



HAL
open science

On the presence of the basking shark *Cetorhinus maximus* (Chondrichthyes, Cetorhinidae) in front of the French Mediterranean coast

Tanguy Carpaye-Taïlamée

► To cite this version:

Tanguy Carpaye-Taïlamée. On the presence of the basking shark *Cetorhinus maximus* (Chondrichthyes, Cetorhinidae) in front of the French Mediterranean coast. *Marine life*, 2019, pp.1-15. hal-04055446

HAL Id: hal-04055446

<https://hal.science/hal-04055446>

Submitted on 2 Apr 2023

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Sur la présence du requin pèlerin *Cetorhinus maximus* (Chondrichthyes, Cetorhinidae) devant la côte méditerranéenne française

Tanguy Carpaye-Tailamée

Université de Montpellier

Corresponding author: tanguy.carpaye-tailamee@etu.umontpellier.fr

Abstract

Carpaye-Tailamée T. – On the occurrence of the basking shark *Cetorhinus maximus* (Chondrichthyes, Cetorhinidae) off the French Mediterranean coast. *marinelife-revue.fr*, 2019.

The observations of basking sharks (*Cetorhinus maximus*) along the coast of South France are neither regular nor abundant, despite the presence of a phytoplankton annual growth. The spring of 2017 was characterized by many observations on a short period, most of them were made in the west side of Gulf of Lion. We have studied the evolution of the chlorophyll-a concentration of the Gulf of Lion, the unique bioregion of non-coastal Mediterranean bloom, which is the north-west bloom bioregion. These observations are significantly correlated with a regional concentration in chlorophyll-a lower than the normal. They are also correlated with a higher phytoplanktonic development in the Gulf of Lion than in the Liguro-Provençal basin where the annual bloom takes place. A relationship may exist with the distance to the zone of the bloom extinction. Those elements conducted to a hypothesis of "profitable sharks". These animals would come every year to feed themselves offshore the French coast. However, due to the premature extinction of the bloom in spring 2017, the animals searched for sectors with the highest energetic profitability from the zone of bloom extinction. They left again at the last weeks following its extinction. The implication of global warming in the 2017 environmental anomaly phenomenon seems likely but is not demonstrated.

KEY-WORDS :

Basking sharks, Mediterranean sea, plankton, chlorophyll-a, anomaly

Résumé

Carpaye-Tailamée T. – Sur la présence du requin pèlerin *Cetorhinus maximus* (Chondrichthyes, Cetorhinidae) devant la côte méditerranéenne française. *marinelife-revue.fr*, 2019.

Les observations de requins pèlerins (*Cetorhinus maximus*) le long de la côte du sud de France ne sont pas régulières ou nombreuses malgré la présence d'un phénomène de développement phytoplanctonique annuel. Le printemps 2017 a été caractérisé par de nombreuses observations sur une période de temps restreinte, réparties pour la majorité sur la partie ouest du Golfe du Lion. Nous avons étudié l'évolution de la concentration en chlorophylle-a du Golfe du Lion et de la seule biorégion de bloom non-côtier de Méditerranée qui est la biorégion bloom-north-west. Les observations sont corrélées significativement à une concentration régionale en chlorophylle-a plus faible que la normale. Elles sont aussi corrélées à un développement phytoplanctonique plus important dans le Golfe du Lion que dans le Bassin Liguro-Provençal, où se déroule le bloom annuel. Une relation pourrait exister avec la distance par rapport à la zone de disparition du bloom. Ces éléments nous ont amené à élaborer une hypothèse dite des « requins rentables ». Ces animaux viendraient tous les ans se nourrir au large des côtes françaises mais en raison de la fin précoce du bloom du printemps 2017, ils ont recherché des secteurs à meilleures rentabilités énergétiques proche de la zone de disparition du bloom. Les individus ont ensuite quitté les côtes françaises dans les premières semaines suivant la fin du bloom annuel. L'implication du réchauffement climatique dans le phénomène d'anomalie environnementale de 2017 semble probable mais n'est pas démontrée.

MOTS CLÉS :

Requins pèlerins, Méditerranée, plancton, chlorophylle-a, anomalie.

Introduction

Le nombre de requins pèlerins observés simultanément est variable à travers le monde, ainsi il est possible de rencontrer des individus isolés, voir des agrégations rarissimes dépassant le millier d'individus (**Crowe et al., 2018**). La diversité génétique de cette espèce est connue pour être faible (**Hoelzel et al., 2007**) et le nombre total des individus a supposément diminué en raison de la pêche historique subie pour l'huile ou la chair de cet animal (**Bonfil, 1994**). Le requin pèlerin est une espèce signalée en Méditerranée de manière sporadique dont les déplacements pourraient correspondre à des phénomènes de développement planctonique (**Mancusi et al., 2005**). Ainsi, le deuxième plus grand poisson au monde a déjà été observé au large des côtes syriennes (**Ali et al., 2012**), au large des côtes du Maghreb (**Bradaï and Ghorbel, 1992; Capapé et al., 2003**), dans la mer Ligure (**Serena et al., 2000**), en mer Tyrrhénienne (**De Sabata and Clò, 2010**), mais aussi en mer Adriatique (**Soldo et al., 2008; Carlucci et al., 2014**). Des zones sont mêmes connues pour être fréquentées saisonnièrement par l'espèce notamment au sud de l'Italie (**De Sabata et al., 2014**). Il y a déjà eu des observations anormalement nombreuses en Méditerranée, comme en Mer adriatique en 2001 (**Zuffa et al., 2001**). Ces animaux sont parfois capturés accidentellement dans des filets de pêche (**Mancusi et al., 2005**) mais cette espèce est protégée dans les eaux de l'Union Européenne (**Communauté Européenne, 2007; Mancusi et al., 2005**). Nous ne savons pas si les requins pèlerins de Méditerranée constituent une population isolée de l'Atlantique.

Un nombre anormalement élevé d'observations de requins pèlerins a été signalé devant la côte de Méditerranée française au printemps 2017. Une association a été supposée entre le développement planctonique et la présence de cette espèce (**Sims and Quayle, 1998**), notamment en raison de la proximité à la seule biorégion de bloom non-côtier en Méditerranée (**Lavigne, 2013**).

Nous avons fait plusieurs hypothèses pour expliquer une répartition des observations hypothétiquement liée à un déplacement d'individus depuis des zones de nourrissage annuelles. Celles-ci pourraient être corrélées à une concentration moyenne en chlorophylle-a inférieure à la norme sur le secteur du bassin Liguro-Provençal (**Figure 1**). Une présence plus importante dans le Golfe du Lion pourrait être liée au développement planctonique de cette zone. Enfin, nous avons supposé que le nombre d'observations pourrait diminuer avec la distance à la zone d'extinction du bloom.

Material and methods

Observations des requins pèlerins

Le requin pèlerin est une espèce rarement observée en Méditerranée française, avec un faible nombre de signalements par année (**Mancusi et al., 2005**). Cependant, l'année 2017 a été caractérisée par un nombre d'observations important (**Tableau 1**). L'intégralité des observations n'a pas été recueillie, à cause d'un nombre plus ou moins grand des structures ayant archivé les témoignages, au non-report des observations, et à la difficulté d'observer ces animaux. Nous avons répertorié vingt-et-une observations différentes, s'étalant sur une période allant de début avril à début juin dont la majorité se répartit sur le mois d'avril et au niveau de la côte ouest du Golfe du Lion, en Méditerranée française (**Figure 1**).

Les assemblages d'animaux étaient variés; des signalements faisaient états de groupes tandis que la plupart des observations avaient été faites sur des individus isolés. Les tailles des animaux étaient aussi variables. Les observations étaient généralement courtes, mais un signalement du 12 avril est caractérisé par un suivi de 40 minutes d'un individu qui est rejoint par un second. Les observations sont généralement accompagnées de photos ou de vidéos permettant l'identification certaine de cette espèce. Cependant, les tailles et les dates de certains signalements n'ont pas pu être confirmées.

Les données d'observation des requins pèlerins ont été recueillies auprès des journaux, de sites internet journalistiques ou encore sur les réseaux sociaux accompagnés de photos et de vidéos (**Figure 3**). En effet, les observations sont généralement relayées par les médias avant que les structures d'études ne soient prévenues. Mais c'est avant tout grâce à la participation bénévole de différents acteurs, tels que des structures associatives ou des entreprises privées, que les observations sont recueillies. La majorité des observations ont été faites par des personnes du grand public comme des pêcheurs sportifs et plaisanciers. Certains signalements sont issus de l'association BREACH, de Découverte du vivant et de Navivoile, avec notamment des personnes travaillant quotidiennement avec les cétacés en tant que guides naturalistes. Un spécimen mort dont la carcasse s'est échouée à de nombreuses reprises a également été signalé à Leucate, référencé une seule fois dans la liste des observations présentées ici.

Il est admis que la présence des requins pèlerins est liée à des phénomènes de haute production biologique (**Sims and Quayle, 1998; Mancusi et al., 2005**). Ainsi, les valeurs de concentration en zooplancton comme

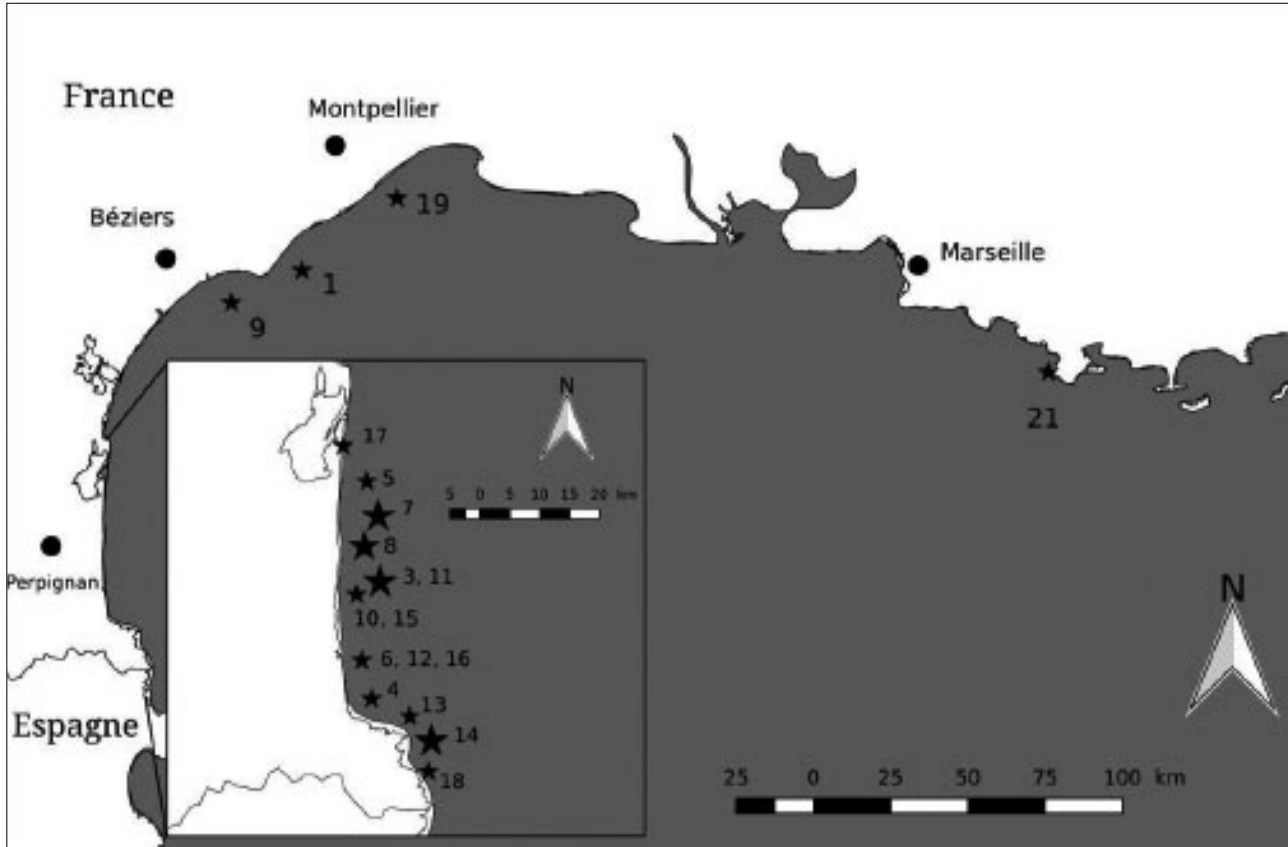


Figure 1

Répartition spatiale des observations de requins pèlerins effectuées durant le printemps 2017 dans le golfe du Lion en Méditerranée française. Les petites étoiles représentent les observations d'individus seuls, tandis que les grandes étoiles représentent les observations de groupe d'individus. Une grande partie des observations est concentrée sur la partie ouest du golfe du Lion.

Spatial distribution of basking shark observations made during spring 2017 in the Gulf of Lion in the French Mediterranean sea. Small stars represent observations of single individuals, while large stars represent observations of groups of individuals. Much of the sighting is concentrated on the western part of the Gulf of Lion.

Numéro d'observation	Date	Etat de l'animal	Nombre d'individus	Longueur de l'animal (cm)	Site d'observation	Type d'observateur	Preuve photo ou vidéo	Comportement de filtration
1	08/04/2017	Vivant	1	500	Cap d'Agde (Hérault)	Plaisanciers	Oui	Oui
2	avril 2017	Vivant	2	?	?	Plaisanciers	Oui	?
3	08/04/2017	Vivant	2	400 et 600	Canet-en-Roussillon (Pyrénées-Orientales)	Guide Naturaliste	Oui	Oui
4	09/04/2017	Vivant	1	500	Argelès (Pyrénées-Orientales)	Plaisanciers	Oui	?
5	09/04/2017	Vivant	1	500	Le Barcarès (Pyrénées-Orientales)	Plaisanciers	Oui	Oui
6	09/04/2017	Vivant	1	500	Saint-Cyprien (Pyrénées-Orientales)	Plaisanciers	Oui	Oui
7	12/05/2017	Vivant	6	?	Le Barcarès (Pyrénées-Orientales)	Plaisanciers	Oui	Oui
8	12/04/2017	Vivant	2	500 et 600	Le Barcarès (Pyrénées-Orientales)	Guide Naturaliste	Oui	Oui
9	12/04/2017	Vivant	1	500	Cap d'Agde (Hérault)	Pêcheur professionnel	Non	?
10	13/04/2017	Vivant	1	500	Canet-en-Roussillon (Pyrénées-Orientales)	Guide Naturaliste	Oui	Oui
11	13/04/2017	Vivant	2	Homogène (600)	Canet-en-Roussillon (Pyrénées-Orientales)	Guide Naturaliste	Oui	Oui
12	13/04/2017	Vivant	1	Homogène (600)	Saint-Cyprien (Pyrénées-Orientales)	Guide Naturaliste	Oui	Oui
13	14/04/2017	Vivant	1	500	Collioure (Pyrénées-Orientales)	Guide Naturaliste	Oui	Oui
14	15/04/2017	Vivant	3	Homogène (600)	Cap Béar (Pyrénées-Orientales)	Plaisanciers	Oui	Oui
15	16/04/2017	Vivant	1	600	Canet-en-Roussillon (Pyrénées-Orientales)	Guide Naturaliste	Oui	Oui
16	23/04/2017	Vivant	1	?	Saint-Cyprien (Pyrénées-Orientales)	Plaisanciers	Oui	Oui
17	06/05/2017	Mort	1	400	Plage de Port Leucate (Aude)	Plaisanciers	Oui	?
18	07/05/2017	Vivant	1	400	Banyuls-sur-Mer (Pyrénées-Orientales)	Professionnel Plongé	Oui	Non
19	10/06/2017	Vivant	1	?	Palavas-les-flots (Hérault)	Plaisanciers	Oui	?
20	?	Mort	1	?	?	Pêcheur professionnel	Non	?
21	08/07/2017	Vivant	1	250	Port des embiez (Provence-Alpes-Côte d'Azur)	Capitainerie	Oui	Oui

Tableau 1

Listes des observations de requins pèlerins (*Cetorhinus maximus*) durant l'année 2017 en Méditerranée française.
List of basking shark sightings (*Cetorhinus maximus*) during the year 2017 in the French Mediterranean sea

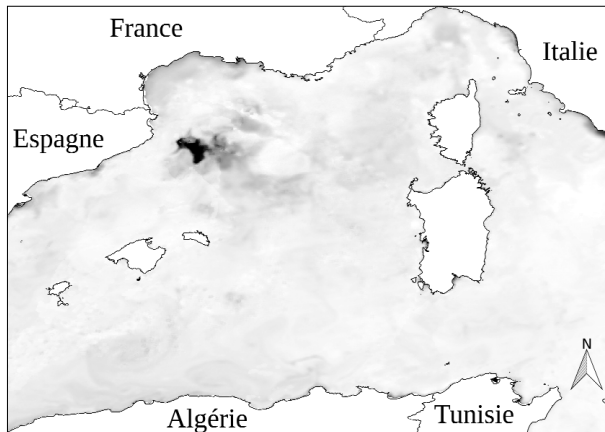


Figure 2

Observation de la chlorophylle-a par satellite le 24 mars 2017 peu avant l'extinction du bloom issu du projet MARC. La concentration en chlorophylle-a est indiquée par les nuances de gris, ainsi un développement phytoplanktonique élevé est caractérisé par une couleur foncée.

Observation of chlorophyll-a by satellite from the MARC project, on March 24, 2017, shortly before the extinction of the bloom. The concentration of chlorophyll-a is indicated by shades of gray; high phytoplankton development is characterized by a darker color.

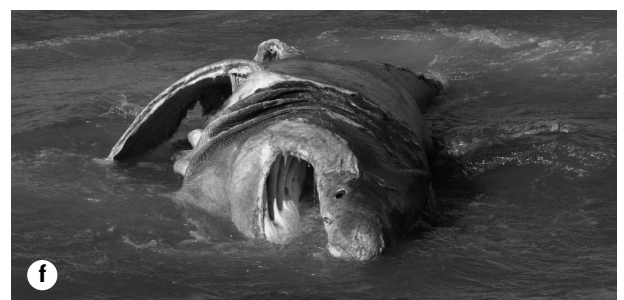
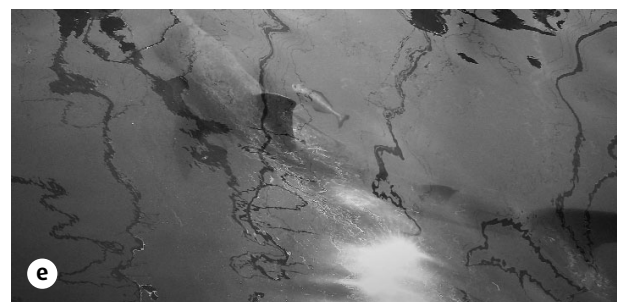
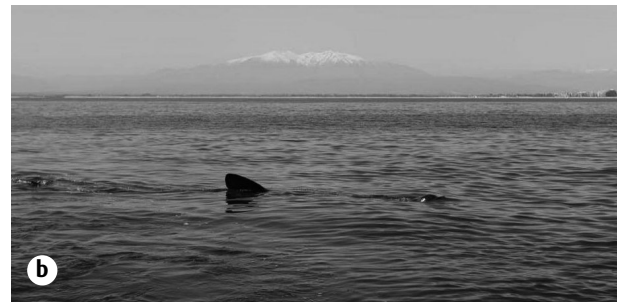


Figure 3 >

Échantillon d'images issu des observations de requins pélerins en 2017 dans le golfe du lion.

- a)** Un individu observé le 9 Avril 2017 qui possédait un comportement de filtration.
- b)** Un individu observé le 13 avril 2017 par l'Association BREACH avec un comportement de filtration.
- c)** Un comportement de filtration observé le 14 avril 2017 par la Compagnie Visionaute.
- d)** Un individu observé le 7 mai 2017 par Aloès plongée sans comportement de filtration.
- e)** Un individu observé dans le port des Embiez par Julie Rouault de la capitainerie de "Les Iles Paul Ricard" le 8 juin 2017, présence d'un comportement de filtration.
- f)** Un individu mort, dont la carcasse était en état de décomposition, observé le 6 mai 2017 par Serge Briez.

Sample of images from basking shark sightings in 2017 in the Gulf of Lion.

- a)** An individual observed on April 9, 2017, who had a filtration behavior.
- b)** An individual observed on April 13, 2017, by the BREACH Association with a filtration behavior.
- c)** A filtration behavior observed on April 14, 2017, by "La compagnie Visionaute".
- d)** An individual observed on May 7th, 2017, by "Aloès plongée" without filtration behavior.
- e)** An individual observed in the port of Embiez by Julie Rouault of the captaincy of "Les Iles Paul Ricard" on June 8th, 2017, the presence of a filtration behavior was confirmed.
- f)** A dead individual, whose carcass was in a state of advanced decomposition, observed on May 6, 2017, by Serge Briez.

les copépodes (Soldo et al., 2008), pourraient être corrélées aux valeurs de concentration en phytoplancton et donc à la concentration de chlorophylle-a observée. Nous avons donc étudié les valeurs de concentration de chlorophylle-a pour établir des corrélations éventuelles. Les données ont été recueillies auprès de l'IFREMER (Ifremer, 2017) avec le projet « Modélisation et Analyse pour la Recherche Côtière » (MARC) pour une zone couverte par les coordonnées géographiques 41°N 2°E et 44°N 8°E (couvrant le Golfe du Lion et une partie du bassin Liguro-Provençal). Les données et les cartes sont obtenues à partir des observations de chlorophylle-a analysées provenant de satellites MERIS (ESA) et MODIS (NASA). Les radiances de sortie d'eau (produits standard L2 des Agences) ont été traitées par l'algorithme OC5 de l'Ifremer (Gohin et al. 2002), nous avons exploité les données avec le logiciel R et le logiciel QGIS.

Cartes de la chlorophylle-a

Les cartes de la chlorophylle-a durant les mois d'avril 2016 et 2017 sont présentées à titre indicatif, elles permettent de se rendre compte de la tendance globale de 2017 par rapport à une année dans les normes.

Tests de Student

Nous avons ainsi étudié les valeurs de la chlorophylle-a d'après les corrélations supposées (Sims and Quayle, 1998) sur une surface englobant le Golfe du Lion et le bassin Liguro-Provençal (DMS et DD 41°N 2°E et 44°N 8°E). Nous avons établi grâce à des tests de Student si les surfaces en km concernées par une concentration en chlorophylle-a égale ou supérieure à 1 µg/l entre le Golfe du Lion et le bassin Liguro-Provençal durant le bloom 2017 étaient significativement différentes, caractérisant la comparaison 1. Nous avons effectué également un test de Student pour savoir si l'évolution de la concentration en chlorophylle-a pour la surface englobant le Golfe du Lion et le bassin Liguro-Provençal durant l'année 2017 était significativement différente de l'évolution moyenne calculée à partir des données de 1998 à 2017. Nous avons effectué ces mêmes tests uniquement sur la durée normale du bloom, nous avons choisi la valeur seuil de 0,4 µg/l pour caractériser l'augmentation de la concentration en chlorophylle-a de la phase de bloom du jour 54 au jour 129 pour la surface étudiée.

Évolution de la concentration en chlorophylle-a

Nous avons présenté sous la forme d'un graphique (Figure 5), les variables concentration moyenne en chlorophylle-a dans le Golfe du Lion et le bassin

Liguro-Provençal durant l'année 2017. Les observations de requins pèlerins ont été associées à leurs dates respectives.

Répartition spatiale des observations

Les mouvements des requins pèlerins sont connus pour être associés aux zones de forte productivité planctonique (Sims et Quayle, 1998). Nous avons également fait des hypothèses sur l'implication d'une anomalie en production primaire qui pourrait avoir causé ces observations. Nous avons utilisé l'image de la chlorophylle-a analysée (Figure 2) pour déterminer la position de cette zone d'extinction que nous avons fixée arbitrairement aux coordonnées DMS 41° 39' N 4° E (DD 41.65N 4E). Les données que nous possédons n'étant issues que des observations faites en France, nous n'avons étudié les valeurs qu'à partir de la frontière franco-espagnole. Nous avons découpé la surface à partir de la zone d'extinction du bloom en tranches de 20 kilomètres. Nous avons établi le nombre d'individus observés dans chacune de ces zones et nous avons divisé cette valeur par le nombre de kilomètres de côte de territoire français, en raison de la distribution des observateurs essentiellement sur la côte. Nous avons également exclu les observations dépassant un délai de deux mois après la disparition du phénomène de bloom. Nous avons effectué un test de Pearson pour tester une corrélation hypothétique avec la distance au bloom et avons édité une courbe de régression.

Tests de corrélation

Nous avons effectué des tests de Kendall et de Pearson visant à établir des éventuelles corrélations entre les observations de requins pèlerins avec des variables environnementales sur la période du bloom et durant l'année 2017 entière. La présence des requins pèlerins étant supposément liée à des phénomènes de production planctonique importante (Sims and Quayle, 1998), nous avons nommé une première condition environnementale comme étant la différence de concentration en chlorophylle-a par rapport à la normale. Ce comportement visant à rechercher les secteurs les plus productifs nous a amené à étudier le développement phytoplanctonique au large et à la côte. En effet, pour entraîner des signalements d'observateurs plus nombreux à la côte, le phénomène phytoplanctonique pourrait être plus avancé dans ces secteurs dans le cas de déplacements de proche en proche des animaux s'orientant vers une optimisation de rentabilité énergétique (Sims, 1999). Ainsi nous avons appelé la condition 2, le ratio de superficie entre le bassin Liguro-Provençal et le Golfe

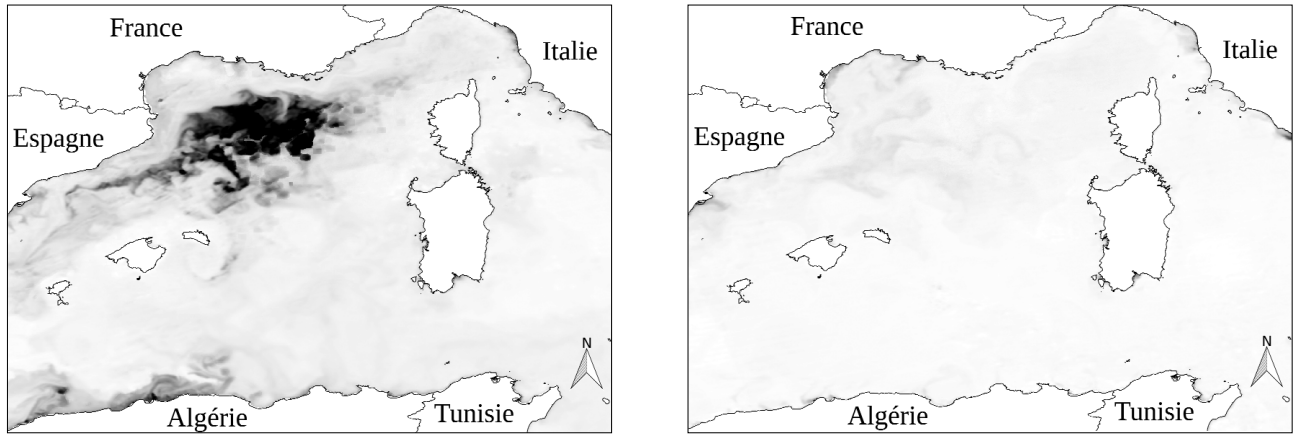


Figure 4

Carte des concentrations moyennes en chlorophylle-a les 12 avril 2016 et 2017 couvrant une partie ouest de la Méditerranée dont le golfe du Lion et le bassin Liguro-provençal issu du projet MARC.

La concentration en chlorophylle-a est indiquée par les nuances de gris, ainsi un développement phytoplanctonique élevé est caractérisé par une couleur foncée. a) Carte de la chlorophylle-a du 12 avril 2016. b) Carte de la chlorophylle-a du 12 avril 2017.

Map of the average chlorophyll-a concentrations on April 12, 2016, and 2017 covering a western part of the Mediterranean sea including the Gulf of Lion and the Liguro-Provençal basin resulting from the MARC project.

The concentration of chlorophyll-a is indicated by shades of gray; high phytoplankton development is characterized by a darker color. a) Map of the chlorophyll-a of April 12, 2016. b) Map of the chlorophyll-a of April 12, 2017.

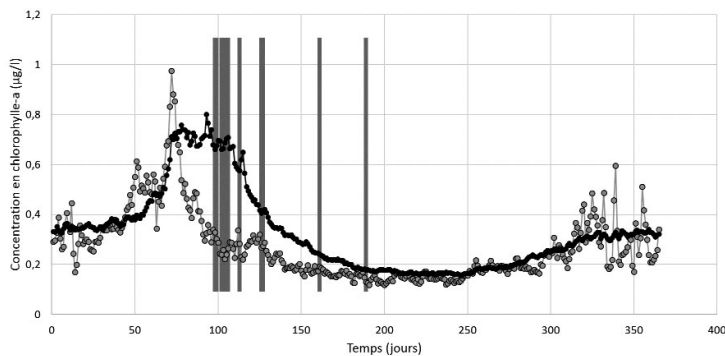


Figure 5

Evolution de la concentration en chlorophylle-a entre les mois de janvier et décembre de l'année 2017 comparée à la moyenne des valeurs de 1998 à 2017 pour la surface comprenant le Golfe du Lion et le bassin Liguro-Provençal. Les observations de requins pèlerins sont caractérisées par les barres grises verticales, de nombreuses observations simultanées sont signalées par des barres communes. Les ronds noirs et blancs représentent respectivement la concentration moyenne en chlorophylle-a concernant le golfe du lion et le bassin liguro-provençal, pour l'année 2017 et la normale calculé à partir des données de 1998 à 2017.

Evolution of chlorophyll-a concentration between the months of January and December 2017 compared to the average of the values from 1998 to 2017 for an area covering the Golfe of Lion and the Liguro-Provençal basin. The basking shark sightings are characterized by vertical gray bars, many simultaneous observations are signaled by common bars. The black and white circles represent the average chlorophyll-a concentration for the Gulf of Lion and the Liguro-Provençal basin for the year 2017, and the normal one calculated from the data from 1998 to 2017, respectively.

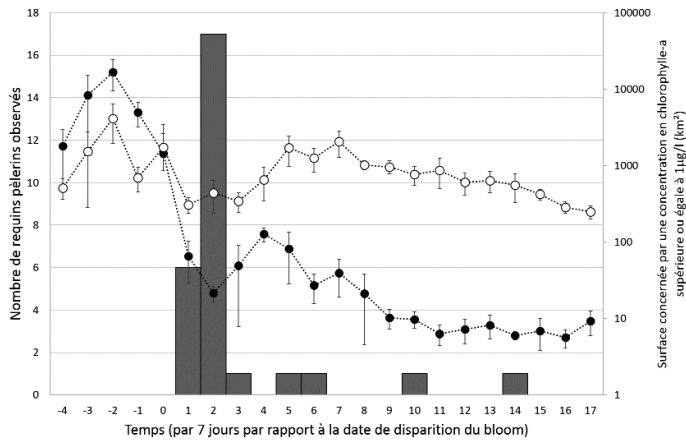


Figure 6

Evolution de la surface concernée par une concentration en chlorophylle-a supérieure ou égale à $1\mu\text{g/l}$ pour le Golfe du Lion et le bassin Liguro-Provençal du 27 février au 30 juillet 2017, associée à la répartition temporelle des observations de requins pèlerins (*Cetorhinus maximus*).

Les barres grises correspondent aux nombre d' observations de requins pèlerins. Les ronds noirs et blancs représentent respectivement la surface en km^2 à concentration en chlorophylle-a supérieure à $1\mu\text{g/l}$ pour le bassin liguro-provençal et le golfe du lion.

*Evolution of the area concerned by chlorophyll-a concentration greater than or equal to $1\mu\text{g/l}$ for the Gulf of Lion and the Liguro-Provençal basin from 27 February to 30 July 2017, associated with the temporal distribution of basking shark sightings (*Cetorhinus maximus*).*

The gray bars correspond to the number of basking shark sightings. The black and white circles represent the area in km^2 with chlorophyll-a concentration greater than or equal to $1\mu\text{g/l}$ for the Liguro-Provençal basin and the Gulf of Lion, respectively.

du Lion concernés par une forte productivité primaire, que nous avons fixée arbitrairement à $1\mu\text{g/l}$, nous permettant de trouver la zone théorique à rentabilité énergétique optimale. Nous n'avons pas comparé les moyennes en chlorophylle-a entre le Golfe du Lion et le bassin Liguro-Provençal pour éviter les biais liés à leurs superficies différentes. En effet, la moyenne peut cacher les phénomènes de développement phytoplanctonique très localisés mais de surface importante. La surface du Golfe du Lion est caractérisée par les coordonnées géographiques DMS $42^{\circ}26'24''\text{N } 2^{\circ}\text{E}$ et $44^{\circ}\text{N } 6^{\circ}\text{E}$ (DD $42.44^{\circ}\text{N } 2^{\circ}\text{E}$ et $44^{\circ}\text{N } 6^{\circ}\text{E}$). La surface du bassin Liguro-Provençal étudiée est comprise entre les coordonnées géographiques ($41^{\circ}\text{N } 2^{\circ}\text{E}$ et $44^{\circ}\text{N } 8^{\circ}\text{E}$ desquelles nous avons exclu la surface du Golfe du Lion). L'attrait des animaux pour le Golfe du Lion pourrait s'effectuer à tout moment de l'année ou durant le phénomène de bloom lorsque la surface de nourrissage à haute rentabilité est supérieure dans le Golfe du Lion au bassin Liguro-Provençal. Nous avons établi par la suite, à titre indicatif, l'évolution du nombre de requins pèlerins observés en fonction du temps en semaine, en positionnant arbitrairement la semaine 0 comme étant la semaine de disparition du bloom du 27 mars 2017 au 2 avril 2017 (**Figure 6**). Nous avons fait également évoluer sur un axe secondaire, les valeurs de superficie correspondant à une concentration en chlorophylle-a égale ou supérieure à $1\mu\text{g/l}$ dans le bassin Liguro-Provençal ou le Golfe du Lion. Nous avons considéré que les deux observations,

d'individus isolés, effectuées le 13 avril 2017 à Canet-en-Roussillon, sont un même individu. En effet, les cadres spatio-temporels et les tailles sont très proches. Nous avons également étudié une condition 3 qui est la distance par rapport à la zone d'extinction du bloom avec un découpage du territoire français de 20 km depuis la zone d'extinction du bloom. En effet, dans le cas de déplacements de proche en proche des animaux et de répartition spatiale réduite sous l'hypothèse d'alimentation (**Sims & Quayle, 1998**), alors il pourrait y avoir une corrélation entre les observations et cette variable.

Évolution de la chlorophylle-a après le phénomène de bloom

La majorité des observations se répartissant sur une période d'anomalie de concentration en chlorophylle-a durant la période de bloom normale, deux observations de requins pèlerins ont été faites sur la partie est du Golfe du Lion. Les Bouches-du-Rhône sont à l'origine d'un phénomène de développement planctonique important (**Auger, 2011**). Nous avons comparé l'évolution des surfaces concernées par une concentration minimale en chlorophylle-a de $2\mu\text{g/l}$ pour le secteur englobant le Golfe du Lion et le bassin Liguro-Provençal en fonction des observations.

Résultats

La majorité des individus présentait un comportement d'alimentation lors des observations (**Figures 2 et Tableau I**).

Étude du phénomène phytoplanctonique de 2017

Les valeurs de concentration en chlorophylle-a de l'année 2017 ont été très inférieures aux valeurs normales, durant la phase de développement caractéristique du bloom de printemps. Les observations de requins pèlerins caractérisées ont été effectuées sur une partie de ce phénomène anormal (**Figure 5**). Cette anomalie est visible, à titre indicatif, sur les cartes de chlorophylle-a des 12 avril 2016 et 2017 (**Figure 4**).

Les observations de requins pèlerins se sont déroulées pour la majorité dans les premières semaines suivant l'inversion des surfaces concernées par une concentration en chlorophylle-a supérieure ou égale à $1\mu\text{g/l}$ entre le bassin Liguro-Provençal et le Golfe du Lion. Ainsi, les requins pèlerins ont été aperçus dans le Golfe du Lion lorsque son développement phytoplanctonique caractérisé par la chlorophylle-a, est supérieur au développement du bassin Liguro-Provençal (**Figure 6**).

Étude de la répartition spatiale des observations

Les valeurs du nombre d'observations de requins pèlerins ont été rapportées au nombre de kilomètres de côte par tranche de 20 kilomètres et sont absentes pour les distances allant de 0 à 100 km par rapport à la zone d'extinction du bloom (**Tableau II**). Pour les distances allant de 100 à 160 km, les valeurs sont proches entre elles. Tandis que pour les distances allant de 160 à 220 km, les valeurs sont proches ou égales à 0. Le nombre d'observations diminue en fonction de la distance par rapport à la zone d'extinction du bloom (**Figure 7**).

Observations ayant lieu après le phénomène de bloom

Les observations ne semblent pas se dérouler durant des événements phytoplanctoniques marqués pour les deux observations de requins pèlerins ayant lieu après le phénomène de bloom (**Figure 8**).

Analyses statistiques de la répartition spatiale et temporelle des observations

Les résultats des tests de Student ont montré que les surfaces concernées par une concentration en chloro-

phylle-a égale ou supérieur à $1\mu\text{g/l}$ entre le Golfe du Lion et le bassin Liguro-Provençal durant le bloom 2017, du jour 54 au jour 129, sont significativement différentes entre elles (**Tableau III**). De même, l'évolution des concentrations en chlorophylle-a entre les valeurs moyennes sur la durée du bloom 2017 est très significativement différente des valeurs moyennes de 1998 à 2017, du jour 54 au jour 129. Enfin, les concentrations en chlorophylle-a entre les valeurs moyennes sur la durée de l'année 2017 et les valeurs moyennes de 1998 à 2017 sur la même période sont aussi très significativement différentes.

Des tests de corrélation de Kendall (**Tableau IV**) ont montré des corrélations faibles significatives entre observations de requins pèlerins et la différence de concentration en chlorophylle-a à la normale pour la superficie couvrant le Golfe du Lion ainsi que le bassin Liguro-Provençal, pour la période normale du bloom et l'année entière. Un test de Kendall a montré une corrélation faible très significative entre les observations et le ratio surface en km^2 avec une concentration en chlorophylle-a supérieure ou égale à $1\mu\text{g/l}$ entre le Golfe du Lion et le bassin Liguro-Provençal, uniquement pour la période normale du bloom. Le test de corrélation de Pearson a montré une corrélation négative forte et significative entre les observations et la distance par rapport à la zone de disparition du bloom.

Discussion

Hypothèses et explications possibles

Il est supposé une association positive entre la répartition de cette espèce et les zones à fort développement planctonique, voire une association annuelle lors des blooms (**Sims et al. B, 2000; Mancusi et al., 2005; Witt et al., 2012; Couto et al. 2017**). Cependant, il s'agit du premier cas de corrélation entre présence de requins pèlerins et anomalie négative en phytoplancton durant la période du bloom, illustrant un paradoxe dans la répartition temporelle des individus. Nous supposons donc que les animaux ont recherché des zones optimales d'alimentation depuis les zones annuelles de nourrissage. En effet, leur présence à la côte débute lorsque le Golfe du Lion est plus productif que le bassin Liguro-Provençal.

Les corrélations établies entre le ratio de la surface du développement phytoplanctonique dans le Golfe du Lion par rapport au bassin Liguro-Provençal uniquement durant la durée du bloom, pourraient trouver une explication dans la distance temporelle par rapport à la

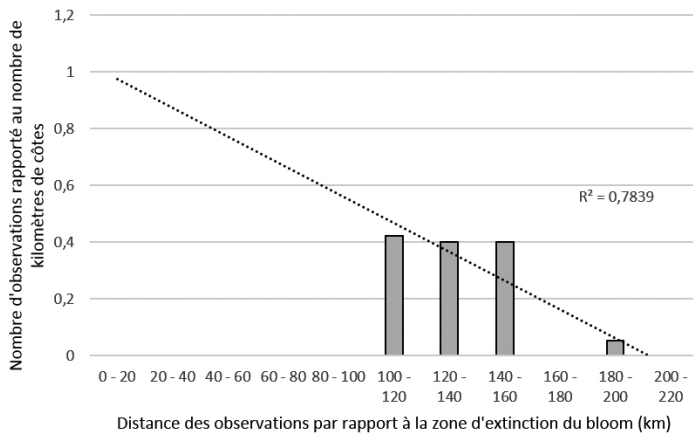


Figure 7

Courbe de régression linéaire entre les observations de requins pèlerins et la distance par rapport à la zone d'extinction du bloom.
Linear regression curve showing basking shark sightings over distance from bloom extinction area.

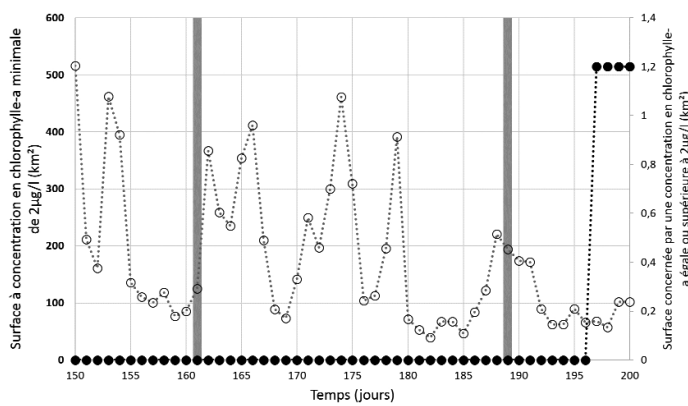


Figure 8

Deux observations de requins pèlerins après le phénomène de bloom en relation avec l'évolution de la surface à concentration en chlorophylle-a supérieure ou égale à 2 µg/l en 2017 dans le golfe du lion et le bassin liguro-provençal en fonction du temps. Les observations de requins pèlerins sont indiquées par des lignes continues grises. Les ronds noirs et blancs représentent respectivement la surface en km² à concentration en chlorophylle-a supérieure à 2µg/l pour le bassin liguro-provençal et le golfe du Lion.

Two observations of basking sharks after the bloom phenomenon against the the evolution of the chlorophyll-a concentration surface greater than or equal to 2 µg/l in 2017 in the Gulf of Lion and the Liguro-Provençal basin over time. The basking shark sightings are indicated by gray continuous lines. The black and white circles represent the area in km² with chlorophyll-a concentration greater than 2 µg/l for the Liguro-Provençal basin and the Gulf of Lion, respectively.

Liste des tranches de 20km	Nombre d'individus observés par nombre de kilomètres de côtes
0 - 20	Na
20 - 40	Na
40 - 60	Na
60 - 80	Na
80 - 100	Na
100 - 120	0,422609614
120 - 140	0,4
140 - 160	0,4
160 - 180	0
180 - 200	0,052631579
200 - 220	0

Tableau II

Tableau montrant le découpage de la côte française utilisé et le nombre d'observations de requins pèlerins rapportées à la longueur de la côte.

Table showing the segmentation of the French Mediterranean coast from the zone of bloom extinction and the ratio of basking shark sightings to the size of the coast segment.

test	Comparaison 1		Comparaison 2		Comparaison 3	
	Student		Student		Student	
p-value	0,005617	**	2,65E-12	***	1,02E-07	***

Tableau III

Tableau des tests de Student entre différents échantillons de concentration en chlorophylle-a.

Comparaison 1 : Surfaces concernée par une concentration en chlorophylle-a égale ou supérieure à 1µg/l entre le golfe du lion et le bassin liguro-provençal durant le bloom 2017 (du jour 54 au jour 129).

Comparaison 2 : Valeurs moyennes de la concentration en chlorophylle-a (µg/l) sur la durée du bloom 2017 comparé aux valeurs moyennes de 1998 à 2017 sur la même période (du jour 54 au jour 129).

Comparaison 3 : Valeurs moyennes de la concentration en chlorophylle-a (µg/l) sur la durée de l'année 2017 comparé aux valeurs moyennes de 1998 à 2017 sur la même période.

Degré de significativité :

p-value≤0,05 : * p-value≤0,01 : ** p-value≤0,001 : *** Non significatif : -

Table of Student's tests between different chlorophyll-a concentration samples

Comparison 1: Surfaces affected by a chlorophyll-a concentration equal to or greater than 1µg/l between the Gulf of Lion and the Liguro-Provençal basin during bloom 2017 (from day 54 to day 129).

Comparison 2: Chlorophyll-a concentration (µg/l) over the duration of the bloom in 2017 compared to the average values from 1998 to 2017 over the same period (from day 54 to day 129).

Comparison 3: Chlorophyll-a concentrations (µg/l) of the year 2017 compared to the average values from 1998 to 2017.

The degree of significance:

p-value≤0,05: * p-value≤0,01: ** p-value≤0,001: *** Not significant: -

Observations durant le bloom 2017	test	Condition 1		Condition 2		Condition 3	
		Kendall		Kendall		Pearson	
	estimate	0,273715		0,348039		-0,8799	
	p-value	0,003	**	0,0002	***	0,00898	**
Observations durant l'année 2017	test	Kendall		Kendall			
		estimate		0,201079		0,029329	
		p-value		2,47E-06	***	0,492031	-

Tableau IV

Tableau des tests de corrélation des observations avec les différents facteurs.

Condition 1 : Différence négative de concentration en chlorophylle-a (en µg/l) en 2017 par rapport à la moyenne des valeurs entre 1998 et 2017 pour la superficie couvrant le golfe du lion et le bassin liguro-provençal.

Condition 2 : Ratio surface en km² avec une concentration en chlorophylle-a supérieure ou égale à 1 µg/l entre le golfe du lion et le bassin liguro-provençal.

Condition 3 : Distance par rapport à la zone d'extinction du bloom.

Degré de significativité :

p-value≤0,05 : * p-value≤0,01 : ** p-value≤0,001 : *** Non significatif : -

Table of correlation tests of observations with different factors.

Condition 1: Negative difference in chlorophyll-a concentration (in µg/l) in 2017 compared

to the average values from 1998 to 2017 for the area covering the Gulf of Lion and the Liguro-Provençal basin.

Condition 2: Ratio area in km² with a chlorophyll-a concentration greater than or equal to 1 µg/l between the Gulf of Lion and the Liguro-Provençal basin.

Condition 3: Distance to Bloom Extinction Zone

The degree of significance:

p-value≤0,05: * p-value≤0,01: ** p-value≤0,001: *** Not significant: -

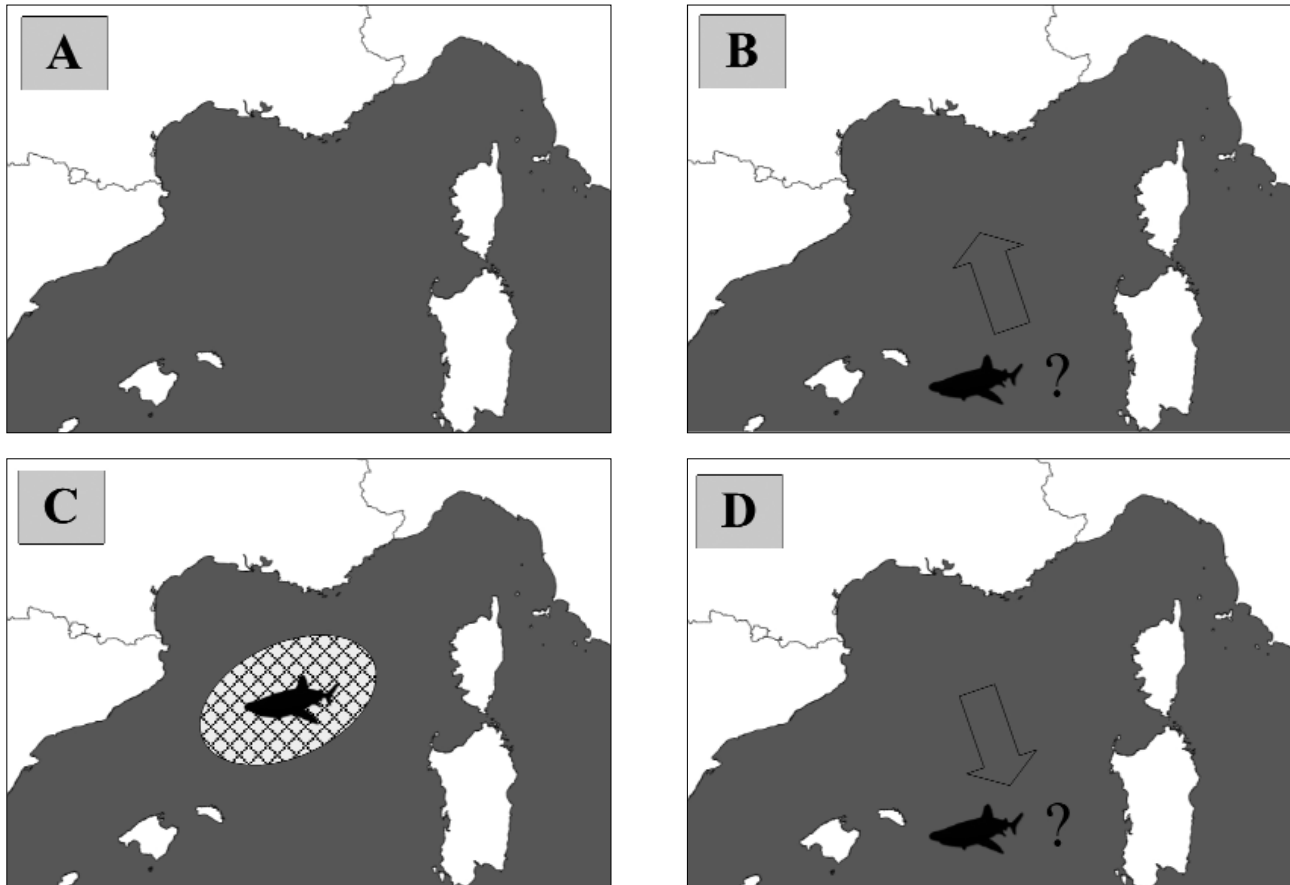


Figure 9

Déplacements hypothétiques des requins pèlerins durant un bloom de printemps normal de la biorégion Bloom-North-West. Les zones à fort développement planctonique sont indiquées par un quadrillage. **A** : Aucun bloom de printemps ou de requins pèlerins. **B** : Les requins pèlerins se rapprochent du bassin liguro-provençal pour le bloom de printemps. **C** : La répartition spatiale des requins pèlerins est directement liée au phénomène de développement planctonique au niveau du bassin car les animaux se nourrissent dans un secteur à haute rentabilité énergétique. **D** : La répartition spatiale des individus est inconnue après cet événement annuel.

Possible displacements of basking sharks during a normal spring bloom of the Bloom-North-West bioregion.

*The zones with high planktonic growth are indicated by the following quartering. **A**: Neither spring bloom nor basking sharks. **B**: The basking sharks move closer to Liguro-Provençal basin for the spring bloom. **C**: The space distribution of the basking sharks is directly linked to the planktonic growth phenomenon in the basin area because the animals feed themselves in a high energetic profitability sector. **D**: The space distribution of individuals is unknown after this annual event.*

date de fin de bloom. Cela permettrait d'expliquer un nombre de requins pèlerins plus important dans les deux semaines qui ont suivi la fin du bloom. D'autant plus que la fidélité de cette espèce est connue dans d'autres régions du monde (Doherty et al., 2017), et que nous avons démontré que l'attrait des animaux était possible en 2017 durant la période normale du phénomène de bloom. Le facteur qui a amené les animaux à repartir à la date normale de fin de bloom pourrait être la rentabilité énergétique grâce à une optimisation comportementale (Sims, 1999). En effet, le fait de rester sur place plus longtemps pourrait être désavantageux en termes de rentabilité par rapport à un déplacement immédiat sur d'autres secteurs, mais ceci n'est qu'une hypothèse ne pouvant être étayée pour le moment.

Si la répartition temporelle des observations est associée à l'anomalie de productivité primaire, alors on peut supposer trouver plus d'animaux dans les secteurs à forte concentration planctonique. Un nombre important d'observations a été reporté sur la partie ouest du Golfe du Lion. Un phénomène majeur de productivité dans le Golfe du Lion est le débouché du Rhône (Auger, 2011) où se trouve Port-Saint-Louis-du-Rhône, faisant de cet endroit un lieu idéal en termes d'observateurs et de conditions d'attrait pour les pèlerins sous l'hypothèse d'alimentation. Or, aucune observation n'a été rapportée dans ce secteur, illustrant un paradoxe dans la répartition spatiale des animaux. Ainsi, nous avons différents éléments qui indiquent que le phénomène de bloom est un facteur primordial. Il semble aussi dans notre cas, que

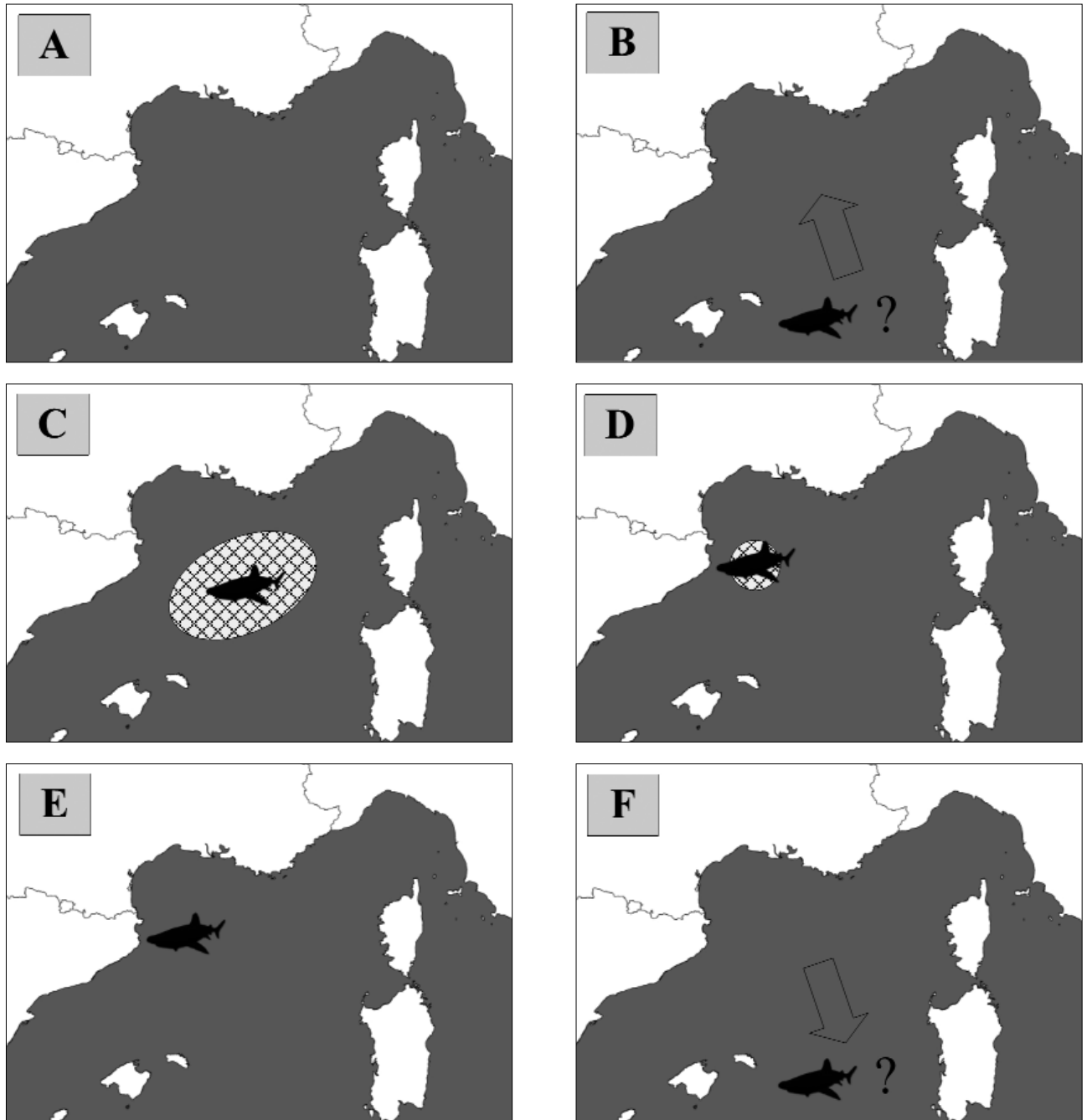


Figure 10

Déplacements hypothétiques généraux des requins pèlerins durant le de bloom de printemps 2017 de la biorégion Bloom-North-West. Les zones à fort développement planctoniques sont indiquées par un quadrillage. **A** : Aucun bloom de printemps ou de requins pèlerins. **B** : Les requins pèlerins se rapprochent du bassin liguro-provençal pour le bloom de printemps. **C** : La répartition spatiale des requins pèlerins est directement liée au phénomène de développement planctonique au niveau du bassin car les animaux se nourrissent dans un secteur à haute rentabilité énergétique. **D** : Le phénomène de bloom prend fin à une distance proche des côtes françaises, et les animaux se déplacent avec lui. **E** : Après la disparition précoce du bloom, les animaux cherchent des secteurs à rentabilité énergétique élevé proche remplissant le rôle normal du bloom à cette époque de l'année. Certains animaux partent dans les premières semaines suivant la disparition du bloom. **F** : Les requins pèlerins restant quittent la zone de bloom à la date de fin habituelle du phénomène. La répartition spatiale des individus est inconnue après cet événement annuel.

*Possible general displacements of basking sharks during the spring bloom 2017 of the Bloom-North-West bioregion. The zones with high planktonic growth are indicated by the following quartering. **A**: Neither spring bloom nor basking sharks. **B**: The basking sharks move closer to Liguro-Provençal basin for the spring bloom. **C**: The space distribution of the basking sharks is directly linked to the planktonic growth phenomenon in the basin area because the animals feed themselves in a high energetic profitability sector. **D**: The bloom phenomenon comes to an end at a close distance from the French coast and the animals follow it. **E**: After the premature bloom disappearance, the animals search for energetically high profitability sectors nearby completing the bloom's natural role that specific time of the year. Some animals leave within the first weeks following the bloom extinction. **F**: The remaining basking sharks leave the bloom zone in the natural end of this phenomenon. The space distribution of individuals is unknown after this annual event.*

le rattachement à cette zone de bloom ait un impact plus important que le fait de trouver des zones à meilleur rendement planctonique pour leur filtration (**Sims, 2000B**). Nous aurions ici une supposition que ces animaux ont des aires de nourrissages définies dans l'espace (**Sims et Quayle, 1998**) et le temps peut-être de manière annuelle dans le cas des requins pèlerins de Méditerranée française. Les zones de nourrissage à meilleure rentabilité durant le bloom de printemps restent au large des côtes sauf dans le cas exceptionnel de 2017. La corrélation forte entre observations et distance par rapport au bloom, conforte l'idée d'un lien avec l'anomalie négative de productivité primaire.

Dans notre étude nous supposons que les zones à concentration élevée en chlorophylle-a sont des zones à productivité phytoplanctonique et zooplanctonique importante, et les corrélations mises au jour appuient cette hypothèse (**Miller et al., 2015**). Les hypothèses faites sur la répartition spatiale des animaux suggèrent que les observations sur les côtes espagnoles devraient suivre une logique bien particulière qu'il serait intéressant de confirmer ou d'infirmer. Il est certain que d'autres facteurs entrent en jeu dans la répartition de ces animaux, pouvant aller à l'encontre de nos hypothèses et pouvant montrer que nos données sont incomplètes.

Les deux observations s'étant déroulées hors période de bloom, ne possèdent pas la même répartition spatiale que les autres en étant positionnées sur la partie Est du Golfe du Lion (**Figure 1**). Leur répartition temporelle est aussi différente de la majorité des observations. Elles se sont déroulées en dehors de la période normale du bloom, et sans phénomène de développement phytoplanctonique plus important dans le Golfe du Lion (**Figure 8**). Il pourrait s'agir de déplacements n'ayant aucun lien avec le phénomène d'anomalie de développement phytoplanctonique du bloom de 2017.

L'origine de l'anomalie de concentration en chlorophylle-a concernant la biorégion en 2017 reste indéterminée. Nous n'avons pas cherché à déterminer l'implication du réchauffement climatique même s'il semble probable, en raison de l'ordre de grandeur de l'anomalie observée. Des liens ont déjà été observés entre les requins pèlerins et le réchauffement climatique notamment au travers de la température de l'eau (**Cotton et al., 2005**).

Nous pouvons avoir une vue critique de notre travail. Certains animaux peuvent avoir été observés plusieurs fois. De même, la corrélation spatiale entre les observations et la zone de bloom pourrait être biaisée, même si différents éléments convergent vers cette hypothèse.

Nous pouvons formuler une théorie des « requins rentables » stipulant que les requins pèlerins peuvent avoir des habitudes correspondant au cadre spatial et temporel précis de blooms (**Figure 9**). Si le développement planctonique de ce dernier est inférieur à la normale durant la période du bloom comme dans le cas d'une fin très précoce, et si des secteurs proches indépendants possèdent une rentabilité énergétique plus élevée, alors il y aura un comportement associé (**Figure 10**). Les animaux se déplaceront vers des secteurs à rentabilité énergétique plus élevée, et la probabilité de trouver des individus diminuera fortement avec la distance par rapport à la zone du bloom.

Nous ne savons pas si la population de requins pèlerins de Méditerranée est isolée de l'Atlantique ou non, cela pourrait peut-être expliquer l'importance du phénomène de bloom de la biorégion-Bloom-North-West pour ces animaux qui pourrait être une zone de passage dans ce cas. D'autant plus qu'il est possible que la biorégion soit le théâtre d'un phénomène de reproduction en raison de l'attrait hypothétique de ces animaux vers cette zone, mais nous n'avons pas d'informations supplémentaires. L'application de la théorie des « requins rentables » permettrait de déterminer quelle région est la plus propice aux observations de ces animaux correspondant à une anomalie négative de production planctonique au niveau du bassin Liguro-Provençal.

Il est à noter qu'une observation de plusieurs dizaines d'individus a déjà été rapportée par le passé et s'est déroulée au large du Golfe du Lion durant la période de bloom, il semble plausible au vu des recherches effectuées sur cette espèce que de nombreux individus viennent pour cet événement chaque année. Nous pouvons avancer cinq arguments sur l'absence d'observations de requins pèlerins en temps normal malgré un phénomène de développement phytoplanctonique annuel qui devrait jouer un rôle d'attracteur sous l'hypothèse d'alimentation. La zone de développement maximale de la chlorophylle-a dans la biorégion Bloom-North-West est aux alentours de 40 mètres de profondeur durant le printemps (**Lavigne, 2013**), la zone de filtration hypothétique optimale du plancton n'est donc pas en surface en supposant une prédation du zooplancton sur le phytoplancton. La surface de fort développement planctonique au large est par définition supérieure à la surface de développement à la côte en temps de bloom normal. Le phénomène de bloom annuel a lieu loin des côtes, dans des eaux peu fréquentées, sauf par les bateaux de transports de marchandises. Le nombre de requins pèlerins à travers le monde est faible (**Hoelzel et al., 2007**), et on peut supposer que la tendance est la

même en Méditerranée. La surface de la biorégion Bloom North-West étant de plusieurs milliers de km (Lavigne, 2013), la probabilité de trouver un animal semble très faible par les méthodes de recherches maritimes d'autant plus que ces poissons n'ont aucune raison d'être en surface lors de leur venue hypothétique en Méditerranée française.

Remerciements

Je remercie tous ceux qui ont participé à ce travail en partageant leurs observations, et qui ont rendu cette analyse possible. Remerciements à Isabelle Mahieu, Yann et Guillaume, Kevin Carlini, Association BREACH, Sonia Gara, Patrick Simon, Antoine Blettner, Cyril Montalieu, Découverte du vivant, Orélien Guay, Navivoile, Compagnie Visionaute, l'association Ailerons, La colo du relais, Bateau école Cap 180, Serge Briez, Aloès Plongé, Guilhem Cuchet, Julie Rouault, Les Iles Paul Ricard, Caroline Méric, Violaine Dolfo, au Groupe Phocéén d'Étude des Requins, et à l'Apecs.

Tous droits de reproduction, par tous procédés,
de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays
(loi du 11 mars 1957)

Références

- Ali M., A. Saad, C. Reynaud, C. Capapé.**, 2012. Occurrence of basking shark, *Cetorhinus maximus* (Elasmobranchii: Lamniformes: Cetorhinidae), off the Syrian coast (eastern Mediterranean) with first description of egg case. *Acta Ichthyol. Piscat.*, 42 (4): 335-339.
- Auger P.-A.**, 2011. Modélisation des écosystèmes planctoniques pélagiques en Méditerranée nord-occidentale : Impact des eaux du Rhône à l'échelle du plateau du Golfe du Lion et variabilité interannuelle à décennale au large. *Océanographie*. Université Paul Sabatier – Toulouse III.
- Bonfil R.**, 1994. Overview of world elasmobranch fisheries. *FAO Fish. Techn. Pap.* 341 : 1-119.
- Capapé C., F. Hemida, J. Bensaci, B. Saïdi, M.N. Bradai.**, 2003. Records of basking sharks, *Cetorhinus maximus* (Gunnerus, 1765) (Chondrichthyes Cetorhinidae) off the maghreb shore (southern mediterranean) a survey. *Annales, Ser. his. nat.* 1: 13-18.
- Carlucci R., D. Battista, F. Capezuto, F. Serena, L. Sion.**, 2014. Occurrence of the basking shark *Cetorhinus maximus* (Gunnerus, 1765) (Lamniformes: Cetorhinidae) in the central-eastern Mediterranean Sea. *Italian Journal of Zoology*, 81(2): 280-286.
- Communauté Européenne**, 2007. Council Regulation (EC) No 41/2006 of 21 December 2006. *Official Journal of the European Union*. 20/01/2007: 6.
- Cotton P., D. Sims, S. Fanshawe, M. Chadwick**, 2005. The effect of climate variability on zooplankton and basking shark (*Cetorhinus maximus*) relative abundance off southwest Britain. *Fisheries Oceanography*. 14 : 151-155.
- Couto A, N. Queiroz, P. Relvas, M. Baptista, M. Furtado, J. Castro, M. Nunes, H. Morikawa, R. Rosa**, 2017. Occurrence of basking shark *Cetorhinus maximus* in southern Portuguese waters: a two-decade survey. *Mar Ecol Prog Ser* 564:77-86.
- Crowe L.M., O. O'Brien, T.H. Curtis, S.M. Leiter, R.D. Kenney, P. Duley, S.D. Kraus**, 2018. Characterization of large basking shark *Cetorhinus maximus* aggregations in the western North Atlantic Ocean. *J Fish Biol*, 92: 1371-1384.
- De Sabata E., G. Bello, G. Cataldini, C. Mancusi, F. Serena, S. Clò**, 2014. A seasonal hotspot for *Cetorhinus maximus* in Apulia, Southern Italy. *Biologia Marina Mediterranea*. 21. 273.
- De Sabata E., S. Clò**, 2010. Public sighting scheme reveals the seasonal presence of *Cetorhinus maximus* around North Sardinia, Italy. *Biologia Marina Mediterranea*. 17.
- Doherty P.D., J.M. Baxter, F.R. Gell, B.J. Godley, R.T. Graham, G. Hall, J. Hall, L.A. Hawkes, S.M. Henderson, L. Johnson, C. Speedie, M.J. Witt**, 2017. Long-term satellite tracking reveals variable seasonal migration strategies of basking sharks in the north-east Atlantic. *Scientific reports*. 7: 42837.

- Gohin F., J.N. Druon and L. Lampert**, 2002. A five channel chlorophyll algorithm applied to SeaWiFS data processed by SeaDAS in coastal waters, *International Journal of Remote Sensing*, 23: 1639-1661.
- Gore M., D. Rowat, J. Hall, F. Gell, R. Ormond**, 2008. Transatlantic migration and deep mid-ocean diving by basking shark. *Biology Letters*, 4: 395-398.
- Hoelzel R., M. Shivji, J. Magnussen, M. Francis**, 2007. Low worldwide genetic diversity in the basking shark (*Cetorhinus maximus*). *Biology Letters*, 2: 639-42.
- IFREMER** (2017). Chlorophylle-a interpolée (données satellite). IFREMER.. <http://doi.org/10.12770/9352f74a-7ecb-485e-8ea3-9aa91001b9a1>
- Lavigne H.**, 2013. Impact de la variabilité saisonnière de la profondeur de la couche de mélange sur le cycle saisonnier du phytoplancton en Méditerranée. École doctorale des sciences de l'environnement d'Île de France. 49.
- Lucifora L., S. Barbini, E. Di Giacomo, J.A. Waessle, D. E Figueroa**, 2014. Estimating the geographic range of a threatened shark in a data-poor region: *Cetorhinus maximus* in the South Atlantic Ocean. *Current Zoology*, 61: 811-826.
- Bradai M.N., M. Ghorbel**, 1992. Capture d'un requin pèlerin *Cetorhinus maximus* (Gunnerus, 1765) dans la région du Golfe de Gabès, Tunisie. *Bull. Inst. natn sci. tech. Océanogr, Pêche, Salammbô*, 3: 10-15.
- Malek A., A. Saad, C. Reynaud and C. Capapé**, 2012. Occurrence of basking shark, *Cetorhinus maximus* (Elasmobranchii: Lamniformes: Cetorhinidae), off the Syrian coast (eastern Mediterranean) with first description of egg case. *Acta Ichthyologica Et Piscatoria*, 42: 335-339.
- Mancusi C., S. Clò, M. Affronte, M.N. Bradai, F. Hemida, F. Serena, A. Soldo, M. Vacchi**, 2005. On the presence of basking shark (*Cetorhinus maximus*) in the Mediterranean Sea. *Cybium*, 29(4): 399-405.
- Miller P., K. Scales, S. Ingram, E. Southall, D. Sims**, 2015. Basking sharks and oceanographic fronts: Quantifying associations in the north-east Atlantic. *Funct Ecol*, 29: 1099-1109.
- Priede I., P. Miller**, 2009. A basking shark (*Cetorhinus maximus*) tracked by satellite together with simultaneous remote sensing II: New analysis reveals orientation to a thermal front. *Fisheries Research*, 95: 370-372.
- Serena F., M. Vacchi, G. Notarbartolo Di Sciara**, 2000. Geographical distribution and biological information on the basking shark, *Cetorhinus maximus* in the Tyrrhenian and Ligurian seas. *Proc. 3rd Europ. Elasm. Ass. Meet.* 1: 47-56.
- Siders Z.A., A.J. Westgate, D.W. Johnston, L.D. Murison, H.N. Koopman**, 2013. Seasonal Variation in the Spatial Distribution of Basking Sharks (*Cetorhinus maximus*) in the Lower Bay of Fundy, Canada. *Plos One*, 8(12): e82074.
- Sims D.**, 1999. Threshold foraging behaviour of basking sharks on zooplankton: life on an energetic knife-edge? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 266(1427), 1437.
- Sims D.**, 2000B. Filter-feeding and cruising swimming speeds of basking sharks compared with optimal models: They filter-feed slower than predicted for their size. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 249: 65-76.
- Sims D., A.M. Fox, D.A. Merrett**, 1997. Basking shark occurrence off south west England in relation to zooplankton abundance. *Journal of Fish Biology*, 51:436-440.
- Sims D., E. Southall, V. Quayle, A. Fox**, 2000. Annual social behavior of basking sharks associated with coastal front areas. *Proc R Soc Lond B*, 267: 1897-1904.
- Sims D., V. Quayle**, 1998. Selective foraging behaviour of basking sharks on zooplankton in small-scale front. *Nature*, 393: 460-464.
- Soldo A., D. Lucic, I. Jardas**, 2008. Basking shark (*Cetorhinus maximus*) occurrence in relation to zooplankton abundance in the eastern Adriatic Sea. *Cybium*, 32: 103-109.
- Witt M., T. Hardy, L. Johnson, C. McClellan, S. Pikesley, S. Ranger, P. Richardson, J.-L. Solandt, C. Speedie, R. Williams**, 2012. Basking sharks in the northeast Atlantic: Spatio-temporal trends from sightings in UK waters. *Mar Ecol Prog Ser*, 459: 121-134.
- Zuffa M., A. Soldo, T. Storai**, 2001. Preliminary observations on abnormal abundance of *Cetorhinus maximus* (Gunnerus, 1765) in the central and northern Adriatic Sea. *Annales*, 11(2): 185-192.

1 **On the presence of the basking shark *Cetorhinus maximus* (Chondrichthyes, Cetorhinidae) in front**
2 **of the French Mediterranean coast**

3
4 **Author: Tanguy Carpaye-Taïlamée** (University of Montpellier, Place E. Bataillon, 34095 Montpellier,
5 FRANCE) [*tanguy.carpaye-tailamee@etu.umontpellier.fr*]

6 **Journal:** Marine Life
7

8 **Abstract:** The observations of basking sharks (*Cetorhinus maximus*) along the coast of South France are
9 neither regular nor abundant, despite annual phytoplankton growth. We have studied the evolution of
10 the chlorophyll-a concentration of the Gulf of Lion, the unique bioregion of non-coastal Mediterranean
11 bloom, and the northwest bloom bioregion. The spring of 2017 was characterized by many
12 observations in a short period, most of them made on the west side of the Gulf of Lion. These
13 observations correlate significantly with a regional concentration in chlorophyll-a lower than usual.
14 They are also associated with a higher phytoplanktonic development in the Gulf of Lion than in the
15 Liguro-Provencal basin, where the annual bloom occurs. A relationship may exist with the distance to
16 the zone of bloom end. Those elements conducted to a hypothesis of "profitable sharks". These animals
17 would come every year to feed themselves offshore the French coast. However, due to the premature
18 extinction of the bloom in the spring of 2017, the animals searched for sectors with the highest
19 energetic profitability from the zone of bloom termination. They left again in the last weeks following
20 its end. The implication of global warming in the 2017 environmental anomaly phenomenon seems
21 likely but is not demonstrated.

22
23 **Key-words:** Basking sharks, Mediterranean sea, plankton, chlorophyll-a, anomaly
24
25

26 **Introduction:**

27 The number of basking sharks observed simultaneously varies worldwide, so it is possible to meet
28 isolated individuals or even extremely rare aggregations exceeding a thousand individuals (Crowe et
29 al., 2018). The genetic diversity of this species is known to be low (Hoelzel et al., 2007), and the total
30 number of individuals has supposedly decreased due to historical fishing for oil or meat (Bonfil 1994).
31 The basking shark is a species reported in the Mediterranean sporadically whose movements may
32 correspond to planktonic development phenomena (Mancusi et al., 2005). For example, the second
33 largest fish in the world has already been observed off the Syrian coast (Ali et al., 2012), off the coast
34 of the Maghreb (Bradai and Ghorbel 1992; Capapé et al., 2003), in the Ligurian Sea (Serena et al., 2000),
35 in the Tyrrhenian Sea (De Sabata and Clò, 2010), but also in the Adriatic Sea (Soldo et al., 2008; Carlucci

36 et al., 2014). Areas are even known to be seasonally frequented by the species, particularly in southern
37 Italy (De Sabata et al., 2014). There have already been abnormally numerous observations in the
38 Mediterranean, such as in the Adriatic Sea in 2001 (Zuffa et al., 2001). These animals are sometimes
39 caught incidentally in fishing nets (Mancusi et al., 2005), but this species is protected in European Union
40 waters (European Community, 2007; Mancusi et al., 2005). We do not know whether Mediterranean
41 basking sharks are an isolated Atlantic population.

42 An abnormally high number of basking shark sightings were reported off the French Mediterranean
43 coast in the spring of 2017. An association has been hypothesized between planktonic development
44 and the presence of this species (Sims and Quayle, 1998), in particular, because of the proximity to the
45 only non-coastal bloom bioregion in the Mediterranean (Lavigne, 2013).

46 We have made several hypotheses to explain a distribution of observations hypothetically related to a
47 movement of individuals from annual feeding areas. These could be correlated with an average
48 chlorophyll-a concentration below the standard for the Liguro-Provençal basin sector (Figure 1). A
49 greater presence in the Gulf of Lion could be related to the planktonic development of this area. Finally,
50 we assumed that the number of observations could decrease with the distance to the bloom's
51 extinction zone.

52

53 **Material and methods:**

54 **Basking shark sightings**

55 The basking shark is rarely observed in the French Mediterranean, with fewer yearly reports (Mancusi
56 et al., 2005). However, 2017 was characterized by many observations (Table I). We have identified
57 twenty-one different observations, spread over a period from early April to early June, the majority of
58 which are spread over April and the west coast of the Gulf of Lion in the French Mediterranean (Figure
59 1). All the observations were not collected because of a greater or lesser number of structures that
60 archived the testimonies, the non-reporting of the observations, and the difficulty of observing these
61 animals.

62 The animal assemblages were varied; the sightings referred to groups, while most observations were
63 made on isolated individuals. Animal sizes also varied. Observations were generally short, but one April
64 12 report is characterized by a 40-minute follow-up of an individual joined by a second. The
65 observations are usually accompanied by photos or videos, allowing the confident identification of this
66 species. However, the sizes and dates of some reports could not be confirmed.

67 Basking shark sightings were collected from newspapers, daily websites, and social networks,
68 accompanied by photos and videos (Figure 3). Indeed, the observations are generally relayed by the
69 media before the study structures are notified. But it is, above all, thanks to the voluntary participation
70 of various actors, such as associative structures or private companies, that observations are collected.

71 Most observations were made by members of the general public, such as recreational fishermen and
72 recreational boaters. Some reports come from the association BREACH, Découverte du vivant, and
73 Navivoile, including people working daily with cetaceans as naturalist guides. A dead specimen whose
74 carcass washed up numerous times was also reported in Leucate, referenced only once in the list of
75 observations presented here.

76 It is recognized that the presence of basking sharks is linked to phenomena of high biological
77 production (Sims and Quayle, 1998; Mancusi et al., 2005). Thus, zooplankton concentration values,
78 such as the copepods (Soldo et al., 2008), could be correlated with concentration values and thus with
79 the observed chlorophyll-a concentration. We, therefore, studied chlorophyll-a concentration values
80 for possible correlations. The data were collected from IFREMER (Ifremer, 2017) with the project
81 "Modelling and Analysis for Coastal Research" (MARC) for an area covered by geographical coordinates
82 41°N 2°E and 44°N 8°E (covering the Gulf of Lion and part of the Liguro-Provençal basin). The data and
83 maps are obtained from chlorophyll-a observations analyzed from MERIS (ESA) and MODIS (NASA)
84 satellites. The water outlet radiances (L2 standard products of the Agencies) were processed by the
85 OC5 algorithm of Ifremer (Gohin et al., 2002). We exploited the data with the R software and the QGIS
86 software.

87 **Chlorophyll-a maps**

88 The chlorophyll-a maps from April 2016 and April 2017 are presented as an indication. They allow
89 realizing the overall trend of 2017 compared to a year in the standards.

90 **Student tests**

91 We studied chlorophyll-a values based on assumed correlations (Sims and Quayle, 1998) on an area
92 encompassing the Gulf of Lion and the Liguro-Provençal basin (DMS and DD 41°N 2°E and 44°N 8°E).
93 We established through Student's tests whether the areas in km concerned by a chlorophyll-a
94 concentration equal to or greater than 1 µg / l between the Gulf of Lion and the Liguro-Provençal basin
95 during the 2017 bloom were significantly different, characterizing comparison 1. We also performed a
96 Student test to determine if the evolution of chlorophyll-a concentration for the surface encompassing
97 the Gulf of Lion and the Liguro-Provençal basin during 2017 significantly differed from the average
98 evolution calculated from the data from 1998 to 2017. We performed these same tests only on the
99 standard duration of the bloom. We chose the threshold value of 0.4 µg / l to characterize the increase
100 in chlorophyll-a concentration of the bloom phase from day 54 to day 129 for the study area.

101 **Evolution of chlorophyll-a concentration**

102 We presented in the form of a graph (Figure 5) the variables mean chlorophyll-a concentration in the
103 Gulf of Lion and the basin Liguro-Provençal during 2017. Basking shark sightings have been associated
104 with their respective dates.

105 **Spatial distribution of observations**

106 Basking shark movements are known to be associated with areas of high planktonic productivity (Sims
107 and Quayle 1998). We also hypothesized about the involvement of an anomaly in primary production
108 that may have caused these observations. We used the image of the chlorophyll-a analyzed (Figure 2)
109 to determine the position of this extinction zone which we arbitrarily fixed at DMS coordinates 41°39'N
110 4°E (DD 41.65N 4E). Since the data we have come only from observations made in France, we only
111 studied the values from the Franco-Spanish border. We cut the surface from the bloom extinction zone
112 into 20-kilometer increments. We established the number of individuals observed in each of these
113 areas. We divided this value by the number of kilometers of coastline of French territory due to the
114 distribution of observers mainly on the coast. We also excluded observations exceeding two months
115 after the disappearance of the blooming phenomenon. We performed a Pearson test to test a
116 hypothetical correlation with the distance to the bloom and edited a regression curve.

117 **Correlation tests**

118 We performed Kendall and Pearson tests to establish possible correlations between basking shark
119 sightings with environmental variables over the bloom period and throughout 2017. Since the presence
120 of basking sharks is supposedly linked to phenomena of significant planktonic production (Sims and
121 Quayle, 1998), we named the first environmental condition as the difference in chlorophyll-a
122 concentration from normal. This focus on the most productive sectors has led us to study
123 phytoplankton development offshore and on the coast. Indeed, to lead to more reports of observers
124 on the coast, the phytoplankton phenomenon could be more advanced in these sectors in the case of
125 movements from close to close to animals moving towards optimization of energy efficiency (Sims,
126 1999). Thus we called condition two the ratio of the area between the Liguro-Provençal basin and the
127 Gulf of the Leo concerned by high primary productivity, which we arbitrarily set at 1 $\mu\text{g} / \text{l}$, allowing us
128 to find the theoretical zone with optimal energy profitability. We did not compare the chlorophyll-a
129 averages between the Gulf of Lion and the Liguro-Provençal basin to avoid biases related to their
130 different size. Indeed, the average can hide the phenomena of phytoplankton development very
131 localized but of large surface. The surface of the Gulf of Lion is characterized by the geographical
132 coordinates DMS 42°26'24"N 2°E and 44°N 6°E (DD 42.44°N 2°E and 44°N 6°E). The surface of the
133 Liguro-Provençal basin studied is between the geographical coordinates (41°N 2°E and 44°N 8°E from
134 which we have excluded the surface of the Gulf of Lion). The attraction of animals to the Gulf of Lion
135 could occur at any time of the year or during the blooming phenomenon when the highly profitable
136 feeding area is greater in the Gulf of Lion than in the Liguro-Provençal basin. We then established, as
137 an indication, the evolution of the number of basking sharks observed as a function of time on
138 weekdays, arbitrarily positioning week 0 as the week of the disappearance of the bloom from March
139 27, 2017, to April 2, 2017 (Figure 6). We also changed on a secondary axis the surface values
140 corresponding to a chlorophyll-a concentration equal to or greater than 1 $\mu\text{g} / \text{l}$ in the Liguro-Provençal

141 basin or the Gulf of Lion. We considered that both observations of isolated individuals carried out on
142 April 13, 2017, in Canet-en-Roussillon, are the same individual. Indeed, the spatial-temporal frames
143 and sizes are very close. We also studied condition three, which is the distance from the extinction zone
144 of the bloom with a division of the French territory of 20 km from the extinction zone of the bloom.
145 Indeed, movements from near to close animals and reduced spatial distribution under the feeding
146 hypothesis (Sims & Quayle, 1998). There could be a correlation between the observations and this
147 variable.

148 **Evolution of chlorophyll-a after bloom phenomenon**

149 Most observations were spread throughout chlorophyll-a concentration anomaly during the normal
150 bloom period, so two basking shark observations were made over the eastern Gulf of Lion. The
151 Bouches-du-Rhône originates a significant planktonic development phenomenon (Auger, 2011).
152 According to the observations, we compared the evolution of the areas concerned by a minimum
153 chlorophyll-a concentration of $2 \mu\text{g} / \text{l}$ for the sector encompassing the Gulf of Lion and the Liguro-
154 Provençal basin.

155

156

157 **Results:**

158 Most individuals exhibited feeding behaviour during observations (Figures 2 and Table I).

159 **Study of the phytoplankton phenomenon of 2017**

160 The chlorophyll-a concentration values for 2017 were well below average values during the
161 characteristic development phase of the spring bloom. This anomaly is visible on the chlorophyll-a
162 maps of April 12, 2016, and 2017 (Figure 4). Observations of characterized basking sharks have been
163 made on the part of this anomalous phenomenon (Figure 5).

164 The observations of basking sharks mainly occurred in the first weeks following the inversion of the
165 surfaces concerned by a chlorophyll-a concentration greater than or equal to $1\mu\text{g} / \text{l}$ between the
166 Liguro-Provençal basin and the Gulf of Lion. Thus, basking sharks have been seen in the Gulf of Lion
167 when its phytoplankton development, characterized by chlorophyll-a, is greater than the development
168 of the Liguro-Provençal basin (Figure 6).

169 **Study of the spatial distribution of observations**

170 The values of the basking shark sightings were related to the number of kilometers of coastline per 20
171 kilometers and are absent for distances from 0 to 100 km from the bloom extinction zone (Table II).
172 The values are close for distances from 100 to 160 km. While for distances ranging from 160 to 220 km,
173 the values are close to or equal to 0. Observations decrease with distance from the bloom extinction
174 zone (Figure 7).

175 **Observations taking place after the blooming phenomenon**

176 The observations do not appear during phytoplankton events marked for the two basking shark
177 sightings after the blooming phenomenon (Figure 8).

178 **Statistical analyses of the spatial and temporal distribution of observations**

179 Student test results showed that the surfaces affected by chlorophyll-a concentration equal to or
180 greater than $1\mu\text{g} / \text{l}$ between the Gulf of Lion and the Liguro-Provençal basin during bloom 2017, from
181 day 54 to day 129, are significantly different (Table III). Similarly, the evolution of chlorophyll-a
182 concentrations between the average values throughout the 2017 bloom significantly differs from the
183 average values from 1998 to 2017, from day 54 to day 129. Finally, the chlorophyll-a concentrations
184 between the average values throughout 2017 and the average values from 1998 to 2017 over the same
185 period are also significantly different.

186 Kendall correlation tests (Table IV) showed significant weak correlations between basking shark
187 sightings and the difference in chlorophyll-a concentration to normal for the area covering the Gulf of
188 Lion and the Liguro-Provençal basin for the standard bloom period and the whole year. A Kendall test
189 showed a very significant weak correlation between the observations and the surface ratio in km^2 with
190 a chlorophyll-a concentration greater than or equal to $1\mu\text{g} / \text{l}$ between the Gulf of Lion and the Liguro-
191 Provençal basin only for the standard bloom period. Pearson's correlation test showed a strong and
192 significant negative correlation between the observations and the distance from the bloom's
193 disappearing zone.

194

195

196 **Discussion**

197 **Possible hypotheses and explanations**

198 A positive association is assumed between the distribution of this species and areas of high planktonic
199 development, or even an annual association during blooms (Sims et al., B, 2000; Mancusi et al., 2005;
200 Witt et al., 2012; Couto et al., 2017). However, this is the first case of a correlation between the
201 presence of basking sharks and negative phytoplankton abnormality during the bloom period,
202 illustrating a paradox in the temporal distribution of individuals. We, therefore, assume that the
203 animals have sought optimal feeding areas from the annual feeding areas. Indeed, their presence on
204 the coast begins when the Gulf of Lion is more productive than the Liguro-Provençal basin.

205 The correlations established between the ratio of the surface area of phytoplankton development in
206 the Gulf of Lion to the Liguro-Provençal basin only during the duration of the bloom could find an
207 explanation in the temporal distance from the Bloom end date. This would explain a larger number of
208 basking sharks in the two weeks following the end of the bloom. Especially since the fidelity of this
209 species is known in other regions of the world (Doherty et al., 2017), and we have demonstrated the
210 attraction of animals as possible in 2017 during the standard period of the blooming phenomenon. The

211 factor that caused the animals to return to the expected bloom end date may be energy efficiency
212 through behavioural optimization (Sims, 1999). Indeed, staying longer could be disadvantageous in
213 terms of profitability compared to an immediate move to other sectors, but this is only an
214 unsubstantiated hypothesis. If the temporal distribution of observations is associated with the primary
215 productivity anomaly, we can assume to find more animals in areas with high planktonic concentration.
216 Many observations have been reported on the western part of the Gulf of Lion. A major productivity
217 phenomenon in the Gulf of Lion is the outlet of the Rhône (Auger, 2011), where Port-Saint-Louis-du-
218 Rhône is located, making this place an ideal place for observers and conditions of attraction for pilgrims
219 under the hypothesis of feeding. However, no observations have been reported in this area, illustrating
220 a paradox in the spatial distribution of animals. Thus, different elements indicate that the blooming
221 phenomenon is a primary factor. It also seems, in our case, that attachment to this bloom zone has a
222 greater impact than finding areas with higher planktonic yield for filtration (Sims, 2000B). We would
223 have here an assumption that these animals have feeding areas defined in space (Sims and Quayle,
224 1998) and time, perhaps annually, in the case of basking sharks of the French Mediterranean. Feeding
225 areas with the highest profitability during spring bloom remain offshore except in the exceptional case
226 of 2017. The strong correlation between observations and distance from the bloom supports the idea
227 of a link with the negative primary productivity anomaly.

228 In our study, we assume that areas with high chlorophyll-a concentrations are areas of high
229 phytoplankton and zooplankton productivity, and the correlations found to support this hypothesis
230 (Miller et al., 2015). Hypotheses about the spatial distribution of animals suggest that observations on
231 the Spanish coasts should follow a very particular logic that would be interesting to confirm or deny.
232 Certainly, other factors come into play in the distribution of these animals, which may go against our
233 assumptions and show that our data are incomplete. The two observations outside the bloom period
234 do not have the same spatial distribution as the others by being positioned on the eastern part of the
235 Gulf of Lion (Figure 1). Their temporal distribution is also different from the majority of observations.
236 They took place outside the normal bloom period and without the phenomenon of greater
237 phytoplankton development in the Gulf of Lion (Figure 8). These could be displacements unrelated to
238 the phytoplankton anomaly of the 2017 bloom.

239 The origin of the chlorophyll-a concentration anomaly for the bioregion in 2017 remains unresolved.
240 We have not sought to determine the implication of global warming, even if it seems likely, because of
241 the order of magnitude of the observed anomaly. Links between basking sharks and global warming
242 have already been observed, particularly through water temperature (Cotton et al., 2005).

243 We can take a critical view of our work. Some animals may have been observed several times. Similarly,
244 the spatial correlation between the observations and the bloom zone could be biased, even if different
245 elements converge on this hypothesis.

246 We can formulate a "profitable sharks " theory stating that basking sharks may have habits
247 corresponding to blooms' precise spatial and temporal framework (Figure 9). If the planktonic
248 development of the latter is below normal during the bloom period, as in the case of a very early end,
249 and if close independent sectors have higher energy efficiency, then there will be associated behaviour
250 (Figure 10). Animals will move to areas with higher energy efficiency, and the likelihood of finding
251 individuals will decrease sharply with distance from the bloom area.

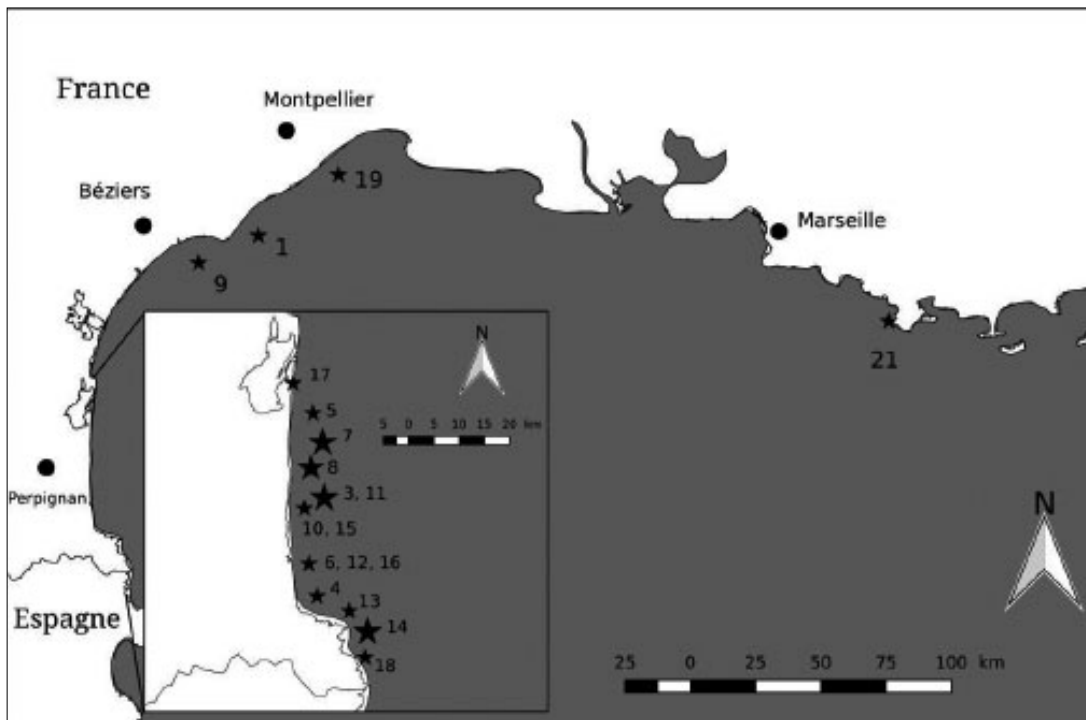
252 We do not know if the Mediterranean basking shark population is isolated from the Atlantic. This could
253 perhaps explain the importance of the blooming phenomenon of the bioregion-Bloom-North-West for
254 these animals, which could be a passage area in this case. Especially since the bioregion may be the
255 scene of a breeding phenomenon because of the hypothetical attraction of these animals to this area,
256 we do not have additional information. Applying the theory of "profitable sharks" would make it
257 possible to determine which region is most conducive to observations of these animals corresponding
258 to a negative anomaly of planktonic production at the level of the Liguro-Provençal basin.

259 One observation of several dozen individuals has already been reported in the past and took place off
260 the Gulf of Lion during the bloom period. Given the research on this species, it seems plausible that
261 many individuals come for this event each year. We can put forward five arguments on the absence of
262 basking shark observances in normal times despite a phenomenon of annual phytoplankton
263 development that should play an attractor role under the feeding hypothesis. The maximum
264 chlorophyll-a development zone in the Bloom-North-West bioregion is around 40 meters deep during
265 the spring (Lavigne 2013), so the hypothetical, optimal plankton filtration zone is not on the surface
266 assuming zooplankton predation on phytoplankton. The surface of strong planktonic development
267 offshore is greater than at the coast in normal bloom time. The annual bloom phenomenon occurs far
268 from the coast, in waters little frequented, except by cargo ships. The number of basking sharks
269 worldwide is low (Hoelzel et al., 2007), and it can be assumed that the trend is even in the
270 Mediterranean. The surface area of the Bloom Northwest bioregion being several thousand km
271 (Lavigne, 2013), the probability of finding an animal seems very low by maritime research methods,
272 especially since these fish have no reason to be on the surface when they hypothetically come to the
273 French Mediterranean.

274

275

276

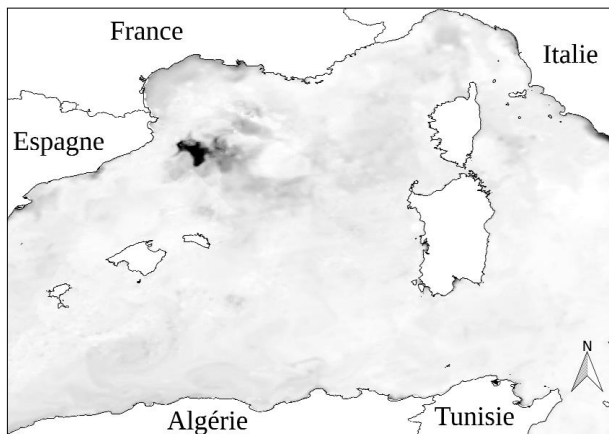


277
 278 Figure 1: Spatial distribution of basking shark observations made during spring 2017 in the Gulf of Lion
 279 in the French Mediterranean Sea. Small stars represent observations of single individuals, while large
 280 stars represent observations of groups of individuals. Much of the sighting is concentrated on the
 281 western part of the Gulf of Lion.

282
 283

Numéro d'observation	Date	Etat de l'animal	Nombre d'individus	Longueur de l'animal (cm)	Site d'observation	Type d'observateur	Preuve photo ou vidéo	Comportement de filtration
1	08/01/2017	Vivant	1	500	Cap d'Agde (Hérault)	Plaisanciers	Oui	Oui
2	avril 2017	Vivant	2	?	?	Plaisanciers	Oui	?
3	08/01/2017	Vivant	2	400 et 600	Canet-en-Roussillon (Pyrénées-Orientales)	Guide Naturaliste	Oui	Oui
4	09/04/2017	Vivant	1	500	Argelès (Pyrénées-Orientales)	Plaisanciers	Oui	?
5	09/04/2017	Vivant	1	500	Le Barcarès (Pyrénées-Orientales)	Plaisanciers	Oui	Oui
6	09/04/2017	Vivant	1	500	Saint-Cyprien (Pyrénées-Orientales)	Plaisanciers	Oui	Oui
7	12/05/2017	Vivant	6	?	Le Barcarès (Pyrénées-Orientales)	Plaisanciers	Oui	Oui
8	12/04/2017	Vivant	2	500 et 600	Le Barcarès (Pyrénées-Orientales)	Guide Naturaliste	Oui	Oui
9	12/04/2017	Vivant	1	500	Cap d'Agde (Hérault)	Pêcheur professionnel	Non	?
10	13/04/2017	Vivant	1	500	Canet-en-Roussillon (Pyrénées-Orientales)	Guide Naturaliste	Oui	Oui
11	13/04/2017	Vivant	2	Homogène (600)	Canet-en-Roussillon (Pyrénées-Orientales)	Guide Naturaliste	Oui	Oui
12	13/04/2017	Vivant	1	Homogène (600)	Saint-Cyprien (Pyrénées-Orientales)	Guide Naturaliste	Oui	Oui
13	14/04/2017	Vivant	1	500	Collioure (Pyrénées-Orientales)	Guide Naturaliste	Oui	Oui
14	15/04/2017	Vivant	3	Homogène (600)	Cap Béar (Pyrénées-Orientales)	Plaisanciers	Oui	Oui
15	16/04/2017	Vivant	1	600	Canet-en-Roussillon (Pyrénées-Orientales)	Guide Naturaliste	Oui	Oui
16	23/04/2017	Vivant	1	?	Saint-Cyprien (Pyrénées-Orientales)	Plaisanciers	Oui	Oui
17	06/05/2017	Mort	1	400	Plage de Port Leucate (Aude)	Plaisanciers	Oui	?
18	07/05/2017	Vivant	1	400	Banyuls-sur-Mer (Pyrénées-Orientales)	Professionel Plongé	Oui	Non
19	10/06/2017	Vivant	1	?	Palavas-les-flots (Hérault)	Plaisanciers	Oui	?
20	?	Mort	1	?	?	Pêcheur professionnel	Non	?
21	08/07/2017	Vivant	1	250	Port des embiez (Provence-Alpes-Côte d'Azur)	Capitainerie	Oui	Oui

284
 285 Table I: List of basking shark sightings (*Cetorhinus maximus*) during the year 2017 in the French
 286 Mediterranean
 287

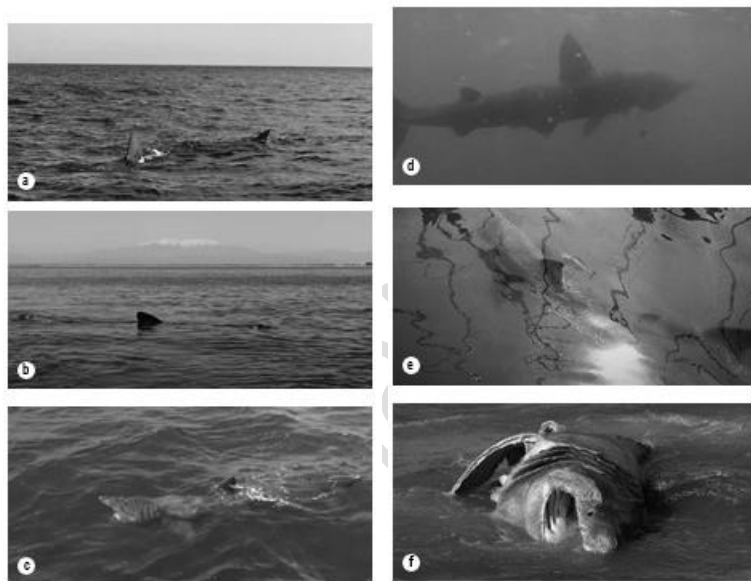


289

290 Figure 2: Observation of chlorophyll-a by satellite from the MARC project, on March 24, 2017, shortly
 291 before the extinction of the bloom. Shades of gray indicate the concentration of chlorophyll-a; high
 292 phytoplankton development is characterized by a darker color.

293

294

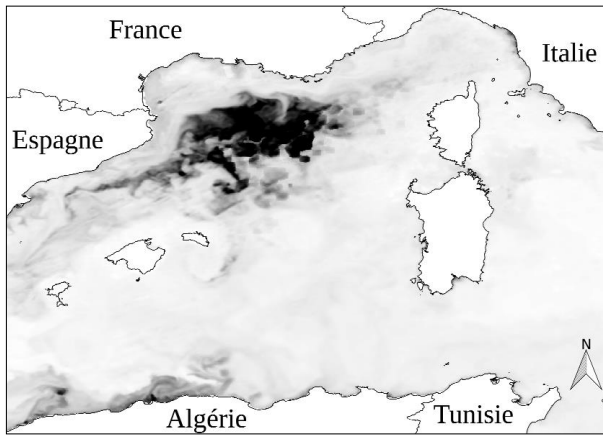


295

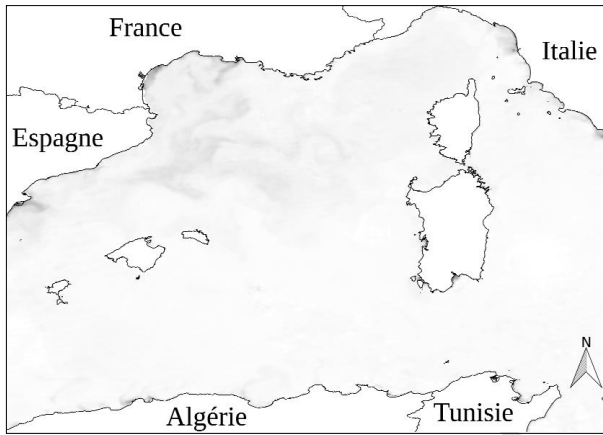
296 Figure 3: Sample of images from basking shark sightings in 2017 in the Gulf of Lion. a) An individual
 297 observed on April 9, 2017, who had filtration behaviour. b) An individual was observed on April 13,
 298 2017, by the BREACH Association with filtration behaviour. c) A filtration behaviour was observed on
 299 April 14, 2017, by "La Compagnie Visionaute". d) On May 7, 2017, an individual was observed by "Aloès
 300 plongée" without filtration behaviour. e) An individual observed in the port of Embiez by Julie Rouault
 301 of the captaincy of "Les Iles Paul Ricard" on June 8, 2017, the presence of filtration behaviour
 302 confirmed. f) A dead individual, whose carcass was in a state of advanced decomposition, was observed
 303 on May 6, 2017, by Serge Briez.

304

305



306



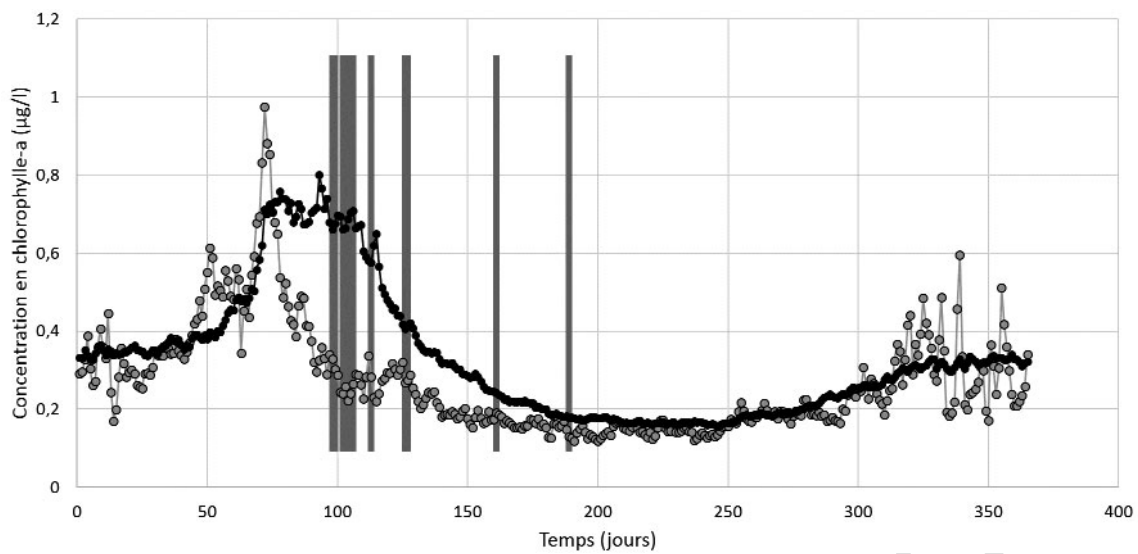
307

308 Figure 4: Map of the average chlorophyll-a concentrations on April 12, 2016, and 2017 covering a
309 western part of the Mediterranean sea, including the Gulf of Lion and the Liguro-Provençal basin
310 resulting from the MARC project. Shades of gray indicate chlorophyll-a concentration; a darker color
311 characterizes high phytoplankton development. a) Map of the chlorophyll-a of April 12, 2016. b) Map
312 of the chlorophyll-a of April 12, 2017.

313

314

315



316

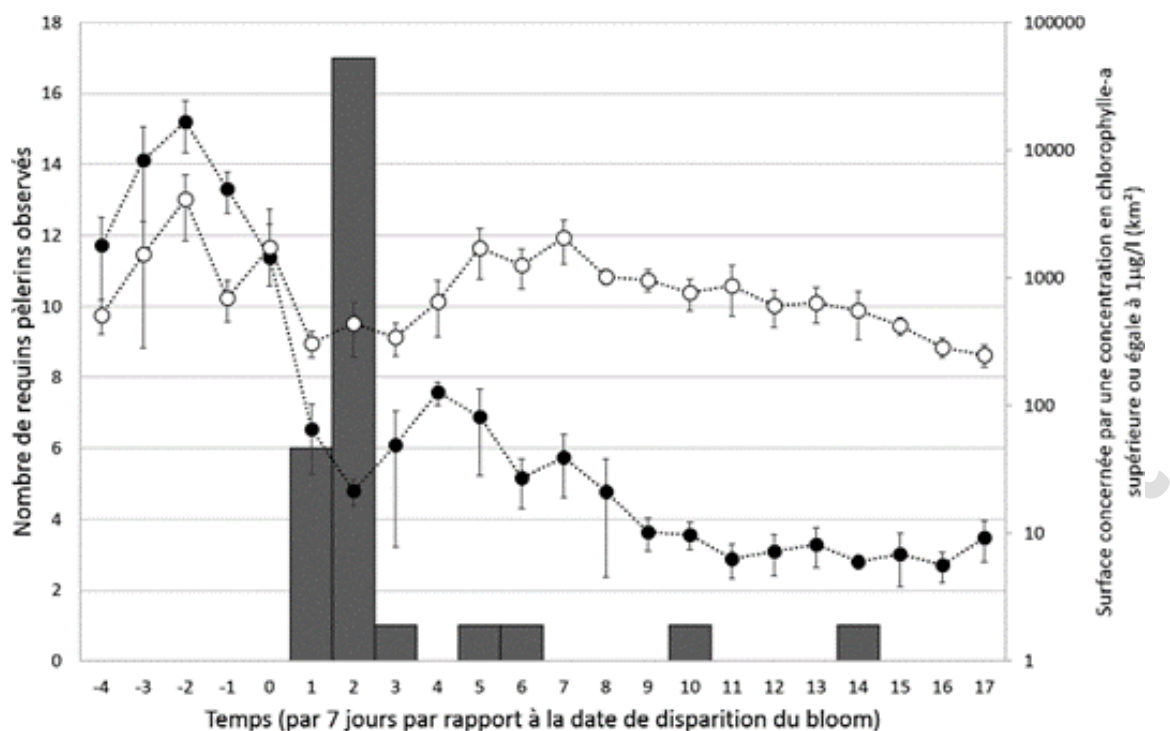
317 Figure 5: Evolution of chlorophyll-a concentration between January and December 2017 compared to
318 the average values from 1998 to 2017 for an area covering the Golfe of Lion and the Liguro-Provençal
319 basin. The basking shark sightings are characterized by vertical gray bars, and many simultaneous
320 observations are signaled by common bars. The black and white circles represent the average
321 chlorophyll-a concentration for the Gulf of Lion and the Liguro-Provençal basin for the year 2017 and
322 the normal one calculated from the data from 1998 to 2017, respectively.

323

324

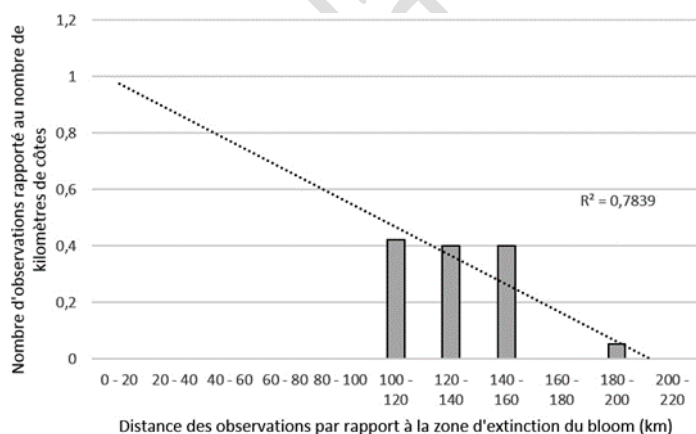
325

326



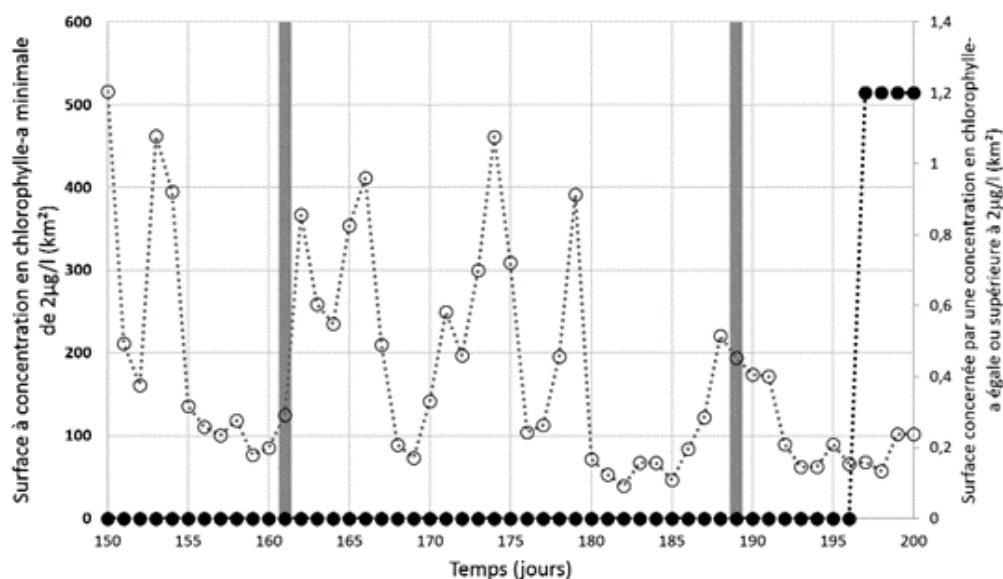
327
 328 Figure 6: Evolution of the area concerned by chlorophyll-a concentration greater than or equal to 1µg
 329 / l for the Gulf of Lion and the Liguro-Provençal basin from February 27 to July 30, 2017, associated
 330 with the temporal distribution of basking shark sightings (*Cetorhinus maximus*). The gray bars
 331 correspond to the number of basking shark sightings. The black and white circles represent the area in
 332 km² with chlorophyll-a concentration greater than or equal to 1 µg / l for the Liguro-Provençal basin
 333 and the Gulf of Lion, respectively.

334
 335



336
 337 Figure 7: Linear regression curve showing basking shark sightings over distance from bloom extinction
 338 area.

339
 340



341
 342 Figure 8: Two observations of basking sharks after the blooming phenomenon against the evolution of
 343 the chlorophyll-a concentration surface greater than or equal to $2 \mu\text{g} / \text{l}$ in 2017 in the Gulf of Lion and
 344 the Liguro- Provençal basin over time. Gray continuous lines indicate the basking shark sightings. The
 345 black and white circles represent the area in km^2 with chlorophyll-a concentration greater than $2 \mu\text{g} /$
 346 l for the Liguro-Provençal basin and the Gulf of Lion, respectively.

347
 348

Liste des tranches de 20km	Nombre d'individus observés par nombre de kilomètres de côtes
0 - 20	Na
20 - 40	Na
40 - 60	Na
60 - 80	Na
80 - 100	Na
100 - 120	0,422609614
120 - 140	0,4
140 - 160	0,4
160 - 180	0
180 - 200	0,052631579
200 - 220	0

349
 350 Table II: Table showing the segmentation of the French Mediterranean coast from the zone of bloom
 351 extinction and the ratio of basking shark sightings to the size of the coast segment.

352
 353
 354
 355
 356

	Comparaison 1		Comparaison 2		Comparaison 3	
test	Student		Student		Student	
p-value	0,005617	**	2,65E-12	***	1,02E-07	***

357

358 Table III: Table of Student's tests between different chlorophyll-a concentration samples

359 Comparison 1: Surfaces affected by a chlorophyll-a concentration equal to or greater than $1\mu\text{g} / \text{l}$
360 between the Gulf of Lion and the Liguro-Provençal basin during bloom 2017 (from day 54 to day 129).361 Comparison 2: Chlorophyll-a concentration ($\mu\text{g}/ \text{l}$) throughout the bloom in 2017 compared to the
362 average values from 1998 to 2017 over the same period (from day 54 to day 129).363 Comparison 3: Chlorophyll-a concentrations ($\mu\text{g} / \text{l}$) of 2017 compared to the average values from 1998
364 to 2017.

365 The degree of significance:

366 $p\text{-value}\leq 0,05$: * $p\text{-value}\leq 0,01$: ** $p\text{-value}\leq 0,001$: *** Not significant: -

367

368

		Condition 1		Condition 2		Condition 3	
Observations durant le bloom 2017	test	Kendall		Kendall		Pearson	
	estimate	0,273715		0,348039		-0,8799	
	p-value	0,003	**	0,0002	***	0,00898	**
Observations durant l'année 2017	test	Kendall		Kendall			
	estimate	0,201079		0,029329			
	p-value	2,47E-06	***	0,492031	-		

369

370 Table IV: Table of correlation tests of observations with different factors.

371 Condition 1: Negative difference in chlorophyll-a concentration (in $\mu\text{g} / \text{l}$) in 2017 compared to the
372 average values from 1998 to 2017 for the area covering the Gulf of Lion and the Liguro-Provençal basin.373 Condition 2: Ratio area in km^2 with a chlorophyll-a concentration greater than or equal to $1\mu\text{g} / \text{l}$
374 between the Gulf of Lion and the Liguro-Provençal basin.

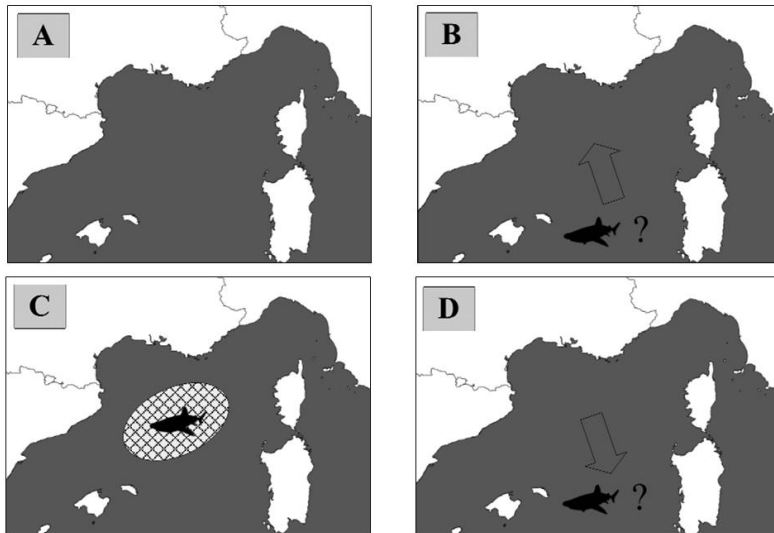
375 Condition 3: Distance to Bloom Extinction Zone

376 The degree of significance:

377 $p\text{-value}\leq 0,05$: * $p\text{-value}\leq 0,01$: ** $p\text{-value}\leq 0,001$: *** Not significant: -

378

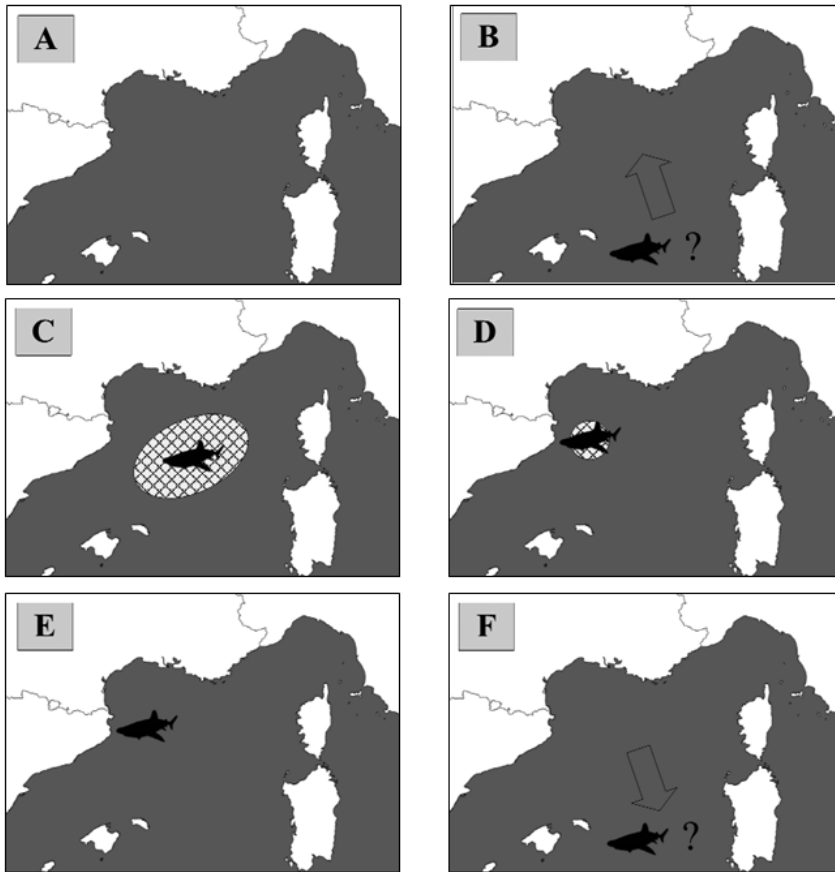
379



380
 381
 382
 383
 384
 385
 386
 387
 388
 389
 390

Figure 9: Possible displacements of basking sharks during a typical spring bloom of the Bloom-North-West bioregion. The following quartering indicates the zones with high planktonic growth. A: Neither spring bloom nor basking sharks. B: The basking sharks move closer to the Liguro-Provençal basin for the spring bloom. C: The spatial distribution of the basking sharks is directly linked to the planktonic growth phenomenon in the basin area because the animals feed themselves in a highly energetic profitability sector. D: The spatial distribution of individuals is unknown after this annual event.

Translated manuscript



391
 392 Figure 10: Possible general displacements of basking sharks during the spring bloom 2017 of the Bloom-
 393 North-West bioregion. The following quartering indicates the zones with high planktonic growth. A:
 394 Neither spring bloom nor basking sharks. B: The basking sharks move closer to the Liguro-Provencal
 395 basin for the spring bloom. C: The spatial distribution of the basking sharks is directly linked to the
 396 planktonic growth phenomenon in the basin area because the animals feed themselves in a highly
 397 energetic profitability sector. D: The bloom phenomenon ends near the French coast, and the animals
 398 follow it. E: After the premature bloom disappearance, the animals search for energetically high
 399 profitability sectors nearby, completing the bloom's natural role at that specific time of the year. Some
 400 animals leave within the first weeks following the bloom extinction. F: The remaining basking sharks
 401 leave the bloom zone at the standard end of this phenomenon. The space distribution of individuals is
 402 unknown after this annual event.

403
 404
 405
 406
 407
 408
 409

410 **Acknowledgments**

411 I thank all those who participated in this work by sharing their observations, and who made this analysis
412 possible. Thanks to Isabelle Mahieu, Yann et Guillaume, Kevin Carlini, Association BREACH, Sonia Gara,
413 Patrick Simon, Antoine Blettner, Cyril Montalieu, Découverte du vivant, Orélien Guay, Navivoile,
414 Compagnie Visionaute, l'association Ailerons, La colo du relais, Bateau école Cap 180, Serge Briez,
415 Aloès Pplongé, Guilhem Cuchet, Julie Rouault, Les Iles Paul Ricard, Caroline Méric, Violaine Dolfo, at
416 the Groupe Phocéén d'Étude des Requins, and Apeps.

417

418

419 **Références**

420 Ali M., A. Saad, C. Reynaud, C. Capapé., 2012. Occurrence of basking shark, *Cetorhinus maximus*
421 (Elasmobranchii: Lamniformes: Cetorhinidae), off the Syrian coast (eastern Mediterranean) with first
422 description of egg case. *Acta Ichthyol. Piscat.*, 42 (4): 335-339.

423

424 Auger P.-A., 2011. Modélisation des écosystèmes planctoniques pélagiques en Méditerranée nord-
425 occidentale : Impact des eaux du Rhône à l'échelle du plateau du Golfe du Lion et variabilité
426 interannuelle à décennale au large. *Océanographie*. Université Paul Sabatier – Toulouse III.

427

428 Bonfil R., 1994. Overview of world elasmobranch fisheries. *FAO Fish. Techn. Pap.* 341: 1-119.

429

430 Capapé C., F. Hemida, J. Bensaci, B. Saïdi, M.N. Bradaï, 2003. Records of basking sharks, *Cetorhinus*
431 *maximus* (Gunnerus, 1765) (Chondrichthyes Cetorhinidae) off the maghrebin shore (southern
432 mediterranean) a survey. *Annales, Ser. his. nat.* 1:13-18.

433

434 Carlucci R., D. Battista, F. Capezzuto, F. Serena, L. Sion, 2014. Occurrence of the basking shark
435 *Cetorhinus maximus* (Gunnerus, 1765) (Lamniformes: Cetorhinidae) in the central- eastern
436 Mediterranean Sea. *Italian Journal of Zoology*. 81(2): 280-286.

437

438 Communauté Européenne, 2007. Council Regulation (EC) No 41/2006 of December 21 2006. *Official*
439 *Journal of the European Union*. 20/01/2007: 6.

440 Cotton P., D. Sims, S. Fanshawe, M. Chadwick, 2005. The effect of climate variability on zooplankton
441 and basking shark (*Cetorhinus maximus*) relative abundance off southwest Britain. *Fisheries*
442 *Oceanography*. 14 : 151-155.

443

444 Couto A, N. Queiroz, P. Relvas, M. Baptista, M. Furtado, J. Castro, M. Nunes, H. Morikawa, R. Rosa, 2017.
445 Occurrence of basking shark *Cetorhinus maximus* in southern Portuguese waters: a two-decade survey.
446 *Mar Ecol Prog Ser* 564:77-86.
447
448 Crowe L.M., O. O'Brien, T.H. Curtis, S.M. Leiter, R.D. Kenney, P. Duley, S.D. Kraus, 2018. Characterization
449 of large basking shark *Cetorhinus maximus* aggregations in the western North Atlantic Ocean. *J Fish*
450 *Biol*, 92: 1371-1384.
451
452 De Sabata E., G. Bello, G. Cataldini, C. Mancusi, F. Serena, S. Clò, 2014. A seasonal hotspot for *Cetorhinus*
453 *maximus* in Apulia, Southern Italy. *Biologia Marina Mediterranea*. 21. 273.
454
455 De Sabata E., S. Clò, 2010. Public sighting scheme reveals the seasonal presence of *Cetorhinus maximus*
456 around North Sardinia, Italy. *Biologia Marina Mediterranea*. 17.
457
458 Doherty P.D., J.M. Baxter, F.R. Gell, B.J. Godley, R.T. Graham, G. Hall, J. Hall, L.A. Hawkes, S.M.
459 Henderson, L. Johnson, C. Speedie, M.J. Witt, 2017. Long-term satellite tracking reveals variable
460 seasonal migration strategies of basking sharks in the north-east Atlantic. *Scientific reports*. 7: 42837.
461 Gohin F., J.N. Druon and L. Lampert, 2002. A five channel chlorophyll algorithm applied to SeaWiFS data
462 processed by SeaDAS in coastal waters, *International Journal of Remote Sensing*. 23: 1639-1661.
463
464 Gore M., D. Rowat, J. Hall, F. Gell, R. Ormond, 2008. Transatlantic migration and deep mid-ocean
465 diving by basking shark. *Biology letters*. 4: 395-398.
466
467 Hoelzel R., M. Shivji, J. Magnussen, M. Francis, 2007. Low worldwide genetic diversity in the basking
468 shark (*Cetorhinus maximus*). *Biology letters*. 2: 639-42.
469
470 IFREMER (2017). Chlorophyll-a interpolée (données satellite). IFREMER.. [http://doi.org](http://doi.org/10.12770/9352f74a-7ecb-485e-8ea3-9aa91001b9a1)
471 [/10.12770/9352f74a-7ecb-485e-8ea3-9aa91001b9a1](http://doi.org/10.12770/9352f74a-7ecb-485e-8ea3-9aa91001b9a1)
472
473 Lavigne H., 2013. Impact de la variabilité saisonnière de la profondeur de la couche de mélange sur le
474 cycle saisonnier du phytoplancton en Méditerranée. École doctorale des sciences de l'environnement
475 d'île de France. 49.
476

477 Lucifora L., S. Barbini, E. Di Giacomo, J.A. Waessle, D. E Figueroa, 2014. Estimating the geographic range
478 of a threatened shark in a data- poor region: *Cetorhinus maximus* in the South Atlantic Ocean. *Current*
479 *Zoology*. 61: 811–826.

480

481 Bradaï M.N., M. Ghorbel, 1992. Capture d'un requin pèlerin *Cetorhinus maximus* (Gunnerus, 1765)
482 dans la région du Golfe de Gabès, Tunisie. *Bull. Inst. natn sci. tech. Océanogr, Pêche, Salammbô*. 3: 10-
483 15.

484

485 Malek A., A. Saad, C. Reynaud and C. Capapé, 2012. Occurrence of basking shark, *Cetorhinus maximus*
486 (Elasmobranchii: Lamniformes: Cetorhinidae), off the Syrian coast (eastern Mediterranean) with first
487 description of egg case. *Acta Ichthyologica Et Piscatoria*, 42: 335-339.

488

489 Mancusi C., S. Clò, M. Affronte, M.N. Bradaï, F. Hemida, F. Serena, A. Soldo, M. Vacchi, 2005. On the
490 presence of basking shark (*Cetorhinus maximus*) in the Mediterranean Sea. *Cybiu*. 29(4): 399-405.

491

492 Miller P., K. Scales, S. Ingram, E. Southall, D. Sims, 2015. Basking sharks and oceanographic fronts:
493 Quantifying associations in the north-east Atlantic. *Funct Ecol*, 29: 1099-1109.

494

495 Priede I., P. Miller, 2009. A basking shark (*Cetorhinus maximus*) tracked by satellite together with
496 simultaneous remote sensing II: New analysis reveals orientation to a thermal front. *Fisheries Research*.
497 95: 370-372.

498

499 Serena F., M. Vacchi, G. Notarbartolo Di Sciara, 2000. Geographical distribution and biological
500 information on the basking shark, *Cetorhinus maximus* in the Tyrrhenian and Ligurian seas. *Proc. 3rd*
501 *Europ. Elasm. Ass. Meet.* 1: 47-56.

502

503 Siders Z.A., A.J. Westgate, D.W. Johnston, L.D. Murison, H.N. Koopman, 2013. Seasonal Variation in the
504 Spatial Distribution of Basking Sharks (*Cetorhinus maximus*) in the Lower Bay of Fundy, Canada. *Plos*
505 *One*. 8(12): e82074.

506

507 Sims D., 1999. Threshold foraging behaviour of basking sharks on zooplankton: life on an energetic
508 knife-edge? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 266(1427), 1437.

509

510 Sims D., 2000B. Filter-feeding and cruising swimming speeds of basking sharks compared with optimal
511 models: They filter-feed slower than predicted for their size. *Journal of experimental marine biology*
512 *and ecology*. 249: 65-76.
513

514 Sims D., A.M. Fox, D.A. Merrett, 1997. Basking shark occurrence off south west England in relation to
515 zooplankton abundance. *Journal of Fish Biology*. 51:436- 440.
516

517 Sims D., E. Southall, V. Quayle, A. Fox, 2000. Annual social behavior of basking sharks associated with
518 coastal front areas. *Proc R Soc Lond B*. 267:1897-1904.
519

520 Sims D., V. Quayle, 1998. Selective foraging behaviour of basking sharks on zooplankton in small-scale
521 front. *Nature*. 393: 460–464.
522

523 Soldo A., D. Lucic, I. Jardas, 2008. Basking shark (*Cetorhinus maximus*) occurrence in relation to
524 zooplankton abundance in the eastern Adriatic Sea. *Cybium*. 32: 103-109.
525

526 Witt M., T. Hardy, L. Johnson, C. McClellan, S. Pikesley, S. Ranger, P. Richardson, J.-L. Solandt, C. Speedie,
527 R. Williams, 2012. Basking sharks in the northeast Atlantic: Spatio-temporal trends from sightings in UK
528 waters. *Mar Ecol Prog Ser*. 459: 121-134.
529

530 Zuffa M., A. Soldo, T. Storai, 2001. Preliminary observations on abnormal abundance of *Cetorhinus*
531 *maximus* (Gunnerus, 1765) in the central and northern Adriatic Sea. *Annales*. 11(2): 185-192.
532
533