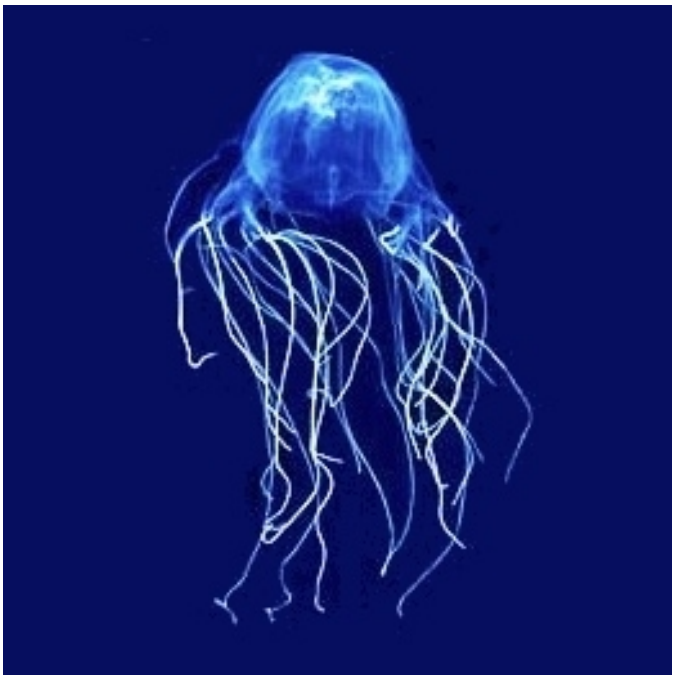


Figure 29 : C. fleckeri *(Chironex Fleckeri, 2008)*

La classe des Staurozoaires :

Les staurozoaires, également connus sous le nom de stauroméduses, se distinguent par leur cycle de vie particulier. Leurs larves, non ciliées et rampantes, se fixent à un substrat et se transforment en polypes juvéniles, qui, à leur tour, bourgeonnent pour former des méduses adultes pédonculées, restant attachées toute leur vie à ce substrat par le pédoncule.

Ces méduses pédonculées présentent une organisation musculaire unique, avec des agencements musculaires principalement longitudinaux plutôt que circulaires, ce qui est en accord avec leur mode de vie benthique et sessile. Le pédoncule des Staurozoaires comporte quatres chambres, dont la fonction exacte n'est pas certaine, mais qui pourrait servir de squelette hydrostatique (cavités remplies de fluide), en plus de jouer un rôle important dans le système gastro-vasculaire en augmentant la surface disponible.

Une caractéristique distinctive des Staurozoaires est la présence de taches blanches de cnidocytes sur la méduse. Ces taches pourraient avoir plusieurs fonctions hypothétiques, telles que la défense et l'attaque, la protection des gonades contre les prédateurs, ou encore l'attraction des proies ou la dissuasion des prédateurs visuels (Miranda, Collins, et al., 2016).

La classe des Staurozoaires est composée d'un seul ordre, les Stauromédusae, qui se divise lui-même en deux sous-ordre (Figure 20) : les Myostaurida et les Amyostaurida (Miranda, Hirano, et al., 2016).
Exemple de Staurozoaires : *Lucernaria quadricornis* (Figure 31), *Haliclystus octoradiatus* (Figure 32).

Figure 31 : L. quadricornis © *Lysanne Des Landes (DORIS, s. d.)*

Figure 32 : H. octoradiatus *(Staurozoa, s. d.)*

c) Le fonctionnement des cnidocytes

Les cnidocytes sont des cellules urticantes. Chaque cnidocyte contient un cnidocyste (Figure 33), qui est une petite capsule urticante comprenant un opercule, une paroi solide et élastique servant de couvercle avant la décharge, et un liquide urticant dans lequel baigne le filament urticant muni de petits crochets disposés en barbelés (Tardent, 1995). Elle comprend aussi un cnidocil, qui est un petit prolongement cytoplasmique excitable. Lorsqu'il est stimulé, le cnidocil déclenche la libération d'ions calciums dans le cytoplasme du cnidocyte, entraînant ainsi une augmentation de la pression osmotique qui déclenche la décharge du cnidocyte (Özbek et al., 2009 ; Watson & Hessinger, 1994).

i. Mécanisme de décharge du cnidocyte

Au repos, l'opercule est fermé et le filament urticant est invaginé à l'intérieur du cnidocyste (Figure 33). Lorsque le cnidocil est stimulé par une proie ou un prédateur, l'opercule s'ouvre, libérant ainsi le filament qui se déroule et est expulsé à très grande vitesse à l'extérieur. Il va alors s'implanter dans les tissus de la proie à l'aide des petits crochets, permettant l'inoculation du venin.

La décharge est irréversible, ce qui implique que les cnidocytes ne peuvent être utilisés qu'une seule fois, d'où une régulation très stricte des conditions de décharge (Anderson & Bouchard, 2009).

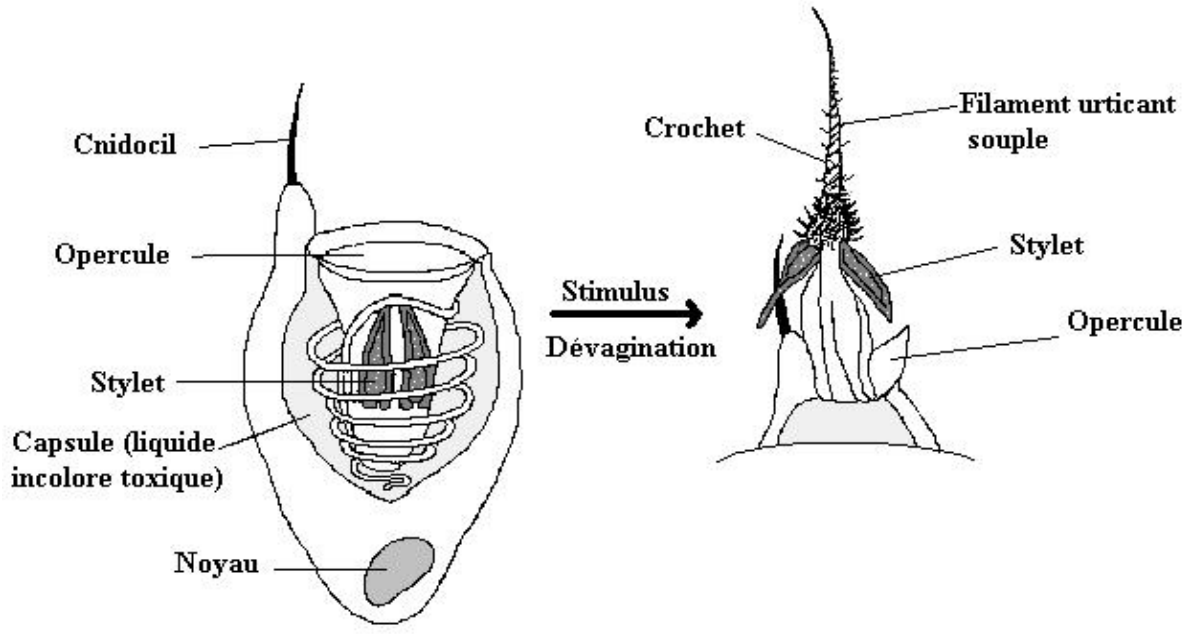


Figure 33 : Schéma d'un cnidocyste avant et après stimulus (SFMU - Méduses, 2017)

ii. Le venin des cnidaires : découverte et fonctionnement

Les premières recherches sur les venins des cnidaires ont été menées au XX^{ème} siècle par un physiologiste français du nom de Richet. Il a notamment partiellement purifié et étudié deux composants actifs, la « congestine » et la « thalassine », extraits des tentacules des anémones de mer *Actinia equina* et *Anemonia sulcata* (Richet, 1903). Les études menées sur les cnidaires, lui ont valu le prix Nobel de physiologie et de médecine en 1913 pour sa découverte de l'anaphylaxie (van Wijland, 2015).

En raison des limitations des techniques biochimiques de l'époque, il a fallu attendre les années 70 pour qu'une collaboration entre des scientifiques français et allemands permette l'isolement complet de trois neurotoxines peptidiques. Ces neurotoxines retardent et inhibent l'inactivation des canaux sodiques (Béress et al., 1975).

À la suite de ces découvertes et grâce aux progrès technologiques ultérieurs, d'autres études ont été menées sur différentes espèces de cnidaires, mettant en évidence l'existence de nombreuses autres toxines telles que des protéines cytolytiques ainsi que des toxines non peptidiques, comme par exemple des diterpènes cycliques chez les Anthozoaires (Turk & Kem, 2009).

Certains de ces venins contiennent ou induisent la libération d'amines biogéniques vasodilatatrices de l'hôte telles que l'histamine ou la sérotonine, accélérant ainsi les effets pathogènes des autres composants du venin (Jouiaei et al., 2015).

Le (Tableau 2) ci-après, regroupe les différentes toxines, leurs effets et les classes dans lesquelles elles sont prédominantes selon (Jouiaei et al., 2015).

D'une manière générale, ces venins contiennent une variété d'enzymes aux propriétés cytolytiques, cytotoxiques, voire hémolytiques. Ces enzymes jouent un rôle crucial dans la digestion des proies ou la dégradation de ces tissus. De plus, les venins renferment des cytolysines, des toxines poreuses ayant la capacité de s'assembler spontanément pour former des pores dans les membranes cellulaires de la proie, entraînant ainsi la mort cellulaire par lyse osmotique. Ces cytolysines peuvent également avoir des effets cytolytiques, hémolytiques ou myotoxiques.

Nous pouvons également citer les neurotoxines spécifiques aux canaux ioniques qui peuvent être neurotoxiques, cardiotoxiques ou même immunosuppressives.

Tableau 2 : Composition des venins des cnidaires (Jouiaei et al., 2015)

Cnidarian venom composition.

Toxin type	Found in class	Function
	Enzymes	
Phospholipase A_2	Anthozoa, Cubozoa, Schyphozoa, Hydrozoa	Cytolytic, hemolytic, prey digestion
Metalloproteases	Schyphozoa, Cubozoa, Anthozoa	Cytotoxic, cytolytic, local tissue damage
	Pore forming toxins (cytolysins)	
Actinoporins and actinoporin-like proteins	Anthozoa,Hydrozoa	Cytolytic, hemolytic, cardiovascular and respiratory arrest
Jellyfish Toxins	Cubozoa	Hemolytic, cardiotoxic, cytolytic, myotoxic, cutaneous inflammation
Hydralysins-related toxins	Hydrozoa, Anthozoa	Cytolytic, prey digestion
Membrane Attack Complex-Perforin	Anthozoa	Cytolytic, hemolytic
	Neurotoxins	
NaTxs (type I-III)	Anthozoa	Neurotoxic, cardiotoxic, insecticide
KTxs (type I,III and IV,V KTxs)	Anthozoa	Neurotoxic, hypotensive, cardiotoxic, analgesic, antimicrobial, immunosuppressive, anti obesity
Kunitz peptides (type II KTxs)	Anthozoa	Paralytic, serine protease inhibitor
Small Cysteine-Rich Proteins (SCRiPs) and SCRiPs homologues	Anthozoa	Paralytic
ASIC Inhibitors	Anthozoa	Analgesic
TRPV1 Inhibitors	Anthozoa	Analgesic
	Non-protein bioactive components	
Serotonin	Hydrozoa, Anthozoa	Vasodilation, sharp pain
Histamine	Anthozoa	Vasodilation, sharp pain
Bunodosine	Anthozoa	Analgesic
Caissarone	Anthozoa	Adenosine receptor antagonist

d) L'utilisation des cnidaires en santé humaine

Les cnidaires sont connus pour leur diversité de venins, mais ils ont également été identifiés comme une source riche en composés bioactifs aux applications variées en santé humaine, allant de la lutte contre les maladies infectieuses à la régénération tissulaire. Ces découvertes prometteuses ouvrent de nouvelles perspectives pour la recherche et le développement de nouvelles thérapies.

Voici quelques exemples illustrant ce potentiel.

i. Les applications dans la régénérescence tissulaire et substitut osseux

Des études *in vitro* ont démontré que les fibres de collagène extraites des coraux peuvent servir de structures de soutien adaptatives pour la régénération tissulaire. L'objectif est non seulement de remplacer les tissus endommagés, mais aussi de permettre leur régénération et l'intégration biologique de l'implant.

Pour cela, la biocompatibilité entre les cellules est essentielle car elle favorise une meilleure adhérence et prolifération cellulaire, afin de faciliter la formation de nouveau tissu et d'améliorer les processus de guérison.

De plus, la similarité du collagène marin avec les macromolécules biologiques humaines permet de minimiser les réactions immunologiques de l'hôte et l'inflammation chronique associée aux implants traditionnels (Shelah et al., 2021).

Par exemple, les fibres extraites du corail mou *Sarcophyton ehrenbergi* possèdent des propriétés mécaniques hyperélastiques et viscoélastiques similaires à celles des tissus riches en collagène, ce qui les rend appropriées pour la réparation de la peau, des disques vertébraux, des tendons et ligaments, ainsi que des articulations (Benayahu et al., 2018).

Par ailleurs, suite à l'application d'un processus de décellularisation sur l'ombrelle de la méduse *C. andromeda,* la structure résultante préserve ses propriétés physico-chimiques, ce qui représente un grand potentiel pour l'ingénierie tissulaire cutanée, en raison de sa similitude avec la structure de la peau humaine (Fernández-Cervantes et al., 2020).

Les substituts osseux sont utilisés pour combler les défauts après un traumatisme ou une chirurgie, fournissant un support mécanique et favorisant la cicatrisation osseuse. Ils offrent une alternative à l'autogreffe.

Les substituts osseux dérivés de l'exosquelette de certains coraux marins présentent une structure poreuse composée de carbonate de calcium sous forme d'aragonite, similaire à celle de l'os spongieux humain. En raison de leur biocompatibilité, les coraux peuvent servir de support aux facteurs de croissance et permettre la fixation, la croissance et la différenciation des cellules (Jordana et al., 2017).

Depuis plus de vingt ans, les implants coralliens dérivés des coraux du genre *Porites* et du genre *Goniopora* sont utilisés pour traiter divers défauts osseux ou pour des augmentations orthopédiques, craniofaciales, chirurgicales buccales et parodontales. Parmi les références déjà commercialisées

dans ce domaine figurent Bicoral®, Pro-Osteon® et Interpore® (Colat-Parros & Jordana, 2009 ; Damien & Revell, 2004 ; Shors, 1999).

ii. Perspectives en tant que composés anti-cancéreux :

Diverses études ont été menées pour démontrer l'intérêt d'utiliser le venin de certaines espèces de méduses pour le développement de médicaments contre le cancer (D'Ambra & Merquiol, 2022).

Le venin extrait de la méduse *Nemopilema nomurai* a été testé sur des cellules de carcinome hépatocellulaire humain (HepG2) pour sa capacité à inhiber leur croissance. Les tests ont été menés à différentes concentrations de venin (de 0,8 à 1,6 µg/mL) et pour différentes durées d'exposition (de 0 à 12 heures) (Figure 34). Les résultats ont démontré une corrélation entre la viabilité des cellules de HepG2, la concentration de venin et la durée d'exposition, mettant en évidence les activités anti-prolifératives du venin. Une diminution significative de la prolifération des cellules HepG2 a été observée après 24 heures d'exposition à une concentration de 1,2 µg/mL, par rapport aux cellules témoins non exposées au venin. Cela a permis de déterminer la dose létale médiane (DL_{50}) à 1,2 µg/mL (Choudhary et al., 2018).

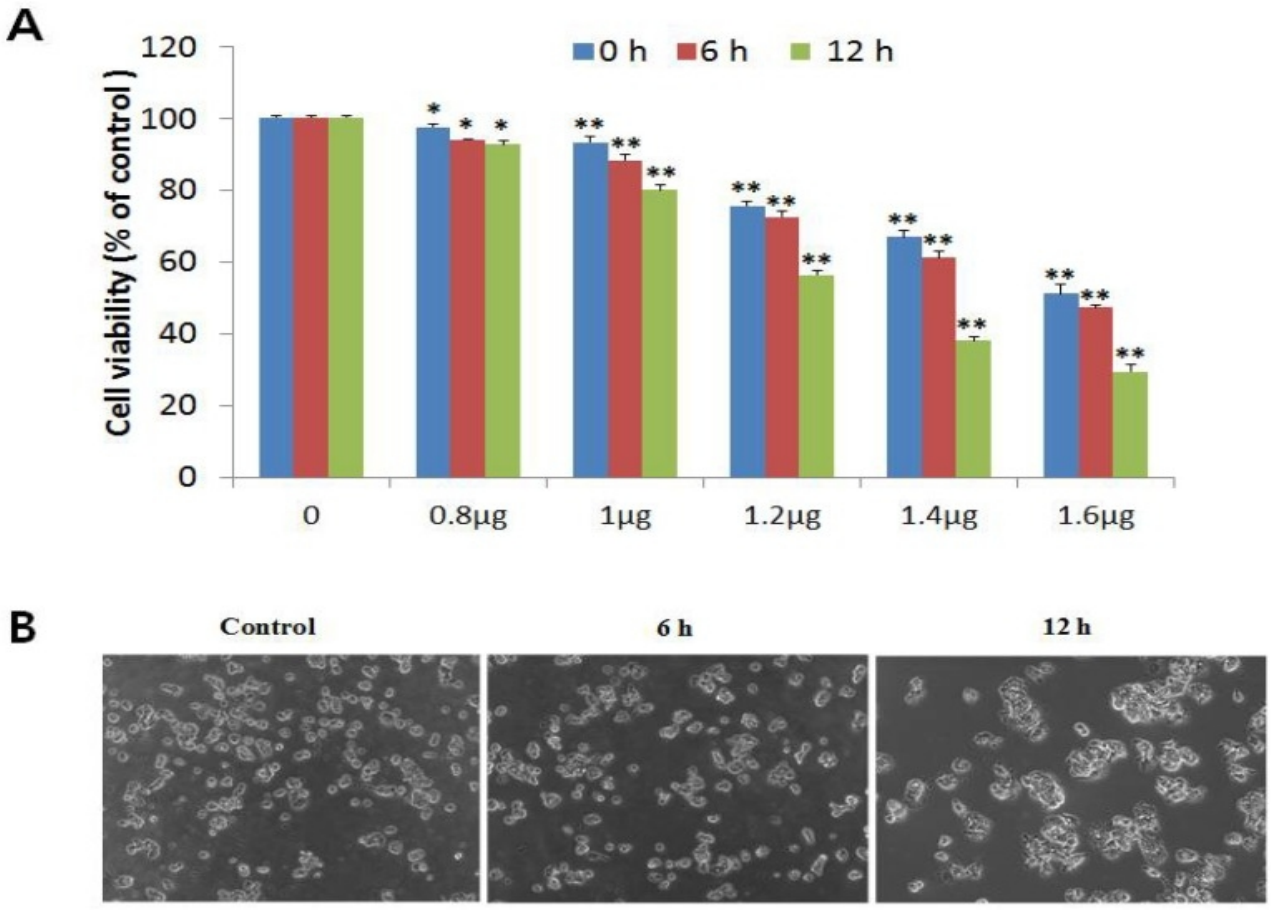


Figure 34 : Le venin de N. nomurai *inhibe la prolifération des cellules de HepG2. (A) Les cellules de HepG2 ont été traitées à des concentrations différentes de venin pendant 6, 12 et 24 heures et la viabilité des cellules a été déterminées par un test au MTT ; (B) Les changements morphologiques cellulaires ont été observés à l'aide d'un microscope à contraste de phase. L'image de gauche montre les cellules de HepG2 non traitées (témoin) ; l'image du milieu montre les cellules de HepG2 traitées avec du venin à 1,2 µg/mL pendant 6 heures ; sur l'image de droite les cellules ont été traitées pendant 12 heures à 1,2 µg/mL également. L'astérisque (*) indique une différence significative par rapport au témoin *p<0.05, **p<0.01.Selon l'étude de (Choudhary et al., 2018)*

Le venin brut de *Cyanea nozaki* a également démontré une activité cytotoxique sur les cellules cancéreuses humaines du côlon (H630) ainsi que sur celles du foie (Bel-7402 et SMMC-7721). Le venin a montré une cytotoxicité plus importante sur les cellules cancéreuses H630, avec une dose létale médiane à 5,1 µg/mL. La dose létale médiane pour les cellules Bel-7402 était de 17,9 µg/mL, et 24,3 µg/mL pour les cellules SMMC-7721. Cette étude a également révélé que la cytotoxicité du venin variait en fonction du pH, de la température et des conditions de stockage. En effet, à un pH compris entre 4,5 et 8,5, le venin a montré une cytotoxicité significative, réduisant le pourcentage de survie des cellules cancéreuses à environ 50 %. De plus, une pré-incubation du venin à des températures supérieures à 60°C, même pour une durée courte de 10 minutes, améliore nettement le pourcentage de survie des cellules, passant de 4,6 % à 80 %. Enfin la méthode de conservation du venin la plus efficace identifiée dans cette étude était la lyophilisation à -80°C (Cuiping et al., 2012).

Le venin de *P. noctiluca* a démontré des effets cytotoxiques et cytolytiques sur les cellules du cancer du côlon humain (HCT 116). La cytotoxicité du venin a été évaluée après 24 heures d'incubation en utilisant un test au MTT avec différentes concentrations de venin : 80, 160, 320 et 640 µg/mL. La dose létale médiane a été déterminée à 320 µg/mL (Ayed et al., 2011).

À notre connaissance, aucun essai clinique n'a été initié ; ces études demeurent à un stade préclinique, réalisées uniquement en laboratoire.

iii. Perspectives en tant que composés anti-diabétique :

Des recherches sont en cours pour démontrer l'efficacité potentielle des composés issus de cnidaires dans le traitement des maladies métaboliques telles que le diabète (Lauritano & Ianora, 2016).

Par exemple, les extraits méthanoliques des coraux *Sinularia firma* et *Sinularia erecta* ont démontré un effet hypoglycémiant chez les rats atteints de diabète, ainsi qu'une inhibition de l'hyperglycémie postprandiale chez les rats sains (Tamrakar et al., 2008). Pour les tests effectués chez les rats sains, des rats albinos mâles de la souche Wistar ont été utilisés. La glycémie à jeun de chaque animal a été vérifiée et seuls les animaux présentant une glycémie comprise entre 3,3 et 4,4 mmol/L ont été sélectionnés. Les rats du groupe expérimental ont reçu par voie orale une suspension de l'échantillon test à une dose de 250 mg/kg ou de la metformine à une dose de 100 mg/kg de poids corporel (préparée dans 1 % de gomme d'acacia). Le groupe témoin a reçu une quantité équivalente de 1 % de gomme d'acacia. Chaque groupe a reçu une charge de saccharose de 10g/kg, 30 minutes après l'administration de l'une des quatre substances. La glycémie de chaque rat a été de nouveau contrôlée à 30, 60, 90 et 120 minutes après l'administration du saccharose. Les résultats ont montré que les extraits inhibent l'augmentation postprandiale de l'hyperglycémie de 13 % pour l'extrait de *S. firma* et de 12,7 % pour l'extrait de *S. erecta* (Tamrakar et al., 2008).

Les tests réalisés chez les rats diabétiques ont été effectués sur des rats albinos de la souche Sprague-Dawley (Tamrakar et al., 2008). Ces rats ont été rendus diabétiques par injection d'une solution de streptozotocine à une dose de 60 mg/kg de poids corporel. La glycémie a été contrôlée 48 heures après, et seuls les animaux présentant une glycémie entre 15 et 20 mmol/L ont été sélectionnés. Comme dans l'expérience précédente, un groupe a reçu par voie orale une suspension de l'échantillon à une dose de 250 mg/kg, un groupe de la metformine à 100 mg/kg, tandis que le groupe témoin a reçu 1 % de gomme d'acacia. La charge de saccharose administrée à chaque

animal était de 2,5g/kg, 30 minutes après l'administration de l'une des quatre substances. Les relevés glycémiques ont été effectués à 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 24 heures après l'administration du saccharose. Les résultats ont montré un effet hypoglycémiant de 14,5 % pour l'extrait de *S. firma* et de 16,1 % pour l'extrait de *S. erecta* (Tamrakar et al., 2008).

Les anémones de mer *Bunodosoma granulifera* et *Bartholomea annulata* ont été identifiées comme étant des inhibiteurs de la dipeptidyl peptidase IV extraite de cortex rénal porcin (Pascual et al., 2007). Cette étude a été réalisée sur 34 espèces appartenant aux phyla des chordés, des échinodermes, des annélides, des mollusques, des cnidaires, des éponges, ainsi que des chlorophytes et des angiospermes pour les plantes. Parmi ces 34 espèces, seules l'éponge *Xetospongia muta* (0,82 U/mg) et les anémones *B. granulifera* (2,26 U/mg) et *B. annulata* (1,78 U/mg) ont montré une activité inhibitrice (U : une unité d'activité inhibitrice a été définie comme la quantité de protéine nécessaire pour inhiber une unité d'activité enzymatique) (Pascual et al., 2007).

Tout comme pour les cnidaires ayant un effet sur les cellules cancéreuses, à notre connaissance, aucun essai clinique n'a été initié pour les cnidaires ayant un effet anti-diabétique.

iv. Perspectives en tant que composés anti-infectieux :

Certaines espèces sont également étudiées en tant que sources potentielles d'agents anti-infectieux. Par exemple, un peptide antimicrobien de 40 résidus, appelé aurelin, a été extrait de la mésoglée de la méduse *A. aurita,* et a démontré une inhibition d'*Escherichia coli* à une concentration de 7,7 µg/mL.

De manière similaire, le peptide damicornin, isolé du corail *Pocillopora damicorins*, présente des effets antibactériens sur plusieurs organismes, notamment *Micrococcus luteus*, *Bacillus megaterium*, *Staphylococcus aureus*, *Brevibacterium stationis*, *Microbacterium maritypicum*, et *Fusarium oxysporum,* à des concentrations comprises entre 1,25 et 20 µg/mL (Kang et al., 2015).

v. Valorisation des cnidaires en tant que sources de protéines fluorescentes :

Les protéines fluorescentes sont très utilisées dans le domaine de la recherche expérimentale car elles permettent d'explorer les processus biologiques en cellules ou tissus vivants tels que : l'expression des gènes, la localisation et la dynamiques des protéines, les interactions entre les protéines, la division cellulaire, le développement des neurones, la prolifération des métastases.

De plus, elles sont utilisées comme bioindicateurs pour surveiller des paramètres physico-chimiques tels que le pH, la concentration en calcium et autres métabolites.

Certaines de ces protéines fluorescentes proviennent d'animaux appartenant au phylum des cnidaires, notamment des méduses, des coraux et des anémones de mer (Pasquier, 2008).

Le prix Nobel de chimie 2008 a été attribué à un chercheur japonais, Osumo Shimomura et deux chercheurs américains, Martin Chalfie et Roger Y. Tsien, pour leurs travaux pionniers dans la découverte et le développement de la Green Fluorescent Protein (GFP), une protéine fluorescente extraite de la méduse *Aequorea victoria* (Shimomura et al., 1962).

La GFP de la méduse *A. victoria* est une protéine inhabituelle avec une forte absorption visible et une fluorescence provenant d'un chromophore p-hydroxybenzylidène-imidazolidinone, qui est généré par la cyclisation et l'oxydation de la séquence Ser-Tyr-Gly de la protéine aux positions 65-67. La GFP a été mutée et criblée pour des variants avec des spectres modifiés. Le mutant le plus frappant fluoresçait en bleu et contenait de l'histidine à la place de Tyr-66, ce qui a donné naissance à la Blue Fluorescent Protein (BFP) ou protéine fluorescente bleue (Heim et al., 1994).

En poursuivant ces approches de modifications génétiques, d'autres protéines fluorescentes ont été créées (Kremers et al., 2011 ; Shaner et al., 2004 ; Tsien, 1998) :

- YFP : protéine fluorescente jaune.
- CFP : protéine fluorescente cyan.
- RFP : protéine fluorescente rouge.
- mRFP1 : protéine dérivée de la RFP, qui émet une lumière rouge plus éloignée dans le spectre.

En ce qui concerne les autres protéines dérivées de cnidaires, nous pouvons citer (Kremers et al., 2011 ; Labas et al., 2002) :

- DsRed : protéine dérivée des coraux *Disosoma sp.* qui émet une lumière rouge.
- TagRFP : protéine dérivée de l'anémone de mer *Entacmaea quadricolor*, qui émet une lumière rouge.
- ZoanYFP : protéine dérivée des *Zoanthus sp. q*ui émet une lumière jaune.

e) Les organismes coloniaux du genre *Physalia*

Les organismes coloniaux du genre *Physalia* sont, communément connus sous les noms de physalies, de « galères portugaises », ou encore de vessies de mer. Ce genre regroupe deux espèces de cnidaires marins appartenant à la classe des Hydrozoaires, à l'ordre des Siphonophores et à la famille des Physaliidae : *P. physalis* (Figure 35) et *Physalia utriculus* (Figure 41).

Reconnaissables à leurs pneumatophores en forme de voile, ces créatures évoluent à la surface de l'océan, propulsées par les courants marins. Leur aspect gonflé peut souvent les faire confondre avec des sacs en plastique remplis d'air, et cette apparence remarquable, ainsi que le risque potentiel qu'elles représentent pour les baigneurs, même lorsqu'elles se retrouvent échouées sur les plages, ont suscité un intérêt constant parmi les scientifiques et le grand public.

Contrairement aux méduses avec lesquelles elles sont souvent confondues, les physalies sont des organismes marins coloniaux : elles sont formées de colonies d'individus appelées zoïdes, spécialisés dans différentes fonctions (Dunn, 2009), comme la nutrition, l'attaque et la défense ainsi que la reproduction. Ces polypes travaillent en synergie afin d'assurer la survie de la colonie.

Leur nom de Galère Portugaise fait référence à leur forme particulière évoquant une galiote, un petit bateau à voile de transport, de forme ovoïde, souvent utilisé par les Portugais (Le Granché & Vincent, 2020).

Les physalies sont principalement présentes dans les eaux chaudes de l'Océan Atlantique, de l'Océan Indien et de l'Océan Pacifique.

Ce document se concentrera en priorité sur l'espèce *P. physalis,* la mieux décrite et documentée. Ensuite, nous aborderons l'espèce *P. utriculus*, moins documentée, en mettant principalement l'accent sur ses spécificités connues.

2) *Physalia physalis* : l'espèce et ses caractéristiques

a) Taxonomie et répartition géographique

i. Classification (Bardi & Marques, 2007 ; Museum national d'Histoire naturelle,)

Règne : Animalia Linnaeus, 1758

Phylum : Cnidaria Hatscheck, 1888

Classe : Hydrozoa Owen, 1843

Ordre : Siphonorae Eschsholtz, 1829

Famille : Physaliidae Brandt,1835

Genre : *Physalia* Lamarck, 1801

Espèce : *Physalia physalis* (Linnaeus, 1758)

Figure 35 : P. physalis *(« Portuguese Man-Of-War», s. d.)*

ii. La répartition de *P. physalis* :

En France métropolitaine *P. physalis* se trouve principalement sur la côte ouest au niveau de l'Océan Atlantique, ainsi qu'au nord, au niveau de la Manche et de la Mer du nord (Figure 36).

En ce qui concerne sa répartition mondiale (Figure 37), *P. physalis* se trouve principalement dans l'Océan Atlantique, le Golfe du Mexique, la Mer des Caraïbes, la Grande Baie australienne et la Mer de Tasman. Elle est également présente dans l'Océan Pacifique et l'Océan Indien.

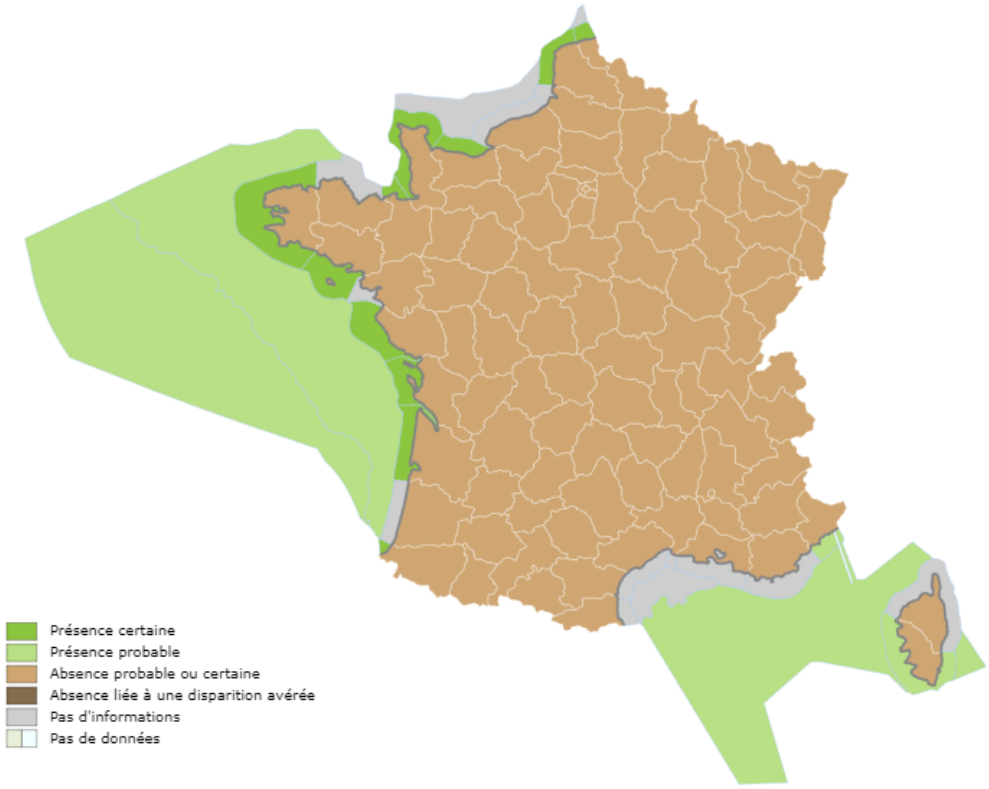


Figure 36 : Carte de répartition de P. physalis *en France métropolitaine. Carte rédigée et validée par Noël Pierre le 03/08/2023 (INPN, s. d.)*

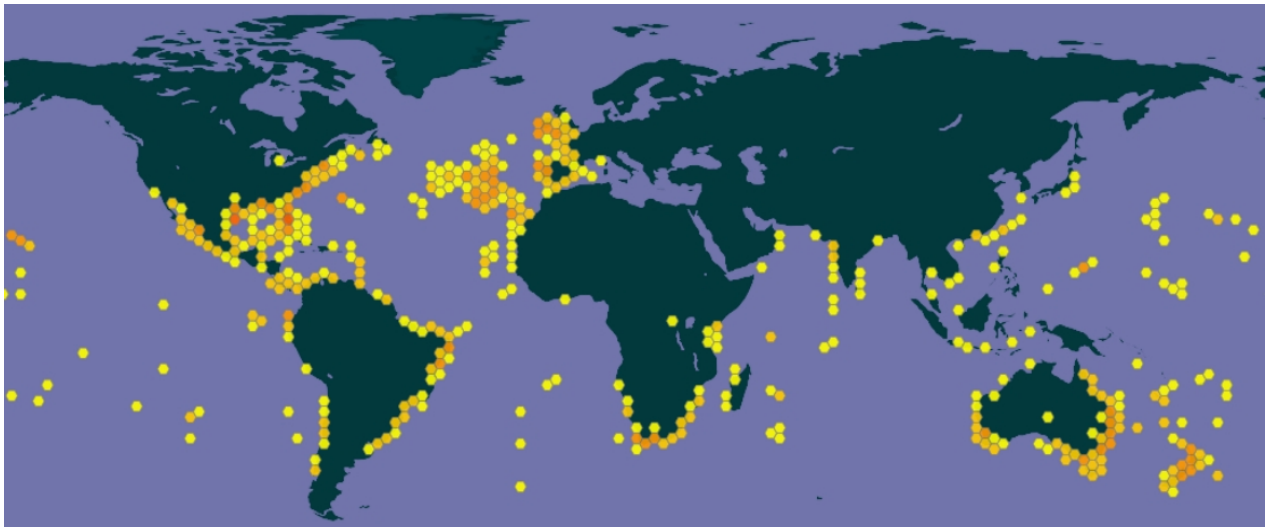


Figure 37 : Carte de répartition mondiale de P. physalis *(GBIF, s. d.)*

b) Description morphologique et cycle de vie

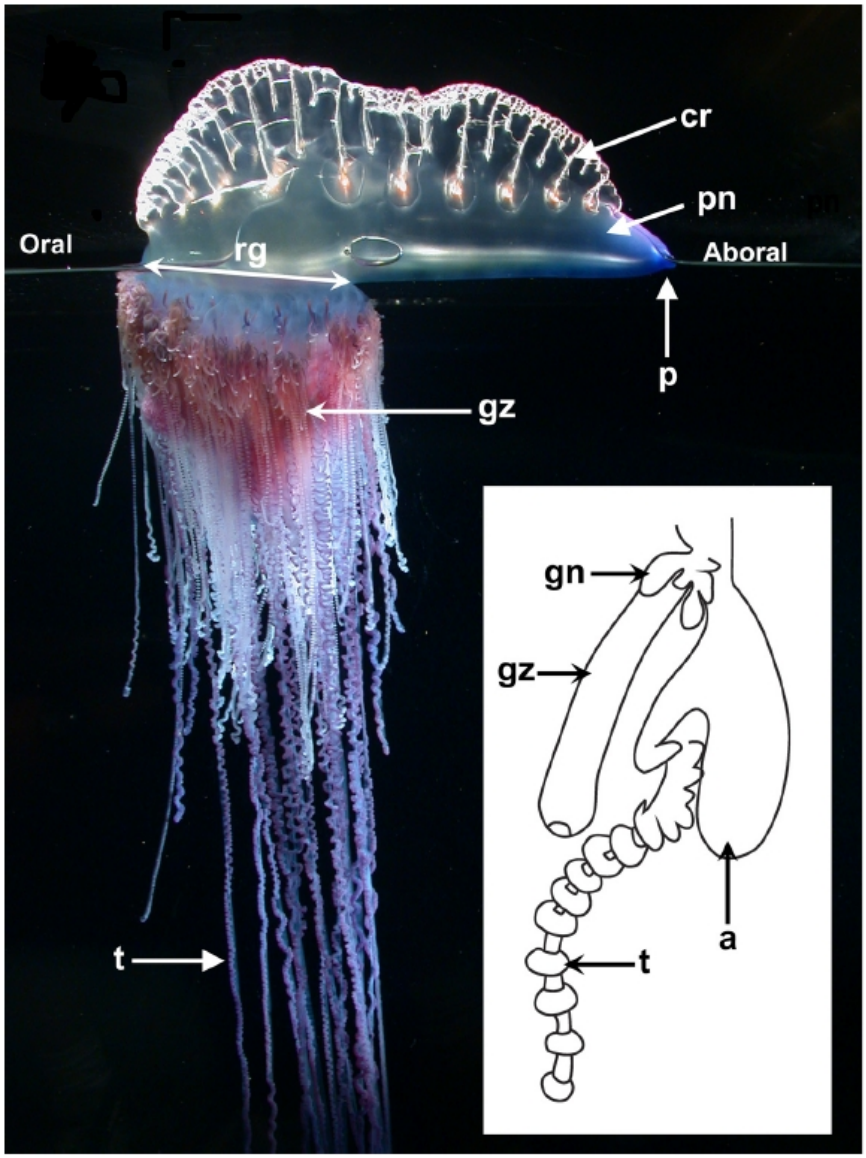


Figure 38 : P. physalis *Linnaeus (1758). © Casey Dunn. a : ampulla ; ap : pore apical ; cr : crête ; gn : gonodendron ; gz : gastrozoïde ; p : pore ; pn : pneumatophore ; rg : région de croissance ; t : tentacule. Selon (Pugh, 2019)*

P. physalis est donc une colonie constituée de quatre organismes ayant chacun la morphologie polype, mais présentant des particularités morphologiques et fonctionnelles spécifiques (Figures 38 et 39) ; au sein de cette colonie, chaque individu possède un rôle spécifique (Elston, 2007 ; Munro et al., 2019) :

- Pneumatophore ou flotteur : ce polype ressemble à un ballon ovoïde de couleur bleutée, violacée ou rosée et qui est translucide. Il peut mesurer entre 10 et 30 centimètres de long et il est surmonté d'une crête (Le Granché et Vincent 2020). Le pneumatophore est composé d'un cyston externe, qui est une membrane externe qui entoure le pneumatophore pour l'aider à maintenir sa forme et sa flottabilité ; d'une glande sécrétant le gaz, qui est une

petite structure en forme de disque, dont le diamètre augmente linéairement avec la taille du pneumatophore ; et d'un pneumatosaccus. Le pneumatosaccus renferme entre 300 millilitres et 1 litre de gaz (selon la taille de la physalie), essentiellement composé d'air et de monoxyde carbone mais on retrouve également en plus faible quantité de l'azote et de l'argon (Wittenberg 1960).

Le pneumatophore se situe à la surface, hors de l'eau, et permet le déplacement de la colonie au gré des vents et les courants marins, constituant le seul moyen de locomotion, car les physalies ne sont pas capables de nager activement.

Le pneumatophore peut également servir de moyen de défense, notamment en surface : en comprimant le pneumatophore, la physalie peut expulser de l'air et descendre en dessous de la surface de l'eau.

- Dactylozoïdes ou palpon tentaculaire : ils ont l'aspect de longs filaments minces, généralement de couleur bleu foncé et recourbés, pouvant atteindre jusqu'à quarante mètres de longueur (*Centre Antipoisons Belge*, s. d.). Leur longueur leur permet d'atteindre des proies très éloignées.

  Ces dactylozoïdes sont pourvus de nombreux cnidocytes, qui contiennent le venin permettant l'immobilisation et la capture des proies. De plus, ils peuvent transporter la proie jusqu'aux gastrozoïdes (Wilson, 1947).

  Ces dactylozoïdes venimeux servent également de ligne de défense pour protéger la colonie contre les éventuels prédateurs.

- Gastrozoïdes : situés à la base des dactylozoïdes, près du pneumatophore, ces polypes assurent l'ingestion et la digestion des proies capturées par les dactylozoïdes. Ils peuvent s'étendre avec des mouvements actifs de torsions afin de s'attacher à la proie grâce à leur bouche (Wilson, 1947). Ils sont généralement translucides ou légèrement teintés de bleu.

- Gonodendron (Figure 39) : il s'agit d'une structure abritant le gonozoïde ainsi que les polypes nécessaires au développement de la larve. Il se situe à l'intérieur de la colonie, à la base du pneumatophore. Comme les gastrozoïdes, ils sont translucides ou légèrement teintés de bleu. Le gonodendron est composé de quatre polypes :
  - gonozoïde : contient les gamètes mâles ou femelles. Ce polype est responsable de la reproduction. *P. physalis* est une espèce marine coloniale dioïque, pouvant produire des colonies contenant soit des gamètes mâles, soit des gamètes femelles.
  - palpon : dérivé du gastrozoïde, il est considéré comme un polype de digestion primitif.
  - nectophore : polype impliqué dans la locomotion, notamment lors de la libération du gonozoïde dans l'eau.
  - polype gélatineux : considéré comme un nectophore primitif, son rôle exact n'a pas encore été pleinement établi.

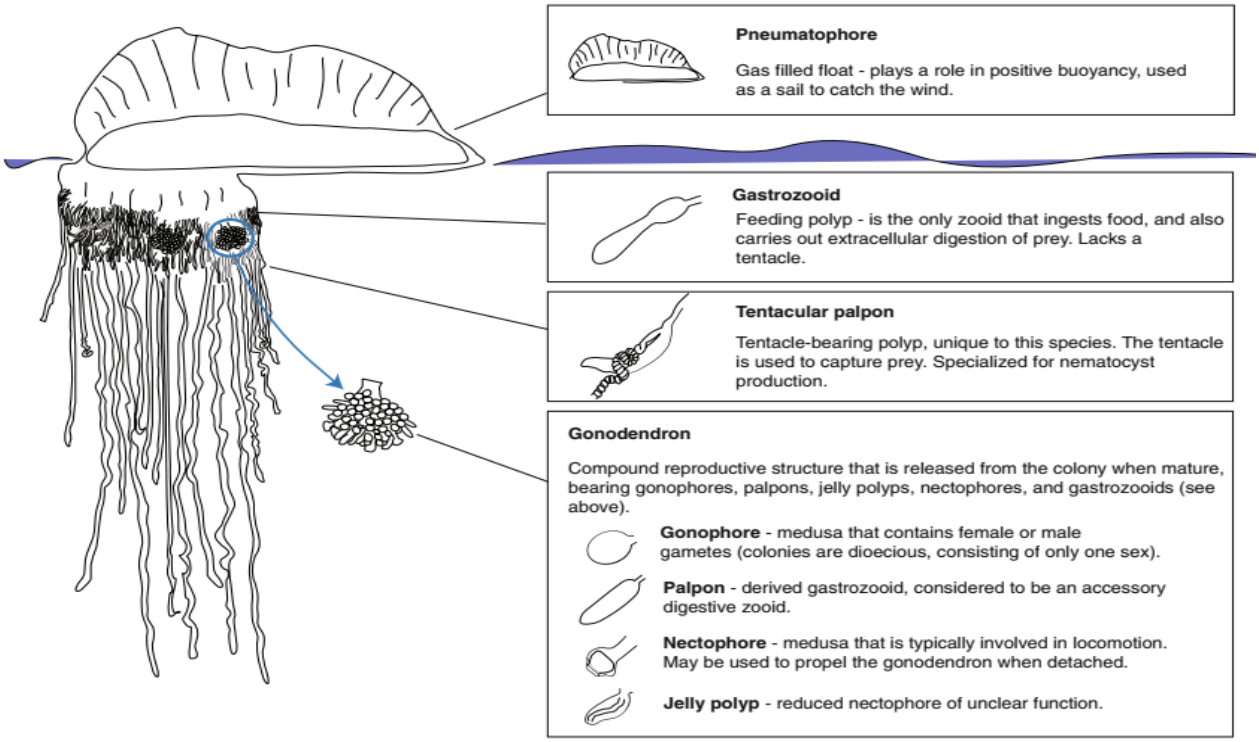


Figure 39 : Représentation schématique de l'anatomie d'une colonie de P. physalis *selon (Munro et al., 2019)*

Les polypes de *P. physalis* sont si spécialisés qu'ils ne peuvent pas fonctionner de manière autonome et meurent en quelques heures s'ils sont séparés les uns des autres.

La couleur bleue du corps de *P. physalis* est attribuée à la présence de bilatriène, identifiée dans les années 70 par Peter J. Herring. Il a également mis en évidence que d'autres couleurs telles que le pourpre et le rose observés chez P. *physalis* sont dues à des pigments biliaires non conjugués, qui n'ont pas pu être identifiés lors de l'étude.

De plus, il a noté la présence d'ommatines dans les tentacules de *P. physalis*, des pigments également présents chez certains organismes marins, notamment chez les méduses (Herring, 1971).

c) Reproduction et développement

Le développement de *P. physalis* commence par une phase de reproduction sexuée, qui se déroule généralement au printemps et en été. Les gonozoïdes des colonies mâles et femelles libèrent leurs gamètes dans l'eau, où ils se dispersent. Après la fécondation, cela conduit à la formation de la planula, une petite larve ciliée, nageuse et aplatie, qui donnera plus tard naissance aux polypes (Le Granché & Vincent, 2020).

Une fois que la planula est formée, la phase de croissance par bourgeonnement commence (Figure 40). Le pneumatophore se développe à partir de l'invagination de l'extrémité antérieure de la planula.

Le protozoïde, premier gastrozoïde à se former pendant le développement, présente les caractéristiques typiques des gastrozoïdes des siphonophores, avec une bouche, un dactylozoïde et une petite région basigastrique. Il se forme à l'extrémité postérieure de la planula en même temps que le pneumatophore. Par la suite, le dactylozoïde du protozoïde finira par disparaître (Munro et al., 2019 ; Pugh, 2019).

Sur le côté ventral de la planula, trois bourgeons se forment simultanément, comprenant deux gastrozoïdes et un dactylozoïde. Il est important de noter qu'il existe une asymétrie droite/gauche dans les colonies de *P. physalis,* ce qui signifie qu'elles peuvent être soit gauchères soit droitières, en fonction du point d'attache du premier dactylozoïde. Par la suite, un troisième gastrozoïde apparaîtra antérieurement à ces trois bourgeons (Munro et al. 2019).

À mesure que le pneumatosaccus s'étend et s'accroît, la région de croissance s'agrandit, et de nouveaux dactylozoïdes bourgeonnent à la base des gastrozoïdes existants.

Par la suite, une série de bourgeons secondaires, comprenant également deux gastrozoïdes et un dactylozoïde, se forme à la base des gastrozoïdes existants en alignement avec le premier palpon tentaculaire, soit du côté gauche, soit du côté droit, selon l'orientation de la colonie. De plus, dans l'espace en expansion entre le protozoïde et la série primaire de gastrozoïdes, une autre série de bourgeons se développe. Cette région de croissance est appelée "zone de croissance postérieure". Chez les larves plus âgées, le protozoïde et la zone de croissance postérieure sont physiquement séparés de la zone principale (zone où les trois premiers bourgeons apparaissent), en raison de l'allongement du pneumatophore et la région de croissance, portant la zone de croissance postérieure loin de la zone de croissance principale.

Une crête commence à apparaître au niveau du pneumatophore ; une fois celui-ci complètement étendu, la colonie pourra flotter à la surface et poursuivre sa ramification et sa croissance jusqu'à maturité, ainsi que l'apparition tardive des gonozoïdes. Ces derniers se forment à partir de la base de gastrozoïdes matures, où l'on peut observer des grappes de bourgeons qui se subdivisent et se ramifient plusieurs fois pour donner naissance aux différentes composantes du gonodendron. Ce processus commence par le polype gélatineux et le palpon, suivi par le nectophore et pour terminer le gonozoïde contenant environ une dizaine de gamètes (Munro et al. 2019).

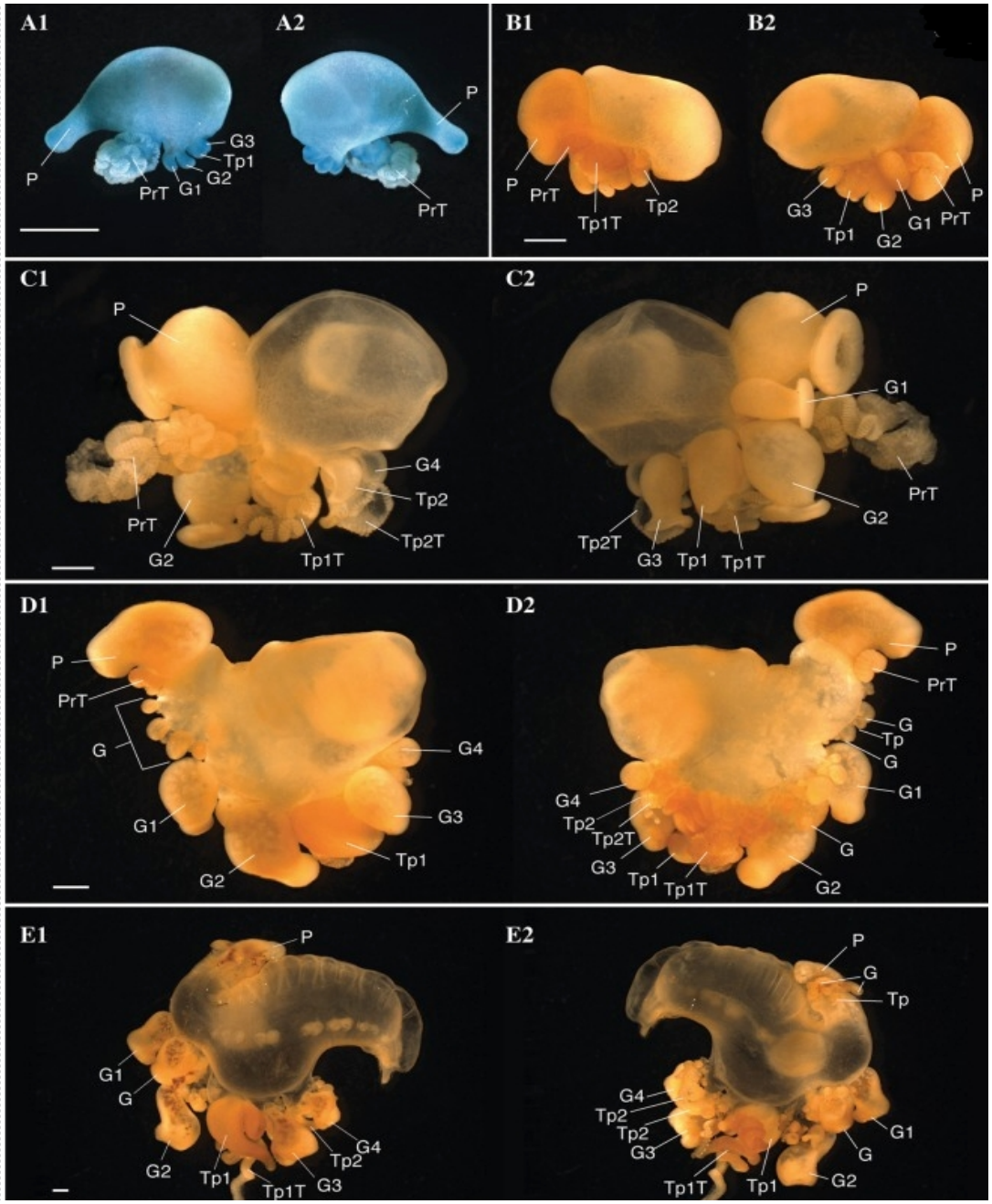


Figure 40 : Photographies de spécimens de P. physalis en développement fixés au formol. Cinq spécimens sont présentés dans (A-E). Les photographies 1 et 2 représentent les côtés gauche/droit du même spécimen. La barre d'échelle est de 1 mm. Abréviations : Tp : dactylozoïde (le numéro indique l'ordre d'apparition) ; G : Gastrozoïde (le numéro indique l'ordre d'apparition hypothétique ; G1 et G2 apparaissent probablement en même temps) P : Protozoïde ; PrT - dactylozoïde du protozoïde ; TpT : Tentacule du dactylozoïde (le numéro indique l'ordre d'apparition) (Munro et al., 2019)

d) Aspects nutritionnels

P. physalis se nourrit principalement de petits poissons, de crustacés et de plancton. La capture des proies débute dès le contact avec les dactylozoïdes, qui immobilisent la proie grâce à la présence des nombreux cnidocytes, pour ensuite la conduire vers les gastrozoïdes. Les gastrozoïdes s'attachent à la proie par leur bouche, amorçant ainsi le processus de digestion via la sécrétion d'enzymes digestives (Wilson, 1947). Parallèlement, les gastrozoïdes jouent un rôle dans la distribution des nutriments au sein de la colonie (Lenhoff & Schneiderman, 1959).

Au cours de l'envenimation, les cnidocytes, sont projetés à grande allure pour injecter leur venin dans la proie, ce qui provoque sa paralysie en affectant non seulement son système nerveux mais aussi son système cardio-respiratoire. L'analyse du venin des cnidocytes a révélé la présence d'une grande variété d'enzymes différentes pouvant s'apparenter, par leur présence et leur action, au venin des ophidiens (Alam & Qasim, 1991).
Le venin de *P. physalis* est constitué de composés neurotoxiques ; d'enzymes (phospholipidases, hyaluronidases et aminopeptidases) (Geistdoerfer & Goyffon, 2004) ; d'histamine ; de sérotonine ; ainsi que d'une protéine hautement hémolytique appelée la physalitoxine (Flowers & Hessinger, 1981).

Cette combinaison de rapidité d'action et de toxicité élevée rend *P. physalis* mortelle pour ses proies et dangereuse pour l'Homme.

Bien que les cnidocytes puissent servir de mécanisme de défense, certaines espèces parviennent à contourner ces toxines et deviennent des prédateurs naturels de *P. physalis (Florida Museum*, 2020).

Parmi ces prédateurs, il y a notamment :

- les tortues de mer *Eretmochelys imbricata* et *Caretta caretta* (Babcock, 1938).
- certaines espèces de poissons comme *Nomeus gronovii :* ces poissons sont plus tolérants au venin de *P. physalis* que d'autres organismes marins. Ils nagent parmi les tentacules pour se nourrir, mais peuvent néanmoins être tués par *P. physalis* (Jenkins, 1983).
- *Glaucus atlanticus* et *Glaucus marginatus* : ces espèces appartenant au phylum des mollusques, à la classe des gastéropodes, à l'ordre des nudibranches et à la famille des glaucidés, non seulement consomment *P. physalis*, mais stockent également les cnidocytes intacts pour les utiliser pour leur propre défense (Thompson & Bennett, 1969).

3) Physalia utriculus

a) Classification et présentation de *Physalia utriculus*

La partie dédiée à *P. utriculus* est succincte dans notre mémoire, ce qui souligne le manque de documentation approfondie disponible sur cette espèce moins étudiée.

i. Classification de *P. utriculus* (GBIF, s. d.) :

Règne : Animalia Linnaeus, 1758

Phylum : Cnidaria Hatscheck, 1888

Classe : Hydrozoa Owen, 1843

Ordre : Siphonorae Eschsholtz, 1829

Famille : Physaliidae Brandt,1835

Genre : *Physalia* Lamarck, 1801

Espèce : *Physalia utriculus* Gmelin, 1788

Figure 41 : P. utriculus*; image de Islands in the Sea 2002, NOAA/OER (NOAA Ocean Explorer, 2002)*

ii. Présentation de *P. utriculus* :

Connue également sous le nom de physalie bleue ou physalie australienne (Figure 40), elle partage des caractéristiques communes avec *P. physalis* : la structure coloniale, le pneumatophore, les gastrozoïdes, les gonodendrons et le dactylozoïde. Cependant, quelques différences notables distinguent cette espèce. Son pneumatophore, par exemple, arbore une teinte bleutée distinctive et mesure environ cinquante millimètres de long. De plus, contrairement à la *P. physalis*, cette espèce ne possède qu'un seul dactylozoïde, mesurant entre deux à trois mètre de long.

Tout comme *P. physalis*, c'est une espèce hautement venimeuse en raison de la présence de nombreux cnidocytes le long de son unique tentacule (Yanagihara et al., 2002).

b) Répartition géographique

P. utriculus est principalement localisé dans l'océan Pacifique, et cette espèce est régulièrement observée sur les côtes australiennes et hawaïennes (Figure 42).

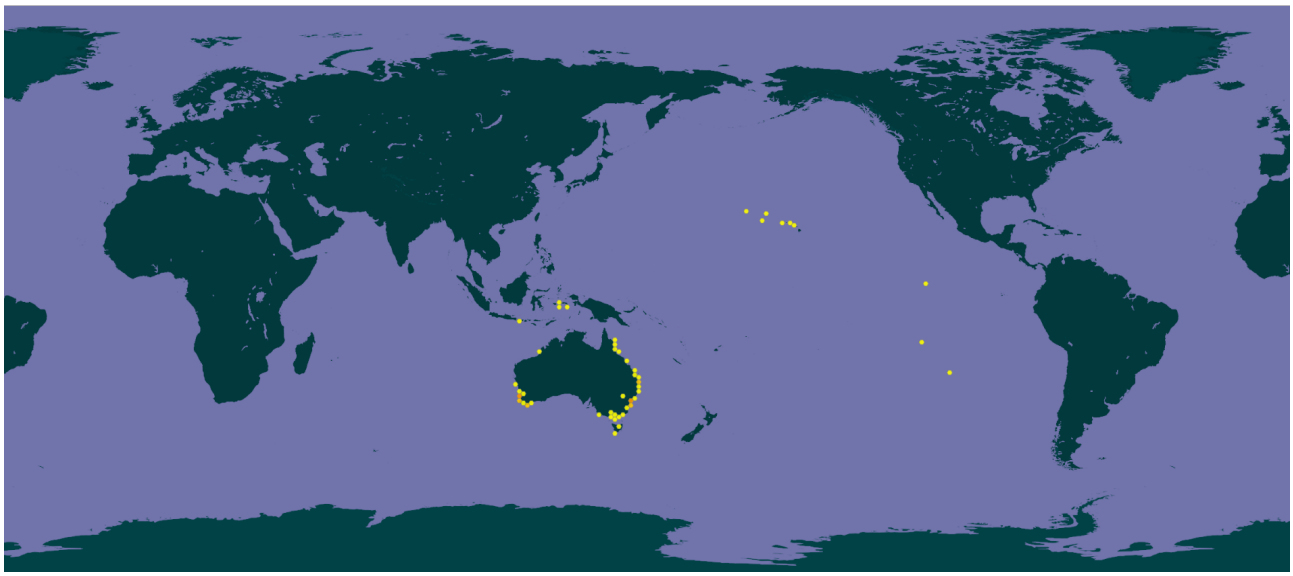


Figure 42 : Carte de répartition mondiale de P. utriculus *(GBIF, s. d.)*

Partie III: Envenimation par *Physalia* spp

1) Épidémiologie des envenimations et exemple d'un dispositif de surveillance

a) Incidence des envenimations dans différentes région du monde

Les envenimations par *Physalia* spp représentent un problème de santé publique à l'échelle mondiale, suscitant des préoccupations croissantes en raison de leurs effets potentiellement graves sur la santé humaine et sur l'économie locale. Dans cette section, nous examinerons d'abord les données épidémiologiques disponibles, en mettant en lumière la prévalence et la distribution géographique des cas signalés, avec un accent particulier sur les chiffres en France ainsi que sur la stratégie adoptée par les autorités françaises face à cette menace.

Il convient de souligner que notre recherche se limite aux articles rédigés en français et en anglais, ainsi qu'aux articles disponibles en libre accès, publiés sur Pubmed, ResearchGate et ScienceDirect.

i. Épidémiologie des envenimations par *P. physalis* en France

Les premières mentions de *P. physalis* en France métropolitaine remontent aux années 1950, répertoriées dans la presse écrite. Depuis lors, quelques apparitions sporadiques ont été évoquées, sans aucune apparition massive. Le premier épisode d'envenimation collective de *P. physalis* a été signalé au Centre Antipoison de Bordeaux durant l'été 2008, avec 40 victimes en une seule journée sur une plage de Biscarrosse, dans les Landes, entraînant 8 hospitalisations. Toutes les victimes ont été prises en charge au même poste de secours et dans le même hôpital, assurant ainsi la cohérence des données. Ce premier épisode a incité le Centre Antipoison de Bordeaux à instaurer une surveillance des envenimations causées par les cnidaires dans la région Aquitaine, désormais intégrée à la région Nouvelle-Aquitaine depuis 2016 (Labadie et al., 2012).
Suite à cet évènement, à notre connaissance, aucune présence de *P. physalis* ni d'incident n'a été relevée en 2009.

Cependant, en 2010, un nouvel épisode d'envenimation massive a été enregistré, cette fois-ci sur l'ensemble du littoral aquitain. Sur une période de six semaines, de mi-Juillet à mi-Août, 154 cas ont été signalés, dont 18 ont nécessité une hospitalisation. La surveillance s'est poursuivie en 2011, sur 14 semaines, de fin Juin à fin Septembre, avec 885 cas signalés, dont 71 hospitalisations.
Au cours de ces trois épisodes, les victimes étaient des baigneurs de tous âges et sexes, mais une prévalence plus élevée chez les jeunes hommes.
Le (Tableau 3) présente toutes les caractéristiques de ces trois épisodes. Il convient de noter que le pourcentage élevé de patients présentant des symptômes généraux en 2010 s'explique par le fait qu'au départ, seuls les cas nécessitant une prise en charge médicale ont été signalé.

En résumé, sur ces quatre années, 1079 cas ont été enregistrés, dont environ 20 % ont présenté des symptômes généraux, tels que crampes, tremblements, confusions et détresse respiratoire ; et 8 % ont nécessité une hospitalisation (Labadie et al., 2012 ; Morand & Morand, 2024).

Tableau 3 : Caractéristiques des envenimations par P. physalis *observées sur la côte Atlantique du sud de la France par le Centre Antipoison de Bordeaux depuis 2008 (Labadie et al., 2012)*

Man-of-war envenomations		2008	2009	2010	2011
Patients	n	40	0	154	885
	Median age, years (range)	18 (4–55)	/	14 (3–62)	13 (1–86)
	Sex-ratio (M/F)	1.66	/	1.68	1,46
Circumstances	Period of year	Mid-August	/	Mid-July to mid-August	End-June to end-September
	French department codes	40	/	40, 64, 33	40, 64, 33
Clinical feature	Skin burns	40 (100%)	/	154 (100%)	885 (100%)
	Intense pain	40 (100%)		154 (100%)	885 (100%)
	General symptoms including	8 (20%)	/	80 (52%)	133 (15%)
	Respiratory distress	4 (10%)	/	12 (8%)	44 (5%)
	Neurological	4 (10%)	/	42 (27%)	53 (6%)
	Musculoskeletal	4 (10%)	/	39 (25%)	70 (8%)
	Digestive signs	1 (2.5%)	/	29 (19%)	71 (8%)
Medical management	Hospitalization	8 (20%)	/	18 (12%)	71 (8%)
	Decontamination and local treatments	40 (100%)	/	154 (100%)	885 (100%)
	Intravenous medications	4 (10%)	/	11 (7%)	88 (10%)
Clinical course	Average local pain duration (range)	4 hours (1–6)	/	3.5 hours (1–4)	4 hours (1–10)
	Definitive dermal marks	11 (28%)	/	45 (29%)	Not available

Codes administratifs français des départements : 33 = Gironde ; 40 = Landes ; 64 = Pyrénées-Atlantiques (33+40+64 = l'ensemble de la côte Aquitaine). Les médicaments intraveineux comprenaient des analgésiques centraux (opioïdes), des benzodiazépines et/ou des corticoïdes. Sur le plan de l'évolution clinique, les marques cutanées ont été considérées comme permanentes après 6 mois sans amélioration.

De 2011 à 2017, le dispositif de surveillance PhysaTox® a été instauré, avec l'objectif principal de surveiller la présence de *P. physalis* sur la côte aquitaine (SPF, 2011). Ce dispositif sera décrit plus en détail dans la suite de notre document. Il a permis de détecter 31 cas d'envenimation en 2012, ainsi que 14 cas en 2013 (Annexe 1). Tous présentaient des symptômes cutanés et des douleurs, mais pas de symptômes général (SPF, 2015).

Une seconde étude a été entreprise en exploitant les données extraites du système d'information des Centres Antipoisons sur la période 1999 - 2022, à l'aide du mot-clé "physalie". Dans ce cadre, les doublons, les erreurs de codage, les cas hors de France métropolitaine, les demandes d'informations ainsi que les dossiers non informatifs ont été exclus.
Les résultats ont révélé qu'à partir de 2011, 45 cas avaient été identifiés, parmi lesquels 30 présentaient des symptômes documentés. L'âge médian des patients était de 16 ans, avec un ratio des sexes de 1,4. Un cas de gravité élevée, caractérisé par une atteinte respiratoire, ainsi que trois cas de gravité modérée ont été observés. Vingt-neuf patients ont manifesté des symptômes locaux, 28 ont signalé des douleurs et 12 ont présenté au moins un symptôme général. Les lieux d'exposition s'étendaient des Landes jusqu'au Finistère. Cette étude a conclu que *P. physalis* demeure présente et semble s'être établie le long des côtes atlantiques françaises, avec une extension géographique jusqu'en Bretagne, ce qui n'avait pas été observé en 2011. Le tableau clinique et la gravité étaient similaires à ceux observés lors de l'épidémie de 2011 (voir Tableau 3) (Nardon et al., 2023).
Il convient de noter que cette étude ne tient pas compte des cas d'envenimations du dispositif PhysaTox®.

ii. Épidémiologie des envenimations et des observations de *P. physalis* en Europe

En Espagne, le 11 février 2014, des dizaines de spécimens de *P. physalis* ont échoué le long de toute l'étendue de la plage de Patos, au nord-ouest (Ferrer et al., 2024). Nous n'avons trouvé aucune donnée concernant des cas d'envenimation.

En 2001, la présence de *P. physalis* a été documentée sur l'île de Malte, bien que les pêcheurs locaux aient affirmé l'avoir rencontrée auparavant. Dans les eaux maltaises, cette espèce a été fréquemment enregistrée : en mai 2001, de février à août 2009, de mars à juin 2010 (Tiralongo et al., 2022).
Deux colonies de *P. physalis* se sont échouées à Capo Peloro (détroit de Messine) en mars 2009 et une en mars 2014 ; une autre colonie s'est échouée sur une plage de l'île de Lampedusa (détroit de Sicile) en avril 2009, représentant le premier enregistrement dans les îles Pélagie (Castriota et al., 2017). Pendant la période de 2011 à 2020, deux observations ont également été rapportées depuis l'archipel des Égades — secteur du sud de la mer Tyrrhénienne, et une depuis l'île de Sardaigne — secteur ouest de la mer Méditerranée (Tiralongo et al., 2022).
En 2010, un décès a été enregistré sur l'île italienne de Sardaigne, où une femme de 69 ans a succombé à une réaction allergique après avoir été piquée par une physalie. Il s'agit du troisième décès imputé à une piqûre de physalie, mais aucune donnée n'a été trouvée concernant l'espèce impliquée, les autres symptômes présentés par la patiente, ou sa prise en charge (Prieto et al., 2015).

iii. Épidémiologie des envenimations et des observations de *Physalia* spp en Australie

En Australie, *P. physalis* et *P.utriculus* sont présentes (Tibballs, 2006). Il convient de noter que le nombre de piqûres est sous-estimé car tous les cas ne sont pas traités et donc tous ne sont pas enregistrés par les sauveteurs (Bourg et al., 2022).

En 1996, (Fenner & Williamson, 1996) estimaient que 10 000 piqûres de *Physalia* spp se produisaient chaque année en Australie, dans les régions de l'Ouest et du Sud.

Une étude comparant l'immersion dans l'eau chaude à l'application de compresses froides pour soulager la douleur des piqûres de *Physalia* spp a été menée du 30 décembre 2003 au 5 mars 2005 sur deux plages de la côte est australienne. Pour cette étude, seuls 96 cas ont été retenus, mais au total 369 cas d'envenimations ont été enregistrés (Loten et al., 2006).

Une seconde étude portant sur les observations de *P. physalis* sur trois plages d'Australie, de 2016 à 2020, a enregistré 252 événements d'échouage sur ces plages en quatre ans. Plus de la moitié des cas ont été enregistrés durant les mois de Décembre, Janvier et Février (correspondant à l'été austral) (Bourg et al., 2022).
Malheureusement, aucune donnée concernant le nombre d'envenimations n'a été rapportée.

iv. Épidémiologie des envenimations et des observations de *P. physalis* en Afrique du Nord

Au Maroc, le premier signalement de *P. physalis* remonte à 2018. Une étude menée sur quatre plages au nord-est du Maroc, entre Mars et Mai 2018, a recensé la présence de 223 colonies de *P. physalis*. Toutes les colonies avaient disparu à la fin du mois de mai. L'échouage a été associé à des vents venant de l'est et aux marées hautes. En conclusion, il est nécessaire de mettre en place une surveillance le long de la Méditerranée pour détecter la présence et l'impact de P. physalis. Aucun cas d'envenimation n'a été rapporté (Mghili et al., 2020).

En Algérie, le premier spécimen de *P. physalis* a été signalé en Mai 2018 sur la côte nord-ouest, avec deux spécimens récoltés à Aïn Temouchent (Bachouche et al., 2022).
Puis en 2021, en Février et en Mars, des spécimens ont été observés selon la presse locale, ainsi que des signalements sur un réseau social, dans l'est à Skikda, Jijel, Bejaïa et Tizi Ouzou ; en région centrale à Algiers, Tipaza, Boumerdès ; et dans l'ouest à Oran et Aïn Temouchent.
Aucun cas d'envenimation n'a été signalé (Bachouche et al., 2022).

En Tunisie, la première colonie a été observée en 1992. En avril 2021, pour la première fois est observé 19 colonies dans 12 sites différents du nord de la Tunisie, ce qui correspond au premier « échouage massif » dans le pays. Aucun cas d'envenimation n'a été signalé (Chebaane et al., 2024).

v. Épidémiologie des envenimations et des observations de *Physalia* spp en Amérique

Au Brésil, pendant l'été austral en 2008, sur une période de quatre jours, du 27 au 30 Décembre, 331 personnes ont été victimes de piqûres de *P. physalis* à São Paulo. Tous les patients présentaient des plaques érythémateuses linéaires d'une longueur moyenne de 18 cm, accompagnées de douleurs intenses. Parmi eux, 38 % des patients ont été touchés aux membres supérieurs, 16,3 % au niveau des mains ; 27,1 % aux membres inférieurs ; 24,4 % au niveau du thorax ; 7,2 % au niveau de l'abdomen et 2,7 % au niveau de la tête (Haddad et al., 2013).
Les symptômes généraux incluaient la transpiration chez 16,3 % des patients, des vomissements ou des nausées chez 9,9 % des patients, une tachycardie chez 7,2 % des patients, des douleurs thoraciques et une hypertension chez 0,9 % des patients.
Après traitement au vinaigre et compresses froides à l'eau de mer, les douleurs se sont atténuées en 3 heures chez 88,5 % des patients, contre 24 heures sans traitement (Haddad et al., 2013).

Un suivi par questionnaire a été effectué deux ans plus tard, auquel seules 124 personnes ont répondu (37,4%). Sur ces 124 réponses, 12,9 % des patients ont présenté des complications. Parmi eux, une persistance de la pigmentation a été observée dans 8,8 % des cas, 2,4 % des patients ont eu un prurit pendant quelques mois, 0,8 % des patients ont rapporté une douleur chronique, et 0,8 % des patients ont signalé une persistance des plaques quelques mois après le contact initial (Haddad et al., 2013).

Une seconde étude, couvrant la période de 2005 à 2015, a analysé les cas d'envenimations sur les plages les plus populaires de São Luís (Bastos et al., 2017). Les données ont été recueillies par les sauveteurs du groupe des sapeurs-pompiers maritimes de l'État du Maranhão et le secrétariat municipal de sécurité publique de l'État du Maranhão (les données de l'année 2007 sont manquantes en raison de problèmes techniques et opérationnels). Pendant cette période, 89 épisodes d'envenimations massives ont été enregistrés, totalisant 1800 cas. Un nombre plus important d'envenimations a été observé entre Juillet et Janvier, avec un pic en Décembre et Janvier, principalement l'après-midi et pendant les marées hautes. Parmi les envenimations, 55 % sont survenues pendant la baignade et 20 % par contact volontaire (curiosité des baigneurs). Les zones les plus touchées étaient les jambes (23 %), les mains (21 %), les bras (17 %) et l'abdomen (12,5 %). Les symptômes rapportés incluaient des œdèmes et des plaques érythémateuses linéaires (80 %), des vésicules (10 %), des douleurs intenses et des sensations de brûlure au point de contact (46 %), des malaises (10 %), des dyspnées (8 %) et des irritations, anxiété et palpitations (14 %). Le traitement consistait principalement à appliquer du vinaigre (Bastos et al., 2017).

Une troisième étude descriptive et quantitative a été réalisée sur les plages de São Luís, dans l'État de Maranhão, sur une période de deux ans, de 2015 à 2016, pour localiser et quantifier les spécimens de *P. physalis*. Les plages de São Marcos et Calhau, représentant environ 7 km de littoral, ont été surveillées.

L'échantillonnage a été effectué toutes les deux semaines, pendant les week-ends et à la marée montante, lorsque les *P. physalis* sont les plus fréquemment trouvées. Les coordonnées géographiques ont été relevées à l'aide d'un dispositif GPS portable ; et les données sur les envenimations ont été recueillies à l'aide d'un questionnaire spécifique, collecté dans les postes de secours des sauveteurs sur les deux plages d'Août 2015 à Décembre 2016, les week-ends et jours fériés, lorsque le nombre de baigneurs était le plus élevé (Cavalcante et al., 2020).

Les résultats montrent que 1929 spécimens de *P. physalis* ont été identifiés, avec 663 en 2015 et 1273 en 2016 (Figure 43). Un total de 66 envenimations a été enregistré d'Août 2015 à Décembre 2016, avec 27 cas à Calhau et 39 à São Marcos. La plage de Calhau présentait une densité plus élevée de spécimens de *P. physalis*, avec 1002 spécimens observés contre 927 à São Marcos. Les envenimations ont été traitées selon les recommandations du ministère de la Santé du Brésil, en appliquant du vinaigre. Aucune donnée sur les symptômes spécifiques ou leur évolution n'a été rapportée (Cavalcante et al., 2020).

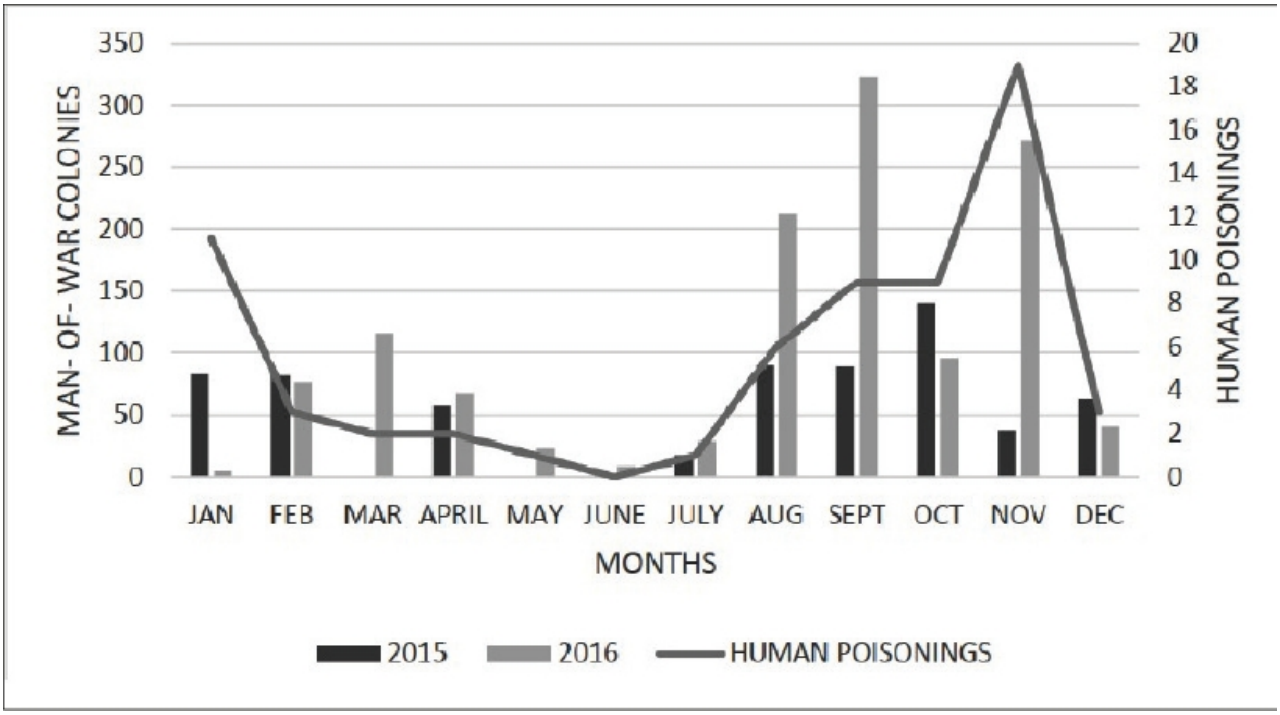


Figure 43 : Répartition dans le temps du nombre de P. physalis *et des cas d'envenimations humaines sur les plages de Calhau et Sao Marcos, en 2015 et 2016 (Cavalcante et al., 2020)*

Au Venezuela, de Décembre 2006 à Décembre 2007, une étude a été menée pour évaluer le nombre d'envenimations par *P. physalis* dans une clinique à Adicora. Pendant cette période, 59 cas ont été enregistrés. Parmi ces cas, 34 % ont été recensés en Décembre et Janvier, et 17 % en Février et en Avril, ces deux derniers mois correspondant aux vacances scolaires. La majorité des victimes (92 %) étaient des touristes venant d'autres régions du Venezuela. Les piqûres étaient principalement localisées au niveau du tronc (68 %) et des jambes (32 %). La plupart des envenimations (97 %) se sont produites pendant la baignade ou la plongée, et 3 % pendant la pêche. Tous les cas présentaient des symptômes tels que des plaques érythémateuses linéaires, des douleurs intenses, de l'urticaire et des inflammations. En outre, 19 % des patients ont manifesté des symptômes généraux, notamment une dyspnée, un œdème laryngé et de la fièvre, 12 % ont ressenti un malaise général, 8 % ont développé un œdème local, des papules et des macules, et 3 % ont présenté une tachycardie.
Les victimes ont été traitées avec de l'acide acétique à 5 %, de la loratadine, de l'hydrocortisone en intraveineuse (en cas d'œdème laryngé) et du paracétamol pour la douleur. Un suivi a été effectué pour les touristes après 24 heures et pour les résidents locaux après 7 jours (chez qui les symptômes cutanés ont disparu 4 jours après la piqûre). Aucune complication ou décès n'a été signalé (Cazorla-Perfetti et al., 2012).

À Cuba, en Décembre 2022, un échouage massif de *P. physalis* a été signalé à La Havane, sur la côte nord-ouest. Les données ont été collectées en échantillonnant environ 3 km du littoral du Paseo Marítimo, sur une bande de côte d'environ 5 m de large. Entre le 27 et le 31 décembre 2022, plus de 10 000 colonies de *P. physalis* ont été recensées. Cet événement a entraîné 85 cas

d'envenimations, dont 38 ont présenté une réaction allergique posant un risque sérieux pour la santé, mais aucun décès n'a été signalé (Conde & Martínez, 2023).

Aux États-Unis, la présence de *Physalia* spp a été confirmée, mais nous n'avons trouvé aucune donnée sur le nombre d'envenimations. Cependant, deux décès ont été enregistrés.

Le premier cas mortel a été rapporté en Floride, aux États-Unis, le 27 décembre 1987, sur la plage de West Palm Beach. La victime, une femme de 67 ans, nageait avec de l'eau jusqu'à hauteur de la taille, à environ 9 mètres au large de Riviera Beach. Elle est subitement sortie de l'eau avec des tentacules *P. physalis* enroulés autour de son bras droit, du milieu du bras jusqu'au poignet, ainsi que sur son avant-bras gauche. Des sauveteurs et deux de ses amis ont rapidement appliqué une solution de papaïne sur les zones touchées et ont retiré les tentacules à l'aide de sopalin. La patiente, souffrant de douleurs intenses, est rapidement devenue dyspnéique et a perdu connaissance. À l'arrivée de l'ambulance, la victime était en arrêt cardiaque et respiratoire. L'ECG réalisée sur place a montrée un rythme cardiaque à 80 battements par minutes ; deux minutes plus tard le rythme a chuté à 15 battements par minutes. Une réanimation cardio-pulmonaire a été initiée immédiatement, suivie d'une intubation endotrachéale. Des médicaments tels que l'atropine et l'épinéphrine ont été administrés par voie intraveineuse, et une perfusion a été établie. Transportée à l'hôpital dans un état critique, la patiente était cyanosée, froide et humide, sans pouls ni tension artérielle. Après une heure de réanimation, un rythme cardiaque normal a été rétabli. À son admission à l'hôpital, elle présentait 23 lésions linéaires érythémateuses de 5 à 15 cm sur son bras droit. Par la suite, elle a développé une fièvre et une pneumonie, nécessitant une assistance respiratoire. Après cinq jours dans le coma, la patiente est décédée des suites d'une insuffisance respiratoire (Stein et al., 1989).

Le deuxième décès implique un homme de 30 ans en bonne santé, pesant 105 kg pour une taille de 2,8 m, qui pratiquait la plongée sous-marine au large de Jacksonville, en Caroline du Nord, le 12 juillet 1988. Alors qu'il terminait sa plongée et s'apprêtait à remonter, son corps est devenu subitement rigide, entraînant une panique. Le patient a alors lâché sa ceinture de poids, est rapidement remonté à la surface et se débattait à environ 20 à 30 mètres du bateau le plus proche. De nombreux appels à l'aide étouffés ont été entendus. Trois sauveteurs ont immédiatement nagé à contre-courant pendant 2 à 3 minutes pour atteindre la victime. L'un des nageurs, un technicien paramédical d'urgence formé, a pensé que le patient était décédé lorsqu'ils ont atteint son corps. Aucun pouls ni respiration n'étaient détectables, et des efforts de réanimation cardiovasculaire ont été entrepris de manière intermittente dans l'eau et plus tard dans le bateau. Le patient a été ramené à bord du bateau où les tentacules ont été retirés de son corps et de l'alcool a été appliqué sur sa poitrine. Il portait la partie inférieure d'une combinaison de plongée avec des bretelles. Plusieurs témoins ont aperçu un flotteur bleu-violet et de nombreux tentacules de *P. physalis* s'étaient accrochés à sa peau et à sa combinaison. Les trois sauveteurs qui ont nagé vers la victime ont eux-mêmes subi de nombreuses piqûres.

Un hélicoptère a été appelé et a transféré le patient à l'hôpital le plus proche, un trajet nécessitant 40 à 60 minutes. Le patient a été déclaré mort à l'urgence de l'hôpital et des marques de tentacules ont été observées sur son bras droit et sur une zone massive de 4 x 2 cm, du milieu du bras gauche jusqu'à l'avant-bras (Burnett & Gable, 1989).

vi. Épidémiologie des envenimations et des observations de *P. physalis* en Asie :

En Indonésie, des envenimations ont été signalées dans la presse locale et nationale depuis 2005, principalement le long de la côte sud de Java et sur la côte est des îles Bali, qui sont les destinations les plus populaires en Indonésie. Chaque année, entre 10 et 100 envenimations sont estimées, mais jusqu'à présent, aucune étude poussée n'avait été entreprise. C'est dans ce contexte qu'une étude a été réalisée sur les cas d'envenimations en 2019 et 2020, entre Juin et Juillet (Maharani & Widiastuti, 2021). Les données concernant le nombre d'envenimations ont été recueillies par les sauveteurs de 15 plages différentes, tandis que les données cliniques ont été obtenues à partir des unités de secours près des plages de la province de Yogyakarta.

Les résultats (Tableau 4) ont révélé 773 cas d'envenimations en 2019, principalement caractérisés par des douleurs et des œdèmes au point d'inoculation, avec seulement deux patients présentant des symptômes généraux tels que des nausées, des vomissements, des maux de tête et des dyspnées. En 2020, 514 cas ont été enregistrés, tous présentant des symptômes locaux tels que des douleurs et des œdèmes. La baisse du nombre de cas en 2020 peut être attribuée à la fermeture des plages pendant la pandémie de Covid-19. La plupart des envenimations sont survenues sur la plage plutôt que dans l'eau.

Le traitement consistait à appliquer du vinaigre et à immerger la zone affectée dans de l'eau chaude lorsque cela était possible, avec 90 % des patients traités selon ce protocole. Les cas les plus graves ont été pris en charge dans les unités de soins primaires près des plages, et 10 % d'entre eux ont nécessité une hospitalisation d'une durée allant de 3 jours à 1 semaine. Aucun décès n'a été signalé (Maharani & Widiastuti, 2021).

Tableau 4 : Caractéristiques des envenimations par P. physalis signalées sur les 15 plages de la province de Yogyakarta, en 2019-2020 (Maharani & Widiastuti, 2021)

***P. physalis's* envenomations**	**Year**	
	2019	**2020**
Period of year	June–July	June–July
Patients (number)	773	514
Patients (sex-ratio: male/female)	Not available	1.44
Clinical feature	Dyspnoea, nausea, vomiting, pain, cephalgia, oedema: 2 (0.25%)	Pain, oedema: 514 (100%)
Medical management	Hospitalisation, local treatment	Hospitalisation, local treatment
Clinical course	Dermal mark, average local pain (score: 2–8)	Dermal mark, average local pain (score: 2–8)

b) PhysaTox® : exemple d'un dispositif de surveillance en France métropolitaine

Face à l'émergence des envenimations par *P. physalis* en Aquitaine en 2011, les autorités nationales et locales (l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) en région Aquitaine, l'Agence Régionale de Santé (ARS) Aquitaine et les Compagnies Républicaines de Sécurité (CRS)) ont mis en place un système de surveillance et d'alerte multidisciplinaire, nommé PhysaTox®. Ce dispositif incluait la participation :

- des professionnels de la santé : les centres antipoison et toxicovigilance (CAPTV), les garde-côtes, les unités d'urgence côtières.
- des scientifiques : l'IFREMER pour les identifications zoologiques et l'évaluation de l'intensité des proliférations.
- des organisations gouvernementales et territoriales : les autorités locales et nationales pour les décisions administratives telles que la fermeture des plages ou les alertes médiatiques, le département de la santé et de la consommation du gouvernement Basque espagnol, le syndicat Kosta Garbia et le comité des pêches d'Arcachon (SPF, 2015).

Cette surveillance s'est déroulée de 2011 à 2015, et avait 4 objectifs :

- Alerter sur la présence de *P. physalis* et sur les premiers cas d'envenimations ;
- Décrire la dynamique et l'ampleur de l'épidémie dans l'espace et dans le temps ;
- Décrire les cas individuels, notamment en termes de sévérité ;
- Assurer une rétro-information aux acteurs concernés.

Le dispositif était basé sur une surveillance à deux niveaux : une surveillance à visée d'alerte et une surveillance à visée d'évaluation. Concernant la surveillance à visée d'alerte, le dispositif débutait dès la détection des premières *P. physalis* (par le bateau Kosta Garbia, ceux du comité de pêche, les autorités sanitaires du gouvernement basque espagnol ou les postes de secours) ou les premières envenimations identifiées (par les postes de secours, le SAMU, les structures d'urgence ou les CAPTV), un signalement était fait auprès de l'ARS et tous les partenaires, ainsi que les autorités (InVS, Ministère de la santé, etc.) étaient informés (SPF, 2015).

La surveillance, se déroulait de début Juillet à fin Août et utilisait le réseau de postes de secours et s'appliquait pendant la période où ces postes étaient coordonnés par les CRS.
Les victimes étaient divisées en deux groupes en fonction des symptômes :

- Stade 1 (cas bénin) : symptômes cutanés
- Stade 2 (cas grave) : stade 1 et survenue dans les 60 minutes d'au moins un des symptômes suivants :

→ troubles neurologiques (confusion, somnolence, coma, malaise avec ou sans perte de connaissance) ;
→ troubles digestifs : douleurs abdominales, nausées, vomissements ;
→ atteintes musculaires : fasciculations, secousses musculaires ;
→ troubles respiratoires : gêne, polypnée, dyspnée ;
→ troubles cardiovasculaires : douleur thoracique, hypo- ou hypertension, palpitations, arrêt cardiaque.

Un premier recueil était effectué par les postes de secours et un second par le CAPTV, qui procède à une vérification des données. Le recueil du CAPTV s'appuie sur l'expertise des données des postes et sur le rappel des cas dans les 48 heures suivant l'envenimation.

Les résultats du dispositif PhysaTox® ont confirmé l'émergence des envenimations par *P. physalis* en Aquitaine et a mis en avant sa variabilité au fil des années. En effet, si en 2011, 885 envenimations par *P. physalis* ont été déclarées, peu de cas ont été déclarés en 2012 et en 2013 (31 cas en 2012 et 12 en 2013), et aucune ne l'a été depuis 2014 (SPF, 2015).
Il est néanmoins important de préciser que, le CAPTV de Bordeaux et la Cire Aquitaine ont adapté le dispositif en 2012 et 2013 car la présence de *P. physalis* n'était pas prévisible. Ainsi, en 2011 et 2012, la surveillance visait à enregistrer l'ensemble des envenimations par *P. physalis* sur des postes de secours sentinelle (39 postes en 2011, et 45 postes en 2012, répartis sur 11 communes du littoral). Puis, le système a évolué à partir de 2013 avec la surveillance unique des cas de stade 2 (dits " cas graves ", avec symptômes généraux), et avec la participation de tous les postes de secours répartis sur 27 communes du littoral (SPF, 2015). Le volet alerte environnementale, basé sur le signalement des premières *P. physalis* observées, n'a pas changé. L'objectif est de savoir dès que possible si des *P. physalis* sont présentes sur les plages du littoral et d'alerter les acteurs du réseau (SPF, 2015).
Le dispositif mis en place a permis à chaque saison la diffusion de conduites à tenir élaborées par le CAPTV et destinées aux secouristes et aux médecins urgentistes de la région. En parallèle, la détection réactive de *P. physalis* sur les côtes de la région Aquitaine lors des saisons 2011 à 2013 a donné lieu à des communiqués de presse par l'ARS Aquitaine pour informer rapidement les autorités et la population de la présence des spécimens et du risque d'envenimation. Il existait peu de données en France sur les envenimations par *P. physalis*, c'est pour cela que la Cire Aquitaine et le CAPTV ont décidé de reconduire la surveillance PhysaTox® en 2016 (SPF, 2015).
Toutefois, aucune envenimation n'a été déclarée en 2016, et le dispositif a été inactivé en 2017, et est depuis toujours inactif.

2) Caractéristiques cliniques de l'envenimation par *Physalia* spp

a) Manifestations cliniques des envenimations par *Physalia* spp

Il est nécessaire de préciser que les symptômes d'une envenimation par *P. utriculus* sont identiques à ceux provoqués par *P. physalis*. Cependant, les envenimations par *P. utriculus* sont généralement moins sévères (Premmaneesakul & Sithisarankul, 2019 ; Tibballs, 2006), et aucun décès n'a été rapporté suite à une envenimation par *P. utriculus*.

Les symptômes dépendent de la quantité de venin libérée par les cnidocytes et de l'état de la victime, les enfants étant plus susceptibles de développer des symptômes généraux.

Le contact avec les spécimens de *P. physalis* peut se faire lors de baignades ou lors de promenades sur la plage. Parfois, les envenimations peuvent être causées par des tentacules, qui sont fragiles, se détachent facilement et restent dans l'eau, où ils sont presque invisibles pour les baigneurs (Labadie & Chanseau, 2011).

Les symptômes locaux apparaissent immédiatement après la piqûre. Ils incluent des douleurs aiguës, intenses et violentes, accompagnées d'une sensation de brûlure. Ces douleurs peuvent s'étendre à l'ensemble du membre touché, ou au niveau du tronc en cas de piqûres corporelles. Le mouvement du membre blessé peut exacerber la douleur (Haddad et al., 2013 ; Labadie et al., 2012 ; Tibballs, 2006).

À ces douleurs s’associent des éruptions linéaires de papules elliptiques, blanchâtres au centre et entourées d’érythème (Figure 44), tout au long du trajet de contact avec les tentacules (Labadie et al., 2012; Slaughter et al., 2009 ; Tibballs, 2006). Ces éruptions prurigineuses correspondent aux multiples sites d’injection de venin (Labadie et al., 2012).

Des œdèmes peuvent également apparaître. Dans la plupart des cas, les lésions évoluent dans les 24 heures vers une nécrose cutanée locale avec formation de plusieurs croûtes qui disparaissent dans les 2 semaines suivantes, laissant une cicatrice pourpre ou érythémateuse qui peut être visible pendant une période prolongée (3 à 4 jours (Bachouche et al., 2022 ; Cazorla-Perfetti et al., 2012)) ou permanente. Dans les cas plus sévères, des vésicules peuvent se développer, mais dans la plupart des cas, les signes de la blessure disparaissent en 24 heures, tout comme la douleur (Haddad et al., 2013 ; Labadie et al., 2012 ; Premmaneesakul & Sithisarankul, 2019 ; Tibballs, 2006).

La gravité et l'apparence des effets locaux sont proportionnelles à la taille du tentacule et au nombre de cnidocytes déchargés (Tibballs, 2006).

Figure 44 : Éruptions de papules après contact avec Physalia *spp (Haddad et al., 2013)*

Les symptômes généraux peuvent apparaître en quelques minutes ou heures après la piqûre. Les premiers signes sont : fièvre, frisson, pâleur, des céphalées et une asthénie généralisée (Berger & Caumes, 2004 ; Kaufman, 1992 ; Labadie et al., 2012 ; Tibballs, 2006).

En fonction de la sévérité de l'envenimation, d'autres symptômes peuvent apparaître, tels que (Berger & Caumes, 2004 ; Kaufman, 1992 ; Labadie et al., 2012 ; Morand & Morand, 2024 ; Tibballs, 2006) :

- des manifestations gastro-intestinales : douleurs abdominales, vomissements, nausées ;
- des symptômes musculaires : myalgies, crampes, spasmes et fasciculations ;
- des réactions allergiques, voire un choc anaphylactique
- des symptômes neurologiques : paresthésie, somnolence, transpiration diffuse, confusion mentale, évanouissement ;
- des symptômes cardio-respiratoires : hypotension, arythmie cardiaque, dyspnée, détresse respiratoire, collapsus, troubles du rythme à type de bradycardie sinusale, voire arrêt cardiaque et le décès

L'évolution des symptômes après une piqûre est généralement favorable, avec une résolution complète en 72 heures et les séquelles sont rares. Toutefois, le principal risque demeure la noyade, consécutive à une douleur syncopale ou à une réaction anaphylactique chez les individus sensibilisés. Les plongeurs sont également exposés à des difficultés potentielles, car les tentacules peuvent s'enchevêtrer autour des bouteilles de plongée ou du tuba, augmentant le risque d'accident sous l'eau (Berger & Caumes, 2004 ; Labadie et al., 2012).

b) Les complications possibles d'une envenimation par *P. physalis*

Comme le montrent les études précédentes, les envenimations par *P. physalis* évoluent généralement favorablement et les décès sont rares (trois décès connus (Elsa et al., 2017)). Cependant, des complications peuvent survenir dans certains cas. Nous allons énumérer quelques exemples de complications décrites dans la littérature.

En 1982, une atteinte rénale aiguë a été rapportée chez une petite fille de 4 ans en Caroline du Nord. Après avoir été piquée sur le bras gauche et les deux jambes par une *P. physalis*, elle a été emmenée aux urgences une heure plus tard, se plaignant uniquement de douleurs. Après traitement par corticoïde, épinéphrine et un antihistaminique, elle quitte l'hôpital. Cinq heures plus tard, elle est ramenée aux urgences en raison d'un inconfort croissant et d'une irritabilité. Une analyse sanguine révèle une créatinine à 1,4 mg/dL et on détecte la présence d'hémoglobine dans ses urines qui étaient très foncées. Le lendemain, une dialyse a été initiée en raison de l'hyperkaliémie (6,8 mEq/L). Sa condition a nécessité trois semaines d'hospitalisation, mais un mois après sa sortie, sa fonction rénale était redevenue normale (Spielman et al., 1982). Cette complication est très rare, et ce cas est le seul que nous ayons identifié lors de notre recherche.

Une autre complication possible est une réaction cutanée chronique, qui peut se manifester sous forme d'érythème noueux, de granulomes annulaires, ou de cicatrices hyperpigmentées et hypertrophiques. Des lésions eczémateuses ou urticariennes peuvent également persister pendant plusieurs semaines ou mois (Morand & Morand, 2024). L'utilisation de dermo-corticoïdes est recommandée afin d'atténuer les cicatrices ou le prurit.

Le choc anaphylactique est une complication potentielle (Bastos et al., 2017 ; Geistdoerfer & Goyffon, 2004 ; Labadie et al., 2012) provoquée par le venin de *P. physalis,* qui induit la

libération d'histamine (Flowers & Hessinger, 1981). L'épinéphrine a démontré son efficacité en cas de chocs anaphylactiques.

Des signes de maladie sérique peuvent apparaître dans un délai de deux mois, incluant des manifestations cutanées au niveau de la blessure initiale, ainsi que de la fièvre, de l'asthénie, des arthralgies et des symptômes de polyarthrite. Ces symptômes répondent bien à un traitement oral par corticoïdes (prednisolone) pendant deux semaines (Bedry & de Haro, 2007).

3) Traitement et prévention de l'envenimation par *Physalia* spp

a) Prise en charge de l'envenimation par *Physalia* spp

Pour prévenir tout risque de noyade, il faut sortir la victime de l'eau si l'envenimation a lieu lors d'une baignade ou d'une séance de plongée. Il faut empêcher la victime de se frotter car cela libère plus de venin (Bédry & de Haro, 2007).

Il est ensuite important de retirer les tentacules qui sont très adhérentes à la peau, sans les écraser, afin de limiter la libération de venin (Labadie & Chanseau, 2011) :

- rincer la plaie à l'eau de mer (ou avec du chlorure de sodium), et ne pas utiliser l'eau douce, car celle-ci est hypo-osmotique et fait éclater les cnidocytes, libérant ainsi plus de venin (Morand & Morand, 2024).
- appliquer avec précaution de la mousse à raser sur la surface piquée, ou à défaut du sable sec (car le sable humide est trop lourd et écrase les tentacules), pour piéger ces tentacules.
- enlever doucement la mousse ou le sable avec un carton rigide, voire avec le dos d'une carte de crédit, en remontant vers le haut du membre.

Le reste du traitement consiste en une prise en charge symptomatique, incluant l'utilisation d'analgésiques pour la douleur tels que le paracétamol ou les opioïdes (Haddad et al., 2013 ; Labadie et al., 2012). Il est également recommandé d'immerger le membre affecté dans de l'eau chaude à 45°C pendant 10 à 20 minutes, plutôt que d'appliquer des compresses froides. Cette approche a été démontrée par un essai randomisé contrôlé, mené par (Loten et al., 2006), comparant l'efficacité de l'immersion dans l'eau chaude (45°C) à celle des compresses froides pour soulager la douleur causée par les piqûres de *Physalia* spp. Les résultats de l'étude montrent que, sur les 96 victimes, 53 % ont obtenu un soulagement après 10 minutes d'immersion dans de l'eau chaude à 45 °C, contre 32 % des victimes traitées par des compresses froides. Une différence encore plus marquée est observée après 20 minutes, avec 87 % de soulagement pour l'immersion dans de l'eau chaude, contre 33 % pour les compresses froides (Loten et al., 2006). Selon (Tibballs, 2006), les douleurs persistantes sont également diminuées par l'application locale d'une crème anesthésiante comme de la lidocaïne à 5 %.

Pour les soins de la plaie, le reste du traitement est identique à celui d'une brûlure : antiseptiques locaux et topiques cicatrisants (Bédry & de Haro, 2007).

Une hospitalisation est nécessaire en cas de symptômes généraux. D'autres traitements seront alors initiés en fonction de la gravité des symptômes, comme par exemple des anxiolytiques

(benzodiazépines pour les spasmes musculaires), des corticoïdes et des antihistaminiques en cas de réactions allergiques.

Il n'existe pas à ce jour de sérum antivenimeux (Morand & Morand, 2024).

b) Place des « remèdes maison » dans le traitement de l'envenimation par *Physalia* spp

Des études ont été menées pour vérifier la véracité des « remèdes maisons », notamment pour empêcher le déchargement des cnidocytes et la libération de venin avant de retirer les tentacules.

Par exemple, l'utilisation d'acide acétique (vinaigre). Longtemps utilisé pour traiter les piqûres de méduses, son utilisation est controversée depuis la publication de l'étude de (Birsa et al., 2010). Cette étude visait à évaluer les effets de divers composés chimiques sur la libération de venin des cnidocytes. Pour cela, des morceaux de tentacules d'environ 500 mm² ont été observés sur des lames au microscope après traitement à l'eau de mer et au composé chimique évalué. Les chercheurs comptaient ensuite le nombre de cnidocytes déchargés par millimètre de longueur de tentacule. Nous n'avons pas le chiffre exact, mais selon les auteurs, l'acide acétique à 5 % stimule le déchargement et donc la libération de venin. Ils précisent néanmoins, qu'en raison de la densité variable des cnidocytes le long d'un tentacule, la méthode utilisée pour quantifier le déchargement des cnidocytes est au mieux semi-quantitative (Birsa et al., 2010).

Ce résultat diffère de celui de (Wilcox et al., 2017), qui ont démontré dans leur étude que l'utilisation d'acide acétique n'induisait pas le déchargement de cnidocytes. Afin de mesurer au mieux le déchargement des cnidocytes, un modèle de piqûre spontanée dans lequel des tentacules vivants piquent de l'agarose contenant des globules rouges vivants en suspension a été utilisé. Le taux de déchargement des cnidocytes par unité de longueur de tentacule dans ces piqûres modélisées est indiscernable des envenimations humaines réelles. Il est ainsi possible d'estimer le nombre et le pourcentage total de cnisocytes qui se déchargent par longueur de tentacule, ainsi que le nombre cnidocytes restants au point de contact avec l'agarose sanguin. D'après (Wilcox et al., 2017), la différence de résultat s'explique par la méthode de quantification utilisée par (Birsa et al., 2010), ainsi que l'ajout de l'eau de mer, qui inactive « l'effet protecteur » de l'acide acétique.

Il convient de préciser que l'acide acétique était toujours utilisé au Brésil en 2013, recommandé par le gouvernement (Haddad et al., 2013), ainsi qu'au Japon (Hifumi et al., 2020).
En ce qui concerne la France métropolitaine, l'acide acétique n'a pas été utilisé lors des épisodes d'envenimations massifs (Labadie et al., 2012) suite à la publication de l'étude de (Birsa et al., 2010).

L'étude de (Birsa et al., 2010) et celle de (Wilcox et al., 2017) ont néanmoins confirmé que l'utilisation d'alcool, de bicarbonate de sodium et d'urine, induit le déchargement des cnidocytes et n'est donc pas recommandée.

c) Prévenir les envenimations

Les mesures préventives commencent par la communication de la présence de *Physalia* spp lorsque les premiers spécimens sont observés et du danger qu'ils représentent (par exemple, l'affiche de la région du Pays de la Loire contre les méduses et les physalies (Annexe 2)). Il est important d'informer la population à risque que même échouées sur les plages depuis plusieurs jours, les physalies restent dangereuses et peuvent causer une envenimation. Si le risque d'envenimation est très élevé, comme en cas d'échouage massif, la fermeture de l'accès à la plage doit être envisagée.
Pour surveiller les plages, un système de surveillance des méduses, Méduséo, a été créé par Jérémy Deverdun, un ingénieur de recherche en imagerie médicale.

Il est possible d'utiliser un filet anti-méduse, notamment pendant les périodes les plus propices à la présence de *Physalia* spp (en été par exemple), afin de limiter le contact avec les baigneurs (Piraino et al., 2016). Cependant son efficacité est controversée, puisque les spécimens peuvent s'écraser contre le filet et les tentacules quasi invisibles de *Physalia* spp peuvent passer à travers.

Une autre solution proposée par les différents articles, est le port de combinaisons et de gants, afin de minimiser l'exposition de la peau non protégée autant que possible (Hifumi et al., 2020 ; Kaufman, 1992 ; Tibballs, 2006).

Pour les plongeurs, il est conseillé de rester en profondeur pour éviter les physalies en surface, et de toujours vérifier les embouts de tuba et de régulateur à la recherche de fragments de tentacules (Kaufman, 1992).

En règle générale, la baignade devrait se limiter aux plages surveillées par des sauveteurs. Il est imprudent de barboter ou de nager seul sur des plages isolées (Tibballs, 2006).

CONCLUSION

Notre étude avait pour objectif de faire le point sur les connaissances actuelles concernant les envenimations par *Physalia* spp, tant sur les aspects épidémiologiques que cliniques et thérapeutiques.

En dépit des nombreuses études consacrées à *Physalia* spp, il subsiste encore de nombreuses zones d'ombre. Notamment les raisons des échouages massifs restent imparfaitement comprises, bien que le dérèglement climatique soit souvent cité comme une hypothèse plausible et que les courants marins soient également au moins partiellement impliqués.

Les données disponibles suggèrent que les observations de *P. physalis* sur les côtes littorales sont de plus en plus fréquentes. Ces dernières années, des premières observations ont été rapportées en Algérie, au Maroc et en Tunisie, alors qu'aucune envenimation n'avait été signalée jusqu'alors.
En France, les derniers cas d'envenimations remontent à 2011, mais la présence de *Physalia physalis* continue d'être notée dans les zones de baignade et sur les plages, la dernière mention dans la presse écrite datant d'août 2023 sur les plages de Saint-Michel-Chef-Chef dans le département de la Loire-Atlantique.

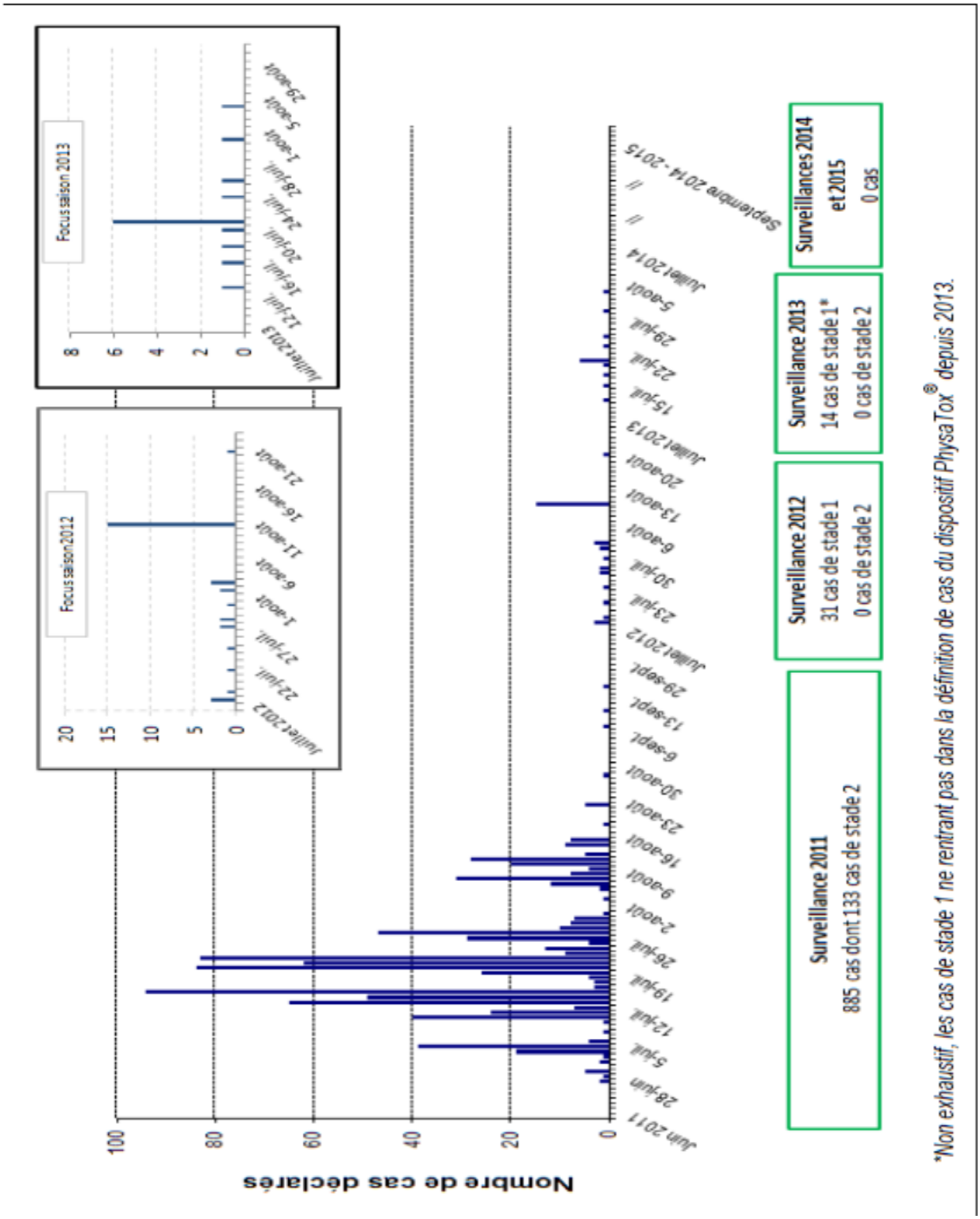
L'absence d'envenimations rapportées depuis 2011 en France peut être interprétée de différentes manières. D'une part, on peut se demander si les mesures préventives prises par les autorités, comme la fermeture temporaire des plages, ont été efficaces pour éviter les incidents. D'autre part, la sensibilisation accrue du public aux dangers présentés par *P. physalis* pourrait avoir joué un rôle important.

En ce qui concerne la prise en charge des envenimations par *Physalia* spp, il n'existe aujourd'hui aucun consensus mondial sur la stratégie à adopter. Par exemple, en Australie et en Amérique du Sud, l'application de vinaigre est une pratique courante, tandis qu'en France, cette méthode n'est plus recommandée. L'étude de (Wilcox et al., 2017) a ravivé le débat sur l'efficacité du vinaigre, soulevant la question de sa réutilisation en cas de nouvelles envenimations par *Physalia* spp. Cette divergence dans les pratiques souligne la nécessité de recherches supplémentaires pour établir des protocoles de traitement basés sur des preuves scientifiques robustes et partagées à l'échelle internationale.

Il est donc impératif de poursuivre les recherches dans ce domaine afin de mieux comprendre ces envenimations. Bien que les stratégies de prise en charge aient été améliorées et qu'une sensibilisation accrue du public aux dangers posés par *P. physalis* ait commencé à porter ses fruits, ces efforts doivent être poursuivis. Il est important de poursuivre et d'intensifier les actions de prévention afin de réduire davantage le nombre d'incidents et de minimiser les conséquences néfastes pour la santé humaine.

En conclusion, cette thèse souligne l'importance, pour l'Homme et dans l'environnement d'une manière générale, du cnidaire *Physalia* spp. Les données présentées montrent pourquoi et combien il est important de continuer à explorer et à approfondir nos connaissances sur les envenimations par *Physalia* spp dans le but ultime de protéger la santé et le bien-être des individus exposés à ce danger marin potentiel.

Annexe 1 : Evolution du nombre de cas d'envenimation par P. physalis*, de 2011 à 2015 (SPF, 2015)*



Annexe 2 : Affiche « Les animaux marins venimeux » (Animaux marins venimeux sur la côte Atlantique, s. d.)

Les animaux marins VENIMEUX

MESURES DE PRÉVENTION SANITAIRE

LA PHYSALIE

La physalie est un animal marin flottant au dessus de l'eau. Elle possède des tentacules très longs responsables de brûlures cutanées très douloureuses, mais aussi parfois de signes plus graves (ex. perte de connaissance, gêne respiratoire, ...).
Taille ≈ 10 à 20 cm

LA MÉDUSE PÉLAGIQUE

La méduse pélagique est un animal marin se trouvant dans l'eau. Elle est pourvue de tentacules responsables de brûlures cutanées douloureuses.
Taille ≈ 10 cm

EN CAS D'ENVENIMATION

➜ Ne pas frotter la peau directement avec la main
➜ Retirer les tentacules en rinçant la peau à l'eau de mer, en appliquant de la mousse à raser (à défaut du sable sec) puis en les décollant avec un carton rigide
➜ En cas de malaise ou de signe autre, se rendre au poste de secours ou appeler le 15

Ces animaux restent venimeux même échoués sur le sable

LA GRANDE VIVE

La grande vive est un poisson qui s'enfouit dans le sable. Elle possède une arrête dorsale venimeuse sur laquelle on peut marcher, entrainant une piqûre très douloureuse.
Taille ≈ 20 à 40 cm

EN CAS D'ENVENIMATION

➜ Marcher dans le sable chaud, puis appliquer de la glace si possible
➜ Désinfecter la plaie au poste de secours le plus proche

CHU Hôpitaux de Bordeaux
Centre Antipoison et de Toxicovigilance de Bordeaux

InVS Institut de veille sanitaire

ars Agence Régionale de Santé Aquitaine

Police Nationale CRS

Collaboration IFREMER - Photos : M-N. De Casamajor - Publication mai 2011

Création CHU de Bordeaux

Bibliographie

Abroug, F., Ouanes-Besbes, L., Tilouche, N., & Elatrous, S. (2020). Scorpion envenomation : State of the art. *Intensive Care Medicine*, *46*(3), 401-410. https://doi.org/10.1007/s00134-020-05924-8

Alam, J. M., & Qasim, R. (1991). Toxicology of Physalia's (Portuguese man-o' war) venom. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, *4*(2), 159-168.

Alcoba, G. (2020). Envenimations, infections et traumatismes en mer. *Rev Med Suisse*, *693*, 984-988.

Al-Shaer, L., Leach, W., Baban, N., Yagodich, M., Gibson, M. C., & Layden, M. J. (2023). Environmental and molecular regulation of asexual reproduction in the sea anemone Nematostella vectensis. *Royal Society Open Science*, *10*(6), 230152. https://doi.org/10.1098/rsos.230152

Ameli. (2024). Consulté 17 avril 2024, à l'adresse https://www.ameli.fr/assure/sante/urgence/morsures-griffures-piqures/morsure-serpent

Anderson, P. A. V., & Bouchard, C. (2009). The regulation of cnidocyte discharge. *Toxicon: Official Journal of the International Society on Toxinology*, *54*(8), 1046-1053. https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2009.02.023

Andreosso, A., Smout, M. J., & Seymour, J. E. (2014). Dose and time dependence of box jellyfish antivenom. *The Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases*, *20*, 34. https://doi.org/10.1186/1678-9199-20-34

Animaux marins vénimeux sur la côte Atlantique. (s. d.). Animaux marins vénimeux sur la côte Atlantique - Le CHU de Bordeaux, l'INVS et l'ARS Aquitaine appellent à la vigilance. Consulté 24 mars 2024, à l'adresse https://www.chu-bordeaux.fr/

Aubry, P. (1998). Envenimation par les animaux marins. *Med. Trop*, *58*, 131-134.

Ayed, Y., Boussabbeh, M., Zakhama, W., Bouaziz, C., Abid, S., & Bacha, H. (2011). Induction of cytotoxicity of Pelagia noctiluca venom causes reactive oxygen species generation, lipid peroxydation induction and DNA damage in human colon cancer cells. *Lipids in Health and Disease*, *10*, 232. https://doi.org/10.1186/1476-511X-10-232

Babcock, H. L. (1938). The Sea-Turtles of the Bermuda Islands, with a Survey of the present state of the Turtle Fishing Industry*. *Proceedings of the Zoological Society of London*, *A107*(4), 595-602. https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1938.tb00015.x

Bachouche, S., Ghribi, T., Rouidi, S., Etsouri, M., Belkacem, Y., Selmani, R., Djellali, M., Hadj Aissa, R., & Grimes, S. (2022). The First Recorded Occurrences and the Distribution of Physalia physalis (Hydrozoa : Physaliidae) in Algerian Waters. *Ocean Science Journal*, *57*(3), 411-419. https://doi.org/10.1007/s12601-022-00069-9

Balhara, K. S., & Stolbach, A. (2014). Marine Envenomations. *Emergency Medicine Clinics of North America*, *32*(1), 223-243. https://doi.org/10.1016/j.emc.2013.09.009

Bardi, J., & Marques, A. C. (2007). Taxonomic redescription of the Portuguese man-of-war, Physalia physalis (Cnidaria, Hydrozoa, Siphonophorae, Cystonectae) from Brazil. *Iheringia. Série Zoologia*, *97*, 425-433.

Bastos, D., Junior, V., & Nunes, J. (2017). Human envenomations caused by Portuguese man-of-war (Physalia physalis) in urban beaches of São Luis City, Maranhão State, Northeast Coast of Brazil. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, *50*, 130-134. https://doi.org/10.1590/0037-8682-0257-2016

Bayha, K. M., Dawson, M. N., Collins, A. G., Barbeitos, M. S., & Haddock, S. H. D. (2010). Evolutionary Relationships Among Scyphozoan Jellyfish Families Based on Complete Taxon Sampling and Phylogenetic Analyses of 18S and 28S Ribosomal DNA. *Integrative and Comparative Biology*, *50*(3), 436-455. https://doi.org/10.1093/icb/icq074

Bédry, R., & de Haro, L. (2007). Envenimations par animaux venimeux marins en France métropolitaine. *Journal Européen des Urgences*, *20*(4), 147-152. https://doi.org/10.1016/j.jeur.2007.11.001

Bedry, R., & de Haro, L. (2007). [Venomous and poisonous animals. V. Envenomations by venomous marine invertebrates]. *Médecine tropicale : revue du Corps de santé colonial*, *67*, 223-231.

Benayahu, D., Sharabi, M., Pomeraniec, L., Awad, L., Haj-Ali, R., & Benayahu, Y. (2018). Unique Collagen Fibers for Biomedical Applications. *Marine Drugs*, *16*(4), 102. https://doi.org/10.3390/md16040102

Benois, A., Petitjeans, F., Duranseaud, C., & Sergent, H. (2008). Envenimations après piqûres de raies : Morbidité et prise en charge analgésique. *Med Trop*, *68*, 389.

Béress, L., Béress, R., & Wunderer, G. (1975). Isolation and characterisation of three polypeptides with neurotoxic activity from Anemonia sulcata. *FEBS Letters*, *50*(3), 311-314. https://doi.org/10.1016/0014-5793(75)80517-5

Berger, L., & Caumes, E. (2004). Accidents cutanés provoqués par la faune et la flore sous-marines. *Accidents cutanés provoqués par la faune et la flore sous-marines*, *131*(4), 397-404.

Berking, S. (2007). Generation of bilateral symmetry in Anthozoa : A model. *Journal of Theoretical Biology*, *246*(3), 477-490. https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2007.01.008

Berling, I., & Isbister, G. (2015). Marine envenomations. *Australian Family Physician*, *44*(1-2), 28-32.

Birsa, L. M., Verity, P. G., & Lee, R. F. (2010). Evaluation of the effects of various chemicals on discharge of and pain caused by jellyfish nematocysts. *Comparative Biochemistry and Physiology. Toxicology & Pharmacology: CBP*, *151*(4), 426-430. https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2010.01.007

Bocharova, E. (2016). *Reproduction of Sea Anemones and Other Hexacorals* (p. 239-248). https://doi.org/10.1007/978-3-319-31305-4_15

Boels, D., Harry, P., De Haro, L., Quistinic, P., Clerc, M. A., & Lourdais, O. (2009). La banque des sérums antivenimeux (BSA) et la prise en charge des envenimations par serpents exotiques en France. *Urgence Prat*, *94*, 41-44.

Bourg, N., Schaeffer, A., Cetina-Heredia, P., Lawes, J. C., & Lee, D. (2022). Driving the blue fleet : Temporal variability and drivers behind bluebottle (Physalia physalis) beachings off Sydney, Australia. *PLoS ONE*, *17*(3), e0265593. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265593

Burnett, J. W., & Gable, W. D. (1989). A fatal jellyfish envenomation by the Portuguese man-o'war. *Toxicon: Official Journal of the International Society on Toxinology*, *27*(7), 823-824. https://doi.org/10.1016/0041-0101(89)90050-0

Castriota, L., Falautano, M., Battaglia, P., Maraventano, G., Prazzi, E., Ammendolia, G., & Andaloro, F. (2017). First record of Physalia physalis in the Pelagie Islands (Strait of Sicily) and ad-

ditional records in the Strait of Messina. *Cahiers de Biologie Marine*, *58*, 1-4. https://doi.org/10.21411/CBM.A.E207E474

Cavalcante, M. M. E. S., Rodrigues, Z. M. R., Hauser-Davis, R. A., Siciliano, S., Haddad Júnior, V., & Nunes, J. L. S. (2020). Health-risk assessment of Portuguese man-of-war (Physalia physalis) envenomations on urban beaches in São Luís city, in the state of Maranhão, Brazil. *Revista Da Sociedade Brasileira De Medicina Tropical*, *53*, e20200216. https://doi.org/10.1590/0037-8682-0216-2020

Cazorla-Perfetti, D. J., Loyo, J., Lugo, L., Acosta, M. E., Morales, P., Haddad, V., & Rodriguez-Morales, A. J. (2012). Epidemiology of the Cnidarian Physalia physalis stings attended at a health care center in beaches of Adicora, Venezuela. *Travel Medicine and Infectious Disease*, *10*(5), 263-266. https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2012.09.007

Cedillo, J. C. (2021, mai 14). Coquillages. *Association des centres antipoison et de toxicovigilance*. https://centres-antipoison.net/mai-2021-coquillages

Centre Antipoisons Belge. (s. d.). Centre Antipoisons Belge. Consulté 17 décembre 2023, à l'adresse https://www.centreantipoisons.be/nature/animaux/les-m-duses-de-la-c-te-belge/la-physalie

Chebaane, S., Sempere-Valverde, J., Desiderato, A., Gueroun, S., Tiralongo, F., Azzurro, E., Bouhlel, R., Derouiche, E., & Sghaier, Y. (2024). Venomous Foes in Mediterranean Africa : Occurrence of Physalia physalis (Linnaeus, 1758), and First Records of Glaucus atlanticus Forster, 1777 for Algeria and Tunisia. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*. https://doi.org/10.1007/s41208-024-00706-1

Cheng, K. (2021). Learning in Cnidaria : A systematic review. *Learning & Behavior*, *49*(2), 175-189. https://doi.org/10.3758/s13420-020-00452-3

Chinh, N. N., Ha, N. T. H., Doanh, P. N., Eiras, J. C., Whipps, C. M., & Shirakashi, S. (2023). Synopsis of myxosporean species (Cnidaria : Myxozoa) parasitizing fishes from Vietnam. *Systematic Parasitology*, *100*(4), 325-344. https://doi.org/10.1007/s11230-023-10090-8

Chippaux, J.-P. (2002). Appareil venimeux. In *Venins de serpent et envenimations* (p. 61-86). IRD Éditions. https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.10620

Chippaux, J.-P. (2009). Rôle de l'environnement sur l'incidence et la sévérité des envenimations. *médecine/sciences*, *25*(10), Article 10. https://doi.org/10.1051/medsci/20092510858

Chippaux, J.-P. (2012). Emerging options for the management of scorpion stings. *Drug Design, Development and Therapy*, *6*, 165-173. https://doi.org/10.2147/DDDT.S24754

Chippaux, J.-P. (2015). *Prise en charge des morsures de serpent en Afrique subsaharienne*.

Chippaux, J.-P., & Goyffon, M. (1997). [Snakes and scorpions : What are the risks for the traveler?]. *Médecine tropicale : revue du Corps de santé colonial*, *57*, 519-521.

Chippaux, J.-P., & Goyffon, M. (2006). *Envenimations et intoxications par les animaux venimeux ou vénéneux : 1. Généralités- fdi:010043082- Horizon*. https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010043082

Chippaux, J.-P., & Goyffon, M. (2008). Epidemiology of scorpionism : A global appraisal. *Acta tropica*, *107*, 71-79. https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2008.05.021

Chironex fleckeri. (2008). https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chironex_fleckeri_(sea_wasp).jpg

Choudhary, I., Lee, H., Pyo, M. J., Heo, Y., Chae, J., Yum, S. S., Kang, C., & Kim, E. (2018). Proteomic Investigation to Identify Anticancer Targets of Nemopilema nomurai Jellyfish Venom in Human Hepatocarcinoma HepG2 Cells. *Toxins*, *10*(5), 194. https://doi.org/10.3390/toxins10050194

Coates, M. M. (2003). Visual Ecology and Functional Morphology of Cubozoa (Cnidaria)1. *Integrative and Comparative Biology*, *43*(4), 542-548. https://doi.org/10.1093/icb/43.4.542

Colat-Parros, J., & Jordana, F. (2009). Les substituts osseux. *Société Francophone de Biomatériaux Dentaires. http://umvf. univ-nantes. fr/odontologie/enseignement/chap223/site/html/cours. pdf*.

Conde, E. G. T., & Martínez, R. E. R. (2023). *The Largest Historical Stranding of Physalia physalis Recorded*.

Coral Polyp Anatomy NOAA. (2023). Coral Disease & Health Consortium. Consulté 1 avril 2024, à l'adresse https://cdhc.noaa.gov/coral-biology/coral-biology/

Cuiping, L., Pengcheng, L., Jinhua, F., Rongfeng, L., & Huahua, Y. (2012). Cytotoxicity of the venom from the nematocysts of jellyfish Cyanea nozakii Kishinouye. *Toxicology and Industrial Health*, *28*(2), 186-192. https://doi.org/10.1177/0748233711410910

Daly, M., Brugler, M., Cartwright, P., Collins, A., Dawson, M., Fautin, D., France, S., McFadden, C., OPRESKO, D., Rodriguez, E., Romano, S., & Stake, J. (2006). The Phylum Cnidaria : A Review Of Phylogenetic Patterns And Diversity 300 Years After Linnaeus *. *Zootaxa*, *1668*. https://doi.org/10.5281/zenodo.180149

D'Ambra, I., & Merquiol, L. (2022). Jellyfish from Fisheries By-Catches as a Sustainable Source of High-Value Compounds with Biotechnological Applications. *Marine Drugs*, *20*(4), 266. https://doi.org/10.3390/md20040266

Damien, E., & Revell, P. A. (2004). Coralline Hydroxyapatite Bone Graft Substitute : A Review of Experimental Studies and Biomedical Applications. *Journal of Applied Biomaterials and Biomechanics*, *2*(2), 65-73. https://doi.org/10.1177/228080000400200201

Daniel, R., Éric, P., & Richard, D. (1997). Physiologie des animaux / Bruno Anselme, Jean-Claude Baehr, Joël Chaffard... [Et al.] ; [sous la direction de Daniel Richard et d'Eric Périlleux]. Tome 1. Physiologie cellulaire et fonctions de nutrition. In *Physiologie des animaux. Tome 1. Physiologie cellulaire et fonctions de nutrition*. Nathan.

de Haro, L. (2009). Animaux venimeux terrestres. *EMC - Pathologie professionnelle et de l 'environnement*, *4*, 1-17. https://doi.org/10.1016/S1155-1925(09)71863-4

de Haro, L., Schmitt, C., Glaizal, M., Domangé, B., Torrents, R., & Simon, N. (2020). La ciguatéra : 25 ans d'expérience du Centre Antipoison de Marseille. *Toxicologie Analytique et Clinique*, *32*(1), 23-32. https://doi.org/10.1016/j.toxac.2019.09.004

Diaz, J. (2008). The Evaluation, Management, and Prevention of Stingray Injuries in Travelers. *Journal of travel medicine*, *15*, 102-109. https://doi.org/10.1111/j.1708-8305.2007.00177.x

Dictionnaire médical de l'Académie de Médecine. (2020). Consulté 21 mars 2024, à l'adresse https://www.academie-medecine.fr/le-dictionnaire/index.php?q=envenimation

DORIS. (s. d.). Données d'Observations pour la Reconnaissance et l'Identification de la faune et la flore Subaquatique. Consulté 4 avril 2024, à l'adresse https://doris.ffessm.fr/

Dunn, C. (2009). Siphonophores. *Current Biology*, *19*(6), R233-R234. https://doi.org/10.1016/j.-cub.2009.02.009

Elsa, M., Maillaud, C., Barguil, Y., & Labadie, M. (2017). Rhabdomyolysis during Envenomation by Physalia Sp Envenomation in New Caldonia. *Medecine et sante tropicales*, *27*, 105-108. https://doi.org/10.1684/mst.2017.0655

Elston, D. M. (2007). Aquatic antagonists : Portuguese man-of-war (Physalia physalis). *Cutis*, *80*(3), 186-188.

Fenner, P. J., & Williamson, J. A. (1996). Worldwide deaths and severe envenomation from jellyfish stings. *The Medical Journal of Australia*, *165*(11-12), 658-661. https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.1996.tb138679.x

Fernández-Cervantes, I., Rodríguez-Fuentes, N., León-Deniz, L. V., Alcántara Quintana, L. E., Cervantes-Uc, J. M., Herrera Kao, W. A., Cerón-Espinosa, J. D., Cauich-Rodríguez, J. V., & Castaño-Meneses, V. M. (2020). Cell-free scaffold from jellyfish *Cassiopea andromeda* (Cnidaria; Scyphozoa) for skin tissue engineering. *Materials Science and Engineering: C*, *111*, 110748. https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.110748

Ferrer, L., Sagarminaga, Y., Borja, Á., Nogues, M., Alegre, M. J., Santos, M., Boyra, G., Álvarez, P., Beldarrain, B., Castro, R., Bidegain, G., González, M., Revilla, M., Zorita, I., Solaun, O., Fontán, A., & Rodríguez, J. G. (2024). The Portuguese man-of-war : Adrift in the North Atlantic Ocean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *301*, 108732. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2024.108732

Florida Museum. (2020, septembre 24). Florida Museum of Natural History. https://www.floridamuseum.ufl.edu/science/five-facts-portuguese-man-of-war/

Flowers, A. L., & Hessinger, D. A. (1981). Mast cell histamine release induced by Portuguese Man-of-War (Physalia) venom. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, *103*(3), 1083-1091. https://doi.org/10.1016/0006-291X(81)90919-0

Fowler, S., Roush, R., & Wise, J. (2013). *Concepts of Biology*. OpenStax. https://openstax.org/books/concepts-biology/pages/1-introduction

Friday, B., & Depenbrock, P. (2014). Land Envenomations. *Current Sports Medicine Reports*, *13*(2), 120. https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000041

Fuehrer, J., Kong, E. L., & Murphy-Lavoie, H. M. (2024). Sea Snake Toxicity. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK532973/

García-Rodríguez, J., Cunha, A. F., Morales-Guerrero, A., González-Chaves, A., Camacho, A., Miranda, L. S., Serrano, F. C., Jaimes-Becerra, A., & Marques, A. C. (2023). Reproductive and environmental traits explain the variation in egg size among Medusozoa (Cnidaria). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *290*(2004), 20230543. https://doi.org/10.1098/rspb.2023.0543

GBIF. (s. d.). Global Biodiversity Information Facility. Consulté 12 avril 2024, à l'adresse https://www.gbif.org/fr/

Geistdoerfer, P., & Goyffon, M. (2004). Animaux aquatiques dangereux. *EMC - Toxicologie-Pathologie*, *1*(2), 35-62. https://doi.org/10.1016/j.emctp.2003.12.001

Ginet, R., & Roux, A. L. (1990). *Les plans d'organisation du règne animal : Manuel de zoologie* (3e tirage rev. et corr., Vol. 1). Doin.

Goyffon, M., & Chippaux, J.-P. (1990). *Animaux venimeux terrestres*. https://www.researchgate.net/publication/32980610

Goyffon, M., & Tournier, J.-N. (2014). Scorpions : A Presentation. *Toxins*, *6*, 2137-2148. https://doi.org/10.3390/toxins6072137

Grandcolas, N., Galéa, J., Ananda, R., Rakotoson, R., D'Andréa, C., Harms, J. D., & Staikowsky, F. (2008). Piqûres par poisson-pierre : Une antalgie difficile, un risque notable de complications. *La Presse Médicale*, *37*(3, Part 1), 395-400. https://doi.org/10.1016/j.lpm.2007.07.017

Gutiérrez, J. M., Calvete, J. J., Habib, A. G., Harrison, R. A., Williams, D. J., & Warrell, D. A. (2017). Snakebite envenoming. *Nature Reviews Disease Primers*, *3*(1), 1-21. https://doi.org/10.1038/nrdp.2017.63

Guyadec, G. L. (2022). *Venins de serpent et hémostase : Revue bibliographique et mesure de l'activité de protéases ophidiennes*. 145.

Haddad, V., Virga, R., Bechara, A., Silveira, F. L. da, & Morandini, A. C. (2013). An outbreak of Portuguese man-of-war (Physalia physalis—Linnaeus, 1758) envenoming in Southeastern Brazil. *Revista Da Sociedade Brasileira De Medicina Tropical*, *46*(5), 641-644. https://doi.org/10.1590/0037-8682-1518-2013

Hawaii University. (2011). Consulté 13 mars 2024, à l'adresse https://manoa.hawaii.edu/exploringourfluidearth/biological/invertebrates/phylum-cnidaria

Heim, R., Prasher, D. C., & Tsien, R. Y. (1994). Wavelength mutations and posttranslational autoxidation of green fluorescent protein. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *91*(26), 12501-12504.

Helm, R. R. (2018). Evolution and development of scyphozoan jellyfish. *Biological Reviews*, *93*(2), 1228-1250. https://doi.org/10.1111/brv.12393

Herring, P. J. (1971). Biliprotein coloration of *Physalia physalis*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, *39*(4), 739-746. https://doi.org/10.1016/0305-0491(71)90099-X

Heurtault, J., Goyffon, M., & Stockmann, R. (1999). La fonction venimeuse et les venins. *Annales de l'Institut Pasteur / Actualités*, *10*(2), 147-160. https://doi.org/10.1016/S0924-4204(99)80030-4

Hifumi, T., Fukuchi, Y., & Otani, N. (2020). Marine Envenomation. *SN Comprehensive Clinical Medicine*, *2*, 1-5. https://doi.org/10.1007/s42399-020-00490-y

Hornbeak, K. B., & Auerbach, P. S. (2017). Marine Envenomation. *Emergency Medicine Clinics of North America*, *35*(2), 321-337. https://doi.org/10.1016/j.emc.2016.12.004

Hubot, N., Lucas, C. H., & Piraino, S. (2017). Environmental control of asexual reproduction and somatic growth of Aurelia spp. (Cnidaria, Scyphozoa) polyps from the Adriatic Sea. *PLoS ONE*, *12*(6), e0178482. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178482

INPN, M. national d'Histoire. (s. d.). *INPN - Inventaire national du patrimoine naturel (INPN)*. Inventaire National du Patrimoine Naturel. Consulté 1 avril 2024, à l'adresse https://inpn.mnhn.fr/accueil/index

Institut Pasteur. (2016, novembre 9). Institut Pasteur. https://www.pasteur.fr/fr/centre-medical/vaccination/recommandations-generales

J. Prentis, P., Pavasovic, A., & S. Norton, R. (2018). Sea anemones : Quiet achievers in the field of peptide toxins. *Toxins*, *10*(1), 36.

Jenkins, R. L. (1983). Observations on the Commensal Relationship of Nomeus gronovii with Physalia physalis. *Copeia*, *1983*(1), 250-252. https://doi.org/10.2307/1444723

Jordana, F., Visage, C. L., & Weiss, P. (2017). Substituts osseux. *médecine/sciences*, *33*(1), Article 1. https://doi.org/10.1051/medsci/20173301010

Jouiaei, M., Yanagihara, A. A., Madio, B., Nevalainen, T. J., Alewood, P. F., & Fry, B. G. (2015). Ancient Venom Systems : A Review on Cnidaria Toxins. *Toxins*, *7*(6), 2251-2271. https://doi.org/10.3390/toxins7062251

Kang, H. K., Seo, C. H., & Park, Y. (2015). Marine Peptides and Their Anti-Infective Activities. *Marine Drugs*, *13*(1), Article 1. https://doi.org/10.3390/md13010618

Kaouadji, K., Kaker, N., & Vallet, B. (2004). Morsures, griffures et envenimations : Conduite à tenir en urgence. *EMC - Médecine*, *1*(4), 337-351. https://doi.org/10.1016/j.emcmed.2004.03.001

Kaufman, M. B. (1992). Portuguese man-of-war envenomation. *Pediatric Emergency Care*, *8*(1), 27-28. https://doi.org/10.1097/00006565-199202000-00007

Kayal, E., Bentlage, B., Sabrina Pankey, M., Ohdera, A. H., Medina, M., Plachetzki, D. C., Collins, A. G., & Ryan, J. F. (2018). Phylogenomics provides a robust topology of the major cnidarian lineages and insights on the origins of key organismal traits. *BMC Evolutionary Biology*, *18*(1), 68. https://doi.org/10.1186/s12862-018-1142-0

Khattabi, A., Soulaymani-Bencheikh, R., Achour, S., Salmi, L.-R., & Scorpion Consensus Expert Group. (2011). Classification of clinical consequences of scorpion stings : Consensus development. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, *105*(7), 364-369. https://doi.org/10.1016/j.trstmh.2011.03.007

Kremers, G.-J., Gilbert, S. G., Cranfill, P. J., Davidson, M. W., & Piston, D. W. (2011). Fluorescent proteins at a glance. *Journal of Cell Science*, *124*(2), 157-160. https://doi.org/10.1242/jcs.072744

Labadie, M., Aldabe, B., Ong, N., Joncquiert-Latarjet, A., Groult, V., Poulard, A., Coudreuse, M., Cordier, L., Rolland, P., Chanseau, P., & de Haro, L. (2012). Portuguese man-of-war (Physalia physalis) envenomation on the Aquitaine Coast of France : An emerging health risk. *Clinical toxicology (Philadelphia, Pa.)*, *50*, 567-570. https://doi.org/10.3109/15563650.2012.707657

Labadie, M., & Chanseau, P. (2011). *Conduite à tenir en cas d'envenimation par Physalia physalis*.

Labadie, M., Lescure, J., Guilhot, C., Salvayre, P., Courtois, A., & Penouil, F. (2016). Envenimation par crapaud commun en France métropolitaine. *Toxicologie Analytique et Clinique*, *28*(1), 28-31. https://doi.org/10.1016/j.toxac.2016.01.001

Labas, Y. A., Gurskaya, N. G., Yanushevich, Y. G., Fradkov, A. F., Lukyanov, K. A., Lukyanov, S. A., & Matz, M. V. (2002). Diversity and evolution of the green fluorescent protein family. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *99*(7), 4256-4261. https://doi.org/10.1073/pnas.062552299

Lauritano, C., & Ianora, A. (2016). Marine Organisms with Anti-Diabetes Properties. *Marine Drugs*, *14*(12), 220. https://doi.org/10.3390/md14120220

Le Granché, P., & Vincent, T. (2020, décembre 6). *Physalia physalis | DORIS*. DORIS. https://doris.ffessm.fr/Especes/Physalia-physalis-Galere-portugaise-461

Lenhoff, H. M., & Schneiderman, H. A. (1959). The chemical control of feeding in the Portuguese Man-Of-War, Physalia physalis L. and its bearing on the evolution of the cnidaria. *The Biological Bulletin*. https://doi.org/10.2307/1538954

Loeuillet, E., Giraud, F., Deguigne, M., Blanc-Brisset, I., Bragança, C., & Labadie, M. (2018). Intoxication par les anémones de mer en France métropolitaine : Étude rétrospective d'après les données des centres antipoison entre 1999 et 2017. *Toxicologie Analytique et Clinique*, *30*, 163-164. https://doi.org/10.1016/j.toxac.2018.07.091

Loten, C., Stokes, B., Worsley, D., Seymour, J. E., Jiang, S., & Isbister, G. K. (2006). A randomised controlled trial of hot water (45°C) immersion versus ice packs for pain relief in bluebottle stings. *Medical Journal of Australia*, *184*(7), 329-333. https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.2006.tb00265.x

Maharani, T., & Widiastuti, W. (2021). First envenomation report of the Cnidarian Physalia physalis in Indonesia. *International Maritime Health*, *72*(2), Article 2. https://doi.org/10.5603/IMH.2021.0019

Maillaud, C., & Maillard, A. (2004). Prise en charge des envenimations par poissons-pierres et autres scorpénidés. *Journal Européen des Urgences*, *17*, 192-197. https://doi.org/10.1016/S0993-9857(04)96072-4

Maillot, A., Chaumont, E., Marteau, A., & Nader, F. A. (2023). Envenimations par piqûre de poisson-pierre à La Réunion, série rétrospective 2020–2021. *Toxicologie Analytique et Clinique*, *35*(3, Supplement), S126. https://doi.org/10.1016/j.toxac.2023.08.111

Martin, V. J. (2002). Photoreceptors of cnidarians. *Canadian Journal of Zoology*, *80*(10), 1703-1722. https://doi.org/10.1139/z02-136

McGoldrick, J., & Marx, J. A. (1991). Marine envenomations; Part 1 : Vertebrates. *The Journal of Emergency Medicine*, *9*(6), 497-502. https://doi.org/10.1016/0736-4679(91)90223-3

Mghili, B., Analla, M., & Aksissou, M. (2020). First records of the jellyfish Physalia physalis (Linnaeus, 1758) on the Mediterranean coast of Morocco. *Cahiers de Biologie Marine*, *61*, 263-269. https://doi.org/10.21411/CBM.A.96C20B0E

Ministère chargé de la santé. (2008). Consulté 12 mai 2024, à l'adresse https://baignades.sante.gouv.fr/baignades/editorial/fr/conseils/venimeux_piqure.html

Mion, G., & Larréché, S. (2008). Syndrome cobraïque. *Médecine tropicale*, *68*(4), 348-358.

Miranda, L. S., Collins, A. G., Hirano, Y. M., Mills, C. E., & Marques, A. C. (2016). Comparative internal anatomy of Staurozoa (Cnidaria), with functional and evolutionary inferences. *PeerJ*, *4*, e2594. https://doi.org/10.7717/peerj.2594

Miranda, L. S., Hirano, Y. M., Mills, C. E., Falconer, A., Fenwick, D., Marques, A. C., & Collins, A. G. (2016). Systematics of stalked jellyfishes (Cnidaria : Staurozoa). *PeerJ*, *4*, e1951. https://doi.org/10.7717/peerj.1951

Morand, A., & Morand, J.-J. (2024). Envenimations et morsures animales. *Annales de Dermatologie et de Vénéréologie - FMC*, *4*(1), 7-26. https://doi.org/10.1016/j.fander.2023.12.003

Mota, M. E. B. P., Mathews, P. D., Milanin, T., Mertins, O., Paiva, F., Oliveira, C. E., & Tavares, L. E. R. (2024). Phylogenetic position inferred on SSU rDNA sequence gene and description of a new parasitic cnidarian (Endocnidozoa : Myxobolidae) infecting Markiana nigripinnis (Teleostei: Stevardiinae) from a small marginal lake floodplain, Brazil. *Molecular Biology Research Communications*, *13*(2), 55-63. https://doi.org/10.22099/MBRC.2024.48723.1894

Munro, C., Vue, Z., Behringer, R. R., & Dunn, C. W. (2019). Morphology and development of the Portuguese man of war, Physalia physalis. *Scientific Reports*, *9*, 15522. https://doi.org/10.1038/s41598-019-51842-1

Museum national d'Histoire naturelle. (s. d.). *Physalia physalis (Linnaeus, 1758)—Galère portugaise, Physalie, Vessie de mer*. Inventaire National du Patrimoine Naturel. Consulté 16 décembre 2023, à l'adresse https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/7333

Nakanishi, N., Hartenstein, V., & Jacobs, D. K. (2009). Development of the rhopalial nervous system in Aurelia sp.1 (Cnidaria, Scyphozoa). *Development Genes and Evolution*, *219*(6), 301-317. https://doi.org/10.1007/s00427-009-0291-y

Nardon, A., Paradis, C., Bragança, C., & Labadie, M. (2023). Physalia physalis, quoi de neuf depuis 2011 sur la côte Atlantique ? *Toxicologie Analytique et Clinique*, *35*(3, Supplement), S101-S102. https://doi.org/10.1016/j.toxac.2023.08.065

Nelsen, D. R., Nisani, Z., Cooper, A. M., Fox, G. A., Gren, E. C. K., Corbit, A. G., & Hayes, W. K. (2014). Poisons, toxungens, and venoms : Redefining and classifying toxic biological secretions and the organisms that employ them. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, *89*(2), 450-465. https://doi.org/10.1111/brv.12062

Nkontcheu, D. B. K., Zergui, A., Ngwe-Bell, M.-U., Shelcy, A., & Dzemo, W. D. (2023). Chemical intoxications and venomous animal bites as health hazards at the Buea Regional Hospital during the 2018–2022 quinquennium. *Toxicologie Analytique et Clinique*. https://doi.org/10.1016/j.toxac.2023.11.009

NOAA Ocean Explorer. (2002). National Oceanic and Atmospheric Administration. https://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/02sab/logs/aug15/media/man_o_war.html

OMS. (2023). Consulté 21 mars 2024, à l'adresse https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/snakebite-envenoming

Ossiboff, R. J. (2018). Chapter 37—Serpentes. In K. A. Terio, D. McAloose, & J. St. Leger (Éds.), *Pathology of Wildlife and Zoo Animals* (p. 897-919). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805306-5.00037-7

Özbek, S., Balasubramanian, P. G., & Holstein, T. W. (2009). Cnidocyst structure and the biomechanics of discharge. *Toxicon*, *54*(8), 1038-1045. https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2009.03.006

Pacey, P. (2022, janvier 24). Snake Dentition. *Whole Earth Education*. https://wholeeartheducation.com/snake-dentition/

Parsons, K., & Rutledge, D. N. (2015). Stingray Envenomation Treatment Recommendations. *The Journal for Nurse Practitioners*, *11*(3), 360-363. https://doi.org/10.1016/j.nurpra.2014.11.024

Pascual, I., Lopéz, A., Gómez, H., Chappé, M., Saroyán, A., González, Y., Cisneros, M., Charli, J. L., & Chávez, M. de los A. (2007). Screening of inhibitors of porcine dipeptidyl peptidase IV activity in aqueous extracts from marine organisms. *Enzyme and Microbial Technology*, *40*(3), 414-419. https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2006.07.012

Pasquier, H. (2008). Prix Nobel de Chimie 2008 (Osumo Shimomura, Martin Chalfie et Roger Y. Tsien) : Lumière sur les protéines fluorescentes. *médecine/sciences*, *24*(11), Article 11. https://doi.org/10.1051/medsci/20082411985

Piraino, S., Deidun, A., Fuentes, V., Daly Yahia, M., Kefi - Daly Yahia, O., Marambio, M., Canepa Oneto, A., Olariaga, A., Gueroun, S., Aissi, M., Aglieri, G., Milisenda, G., & Purcell, J. (2016, mai 30). *Are anti-jellyfish nets a useful mitigation tool for coastal tourism? Hind-sight from the MED-JELLYRISK experience*.

Portuguese Man-Of-War (Physalia physalis). (s. d.). *Portuguese Man-Of-War (Physalia physalis). (n.d.). https://jstor.org/stable/community.11619459*. Consulté 4 mars 2024, à l'adresse https://jstor.org/stable/community.11619459

Pratlong, M., Rancurel, C., Pontarotti, P., & Aurelle, D. (2017). Monophyly of Anthozoa (Cnidaria) : Why do nuclear and mitochondrial phylogenies disagree? *Zoologica Scripta*, *46*(3), 363-371. https://doi.org/10.1111/zsc.12208

Premmaneesakul, H., & Sithisarankul, P. (2019). Toxic jellyfish in Thailand. *International Maritime Health*, *70*(1), Article 1. https://doi.org/10.5603/IMH.2019.0004

Prieto, L., Macías, D., Peliz, A., & Ruiz, J. (2015). Portuguese Man-of-War (Physalia physalis) in the Mediterranean : A permanent invasion or a casual appearance? *Scientific Reports*, *5*, 11545. https://doi.org/10.1038/srep11545

Pugh, P. R. (2019). A history of the sub-order Cystonectae (Hydrozoa : Siphonophorae). *Zootaxa*, *4669*(1), zootaxa.4669.1.1. https://doi.org/10.11646/zootaxa.4669.1.1

Purcell, J. E. (2007). Environmental effects on asexual reproduction rates of the scyphozoan Aurelia labiata. *Marine Ecology Progress Series*, *348*, 183-196. https://doi.org/10.3354/meps07056

Rentzsch, F., Juliano, C., & Galliot, B. (2019). Modern genomic tools reveal the structural and cellular diversity of cnidarian nervous systems. *Current Opinion in Neurobiology*, *56*, 87-96. https://doi.org/10.1016/j.conb.2018.12.004

Réserve naturelle nationale de l'île du Grand-Connétable. (2022). Réserve Naturelle de l'Île du Grand-Connétable. https://www.reserve-connetable.com/

Richet, C. (1903). Des poisons contenus dans les tentacules des Actinies (congestine et thalassine). *CR Soc Biol Paris*, *55*, 246-248.

Rollard, C., Chippaux, J.-P., & Goyffon, M. (2015). *La fonction venimeuse*. Lavoisier. https://www.researchgate.net/profile/Mireille-Guillaume-2/publication/274959763_Cnidaires/links/557458d308aeacff1ffcbbf1/Cnidaires.pdf

Schmid, V., & Bally, A. (1988). Species specificity in cell-substrate interactions in medusae. *Developmental Biology*, *129*(2), 573-581. https://doi.org/10.1016/0012-1606(88)90402-2

Seifert, S. A., Armitage, J. O., & Sanchez, E. E. (2022). Snake Envenomation. *The New England journal of medicine*, *386*(1), 68-78. https://doi.org/10.1056/NEJMra2105228

Serghini, I., Nader, Y., El Moqqadem, A., Lamghari, A., Qamouss, Y., Aissaoui, Y., Zoubir, M., & Boughalem, M. (2016). Envenimation vipérine grave : Conduite à tenir. *Le Praticien en Anesthésie Réanimation*, *20*(4), 180-183. https://doi.org/10.1016/j.pratan.2016.07.006

SFMU. (2017). Société Française de Médecine d'Urgence. Consulté 8 mars 2024, à l'adresse https://www.sfmu.org/toxin/ANIMAUX/AQUATIQ/MONOAQUA/CNIDAIR0.HTM

SFMU - Méduses. (2017). Société Française de Médecine d'Urgence. Consulté 8 mars 2024, à l'adresse https://www.sfmu.org/toxin/ANIMAUX/AQUATIQ/MONOAQUA/MEDUSE2.HTM

Shaner, N. C., Campbell, R. E., Steinbach, P. A., Giepmans, B. N. G., Palmer, A. E., & Tsien, R. Y. (2004). Improved monomeric red, orange and yellow fluorescent proteins derived from Discosoma sp. Red fluorescent protein. *Nature Biotechnology*, *22*(12), 1567-1572. https://doi.org/10.1038/nbt1037

Shelah, O., Wertheimer, S., Haj-Ali, R., & Lesman, A. (2021). Coral-Derived Collagen Fibers for Engineering Aligned Tissues. *Tissue Engineering. Part A*, *27*(3-4), 187-200. https://doi.org/10.1089/ten.TEA.2020.0116

Shimomura, O., Johnson, F. H., & Saiga, Y. (1962). Extraction, Purification and Properties of Aequorin, a Bioluminescent Protein from the Luminous Hydromedusan, Aequorea. *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, *59*(3), 223-239. https://doi.org/10.1002/jcp.1030590302

Shors, E. C. (1999). CORALLINE BONE GRAFT SUBSTITUTES. *Orthopedic Clinics of North America*, *30*(4), 599-613. https://doi.org/10.1016/S0030-5898(05)70113-9

Sinno-Tellier, S. (2017, mars). *Vigilanses—Morsure de serpent*. Vigil'Anses. https://vigilanses.anses.fr/fr/issue/1%20DE%20VIGIL'ANSES

Slaughter, R., Beasley, D. M., Lambie, B., & Schep, L. (2009). New Zealand's venomous creatures. *The New Zealand medical journal*, *122*, 83-97.

SPF. (2011). Bulletin de veille sanitaire Aquitaine. *Santé Publique France*, *9*. https://www.santepubliquefrance.fr/nouvelle-aquitaine2/bulletin-de-veille-sanitaire-aquitaine.-n-9-septembre-2011

SPF. (2015). Le dispositif PhysaTox® : La surveillance des envenimations par physalie en région Aquitaine. *Santé Publique France*, *43 bis*. https://www.santepubliquefrance.fr/nouvelle-aquitaine/le-dispositif-physatox-R-la-surveillance-des-envenimations-par-physalie-en-region-aquitaine

Spielman, F. J., Bowe, E. A., Watson, C. B., & Klein, E. F. (1982). Acute renal failure as a result of Physalia physalis sting. *Southern Medical Journal*, *75*(11), 1425-1426. https://doi.org/10.1097/00007611-198211000-00033

Stein, M. R., Marraccini, J. V., Rothschild, N. E., & Burnett, J. W. (1989). Fatal portuguese man-o'-war (Physalia physalis) envenomation. *Annals of Emergency Medicine*, *18*(3), 312-315. https://doi.org/10.1016/s0196-0644(89)80421-4

Tamrakar, A. K., Tiwari, P., Ahmad, R., Kumar, R., Lakshmi, V., Srivastava, M. N., & Srivastava, A. K. (2008). Antihyperglycaemic activity of Sinularia firma and Sinularia erecta in streptozotocin-induced diabetic rats. *Medicinal Chemistry Research*, *17*(2), 62-73. https://doi.org/10.1007/s00044-007-9037-4

Tardent, P. (1995). The cnidarian cnidocyte, a hightech cellular weaponry. *BioEssays*, *17*(4), 351-362. https://doi.org/10.1002/bies.950170411

Technau, U., & Steele, R. E. (2011). Evolutionary crossroads in developmental biology : Cnidaria. *Development (Cambridge, England)*, *138*(8), 1447-1458. https://doi.org/10.1242/dev.048959

Thompson, T. E., & Bennett, I. (1969). Physalia Nematocysts : Utilized by Mollusks for Defense. *Science*, *166*(3912), 1532-1533. https://doi.org/10.1126/science.166.3912.1532

Tibballs, J. (2006). Australian venomous jellyfish, envenomation syndromes, toxins and therapy. *Toxicon*, *48*(7), 830-859. https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2006.07.020

Tiralongo, F., Badalamenti, R., Arizza, V., Prieto, L., & Lo Brutto, S. (2022). The Portuguese Man-of-War Has Always Entered the Mediterranean Sea—Strandings, Sightings, and Museum Collections. *Frontiers in Marine Science*, *9*. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.856979

Tsien, R. Y. (1998). The green fluorescent protein. *Annual review of biochemistry*, *67*(1), 509-544.

Turk, T., & Kem, W. R. (2009). The phylum Cnidaria and investigations of its toxins and venoms until 1990. *Toxicon*, *54*(8), 1031-1037. https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2009.06.031

UCLouvain. (2014). Université Catholique de Louvain. Consulté 12 mars 2024, à l'adresse https://www.zoologie-uclouvain.be/new/cnidaires.html

van Wijland, J. (2015). Introduction. In J. Van Wijland (Éd.), *Charles Richet (1850-1935) : L'exercice de la curiosité* (p. 9-16). Presses universitaires de Rennes. https://doi.org/10.4000/books.pur.88543

Vaucel, J.-A., Gil-Jardiné, C., Labadie, M., Larréché, S., Paradis, C., Nardon, A., Courtois, A., Langrand, J., & Kallel, H. (2021). Epidemiology of scorpionism in France : Nationwide scorpion exposure. *Clinical Toxicology*, *59*, 1-14. https://doi.org/10.1080/15563650.2021.1884692

Vaucel, J.-A., Gil-Jardiné, C., Labadie, M., Larréché, S., Paradis, C., Nardon, A., Courtois, A., Langrand, J., & Kallel, H. (2022). Comment on epidemiology of scorpionism in France : Nationwide scorpion exposure. Description of Buthus pyrenaeus envenoming. *Clinical Toxicology*, *60*, 1-2. https://doi.org/10.1080/15563650.2022.2046776

Vaucel, J.-A., Gil-Jardine, C., Labadie, M., Larréché, S., Paradis, C., Nardon, A., Courtois, A., Langrand, J., & Kallel, H. (2023). Une nouvelle espèce de scorpion est décrite en France métropolitaine : *Buthus pyrenaeus.* Quelles sont les implications cliniques de cette découverte ?

Toxicologie Analytique et Clinique, *35*(3, Supplement), S128-S129. https://doi.org/10.1016/j.toxac.2023.08.116

Vaucel, J.-A., Larréché, S., Paradis, C., Courtois, A., Pujo, J.-M., Elenga, N., Résière, D., Caré, W., de Haro, L., Gallart, J.-C., Torrents, R., Schmitt, C., Chevalier, J., Labadie, M., & Kallel, H. (2022a). French Scorpionism (Mainland and Oversea Territories) : Narrative Review of Scorpion Species, Scorpion Venom, and Envenoming Management. *Toxins*, *14*(10), 719. https://doi.org/10.3390/toxins14100719

Vaucel, J.-A., Larréché, S., Paradis, C., Courtois, A., Pujo, J.-M., Elenga, N., Résière, D., Caré, W., de Haro, L., Gallart, J.-C., Torrents, R., Schmitt, C., Chevalier, J., Labadie, M., & Kallel, H. (2022b). Les envenimations scorpioniques en France métropolitaine et d'Outremer : Mise au point. *Toxicologie Analytique et Clinique*, *34*(2), 68-85. https://doi.org/10.1016/j.toxac.2022.02.003

Vaucel, J.-A., Larréché, S., Paradis, C., Labadie, M., Courtois, A., Grenet, G., Langrand, J., Tournoud, C., Nisse, P., Gallart, J.-C., Schmitt, C., Torrents, R., Le Roux, G., Gil-Jardiné, C., Kallel, H., Deguigne, M., Descatha, A., Patat, A.-M., Paret, N., & Vodovar, D. (2021). Relationship Between Scorpion Stings Events and Environmental Conditions in Mainland France. *Journal of Medical Entomology*, *58*. https://doi.org/10.1093/jme/tjab109

Ward, M. J., Ellsworth, S. A., & Nystrom, G. S. (2018). A global accounting of medically significant scorpions : Epidemiology, major toxins, and comparative resources in harmless counterparts. *Toxicon*, *151*, 137-155. https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2018.07.007

Watson, G. M., & Hessinger, D. A. (1994). Evidence for calcium channels involved in regulating nematocyst discharge. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, *107*(3), 473-481. https://doi.org/10.1016/0300-9629(94)90028-0

Weinstein, S., Dart, R., Staples, A., & White, J. (2009). Envenomations : An overview of clinical toxinology for the primary care physician. *American Family Physician*, *80*(8), 793-802.

Wilcox, C. L., Headlam, J. L., Doyle, T. K., & Yanagihara, A. A. (2017). Assessing the Efficacy of First-Aid Measures in Physalia sp. Envenomation, Using Solution- and Blood Agarose-Based Models. *Toxins*, *9*(5), 149. https://doi.org/10.3390/toxins9050149

Wilson, D. P. (1947). The Portuguese Man-of-War, Physalia Physalis L., in British and Adjacent Seas. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, *27*(1), 139-172. https://doi.org/10.1017/S0025315400014156

Wittenberg, J. B. (1960). The Source of Carbon Monoxide in the Float of the Portuguese Man-of-War, Physalia Physalis L. *Journal of Experimental Biology*, *37*(4), 698-705. https://doi.org/10.1242/jeb.37.4.698

Yanagihara, A. A., Kuroiwa, J. M. Y., Oliver, L. M., & Kunkel, D. D. (2002). The ultrastructure of nematocysts from the fishing tentacle of the Hawaiian bluebottle, Physalia utriculus (Cnidaria, Hydrozoa, Siphonophora). *Hydrobiologia*, *489*(1), 139-150. https://doi.org/10.1023/A:1023272519668

Résumé

Les envenimations par *Physalia* spp, cnidaire également connu sous le nom de « vessie de mer » ou « galère portugaise », sont des incidents marins sérieux pouvant entraîner des conséquences graves pour les individus affectés. Cette thèse de recherche bibliographique vise à examiner et à synthétiser la littérature disponible sur les envenimations par *Physalia* spp, en mettant l'accent sur les aspects épidémiologiques, cliniques, et thérapeutiques.

L'analyse des données disponibles révèle une présence hétérogène de *Physalia* spp dans les différentes régions du monde, et une prévalence variable des envenimations par ce cnidaire dans les régions et selon les périodes de l'année. En effet, d'après la littérature, la présence de *Physalia* spp n'est pas systématiquement associée à des envenimations. De plus, les symptômes sont de gravité variable, les manifestations cliniques courantes comprenant des douleurs intenses, des lésions cutanées et quelques réactions allergiques.

La prise en charge des envenimations par *Physalia* spp repose principalement sur des mesures de premiers secours telles que le lavage à l'eau de mer, le retrait des tentacules à l'aide de sable sec ou de mousse à raser, ainsi que l'immersion du membre dans de l'eau chaude à 45°C et l'administration de médicaments symptomatiques pour soulager la douleur ou en cas de complications.

Bien qu'encore utilisée dans certaines régions du monde, comme au Japon et au Brésil, il apparaît que l'application de vinaigre sur les piqûres de *Physalia* spp fait l'objet de controverses, et son utilisation n'est pas recommandée ailleurs. Des études supplémentaires sont nécessaires pour évaluer cette méthode.

Mots-clés

Cnidaire, envenimation, cnidocyte, nématocyte, *Physalia* spp, *Physalia physalis*, *Physalia utriculus*, piqûre, polype

Université de Poitiers

Faculté de Médecine et Pharmacie

SERMENT DE GALIEN

En présence des Maitres de la Faculté, je fais le serment :

D'honorer ceux qui m'ont instruit(e) dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle aux principes qui m'ont été enseignés et d'actualiser mes connaissances,

D'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de Déontologie, de l'honneur, de la probité et du désintéressement,

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers la personne humaine et sa dignité,

De ne dévoiler à personne les secrets qui m'auraient été confiés ou dont j'aurais eu connaissance dans l'exercice de ma profession,

De faire preuve de loyauté et de solidarité envers mes collègues pharmaciens,

De coopérer avec les autres professionnels de santé.

En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser des actes criminels.

Que les Hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert(e) d'opprobre et méprisé(e) de mes confrères si j'y manque.

Signature de l'étudiant	du Président du jury
Nom :	Nom :
Prénom :	Prénom :

Version validée par la conférence des Doyens de facultés de Pharmacie le 7 février 2018

Résumé

Les envenimations par *Physalia* spp, cnidaire également connu sous le nom de « vessie de mer » ou « galère portugaise », sont des incidents marins sérieux pouvant entraîner des conséquences graves pour les individus affectés. Cette thèse de recherche bibliographique vise à examiner et à synthétiser la littérature disponible sur les envenimations par *Physalia* spp, en mettant l'accent sur les aspects épidémiologiques, cliniques, et thérapeutiques.

L'analyse des données disponibles révèle une présence hétérogène de *Physalia* spp dans les différentes régions du monde, et une prévalence variable des envenimations par ce cnidaire dans les régions et selon les périodes de l'année. En effet, d'après la littérature, la présence de *Physalia* spp n'est pas systématiquement associée à des envenimations. De plus, les symptômes sont de gravité variable, les manifestations cliniques courantes comprenant des douleurs intenses, des lésions cutanées et quelques réactions allergiques.

La prise en charge des envenimations par *Physalia* spp repose principalement sur des mesures de premiers secours telles que le lavage à l'eau de mer, le retrait des tentacules à l'aide de sable sec ou de mousse à raser, ainsi que l'immersion du membre dans de l'eau chaude à 45°C et l'administration de médicaments symptomatiques pour soulager la douleur ou en cas de complications.

Bien qu'encore utilisée dans certaines régions du monde, comme au Japon et au Brésil, il apparaît que l'application de vinaigre sur les piqûres de *Physalia* spp fait l'objet de controverses, et son utilisation n'est pas recommandée ailleurs. Des études supplémentaires sont nécessaires pour évaluer cette méthode.

Mots-clés

Cnidaire, envenimation, cnidocyte, nématocyte, *Physalia* spp, *Physalia physalis*, *Physalia utriculus*, piqûre, polype