

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

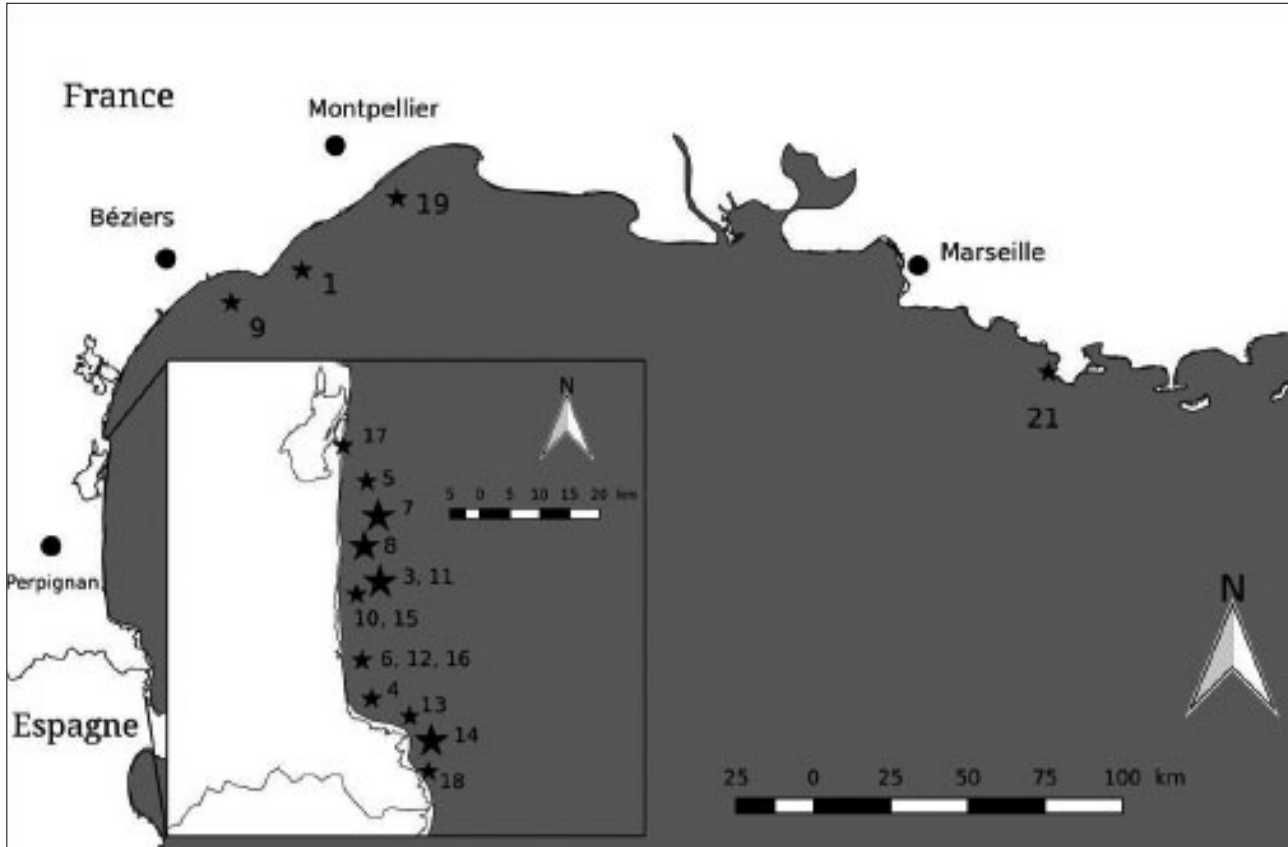


Figure 1

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

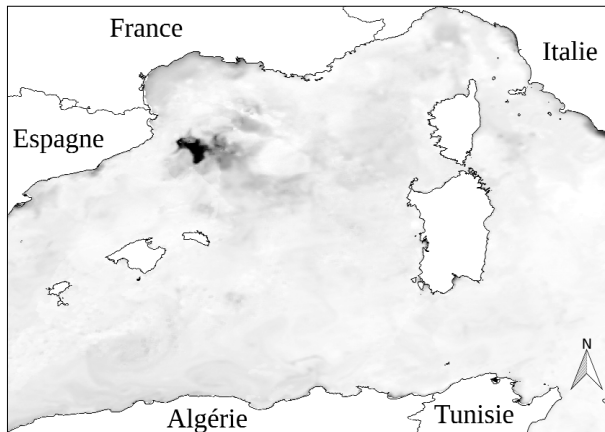


Figure 2

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 phytoplanctonique 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.

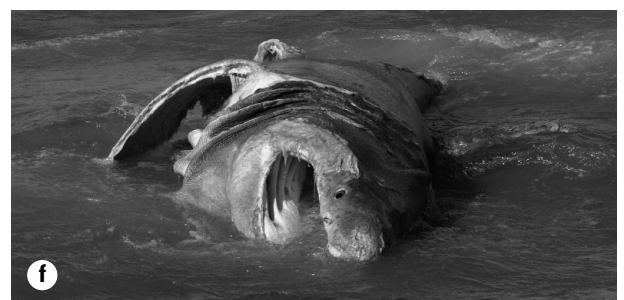
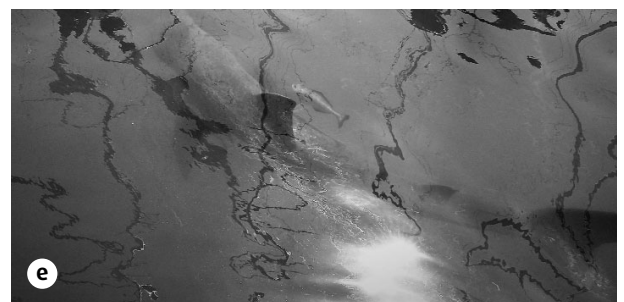


Figure 3 >

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

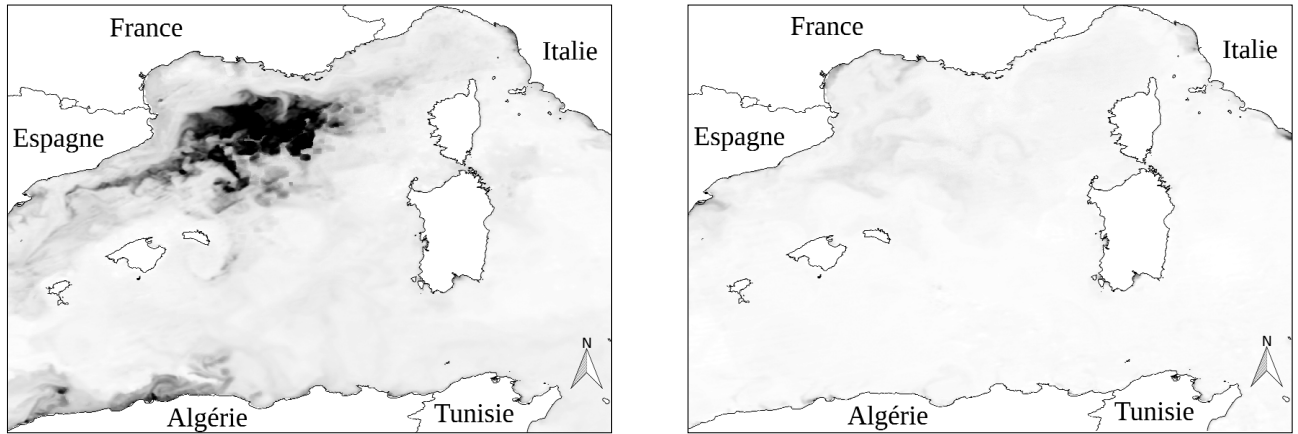


Figure 4

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.

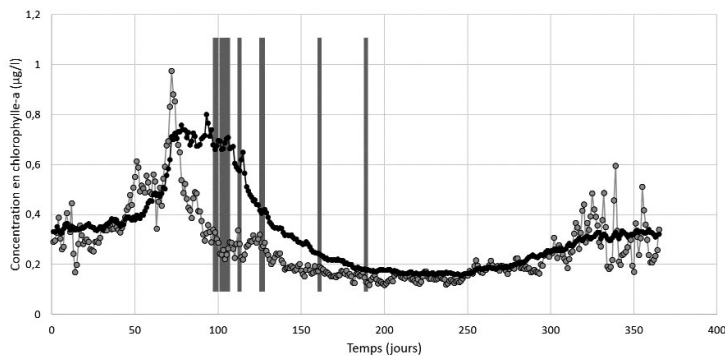


Figure 5

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.

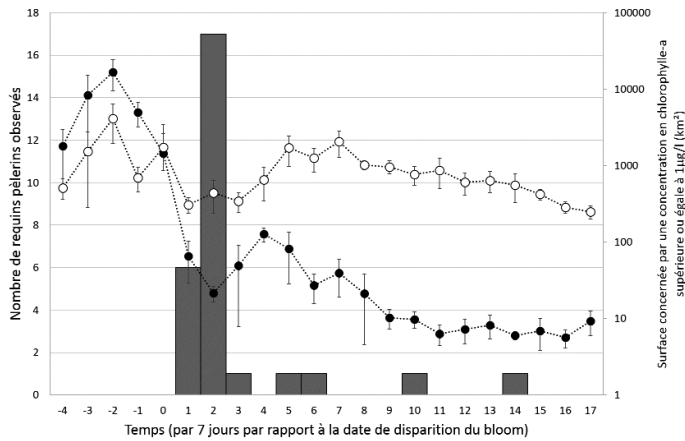


Figure 6

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

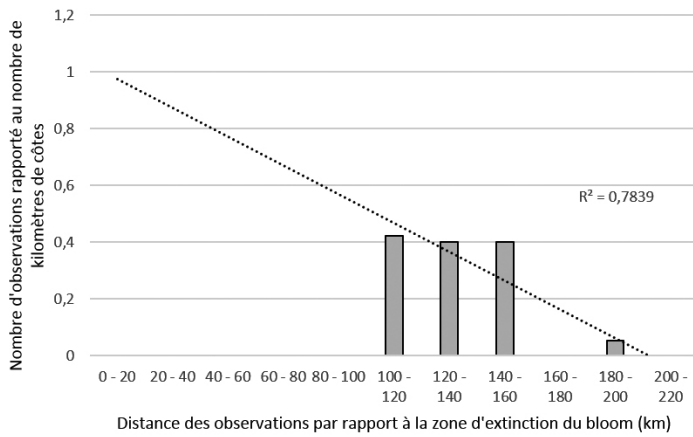


Figure 7

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.

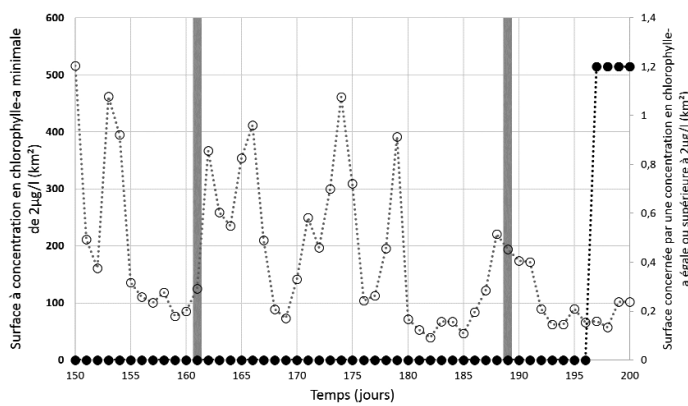


Figure 8

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: -

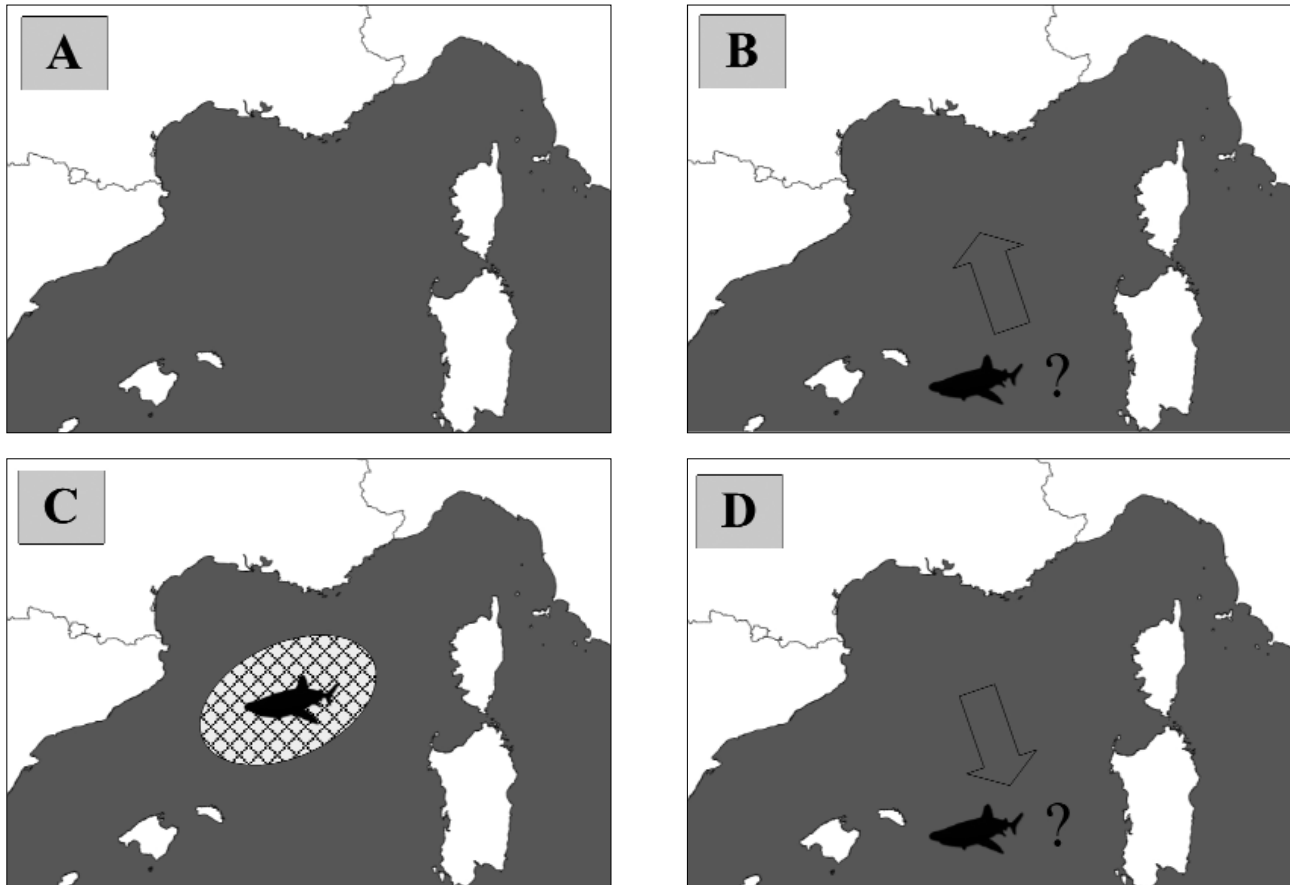


Figure 9

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

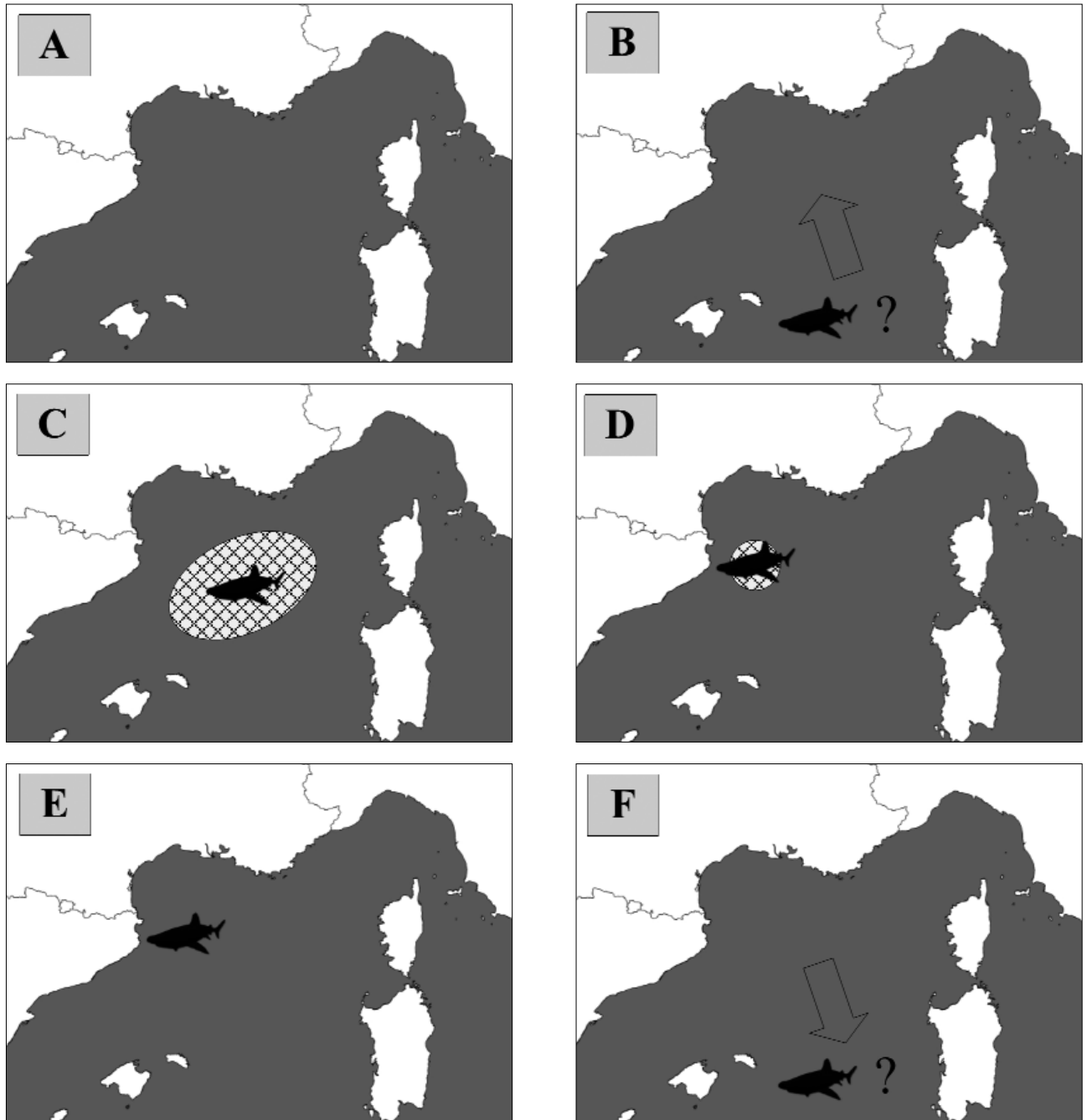


Figure 10

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 Phocéen 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. Capezzuto, 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.