

**VETAGRO SUP
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON**

Année 2018 - Thèse n°056

***PULLULATION DES MEDUSES : CAS D'INTOXICATION DES
CARNIVORES DOMESTIQUES, CAUSES ET LOCALISATIONS
SPATIO-TEMPORELLES, DISCUSSION DES MODELES DE
PREVISION***

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)

et soutenue publiquement le 12 octobre 2018
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

Deleforterie Yves



**VETAGRO SUP
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON**

Année 2018 - Thèse n°056

***PULLULATION DES MEDUSES : CAS D'INTOXICATION DES
CARNIVORES DOMESTIQUES, CAUSES ET LOCALISATION
SPATIO-TEMPORELLES, DISCUSSION DES MODELES DE
PREVISION***

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)

et soutenue publiquement le 12 octobre 2018
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

Deleforterie Yves





<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>

Liste des Enseignants du Campus Vétérinaire de Lyon (1er mars 2018)

No m	Prénom	Département	Grade
ABITBOL	Marie	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maitre de conférences
ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maitre de conférences
ARCANGIOLI	Marie-Anne	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
AYRAL	Florence	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maitre de conférences
BECKER	Claire	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maitre de conférences
BELLUCO	Sara	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maitre de conférences
BENAMOU-SMITH	Agnès	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maitre de conférences
BENOIT	Etienne	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BERNY	Philippe	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BOULOCHE	Caroline	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maitre de conférences
BOURDOISEAU	Gilles	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
BOURGOIN	Gilles	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maitre de conférences
BRUYERE	Pierre	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maitre de conférences
BUFF	Samuel	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maitre de conférences
BURONFOSSE	Thierry	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
CACHON	Thibaut	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maitre de conférences
CADORÉ	Jean-luc	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maitre de conférences
CAROZZO	Claude	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maitre de conférences
CHABANNE	Luc	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
CHALVET-MONFRAY	Karine	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
DE BOYER DES ROCHES	Alice	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maitre de conférences
DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
DEMONT	Pierre	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
DJELOUADJI	Zorée	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maitre de conférences
ESCRIOU	Catherine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maitre de conférences
FRIKHA	Mohamed-Ridha	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maitre de conférences
GALJA	Wessam	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maitre de conférences Stagiaire
GILOT-FROMONT	Emmanuelle	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
GONTHIER	Alain	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maitre de conférences
GRANCHER	Denis	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maitre de conférences
GREZEL	Delphine	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maitre de conférences
HUGONNARD	Marine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maitre de conférences
JANKOWIAK	Bernard	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maitre de conférences Contractuel
JAUSSAUD	Philippe	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
JEANNIN	Arne	DEPT-ELEVAGE-SPV	Inspecteur en santé publique vétérinaire (ISPV)
JOSSON-SCHRAMME	Arne	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maitre de conférences Contractuel
JUNOT	Stéphane	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maitre de conférences
KODJO	Angeli	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
KRAFFT	Emilie	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maitre de conférences
LAABERKI	Maria-Halima	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maitre de conférences
LAMBERT	Véronique	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maitre de conférences
LE GRAND	Dominique	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
LEBLOND	Agnès	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
LEDOUX	Dorothee	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maitre de conférences Stagiaire
LEFEBVRE	Sébastien	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maitre de conférences Stagiaire
LEFRANC-POHL	Arne-Cécile	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maitre de conférences
LEPAGE	Olivier	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
LOUZIER	Vanessa	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
MARCHAL	Thierry	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
MATEOS	Stevana	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maitre de conférences Contractuel
MOISSONNIER	Pierre	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
MOUNIER	Luc	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
PEPIN	Michel	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
PIN	Didier	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
PONCE	Frédérique	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
PORTIER	Karine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
POUZOT-NEVORET	Céline	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maitre de conférences
PROUILLAC	Caroline	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maitre de conférences
REMY	Denise	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
RENE MARTELLET	Magalie	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maitre de conférences
RIVES	Germain	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maitre de conférences Contractuel
ROGER	Thierry	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
SABATIER	Philippe	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
SAWAYA	Serge	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maitre de conférences
SCHRAMME	Michael	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
SERGEANT	Delphine	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
THIEBAULT	Jean-Jacques	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maitre de conférences
THOMAS-CANCIAN	Aurélien	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maitre de conférences Contractuel
TORTEREAU	Antonin	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maitre de conférences
VIGUIER	Eric	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
VIRIEUX-WATRELOT	Dorothee	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maitre de conférences Contractuel
ZENNER	Lionel	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur

A Monsieur le Professeur CALENDER Alain,

De la faculté de Médecine de Lyon,
Pour nous avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse,
Qu'il reçoive ici mes hommages respectueux.

A Monsieur le Professeur BERNY Philippe,

De VetAgro-Sup – Campus Vétérinaire de Lyon,
Pour son aide et sa disponibilité tout au long de ce travail,
Qu'il trouve ici l'expression de toute ma gratitude.

A Madame le Professeur HUGONNARD Marine,

De VetAgro-Sup – Campus Vétérinaire de Lyon,
Pour nous avoir fait l'honneur d'accepter de faire partie de notre jury de thèse,
Qu'elle trouve ici l'expression de toute ma gratitude.

Table des matières

Table des figures	13
Tables des tableaux	15
Liste des abréviations	17
Introduction	19
I) LA MEDUSE : UNE PREDATRICE URTICANTE.....	21
A) Présentation générale des méduses	21
1)Embranchement	21
a) Historique	21
b) Différentes espèces	22
2) La méduse : une simplicité redoutable	23
a) Composition et organisation	23
b) Vers des organes sensoriels	24
c) Des cellules redoutables : les cnidocytes	25
d) Méduse et mucus.....	27
e) Méduse et reproduction.....	27
B) Contact entre méduses et carnivores domestiques sur les côtes françaises	30
1) Données du CNITV	30
a) Présentation de l'association	30
b) Données du CNITV	31
c) Analyses données CNITV	31
2) Données CAPAE OUEST	33
a) Présentation du centre	33
b) Données du CAPAE OUEST.....	34
c) Analyse CAPA OUEST	34
3) Cumul CAPA OUEST et CNITV.....	36
a) Symptômes majoritaires.....	36
b) Répartition temporelle	37
4) Bilan contact méduses carnivores domestiques.....	38
a) Symptômes majoritaires.....	38
b) Temporalité.....	38
II) CARACTERISATION ET CAUSES PROBABLES DES BLOOMS DE MEDUSES... 41	
A) Localisation et saisonnalité d'apparition des méduses	41
1) Etude spatio-temporelle à l'échelle mondiale	41
a) Recueil de données.....	41

b)	Présentation des sources	41
i.	Jellywatch.....	41
ii.	JeDi.....	42
c)	Traitement des données.....	42
i.	Jellywatch.....	42
ii.	JeDI.....	44
d)	répartition temporelle.....	45
i.	Jellywatch.....	45
ii.	JeDI.....	49
e)	Répartition saisonnière.....	56
2)	Répartition de quelques espèces dans les eaux du globe.....	57
a)	Répartition spatiale en Europe	58
b)	Répartition spatiale en France.....	59
c)	Répartition spatiale sur le globe.....	59
d)	Bilan observation d'espèces.....	61
3)	Situation en France métropolitaine.....	61
a)	Les méduses d'Atlantique	61
i.	Aurelia aurita.....	61
ii.	Rhizostoma pulmo.....	62
iii.	Aequorea Forskalea.....	63
iv.	Physalia physalis.....	63
b)	Les méduses en Méditerranée.....	64
i.	Pelagia noctiluca	64
ii.	Cotylorhiza tuberculata.....	65
c)	Les méduses en Manche et Mer du Nord.....	65
i.	Chrysaora hysoscella.....	65
d)	Bilan saisonniers des principales méduses de France.....	66
4)	Résultats et interprétations.....	67
a)	Vers une saisonnalité par hémisphère	67
B)	Pullulation des méduses : l'homme comme origine ?.....	68
1)	La surpêche laisse le champ libre aux méduses	68
a)	La surpêche et le mythe des océans inépuisables.....	68
b)	Conséquence de la surpêche	69
c)	Impact sur le Krill	69
d)	Un bouleversement global des chaînes alimentaires	70

2) La pullulation facteur favorisant.....	71
a) Le plastique véritable pouponnière à méduse	71
b) Engrais et produits chimiques	71
c) Activité côtière et réchauffement des eaux	72
d) L'équilibre instable des océans	73
3) Commerce international	73
a) Le système de ballaste.....	73
b) Méduses immortelles et ballastes.....	74
III) PREVENTION ET LIGNE DE CONDUITE FACE A CE NOUVEL ENVAHISSEUR	75
A) Modèle de prévision des blooms et sites participatifs	75
1) Modèle mathématique de prévision.....	75
a) Les données utilisées.....	75
b) Les modèles existants	75
c) Discussion de leurs utilisations et efficacités	76
d) Variation cyclique	76
2) Sites participatifs	77
a) De nombreux sites existants.....	77
b) Mode de fonctionnement : limite et succès.....	78
c) Vers un site unique ?	78
B) Que faire face à la prolifération gélatineuse ?	79
1) Se défendre face à l'envahisseur	79
a) Protection des plages.....	79
b) La pêche comme solution	79
c) Une destruction physiologique ou corporelle des méduses ?.....	80
d) Utilisation de produits chimiques et physique	80
2) Vers une utilisation des méduses.....	81
a) Une source d'eau et de gestion de l'eau.....	81
b) Méduse, médecine et recherche	82
i. Choc anaphylactique	82
ii. Fluorescéine :.....	82
iii. Méduse et cellule souche et médicaments :.....	82
c) Méduse et cosmétique	83
d) Méduse et alimentation	83
3) Un changement de comportement face aux bouleversements écologiques et climatiques	84

a) Rétablir l'équilibre	84
b) Vers une pêche durable et respectueuse.....	85
c) Une fin de la pollution bénéfique aux méduses	85
CONCLUSION	87
BIBLIOGRAPHIE	89

Table des figures

Figure 1 - Morphologie d'une méduse (photographie personnelle)	23
Figure 2 - Structure histologique schématique de la paroi du corps d'un Cnidaire (adapté d'un schéma de D. Terver - G. Eckert 2016)	24
Figure 3 - Modèle de déplacement d'une méduse (photographies personnelles,2017)	24
Figure 4 - Photographie sous microscope optique de cnidocytes dévaginés (photographie personnelle, 2017)	26
Figure 5 - modèle schématique d'un cnidocyte (d'après un schéma de J. Goy, 2014)	26
Figure 6 - Cycle de vie des hydroméduses (d'après Méduses A la conquête des océans 2014 Robert Calcagno, Jacqueline Goy)	28
Figure 7 - Cycle de vie des scyphoméduses (d'après Méduses A la conquête des océans 2014 Robert Calcagno, Jacqueline Goy)	29
Figure 8 - Graphique du nombre de cas pour chaque symptôme.....	32
Figure 9 - Nombre de cas du CNITV selon les mois de l'année	33
Figure 10 - Nombre de cas du CAPAE Ouest selon les mois de l'année	35
Figure 11 - Cumul CNITV CAPAE Ouest nombre cas par mois	37
Figure 12 - Répartition mondiale des cas d'observation de méduse (données Jellywatch, n=5177, 1975-2016).....	43
Figure 13 - Répartition des observations de méduses (données JeDI n=429462, 1871-2011)	44
Figure 14 - Répartition par mois des cas d'observation de méduses (données Jellywatch, n=5177, 1975-2016).....	45
Figure 15 - Nombre de cas par mois pour toutes les années en moyenne (données Jellywatch, n=5177, 1975-2016).....	46
Figure 16 - Répartition par mois des cas d'observation dans l'hémisphère Nord (données Jellywatch, n=3249, 1975-2016).....	47
Figure 17 - Répartition par mois des cas d'observation au niveau de l'équateur (données Jellywatch, n=302, 1975-2016).....	47
Figure 18 - Répartition par mois des cas d'observation dans l'hémisphère Sud (données Jellywatch, n=158, 1975-2016).....	48
Figure 19 -Répartition des observations de méduses par mois (données JeDI n=429462, 1871-2011)	50
Figure 20 - Répartition cas par mois hémisphère Nord (données JeDI, n=183401, 1871-2011)	51
Figure 21 - Répartition cas par mois au niveau de l'équateur (données JeDI, n=32803, 1871-2011)	51
Figure 22 - Répartition cas par mois hémisphère Sud (données JeDI, n =11435, 1871-2011)	52
Figure 23 - Répartition cas par mois zone 1 (données JeDI, n=6127, 1871-2011) ..	53
Figure 24 - Répartition cas par mois zone 2 (données JeDI, n=177274, 1871-2011)53	
Figure 25 - Répartition cas par mois zone 3 (données JeDI, n=20850, 1871-2011) 54	

Figure 26 - Répartition cas par mois zone 4 (données JeDI, n=11953, 1871-2011)	54
Figure 27 - Répartition cas par mois zone 5 (données JeDI, n=10959, 1871-2011)	55
Figure 28 - Répartition cas par mois zone 6 (données JeDI, n=476, 1871-2011)	55
Figure 29 - Répartition des cas par saison dans l'hémisphère Nord (données JeDI, n=177274, 1871-2011)	56
Figure 30 - Répartition des cas par saison dans l'hémisphère Sud (données JeDI, n=10959,1871-2011)	57
Figure 31 - Observation des espèces sélectionnées en Europe (données JeDI, n=2714, 1871-2011)	58
Figure 32 - Observation des espèces sélectionnées en France (données JeDI, n=2714, 1871-2011)	59
Figure 33 - Observation des espèces sélectionnées sur le globe (données JeDI n=2714, 1871-2011)	60
Figure 34 - Photographie d' <i>Aurelia Aurita</i> (photographie personnelle, 2017)	62
Figure 35 - Photographie de <i>Rhizostoma Pulmo</i> (Spain JellyfishGuide 2013 jellyRisk)	62
Figure 36 - Photographie de <i>Aequorea. Forskalea</i> (Spain JellyfishGuide 2013 jellyRisk)	63
Figure 37 - Photographie de <i>Physalia Physalis</i> (Spain JellyfishGuide 2013 jellyRisk)	64
Figure 38 - Photographie de <i>Pelagia Noctiluca</i> (Spain JellyfishGuide 2013 jellyRisk)	64
Figure 39 - Photographie de <i>Cotylorhiza Tuberculata</i> (Spain JellyfishGuide 2013 jellyRisk)	65
Figure 40 - Photographie de <i>Chrysaora hysoscella</i> (Spain JellyfishGuide 2013 jellyRisk)	66
Figure 41 - Flyers Nice Acri réseau d'observation de méduses en Méditerranée....	77

Tables des tableaux

Tableau I - Nombre de cas par symptômes (CNITV) n=39.....	31
Tableau II - Nombre de cas par symptômes (CAPAE Ouest) n=37.....	34
Tableau III - Cumul symptômes CNITV CAPAE Ouest	36
Tableau IV - Dates des saisons par hémisphère	56

Liste des abréviations

- CAPAE Ouest** : Centre Antipoison Animal et Environnemental de l'Ouest
- CNITV** : Centre National d'Informations Toxicologiques Vétérinaire
- JeDI** : Jellyfish Database Initiative

Introduction

Méduse, une belle jeune fille trop fière de sa beauté, osa rivaliser avec Athéna. La déesse pour la punir, transforma sa chevelure en serpents et fit que son regard pétrifie tout être vivant. Le lien avec les méduses de nos océans peut être aisément fait : un rond central d'où irradiant des tentacules flottants tel une chevelure de serpents prêts à piquer.

Depuis que l'homme navigue sur les mers du globe, des phénomènes de pullulations intenses de méduses ont été observés. Les navigateurs décrivaient des mers de gelées qui empêchaient tout mouvement des navires, des filets remontés vides de poissons et pleins de méduses (Goy et al., 1989) (Mills, 2001). Les premières traces de blooms ont été découvertes dans des couches géologiques de plus de 500 millions d'années.

Les pullulations de méduses, ou bloom de méduse, ou encore prolifération de méduses correspondent à une multiplication massive du nombre de certains types de cnidaires. Lorsque les courants marins et les conditions environnementales le permettent, ces derniers peuvent être transportés jusqu'aux côtes pouvant provoquer des échouages massifs, des paralysies des activités côtières, et un impact sur les activités économiques (Baxter et al., 2010) (Rilov and Galil, 2009).

Au fur et à mesure des siècles, l'activité humaine s'est intensifiée. De nouveaux facteurs sont entrés en jeu dans l'équilibre des océans. La surpêche, le réchauffement climatique, la pollution chimique, sont autant de facteurs qui impactent sur le développement des méduses et leur pullulation. Ce phénomène se voit amplifié depuis quelques années (Richardson et al., 2009).

Des lors, la probabilité de rencontre entre un carnivore domestique, dont font partie le chien et le chat, et une méduse échouée sur une plage s'en trouve augmentée. Le phénomène, bien que peu courant à l'heure actuelle, pourrait s'amplifier dans les années à venir.

Lors de ce contact, la victime touche plusieurs cnidocytes de la méduse, cellules si particulières permettant l'inoculation du venin. Elles libèrent leurs "harpons" qui viennent se ficher dans la peau de la proie, le venin est alors libéré. Ce venin, selon la zone touchée, va entraîner des symptômes plus ou moins graves.

Le but de cette étude est d'essayer de comprendre ces phénomènes de pullulation, leurs répartitions et leurs impacts.

Dans une première partie, après une présentation d'ensemble sur la méduse et sa biologie, nous ferons un bilan des cas de contact entre méduses et carnivores domestiques en France. Nous nous intéresserons à leur localisation géographique et temporelle et aux différents symptômes observés. Dans une deuxième partie nous confronterons ces données spatio-temporelles aux blooms observés dans le monde et en France, que nous tenterons d'expliquer. Enfin, nous discuterons des solutions qui pourraient être envisagées pour réguler voire juguler cette pullulation de méduses, et de quelques modèles de prévision de ces blooms afin de pouvoir les anticiper.

I) LA MEDUSE : UNE PREDATRICE URTICANTE

A) Présentation générale des méduses

1) Embranchement

Lorsque l'on évoque les méduses on imagine ces créatures légères flottant dans les océans, agitant leurs ombrelles et suivies par leurs filaments piquants. Ce terme est un nom commun qui regroupe en réalité de nombreuses formes libres de groupe de cnidaires. Tous les organismes translucides ou gélatineux ne sont pas méduses.

a) Historique

Les méduses sont présentes sur Terre depuis des millions d'années. Les traces les plus anciennes ont été trouvées en Australie dans le gisement d'Ediacara datant de 600 millions d'années, c'est à dire du Précambrien (Goy and Toulemont, 1997).

Les méduses appartiennent au phylum des cnidaires. Cnidaire vient du grec *κνίδη* (knidé « urticant »). Cela fait directement référence à la capacité des créatures appartenant à cet embranchement d'utiliser leurs cellules urticantes, ou cnidocytes. Ces cellules munies d'une sorte de harpon sont la source d'injection du venin aux organismes passant trop près et entrant en contact.

Le phylum des cnidaires est divisé en deux classes : les Anthozoaires et les Méduzoaires.

Les Anthozoaires n'ont pas de stade méduse tel que l'on conçoit habituellement. Ils ont uniquement un stade polype, et sont le plus souvent hermaphrodites.

On divise cette classe en deux groupes selon la forme de l'estomac.

Les Hexacoralliaires : leur estomac possède 6 cloisons gastriques. On peut citer les anémones de mer, les madréporaires comme membre de ce groupe.

Les octocoralliaires : ces derniers possèdent 8 cloisons gastriques. Le corail bijoutier, et les gorgones font partis de ce groupe.

Les Méduzoaires ont à la fois un stade polype et un stade méduse. Le stade méduse est le stade où apparaissent les organes de la reproduction.

Néanmoins des exceptions existent, certaines méduses ne possèdent que l'un des deux stades. Citons *Pelagia noctiluca*, qui ne possèdent pas de stade polype fixe.

b) Différentes espèces

Les méduses forment une famille de plus de 1000 espèces réparties sur l'ensemble des océans du globe. Des grands froids des océans des pôles, aux eaux chaudes des caraïbes, les méduses se sont adaptées à tous les climats, plus généralement à toutes les zones bioclimatiques.

La diversité des méduses, de leurs capacités et attributs, rend leur classement ardu. Les Méduzoaires sont divisés en trois sous classes, qui dépendent du mode de formation de la méduse à partir du polype.

Scyphozoaires : composés des scyphoméduses : Les méduses de cette sous classe sont appelées également méduses vraies. La formation de nouvelles méduses se fait par bourgeonnement latéral. Leurs formes et leurs tailles sont très variées, de quelques millimètres à plusieurs mètres de diamètre, rondes, carrés, ou plates.

Elles ont généralement un stade de vie fixée et un stade de vie libre. Actuellement, on ne dénombre pas loin de 190 espèces de scyphoméduses dont *Pelagia noctiluca* et *Aurelia aurita* font parties.

Hydrozoaires : composés des hydroméduses et siphonophores. La formation de méduses se fait par bourgeonnement latéral. Elles sont de petites tailles, de 1 à 10 cm. Ces dernières possèdent également un stade fixé et un stade libre. Le polype va bourgeonner avec d'autres polypes. Ces polypes peuvent être seuls, ou former des colonies nommées hydraires. Ce bourgeonnement va permettre la reproduction, et la formation de nouvelles méduses.

La connaissance de leur cycle de vie est plus floue. On distingue actuellement 840 espèces d'hydroméduses.

Cinq ordres composent cette sous classe : les Anthoméduses, les Leptoméduses, les Limnoméduses, les Narcoméduses et les Trachyméduses (Donnard, n.d.).

Les cubozoaires : composés des cuboméduses. La formation de méduses se fait par métamorphose du polype. Ce dernier résulte de la rencontre des spermatozoïdes du mâle, présents dans le spermatophore, et déposé depuis la bouche du mâle sur un tentacule de la femelle. La fécondation se déroule dans les poches gastriques de la femelle. Le polype va ensuite se fixer sur le fond et se métamorphoser pour donner une méduse unique. Il a des tentacules que l'on qualifie de *capités*. On a répertorié actuellement environ 40 espèces de cubozoaires. Elles sont en forme de cube, leurs *rhopalies* sont situées dans des niches au-dessus des bords de l'ombrelle. On ne connaît le cycle de vie que de 10% de ce groupe (Lecointre and Le Guyader, 2001).

Le terme méduse cache une grande diversité d'espèces, de groupes et de classes. Nous allons nous intéresser au fonctionnement de la méduse et sa biologie.

2) La méduse : une simplicité redoutable

a) Composition et organisation

Les méduses sont d'une simplicité déconcertante. Leur composition même tout d'abord : 98% d'eau et 2% de matière sèche, elle-même composée de 70% de protéines, 20% de lipides, et 10% de glucides. Leur organisation structurelle témoigne de cette simplicité également. La partie la plus importante en taille correspond le plus souvent à l'ombrelle, couverte d'une substance gélatineuse appelée la *mésoglée*. Un tube part de cette ombrelle renfermant l'œsophage et chez certaines espèces les organes de la reproduction. C'est le *manubrium*. De l'ombrelle irradient de nombreux filaments, les tentacules, qui peuvent être regroupés en faisceaux chez certaines espèces. Ces tentacules sont le siège des cnidocytes, véritable outil de pêche des méduses (Goy and Calcagno, 2014).

L'œsophage aboutit à l'estomac au centre de l'ombrelle (Figure 1). De ce dernier partent des canaux radiaires qui vont diffuser dans toute l'ombrelle telles de baleines de parapluie. Ils aboutissent au niveau d'un canal marginal circulaire, qui va permettre la nutrition de l'ensemble de l'organisme. Dans certains cas des bras oraux peuvent être présents. Ils découlent de lèvres très développées à l'entrée du *manubrium*.

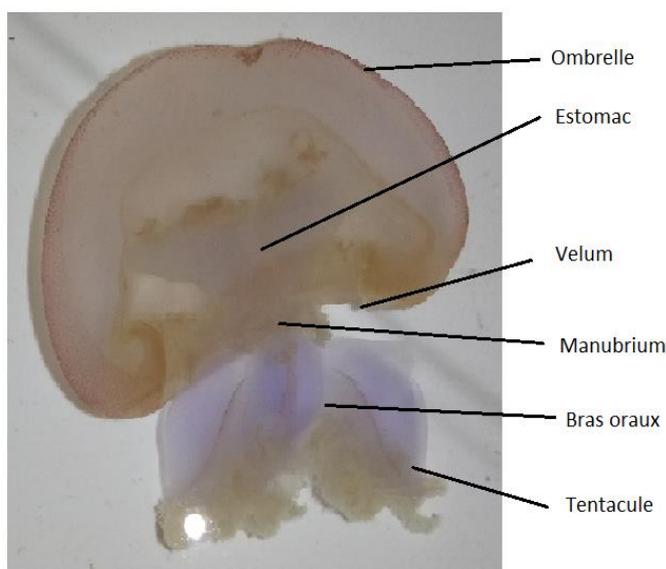


Figure 1 - Morphologie d'une méduse
(photographie personnelle)

Les méduses sont des diblastiques. Elles ne possèdent ni branchies, ni poumons, et respirent par la peau par de simples phénomènes de diffusion. (Figure 2) Elles ne possèdent en outre aucune protection, comme une carapace, ou un test calcaire comme les oursins. Cette faiblesse apparente est compensée aux yeux des prédateurs potentiels par leur caractère urticant et leur faible valeur nutritive. Mais cela n'empêche pas la méduse de réaliser ses tâches quotidiennes : grandir, se nourrir, se reproduire et proliférer.

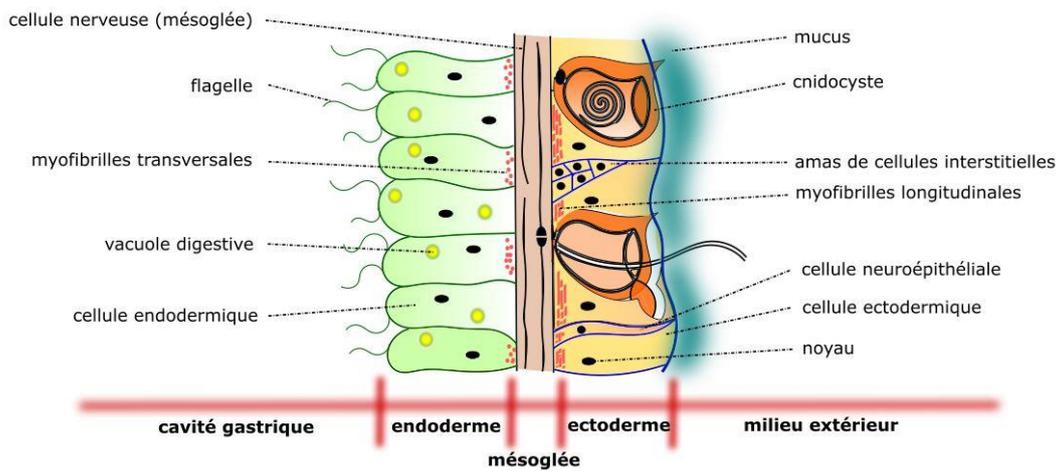


Figure 2 - Structure histologique schématique de la paroi du corps d'un Cnidaire (adapté d'un schéma de D. Terver - G. Eckert 2016)

b) Vers des organes sensoriels

La méduse dérive au gré des courants marins laissant trainer ses filaments. Dans certains cas la présence d'un réseau de myofibrilles permet un déplacement orienté. Les contractions et décontraction du vélum permettent à la méduse de se propulser (Leclère and Röttinger, 2017) (Figure 3).

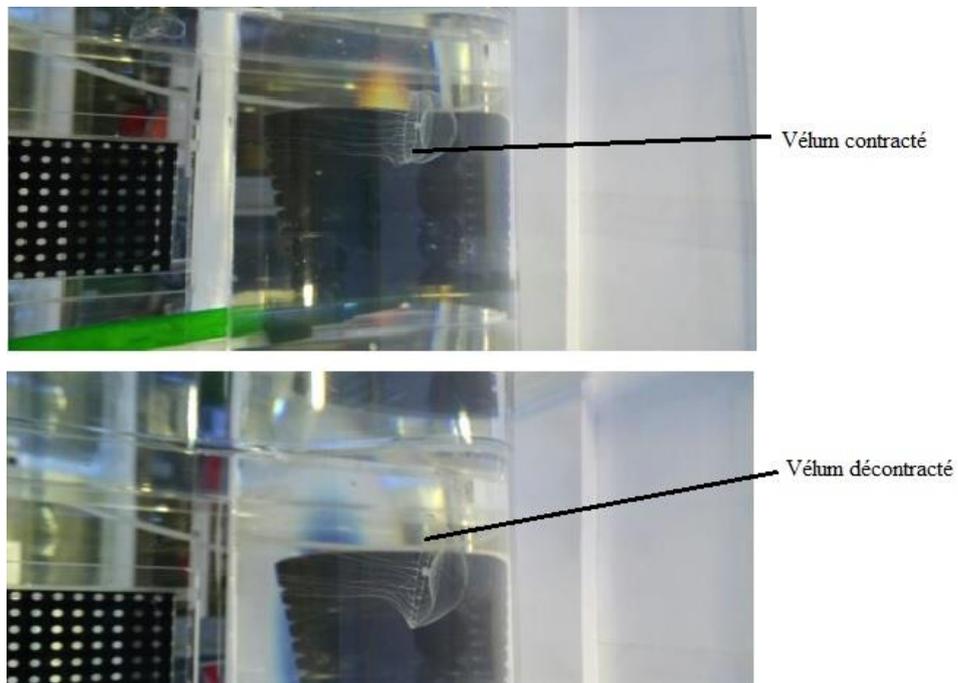


Figure 3 - Modèle de déplacement d'une méduse (photographies personnelles, 2017)

Certaines espèces de méduses se repèrent dans l'espace grâce à des cellules nommées statocystes. Sorte d'oreille interne, ces cellules contiennent de petites vésicules avec des cils. Un statolithe est présent dans cette vésicule et va selon la gravité peser sur tel ou tel cil indiquant la verticale et donc un repère dans l'espace.

Une dichotomie existe au sein des différentes espèces : les hydroméduses possèdent ces statocystes entre les tentacules, tandis que les scyphoméduses les regroupent au niveau d'un organe, la rhopalie. Ce dernier concentre une fossette olfactive et des cellules visuelles. Ces rhopalies sont régulièrement réparties le long de l'ombrelle (Becker et al., 2005), formant ce que l'on pourrait qualifier d'ébauche d'un système nerveux (Martin, 2002).

Certaines espèces possèdent des yeux primitifs appelés ocelles. Ces derniers se situent à la base des tentacules, ou entre ces dernières, sous la forme de petites taches pigmentaires rouges, brunes à noires. C'est le cas notamment de *Pelagia noctiluca*. Certaines espèces possèdent une cupule oculaire constituée par une cornée, un cristallin et une rétine. Ces différents éléments sont reliés à quelques neurones qui coordonnent l'action globale de vision. Le genre *Carybdea* en est un exemple.

Les derniers détails de composition de la rétine révèlent la présence de deux types de cellules visuelles et d'un pigment caroténoïde.

Des lors, certaines méduses peuvent modifier leur nage non seulement en fonction de la quantité de lumière reçue, mais aussi de la couleur de cette lumière.

c) Des cellules redoutables : les cnidocytes

Les méduses possèdent sur leurs tentacules des cellules très particulières propres aux cnidaires : les cnidocytes.

Certaines espèces possèdent des localisations de cnidocytes plus spéciales : bras oraux, en amas sur l'ombrelle, voire sur toute la surface du corps comme pour *Pelagia*.

Un cnidocyte fait environ 0,08mm, une fois dévaginé la taille atteint à peine 0,1mm. (Figure 4) Il se compose d'une poche remplie de venin, d'un tube creux enroulé dans cette dernière bordée de piquants, et d'un cnidocyl en surface. Lors d'un contact sur ce cnidocyl le système épithélio-musculaire entourant la vacuole va être stimulé et entraîner une contraction et un éclatement de la vacuole. Le filament va alors être éjecté et se planter dans la proie où le poison va pouvoir diffuser (Figure 5). Ce système de harponnage est l'un des plus rapides du règne animal. Il se déroule en quelques millisecondes. Chaque cnidocyte libère 180 µg de toxine (Özbek et al., 2009).

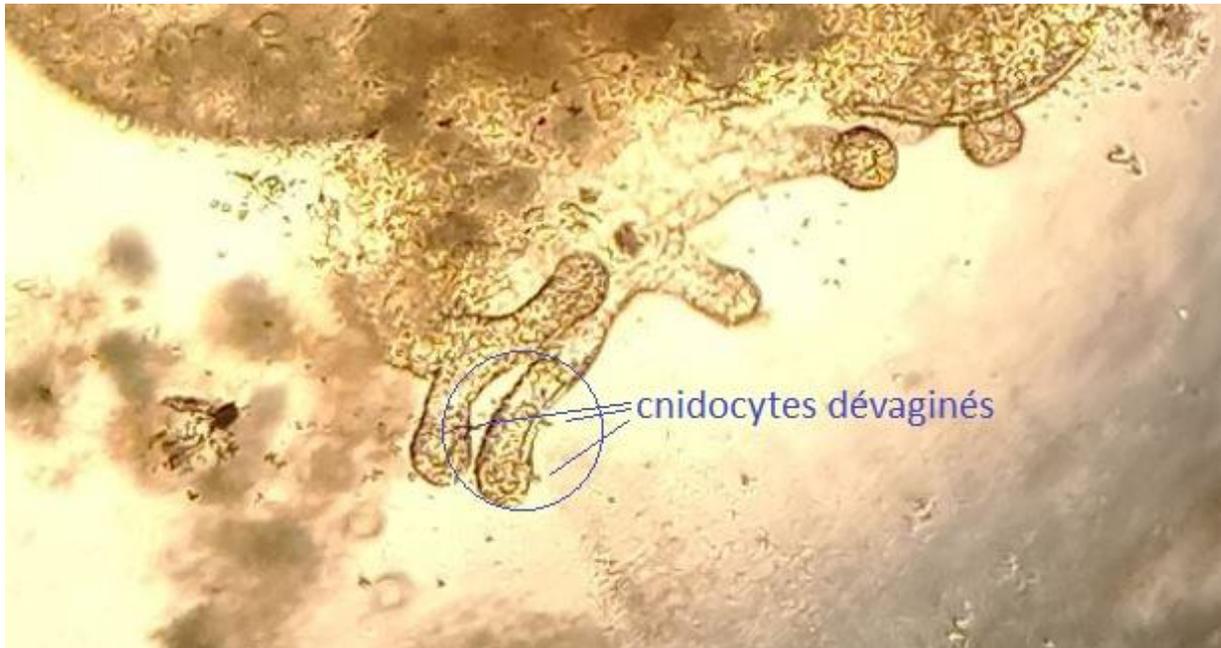


Figure 4 - Photographie sous microscope optique de cnidocytes dévaginés (photographie personnelle, 2017)

L'une des particularités de cette pêche est la perte de la cellule après son utilisation. Elle est remplacée par une nouvelle cellule après dévagination. La méduse sacrifie donc une partie de son être pour se nourrir. De nouveaux cnidocytes sont formés en permanence à la base des tentacules, pôle de différenciation, et migrent à l'endroit d'utilisation.

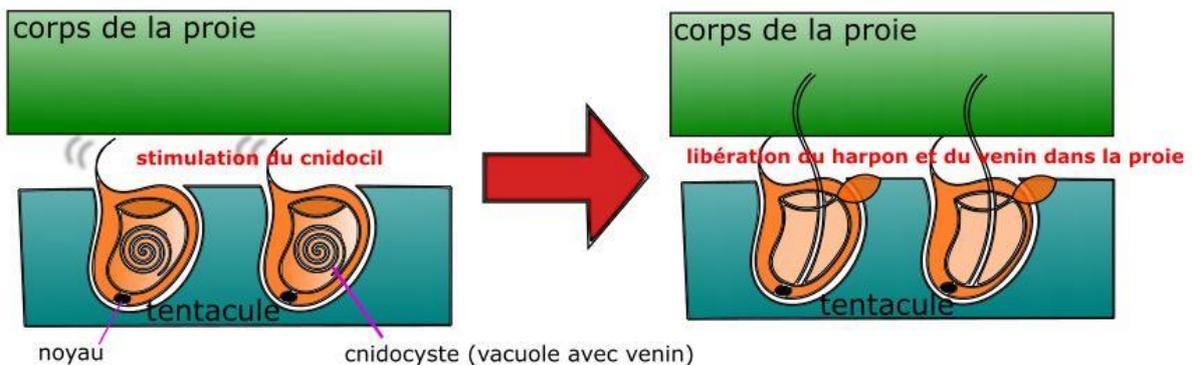


Figure 5 - modèle schématique d'un cnidocyte (d'après un schéma de J. Goy, 2014)

Après la pique et la capture de la proie, le tentacule se rétracte. La proie est amenée au niveau de la bouche de la méduse où elle est ingérée. Après digestion, les produits sont libérés dans les canaux radiaires et distribués à l'ensemble de l'organisme (Haddock, 2007).

Le venin est composé d'un mélange de protéines, chacune ayant un pouvoir toxique bien défini.(Cyl et al., 2015). On peut résumer les différents symptômes induits comme suit. La liste n'est pas exhaustive :

- Une paralysie musculaire instantanée (induite par une tétramine)
- Une brûlure
- Une hémolyse
- Un œdème
- Une nécrose dermique
- Une sensibilisation à la douleur, avec un syndrome congestif et une réaction d'allergie et d'anaphylaxie. La cause serait une sérotonine.(Kang et al., 2009) (Kawakami and Taga, 2018)

Bien qu'il faille plus de 5 millions de cnidocytes pour fournir 1 mm³ de toxine, celle-ci est active à très faible dose.

d) Méduse et mucus

Mais comment la méduse fait-elle pour ne pas se piquer ? Elle produit un mucus particulier qui va inhiber le déclenchement des cnidocytes. Ce mucus est aussi utilisé par certains poissons comme les morues lors de leur migration au large. Les jeunes morues vont utiliser ce mucus et s'en couvrir afin de pouvoir suivre une méduse de grande taille, véritable cuirassé des mers leur permettant d'atteindre le large sans danger. Un phénomène similaire est observé chez les poissons clown avec les anémones de mer. Lors d'un contact avec une proie, les cnidocytes vont être excités. Cela va alors déclencher un mécanisme dans le cnidocyte permettant la libération du harpon, et la diffusion du venin (Gemmell et al., 2016).

e) Méduse et reproduction

Deux types de reproduction existent chez les Médusoaires. La multiplication asexuée et la reproduction sexuée. Une myriade de mécanismes différents existe selon le groupe et l'espèce de la méduse étudiée.

La multiplication asexuée s'effectue par une division du polype, ou par bourgeonnement, dans ce cas, une formation de colonie se réalise. C'est le cas des colonies d'hydres et de siphonophores. Le gonozoïde, polype spécial, en bourgeonnant va donner par multiplication asexuée des hydroméduses. Ces dernières sont lâchées dans l'environnement, vont grandir se développer et s'équiper de gonades. Les colonies sont de sexes différents.

La reproduction sexuée fait intervenir des cellules reproductrices inhérentes à de nombreuses espèces : spermatozoïdes et ovules, qui lors de leur rencontre vont former un œuf donnant par la suite une larve ciliée, la *planula*. Cette rencontre peut avoir lieu en pleine mer, mais aussi à l'intérieur de la femelle chez certaines espèces comme *Pelagia noctiluca*.

Les cellules sexuelles sont formées dans les gonades, dont la localisation dépend de la méduse. Ainsi chez les Anthomédules elles vont se situer autour du *manubrium*, le long des canaux radiaires pour les Leptomédules ou Trachyméduses, ou dans des poches génitales reliées à l'estomac pour les Scyphomédules.

Dès lors une dichotomie se met en place entre hydroméduses et scyphoméduses.

Chez les hydroméduses, la planula tombe au fond et s'y fixe formant un polype. Ce polype possède un orifice central servant de bouche, ainsi que des tentacules urticants. Il va bourgeonner par multiplication asexuée. Les différents bourgeons sont reliés par un réseau de filament canal ou *stolon*. Les colonies ainsi formées se nomment hydraires. Certains bourgeons se détachent et forment de nouvelles colonies. (Gershwin, 2016) (Figure 6)

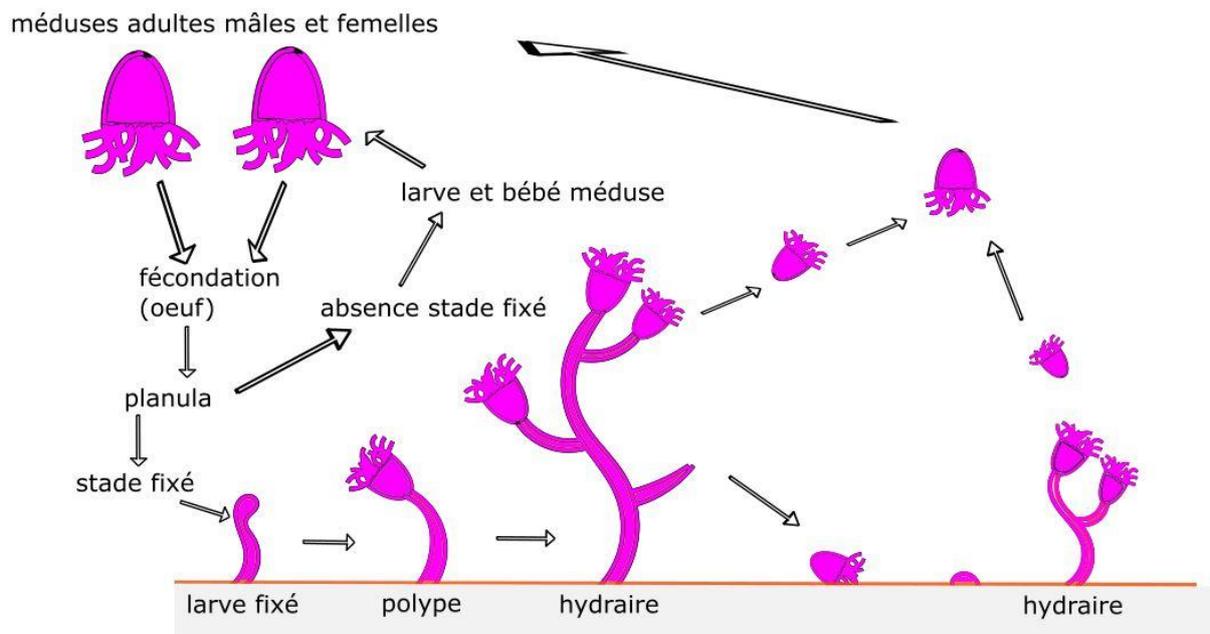


Figure 6 - Cycle de vie des hydroméduses
(d'après Méduses A la conquête des océans 2014 Robert Calcagno, Jacqueline Goy)

Chez les scyphoméduses la *planula* peut tomber au fond et s'y fixer, elle va alors former un polype appelé scyphistome. Ce polype peut, comme pour les hydroméduses, bourgeonner et former des colonies. Mais généralement ils sont solitaires. Le scyphistome va strobuler par segmentation. Il va former des sortes de lamelles. Ces lamelles vont se libérer par des contractions violentes donnant des ephyrules chacune à l'origine d'une méduse adulte. (Figure 7) (Holst et al., 2007)

Aurelia aureti est l'illustration même de ce cycle.

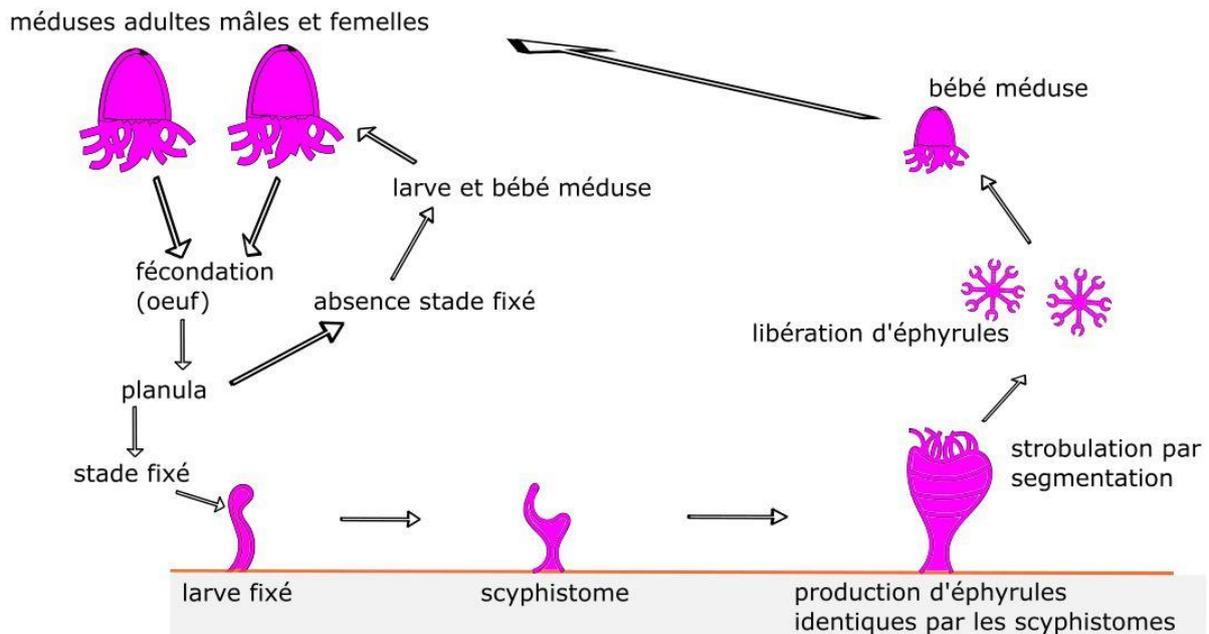


Figure 7 - Cycle de vie des scyphoméduses
 (d'après Méduses A la conquête des océans 2014 Robert Calcagno, Jacqueline Goy)

Dans les deux cas nourriture, température et salinité sont des paramètres influençant le bourgeonnement et le développement des polypes.

Certaines espèces possèdent quelques particularités. Les cuboméduses ont une *planula* qui se transforme en polype. Ce dernier va alors émettre de nombreux bourgeons, devenant eux même des polypes.

Certaines méduses comme *Chrysaora* peuvent être hermaphrodites, une auto fécondation est alors possible. (Goy and Calcagno, 2014)

En aquarium, des phénomènes de choc peuvent être utilisés pour induire la strobulation : modification de la salinité, de l'éclairage, de la température... Ces différentes expériences sont notamment étudiées à l'aquarium de Paris Trocadéro. Nous tenons à remercier l'équipe de l'aquarium de nous avoir fait participer à ces différentes recherches.

L'alternance des stades libres et fixés est fonction des paramètres de température, salinité d'oxygénation... Certains polypes fixés peuvent s'enkyster en formant une couche chitineuse, et attendre de meilleurs paramètres physico-chimiques. Ces polypes assurent la survie d'espèces étant donnée leur longévité (résistante jusqu'à 40 ans pour certains !) (Lucas et al., 2012)

Les méduses sont de grandes voraces, mais peuvent s'adapter en cas de famine. Elles mangent pour assurer leur reproduction. Lorsque les organes de la reproduction apparaissent, on peut observer un arrêt de la croissance. Lors de jeûne prolongé, elles sont capables de digérer leurs gonades pour survivre. Si les conditions s'améliorent, ces derniers vont être recréés.

Bien qu'une grande diversité au sein des cnidaires existe, une fragilité et simplicité semble se dégager pour l'ensemble des espèces. Néanmoins, la méduse se révèle être une redoutable prédatrice adaptée à la vie des océans. Ses différents types de reproduction lui autorisent une présence dans l'ensemble des mers du globe, soit visible, soit en latence. Les différentes espèces peuvent proliférer dans l'ombre pour mieux surgir lorsque les paramètres seront optimums. Cette capacité de survie entraîne un contact potentiel avec ces dernières sur les côtes de tout continent du globe.

Ce contact potentiel crée une probabilité de rencontre sur les littoraux notamment entre méduses et carnivores domestiques qui peuvent être présents sur ces littoraux.

B) Contact entre méduses et carnivores domestiques sur les côtes françaises

Qui n'a jamais vu de méduses échouées sur une plage au cours d'une ballade au bord de mer ou d'une sortie à la plage ? Sorte de masse de gelée abandonnée, flasque et difforme. Même échouée et morte, la méduse reste dangereuse. Les cnidocytes sont toujours actifs.

De là réside un danger pour nos carnivores domestiques. Un chien lâché sur une plage peut entrer très facilement en contact direct avec cette masse gélatineuse et en subir les conséquences. De même un chat d'une maison de bord de mer se promenant sur la plage peut être assez facilement en contact.

Nous avons donc cherché des cas de contact entre ces espèces et les méduses. Nos interlocuteurs privilégiés ont été les centres de toxicologie et d'intoxications vétérinaires.

1) Données du CNITV

a) Présentation de l'association

En 1976 a été fondé à l'école nationale vétérinaire de Lyon (actuellement VetAgro-sup Lyon), le Centre National d'Informations Toxicologiques Vétérinaire, CNITV. Association loi 1901. Il a pour but de répondre 24h/24h aux questions concernant les cas d'intoxication des animaux aussi bien sauvages que domestiques. Le CNITV a gentiment accepté de nous transmettre ses données concernant les cas d'intoxications des carnivores domestiques par des méduses. Ces derniers ont été pour la plupart recueillies par des étudiants au cours d'appel téléphonique. Une liste de symptômes, la durée ainsi que la localisation de chaque cas sont recueillies par le membre du CNITV et compilées dans la base de données. Le suivi du cas est très rarement disponible, le vétérinaire ou le propriétaire appelant pour un avis ponctuel et précis, et une marche à suivre. Nous tenons encore à remercier le CNITV pour l'accès à l'ensemble de ses données sur les cas d'intoxications aux méduses.

b) Données du CNITV

Le CNITV nous a donné accès à 39 cas qui s'étalent de 1993 à 2005. Ces cas ont tous eu lieu en France, pays sur lequel nous allons centrer notre étude pour les cas d'intoxications. Seuls des cas de contact entre méduses et chiens ont été recensés. Aucun cas concernant des chats n'a été renseigné. Les contacts peuvent se diviser en deux catégories : un contact que l'on peut qualifier d'extérieur avec des zones atteintes variées (membres, corps, tête), ou un contact par ingestion.

Les informations disponibles pour chacun des cas sont très diverses. Elles dépendent des questions de l'individu ayant pris l'appel au CNITV, et du demandeur d'informations qui va cibler ses questions et les informations qu'il va donner selon ses attentes.

Quel que soit le cas, des informations sont toujours demandées : la temporalité du contact, les symptômes apparus, l'espèce touchée et la localisation géographique.

Cette dernière peut être sujette à débat. La localisation renseignée peut être celle de l'appelant ou du client touché, ou l'endroit du contact. Dès lors l'information semble difficilement traitable par sa variabilité. Néanmoins, la proximité du vétérinaire appelé par rapport au cas pour sa prise en charge semble la plus évidente.

Nous avons donc décidé de centrer notre traitement de données sur la temporalité et les symptômes observés. Le but est de dégager pour les données du CNITV un classement en nombre des différents symptômes, mais aussi une occurrence temporelle mensuelle sur l'année.

c) Analyses données CNITV

Symptômes

Pour chaque cas renseigné, les symptômes sont compilés. La liste va être opérateur dépendant. En effet l'appelant et le receveur vont, à travers leur conversation, lister ces derniers. La liste peut être complète, mais on ne peut être certain que tous les symptômes présents sur l'animal soient énoncés et remarqués par l'appelant. Seuls sont notifiés les signes observés lors de l'appel. Peu de cas faisant l'objet d'un suivi, l'intégralité du tableau clinique n'est pas observée au moment de l'appel, seul le tableau clinique « initial » l'est réellement.

Nous avons décidé de compiler l'ensemble des symptômes des cas, afin de dégager si certains symptômes sont dominants. Le tableau et graphe suivant présentent cette analyse. (Tableau I et Figure 8). Il s'agit des symptômes qui sont décrits par le propriétaire lors de l'appel.

Tableau I - Nombre de cas par symptômes (CNITV) n=39

Type du symptômes	nombre cas	pourcentage
Vomissements	19	26,4
Prostration	7	9,7
Douleur	7	9,7
Absence symptômes	6	8,3
Hypersalivation	6	8,3
Diarrhée	4	5,6
Ataxie	3	4,2
Anorexie	3	4,2
Œdème cutané	2	2,8
Stomatite	2	2,8
Mydriase	2	2,8
Erythème	2	2,8
prurit	1	1,4
Météorisme	1	1,4
Déshydratation	1	1,4
Ulcère buccaux	1	1,4
Toux	1	1,4
Hypotension	1	1,4
Polydipsie	1	1,4
Anémie	1	1,4
Urémie	1	1,4
total	72	100,0

En rouge les cas représentant plus de 50% des symptômes observés. 72 symptômes ont été observés sur les 39 cas.

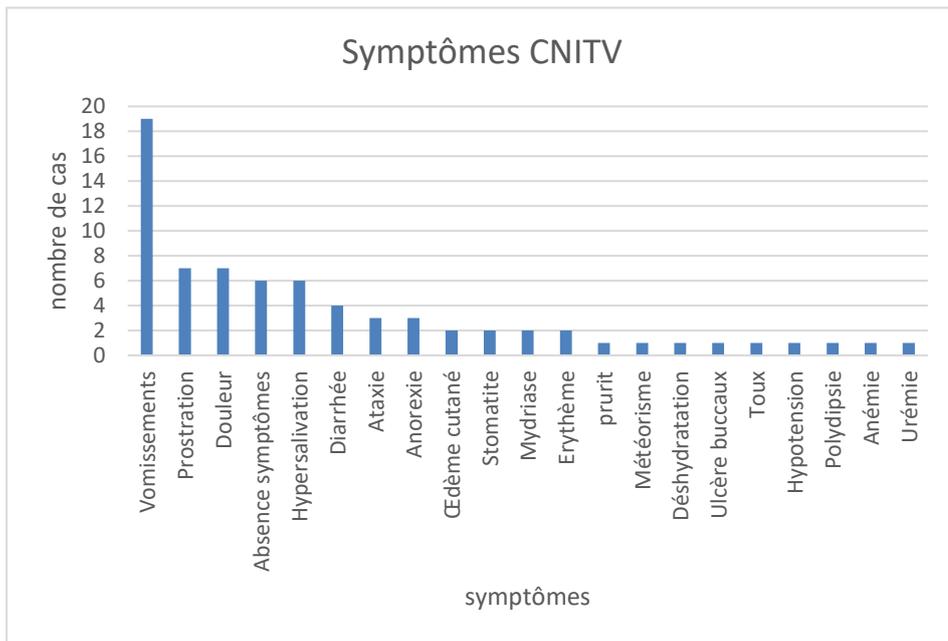


Figure 8 - Graphique du nombre de cas pour chaque symptôme

On remarque dans le cas du CNITV que les quatre premiers symptômes représentent à eux seuls plus de 50% des symptômes observés (Figure 8).

Plus encore, premier symptôme en nombre, le vomissement, représente à lui seul un quart des symptômes observés. On peut supposer que les cas d'ingestion sont assez fréquents entraînant un vomissement de l'animal. Précisons ici que le type de contact n'est pas toujours, voir peu renseigné, le propriétaire n'assistant que peu souvent à la scène (le chien étant libre sur la plage).

Notons également que l'absence de symptômes est assez fréquente, 8.3% des cas (et quatrième par ordre de fréquence). On peut expliquer ce résultat par le contact qui n'a pas toujours lieu, ou qui ne peut qu'être supposé par le propriétaire retrouvant le chien près d'une méduse. La prise en charge rapide du cas peut également expliquer l'absence de symptômes au moment de l'appel, ces derniers n'ayant pas eu le temps de se déclarer.

Temporalité

Pour étudier la temporalité nous avons décidé de ne pas nous concentrer sur l'étude par année du fait de l'échantillon réduit par ce fait (un cas par année voire absence), mais de cumuler les cas par mois et ce pour toutes les années présentes dans l'échantillon de départ.

Le graphique suivant présente le nombre de cas par mois pour l'ensemble des contacts recensés par le CNITV (Figure 9).

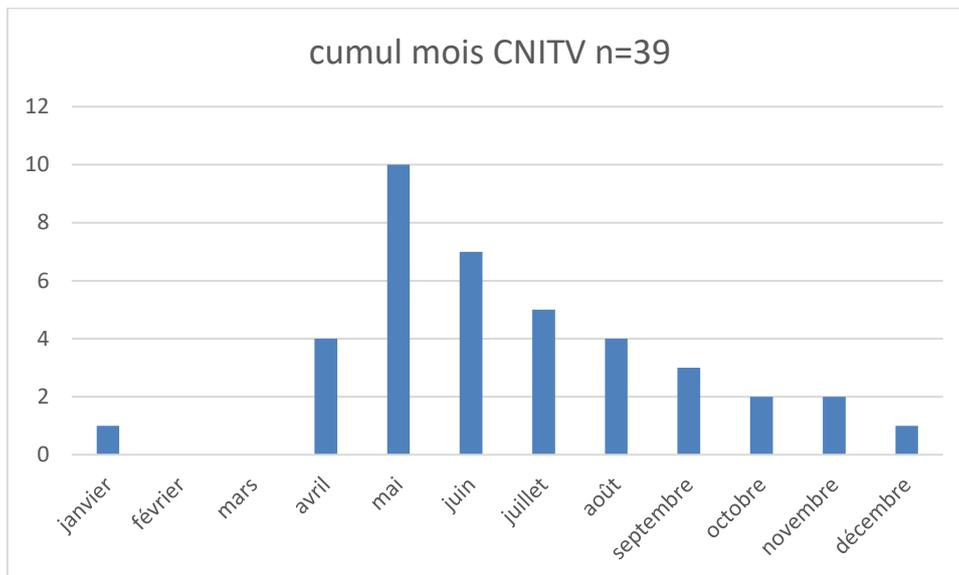


Figure 9 - Nombre de cas du CNITV selon les mois de l'année

Une tendance assez nette semble émerger. Un pic sur les mois de mai et de juin se dégage, suivi d'une diminution progressive jusqu'en décembre et janvier. Les mois les plus chauds dans l'hémisphère Nord s'étirent de mai à août en moyenne. On peut donc émettre l'hypothèse d'une pullulation plus importante durant les mois du début de l'été, et bien moindre sur les saisons d'automne et d'hiver plus froide. Dès lors un lien entre cette pullulation et les conditions environnementales comme la température de l'eau semble se dégager. Nous reviendrons sur cette répartition en deuxième partie, mais cette fois-ci en élargissant l'échelle à l'intégralité du globe dans le but de voir l'évolution de cette tendance à une toute autre échelle.

Précisons ici qu'une explication à cette répartition peut également se trouver dans la probabilité de rencontre. Les mois d'été sont les mois de vacances pour de nombreuses personnes. La probabilité d'une rencontre peut donc augmenter par l'augmentation du nombre de personnes sur les côtes. Un biais d'observation et de contact existe.

2) Données CAPAE OUEST

a) Présentation du centre

Le CAPAE Ouest ou centre Anti Poison animal et Environnemental de l'Ouest est situé à l'école nationale vétérinaire de Nantes (actuellement Oniris). Il est supervisé par des enseignants chercheurs, vétérinaires et étudiants vétérinaires qui répondent aux différents appels téléphoniques 24h sur 24, 7 jours sur 7. Leur rôle est la fois d'apporter une aide sur des cas d'intoxication possibles, mais aussi d'éclairer sur un aspect sanitaire et économique. De plus, le CAPAE OUEST assure la formation des étudiants vétérinaires d'Oniris.

Lors d'un appel, les intervenants du CAPA OUEST notent toutes les informations relatives au cas, et rédigent une fiche détaillée pour chaque appel. Cela permet la création d'une base de données de cas de toxicologie, que le CAPA OUEST rend accessible à tous ceux en ayant besoin. Nous tenons à les remercier encore une fois pour leur aide et leurs données.

b) Données du CAPAE OUEST

Le CAPAE Ouest nous a donné accès à 37 cas qui s'étalent de 2003 à 2016. Ces cas à l'instar de ceux du CNITV, ont tous eu lieu en France, pays sur lequel nous allons centrer notre étude pour les cas d'intoxications. Seul des cas de contact entre méduses et chiens ont été recensés. La encore les deux types de contacts peuvent être présents, et les renseignements ne sont pas suffisant pour effectuer une dichotomie franche.

La variable des informations reçues est également présente ici. Elle va être opérateur dépendant.

Des informations sont toujours demandées : la temporalité du contact, les symptômes apparus, l'espèce touchée et la localisation géographique.

Cette dernière peut être sujette à débat. La localisation renseignée peut être celle de l'appelant ou du client touché, ou l'endroit du contact. Dès lors l'information semble difficilement traitable par sa variabilité qui n'est pas renseignée dans les données.

Nous avons donc décidé de centrer ici aussi notre traitement de données sur la temporalité et les symptômes observés. Le but est de dégager pour les données du CAPAE Ouest un classement en nombre des différents symptômes, mais aussi une occurrence temporelle par mois sur l'année.

c) Analyse CAPA OUEST

Symptômes

le CAPAE a reçu 37 appels concernant les méduses depuis 2003. Tous concernaient le chien, aucun le chat. 19 ont été classés intoxications probables au vu de l'anamnèse et de la description effectuée au cours de l'appel.

Les différents symptômes et leurs nombres sont récapitulés dans le tableau suivant (Tableau II).

Tableau II - Nombre de cas par symptômes (CAPAE Ouest) n=37

Vomissements	9 47.4 %
Hypersalivation	6 31.6 %
Abattement	4 21.1 %
Gêne buccale	3 15.8 %
Polydipsie	2 10.5 %
Rétablissement	2 10.5 %
Agitation	1 5.3 %
Anorexie	1 5.3 %
Apathie	1 5.3 %
Boiterie	1 5.3 %
<i>cherche à manger de l'herbe</i>	1 5.3 %
Difficulté à déglutir	1 5.3 %
Douleur	1 5.3 %
Erythème cutané	1 5.3 %
Erythème interdigité	1 5.3 %
Léchage	1 5.3 %
Modification du comportement	1 5.3 %
plaintes	1 5.3 %
Spasmes digestifs	1 5.3 %
Troubles de la démarche	1 5.3 %
Vomissements hémorragiques	1 5.3 %

Encore une fois le vomissement est le symptôme en tête. Il représente à lui seul presque 50% des symptômes observés sur l'ensemble des cas.

Notons ici, à la différence du CNITV, la présence d'un nouveau symptôme dans le trio de tête, l'hypersalivation. Cette information semble aller dans le sens de notre hypothèse plaçant l'ingestion comme contact le plus probable au vu des symptômes majoritairement observés. L'abattement se situe en troisième position, ce qui va dans le sens des données du CNITV. Le trio de tête représente presque 90% de l'ensemble des symptômes observés. Ainsi une tendance majoritaire semble se dégager.

Temporalité

En plus des symptômes observés, une répartition par mois des cas depuis 2005 a été effectuée, équivalente à celle des données du CNITV. 33 cas ont pu être datés. Les résultats sont présentés dans le graphique suivant (Figure 10).

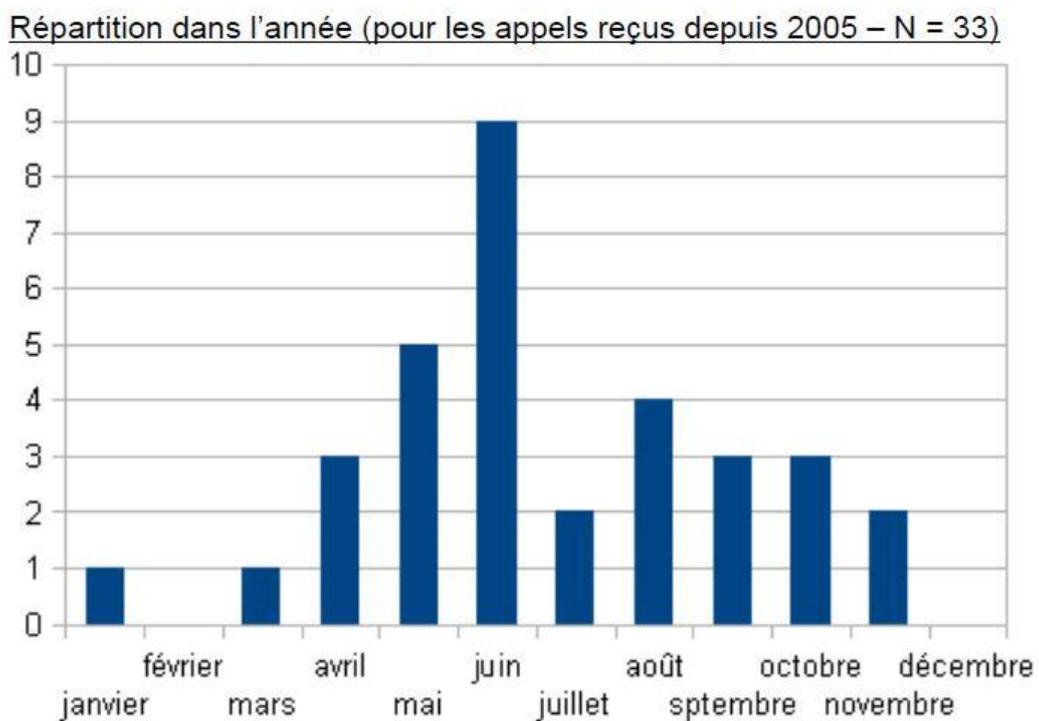


Figure 10 - Nombre de cas du CAPAE Ouest selon les mois de l'année

Une fois encore une tendance se dessine, centrée sur les mois de mai, juin, juillet, des mois chauds dans l'hémisphère Nord. Ces résultats sont compatibles et similaires à ceux du CNITV. Une baisse est cependant notable en juillet, et ne semble pas en adéquation avec l'évolution globale sur l'ensemble des mois d'une année.

Nous avons donc décidé de compiler les deux bases de données, afin d'obtenir une tendance globale pour la France des symptômes et de la temporalité observée.

3) Cumul CAPA OUEST et CNITV

Afin d'obtenir un échantillon plus large et de pouvoir déceler une tendance générale nous avons décidé de cumuler les différentes données du CNITV et du CAPAE Ouest.

Le but est de vérifier les grandes tendances dégagées dans les deux études précédentes. Nous avons de nouveau ciblé l'analyse sur la temporalité des contacts, et les symptômes observés.

a) Symptômes majoritaires

Nous avons mis en évidence la présence récurrente et forte de certains symptômes par l'analyse des deux sources de données. Certains symptômes dominant : vomissement et abattement.

Mais qu'en est-il lorsque l'on cumule l'ensemble des données ? Certains symptômes, mineurs par leur nombre lors de l'analyse des deux sources de données prises séparément, pourraient se retrouver en position plus forte.

Le tableau suivant cumule l'ensemble des symptômes observés pour les cas des deux études réunies (Tableau III).

Tableau III - Cumul symptômes CNITV CAPAE Ouest

Type du symptôme	nombre cas	pourcentage
Vomissements	29	26,1
changement de comportement (prostration, agitation, apathie...)	13	11,7
Hypersalivation	12	10,8
Douleur	9	8,1
Absence symptômes	8	7,2
Stomatite	5	4,5
Diarrhée	4	3,6
Ataxie	4	3,6
Anorexie	4	3,6
Erythème	4	3,6
Polydipsie	3	2,7
Œdème cutané	2	1,8
Mydriase	2	1,8
Météorisme	2	1,8
Ulcère buccaux	2	1,8
prurit	1	0,9
Déshydratation	1	0,9
Toux	1	0,9
Hypotension	1	0,9
Anémie	1	0,9
Agitation	1	0,9
Boiterie	1	0,9
Urémie	1	0,9
total	111	100,0

Vomissement, changement de comportement, hypersalivation et douleur représentent à eux seuls près de 50% des symptômes observés ; le symptôme vomissement quant à lui, un quart des symptômes observés.

Notons la montée en puissance en pourcentage de la douleur et du changement de comportement.

b) Répartition temporelle

Nous avons répété ici la même analyse que dans les deux études de données précédentes. Le graphique ci-dessous représente donc le nombre de cas par mois sur une année (Figure 11).

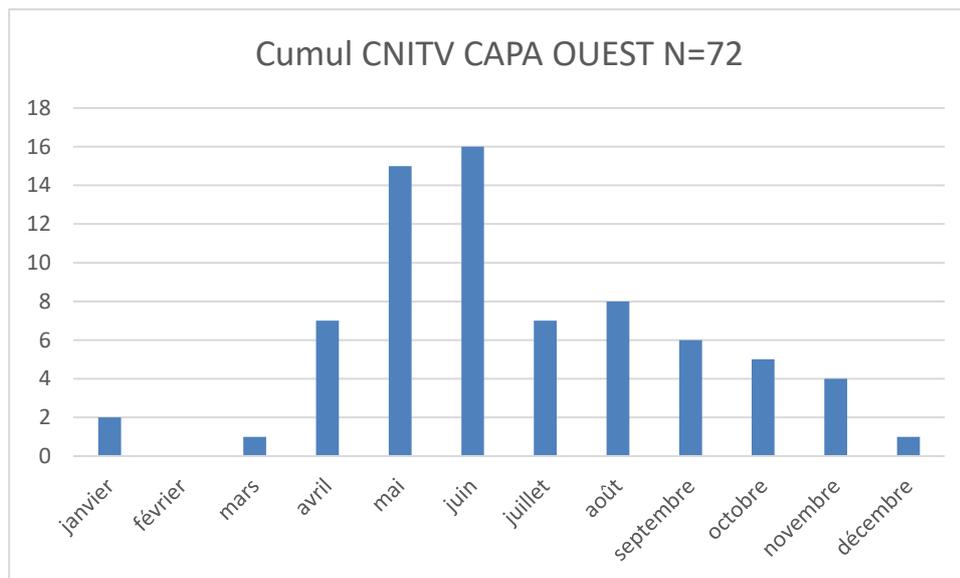


Figure 11 - Cumul CNITV CAPAE Ouest nombre cas par mois

La même tendance apparaît, centrée sur mai et juin. Notons qu'elle se dessine de plus en plus sur les saisons d'automne et d'hiver, avec une diminution progressive.

4) Bilan contact méduses carnivores domestiques

A partir du recueil des cas de deux grands centres de toxicologie animale français, nous avons essayé de dégager des symptômes majoritaires en cas de contact entre carnivores domestiques et méduses, et de placer dans le temps ces contacts. L'analyse des deux sources de données séparées nous a montré une certaine tendance, qui s'est confirmée par l'analyse des données regroupées.

a) Symptômes majoritaires

Quelle que soit la source de données, deux symptômes dominent : vomissement et changement de comportement (dominé par l'abattement). Cette prépondérance nous permet de suspecter le cas le plus probable de rencontre entre méduses et carnivores domestiques. On peut imaginer qu'en cas de rencontre sur une plage le chien va mettre dans sa gueule la méduse voire l'avaler. Ce contact va entraîner des vomissements. La douleur peut, quant à elle, entraîner un changement de comportement de l'animal. La présence en tête du ptialisme renforce cette théorie de contact au niveau de la gueule, corroborée par le faible nombre de cas d'érythèmes ou lésions notés au niveau des membres.

Ainsi lors de la prise en charge d'un chien suite à un contact avec une méduse, une gestion symptomatique semble la plus adaptée. Notons cependant que des chocs sont possibles, notamment de type anaphylactique. Tout va dépendre de l'espèce de méduse rencontrée et de la sensibilité du chien à son venin. Dès lors, la prise en charge peut devenir plus urgente et plus délicate à mettre en place.

La gestion d'un cas d'intoxication aux méduses semble donc pouvoir être prise en charge aisément dans de très nombreuses structures vétérinaires. Plus la prise en charge va être précoce, moins les symptômes auront le temps de s'exprimer, ils seront moins intenses, voire inexistant.

b) Temporalité

Dans les deux études une même répartition se dessine. De ce fait, le cumul des données de deux centres anti poison a montré la même tendance. Plusieurs hypothèses sont envisageables à cette répartition en pic sur les mois d'été d'hémisphère Nord.

Elle pourrait s'expliquer par les facteurs environnementaux. La température de l'eau, la salinité, le pH de l'eau vont influencer grandement sur le cycle de vie et de reproduction des méduses et leur pullulation. Plus cette dernière va être importante, plus la probabilité de rencontre va être grande.

Un deuxième facteur peut expliquer la recrudescence des cas sur cette période. L'échouage des méduses sur les plages, ou leur présence le long des côtes va être lié à des facteurs physiques comme les courants marins, et les vents, qui vont les entraîner sur les zones côtières. A certaines périodes de l'année tous les paramètres sont réunis pour pousser les méduses vers les côtes, augmentant les risques de contact.

Distinguer les deux phénomènes n'est pas évident, et ces derniers sont de surcroît probablement couplés.

L'explication de cette répartition peut également se trouver dans la probabilité de rencontre. Les mois d'été sont les mois de vacances estivales pour de nombreuses personnes dans l'hémisphère Nord. La probabilité d'une rencontre peut donc augmenter par l'augmentation du nombre de personnes présentes sur les côtes.

Malgré le faible effectif des échantillons de cas d'intoxication aux méduses de carnivores domestiques, nous avons pu déterminer des tendances. Des symptômes majoritaires en cas de contact : vomissement, changement de comportement, nous renseignant un peu plus sur la nature du contact. Une tendance temporelle émerge également. Un pic sur les mois estivaux de l'hémisphère Nord suivi d'une diminution progressive des cas en allant vers les mois d'hiver.

Nous allons essayer de dégager les grandes tendances d'apparition des méduses à l'échelle du globe, afin de voir si celle observée en France se vérifie à plus grande échelle. Cette nouvelle analyse a également pour but de peser l'impact des observations qui pourraient être rapportées à une forte présence d'individu au niveau des côtes en période estivale.

II) CARACTERISATION ET CAUSES PROBABLES DES BLOOMS DE MEDUSES

A) Localisation et saisonnalité d'apparition des méduses

1) Etude spatio-temporelle à l'échelle mondiale

a) Recueil de données

Depuis quelques années de nombreuses bases de données sur les phénomènes marins se sont développées. Elles répertorient les cas d'échouages de mammifères marins, les marées rouges, la présence de blooms de méduses, et pour certaines la simple présence de méduses, et ce dans toutes les eaux du globe. Elles se nourrissent des rapports des scientifiques et des différentes expéditions (type TARA expédition), mais aussi pour certaines sur les observations d'habitants, touristes ou navigateurs. A l'ère d'internet et des réseaux sociaux omniprésents, il est aisé de reporter toute rencontre avec une méduse. Le partage à large échelle, permet l'identification de l'espèce. La localisation se fait lors du dépôt du cas par la personne qui le renseigne. Le plus souvent il s'agit de la latitude et de la longitude, accompagnées d'une photographie de la méduse ou du banc observé, avec une description. Cela va permettre une représentation précise des zones les plus touchées sur un planisphère.

Pour notre étude à plus large échelle, nous avons choisi de travailler avec deux grandes bases de données utilisant chacune des sources distinctes, Jellywatch et JeDI. Les données de Jellywatch s'étalent de 1975 à 2016, celles de JeDI de 1871 à 2011.

b) Présentation des sources

i. Jellywatch

Nous nous sommes intéressés au site et à l'application. Le site regroupe des chercheurs issus d'organismes de recherche (LOV, MIO-Toulon et MIO-Marseille) et de sociétés privées (ACRI-ST). Ce site permet de suivre sur le globe les différentes apparitions de méduses, de les localiser, de les quantifier et de déterminer l'espèce considérée.

Il utilise les données des scientifiques en campagne en mer, mais surtout les données des différents individus sur le globe. Dès que quelqu'un rencontre une méduse, il l'indique sur le site ou l'application permettant un suivi planétaire des phénomènes d'apparition (sous réserve de posséder le moyen de le renseigner : connexion internet, smartphone...). Le plus souvent le site s'accompagne de conseils en cas de piqure de méduse et des fiches explicatives d'espèces (Marshall, 2010).

ii. JeDi

Afin d'augmenter le nombre de cas disponibles par hémisphère, nous avons également porté notre choix sur la base de données baptisée Jellyfish Database Initiative (JeDI).

Cette base de données a été créée en 2014 par une équipe internationale de chercheurs. Elle permet de cartographier les cas d'apparition de méduses, et ce jusqu'à des profondeurs de deux cents mètres. Les cas sont rapportés par les chercheurs de tous les pays, mais aussi les habitants, touristes et navigateurs. Une compilation de nombreuses bases de données a été réalisée par JeDI (Cathy H Lucas et al., 2014).

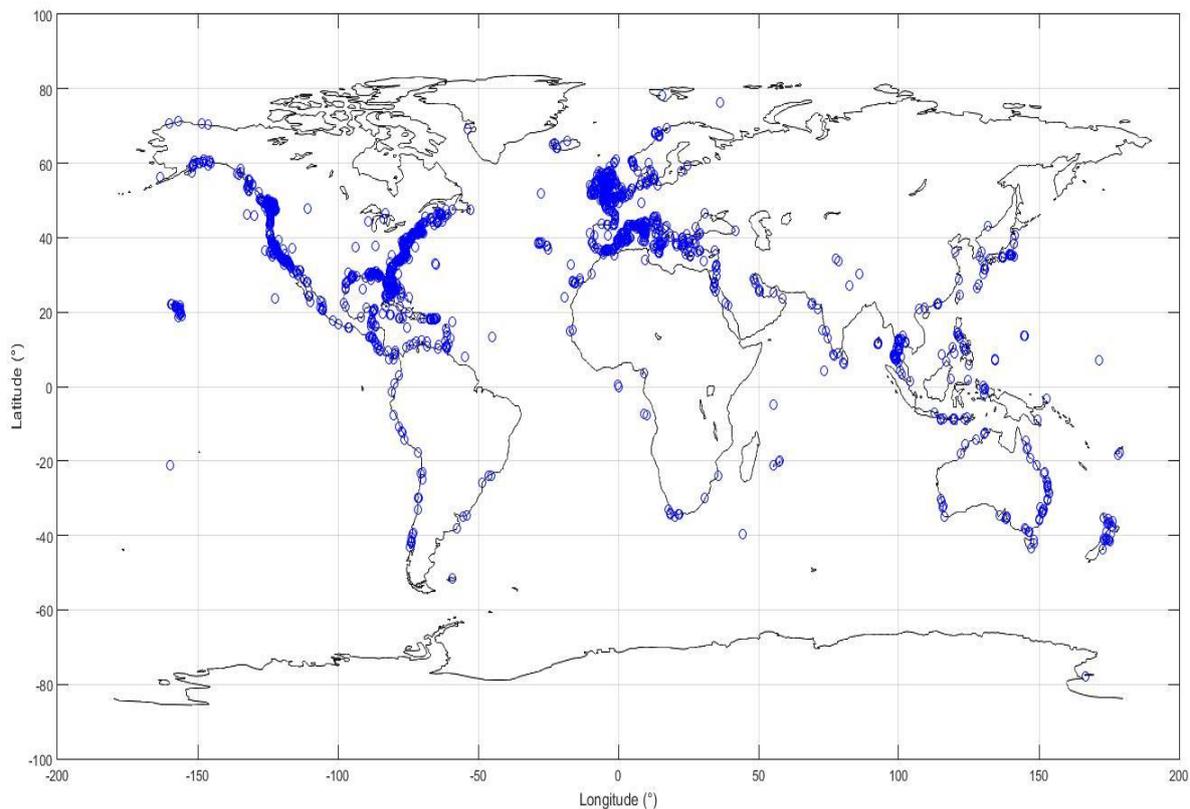
Le nombre de cas disponible est impressionnant : 429462 cas. Chacun d'entre eux est renseigné par la nature de l'observation, sa latitude et longitude, l'espèce observée, la date de la rencontre, un commentaire ...

c) Traitement des données

i. Jellywatch

Nous avons eu accès à la base de données Jellywatch, que nous tenons à remercier. Jellywatch recense les cas d'apparition de méduse, mais aussi de marée rouge, de mammifères échoués etc. Comme nous l'avons vu précédemment, pour chaque cas l'utilisateur renseigne la nature de l'observation, l'espèce si l'identification est possible, la localisation à l'aide de la latitude et la longitude, un commentaire, voir une photo. Nous nous sommes centrés sur les cas des méduses. Après un premier tri sur les données pour n'isoler que ces cas, nous avons traité ces données grâce au logiciel Matlab®.

Le premier objectif était d'avoir une répartition géographique des cas de rencontre. Pour chaque cas la latitude et la longitude sont renseignées sur l'application et le site, il est donc facile de localiser sur le globe. Nous avons représenté sur un planisphère les cas d'apparition de méduses (Figure 12).



**Figure 12 - Répartition mondiale des cas d'observation de méduse
(données Jellywatch, n=5177, 1975-2016)**

La répartition apparaît mondiale. Une plus forte proportion de cas est visible en Europe et aux Etats Unis. Notons la présence de cas en Arctique et en Antarctique. Des cas sont également présents à l'intérieur des terres. Ils témoignent de la présence de méduses dans les lacs, fleuves et rivières. Sur ce planisphère sont représentés 5177 cas de méduses observées, sans tenir compte de l'espèce.

On peut s'interroger sur la validité de répartition d'apparition. En effet de par le fonctionnement même du recensement on imagine assez vite que de nombreux cas ne vont pas pouvoir être enregistrés ; soit se situant dans des zones vide d'observateur, ou n'ayant pas accès à internet ou aux applications téléphoniques. Un biais apparaît. Certaines régions vont présenter une plus forte proportion de cas qui ne va pas être représentative d'un nombre de méduses plus important par rapport au reste du globe, mais d'observateurs plus nombreux et connectés. On peut entrevoir ce biais sur le planisphère par la forte proportion de cas en Europe et Amérique du Nord.

Malgré ces biais, cela va permettre d'avoir une idée générale de répartition, et d'identifier la répartition des méduses comme mondiale.

ii. JeDI

Nous avons décidé de répéter la même analyse que dans les cas précédents sur la répartition annuelle, et la localisation. La base de données JeDI offre un nombre de cas bien plus important.

Le planisphère suivant place chaque cas de rencontre présent dans la base de données JeDI (Figure 13).

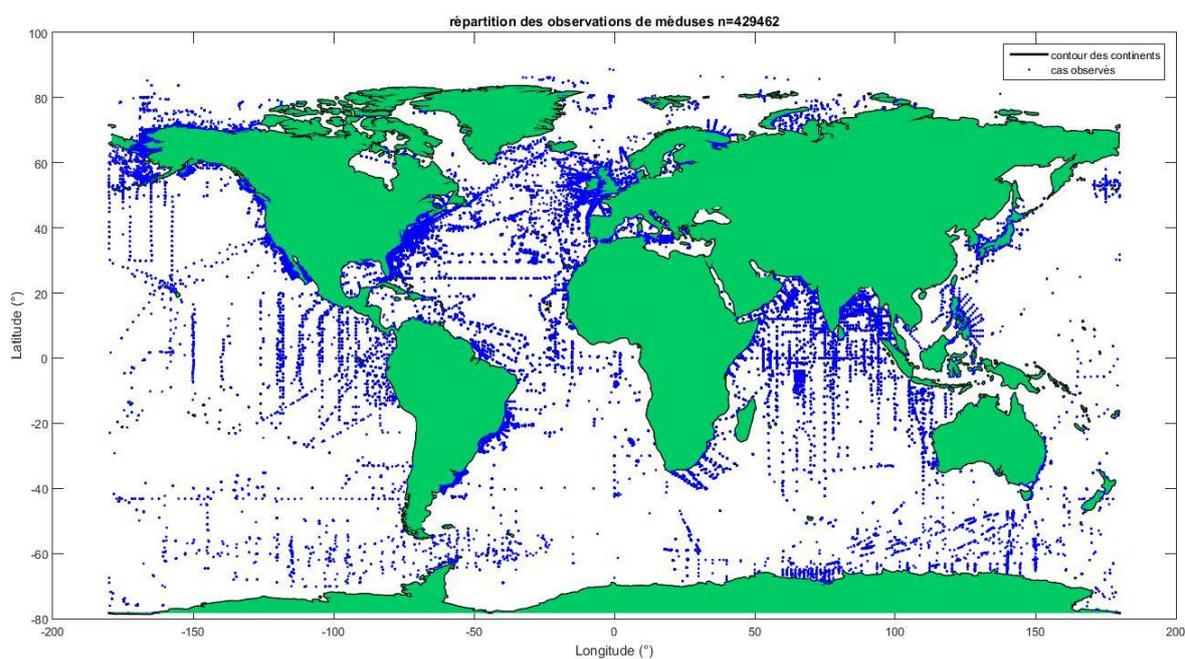


Figure 13 - Répartition des observations de méduses (données JeDI n=429462, 1871-2011)

Visuellement, La proportion de cas en hémisphère Sud a fortement augmenté. L'autre observation marquante sur ce planisphère est la répartition linéaire dans les océans du globe des cas d'observation de méduse. On peut émettre l'hypothèse que cette répartition serait due aux trajets des navires réalisant les observations. Notons la présence de cas en Arctique et Antarctique, témoins de la grande variabilité et capacité d'adaptation des espèces de méduses.

d) répartition temporelle

i. Jellywatch

Nous nous sommes intéressés à la répartition des cas d'apparition des méduses par mois. La date d'apparition est renseignée pour chaque cas. Nous avons traité ces données sur Matlab. L'ensemble des 5177 cas se répartissent comme suit (Figure 14).

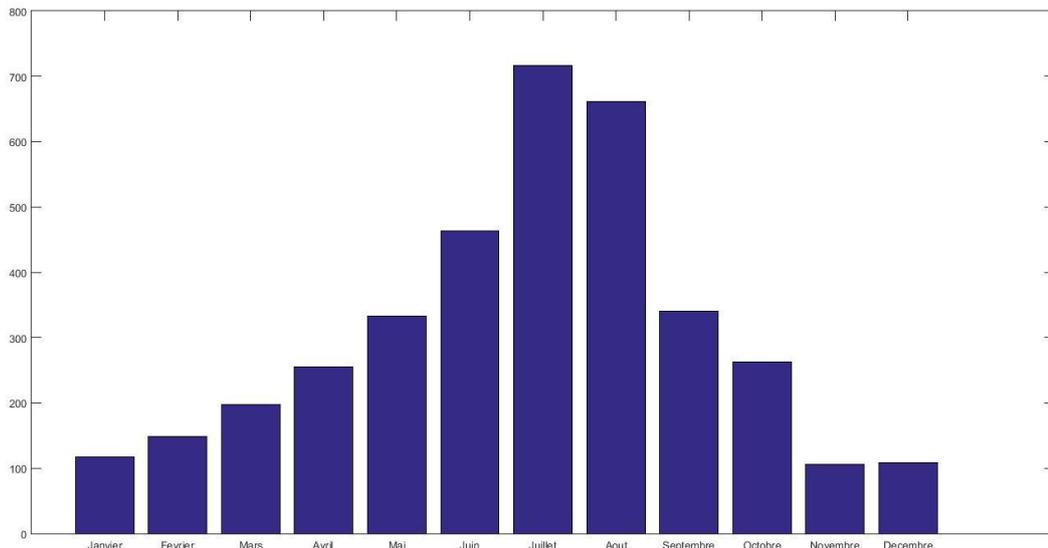


Figure 14 - Répartition par mois des cas d'observation de méduses (données Jellywatch, n=5177, 1975-2016)

La répartition visible sur l'ensemble des cas du globe semble être la même que celle dégagée dans notre première partie : une courbe avec un pic sur les mois d'été d'hémisphère Nord. Ici encore, une diminution progressive est visible post pic estival, ainsi qu'une augmentation progressive des mois d'hiver vers le pic estival.

Lissage moyenne

Afin de pouvoir lisser l'impact de certaines années avec bien plus de cas que d'autres, et d'avoir une tendance plus homogène, nous avons décidé de diviser chaque nombre de cas par année par la somme des cas présents sur ladite année, et de faire ensuite la moyenne du nombre de cas par mois pour toutes les années.

L'histogramme suivant présente ces résultats (Figure 15).

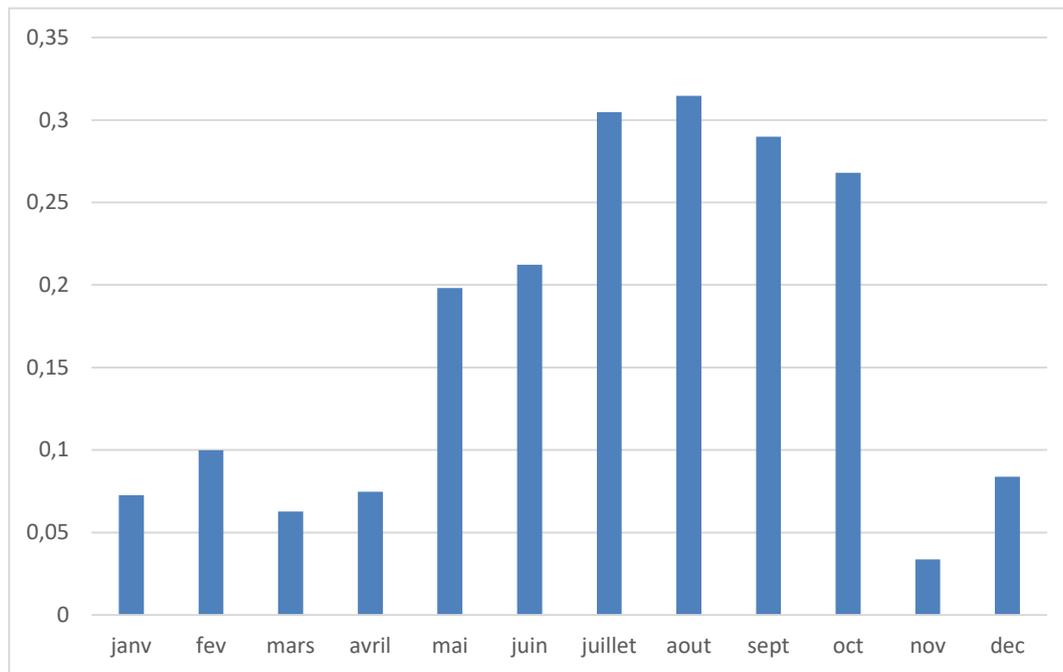


Figure 15 - Nombre de cas par mois pour toutes les années en moyenne (données Jellywatch, n=5177, 1975-2016)

On remarque une distribution très similaire à celle précédemment obtenue sans réalisation de moyenne. Nous avons donc décidé de nous tenir à une représentation du nombre de cas par mois sur toutes les années où des cas sont présents sans réalisation de moyenne.

Du fait des conditions de vie et de développement des méduses, nous avons décidé de découper le globe en trois zones distinctes basées sur les latitudes (tropiques du Cancer et du Capricorne), afin d'affiner l'étude de leur apparition. Le but est de délimiter trois zones distinctes par leurs températures, plus largement leurs conditions environnementales.

Zone 1 : 23.5° à 90° , zone comprenant l'arctique et l'hémisphère Nord (Figure 16)

Zone 2 : -23.5° à 23.5° , zone de l'équateur (Figure 17)

Zone 3 : -90° à -23.5° , zone comprenant l'hémisphère Sud et l'Antarctique (Figure 18)

Le but est de voir si une répartition temporelle différente se dégage par zone, répartition qui pourrait être lissée par la forte proportion de cas en hémisphère Nord comme nous l'a montré la répartition sur le planisphère.

Les résultats sont les suivant :

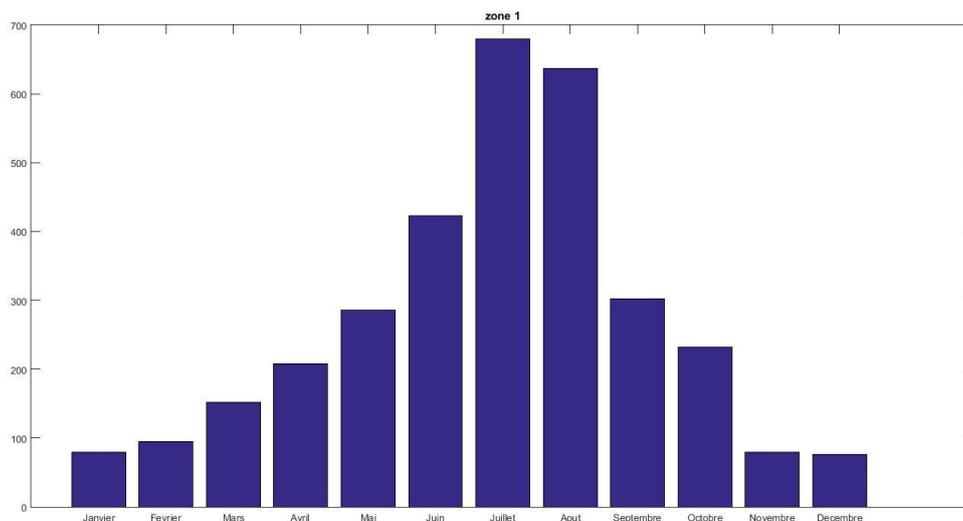


Figure 16 - Répartition par mois des cas d'observation dans l'hémisphère Nord (données Jellywatch, n=3249, 1975-2016)

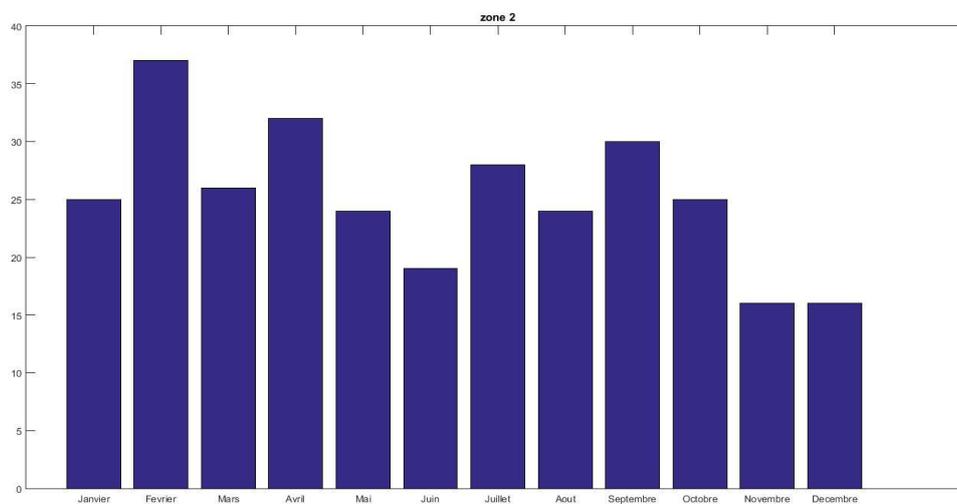


Figure 17 - Répartition par mois des cas d'observation au niveau de l'équateur (données Jellywatch, n=302, 1975-2016)

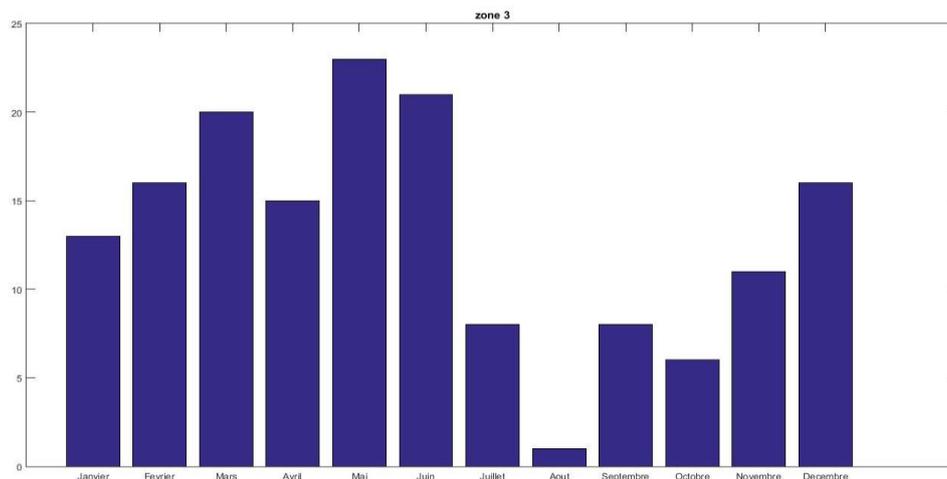


Figure 18 - Répartition par mois des cas d'observation dans l'hémisphère Sud (données Jellywatch, n=158, 1975-2016)

La répartition de la totalité des cas est très proche de celle de la zone 1, avec un pic durant les mois d'été de cette dernière (été boréal). Un pic d'apparition semble exister en été pour l'hémisphère Nord, pic centré sur les mois d'été. On peut s'interroger sur ce phénomène. Encore une fois, une première explication pourrait être un biais d'observation. Les cas en hémisphère Nord sont bien plus nombreux que dans le reste du globe en proportion (cf la répartition des cas Jellywatch sur le planisphère). La répartition et les blooms dans cette zone peut donc s'imposer par rapport au reste des données créant ce pic en été boréal pour la répartition par mois de l'ensemble des 5177 cas. Ce biais d'observation, induit par le fait que cette période correspond à l'été boréal, vacances estivales dans l'hémisphère Nord, entraînant la présence de nombreuses personnes sur les côtes et bords de mer, et donc des rapports des cas, peut être un facteur de cette répartition.

La répartition de la zone 3 semble suivre la même dynamique de pic, mais décalée dans le temps. Elle est centrée sur les mois de mars avril mai. La tendance est difficilement décelable, un nombre de cas plus important en hémisphère sud semble nécessaire pour pouvoir discuter du moment de plus forte apparition dans cet hémisphère de manière claire.

En ce qui concerne l'équateur, la courbe semble plus ou moins lissée, avec de légères variations sans grande amplitude.

L'analyse de ces données nous révèle l'importance du biais de relevé des cas, avec son impact sur la répartition globale, mais aussi d'un lien fort entre apparition accrue de méduses et températures de l'eau. En effet, les saisons sont inversées entre l'hémisphère nord et le sud. Juin juillet août, mois chauds en hémisphère Nord sont froid dans l'hémisphère Sud. La répartition miroir des deux hémisphères pourrait s'expliquer par ce phénomène de température et de saison.

Néanmoins le faible nombre de cas dans l'hémisphère Sud ne nous permet pas de faire une étude fiable d'une répartition saisonnière. Nous avons donc décidé d'utiliser la base de données JeDI pour affiner cette étude.

ii. JeDI

Comme dans les études précédentes, nous nous sommes centrés sur la répartition temporelle des cas d'apparition de méduse. Le nombre de cas plus important, permet une étude plus précise notamment dans l'hémisphère Sud comparativement à la base de données Jellywatch. Nous avons représenté les mêmes 429462 cas en différenciant la couleur selon le mois de la rencontre. Le planisphère suivant en est l'illustration (Figure 19).

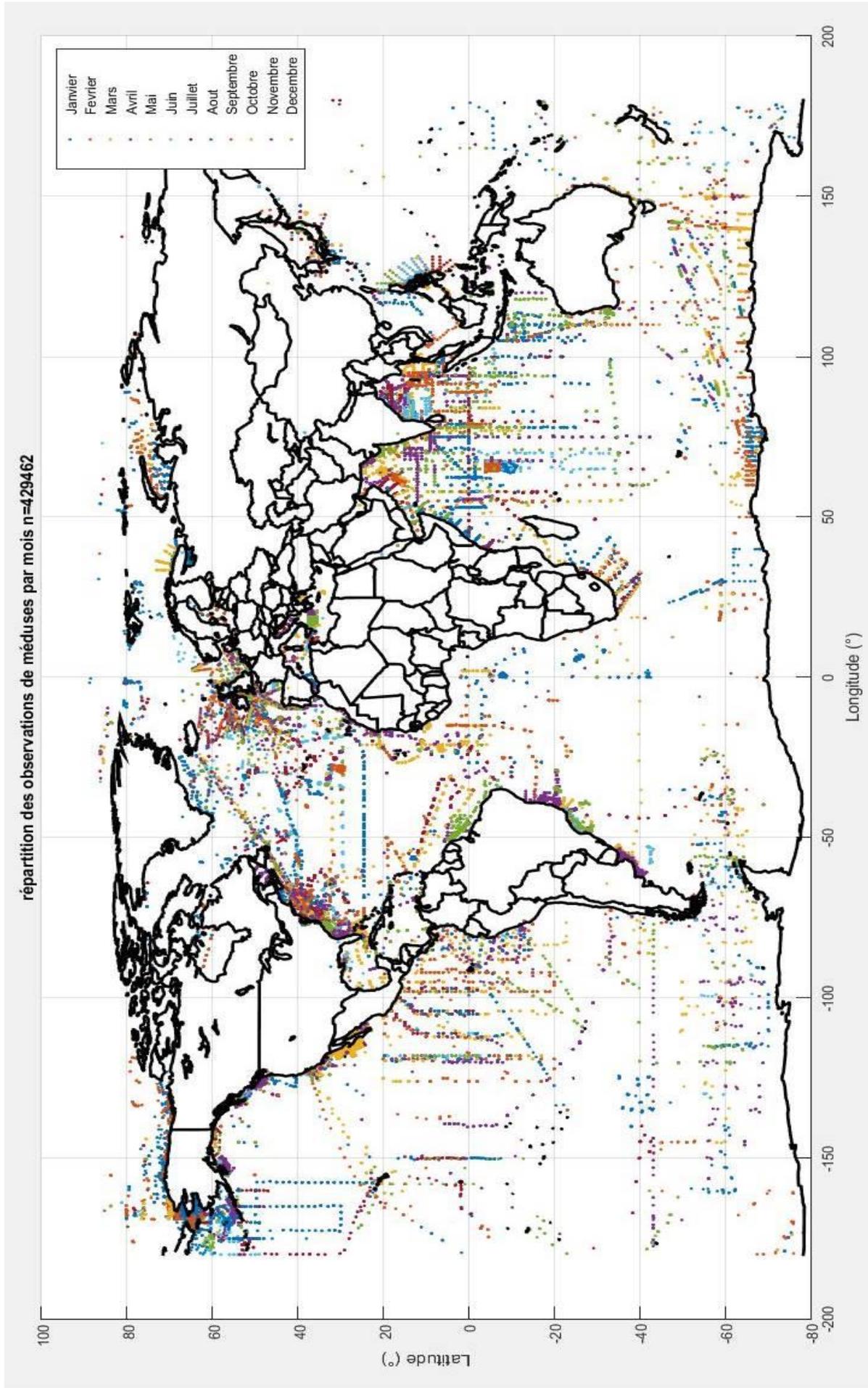


Figure 19 - Répartition des observations de méduses par mois
 (données JeDI n=429462, 1871-2011)

Il est difficile d'avoir une visibilité d'ensemble sur ce planisphère.

Nous avons donc ici aussi réparti les cas par hémisphère selon les 3 zones définies dans le II)A)1)b), puis trié ces cas selon les mois de rencontre. Les résultats sont les suivants (Figure 20, Figure 21, Figure 22).

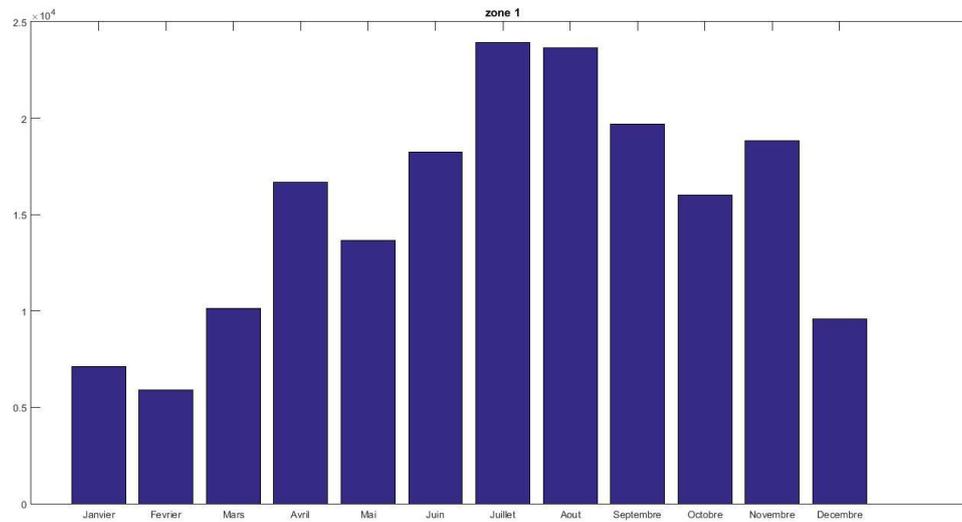


Figure 20 - Répartition cas par mois hémisphère Nord (données JeDI, n=183401, 1871-2011)

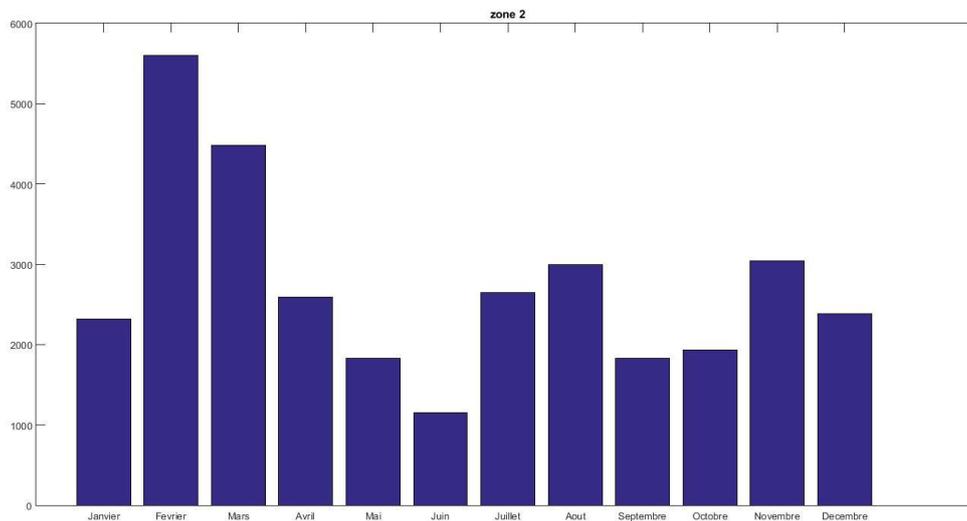


Figure 21 - Répartition cas par mois au niveau de l'équateur (données JeDI, n=32803, 1871-2011)

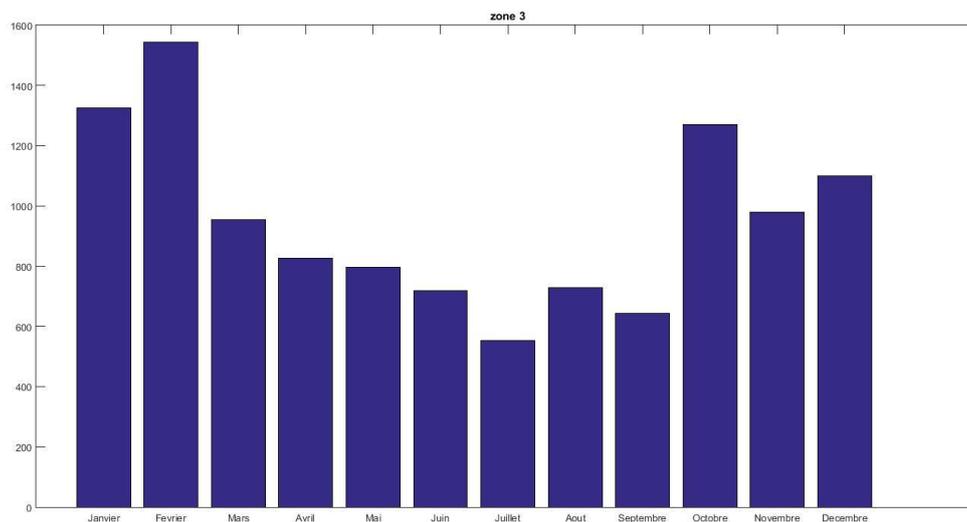


Figure 22 - Répartition cas par mois hémisphère Sud (données JeDI, n =11435, 1871-2011)

Une répartition similaire à celle des données de Jellywatch semble se dégager et être plus marquée. Les mois chauds dans chaque hémisphère sont les mois où les cas recensés sont les nombreux Notons cependant un pic rebond en octobre/novembre présent dans les deux hémisphères.

La distribution dans l'équateur semble plus proche de celle de l'hémisphère Sud dans le cas des données JeDI. Cela tranche avec la distribution plutôt lisse observée pour les données Jellywatch. Un léger pic en juillet août peut laisser supposer que cette distribution correspondrait à une sorte de moyenne des distributions des deux hémisphères, en cas d'égalité du nombre de cas une distribution lisse apparaît ; si l'une domine la distribution équatoriale sera plus proche de l'hémisphère dominante.

Cette observation nous a poussé à couper le globe non plus en 3 mais en 6 zones distinctes :

Zone 1 : Arctique de 66.5° à 90° (Figure 23)

Zone 2 : Hémisphère Nord 23.5° à 66.5°(Figure 24)

Zone 3 : équateur dans l'hémisphère Nord 0° à 23.5° (Figure 25)

Zone 4 : équateur dans l'hémisphère Sud -23.5° à 0° (Figure 26)

Zone 5 : hémisphère Sud -66.5° à -23.5°(Figure 27)

Zone 6 : Antarctique -90° à -66.5° (Figure 28)

La répartition des cas est la suivante par mois selon la zone considérée :

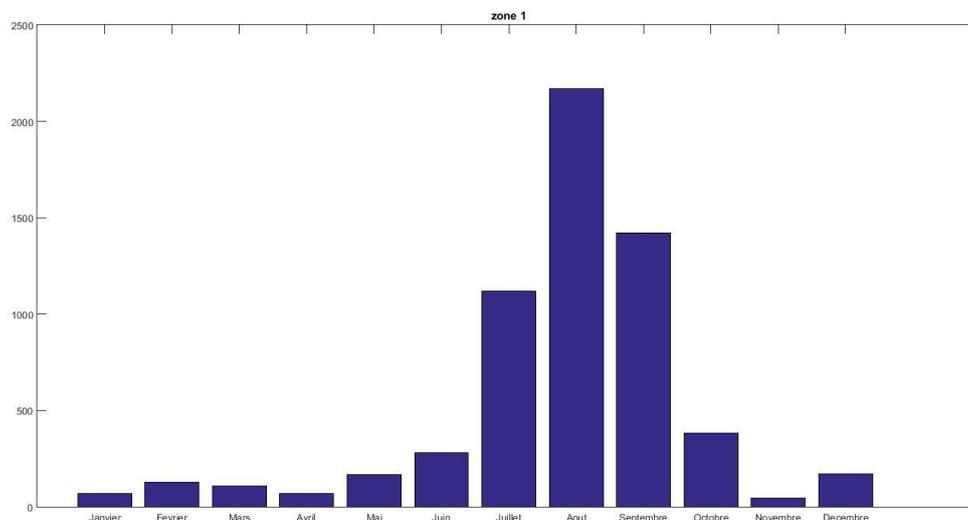


Figure 23 - Répartition cas par mois zone 1 (données JeDI, n=6127, 1871-2011)

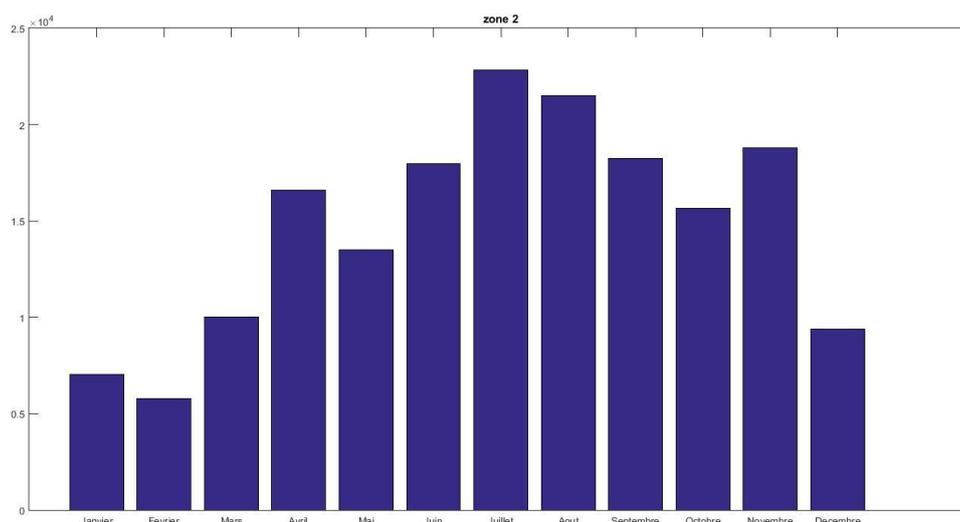


Figure 24 - Répartition cas par mois zone 2 (données JeDI, n=177274, 1871-2011)

La répartition pour l'hémisphère Nord est semblable à celle observée jusque-là. Notons toujours la présence d'un pic d'apparition en novembre.

La répartition en arctique semble être celle de l'hémisphère Nord exacerbée.

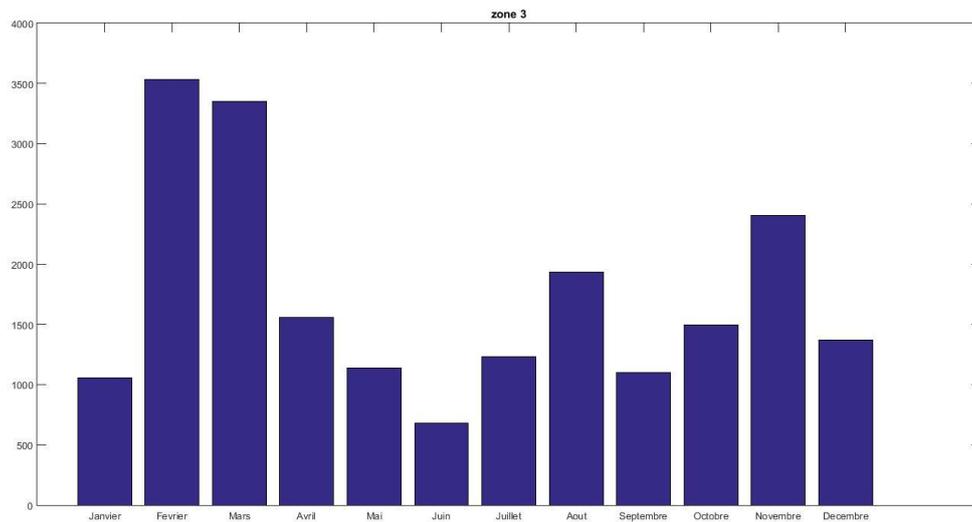


Figure 25 - Répartition cas par mois zone 3 (données JeDI, n=20850, 1871-2011)

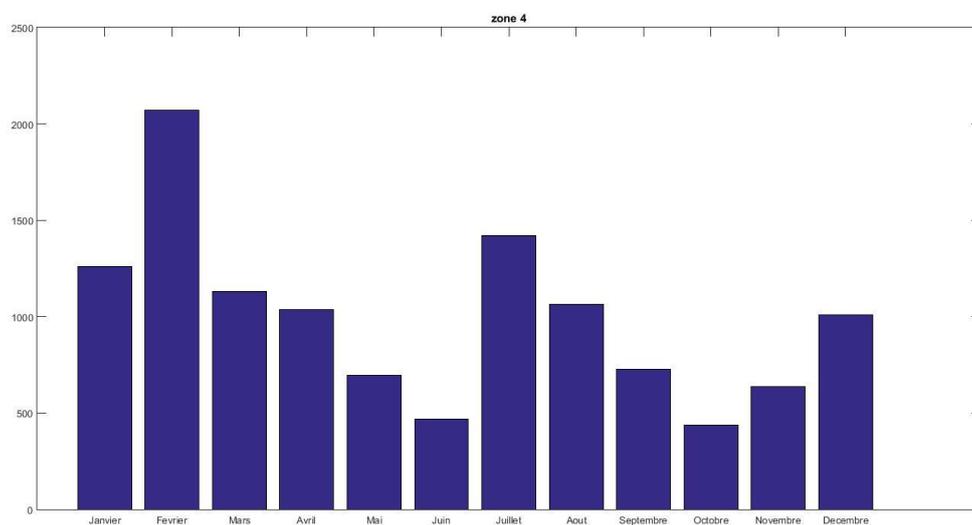


Figure 26 - Répartition cas par mois zone 4 (données JeDI, n=11953, 1871-2011)

Pour la zone 4 correspondant à l'équateur Nord, on observe une répartition similaire à celle de l'équateur lors de la séparation en trois zones.

La zone 3 semble montrer une répartition plus hétérogène. On observe plusieurs pics repartis sur l'année. Les deux majoritaires semblent se dégager sur les mois d'été boréal et austral, renforçant l'hypothèse que les pics au niveau de l'équateur seraient une sorte de moyenne des pics des deux hémisphères.

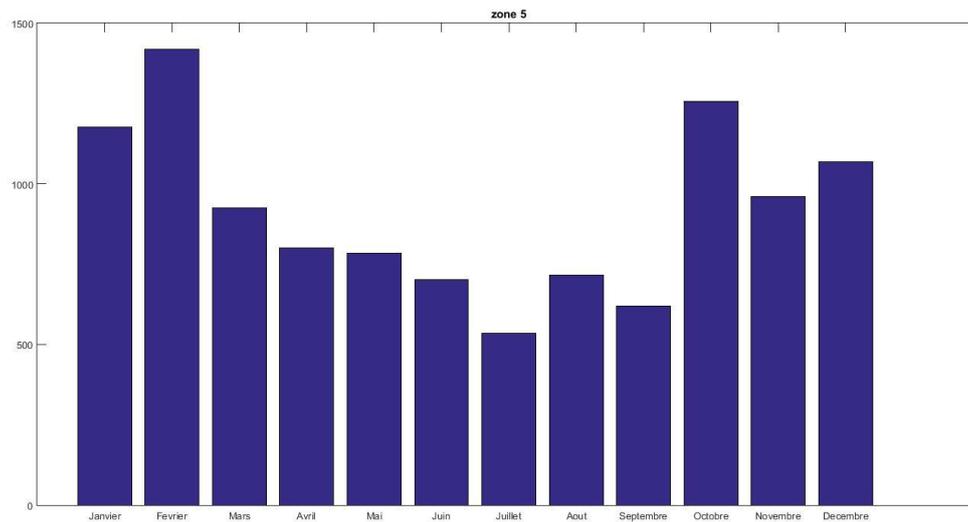


Figure 27 - Répartition cas par mois zone 5 (données JeDI, n=10959, 1871-2011)

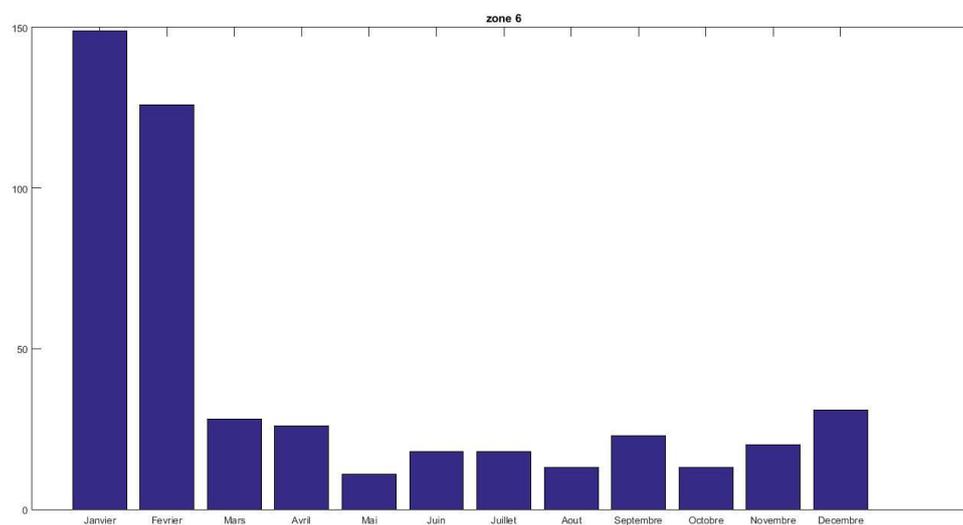


Figure 28 - Répartition cas par mois zone 6 (données JeDI, n=476, 1871-2011)

L'hémisphère sud présente une répartition des cas miroir de l'hémisphère nord, avec un pic en janvier février mois chaud dans cette région du globe, correspondant à l'été austral. Notons cette fois la présence d'un pic en octobre.

Une fois encore le pôle présente une configuration exacerbée de l'hémisphère considérée.

e) Répartition saisonnière

Du fait du grand nombre de cas dans les deux hémisphères grâce à la base de données JeDI, et des résultats jusque-là obtenus, nous avons décidé de comparer une répartition saisonnière des cas. Nous nous sommes basés sur une division climatique (température, hygrométrie...) des saisons. Le tableau suivant compile les dates retenues (Tableau IV).

Tableau IV - Dates des saisons par hémisphère

printemps boréal	1er mars au 31 mai
été boréal	1er juin au 31 août
automne boréal	1er septembre au 30 novembre
hiver boréal	1er décembre au 28 février
printemps austral	1er septembre au 30 novembre
été austral	1er décembre au 28 février
automne austral	1er mars au 31 mai
hiver austral	1er juin au 31 août

Les deux histogrammes suivants montrent la répartition des cas des deux hémisphères (zone 2 et 5 précédemment définies) par saison (Figure 29 et Figure 30).

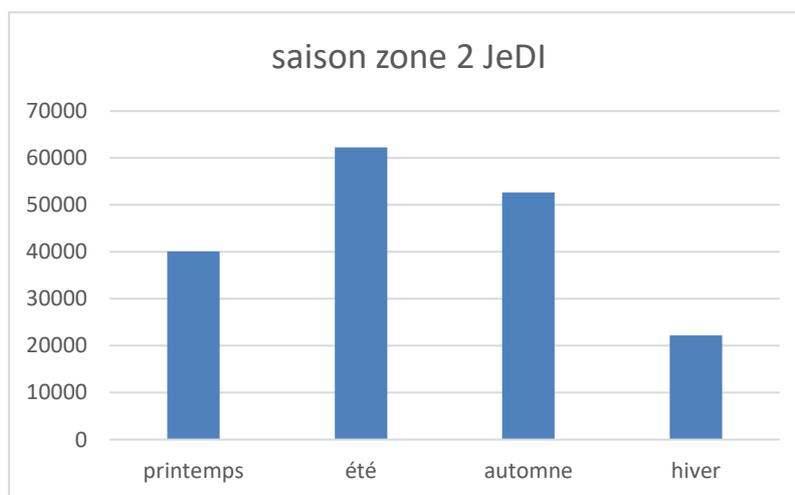


Figure 29 - Répartition des cas par saison dans l'hémisphère Nord (données JeDI, n=177274, 1871-2011)

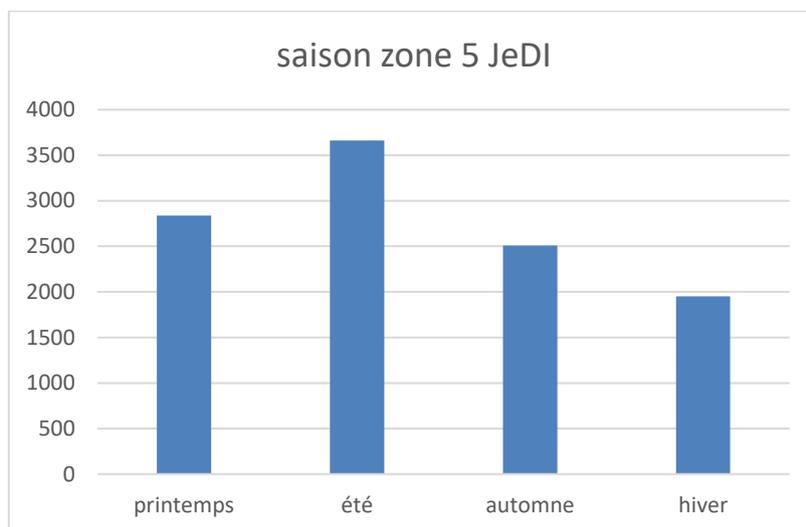


Figure 30 - Répartition des cas par saison dans l'hémisphère Sud (données JeDI, n=10959,1871-2011)

On remarque une distribution très similaire voire identique des cas dans les deux hémisphères selon les saisons. Même si l'impact de l'observation (opérateur dépendant, localisation, connectivité...) est présent, les facteurs environnementaux et surtout saisonniers semblent donc bien influencer sur une présence accrue de méduse dans certaines régions. Selon la période leur présence va être amplifiée et notée par les populations.

Nous avons donc décidé de voir plus dans le détail la présence dans les eaux du globe de certaines espèces, notamment en France métropolitaine en lien avec notre étude du I.

2) Répartition de quelques espèces dans les eaux du globe

Notre choix s'est porté sur 10 espèces : *aurita*, *capillata*, *forskalea*, *hysoscella*, *noctiluca*, *octopus*, *physalis*, *pulmo*, *tuberculata* et *fleckeri*. Le nombre réduit permet une meilleure lisibilité sur les cartes (près de 613 espèces disponibles sur la base de données JeDI). Les espèces choisies sont celles observées le plus communément en France métropolitaine, exceptée *fleckeri*, cuboméduse des plus dangereuse pour l'homme, qui se situe majoritairement dans l'hémisphère Sud, notamment en Australie. Cette fréquence d'observation a été déterminée à partir des bases de données et de nombreuses cartes réalisées, mais aussi les observations sur plusieurs années des espèces retrouvées sur les côtes.

a) Répartition spatiale en Europe

La carte suivante montre la répartition des espèces sélectionnées dans les eaux Européenne (Figure 31).

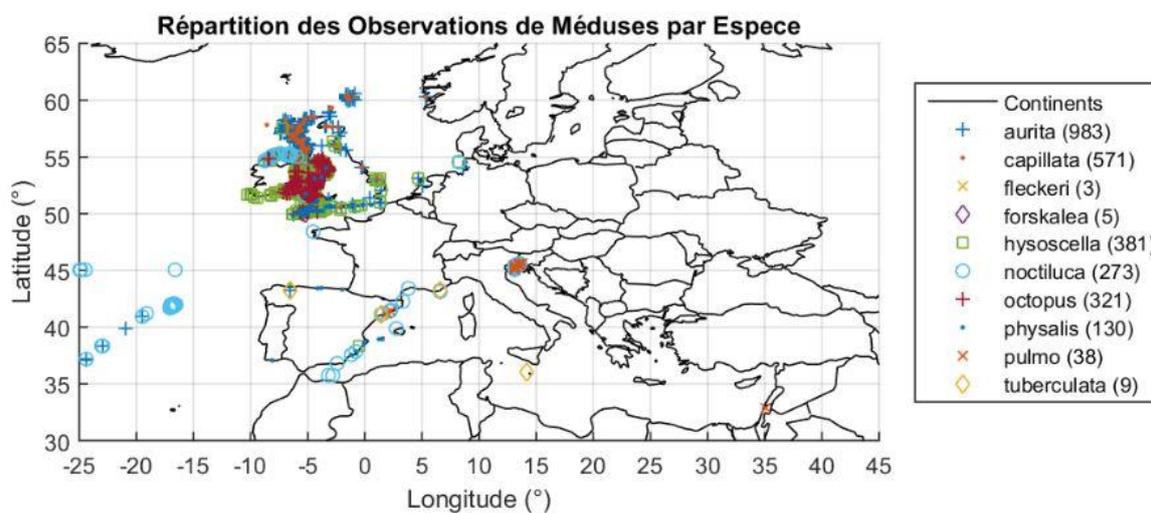


Figure 31 - Observation des espèces sélectionnées en Europe (données JeDI, n=2714, 1871-2011)

b) Répartition spatiale en France

Afin d'avoir une meilleure lisibilité nous avons zoomé sur la France métropolitaine (Figure 32).

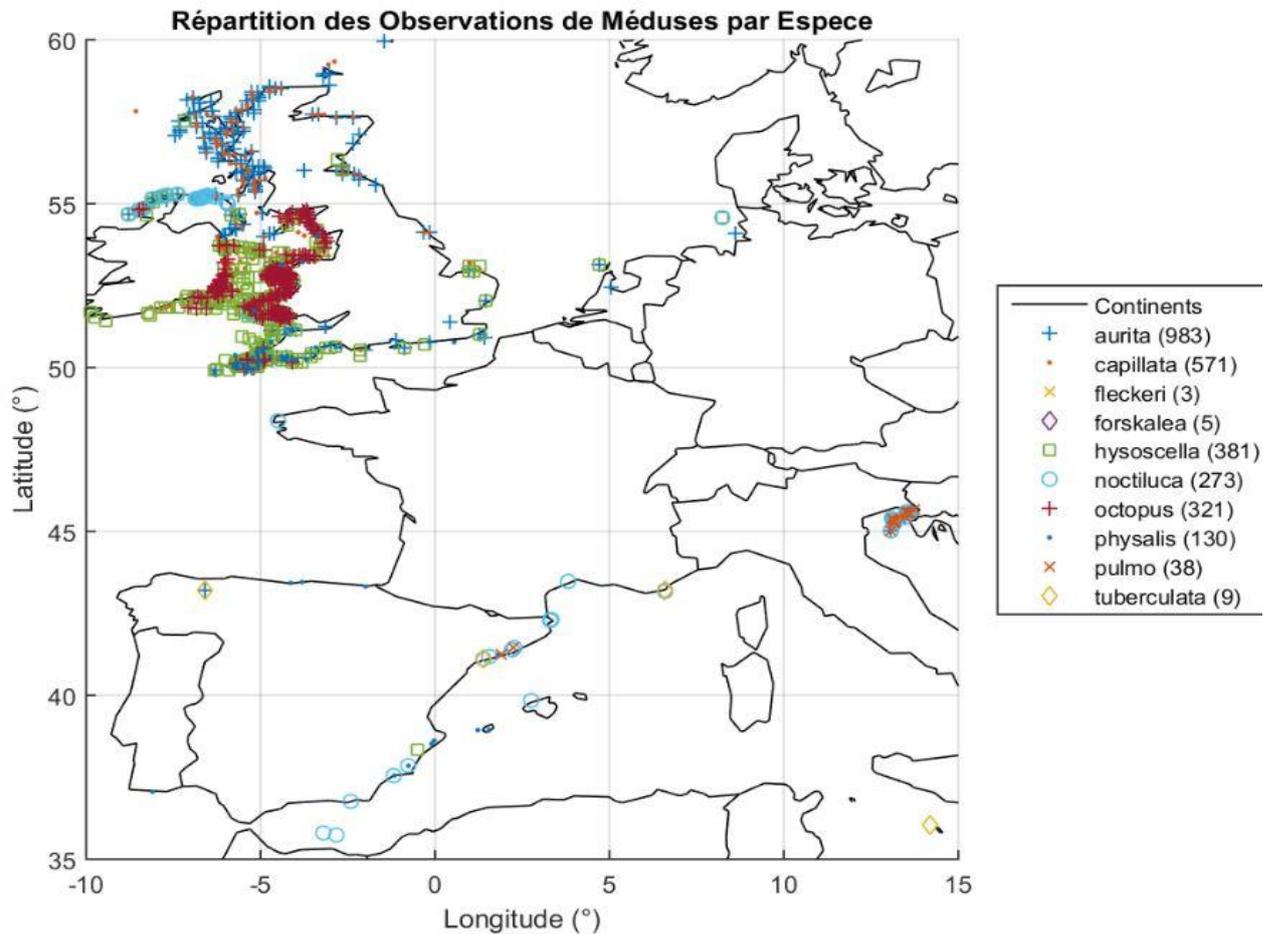


Figure 32 - Observation des espèces sélectionnées en France (données JeDI, n=2714, 1871-2011)

On remarque ici un grand nombre d'observations au Royaume Uni. Néanmoins par les jeux de courant, ces méduses descendent assez fréquemment en France métropolitaine.

c) Répartition spatiale sur le globe

Prenons un peu de hauteur, et voyons à l'échelle du globe la répartition de ces espèces (Figure 33).

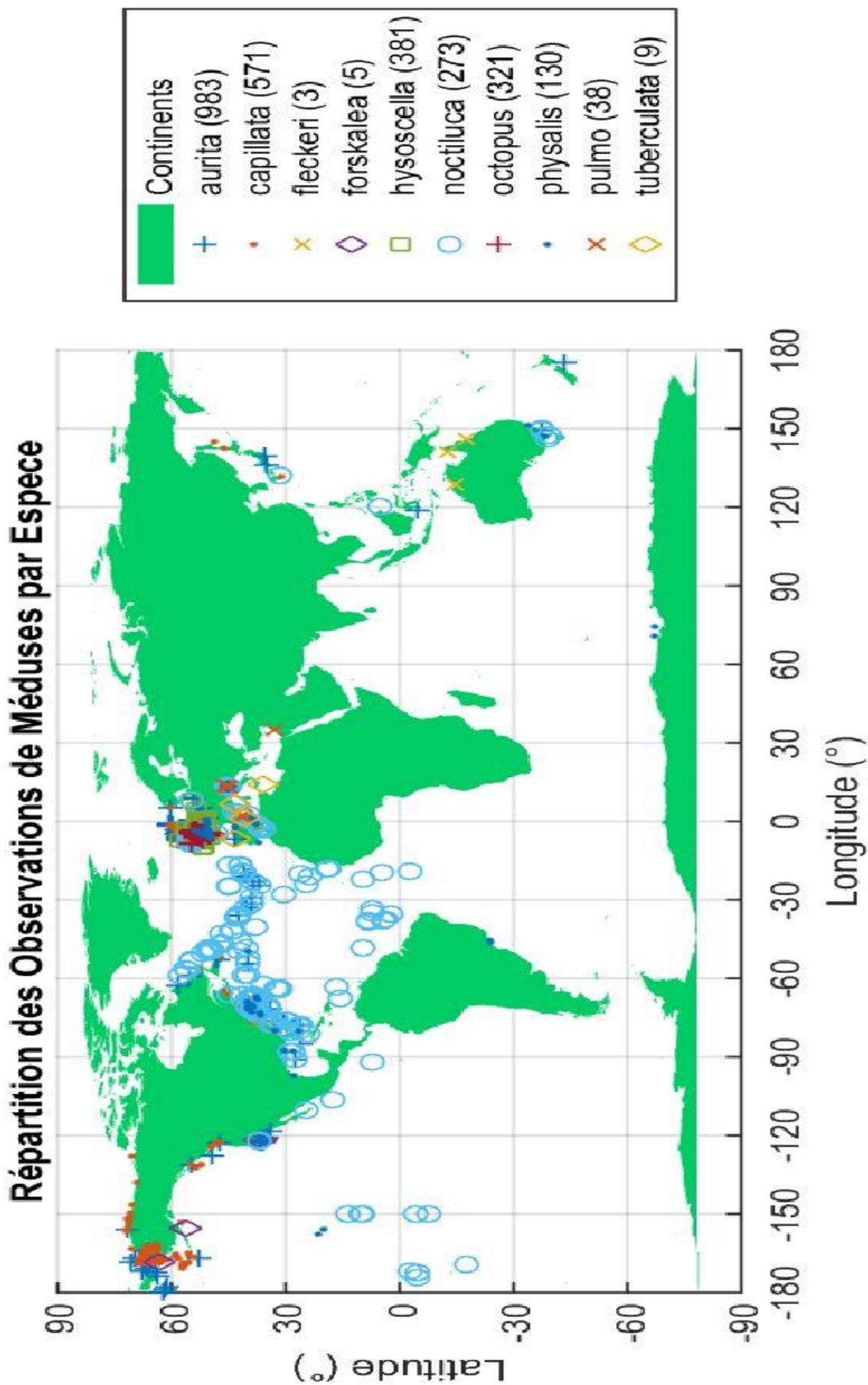


Figure 33 - Observation des espèces sélectionnées sur le globe (données JeDI n=2714, 1871-2011)

d) Bilan observation d'espèces

On remarque que les espèces sélectionnées pour leur fréquence d'apparition dans les eaux de France métropolitaine, sont majoritairement présentes dans les eaux de l'hémisphère Nord. Ces eaux semblent propices à leur développement. On peut donc supposer que c'est ces espèces de méduses que nos carnivores domestiques rencontrent sur les côtes de France métropolitaine. Nous allons donc nous intéresser à ces espèces, leur morphologie et mode de vie.

3) Situation en France métropolitaine

La France métropolitaine est bordée de 4 mers et océans : La mer du Nord, La Manche, l'océan Atlantique, et la mer Méditerranée. Ces étendues ont des paramètres physico-chimiques différents, mais aussi des températures, une salinité, des courants marins bien distincts. Ces paramètres influent sur les différentes espèces de méduses présentes sur nos côtes. Chacune avec ses particularités et sa dangerosité.

Nous nous intéresserons ici aux principales espèces, sans chercher l'exhaustivité. Les espèces présentes vont dépendre des paramètres environnementaux en grande partie. Nous allons donc essayer de faire un recueil des méduses les plus à même d'être rencontrées selon notre localisation en France, en lien avec le II)A)2).

Les espèces majoritaires pour chaque zone ont été déterminées à partir des données issues des sites comme JeDI et Jellywatch et des cartes précédentes. Des fiches d'informations sur les différentes espèces existent dans de nombreux pays. Elles renseignent sur la méduse avec un descriptif de celle-ci, sa dangerosité et ses dates d'apparition majoritaires. Nous allons décrire les principales espèces présentes en France métropolitaine.

a) Les méduses d'Atlantique

i. Aurelia aurita

Cette méduse transparente se caractérise par une ombrelle assez plate qui peut mesurer jusqu'à 25cm. Elle possède quatre tentacules oraux de grande taille et de nombreux petits tentacules marginaux. On observe également lors de la bonne période quatre organes génitaux violet à rose.

Son apparition est fréquente au printemps et en été (Figure 34).



Figure 34 - Photographie d'*Aurelia Aurita* (photographie personnelle, 2017)

ii. Rhizostoma pulmo

Son ombrelle est en forme de cloche de couleur blanche à bleutée avec un contour violet. Elle ne possède pas de tentacule marginal, mais présente 8 tentacules oraux fins soudés entre eux.

Le diamètre de l'ombrelle peut atteindre 40cm.

Sa présence est accrue en été et début d'automne (Figure 35).



Figure 35 - Photographie de *Rhizostoma Pulmo* (Spain JellyfishGuide 2013 jellyRisk)

iii. *Aequorea Forskalea*

L'ombrelle est en forme de plaque, transparente avec des canaux radiaux bleus. Ses tentacules sont marginaux et nombreux. Il n'y a pas de tentacule oral.

Le diamètre de l'ombrelle peut atteindre 17 cm.

Sa présence est accrue au printemps (Figure 36).



Figure 36 - Photographie de *Aequorea. Forskalea*
(Spain JellyfishGuide 2013 jellyRisk)

iv. *Physalia physalis*

Précisons ici encore que *Physalia physalis* n'est pas à proprement parler une méduse, mais elle est bien présente sur nos côtes. L'ouragan Ophélie a ramené de nombreux bancs début octobre 2017 sur les côtes du golfe de Gascogne et de Bretagne.

La partie flottante mesure 30 cm de longueur sur 10 cm de hauteur. C'est une sorte de bulle de gaz, de couleur bleutée à violette rosée. La partie sous-marine est composée de longs filaments fins bleus la plupart du temps pouvant atteindre jusqu'à 20 mètres de long.

Sa présence est plutôt rare sur nos côtes, son incidence est plus élevée en été (Figure 37).



Figure 37 - Photographie de *Physalia Physalis* (Spain JellyfishGuide 2013 jellyRisk)

R. octopus est également présente et sera décrite dans l'une des parties ci-dessous.

b) Les méduses en Méditerranée

i. Pelagia noctiluca

L'ombrelle est de couleur rose à marron selon le sexe. Elle est hémisphérique avec 4 fins tentacules oraux et 8 marginaux pouvant atteindre 2 mètres de long. Le diamètre de l'ombrelle peut atteindre 20 cm Elle est présente en continue tout au long de l'année avec des blooms (Figure 38).



Figure 38 - Photographie de *Pelagia Noctiluca* (Spain JellyfishGuide 2013 jellyRisk)

ii. *Cotylorhiza tuberculata*

Son ombrelle est aplatie, de couleur marron à jaune, avec une protubérance centrale d'un orange sombre. On a la présence de 8 tentacules oraux avec 3 appendices à leurs fins ronds blancs à bleutés présents sur ces derniers.

Le diamètre de l'ombrelle peut atteindre 35 cm.

Sa présence est accrue en fin d'été et en automne (Figure 39).



Figure 39 - Photographie de *Cotylorhiza Tuberculata* (Spain JellyfishGuide 2013 jellyRisk)

Rhizostoma pulmo est également présente en Méditerranée et a été décrite ci-dessus.

c) Les méduses en Manche et Mer du Nord

i. *Chrysaora hysoscella*

Son ombrelle est blanche à jaune, on note la présence de 16 bandes marrons sur l'ombrelle, 24 longs et fins tentacules autour de l'ombrelle et 4 long tentacules oraux.

Le diamètre de l'ombrelle peut atteindre 30 cm.

Sa présence est accrue au printemps (Figure 40).



Figure 40 - Photographie de *Chrysaora hysoscella* (Spain JellyfishGuide 2013 jellyRisk)

On retrouve également dans la Mer du Nord et la Manche *Aurelia aurita*, et *Rhizostoma pulmo* qui ont été traitées ci-dessus.

d) Bilan saisonniers des principales méduses de France

Les méduses principales en France sont majoritairement présentes au printemps et en été. Ces données sont en lien avec les observations faites précédemment en hémisphère Nord selon les différentes bases de données (JeDI et Jellywatch). La plupart des méduses retrouvées en France sont peu dangereuses pour l'homme. Elles vont laisser pour la plupart des piqûres plus ou moins brûlantes ! On peut néanmoins s'interroger sur les conséquences du réchauffement climatiques. Les eaux vont devenir plus propices à certaines espèces du Sud qui sont bien plus dangereuses. Depuis quelques années on observe des phénomènes de remontés d'espèces qui n'étaient pas présentes jusque-là sur nos côtes. C'est notamment le cas de *capillata* durant l'été 2018, qui a envahi les côtes françaises, là où son lieu de résidence était les mers froides de Scandinavie.

4) Résultats et interprétations

a) Vers une saisonnalité par hémisphère

Une répartition saisonnière des méduses en nombre se dégage des données précédentes. Un pic en été se manifeste, avec une augmentation progressive avant ce dernier et une diminution progressive après lui. Cette répartition touche les deux hémisphères en été austral et boréal. Cette répartition peut s'expliquer en partie par le cycle de vie et de reproduction des différentes méduses. Pour les espèces précédemment étudiées nous avons entrevu leur cycle de reproduction et localisation selon les conditions physico chimiques de l'eau. Dès lors, leur importante présence dans les eaux française s'éclaircie. Au-delà du biais de recensement, le phénomène apparaît mondial.

Une variation cyclique existe également au sein de nombreuses espèces. Les blooms apparaissent à la même fréquence au même endroit. Prenons ici l'exemple de *Pelagia Noctiluca*. Cette méduse de Méditerranée effectue des blooms qui vont dépendre du courant Ligurien en Méditerranée mais également des vents de la région et des températures (Ferraris et al., 2012). De même, *Nomurai* au Japon, à un bloom qui va dépendre notamment des afflux des fleuves chinois amenant nutriments et températures chaudes en plein cycle de reproduction, idéales à sa pullulation.(Yoon et al., 2007)

L'étude de différentes bases de données met en avant une même distribution que l'on peut qualifier de saisonnière des méduses dans les eaux du globe. Quelles que soient l'hémisphère considérée ou la zone étudiée, des pics saisonniers se dégagent. Un biais d'observation a été mis en évidence quant à ses observations, ainsi qu'un lien avec le cycle de vie et de reproduction des différentes espèces de méduses, notamment en France.

Mais quelles origines et causes à ces phénomènes d'apparition accrus depuis quelques années ? Comment expliquer ces blooms ?

B) Pullulation des méduses : l'homme comme origine ?

Depuis quelques années, et concomitant à l'augmentation des activités humaines, les méduses semblent être de plus en plus nombreuses partout sur le globe, et pulluler. Nous allons donc essayer de voir les liens existants entre les activités humaines et leurs impacts sur les méduses et leur développement.

1) La surpêche laisse le champ libre aux méduses

a) La surpêche et le mythe des océans inépuisables

L'homme pêche depuis le début de l'humanité. Contrairement à la chasse, l'océan ne peut être vu dans sa globalité. Il paraît pour beaucoup inépuisable en ressources, ses stocks non altérables et infinis.

D'une pêche de faible quantité en barques ou voiliers subissant la force de l'océan et ne permettant pas de très longues campagnes en haute mer, l'homme est passé à un tout autre type de pêche actuellement. Les progrès technologiques issus des deux guerres mondiales ont permis le développement de machineries puissantes et de navires d'un tout autre calibre. Avec ce progrès technologique est apparu une nouvelle pêche dite industrielle. De véritables bateaux usines partent pour des campagnes de plusieurs mois, pêchant à outrance et ce à toutes profondeurs, raclant parfois les fonds supposés inviolables (Goy, 2016). Le fruit de la pêche est remonté et directement transformé à bord, ce qui fait qu'à l'arrivée au port le produit est prêt à être vendu sans autres transformations ou mise en forme. Ce type de pêche n'est pas spécifique, le filet remonte toutes les espèces, sans soucis d'espèces protégées, de profondeur, ou de préservation.

Au fur et à mesure de la pratique de cette pêche intensive, les bateaux ont dû partir de plus en plus au large, de plus en plus longtemps pour essayer de ramener autant de poissons que lors des premières campagnes. Les ressources s'épuisant, les stocks n'ont pas le temps de se renouveler. L'union Européenne et de nombreux états essaient de favoriser le renouvellement par des quotas de pêche et des périodes où la pêche de telle ou telle espèce est autorisée, mais les contrôles sont durs à réaliser, d'autant que tous les états ne participent pas à cette protection. (Gordon et al., 2018)

Un changement brutal mais insidieux se réalise depuis quelques années dans les océans et mers du globe.

b) Conséquence de la surpêche

La surpêche, en plus de mettre en danger de nombreuses espèces de poissons, bouleverse l'équilibre fragile des océans. Les différents réseaux trophiques comportent de nombreux maillons qui disparaissent. Or comme le dit l'adage populaire, la nature a horreur du vide. Cette place libre se voit coloniser par des espèces déjà présentes qui vont proliférer et bouleverser un peu plus l'équilibre fragilisé (Baum and Worm, 2009).

Les méduses profitent de cet espace. Les larves et jeunes poissons sont friands des méduses aux stades jeunes, type ephyrules ou juvéniles. Ils permettent de limiter leur prolifération mais par leur disparition, cette régulation disparaît, laissant champ libre au développement des méduses.

L'ensemble de la chaîne alimentaire est bouleversé. Des niches se créent, d'autres disparaissent. La capacité d'adaptation des méduses à de nombreuses conditions leur permet de survivre et même de proliférer dans certaines zones où leur expansion était jusque-là impossible.

On pourrait penser que la surpêche entraîne la disparition de proies également pour les méduses. C'est vrai dans une certaine mesure et certaines zones. Mais cette diminution de nourriture ne bouleverse pas la population globale de ces dernières. Elles ont une capacité de résistance au jeûne prononcée (Lilley et al., 2014), pouvant consommer leurs gonades afin de survivre et de les recréer lors de conditions plus favorables. Lors de véritables crises de nutrition, les méduses peuvent disparaître. Mais leurs polypes restent présents au fond des océans, et attendent des conditions favorables pour redonner de nouvelles méduses.

C'est ce phénomène qui pose un voile sur la population réelle des méduses dans les océans du globe, et plus largement sur leur prolifération. Une grande partie des méduses est invisible sous forme de polypes fixés à attendre des conditions particulières. Des espèces apparaissent régulièrement de par la réactivation de certains polypes. Le polype peut être considéré comme une véritable forme de résistance de la méduse et de sa survie (Lucas et al., 2012).

c) Impact sur le Krill

Le Krill a une place primordiale dans l'équilibre des océans. Ce terme désigne l'euphausiacé, un crustacé vivant dans l'océan Boréal, et l'océan austral. Il mesure 5 à 6 cm et vit en moyenne 5 à 6 ans. Les crustacés se regroupent en vastes colonies se situant en surface.

Le Krill se nourrit de phytoplancton. Il est à la base de la chaîne alimentaire, et nourrit de nombreuses espèces : phoques, oiseaux (albatros, manchots...) baleines.

Il est actuellement menacé par la pollution, le réchauffement climatique, et sa surpêche. La pêche du Krill a réellement pris son essor dans les années 1980, amplifiée par le développement exponentiel de l'aquaculture, haute consommatrice de ces crustacés.

En plus de cette pêche intensive, le réchauffement climatique menace cette ressource. En effet, le développement du krill est dépendant de la présence de glace de mer. Sous cette dernière se développent des algues microscopiques, source de nourriture du krill, et lieu de ponte, de survie et de croissance des larves. Le réchauffement climatique altère la présence de cette glace de mer et affecte directement la population du krill.

La pollution enfin diminue un peu plus le pool de départ. Les insecticides rejetés massivement dans les océans du globe ont un impact sur le krill. En effet, le krill en tant que crustacé est un arthropode. La croissance de la cuticule est directement impactée par les insecticides, et donc la croissance également.

La population de krill chute donc drastiquement depuis quelques années laissant le champ libre au développement des gélatineux, comme les salpes et les méduses (Hammill et al., 2018). Leur cycle de vie plus court que celui du krill leur permet une adaptation bien plus rapide aux conditions environnementales. Ces gélatineux, composés en majorité d'eau ne sont pas un apport nutritif suffisant aux prédateurs du krill, la chaîne alimentaire s'en trouve bouleversée. La population de ces prédateurs chute donc proportionnellement à celle du krill, laissant la place au développement des méduses.

d) Un bouleversement global des chaînes alimentaires

Les chaînes alimentaires dans les océans et eaux du globe sont plus complexes que sur terre et méconnues.

Le maillon primaire est le plancton. Une photosynthèse est réalisée par des microalgues et le phytoplancton. La matière organique est ainsi créée à partir de minéraux présents dans l'eau et l'énergie lumineuse. Un pic de développement est noté au moment où la lumière solaire et la température de l'eau augmentent (printemps et été). Deux grands groupes se dégagent du phytoplancton : les diatomées algues d'eaux froides, et les dinoflagellés algues d'eaux chaudes. En zones tempérées une cyclicité de développement existe donc : dinoflagellés lorsque l'eau est plus chaude, diatomées lorsque l'eau est plus froide. Des études ont montré que les dinoflagellés étaient plus souvent mangés par des prédateurs chassant à l'aveugle comme les méduses, alors que les diatomées étaient ingérées par du zooplancton, lui-même dévoré par des poissons plus imposants.

Deux chaînes alimentaires se dégagent donc. Une chaîne dite musculaire, ayant pour point de départ les diatomées, et aboutissant aux grands prédateurs des océans. L'autre appelée chaîne gelée, basée sur les dinoflagellés, privilégiant le développement des cnidaires.

Les deux chaînes se développent de façon égale et équilibrée en temps normal. Mais le réchauffement des eaux et la pollution favorisent le développement des dinoflagellés au détriment des diatomées. La présence des méduses est ainsi favorisée. Une fois ces dernières installées, le retour en arrière est très difficile, mangeant les autres prédateurs, et ayant peu de valeur nutritive, n'offrant que trop peu de ressources à la faune (Goy and Calcagno, 2014).

Le zooplancton se développe consécutivement au développement du phytoplancton, ce dernier étant sa proie. La méduse et ses larves se nourrissent donc de tous ces êtres microscopiques, mais pas que ! En effet la méduse se repait également de petits poissons et œufs de ces derniers. Une compétition apparaît donc entre les méduses et les poissons pour le plancton, compétition pour laquelle la méduse est avantagée mangeant ses concurrents en grande partie ! (Nagelkerken et al., 2016)

La physiologie même des méduses, associée aux bouleversements environnementaux des océans leur octroie un avantage de développement actuellement. La surpêche et la disparition des prédateurs potentiels, associée à un bouleversement des chaînes alimentaires des océans laissent une place grandissante aux méduses.

2) La pullulation facteur favorisant

a) Le plastique véritable pouponnière à méduse

En 1997 le scientifique et skipper Charles.J. Moore a observé dans l'océan Pacifique une structure particulière. Un continent de plastique. Ce dernier, pas loin de 7 fois la taille de la France se situe en surface ou à environ un mètre de profondeur sur quelques mètres d'épaisseur. Formé par l'accumulation de tous les déchets plastiques à cet endroit par le jeu des courants il continue de s'étendre et de s'accroître. Un phénomène similaire a été observé dans l'atlantique depuis quelques années (Costa and Barletta, 2015).

Les déchets de plastiques le composant sont de toutes tailles : de la bouteille abandonnée, aux plus grandes plaques de plastique en passant par la nano particules. Le plastique est photo-dégradé lors de son long séjour dans ce continent de plastique, entraînant la production de nano particules nocives ou de sable de plastique (Barnes et al., 2009).

Ces micros et nano particules vont être prises pour de la nourriture par les différents poissons et larves, méduses. Le réseau trophique va être touché dès sa base, les concentrations de plastiques particulières étant 6 à 7 fois supérieures à celle de zooplancton dans ces zones. Dès lors on comprend que l'ensemble de la chaîne va être affectée. On retrouve des concentrations de plastiques très élevées dans les différents mammifères marins, et oiseaux pélagiques (Ivar do Sul and Costa, 2014) (O'Connor et al., 2016).

Les méduses vont se retrouver impactées par ce continent mais aussi et surtout en profiter. En effet les polypes des différentes espèces semblent avoir une affection toute particulière pour le plastique. Leur développement est optimisé sur des supports plastiques. C'est en tout cas ce qu'il ressort des élevages de polype aux aquariums de Paris et de Kamo au Japon, sans pour autant avoir une explication claire actuellement sur ce phénomène. Les polypes se fixent sur ce continent et dérivent et se multiplient par reproduction asexuée. Les pools des différentes espèces s'en trouvent augmentés, et prolifèrent. Cette observation a été faite par les équipes de chercheurs de l'aquarium de Paris et de Kamo au Japon que nous avons eu la chance de côtoyer et que nous remercions.

b) Engrais et produits chimiques

Le développement accru des méduses est directement lié au développement de leur nourriture. Il est lié à la prolifération du phytoplancton puis du zooplancton et plancton gélatineux. Ces derniers profitent du rejet dans les océans depuis des années des lessives et eaux usées et polluées. Ces différents produits fournissent un apport important d'azote et de phosphore provenant des nitrates et phosphores.

Tous les déchets finissent dans les océans. Des plastiques, aux engrais, métaux lourds, tout s'accumule et perturbe les écosystèmes côtiers. Le lessivage des terres entraîne une eutrophisation, c'est-à-dire un développement prolifique du phytoplancton. Cette eutrophisation s'accompagne le plus souvent d'une baisse du taux d'oxygène néfaste à la vie aquatique, mais pas aux méduses, qui en profitent et prennent la place des disparus.

L'exemple le plus frappant de cet impact, est le développement des méduses géantes *Nemopilema nomurai*. Un bloom était observé tous les 20 à 30 ans. Depuis 2002, il est présent chaque année, entraînant des dégâts considérables sur la pêche locale, et le matériel de pêche. *Nemopilema nomurai* est une véritable vorace capable d'engloutir des quantités astronomiques de planctons. Elle prend naissance d'après les jeux de courants de la région entre les côtes de Chine et de Corée du Sud (Yoon et al., 2007). Cette zone subit depuis des années des rejets importants d'engrais et pesticides dus au développement accru de l'agriculture dans ces pays, entraînant une eutrophisation et un développement accéléré des méduses. La surpêche a amplifié le phénomène.

Les rejets de résidus de médicaments, d'hormones comme les différents contraceptifs, et perturbateurs endocriniens, perturbent également le cycle de vie de la faune et les cycles de reproduction sexués. Ils entraînent des problèmes sur les mécanismes de reproduction sexuée, conduisant à un blocage de certains cycles naturels. Les méduses avec leur reproduction asexuée passent à travers leurs effets. Elles pullulent et prennent la place des espèces perturbées. Les polypes émettent des méduses en grand nombre. Cette action est insidieuse et à bas bruit et de long terme sur l'environnement. La plupart des effets sont encore méconnus, comme leur impact à long terme. Les stations d'épuration des pays développés bien que bien équipées ne peuvent éliminer ces molécules en l'état actuel.

c) Activité côtière et réchauffement des eaux

La température de l'eau est un facteur influant le développement des polypes. Une température de strobilation maximale peut être notée chez certaines espèces, entraînant une saisonnalité de leur apparition.

L'activité des hommes sur les côtes a bouleversé ce phénomène. Avec le réchauffement des eaux, l'effet local de la saisonnalité disparaît, entraînant une pullulation toute l'année (Mills, 2001). Un décalage des différents cycles de vie peut également survenir. Ainsi la méduse passe de proie des poissons en tant que petite larve, à prédatrice des larves de poisson s'étant développées précocement.

Les méduses et leur multiplication accrue entraînent ensuite des dégâts sur ces structures côtières, en bouchant notamment les circuits d'eau des centrales au bord de mer.

d) L'équilibre instable des océans

Les méduses peuvent survivre en milieu basique et acide. Cette capacité leur a permis de passer à travers les âges et les fluctuations paléontologiques. L'acidification des océans depuis quelques années leur est bénéfique. Elle augmente leurs proies potentielles. En effet, les carapaces des différents organismes sont fragilisées facilitant leur digestion par les méduses (Gehlen and Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée- CIESM, 2008).

Depuis quelques années on observe un développement de plus en plus de zones anoxique dans les océans du monde. L'activité humaine a, comme on l'a vu, entraîné un surplus d'azote et de phosphore dans les océans. Le phytoplancton a pu proliférer. L'absence de prédateurs, ou leur forte diminution, entraînée notamment par la surpêche, provoque le dépôt de phytoplancton sur les fonds et non leur ingestion par ces prédateurs disparus. Cette couche se décompose et consomme l'oxygène dissout dans l'eau. Les poissons et la faune présente meurent asphyxiés, laissant place aux méduses.

Un autre paramètre est touché par l'activité humaine et le réchauffement climatique : la salinité des océans. Les pluies diluviennes imputées au réchauffement climatique entraînent une diminution forte dans certaines zones de la salinité des océans. La fonte des glaces y contribue également. Ce phénomène permet à certaines espèces de se développer rapidement. Néanmoins encore une fois la capacité d'adaptation des méduses est sans limite. De nombreuses espèces sont adaptées à tout type de salinité. Ainsi des espèces comme *Craspedacusta sowerbii* aiment l'eau douce, et *Phyllorhiza peronlesueuri* en Australie survit en eau très salée (Goy and Calcagno, 2014).

Par son activité, l'homme transforme son environnement. Les rejets dans les eaux du globe de différentes substances, engrais, produits chimiques, hormones, mais aussi plastiques et déchets semblent favoriser le développement des méduses. Les bouleversements des conditions de l'environnement, comme le réchauffement des eaux s'ajoute à la balance et la fait pencher en faveur des méduses.

3) Commerce international

a) Le système de ballaste

De nombreux navires sont équipés actuellement de ballastes. Véritables réservoirs d'eau, ces derniers sont vidés par les navires selon le poids de leur cargaison et remplis, et ce quelle que soit leur localisation. Ils aspirent l'eau et tout ce qui se trouve autour d'eux. On comprend aisément le formidable moyen de voyage qu'ils peuvent être pour toutes les espèces se retrouvant aspirés. Lors de la vidange, les espèces sont dans un nouveau milieu, qui peut être un véritable Eden ou enfer selon ses caractéristiques et les capacités d'adaptation de l'espèce considérée. Les méduses et leur adaptation à toute épreuve font une véritable aubaine de ce système (Vandendriessche et al., 2016). Elles voyagent, malgré elles, sur des milliers de kilomètres et colonisent de nouveaux milieux bouleversant l'écologie du lieu d'arrivée.

b) Méduses immortelles et ballastes

Certaines méduses ont été découvertes dans les ballastes des navires. C'est le cas de *Turritopsis nutricula*, première méduse immortelle mise en évidence. Les chercheurs se sont rendu compte que les conditions de stress extrême dans les ballastes (salinité, concentration des différents éléments, teneur en oxygène...) créent un environnement plus que stressant pour toutes les espèces dont les méduses. Ces dernières malgré leur incroyable capacité d'adaptation subissent ces conditions, avec une stratégie bien à elle pour survivre ! Elle se dédifférencie et retournent au stade polype ! (Piraino et al., 1996) Véritable retour en enfance, leur conférant une vie éternelle dès que des conditions de stress apparaissent. Sans stress, elles poursuivent leur vie jusqu'à la mort.

Les méduses, en plus d'être favorisées par les activités locales des hommes, profitent pour leur dissémination des activités commerciales à travers le globe, permettant la colonisation de nouveaux environnements dans lesquels elles s'imposent.

III) PREVENTION ET LIGNE DE CONDUITE FACE A CE NOUVEL ENVAHISSEUR

A) Modèle de prévision des blooms et sites participatifs

1) Modèle mathématique de prévision

a) Les données utilisées

Le but des modèles mathématiques est de prévoir les blooms de méduses sur les côtes. Ils prennent en compte de nombreux éléments environnementaux et physico chimiques, sans oublier de biologie sur les espèces pouvant produire ces blooms dans les régions étudiées. Ainsi des paramètres comme la température de l'eau, les courants marins, les vents d'une région donnée, la salinité vont être modélisés sur ordinateur afin de prévoir les périodes optimales pour les blooms. Ils vont être confrontés pour se faire, aux paramètres intrinsèques des espèces de méduses présentes dans les zones étudiées. Ainsi leur cycle de vie, et paramètres optimaux à leur développement (trophique et condition) vont être étudiés et mis en parallèles avec les conditions environnementales (Berline et al., 2013).

b) Les modèles existants

Plusieurs modèles plus ou moins complexes ont été créés par différents chercheurs. Au-delà des paramètres pris en compte, c'est la méthode de modélisation qui varie. Certains chercheurs modélisent les méduses sous forme de particules soumises aux aléas des courants marins et des vents des côtes (Berline et al., 2013), d'autres ne prennent en compte que les paramètres biologiques. Le but est d'étudier l'impact d'une variable sur le système en fixant les autres. Différents modèles sont utilisés par les chercheurs. Ainsi dans l'étude de Berline, les scientifiques vont utiliser la méthode détaillée dans Ourmieres et al code NEMO pour le champ de vitesse, le modèle ALADIN pour le vent. C'est le fonctionnement conjoint de ces différents modèles et leur imbrication qui créent le modèle global. Le but est d'affiner au maximum le modèle afin de se rapprocher au plus de la réalité.

Les modèles se basent sur une étude des espèces et leurs variations cycliques temporelles. L'étude des différents paramètres est mise en relation avec la biologie de l'espèce et une étude de cohorte peut alors voir le jour. C'est la démarche qu'a réalisée Pierre Morand dans sa thèse intitulée *La méduse Pelagia noctiluca en Méditerranée occidentale : de la dynamique de population à la variation à long terme (1989)*.

c) Discussion de leurs utilisations et efficacités

Les progrès de l'analyse des données et de leurs traitements ont permis des avancées fulgurantes en matière de météorologie et prévisions climatiques au sens large. Les modèles de prévision des blooms ont profité de ces améliorations. Ils sont devenus de plus en plus précis et en adéquation avec la réalité. L'augmentation de la capacité d'analyse de données a permis la prise en compte de nouvelles données comme l'impact de l'activité humaine (changement des courants, pollution, changement climatique global...) et la mise en place de modèle toujours plus précis (Mills, 2001).

Actuellement l'un des facteurs limitant de ces modèles est la connaissance de la biologie des espèces étudiées. On ne connaît pas précisément la plupart des cycles de reproduction des espèces des méduses, ni leur capacité d'adaptation aux conditions environnementales. Il est donc difficile de faire le lien entre les conditions du milieu et le développement plus ou moins accru de l'espèce considérée.

d) Variation cyclique

Les blooms de méduses sont un phénomène observé cycliquement. C'est notamment le cas de la méduse *Pelagia noctiluca* sur les côtes françaises de Méditerranée. Nous avons choisi de nous pencher plus en détail sur ce bloom précis car touchant la France métropolitaine, et du fait des caractéristiques biologiques de cette méduse et de son impact sur les activités côtières de Méditerranée. Cette dernière présente des cycles de blooms de 12 ans environ, avec des oscillations de 5 à 6 ans d'absence/présence. Il n'y a pas d'explication claire de ce phénomène. Il semblerait que la sécheresse et des conditions anti cyclonique en fin de printemps favorisent leurs blooms durant l'été suivant. Des jeux de courants marins interviennent également, avec les courants en Ligure (Berline et al., 2013).

Les arrivées ont des fluctuations de faible fréquence (période de quelques semaines) avec des pics synchronisés avec un courant Nord Ligure proche de la cote. Les minima sont synchronisés avec un courant nord Ligure loin de la côte. Le vent semble intervenir aussi dans cette cyclicité de bloom. Le vent expliquerait les migrations côtières erratiques (Ferraris et al., 2012).

En plus d'une cyclicité temporelle d'apparition, certaines colonies de méduses expriment une cyclicité jour nuit de profondeur. Elles remontent à la surface la nuit afin de se nourrir. Ce phénomène peut s'expliquer par la protection que la nuit leur confère. L'absence de lumière extérieure empêche un prédateur plus en profondeur de voir leurs ombres en surface. Cette hypothèse est illustrée par des remontés bien plus importantes lors des nuits sans Lune (Ferraris et al., 2012).

Néanmoins, *Pelagia noctiluca* est observée quasi continuellement depuis 1990 sur les côtes françaises sud. Ces blooms costaux semblent être sporadiques et pourraient être originaires de patches de populations localement présentes, ou de populations offshore permanentes.

Cette cyclicité d'apparition est également présente en mer de Chine, avec *Nomurai*. Ces blooms seraient pour leurs part à relier aux phénomènes climatiques (changement de température de l'eau au printemps), couplés aux phénomènes de pollution. De nombreux rejets sont amenés par les fleuves chinois dans cette mer au moment opportun au développement des méduses *Nomurai*.

2) Sites participatifs

a) De nombreux sites existants

Comme on a pu le voir dans les parties précédentes, de nombreux sites participatifs de type « écocitoyens » existent pour recenser les cas d'apparitions de méduses. Ces sites ou applications comme Jellywatch, ou JeDI renferment une base de données gigantesque et planétaire. Une dichotomie existe selon l'échelle de la base de données le plus souvent. Des plans de surveillance existent à une échelle locale pour détecter les blooms de méduses. Citons le portail d'observation de méduses en Méditerranée Acri (Figure 41) et l'application pour smartphone Simplex. Après inscription en ligne, le citoyen renseigne la présence, mais aussi l'absence lors de ses présences sur la côte, de méduse. Les données sont centrées sur la Provence-Alpes-Côte-d'Azur.



Figure 41 - Flyers Nice Acri réseau d'observation de méduses en Méditerranée

A plus large échelle, les bases de données comme Jellywatch et JeDI présentées précédemment, permettent le suivi de nombreuses données : de la température de l'eau, aux marées rouges, en passant par l'échouage de mammifères marins, une diversité de phénomène peut être suivie.

Dans tous les cas, une collaboration entre scientifiques et citoyens se met en place. Les données affluent et sont traitées ensuite selon les besoins.

b) Mode de fonctionnement : limite et succès

Le fait de faire participer de nombreuses personnes à travers le globe, permet d'obtenir un grand nombre de données. Mais ces données vont être opérateur dépendant. La localisation de ce dernier, le moment où il est au bord de mer va jouer sur le type de données récoltées. Un biais d'observation existe, les périodes estivales étant les plus propices à l'observation. Les cotes des pays ayant une forte connexion vont également être mises en avant dans ce type de recueil. On imagine sans peine la différence de recensement entre une cote d'azur en plein été et une côte Patagonienne !

c) Vers un site unique ?

Pour pouvoir mieux apprécier la pullulation des méduses à l'échelle du globe on pourrait imaginer l'appui d'une grande base de données. Cette dernière reprendrait les données de toutes les bases existantes, et serait la base de référence. Une sorte de grand site que l'ensemble des scientifiques du globe et des habitants pourraient remplir. Une telle base permettrait d'étudier les mouvements des différentes espèces de façon précise ainsi que l'impact des modifications de milieu. On pourrait également décrire une répartition bien plus précise ainsi que la variation dans le temps des apparitions et des blooms. La base de données JeDI compilant plusieurs bases est un exemple de cette idée. Comme on l'a vu précédemment, cette base nous a permis d'affiner notre étude de répartition temporelle et géographique (Cathy H Lucas et al., 2014).

De nombreuses études sont réalisées actuellement pour essayer de prévoir les mouvements des bancs de méduses et leurs blooms. Elles font intervenir de nombreux modèles mathématiques, et des études sur les paramètres des océans. L'utilisation de sites citoyens et de données du monde entier permet d'affiner ces modèles. Mais après avoir prévu le bloom, quelles solutions envisager ?

B) Que faire face à la prolifération gélatineuse ?

1) Se défendre face à l'envahisseur

a) Protection des plages

Nombreux touristes et municipalités sont confrontés aux proliférations saisonnières des méduses. L'idée d'utiliser des filets de protection, à l'instar de ceux utilisés contre les requins est assez vite apparue. Néanmoins le problème reste complexe. Ces filets sont attachés à un système de bouées en surface lestées en profondeur. Leurs mailles doivent être très fines pour éviter tout passage des méduses.

Ces filets sont cependant très chers à mettre en place et à entretenir. De nombreuses dégradations, comme des trous, peuvent apparaître suite aux conditions en mer. Ils délimitent le plus souvent des aires assez réduites, peu compatibles avec un tourisme de masse (Cathy H. Lucas et al., 2014).

Un deuxième problème réside dans leur efficacité toute relative. Les débris de tentacules ou mucus peuvent toujours passer le filet en frontière et présenter un risque pour les baigneurs. De plus certaines espèces de méduses, de taille microscopique, peuvent passer à travers certains filets et piquer les baigneurs. C'est le cas de méduses en Australie connues pour induire chez les individus piqués le syndrome d'Hurikandji (Fenner and Lippmann, 2009).

Les filets semblent être une solution efficace sur des zones restreintes et précises sur le globe, mais accessibles aux communes côtières en ayant les moyens.

b) La pêche comme solution

Pêcher les essaims de méduses pourrait être également une solution envisageable pour endiguer leurs proliférations. Mais des problèmes se posent. Leurs destructions dans les filets en est un. Les mailles peuvent les découper libérant alors les gamètes mâles et femelles dans un espace réduit favorisant la fécondation et la formation de polypes ((Richardson et al., 2009). De plus cette pêche est peu rentable pour les pêcheurs voire sans intérêt, et pêcher des méduses avec des poissons inflige des dégâts sur ces derniers diminuant drastiquement leur valeur, voire les rendant impropre à la vente.

Par le cycle de reproduction des méduses l'effort semble vain. Pêcher les adultes ne joue en rien sur les polypes et leur prolifération possible notamment de manière asexuée. Il est impossible de repérer de manière fiable l'ensemble des essaims de méduses pour faciliter l'action des pêcheurs.

c) Une destruction physiologique ou corporelle des méduses ?

Certains scientifiques ont pensé à détruire les méduses en mer. Le programme JEROS en est la concrétisation. JEROS pour Jellyfish Elimination RObotic Swarm, est un robot broyeur développé par des scientifiques coréens (Donghoon and Jae-Uk Shin, 2012).

Le robot se situe en mer grâce à un système GPS et de caméras. Lorsqu'un essaim est repéré, le robot va en son sein et broie les méduses et rejette les lambeaux dans l'eau. La solution pouvait paraître définitive et efficace, mais c'était sans compter sur le cycle de vie et de reproduction des méduses. Ce broyat de méduses contient à la fois toutes les cellules urticantes qui resteront intactes, mais pire encore, les gamètes mâles et femelles des individus fraîchement broyés. Ces gamètes se retrouvent donc en contact dans une zone restreinte, véritable zone de rencontre favorisant la formation de nouveau polypes et d'une nouvelle génération de méduses...

d) Utilisation de produits chimiques et physique

L'utilisation de la physique pourrait apporter un semblant de protection. L'armée américaine a découvert par hasard que certaines ondes sonores de fréquences particulières provoquaient un retour à la surface des méduses, et les pousseraient à s'éloigner de certaines zones également. Ces ondes sonores agiraient sur les statocytes des méduses et les perturberaient. Cette technique a été utilisée en 2013 (Goy and Calcagno, 2014). Un dispositif émettant des ondes a été placé sur une bouée flottante. Les résultats ont été concluants, néanmoins on ne peut être sûr que ces longueurs d'ondes fonctionnent sur toutes les espèces de méduses. De plus les ondes sonores provoquent des dégâts sur le reste de la faune notamment les cétacés qui s'échouent en masse sur les plages, déboussolés, leurs organes sensoriels étant atteints très fortement par ces ondes. Cette solution ne semble donc pas efficace ni écologique sur le long terme (LURTON, 2007).

La photosensibilité des méduses est actuellement étudiée. Leurs mouvements sont déterminés par le cycle de lumière et de jour et de nuit. L'impact des sources de lumière sur ces dernières, toujours dans l'objectif de les pousser hors des zones côtières, est un axe de recherche aujourd'hui (GOFFART et al., n.d.).

L'utilisation de produits chimiques pour éradiquer des méduses semble illusoire et trop néfaste pour le reste de l'environnement. En effet, même si certains produits sont très efficaces contre les polypes ou méduses adultes, ils n'en restent pas moins toxiques pour le reste de la faune. Un dérèglement de l'écosystème se produit, entraînant l'apparition de nouvelles espèces invasives qui résistent aux produits, dont certaines espèces de méduses potentielles.

L'introduction de prédateurs des méduses et des polypes peut également être une solution. Cela fut le cas en 1966, dans la baie de Chesapeake aux Etats Unis. Des mollusques nudibranches prédateurs des polypes ont été introduits. Mais ces introductions ne sont pas anodines et peuvent avoir des effets au long terme inattendus et aux conséquences qui peuvent être bien plus graves.

Une défense que l'on pourrait qualifier d'offensive et agressive semble donc être de faible utilité face à cet ennemi gélatineux. Elle impacte le milieu et le reste de la faune, et présente des failles au long terme entraînant le plus souvent un développement dans les années qui suivent d'un nombre plus important de méduses. Ces dernières pourraient-elles être utilisées et valorisées par l'homme ?

2) Vers une utilisation des méduses

a) Une source d'eau et de gestion de l'eau

Depuis l'antiquité l'homme est confronté sur les plages aux échouages de méduses. Certains ont eu l'idée d'utiliser les méduses comme réserve d'eau pour les plantations notamment les vignes. Ainsi en Charente est utilisée depuis longtemps la méduse *Rhizostoma octopus*. Cette dernière contient près de 80 kg d'eau. Elle est enterrée dans un trou à la base du pied de vigne, l'eau percole ensuite (Goy, 2016).

Cette utilisation surprenante des méduses peut être la clef pour pallier au manque d'eau à venir des cultures en lien avec le réchauffement climatique et l'intensification des cultures.

Certaines usines de désalinisation sont actuellement en recherche pour transformer les méduses en eau douce et utiliser les résidus de matière sèche comme engrais pour les cultures.

Les moustiques prolifèrent notamment par l'intermédiaire des mares d'eaux stagnantes. Ces réserves d'eau font l'aubaine des larves des moustiques qui y prolifèrent. L'une des solutions, en plus de supprimer ces réserves d'eau stagnantes, serait d'ajouter à ces plans d'eau des prédateurs des larves de moustiques. On envisageait jusque-là des poissons. Mais ces derniers peuvent se révéler difficiles à maintenir en vie dans des conditions environnementales souvent difficiles et avec peu de nourriture à leur disposition pour leurs formats. L'utilisation de méduse d'eau douce peut être une solution ! Ainsi *Craspedacusta sowerbii* peut répondre à ce cahier des charges. Ces polypes s'enkystent le plus souvent sur les pattes des oiseaux et peuvent donc facilement se disséminer à travers de nombreux plans d'eaux (Goy and Calcagno, 2014). Une invasion par ce moyen de transport peut être envisageable.

b) Méduse, médecine et recherche

Les méduses ont permis une avancé fulgurante dans le domaine de la recherche et de la médecine, au point d'être à l'origine de deux prix Nobel.

i. *Choc anaphylactique*

On ne peut parler de méduse sans parler de l'anaphylaxie. Tout commence avec les campagnes en mer du prince Albert Ier de Monaco. Ce dernier a au cours du XXème siècle effectué des campagnes en mer afin d'en étudier sa faune et sa flore. Son intérêt se porte au cours d'une de ces campagnes sur un siphonophore, la physalie ou galère portugaise. Cette dernière se compose d'une sorte de flotteurs principales d'une couleur bleutée duquel partent des grands filaments urticants à la pique plus que douloureuse. Les différents marins qui ont pu être confrontés à la pique de physalie rapportent tous la même chose : plus ils se font piquer, plus leur sensibilité s'accroît. Cela va à l'encontre du principe de vaccination et de phylaxie attendu. L'anaphylaxie est alors découverte (Taylor, 2016). Le prince testera sur différents animaux embarqués ce phénomène. C'est Charles Richet qui en 1913 recevra le prix Nobel de médecine et de physiologie sur ces travaux sur l'anaphylaxie. Les cnidaires ont permis sa mise en évidence (Kawakami and Taga, 2018).

ii. *Fluorescéine :*

Parmi les nombreuses espèces de méduses existantes certaines sont capables d'émettre de la lumière. La lumière est émise, comme pour de nombreuses espèces aquatiques et des profondeurs, par l'oxydation d'une substance particulière par une enzyme. Ce mécanisme serait utilisé dans un but reproductif, de chasse, ou contre certains prédateurs. Les méduses selon leurs espèces émettent sur un large spectre : *Periphylla* entre 470 et 570 nm, *Aequorea* entre 508 et 518 nm...

Entre la mise en évidence de ce phénomène singulier et son utilisation il n'y a qu'un pas. Il a été franchi par un scientifique japonais, Osamu Shimomura en 1960. Il a mis en évidence la protéine responsable de l'émission de lumière chez la méduse *Aequorea victoria* qu'il a nommé Green Fluorescent Proteine (GFP). Lui et son équipe ont reçu le prix Nobel de chimie en 2008 pour leurs travaux (Shimomura, 2005).

Cette protéine est composée de 238 acides aminés et lors de son exposition aux ultra-violets émet une fluorescence verte. Son utilisation en médecine a permis de grandes avancées. Elle a autorisé notamment le suivi de tumeur par marquage cellulaire chez des souris sans avoir à tuer l'individu. Actuellement la maîtrise de cette protéine est telle que les scientifiques ont pu créer une véritable palette de couleur différentes permettant de suivre différentes populations cellulaires.

iii. *Méduse et cellule souche et médicaments :*

La méduse comme médicament. Cette association peut sembler surprenante et étrange mais elle est pourtant bien pratiquée notamment en Asie depuis des milliers d'années. Les méduses auraient une action sur l'arthrite, l'hypertension, les douleurs notamment au niveau du dos et de l'appareil digestif, et seraient même un remède contre la fatigue passagère.

Le médicament « méduse » est aussi utilisé dans le reste du globe, notamment en Norvège où des cataplasmes d'*Aurelia aurita* sont utilisés pour lutter contre les rhumatismes.

Le venin de méduse peut être également remède. Comme pour de nombreux toxiques tout est question de dose. A faible dose une action curative peut être observée, à forte dose c'est une action toxique que l'on observe. Ainsi le venin de *Pelagia noctiluca*, méduse urticante que l'on retrouve principalement en Méditerranée peut aussi fluidifier le sang, et avoir même une action anti bactérienne. De même le venin d'*Aurelia aurita* aurait par l'intermédiaire de l'auréline une protéine présente dans sa composition, une efficacité contre les staphylocoques dorés.

La lutte ne s'arrête pas aux bactéries. La méduse *Diazona chinensis* produit la diazomide, substance anti cancéreuse (Goy and Calcagno, 2014).

c) Méduse et cosmétique

Le collagène est une protéine constituant essentiel de toute matrice cellulaire. Pas loin de 29 types de collagènes ont été mis en évidence actuellement. Cette protéine se caractérise par une résistance à la traction, sa place au cœur du processus de cicatrisation et son inextensibilité.

Les méduses possèdent en grande partie du collagène de type V. Ce collagène est utilisé par l'homme. Il est issu principalement de *Rhizostoma octopus*. Ce collagène est presque similaire au collagène embryonnaire humain.

Son utilisation a depuis une dizaine d'année bondi : fausse peau pour les grands brûlés, et antiride efficace. L'industrie cosmétique poursuit encore des recherches sur le collagène et la matrice des méduses pour ses propriétés cicatrisantes et anti vieillissement de la peau. Ce collagène, en plus d'être aussi bien toléré que celui de bœuf ou de porc (Widdowson et al., 2017), ne présente aucun risque infectieux comme l'encéphalite spongiforme bovine (Widdowson et al., 2017).

d) Méduse et alimentation

De prime abord la méduse comme aliment potentiel peut sembler peu convaincante. Sa composition tout d'abord. Enormément d'eau et très peu de matière sèche. Peu de nutriment disponible donc !

Néanmoins quelques espèces sont consommées. C'est le cas de *Rhopilema esculentum* et *Stomolophus meleagris*. Les pays principaux consommateurs sont en Asie, le Japon en tête.

Dès lors la pêche de méduses comestibles s'est développée dans de nombreux pays pour répondre à la demande ; Le phénomène a réellement pris de l'ampleur dans les années 1970, dominés par l'Australie, le Royaume Unis, les Etats Unis, le Canada...Près de 450 000 tonnes ont été pêchées en 2011, pour un marché qui pèse près de 25 millions de dollars actuellement.

En plus de la pêche, l'élevage de méduses s'est développé mais plus tardivement. En effet il faut pour se faire, connaître en détail le cycle de vie des espèces élevées et les paramètres permettant leur croissance (salinité, température, type de nourriture par stade...) (Edwards et al., n.d.).

L'un des plus grands élevages présents actuellement se situe en Chine dans la baie de Liaodong. *Rhopilema* y est élevée en nombre. Cette décision a été prise par les autorités lorsque la qualité des eaux de la baie s'est effondrée. Le nombre de poissons a chuté drastiquement poussant les pêcheurs à essayer de trouver de nouvelles activités. *Rhopilema* a donc été introduite en masse dans la baie et y est élevée. Le pourcentage de perte est élevé, 80% des individus, mais les méduses sont à la fois consommées et utilisées en médecine, augmentant le marché et leur valorisation. Ce type d'élevage a sauvé l'économie de la zone, mais a sûrement condamné la baie au long terme. On n'y trouve quasiment plus de poissons. La zone a diminué dans son apport nutritif, passant d'animaux riches en protéines, à des animaux très riches en eaux.

Les méduses peuvent intervenir dans de nombreux domaines : médecine, recherche, nourriture, crise de l'eau... La recherche sur leur potentiel semble infinie ! Elle est actuellement un grand sujet. Elle permet également de mieux les connaître, ainsi que leur mode de vie et leur biologie propre. Mais quelles solutions pour endiguer une trop grande prolifération ?

3) Un changement de comportement face aux bouleversements écologiques et climatiques

a) Rétablir l'équilibre

Le bouleversement de l'équilibre fragile des océans a profité aux méduses et à leur pullulation. La modification des paramètres de l'environnement, des chaînes alimentaires et du milieu a entraîné des modifications bien supérieures à celles qui pouvaient être envisageables ou prédictibles. Tout l'équilibre des océans est actuellement mis à mal. C'est cet équilibre qu'il faut essayer de reconstruire. Il faudrait redonner aux océans le temps de se reconstruire et de se remettre des activités humaines, telles que la pêche, la pollution. Sans cet équilibre et la balance entre les espèces, les méduses avec leur mode de vie et de fonctionnement, leur capacité d'adaptation, vont continuer à se multiplier. Certains scientifiques parlent même d'océan de gelée pour 2050. La difficulté réside dans l'effort qui doit être global, planétaire. Une action à un certain endroit ne suffira pas à endiguer le problème. D'autres méduses pourront pulluler à l'autre bout du globe.

Le problème de cette pullulation peut aisément se comparer à un iceberg. On ne voit qu'une toute petite partie de son envergure. Les décennies de bouleversement se payent également sous la surface. Un nombre incalculable de polypes sont en latence ou développement sur les fonds océaniques et les déchets plastiques présents dans les eaux du globe. Dans l'hypothèse où demain tout bouleversement néfaste s'arrêterait, il faudrait des décennies pour que le problème s'enraye, s'il le peut encore... Le nombre de polypes présents pourrait assurer la pérennité de nombreuses espèces malgré des conditions de vie moins propices, attendant le retour des beaux jours.

Rétablir l'équilibre est primordial pour essayer de ralentir et d'arrêter cette prolifération à outrance. Le chantier est énorme et touche toutes les activités maritimes humaines (Richardson et al., 2009).

b) Vers une pêche durable et respectueuse

Dans le passé, le mythe de l'océan comme réserve inépuisable était bien présent. L'homme pêchait sans se soucier d'un quelconque impact. Les grandes étendues d'eaux étaient pleines de poissons. Actuellement la filière pêche est en crise. Les stocks s'épuisent. Le mythe s'effondre. Des espèces entières sont proches de l'extinction. C'est l'approche dans son intégralité qui est à revoir. Depuis quelques années les mentalités changent. Des quotas de pêche sont fixés notamment par l'Union Européenne. Ces derniers sont revus tous les dix ans. Hélas ils sont la plupart du temps en retard par rapport à la réalité de terrain, ou interviennent juste à temps pour sauver une espèce de l'extinction.

En 1970, la FAO a créé un indicateur le RMD ou Rendement Maximal Durable. Il correspond à la quantité de biomasse qui peut être pêchée au long terme en moyenne d'un stock de poisson sans altérer ses capacités de renouvellement et de reproduction. Cet indicateur a permis de réduire la pêche d'espèces menacées, mais a entraîné la surpêche d'autres dont le RMD était loin d'être atteint, entraînant une disparition de ces dernières (Goy and Calcagno, 2014).

La notion de quotas est définie par espèce. Mais ne serait pas une erreur ? En effet toutes les espèces définissent un écosystème et donc un équilibre fragile. La disparition de certaines de cet équilibre ou leur raréfaction peut être néfaste à l'ensemble. Il nous faudrait avoir une vision globale du fonctionnement pour essayer de prédire l'impact de la pêche de telle ou telle espèce, recul et connaissance que nous n'avons pas actuellement. C'est donc un problème de fuite en avant. Une dualité entre survie économique des filières et des activités de pêche et préservation des stocks pour les années à venir.

c) Une fin de la pollution bénéfique aux méduses

La pollution des océans a de nombreux visages. On pense bien évidemment à tous les déchets charriés par les fleuves ou les égouts, déversés directement dans les océans. Les continents de plastiques en sont une démonstration flagrante. Il faut noter que de nombreuses stations balnéaires se sont équipées de programme de nettoyage des océans pour assurer une préservation de leur environnement. Mais là encore une action locale, bien que bénéfique, n'a que peu d'impact sur la totalité des eaux du globe.

Les rejets d'engrais et produits chimiques jouent également un rôle prépondérant dans la pollution. Les marées vertes, et la multiplication d'algues et organismes opportunistes en sont un exemple. Une fois ces « nuisibles » installés il est difficile de les déloger et d'inverser la tendance.

Plus pernicieux encore, une nouvelle pollution a été mise en évidence depuis quelques années. Les médicaments, perturbateurs endocriniens et autres hormones, modifient le fonctionnement de la faune marine. Ils vont agir sur les cycles de reproduction des différentes espèces et bouleverser encore une fois l'équilibre. Bien que des traitements et stations d'épurations existent, ces dernières ne prennent pas en compte toutes les molécules qui peuvent être incriminées, alors que la science actuelle permettrait leur prise en charge notamment par filtration sur membrane.

Au-delà même de tous produits, le réchauffement climatique pollue les océans et les bouleverse également. Les émissions de dioxyde de carbone entraînent une acidification des océans avec des actions sur toutes la faune et la flore, notamment le corail. Là encore, l'action doit être globale et généralisée. Au réchauffement global, s'ajoute celui des centrales et autres activités côtières entraînant un réchauffement localisé des eaux du globe.

La lutte contre les méduses paraît donc mal engagée. Elle repose sur une action globale et conjointe. La diminution de la surpêche, le contrôle de la pollution, et le rétablissement de l'équilibre des océans et de leurs écosystèmes sont primordiaux. Il faut endiguer le phénomène avant le point de non-retour. Mais ce point peut déjà avoir été franchi à notre insu. Cet effort doit être planétaire, afin d'assurer un océan dans lequel tout homme pourrait nager sans croiser 10 méduses par mètre.

CONCLUSION

Le terme méduse englobe une grande diversité d'espèces et d'organismes. D'apparente fragilité, la méduse est une prédatrice née, aux capacités d'adaptation extraordinaire.

Depuis de nombreuses années sa pullulation et ses blooms inquiètent. Ils sont de plus en plus étudiés. Le phénomène apparait mondial. Une cyclicité émerge. De nombreux facteurs entrent en jeu, tel que la température, la salinité, les jeux de courants marins, les vents. Tous ces phénomènes influent sur la présence des méduses sur les côtes. Dès lors, une rencontre avec un carnivore domestique sur une plage par exemple peut survenir. La plupart du temps, l'ingestion a lieu entraînant des vomissements et de l'abattement. Un traitement symptomatique suffit à enrayer le processus.

Mais les blooms restent un problème majeur, tant pour les activités côtières que l'équilibre des océans. Une saisonnalité se dégage dans leurs apparitions. Ils vont être plus nombreux dans les mois chauds selon l'hémisphère considéré. La grande diversité d'espèces de méduses, leur capacité d'adaptation à chacune et leurs conditions de vie optimales, entraînent une présence annuelle de méduses et de blooms dans les eaux du globe.

Les modifications de l'environnement océanique par l'homme se présentent comme une aubaine pour les méduses. Pollution, réchauffement climatique, surpêche, toutes ses activités entraînent des conditions favorables pour les méduses, ou a fortiori, défavorables pour leurs ennemis, leurs laissant une place libre pour se développer.

Mais les méduses peuvent être utiles pour l'homme. La recherche, la médecine, l'agroalimentaire, de nombreuses filières peuvent les utiliser et se servir de leurs nombreuses propriétés.

Il est cependant important de tout faire pour endiguer leurs pullulations. L'invasion a commencé. Elle ne peut être clairement quantifiée. Les méduses peuvent être en latence sous forme de polypes sur les fonds océaniques et bouts de plastiques dérivant dans les océans du globe. L'effort doit être planétaire et conjoint afin d'arrêter toutes formes de détérioration de l'équilibre des océans. Le but est d'empêcher l'installation d'une chaîne trophique que l'on pourrait qualifier de gelée. Les méduses peuvent devenir ou sont déjà pour certains scientifiques, un grand problème pour l'homme et les océans à venir. Il faut tout faire pour éviter cet océan de gelée dans les années à venir. Les efforts doivent se centrer sur la préservation de l'environnement et une recherche toujours plus importante sur les méduses et leurs biologies, qui leurs a permis de maintenir leurs places sur Terre depuis des millions d'années.

BIBLIOGRAPHIE

- Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C., Barlaz, M., 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 1985–1998.
- Baum, J.K., Worm, B., 2009. Cascading top-down effects of changing oceanic predator abundances. *J. Anim. Ecol.* 78, 699–714. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2009.01531.x>
- Baxter, E.J., Walne, A.W., Purcell, J.E., McAllen, R., Doyle, T.K., 2010. Identification of jellyfish from Continuous Plankton Recorder samples. *Hydrobiologia* 645, 193–201. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0212-0>
- Becker, A., Sötje, I., Paulmann, C., Beckmann, F., Donath, T., Boese, R., Prymak, O., Tiemann, H., Epple, M., 2005. Calcium sulfate hemihydrate is the inorganic mineral in statoliths of Scyphozoan medusae (Cnidaria). *Dalton Trans* 1545–1550. <https://doi.org/10.1039/B416246C>
- Berline, L., Zakardjian, B., Molcard, A., Ourmières, Y., Guihou, K., 2013. Modeling jellyfish *Pelagia noctiluca* transport and stranding in the Ligurian Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 70, 90–99. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.02.016>
- Costa, M.F., Barletta, M., 2015. Microplastics in coastal and marine environments of the western tropical and sub-tropical Atlantic Ocean. *Environ. Sci. Process. Impacts* 17, 1868–1879. <https://doi.org/10.1039/C5EM00158G>
- Cyl, C., Hz, C., Na, F., Kc, B., O, Z., 2015. Jellyfish Envenomation Resulting In Vascular Insufficiency And Neurogenic Injury of Upper Limb. *Malays. Orthop. J.* 9, 49–51. <https://doi.org/10.5704/MOJ.1511.007>
- Donghoon, K., Jae-Uk Shin, 2012. Development of Jellyfish Removal Robot System JEROS.
- Donnard, T., n.d. Les proliférations et invasions du zooplancton gélatineux sur les côtes françaises 46.
- Edwards, J., Naidoo, R., Poole, S., n.d. Making the best of the pest that clogs the nets 2.
- Fenner, P.J., Lippmann, J., 2009. Severe Irukandji-like jellyfish stings in Thai waters.
- Ferraris, M., Berline, L., Lombard, F., Guidi, L., Elineau, A., Mendoza-Vera, J.M., Lilley, M.K.S., Taillandier, V., Gorsky, G., 2012. Distribution of *Pelagia noctiluca* (Cnidaria, Scyphozoa) in the Ligurian Sea (NW Mediterranean Sea). *J. Plankton Res.* 34, 874–885.
- Gehlen, M., Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Mediterranee- CIESM, M., 2008. Biogeochemical impacts of ocean acidification-emphasis on carbonate production and dissolution, in: CIESM Workshop Monographs. CIESM, Monaco.
- Gemmell, B.J., Bacosa, H.P., Liu, Z., Buskey, E.J., 2016. Can gelatinous zooplankton influence the fate of crude oil in marine environments? *Mar. Pollut. Bull.* 113, 483–487. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.065>
- Gershwin, L.-A., 2016. Jellyfish: A Natural History, illustré. ed. University of Chicago Press.
- GOFFART, J.-H.H.A., COLLIGNON, A., PLAZZA, S., DEFREYNE, P.S., LEJEUNE, P., n.d. La variabilité de la méduse *Pelagia noctiluca* (Forskål, 1775) en Baie de Calvi (Corse) en relation avec l'environnement 53.
- Gordon, T.A.C., Harding, H.R., Clever, F.K., Davidson, I.K., Davison, W., Montgomery, D.W., Weatherhead, R.C., Windsor, F.M., Armstrong, J.D., Bardonnnet, A., Bergman, E., Britton, J.R., Côté, I.M., D'agostino, D., Greenberg, L.A., Harborne, A.R., Kahilainen, K.K., Metcalfe, N.B., Mills, S.C., Milner, N.J., Mittermayer, F.H., Montorio, L., Nedelec,

- S.L., Prokkola, J.M., Rutterford, L.A., Salvanes, A.G.V., Simpson, S.D., Vainikka, A., Pinnegar, J.K., Santos, E.M., 2018. Fishes in a changing world: learning from the past to promote sustainability of fish populations: FISHES IN A CHANGING WORLD. *J. Fish Biol.* 92, 804–827. <https://doi.org/10.1111/jfb.13546>
- Goy, J., 2016. Les méduses et l'Histoire 3. L'histoire n 424.
- Goy, J., Calcagno, R., 2014. Méduses: à la conquête des océans, Editions du Rocher. ed.
- Goy, J., Morand, P., Etienne, M., 1989. Long-term fluctuations of *Pelagia noctiluca* (Cnidaria, Scyphomedusa) in the western Mediterranean Sea. Prediction by climatic variables. *Deep Sea Res. Part Oceanogr. Res. Pap.* 36, 269–279.
- Goy, J., Toulemont, A., 1997. Méduses, Musée océanographique. ed, Abysses.
- Haddock, S.H.D., 2007. Comparative feeding behavior of planktonic ctenophores. *Integr. Comp. Biol.* 47, 847–853. <https://doi.org/10.1093/icb/icm088>
- Hammill, E., Johnson, E., Atwood, T.B., Harianto, J., Hinchliffe, C., Calosi, P., Byrne, M., 2018. Ocean acidification alters zooplankton communities and increases top-down pressure of a cubozoan predator. *Glob. Change Biol.* 24, e128–e138. <https://doi.org/10.1111/gcb.13849>
- Holst, S., Sötje, I., Tiemann, H., Jarms, G., 2007. Life cycle of the rhizostome jellyfish *Rhizostoma octopus* (L.) (Scyphozoa, Rhizostomeae), with studies on cnidocysts and statoliths. *Mar. Biol.* 151, 1695–1710. <https://doi.org/10.1007/s00227-006-0594-8>
- Ivar do Sul, J.A., Costa, M.F., 2014. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. *Environ. Pollut.* 185, 352–364. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.036>
- Kang, C., Munawir, A., Cha, M., Sohn, E.-T., Lee, H., Kim, J.-S., Yoon, W.D., Lim, D., Kim, E., 2009. Cytotoxicity and hemolytic activity of jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae) venom. *Comp. Biochem. Physiol. Part C Toxicol. Pharmacol.* 150, 85–90. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2009.03.003>
- Kawakami, Y., Taga, S., 2018. Anaphylaxis due to ingestion of jellyfish with possible evidence of epicutaneous sensitization. *J. Dermatol.* 45, e23–e24. <https://doi.org/10.1111/1346-8138.14042>
- Leclère, L., Röttinger, E., 2017. Diversity of Cnidarian Muscles: Function, Anatomy, Development and Regeneration. *Front. Cell Dev. Biol.* 4. <https://doi.org/10.3389/fcell.2016.00157>
- Lecointre, G., Le Guyader, H., 2001. Classification phylogénétique du vivant. Belin.
- Lilley, M.K.S., Elineau, A., Ferraris, M., Thiery, A., Stemmann, L., Gorsky, G., Lombard, F., 2014. Individual shrinking to enhance population survival: quantifying the reproductive and metabolic expenditures of a starving jellyfish, *Pelagia noctiluca*. *J. Plankton Res.* 36, 1585–1597. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbu079>
- Lucas, Cathy H., Condon, R.H., Duarte, C.M., Graham, W.M., Robinson, K.L., Pitt, K.A., Schildhauer, M., Regetz, J., 2014. JeDI (Jellyfish Database Initiative): a new open-access gelatinous plankton database 2.
- Lucas, Cathy H., Gelcich, S., Uye, S.-I., 2014. Living with Jellyfish: Management and Adaptation Strategies, in: Pitt, K.A., Lucas, C.H. (Eds.), *Jellyfish Blooms*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 129–150. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7015-7_6
- Lucas, C.H., Graham, W.M., Widmer, C., 2012. Jellyfish Life Histories: Role of Polyps in Forming and Maintaining *Scyphomedusa* Populations, in: *Advances in Marine Biology*. Elsevier, pp. 133–196. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394282-1.00003-X>
- LURTON, X., 2007. Analyse des risques pour les mammifères marins liés à l'emploi des méthodes acoustiques en océanographie 88.
- Marshall, A., 2010. Stinging Season: Can We Learn to Love the Jellyfish? *Time*.

- Martin, V.J., 2002. Photoreceptors of cnidarians. *Can. J. Zool.* 80, 1703–1722. <https://doi.org/10.1139/z02-136>
- Mills, C.E., 2001. Jellyfish blooms: are populations increasing globally in response to changing ocean conditions? *Hydrobiologia* 451, 55–68.
- Nagelkerken, I., Pitt, K.A., Rutte, M.D., Geertsma, R.C., 2016. Ocean acidification alters fish–jellyfish symbiosis. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 283, 20161146. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.1146>
- O'Connor, I.A., Golsteijn, L., Hendriks, A.J., 2016. Review of the partitioning of chemicals into different plastics: Consequences for the risk assessment of marine plastic debris. *Mar. Pollut. Bull.* 113, 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.07.021>
- Özbek, S., Balasubramanian, P.G., Holstein, T.W., 2009. Cnidocyst structure and the biomechanics of discharge. *Toxicon* 54, 1038–1045. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2009.03.006>
- Piraino, S., Boero, F., Aeschbach, B., Schmid, V., 1996. Reversing the Life Cycle: Medusae Transforming into Polyps and Cell Transdifferentiation in *Turritopsis nutricula* (Cnidaria, Hydrozoa). *Biol. Bull.* 190, 302–312. <https://doi.org/10.2307/1543022>
- Richardson, A.J., Bakun, A., Hays, G.C., Gibbons, M.J., 2009. The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to a more gelatinous future. *Trends Ecol. Evol.* 24, 312–322. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.01.010>
- Rilov, G., Galil, B., 2009. Marine bioinvasions in the Mediterranean Sea—history, distribution and ecology, in: *Biological Invasions in Marine Ecosystems*. Springer, pp. 549–575.
- Shimomura, O., 2005. The discovery of aequorin and green fluorescent protein. *J. Microsc.* 217, 3–15. <https://doi.org/10.1111/j.0022-2720.2005.01441.x>
- Taylor, S., 2016. The Unexpected Discovery of Anaphylaxis, How the sting of the Portuguese man-of-war led to one of the most significant medical advances rooted in oceanographic work. *Hakai Mag.*
- Vandendriessche, S., Vansteenbrugge, L., Derweduwen, J., Maelfait, H., Hostens, K., 2016. Jellyfish jelly press and jelly perception. *J. Coast. Conserv.* 20, 117–125. <https://doi.org/10.1007/s11852-016-0423-2>
- Widdowson, J.P., Picton, A.J., Vince, V., Wright, C.J., Mearns-Spragg, A., 2017. *In vivo* comparison of jellyfish and bovine collagen sponges as prototype medical devices: *IN VIVO COMPARISON OF JELLYFISH AND BOVINE COLLAGEN SPONGES*. *J. Biomed. Mater. Res. B Appl. Biomater.* <https://doi.org/10.1002/jbm.b.33959>
- Yoon, W.D., Yang, J.-Y., Shim, M.B., Kang, H.-K., 2007. Physical processes influencing the occurrence of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae) around Jeju Island, Korea. *J. Plankton Res.* 30, 251–260. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbm102>

DELEFORTERIE Yves

PULLULATION DES MEDUSES : CAS D'INTOXICATION DES CARNIVORES DOMESTIQUES, CAUSES ET LOCALISATIONS SPATIO TEMPORELLES, DISCUSSION DES MODELES DE PREVISION

Thèse d'Etat de Doctorat Vétérinaire : Lyon, 12 octobre 2018

RESUME :

La pullulation des méduses est un phénomène observé depuis de nombreuses années dans les mers du globe. Sa fréquence s'est amplifiée depuis quelques années. La probabilité de rencontre entre carnivores domestiques et méduses également.

Nous nous intéressons ici au cas d'intoxication des carnivores domestiques par les méduses. Les données du Centre National d'Informations Toxicologiques Vétérinaire (CNITV) et du Centre Antipoison Animal et Environnemental de l'Ouest (CAPAE Ouest), révèlent des symptômes majoritaires : Vomissement, changement de comportement, hypersalivation et douleur représentent à eux seuls près de 50% des symptômes observés (n=63/111). Une temporalité d'apparition se dégage. Les mois plus chauds présentent une fréquence accrue de méduses et de blooms. Ces observations ont été appuyées par l'étude de deux bases de données mondiales : Jellywatch et JeDI. Quelle que soit l'hémisphère, les mois d'été présentent un relevé de méduses plus élevé. Une saisonnalité d'apparition a été mise en évidence.

L'action de l'homme sur les océans semble expliquer en partie cette recrudescence de blooms. Pollution, surpêche, réchauffement climatique, favorisent le développement des méduses et leur cycle de vie au détriment du reste de la faune. Néanmoins, cet envahisseur peut être bénéfique pour l'homme. De nombreuses recherches ont permis d'extraire des méduses des propriétés extraordinaires dans les domaines de la médecine, et de la recherche.

Endiguer le phénomène de pullulation nécessite un effort global sur les océans, et une gestion plus écologique et durable, mais aussi une recherche accrue sur les méduses et leur mode de vie et fonctionnement.

MOTS CLES :

- carnivores domestiques	-intoxication
- reproduction	-méduses

JURY :

Président :	Monsieur le Professeur CALENDER Alain
1er Assesseur :	Monsieur le Professeur BERNY Philippe
2ème Assesseur :	Monsieur le Professeur HUGONNARD Marine

DATE DE SOUTENANCE : 12 octobre 2018