

## Mémoire de fin d'études

# Conception d'indicateurs pour l'expertise de surveillance et de prévision d'échouement des sargasses pélagiques sur les Antilles française



**MAUREL Solène**

Promotion [108]

Stage effectué à [Fort-de-France, Martinique, France]  
du [21/03/2022] au [26/08/2022]  
au sein de : [Météo France Direction Antilles Guyane]

Maître de stage : [Barbier Sarah et Palany Philippe]  
Tuteur pédagogique : [Parent, Briz]

## Résumé

La situation des Antilles françaises face aux invasions de sargasses sur le littoral est critique. Cela impacte non seulement l'économie des îles mais aussi la santé de la population et de leur environnement.

Météo-France s'occupe de la prévision des échouements de sargasse et publie 1 à 2 bulletins par semaine. Dans l'optique d'améliorer la précision des prévisions, il a fallu concevoir des indicateurs à différentes échelles. Après avoir analysé les différentes théories et moyens d'observations des sargasses existants, différents géo-indicateurs ont émergé.

Ainsi, les indices AFAl (Alternative Floating Algae Index), AMM (Atlantic Meridional Mode) et chlorophylle-a, obtenues à partir d'images satellite, sont à observer pour les tendances à 2 mois. Concernant les tendances à 2 semaines et 4 jours, les images satellites Sentinel 2 et 3 sont envisageables, en fonction de leurs taux de revisite. Les observations pour prévisions immédiates pourraient évoluer grâce aux images satellite, des caméras du BRGM et de Madinair et du taux d'Hydrogène de Sulfure enregistré en direct.

Le bulletin de prévision des échouements étant depuis peu diffusé au grand public, de nouvelles missions ont émergé afin d'orienter le bulletin de prévision à la population locale. Dans le cadre du projet CESAR, un questionnaire portant sur l'impact des échouements sur la population a été pensé et une enquête sera menée par la suite. De plus, un forum réunissant les différents acteurs de l'observation des sargasses se planifie. Les acteurs de l'observation pourront présenter les situations qu'ils ont pu rencontrer, leurs méthodes de gestion des informations et potentiellement des idées pour améliorer le processus d'anticipation des échouements. Et ainsi au travers des échanges, créer un premier réseau d'échange des informations. Des solutions permettant d'anticiper, et donc gérer au mieux ces échouements pourront ainsi émerger lors de cette table ronde, réunissant les acteurs de la surveillance, et les acteurs du littoral.

Divers indicateurs ont donc été sélectionnés et des actions ont été amorcées afin de faire évoluer au mieux la prévention des échouements de sargasses à travers une prise de décision plus précise et une communication plus ciblée à travers le bulletin produit par Météo-France.

Mots clés : échouement, géo-indicateur, prévision, sargasse, satellite, télédétection

## Summary

The situation of the French West Indies with sargassum is critical. This not only impacts the economy of the islands but also the health of the population and their environment.

Meteo-France is in charge of forecasting sargassum strandings and publishes 1 to 2 bulletins per week. In order to improve the accuracy of forecasts, it was necessary to design indicators at different scales. After analyzing the different theories, different geo-indicators have emerged.

Thus, the AFAl (Alternative Floating Algae Index), AMM (Atlantic Meridional Mode) and chlorophyll-a indices, obtained from satellite images, permit to get the 2-month observations. For the 2-week and 4-day trends, Sentinel 2 and 3 satellite images can be considered, depending on their revisit rates. Observations for immediate forecasts could evolve thanks to satellite images, BRGM and Madinair cameras and the rate of Hydrogen Sulfide recorded live.

As the grounding forecast bulletin has recently been broadcasted to the public, new missions have emerged in order to direct the forecast bulletin to the local population. Within the framework of the CESAR project, a questionnaire on the impact of strandings on the population has been prepared and a survey will be conducted. In addition, a forum bringing together the various actors of the observation of sargassum is planned. The actors of the observation will be able to present the situations that they could meet, their methods of management of the information and potentially ideas to improve the process of anticipation of the strandings. Thus, through the exchanges, create a first network of information exchange. Solutions allowing to anticipate, and to manage at best these strandings will be able to emerge during this round table, gathering the actors of the monitoring, and the actors of the littoral.

Various indicators have been selected and actions have been initiated to improve the prevention of sargassum stranding through a more accurate decision making and a more targeted communication through the bulletin produced by Météo-France.

Key words: forecast, grounding, geo-indicator, remote sensing, sargassum, satellite

## Resumen

La situación en las Antillas francesas con respecto a las invasiones de sargazo en la costa es crítica. Esto repercute no sólo en la economía de las islas, sino también en la salud de la población y su entorno.

Météo-France se encarga de prever los varamientos de Sargassum y publica de 1 a 2 boletines por semana. Para mejorar la precisión de las previsiones, fue necesario diseñar indicadores a diferentes escalas. Tras analizar las diferentes teorías y medios de observación del sargazo, surgieron diferentes geoindicadores.

Así, los índices AFAl (Índice Alternativo de Algas Flotantes), AMM (Modo Meridional Atlántico) y clorofila-a, obtenidos a partir de imágenes de satélite, se observarán en las observaciones de 2 meses. Para las tendencias de 2 semanas y 4 días, se pueden considerar las imágenes de los satélites Sentinel 2 y 3, en función de sus índices de revisita. Las observaciones para las previsiones inmediatas pudieron evolucionar gracias a las imágenes de satélite, las cámaras BRGM y Madinair y la tasa de sulfuro de hidrógeno registrada en directo.

Con la reciente difusión del boletín de previsión de aterrizaje al público en general, han surgido nuevas misiones para dirigir el boletín de previsión a la población local. En el marco del proyecto CESAR, se ha diseñado un cuestionario sobre el impacto de las varadas en la población y se realizará una encuesta posterior. Además, se está planificando un foro que reúna a los distintos agentes implicados en la vigilancia de los sargazos. Los participantes en la observación podrán presentar las situaciones que han encontrado, sus métodos de gestión de la información y, potencialmente, ideas para mejorar el proceso de anticipación de los varamientos. Y así, a través de los intercambios, crear una primera red de intercambio de información. En esta mesa redonda, que reunirá a los responsables de la vigilancia y a los que trabajan en la costa, podrían surgir soluciones para anticipar y gestionar estos encallamientos.

Se han seleccionado varios indicadores y se han iniciado acciones para mejorar la prevención del varamiento del sargazo mediante una toma de decisiones más precisa y una comunicación más específica a través del boletín elaborado por Météo-France.

Palabras clave: encallamiento, geoindicador, previsión, sargazo, satélite, teledetección

## Table des matières

Introduction.....	3
I. Etat de l'art des connaissances sur les sargasses .....	5
A. L'aléa d'échouement des sargasses.....	6
1. Définition et contexte .....	6
2. Zones impactées .....	7
3. Facteurs influant le déplacement des sargasses .....	9
B. Enjeux .....	14
1. Enjeux sanitaires .....	14
2. Enjeux environnementaux .....	14
3. Enjeux économiques .....	15
C. Acteurs .....	15
II. Analyse et anticipation de l'échouement des sargasses.....	18
A. Observations .....	19
1. Télédétection .....	19
2. Observations <i>in-situ</i> .....	23
B. Expertise de Météo-France.....	26
1. Dispositif de prévision des échouements de sargasses.....	26
2. Limites du bulletin actuel et données à disposition .....	28
III. Analyse de l'évolution possible de la production du bulletin émis à Météo-France .....	30
A. Conception de géo-indicateurs de changement .....	31
1. Observations pour prévisions saisonnières (2-3 Mois).....	31
2. Observations pour tendances à 2 semaines .....	37
3. Observations pour prévision à 4 jours .....	41
4. Observations pour prévisions immédiates et vérifications .....	41
B. Mémoire des évènements.....	45
1. Objectifs .....	45
2. Méthodologie .....	46
C. Élaboration d'un questionnaire pour les usagers du littoral .....	46
1. Méthodologie .....	46
2. Perspectives de la mission .....	47
D. Organisation d'un forum.....	47
1. Objectifs .....	47
2. Méthodologie .....	48
3. Perspectives .....	49
Conclusion.....	50
IV. Bibliographie.....	64

## Table des figures

Figure 1 : Types de sargasses retrouvées sur les côtes caribéennes (ADEME, 2020).....	6
Figure 2 : Zones impactées par les échouements de sargasses en 2022 (« Sargassum Monitoring – Official Maps & News », 2022) .....	7
Figure 3 : Exemple de cartographie des échouements de sargasses et des radeaux dérivants en approche de la Martinique. Observations du 20 août 2015 (Anses, 2017).....	8
Figure 4 : Distribution mensuelle des sargasses en 2017 exprimée comme la proportion de pixels contenant des sargasses. Les vecteurs représentent les courants de surface mensuel issus de MERCATOR PSY 1/12° sur l'année 2017 (L. Berlin, et al. 2020). .....	9
Figure 5 : Les courants de l'Atlantique Nord (DEAL, 2018) .....	10
Figure 6 : Les courants de l'Atlantique (Johns et al., 2020a) .....	10
Figure 7 : Résultats du modèle global des rétro-trajectoires simulées par le modèle océanique HYCOM représentant les trajectoires des particules qui sont remontées de la mer des Caraïbes vers l'Atlantique Nord en un an (en bleu) en deux ans (en rouge) (John et al., 2020).....	11
Figure 8 : Influence du vent sur les bouées dérivantes avec et sans nasses (1979- mars 2018)(Johns et al., 2020a).....	12
Figure 9 : Représentation du fonctionnement de MOTHY .....	12
Figure 10 : Prévion de dérive de sargasses détectées au large de la Guyane française le 01 mai 2022 à 13h40 UTC, par le capteur OLCI Sentinel 3B grâce à l'indice MCI (Météo France, 2022) .....	13
Figure 11 : Schéma de représentation des différents modules contenus dans MOTHY. Les entrées nécessaires au modèle sont représentées en bleu. Le modèle MOTHY est en noir et ses sorties en vert (Stéphan, 2021).....	13
Figure 12 : Tableau récapitulatif des Valeurs Toxiques de Références (VTR) existantes de l'H2S par inhalation (Anses, 2017).....	14
Figure 13 : Impact des sargasses sur les écosystèmes marins .....	15
Figure 14 : Acteurs dans le plan de lutte et de prévention contre les sargasses.....	17
Figure 15 : Représentation temporelle de la disponibilité des données .....	19
Figure 16 : Comparaison de la luminescence émise par les bancs de sargasses dans le Gulf Stream imagée par le capteur océanique MERIS de l'ESA à sa résolution spatiale de 300m. (b) Spectres de radiance émises par les bancs de sargasses au sommet de l'atmosphère pour un pixel contenant une forte concentration de sargasses (rouge) et pour les eaux claires voisines (vert). Le spectre de différence (bleu, valeurs sur l'axe de droite) montre le "red-edge" de la végétation terrestre, mais décalé vers une longueur d'onde plus courte (Trinanes et al., 2021).....	20
Figure 17 : Image satellite post traitée haute résolution (Sentinel-2).....	22
Figure 18 : Image satellite true color haute résolution (Sentinel-2) .....	22
Figure 19 : Phénomène de Sunlint (Rosenqvist et al., 2004) .....	22
Figure 20 : Image satellitaire avec une fauchée ne donnant pas de données sur les Antilles (University of South Florida, 2022).....	23
Figure 21 : Localisation des caméras du BRGM et Madinainair .....	24
Figure 22 : Image du Marigot via une caméra du BRGM et Madinainair .....	24
Figure 23 : Traitement des images caméra avec MATLAB (BRGM) .....	25
Figure 24 : Données satellitaires disponibles sur Synopsis en avril 2022 .....	26
Figure 25 : Images extranet Météo-France (24/08/2022) .....	27
Figure 26 : Zone d'étude Equatoriale - Subtropiques .....	28
Figure 27 : Evolution du taux de H <sub>2</sub> S sur 1 an .....	29
Figure 28 : Cartographie représentant les zones d'observation des sargasses, à 2-3 mois de leurs	

échouements .....	31
Figure 29 : Cartographie représentant les zones d'observation liées à l'évolution des bacs de sargasses .....	32
Figure 30 : Climatologie de la dynamique spatio-temporelle de la fraction couverte par les sargasses en fonction de la position de l'ITCZ (ligne noire) et le pompage d'ekman (au niveau de l'upwelling équatorial et de Mauritanie). La barre de couleur correspond au pourcentage de couverture spatial de sargasses (Johns et al., 2020) .....	33
Figure 31 : Atlantic Méridional Mode (AMM) et Atlantic Niño indices (Marsh et al., 2021) .....	34
Figure 32 : Pourcentage de couverture de sargasses .....	34
Figure 33 : Séries chronologiques mensuelles d'AMM de 2010 à 2021 .....	34
Figure 34 : Corrélation spatiale entre l'AMM et l'AFAI dans le CENA entre avril et août de 2010 à 2020 (Skiris et al., 2022) .....	35
Figure 35 : Moyenne avril-août de l'anomalie de la fraction surfacique AFAI moyennée sur la CENA et moyenne janvier- mars anomalies de la chlorophylle-a (mg/m <sup>3</sup> ) en moyenne sur la région d'upwelling étendue (20°W–30°W,12°N–20°N) (Skiris et al., 2022) .....	36
Figure 36 : Exemple de modèle de régression, avec des données fictives .....	37
Figure 37 : Cartographie représentant les zones d'observation des sargasses à 4 et 15 jours de leurs échouements .....	38
Figure 38 : Exemple de graphique représentant l'évolution de l'abondance de sargasses .....	40
Figure 39 : Zone d'observation directe en Guadeloupe .....	42
Figure 40 : Zone d'observation directe en Martinique .....	42
Figure 41 : Zones d'observation possible en avec les caméras Guadeloupe dans l'hypothèse où elles sont toutes exploitables .....	43
Figure 42 : Zones d'observation possibles avec les caméras en Martinique dans l'hypothèse où elles sont toutes exploitables .....	43
Figure 43 : Evolution temporelle de la densité de probabilité de présence des sargasses à Marigot bourg. Les différentes couleurs représentent les proportions des différentes classes d'intérêt (algue, bâti, écume, ciel, végétation, eau). Exemple d'une image brute.....	43
Figure 44 : Carte de risque d'échouement du 27 juin 2022 pour les 4 jours suivants .....	44
Figure 45 : Exemple d'histogramme (fictif) représentant le seuil critique du nombre de pixels sargasses .....	45
Figure 46 : Liste des collaborateurs potentiels.....	49

### **Table des tableaux**

Tableau 1 : Constellation de satellites permettant la détection des sargasses.....	19
Tableau 2 : Indices à observer .....	36

## Liste abrégations

AFAI	Alternative Floating Algae Index
AMM	Atlantic Méridional Mode
AMO	Atlantic Multidecadal Oscillation
ANR	Agence Nationale de la Recherche
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CENA	Centre Equatorial North Atlantic
CEVA	Centre d'Etude et Valorisation des Algues
CEP	Centre Européen de prévision
CESAR	Coastal Environment under SARgassum crisis
CLS	Collecte Localisation Satellite
CMS	Centre de Météorologie Spatiale
CNN	Convolutional Neural Network
CTM	Collectivité Territoriale de Martinique
CWA	Centre West Atlantic
DEAL	Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DIRAG	Direction Interrégionale de Météo-France aux Antilles-Guyane
DirOP	Direction des Opérations marines de Météo France
EC-MPF	Etudes, Climat Maîtrise de la Production Finalisée
ESA	European Space Agency
FAI	Floating Algae Index
HYCOM	HYbrid Coordinate Ocean Model
H <sub>2</sub> S	Sulfure d'hydrogène
IFS	Integrated Forecast System
ITCZ	Zone de convergence intertropicale
LC2S	Laboratoire Caribéen des Sciences Sociales
MCI	Maximum Chlorophyl Index
MFAI	Modified Floating Algae Index
MOi	Mercator Ocean international
MOTHY	Modèle Océanique de Transport d'Hydrocarbures
MTES	Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire
NBC	Courant Nord Brésilien
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NECC	Courant Nord Equatorial
NERR	Recirculation Nord équatorial
NH <sub>3</sub>	Ammoniac
PNMM	Parc Naturel marin de la Martinique
PULSAR	Plan d'Urgence Local SARgasses
SST	Sea Surface Temperature
SWI	Short-Wave Infrared
VTR	Valeur Toxiques de Références
WP1 / WP2	Work Package 1 / Work Package 2

## Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage ingénieur et qui m'ont aidée lors de la rédaction de mon mémoire.

Je voudrais en premier temps remercier mon tuteur, Monsieur PARENT, de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

Je remercie également les responsables de mon domaine d'approfondissement TRAME, Monsieur DURAND et Monsieur GUETTE de m'avoir fourni les compétences nécessaires à la réalisation de mon stage.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes, pour leur aide dans la réalisation de ce mémoire :

Madame BARBIER, qui m'a beaucoup appris sur la thématique des sargasses, et océanologie. Elle a partagé ses connaissances et expériences dans ce milieu, tout en m'accordant sa confiance.

Monsieur PALANY, pour m'avoir introduit aux travaux du Laboratoire Caribéen des Sciences Sociales, pour son suivi et avoir répondu à mes questions sur la partie sociale de ce mémoire.

A tous les membres Météo-France de Fort-de-France pour leur accueil et participation à ma réflexion sur ma problématique de mémoire.

# Introduction

Depuis 2011, les côtes caribéennes connaissent des accumulations d'algues brunes (Descloitres *et al.*, 2021). Ces sargasses viennent régulièrement s'échouer sur les côtes des Antilles, avec d'importantes répercussions écologiques, économiques et sanitaires (BRGM *et al.*, 2020)

Les échouements peuvent atteindre plusieurs mètres d'épaisseur et couvrir des baies entières. Le volume échoué sur les côtes était de 1,5 millions de m<sup>3</sup> entre octobre 2014 et octobre 2015 en Guadeloupe. Seulement 1/3 a pu être collecté par les collectivités (Didier Bernard *et al.*, 2021)

La problématique des sargasses est qu'une fois échouées, elles commencent à se décomposer par voie aérobie. La couche de sargasse supérieure forme ainsi une croûte séchée en surface. Cela va entraîner par la suite une décomposition anaérobie des sargasses se trouvant en dessous de la croûte compacte. Elles vont libérer du H<sub>2</sub>S grâce à ce phénomène (Anses, 2017).

Les Antilles françaises sont des îles d'une superficie inférieure à 1200 km<sup>2</sup> (Didier Bernard *et al.*, 2021) et qui sont donc extrêmement vulnérables face à la problématique des sargasses. Afin d'anticiper au mieux ces échouements et réagir au plus vite certains moyens ont été mis en place.

Météo-France s'occupe de la production des bulletins de prévision des échouements de sargasses sur le littoral, depuis le premier Plan National de Prévention et de Lutte contre les Sargasses de 2019 et la création du Projet CESAR qui s'en est suivi.

L'objectif de Météo-France face à cette problématique, est d'optimiser la prévention des échouements de sargasses en s'appuyant sur de nouveaux indicateurs.

## 1. Météo France

Météo-France est un établissement public de l'État à caractère administratif placé sous la tutelle du ministre de la Transition écologique et solidaire (MTES), dont les missions sont fixées par le décret modifié n° 93-861 du 18 juin 1993.

Une des forces de l'établissement est de couvrir tous les champs de l'opérationnel à la recherche, à toutes les échelles de temps et d'espace. La fertilisation croisée entre les travaux des ingénieurs et des chercheurs constitue un atout majeur.

Météo-France dispose d'antennes dans la région Antilles-Guyane dont la Direction est basée à Fort-de-France (Martinique).

La Division Etudes, Climat, Maîtrise de la Production Finalisée (EC-MPF) de la Direction Interrégionale de Météo-France aux Antilles-Guyane (DIRAG) réalise des études et met en place des services pour répondre aux nombreuses sollicitations des territoires dans des cadres institutionnels ou commerciaux. La Division EC-MPF participe aussi depuis de nombreuses années au développement de la connaissance météorologique et climatique dans la région Antilles-Guyane notamment dans le cadre de projets pluridisciplinaires auxquels elle est associée.

Météo-France opère actuellement un service d'information et de prévision d'échouement des sargasses sur les Antilles et la Guyane française vers les autorités s'appuyant sur des produits de télédétection et un modèle de dérive appliqué aux sargasses.

## 2. Plan national de prévention et de lutte contre les sargasses

En 2018, l'Etat a mis en place un plan de prévention et de lutte contre les sargasses. La problématique de ces algues comprend plusieurs enjeux : sanitaire, économique et environnemental. Ainsi, cinq objectifs sont ressortis lors de l'élaboration de ce plan :

- *La mise en place de solution de collecte permettant d'intervenir en moins de 48 heures, avant la putréfaction des algues,*
- *Le renforcement de la recherche et de l'innovation pour mieux gérer le ramassage et le traitement,*
- *Le développement de la coopération régionale et internationale,*

- *L'accompagnement des entreprises dont l'activité est affectée par les sargasses,*
- Et enfin, le déploiement du réseau de suivi et de prévision des échouements : un objectif ambitieux, dont Météo France était un acteur indispensable.

En 2022, le deuxième plan a été mis en place. En effet, le premier a été instauré pour traiter cette problématique temporairement. Maintenant que nous savons que les sargasses sont vouées à continuer de s'échouer sur les îles, il faut mettre en place des moyens pérennes.

Ainsi, la première mesure de ce plan est de « *Pérenniser dès 2023 la fourniture d'un service de prévision par Météo France pour la prévision des échouements de sargasses à 4 jours ainsi qu'une tendance de 15 jours à 2 Mois* » (Gouvernement, 2022)

C'est en partie grâce à ces plans de prévention et de lutte contre les sargasses, que le Projet CESAR a vu le jour.

### **3. Projet CESAR & missions**

Le Projet CESAR <sup>1</sup>est financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), le FEDER et la Collectivité Territoriale de Martinique (CTM). L'objectif de ce projet est de décrire et expliquer la dynamique des flux côtiers de sargasses à l'échelle spatiale locale, leurs impacts sur les côtes caribéennes et les différentes voies explorées par les institutions politiques pour aborder cette question environnementale. Il est composé de deux *Work Package* :

- Le *Work Package 1* est consacré à l'observation des afflux de sargasses et à l'évaluation des risques d'échouement, à travers le développement d'outils techniques basés sur la compréhension des modèles de dérive de sargasses dans la région des Caraïbes.

- le *Work Package 2* étudiera l'adaptation stratégique aux afflux de sargasses et la gouvernance de la crise environnementale.

Dans le cadre du projet CESAR, la Division *EC-MPF* en collaboration avec l'équipe R&D « Dérives » de la Direction des Opérations marines de Météo France DirOP/MAR/RD cherche à améliorer le modèle de dérive *MOTHY* paramétré pour l'objet "sargasses" et entrant dans le dispositif actuel de prévision des échouements.

L'évaluation du modèle nécessite des observations issues de la télédétection, mais aussi d'un ensemble de données existantes ou à produire tout en maîtrisant les prochaines fenêtres d'observation et les moyens apportés par le projet CESAR. Les actions sont en cours pour permettre de faire émerger des données observées pour améliorer la prévision des dérives.

Le développement d'indicateurs a été une des principales missions à réaliser dans le cadre de mon stage. Ces indicateurs permettent d'appuyer la prise de décision des experts réalisant la prévision et ainsi améliorer la qualité et la précision des informations fournies. Ces indicateurs interviennent à des échelles spatio-temporelles variables s'appuyant sur des données de télédétection, de terrain après échouement issues de systèmes d'observation numérique (caméras, photos de survol) ou participatifs. Ils permettront ainsi de tracer les changements et évolutions des situations précurseurs des échouements.

Ce stage a donc pour but d'analyser et conceptualiser des indicateurs clés spatio-temporels précurseurs des échouements ainsi que leur représentation en appui de l'expertise actuelle, pour les utilisateurs finaux, non institutionnels. Il rentre dans le cadre du plan d'amélioration du dispositif mis en place par Météo-France aux Antilles et en Guyane s'appuyant en particulier sur des projets de R&D.

---

<sup>1</sup> Coastal Environment under SARGassum crisis

# **I. Etat de l'art des connaissances sur les sargasses**

# A. L'aléa d'échouement des sargasses

## 1. Définition et contexte

Les sargasses sont des algues brunes portées par les courants marins. Elles viennent régulièrement s'échouer sur les côtes des Antilles, avec d'importantes répercussions écologiques, économiques et sanitaires (BRGM *et al.*, 2020). Une zone de croissance et d'accumulation des sargasses, mise en évidence grâce à des images satellites, serait la cause de ce nouveau phénomène d'échouement. La mer des Sargasses est située dans l'océan Atlantique et représente 3000 km de long sur environ 1000 km de large.

Depuis 2011, les côtes caribéennes connaissent des accumulations d'algues brunes. Les échouements peuvent atteindre plusieurs mètres d'épaisseur et couvrir des baies entières. Il existe actuellement très peu de données concernant les quantités de sargasses pélagiques dérivant dans l'océan Atlantique ou échouées sur les côtes. Il faut donc tenir compte avec prudence des estimations suivantes qui ont pu être relayées dans la presse. Ainsi, la Guadeloupe a estimé entre 20 000 et 50 000 tonnes (matière sèche) la biomasse de sargasses arrivant sur ses côtes chaque année et la Martinique 58 000 tonnes (matière sèche) d'algues présentes sur ces côtes à un instant t (Anses, 2017).

Il existe deux types de sargasses : les *Sargassum fluitans* et les *Sargassum natans* (Anses, 2017) (Figure 1).



Figure 1 : Types de sargasses retrouvées sur les côtes caribéennes (ADEME, 2020)

Ce sont des algues dites holopélagiques, car elles réalisent leurs cycles biologiques à la surface de la mer (Hu *et al.*, 2016) et ne sont attachées à aucun substrat. Leur croissance se base essentiellement sur le processus de photosynthèse, et les apports en minéraux des eaux côtières.

Les sargasses, une fois échouées sont exposées au soleil qui entraîne leur décomposition par voie aérobie<sup>2</sup>. Après décomposition aérobie complète, la couche de sargasse supérieure forme une croûte sèche en surface. Cela va entraîner par la suite une décomposition anaérobie<sup>3</sup> des sargasses se trouvant en dessous de la croûte compacte. Lorsque la couche va se craqueler du H<sub>2</sub>S<sup>4</sup> et du NH<sub>3</sub><sup>5</sup> vont se libérer, matérialisé par une odeur d'œuf pourri, à cause de ce phénomène (Anses, 2017).

Des chercheurs ont utilisé un système de suivi numérique des particules, des données d'analyse des vents et des courants, des trajectoires de bouées dérivantes et l'imagerie satellitaire pour déterminer l'origine des sargasses qui se trouvent maintenant de façon persistante dans l'Atlantique tropical (MAZEAS *et al.*, 2015).

Les recherches pour valoriser les sargasses échouées sont en cours et certaines solutions ont été relevées tels que la transformation en charbon actif, en engrais, en pâte à papier ou encore en bioplastiques (*cf.* Annexe 1 : Valorisation des algues (ADEME, 2020)).

---

<sup>2</sup> Décomposition en milieu aéré, en présence d'oxygène

<sup>3</sup> Décomposition sans oxygène

<sup>4</sup> Sulfure d'hydrogène

<sup>5</sup> Ammoniac

## 2. Zones impactées

Les départements français d'Amérique ; les îles des Antilles, du Mexique à la Barbade, et dans une moindre mesure la Guyane, font face depuis le mois d'août 2014 à des vagues successives d'échouages d'algues sargasses sur leur littoral (Anses, 2017).



Figure 2 : Zones impactées par les échouements de sargasses en 2022 (« Sargassum Monitoring – Official Maps & News », 2022)

En 2011, les premiers radeaux dérivants ont été observés (Figure 2) en mai-juin au large de la Guyane et du nord-est du Brésil. Dans la continuité, des arrivées massives affectent toute la Caraïbe, des Bahamas jusqu'à Trinidad et Tobago, en passant par les îles des Grandes et des Petites Antilles (Mazéas, Laurent & DEAL, 2014).

En Martinique, sur les 34 communes de l'île, 6 ont été considérées comme ayant été particulièrement touchées par ces événements : Le Robert, Le François, Le Vauclin, le Marin, Saint-Anne et Le Diamant. A cette liste, il convient d'ajouter les communes suivantes au nord de l'île, ayant également été impactées par des arrivages importants : Le Lorrain, Le Marigot, Sainte-Marie et La Trinité (DEAL, 2018).

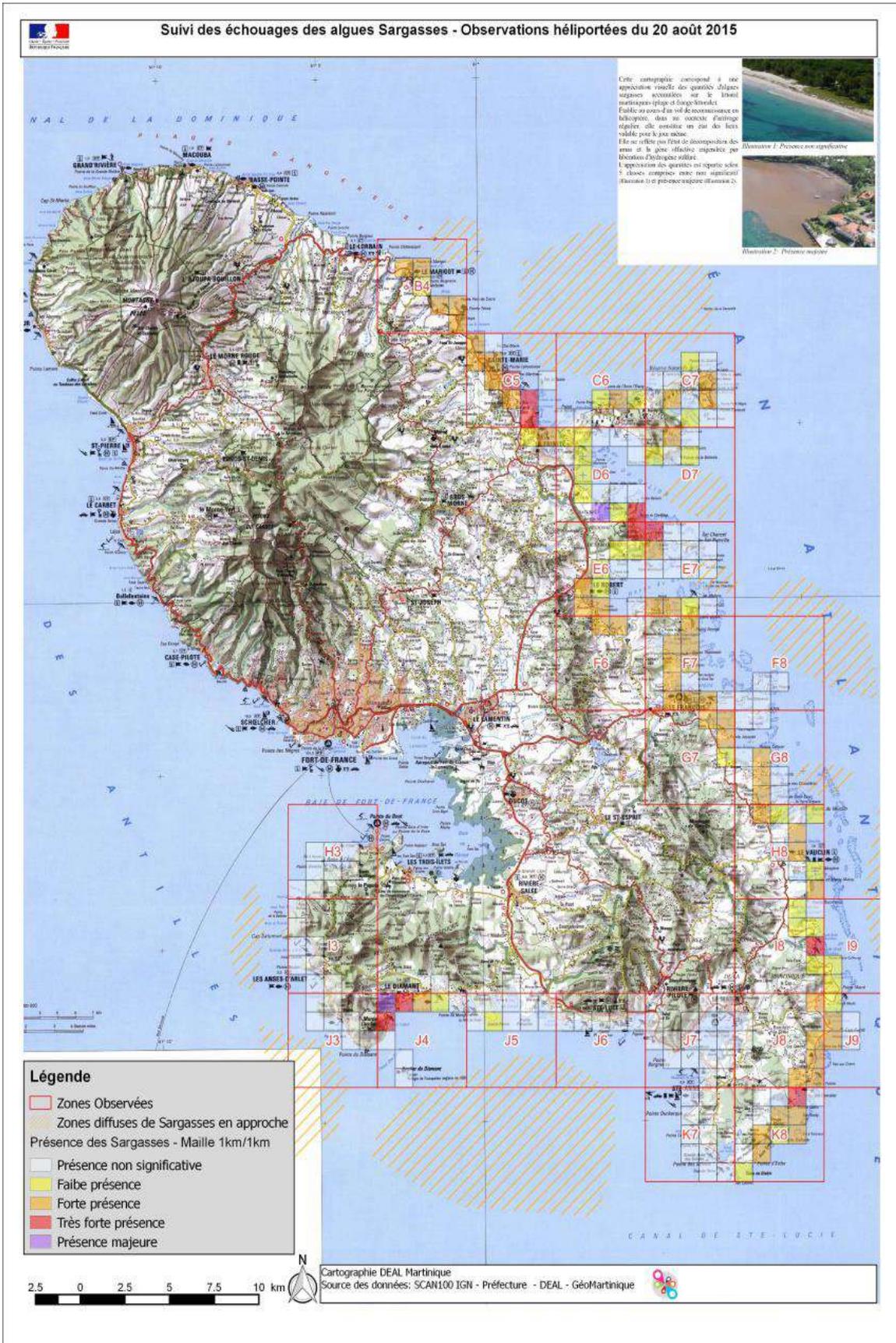
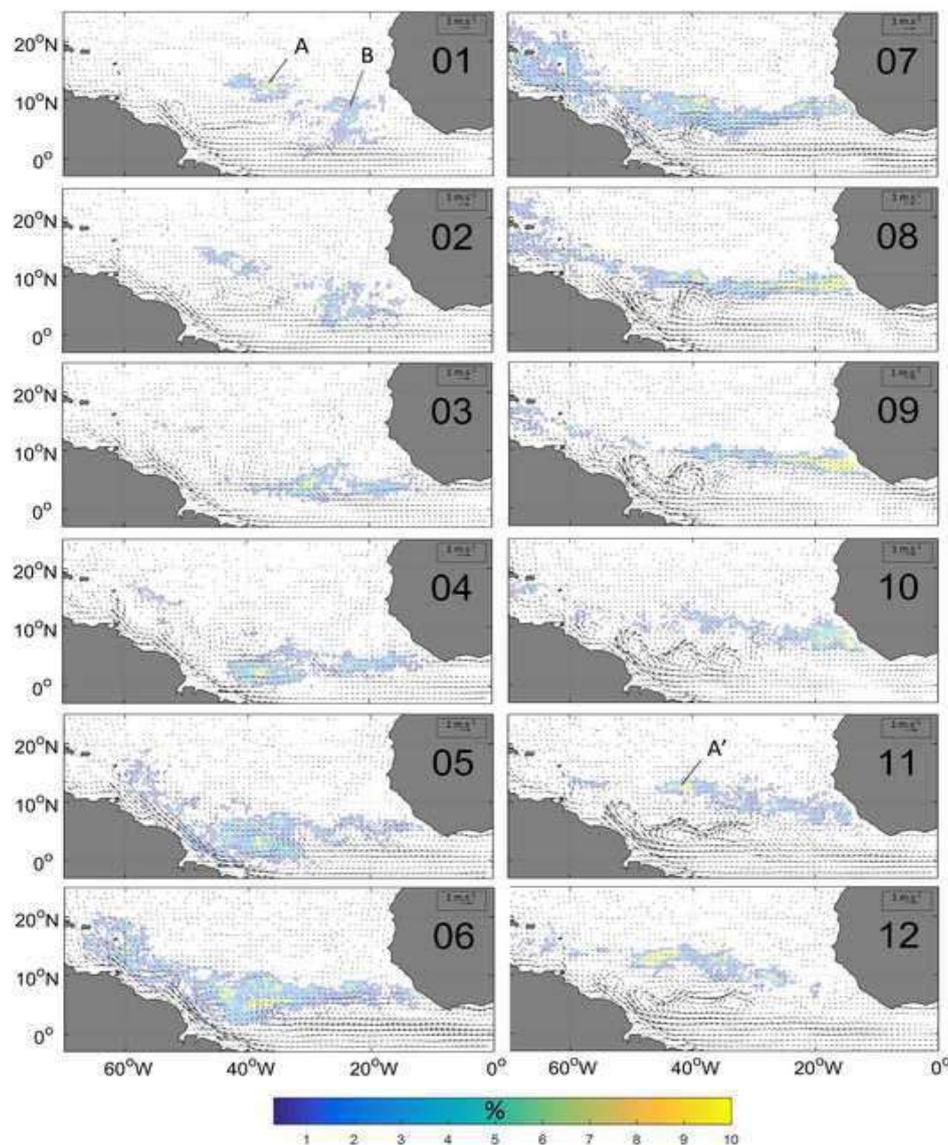


Figure 3 : Exemple de cartographie des échouements de sargasses et des radeaux dérivants en approche de la Martinique. Observations du 20 août 2015 (Anses, 2017)

### 3. Facteurs influant le déplacement des sargasses

#### a. Le courant

Depuis 2011, d'énormes quantités de sargasses sont détectées dans l'Atlantique équatorial, provoquant de grands échouements sur les côtes des Antilles, du Brésil et de l'Afrique de l'Ouest. La distribution de ce stock montre une forte variabilité saisonnière, influencée par des anomalies à grande échelle des vents et des courants océaniques associés (Johns *et al.*, 2020a). Un cycle saisonnier a été observé avec un faible taux de sargasses en hiver, augmentant en juillet et diminuant à nouveau en octobre (L. Berline, *et al.*, 2020). La Figure 4 montre la distribution spatio-temporelle en sargasses en 2017 sur l'Atlantique Tropicale. Elle dépeint notamment le cycle saisonnier de prolifération des sargasses sur la période d'avril à août, avec un confinement du signal sargasses à l'est du bassin Atlantique hors de cette période (Johns *et al.*, 2020a).



Le bassin tropical de l'Atlantique est soumis à un réseau de courants (Figure 5, Figure 6) assez complexes, dont la variabilité est principalement gouvernée par l'ITCZ<sup>6</sup>.

Au mois de mai, le courant Nord Equatorial (*NECC*) se forme, et le courant Nord Brésilien (*NBC*) longe les côtes d'Amérique du Sud pour se détacher par réflexion en direction du centre du bassin Atlantique (Rudzin *et al.*, 2017).

D'après (L. Berline, *et al.*, 2020) la distribution spatiale des sargasses dans les Caraïbes est gouvernée par la région de recirculation nord équatorial (*NERR*).

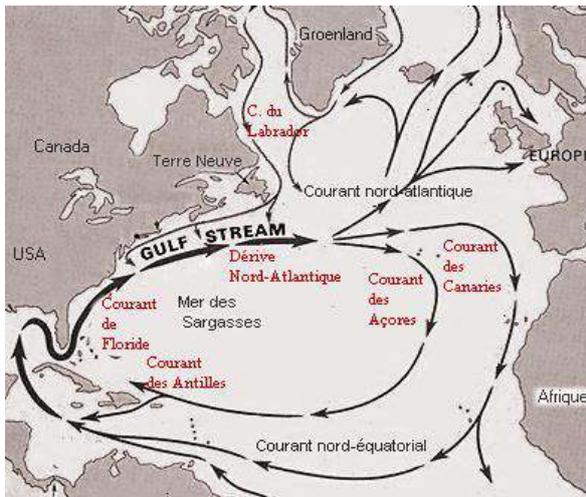


Figure 5 : Les courants de l'Atlantique Nord (DEAL, 2018)

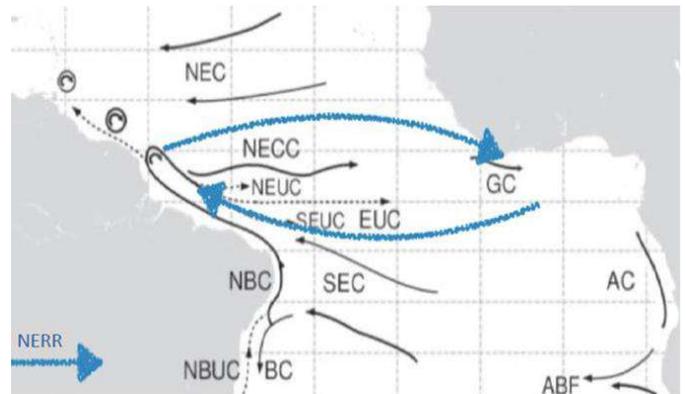


Figure 6 : Les courants de l'Atlantique (Johns *et al.*, 2020a)

De janvier à mars, le *NBC* progresse vers le Nord-Ouest par le courant des Guyanes (*CG*), avant de s'orienter vers le Nord-Est de juillet à septembre à la suite de l'intensification du *NECC* (Beaulant & Minvielle, 2017).

Grâce au modèle d'océan HYCOM<sup>7</sup>, (Johns *et al.*, 2020a) a pu simuler des rétro-trajectoires pour simuler la trajectoire potentielle des sargasses en 2011 (Figure 7). Grâce à ces simulations, nous pouvons estimer que les sargasses viennent potentiellement de la mer des sargasses. Les trajectoires indiquent deux principaux chemins basés sur la durée du déplacement des bancs : une route occidentale à travers les Grandes Antilles, plus courte, qui a impacté le nord-est de la mer des Caraïbes (bleu), et une route orientale, à travers l'Atlantique tropical et les Petites Antilles, plus longue qui a eu un impact sur une zone plus large à travers la mer des Caraïbes (rouge).

<sup>6</sup> Intertropical Convergence Zone

<sup>7</sup> HYbrid Coordinate Ocean Model

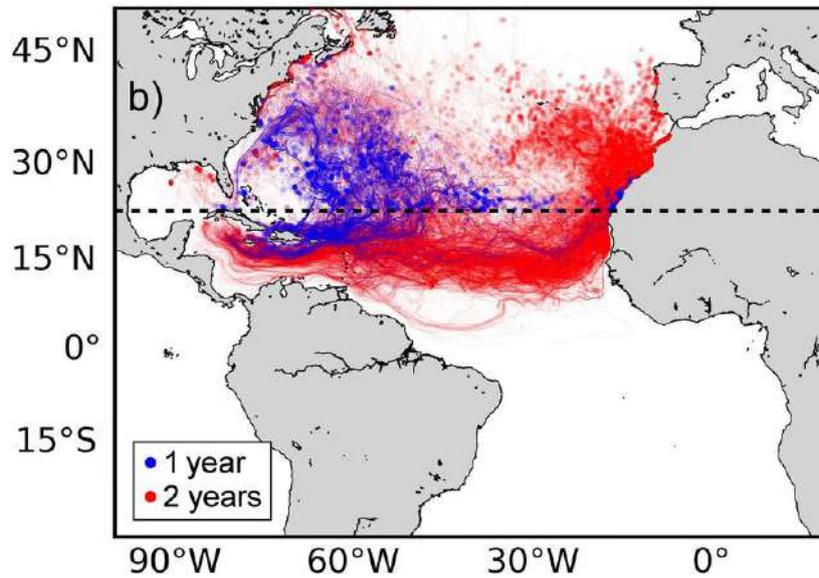


Figure 7 : Résultats du modèle global des rétro-trajectoires simulées par le modèle océanique HYCOM représentant les trajectoires des particules qui sont remontées de la mer des Caraïbes vers l'Atlantique Nord en un an (en bleu) en deux ans (en rouge) (John et al., 2020).

## **b. La dérive**

Afin d'évaluer les échouements potentiels d'un banc détecté, il est nécessaire de calculer les trajectoires de dérive. Pour cela on peut utiliser plusieurs moyens d'observation et de paramétrisation de la dérive.

### **Le Fardage**

Appelé aussi *windage*, il représente l'intervention d'un vecteur vent, pondéré par un coefficient de fardage, au vecteur de dérive ( $U_S$ ) :  $U_S(x,t) = U_M(x,t) + C_w U_w(x,t)$

$C_w$  le coefficient de fardage, variant de 0,5 à 1 % dans la littérature pour la Sargasse. Cependant à proximité des côtes, les courants sont plus faibles, ce taux peut donc être revu à la hausse.

$U_M$  la vitesse du courant océanique provenant du modèle d'océan,

$U_w$  la vitesse du vent à 10 mètres d'altitude.

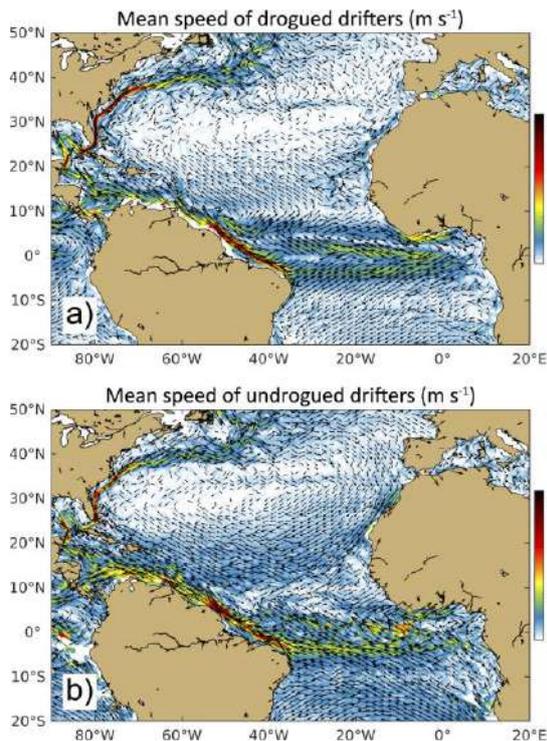


Figure 8 : Influence du vent sur les bouées dérivantes avec et sans nasses (1979- mars 2018)(Johns et al., 2020a)

La Figure 8 montre que les bouées équipés d'une nasse (a), leur permettant d'être freinées par les courant en profondeur et moins exposées au fardage que les bouées qui ne sont pas équipées de nasses(b), et donc plus exposés au vent. Leurs déplacements moyens dans la zone équatorial est moins marqués (a) et sa trajectoire principale se connecte à l'Atlantique Sud.

Les dériveurs sans nasses(b) ont une connexion claire reliant l'est de l'Atlantique tropical et subtropical et la région du courant des Canaries avec les Caraïbes.

Il est également important de noter qu'à partir d'un certain âge, les sargasses ont une flottabilité plus faible, et sont donc moins exposés à la force du vent (Putman et al., 2018).

**MOTHY** (Modèle Océanique de Transport d'Hydrocarbures) (Figure 9) est un modèle de dérive développé par la Direction des Opérations pour la Marine (DIROP/MAR) de Météo-France en 1994, initialement dans le cadre de la prévision de rejet accidentel ou volontaire, contre la pollution marine (ex : hydrocarbures). La masse volumique des sargasses a été paramétrée par défaut comme la masse volumique de l'hydrocarbure ( $1020kg/m^3$ ) (« Prédiction de dérive en mer : le système opérationnel français », 2022). En mars 2019, **MOTHY** version 4.6 intègre des nappes de sargasses télédéteectées (Tourchon, 2021).

Dans le cadre de la mesure 1 du *Plan national de prévention et de lutte contre les sargasses II*, Météo France a pour objectif de pérenniser dès 2023 la fourniture d'un service de prévision des échouements de sargasses à 4 jours ainsi qu'une tendance de 15 jours à 2 mois. **MOTHY** s'est avéré être le modèle le plus apte à simuler la dérive des sargasses en fonction de leur flottabilité, de la diffusion turbulente, du frottement des vents de surface sur les sargasses, et de l'advection par les courants marins.

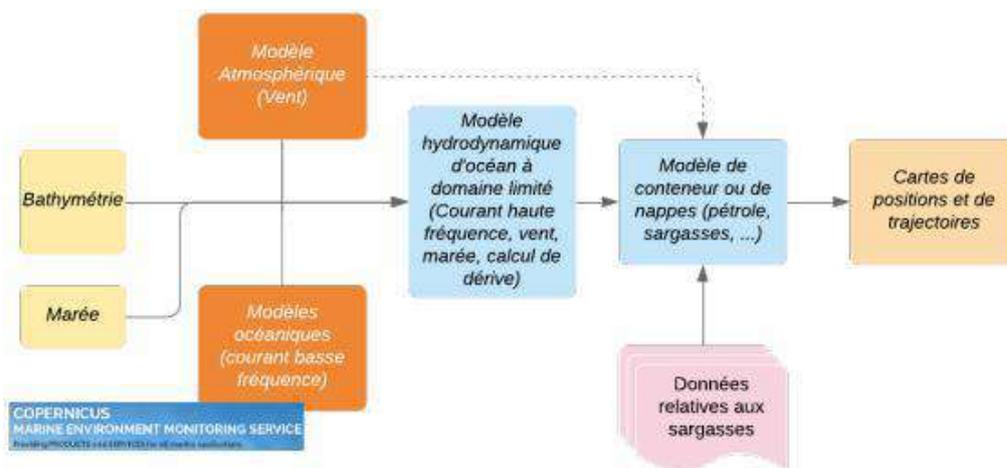
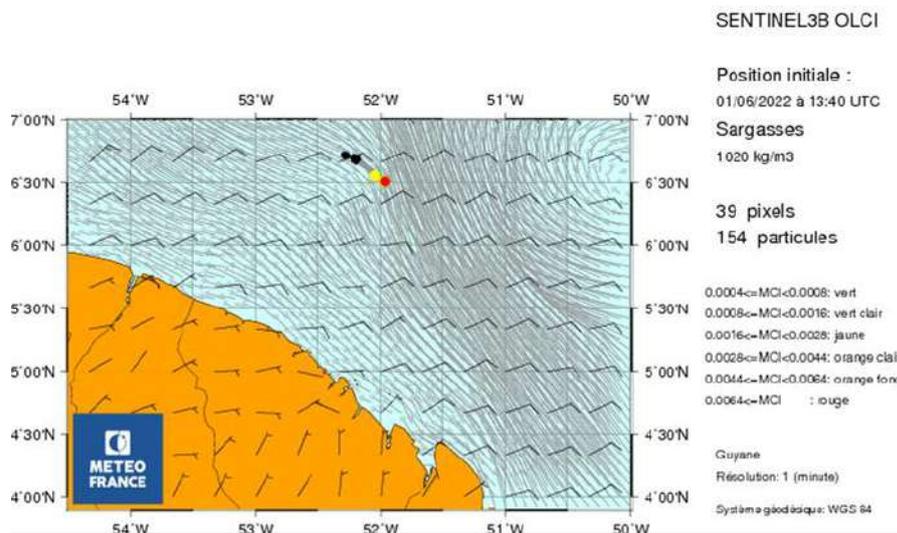


Figure 9 : Représentation du fonctionnement de MOTHY



La Figure 10 correspond à une prévision de dérive effectuée par *MOTHY*. Le point jaune correspond à un indice  $MCI^8$  compris entre 0,0016 et 0,0028 et le point rouge un indice supérieur à 0,0064. Les points noirs représentent la prévision de dérive des bancs de sargasses.

Figure 10 : Prévision de dérive de sargasses détectées au large de la Guyane française le 01 mai 2022 à 13h40 UTC, par le capteur OLCI Sentinel 3B grâce à l'indice MCI (Météo France, 2022)

## MOTHY (

Figure 11) se compose d'un modèle hydrodynamique d'océan à domaine limité, dans lequel un modèle 2D est forcé par le vent, la pression atmosphérique et la marée. Dans le cadre de la dérive de sargasses sur le bassin des Antilles, cette dernière est considérée comme négligeable. À cela, s'ajoute un modèle 1D qui fournit le profil de courant horizontal sur toute la colonne d'eau. En complément du modèle d'océan *MOTHY*, trois modes en option ont pour but de représenter l'objet flottant en mer en y intégrant des données relatives à l'objet ou au polluant en question. Parmi ces modes sont disponibles : le mode hydrocarbure, le mode conteneur et le mode cibles SAR (Recherche et Sauvetage). Le calcul de la dérive diffère d'un mode à l'autre.

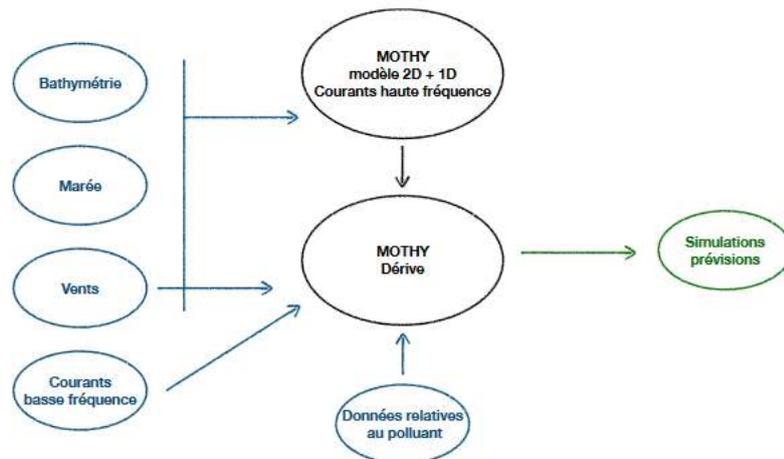


Figure 11 : Schéma de représentation des différents modules contenus dans *MOTHY*. Les entrées nécessaires au modèle sont représentées en bleu. Le modèle *MOTHY* est en noir et ses sorties en vert (Stéphan, 2021).

Le forçage océanique de *MOTHY* correspond au modèle « Mercator PSY4 1/12° x 1/12° » et son forçage atmosphérique au modèle « IFS<sup>9</sup>-CEP<sup>10</sup> 0,25°x0,25° » (Météo-France, 2021).

*MOTHY* est un outil innovant et indispensable à ce jour mais présente tout de même des limites. Il ne prend pas en compte le cycle de vie des algues et donc sa potentielle décomposition, sa perte de flottabilité, le fardage dans sa configuration en nappe d'hydrocarbure etc. De plus, la résolution du

<sup>8</sup>Maximum Chlorophyl Index (II.A.1.)

<sup>9</sup>Integrated Forecast System du Centre Européen de prévision

<sup>10</sup>Centre européen de prévision

modèle ne permet pas d'apprécier la dérive près des côtes et donc la prévision des échouements.

Afin d'améliorer ce modèle de dérive, il faut prendre en compte certaines caractéristiques hydrodynamiques. Jusqu'à présent, Mercator Ocean international (MOi), fournit les courants de surface issus du modèle global au 1/12° (GLO12) à Météo France pour forcer le modèle de dérive *MOTHY*. Dans le cadre du contrat entre le *MTES* et le MOi, un modèle régional au 1/36° de l'Arc Caraïbéen est développé : *ARCAN36*. Ce modèle permet de livrer des prévisions de courant à haute résolution, à 10 jours pour Météo France afin d'améliorer la prévision de la dérive des sargasses en interaction avec les structures tourbillonnaires (« Echouage de Sargasses dans les Caraïbes : Des données océanique au secours de l'environnement - Mercator Océan - Ocean Forecasters », 2022).

## B. Enjeux

Les échouages massifs de sargasses sur l'arc Antillais depuis 2011 induisent des impacts importants d'ordre environnemental, économique et sanitaire (Anses, 2017).

### 1. Enjeux sanitaires

D'après le rapport de 2017 de l'Agence nationale de sécurité sanitaire (Anses, 2017), les échouements massifs des sargasses sur les côtes engendrent des problèmes sanitaires.

Nuisance odorante du H<sub>2</sub>S et de l'Ammoniac (NH<sub>3</sub>).

Les nuisances sanitaires dues à l'exposition au sulfure d'hydrogène ont été répertoriés ci-dessous (Figure 12). A forte concentration et longue exposition, l'inhalation du H<sub>2</sub>S comporte des risques éphémères sur la santé :

- Irritations oculaires et respiratoire dès 50 ppm (70 mg.m<sup>-3</sup>)
- Troubles neurologiques dès 200 ppm (280 mg.m<sup>-3</sup>)
- Troubles cardio-respiratoires et cardiovasculaires dès 550 ppm (700 mg.m<sup>-3</sup>) pouvant conduire au décès

Les valeurs toxiques de références dépendent du taux d'exposition. Ici, nous traitons des effets due à une forte exposition alors que généralement l'exposition aux sargasses est chronique. Ces données doivent donc être considérées avec du recul.

Tableau 13 : Tableau récapitulatif des VTR existantes de l'H<sub>2</sub>S par inhalation

Organisme	VTR aiguë			VTR intermédiaire	VTR chronique	
	OMS	ATSDR	OEHHA	ATSDR	OEHHA	US EPA
VTR	VG	MRL	REL	MRL	REL	RIC
Valeur VTR	150 µg.m <sup>-3</sup> (100 ppb)	100 µg.m <sup>-3</sup> (70 ppb)	42 µg.m <sup>-3</sup> (30 ppb)	30 µg.m <sup>-3</sup> (20 ppb)	10 µg.m <sup>-3</sup> (7,14 ppb)	2 µg.m <sup>-3</sup> (1,43 ppb)
Applicabilité	24h	1 à 14j	1h	15 à 365j	Vie entière	Vie entière
Année	2000	2006	1998	2006	2000	2003
Effet critique	Irritations oculaires	Obstruction bronchique	Maux de tête, nausées	Perte de neurones olfactifs et hyperplasie régénérative de cellules basales	Inflammation de la muqueuse nasale	Perte de neurones olfactifs et hyperplasie régénérative de cellules basales
Espèce	Homme (N= ?)	Homme (N=10) sujets souffrant d'asthme bronchique non sévère	Homme (N=16)	Rat (N=12)	Souris (N= 10 à 12)	Rat (N = 12)

Figure 12 : Tableau récapitulatif des Valeurs Toxiques de Références (VTR) existantes de l'H<sub>2</sub>S par inhalation (Anses, 2017)

### 2. Enjeux environnementaux

Les échouements frappent non seulement les plages mais aussi les mangroves, qui sont d'importants habitats pour les alevins, notamment dans les mangroves.

En s'échouant sur les côtes, les algues forment un écran à la surface de la mer (Figure 13) inhibant la pénétration du soleil en profondeur. Cet écran en surface menace principalement le développement des herbiers et des coraux en profondeur. La qualité de l'eau est dégradée suite à la dégradation des sargasses, ce qui va avoir des conséquences sur la faune et la flore marine (Wang *et al.*, 2018).

Par ailleurs, l'amas d'algues empêche la ponte des tortues (Maurer et al., 2015) et la circulation des engins de ramassages induit la destruction des nids de tortues (Anses, 2017).



Figure 13 : Impact des sargasses sur les écosystèmes marins

Selon l'(Anses, 2017), la présence massive de sargasses entraîne une anoxie des eaux et la mortalité des invertébrés benthiques. Cependant, dans les zones où les sargasses ont été évacuées, la qualité physico-chimique des eaux est bonne. Les effets négatifs de la présence massive des sargasses ne semblent donc pas perdurer lorsque celles-ci disparaissent.

### 3. Enjeux économiques

L'échouement massif des sargasses sur les îles est un puits financier. Au cours du premier semestre 2015, une étude commandée par le Syndicat intercommunal de mise en valeur des sites et des plages de Guadeloupe a estimé le préjudice économique à près de 5 millions d'euros (Fondation tara océan, 2020). La perte engendrée sur les secteurs cibles d'activité de l'île ainsi que le ramassage des algues constitue un coût de l'ordre du million. En effet, en 2016, 11 millions d'euros ont dû être débloqués pour le ramassage en Guadeloupe (Louis, 2018).

#### a. Tourisme

Les activités liées au tourisme (bars, restaurant, activités nautiques etc) sont fortement impactées par ces échouements massifs. M. Camille Pelage, président du Syndicat intercommunal de mise en valeur des sites et plages déclare que des restaurants ont fermé et que des hôtels ont perdu près de 40 à 50 % de leur chiffre d'affaires en 2015 (Fondation tara océan, 2020). Selon (Didier Bernard1 et al., 2021), le déclin du tourisme a engendré une perte de 5,5 millions d'euros sur la Moitié de l'année 2015.

#### b. Pêche

Les sargasses se piégeant dans les moteurs, dans les filets, bloquant les bateaux près du rivage, impactent une des plus grandes activités économiques des îles. En 2015, les pêcheurs ont en moyenne perdu 22 jours de sorties en mer sur le premier semestre 2015. Une perte de 10 800 euros minimum a été estimé pour les marins pêcheurs de Guadeloupe (Fondation tara océan, 2020).

### C. Acteurs

Dans le cadre du *Plan national de prévention et de lutte contre les sargasses*, plusieurs acteurs ont été impliqués. Ce plan a été mis en place par les institutions, dont le *MTE*<sup>11</sup>. Puis s'en est suivi un plan d'actions pour mettre en place sur ce volet alerte et prévision, un dispositif de prévision des échouements de sargasses :

- **Décembre 2018** : Demande du *MTE* à *Météo-France* la production d'un bulletin de prévision

<sup>11</sup>Ministère de la transition écologique et solidaire

des échouements de sargasses

- **Mars 2019** : Première diffusion de bulletins avec l'expertise de **Nova Blue Environnement** et l'analyse de la dérive *MOTHY* issue de télédétection des prestations **CLS**
- **Mars 2020** : Internalisation de l'expertise rédactionnelle ; formation des climatologues en télédétection et dérive.
- **Juin 2020** : Autonomie de Météo-France sur l'interprétation des dérives satellites et océaniques (plus de partenariat avec Nova Blue Environnement)
- **Décembre 2020 - Mars 2022** :
  - Internalisation des compétences en télédétection
  - Développement produit satellites sur la base de service CLS<sup>12</sup>
  - Exploitation de capteur MR (OLCI, MODIS)
  - Réunions de suivi avec multiple divisions
  - Adaptation des outils de production
- **Avril 2022** : Ajout de produit Sentinel 2 et GOES-16
- **Mai 2022** : Fin de contrat *CLS* et autonomie complète du dispositif
- **En cours** : Développement de produits complémentaires issu du capteur VIIRS et ABI de GOES-16

Le bulletin est donc passé d'un dispositif en sous-traitance partielle, à une production interne complète. Aujourd'hui, la production se fait de manière totalement autonome.

Aujourd'hui Météo France s'occupe de la production des bulletins de prévision des sargasses pour la DEAL<sup>13</sup>. Ce bulletin est pour le moment alimenté par des données de télédétection. Il tend à évoluer grâce à l'écoute des besoins des acteurs.

Les collectivités proches du littoral sont en première ligne concernant les échouements conséquents des sargasses. Ils sont accompagnés dans cette lutte par l'Agence Régionale de la Santé (ARS), l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) et la DEAL (Figure 14).

---

<sup>12</sup> Collecte Localisation Satellite

<sup>13</sup> Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

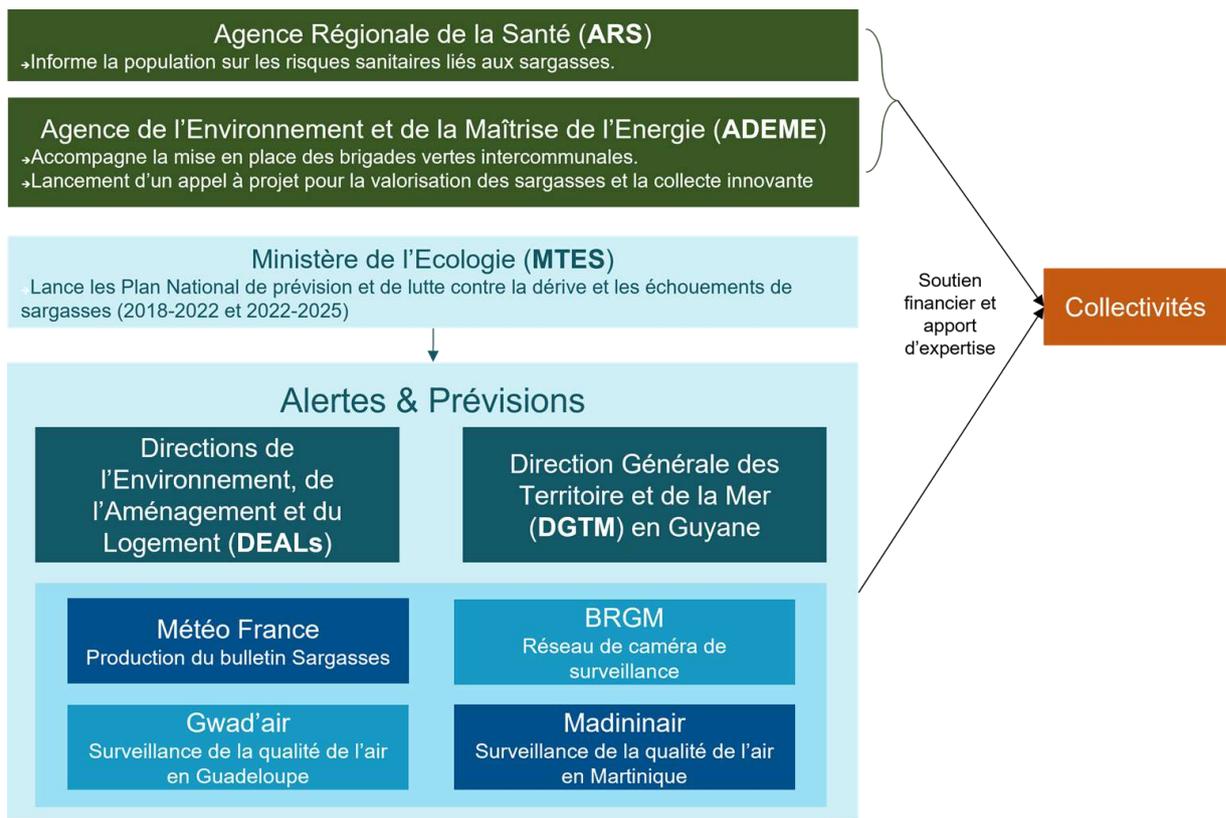


Figure 14 : Acteurs dans le plan de lutte et de prévention contre les sargasses

# **II. Analyse et anticipation de l'échouement des sargasses**

# A. Observations

Les moyens d'observations des bancs de sargasses pour anticiper leur échouement sont très variés. Les données satellitaires, obtenues grâce aux satellites défilants (tournant autour de la Terre), sont aujourd'hui les plus utilisées de par leur fréquence temporelle exploitable en opérationnelle. Afin de pouvoir vérifier les productions du bulletin, il faut comparer les données provenant de diverses sources. Les caméras du BRGM et Madininair, servent actuellement d'éléments d'observation de l'échouement et de vérification de prévision. De nouvelles perspectives d'observation *in-situ* viennent consolider la vérification : l'acquisition d'image par drones et les observations participatives. La Figure 15 représente temporellement la disponibilité quotidienne des données permettant ainsi d'optimiser la vérification des prévisions, sous réserves de fauchées exploitables (exemple : conditions nuageuses obstruant la visibilité).

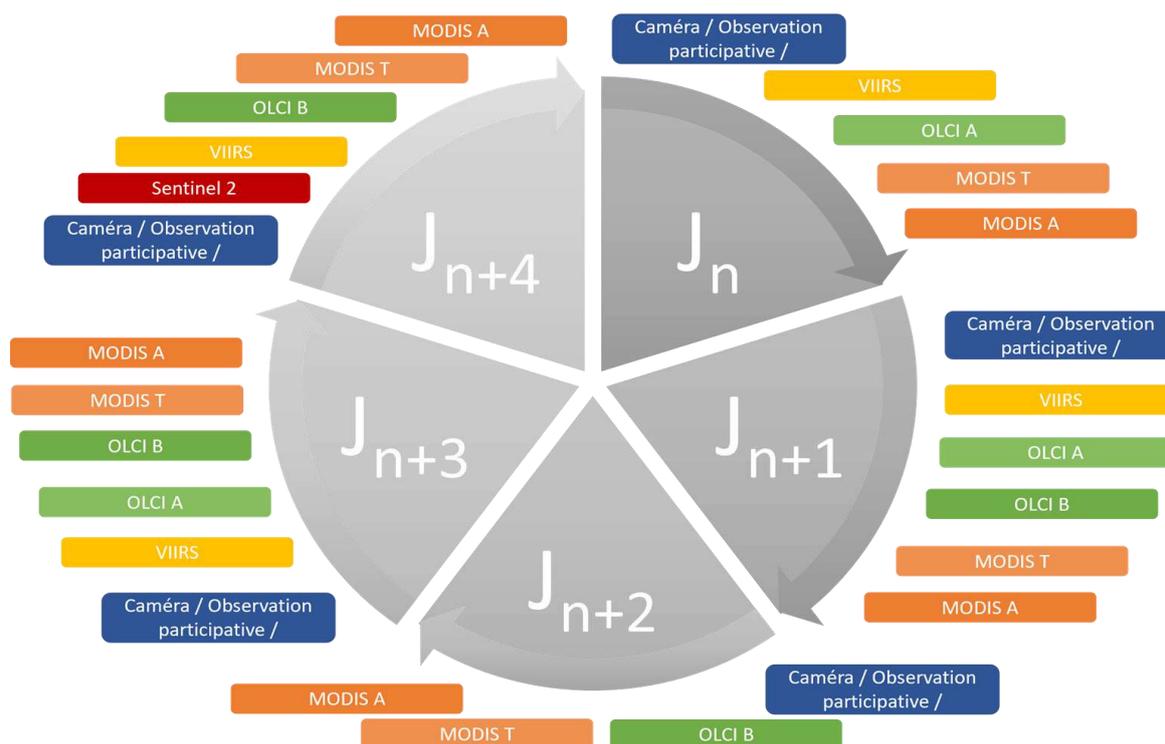


Figure 15 : Représentation temporelle de la disponibilité des données

## 1. Télédétection

Une dizaine de satellites (Tableau 1) permet la détection de sargasses par différents moyens. Ils sont tous équipés de capteurs différents (radiomètre, spectromètres et imageur multispectral (S2)), avec une résolution différente (allant de la moyenne résolution : kilométrique, à la haute résolution : métrique), des indices (selon les bandes spectrales disponibles) et un taux de revisite (allant de la journée à la semaine) variables. Le satellite GOES-16 est géostationnaire. Grâce à sa haute fréquence temporelle (1 image toutes les 10 à 15 minutes), les horizons sur l'observation de la dérive grandissent en ouvrant notamment une perspective sur l'amélioration des trajectoires de dérive en mer, et la localisation des échouements. La comparaison des données des différents satellites permet de consolider la validation des détections.

Tableau 1 : Constellation de satellites permettant la détection des sargasses

Satellite	Capteur	Indice	Fauchée	Taux de revisite	Heure de passage	Résolution	Position	Date de lancement
-----------	---------	--------	---------	------------------	------------------	------------	----------	-------------------

Landsat-8	OLI	NDVI	190 km	8 jours	14h30 (UTC) : 10h30 heure locale	30m	Défilant	11/02/2013
Sentinel-2A et 2B	MSI	NDVI & AFAI	290 km	5 jours	Entre 14h30 et 15h (UTC) : 10h30 et 11h heure locale	10 m	Défilant	2A : 06/2015
						20 m		2B : 07/2017
						60 m		
MODIS	Aqua & Terra	AFAI	2330 km	1 jour	12h (UTC) : 8h heure locale	1km	Défilant	Aqua : 2002 Terra : 1999
Sentinel-3A et 3B	OLCI	NFAI	1500 km	1 jours	Entre 14h et 15h (UTC) : 10h30 et 11h heure locale	300m	Défilant	3A : 02/2016
								3B : 25/2018
Sentinel 1A et 1B	SAR	RVI	250 km	6 jours	10h ou 22h20 (UTC) : 6h ou 18h20 heure locale	20m	Défilant	1A : 2014 1B : 2016
GOES-16	ABI	NDVI	Hémisphère occidentale (Amériques, Caraïbes)		Environ 1 image toutes les 15 minutes	1km	Géostationnaire	2016

La détection des sargasses repose sur la présence de chlorophylle au sein d'un banc (Gower, Borstad & King, 2006).

Les algorithmes de détection utilisent ainsi les longueurs d'onde dans l'infrarouge et le visible correspondant au pic de réflectance de la végétation ((Wang *et al.*, 2018);(Trinanes *et al.*, 2021)). Pour cela, il faut que les images satellites soient post-traitées à l'aide d'un logiciel de traitement d'image (exemple : SNAP pour les satellites Sentinel). A l'issue de ce traitement, la communauté scientifique a pu mettre en évidence différents indices de détection de sargasses au regard des bandes spectrales disponibles par capteurs (Figure 16).

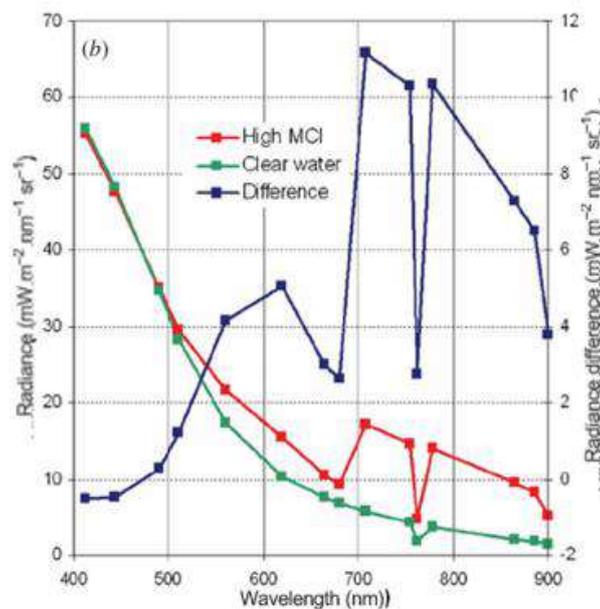


Figure 16 : Comparaison de la luminescence émise par les bancs de sargasses dans le Gulf Stream imagée par le capteur océanique MERIS de l'ESA à sa résolution spatiale de 300m. (b) Spectres de radiance émis par les bancs de sargasses au sommet de l'atmosphère pour un pixel contenant une forte concentration de sargasses (rouge) et pour les eaux claires voisines (vert). Le spectre de différence

(bleu, valeurs sur l'axe de droite) montre le "red-edge"<sup>14</sup> de la végétation terrestre, mais décalé vers une longueur d'onde plus courte (Trinanes et al., 2021).

Comme mentionné plus haut, les images satellites sont traitées avec différents indices, en fonction des longueurs d'ondes disponibles. En voici les principaux utilisés pour repérer les bancs de sargasses sur les images satellites :

- **FAI** (*Floating Algae Index*)

L'indice *FAI* utilise les bandes de 645nm, 859nm et 1240 nm ou 1690 nm. Le *FAI* correspond à la différence entre la réflectance mesurée à 859 nm et la réflectance issue de l'interpolation linéaire entre les bandes rouges et SWIR15 (Hu, 2009).

- **AFAI** (*Alternative Floating Algae Index*)

Le *AFAI* est dérivé du *FAI*, il utilise les bandes spectrales 667 nm, 748 nm et 869 nm (Hu et al., 2016)

- **MFAI** (*Modified Floating Algae Index*)

Le *MFAI* est dérivé du *AFAI*, il utilise les bandes spectrales 665 nm, 833 nm et 940 nm (Wang et al., 2018).

- **NDVI** (*Normalized Difference Vegetation Index*)

Le *NDVI* est construit à partir des canaux rouge et proche infrarouge. Il met en valeur la différence entre la bande visible du rouge et celle du proche infrarouge. Cet indice est sensible à la quantité de la végétation (Audrey Minghelli , et al., 2021)

- **MCI** (*Maximum Chlorophyl Index*)

Le *MCI* mesure le pic de radiance observé à 709 nm sur le spectre d'océan avec sargasse, au-dessus d'une courbe de référence interpolée linéairement entre 681 nm et 784 nm (Gower & King, 2011).

Il faut tout de même faire attention aux potentielles sources d'erreur des données satellites. L'exploitation de ces données a certaines limites.

En zone équatoriale la couverture nuageuse à grande échelle peut être très importante et la détection de sargasses obstruée. A l'échelle régionale, il peut y avoir des sources de fausses détection, les cirrus et cirrocumulus génèrent de faux signaux proches des signaux sargasses en forme de ligne à la surface de l'océan. Parfois des bancs de sargasses peuvent être confondus par le capteur avec des cirrus. Lorsque le « masque nuage » va être mis en place pour supprimer les nuages sur l'image, certains bancs sont supprimés.

(Figure 17, Figure 18). En observant l'image post traitée, la confusion entre les cirrus et les bancs de sargasses peut être rapidement faite.

---

<sup>14</sup> Red-edge : pic de réflectance de la chlorophylle le proche infra-rouge

<sup>15</sup>Short-Wave Infrared

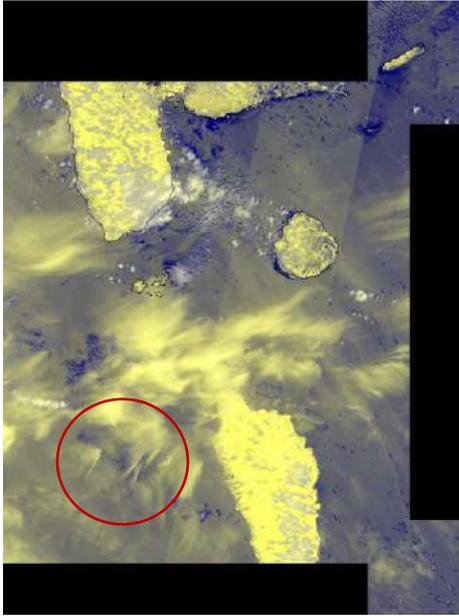


Figure 17 : Image satellite post traitée haute résolution (Sentinel-2)

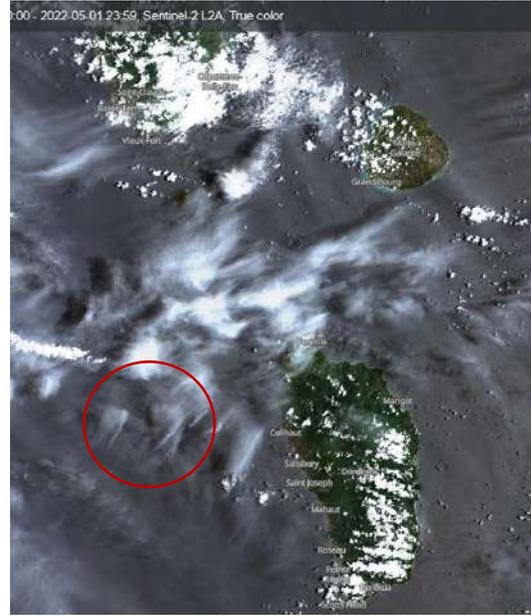


Figure 18 : Image satellite true color haute résolution (Sentinel-2)

Par ailleurs, le phénomène de « *Sunlint* » (Figure 19) se produit régulièrement et fausse le traitement des images satellites. Le *sunlint* correspond au reflet de lumière observable sur l’océan, lorsque le satellite se situe dans l’angle d’incidence du soleil (Rosenqvist *et al.*, 2004).

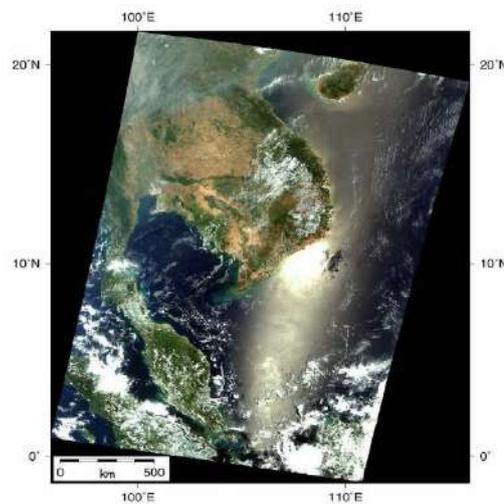


Figure 19 : Phénomène de Sunlint (Rosenqvist *et al.*, 2004)

La fauchée des satellites n’est pas toujours centrée sur la zone d’intérêt. Il peut y avoir des images qui ne font pas apparaître les données nécessaires (Figure 20).

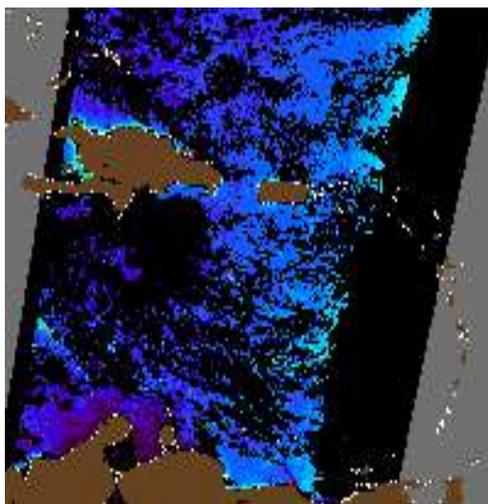


Figure 20 : Image satellitaire avec une fauchée ne donnant pas de données sur les Antilles (University of South Florida, 2022)

Par ailleurs, on peut observer des écarts de résolution en fonction des satellites et des capteurs (par exemple entre les données AFAI (Figure 20) et les données Sentinel-2 (Figure 17)).

Les données ne sont pas toujours exploitables. Cela dépend de la fauchée (Figure 20) et du taux de revisite (Tableau 1) des satellites.

## 2. Observations *in-situ*

### a. Observations participatives

Depuis 2011, plusieurs outils d'observation participatives ont émergé. Des applications ont été mises en place afin de faciliter le partage d'informations concernant les problématiques sur le littoral.

- *Signalert*

C'est une application interactive et connectée qui répertorie les risques localisés (inondation, pollution etc). Les utilisateurs peuvent prendre des photos et les localiser. Cela leur permet d'être tenu informé du moindre risque autour d'eux.

Pour le moment, il n'y a pas encore de catégorie « risque sargasse » mais des échanges avec la plateforme sont en cours.

- *CoastSnap*

C'est une application qui permet d'obtenir une base de données de photos prises par les utilisateurs sur des stations fixes, sur le littoral.

Elle permet d'observer l'évolution de la côte et elle pourrait potentiellement aider à quantifier l'arrivée des bancs sur le littoral (grâce au protocole d'analyse du BRGM avec les images caméras).

- *KoBo Toolbox*

C'est un formulaire d'observation des sargasses permettant aux utilisateurs de soumettre des échouements de sargasses. Les questions posées sont très précises, ce qui permet d'avoir des données complètes, mais accessibles à tous. Cet outil de gestion de données est actuellement utilisé par la cellule Plan d'Urgence Local SARGasses (*PULSAR*).

Il est accessible sous forme d'application ou de site internet.

- *Alert ! Sargasses*

Alert ! Sargasses est la première application tournée autour de la problématique des sargasses. Elle permet de localiser les échouements, et de les prendre en photo. Le calcul du nombre de pixel sargasses est ensuite fait automatiquement. Les développeurs sont ouverts à une version institutionnelle et une version grand public.

L'application est très intuitive mais pour le moment très peu diffusée.

Il existe donc beaucoup de plateformes qui peuvent servir d'outil à l'observation participative mais sont généralement peu connus et les données pas assez précises. Pour que les systèmes d'observation participatives soient efficaces, il faut que les outils soient visibles et qu'il y ait un fort taux de participation pour avoir un nombre de données convenable et des informations précises.

## **b. Caméras du BRGM et Madininair**

*Madinidair* et le *BRGM* ont mis en place des caméras autonomes (Figure 21) pour observer le littoral et optimiser la veille d'observation des sargasses. En Guadeloupe, le *BRGM* a placé des caméras en Martinique et Guadeloupe et *Madininair* a placé des caméras en Martinique.

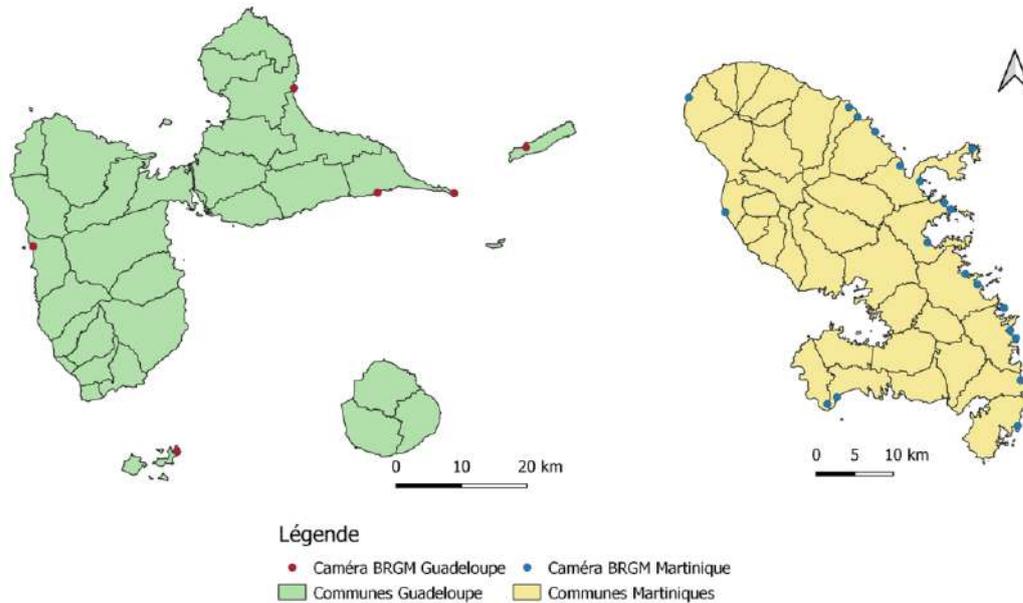


Figure 21 : Localisation des caméras du BRGM et Madininair

Des images (Figure 22) sont prises environ une fois par heure entre 7h du matin et 17h. On peut y observer l'arrivée et l'échouement des sargasses.



Figure 22 : Image du Marigot via une caméra du BRGM et Madininair

Après post-traitement des images par méthode de classification de pixel par CNN<sup>16</sup>, on peut estimer l'évolution (Figure 23) de la densité de probabilité de présence des sargasses (BRGM, 2020). Ainsi, des alertes sont émises automatiquement si le taux de sargasses observées dépasse un certain seuil.

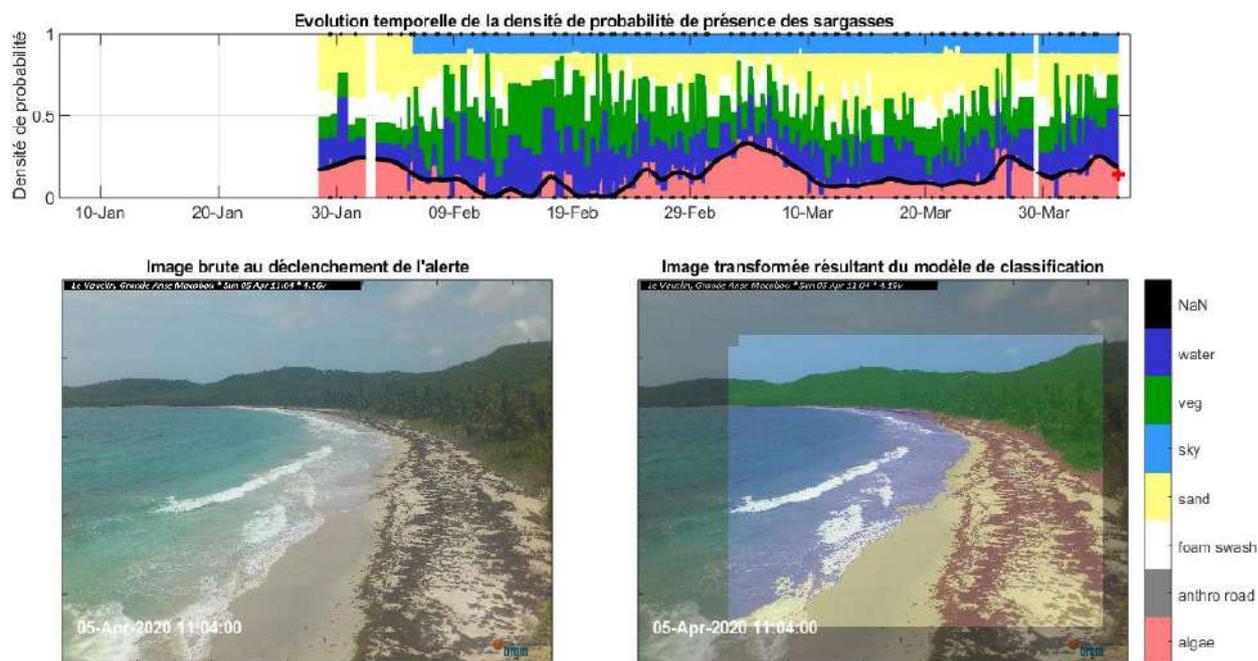


Figure 23 : Traitement des images caméra avec MATLAB (BRGM)

## c. Drones

La solution des drones peut être très intéressante afin de participer à la veille des sargasses sur le littoral et apporter des informations complémentaires.

### i. DroneDeploy

*DroneDeploy* est une plate-forme barbadienne accessible à tous par les drones commerciaux. L'application *DroneDeploy* fournit un vol et une capture de données automatisés. Il est possible de partager des cartes interactives de haute qualité, des orthomosaïques et des modèles 3D et de les annoter directement à partir d'un appareil mobile.

Cette application possède un large éventail d'applications d'imagerie aérienne et de cartographie entre autres dans la construction, le solaire, l'agriculture et depuis peu, un protocole pour quantifier les échouements de sargasses a été élaboré (Baldwin *et al.*, 2022).

Ce protocole de surveillance des sargasses fourni a pour but de visualiser et estimer l'abondance des sargasses récemment échouées. Il utilise une combinaison de technologies de drones, de mesures rapides sur le terrain et d'outils d'analyse géospatiale automatisés, développés spécifiquement pour une utilisation dans le contexte des Caraïbes, reconnaissant le faible niveau de ressources généralement disponibles (Baldwin *et al.*, 2022).

### ii. Alizea Drone

*Alizea Drone* est une société basée en Guadeloupe, spécialisée dans le domaine de l'imagerie aérienne par drones. Aujourd'hui présente dans trois départements d'outre-mer (Guyane, Guadeloupe et Martinique), les drones du parc d'*Alizea Drone* ont la capacité d'observer l'évolution des bancs de sargasses à plusieurs miles de la côte. Ils peuvent également être équipés de capteurs multi gaz pour potentiellement évaluer la teneur en H<sub>2</sub>S des bancs échoués, sans se déplacer sur le site (José Sainsily,

<sup>16</sup> Convolutional Neural Network

2022). Ils ont déjà réalisé une campagne d'observation de sargasses au niveau de Saint François.

Des partenariats sont à envisager à l'issue du *Forum de l'Observation des Sargasses* (cf. Organisation d'un forum Organisation d'un ), organisé pour réunir et fédérer tous les acteurs de l'observation afin de faire émerger des pistes et solutions sur le sujet de l'observation.

## B. Expertise de Météo-France

### 1. Dispositif de prévision des échouements de sargasses

Depuis 2019, Météo-France est en charge de la production du bulletin sargasse dans le cadre du *Plan Sargasse* (cf. page 3).

C'est un bulletin hebdomadaire, ou bihebdomadaire, en fonction du niveau d'alerte émis par la DEAL. Il est produit à partir des données satellitaires, auparavant sous-traités par CLS<sup>17</sup>. Aujourd'hui Météo-France a internalisé des compétences en traitement de données satellites et pour la détection de sargasses en mer grâce à ses nouveaux produits visualisables à travers l'outil Synopsis (cf. Annexe 2).

#### a. Observations

Un nombre de données satellitaire y sont regroupés en tant qu'outil d'aide à la décision afin de faciliter la production du bulletin (Figure 24).

#### Produits d'observations satellitaires

Etat	Satellite	Type	Capteur	Résolution	Indice
DISPONIBLE	MODIS	Défilant	AQUA	1 km	AFAI
DISPONIBLE	MODIS	Défilant	TERRA	1 km	AFAI
DISPONIBLE	SENTINEL 3A	Défilant	OLCI	300m	MCI
DISPONIBLE	SENTINEL 3B	Défilant	OLCI	300m	MCI
A VENIR	Suomi NPP	Défilant	VIIRS	750m	AFAI
A VENIR	NOAA-20	Défilant	VIIRS	750m	AFAI
A VENIR	GOES	Géostationnaire	ABI	500-1km	NDVI
EN TEST	SENTINEL 2A	Défilant	MSI	20-30m	-
EN TEST	SENTINEL 2B	Défilant	MSI	20-30m	-

Figure 24 : Données satellitaires disponibles sur Synopsis en avril 2022

Aujourd'hui, les prévisionnistes de dérives océaniques effectuent leurs prévisions en basant leurs observations sur divers supports.

1. Observations images satellites sur EO-Browser : Les données des Sentinel-2 et Sentinel-3 y sont disponibles. Ce sont les images *true color*<sup>18</sup> qui sont ici pertinentes à capturer car ne sont pas encore disponibles sur les réseaux internes à Météo-France. Ces données sont importantes

<sup>17</sup>Collecte Localisation Satellites

<sup>18</sup> Couleurs réelles

pour pouvoir comparer les images traitées avec les couleurs réelles de l'image. Cela permet de différencier les cirrus et les filets de sargasses.

Comme mentionné plus haut (cf. *Téledétection*), les données Sentinel-2 sont moins souvent disponibles que les données Sentinel-3. Par la suite, les prévisionnistes sauvegardent les images observées sur EO-Browser.

2. Analyse des courants observés, des bulletins précédents etc. sur l'extranet de Météo-France
3. Une page interne à Météo-France a été élaborée, regroupant des images traitées par le CMS, permettant d'avoir une qualité d'image supérieure :
  - a. Sentinel-2 avec le capteur MSI
  - b. Goes-16 avec le capteur ABI
  - c. Sentinel-3 avec le capteur OLCI
  - d. Composites sur 7 jours
  - e. Vecteurs de dérives selon le modèle *MOTHY*
  - f. Archives des images Sentinel-2, Sentinel-3 et Goes-16

Les images sont centrées autour des zones d'intérêts (Antilles, Guadeloupe, Martinique, Iles du nord, Guyane), mais n'ont pas suffisamment de recul (*Figure 25*). Il faudrait agrandir l'échelle de ces images pour que les prévisionnistes dérives océaniques puissent observer au mieux les arrivages de sargasses.

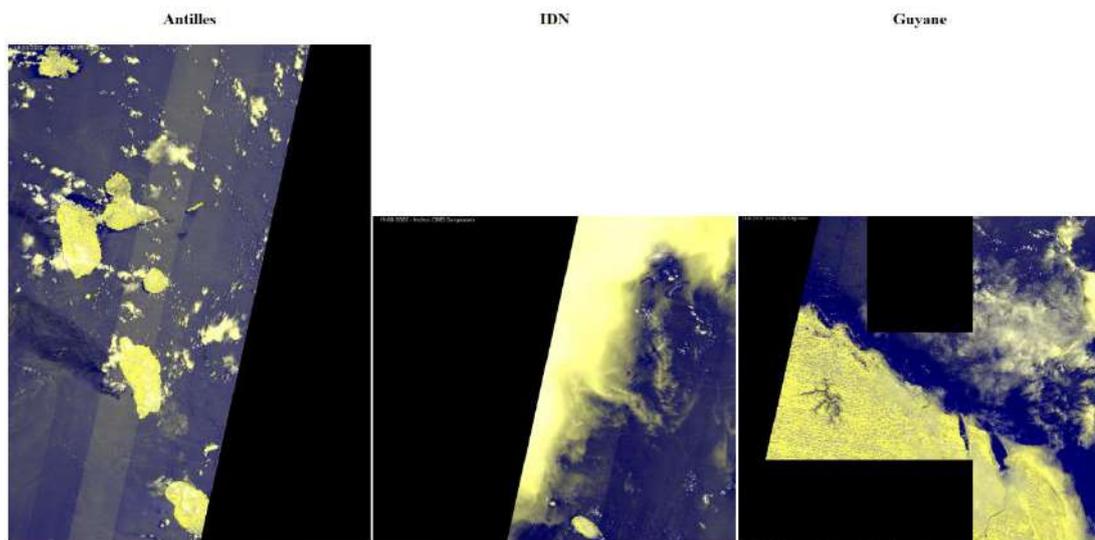


Figure 25 : Images extranet Météo-France (24/08/2022)

Toutes ces images sont sauvegardées dès qu'il y a une production de bulletin. Cependant, cela implique une perte de temps, c'est pour cela qu'un modèle de *Mémoire des évènements* a été pensé.

4. Les images des caméras (cf. *Caméras du BRGM et Madinair*) sont par la suite analysées, pour constater s'il y a eu des échouements et si c'est conforme aux prévisions effectuées auparavant.
5. Le dernier outil utilisé, en pleine expansion est Synopsis. Diverses macros y sont observées :
  - a. Les composites à 3 et 7 jours, sous OLCI (Sentinel-3)
  - b. L'image brut Sentinel-3
  - c. La vitesse des courants observés

Les images en True Color (ou RGB) viennent compléter les produits d'expertise notamment en relation avec la couverture nuageuse.

## **b. Rédaction du bulletin de prévision des échouements**

L'élaboration du bulletin se fait en 5 étapes :

1. Tendance à 2 Mois : Description de la situation générale
2. Tendance à 15 jours : Description des images observées, jusqu'à 500km de la zone d'intérêts
3. Tendance à 4 jours Zone Antilles et Guyane : Description de la localisation des sargasses
4. Prévisions à 4 jours : Estimation du temps de dérive et échouements en fonction de l'emplacement des bancs et la vitesse des courants.
5. Risque : Dans le bulletin, les prévisionnistes dérivés océaniques émettent un risque sur quatre niveaux, allant de faible, moyen, fort à très fort. Ces risques concernent uniquement le risque d'échouement et ne prend pas en compte la quantité ni la fréquence d'échouement.

## **2. Limites du bulletin actuel et données à disposition**

La chaîne de production du bulletin repose essentiellement sur la détection satellitaire de sargasses. Au regard des limitations mentionnées plus haut (cf. Télédétection), l'évaluation du risque en opérationnel se voit fortement dépendant de ces limites. Afin de combler les disparités spatio-temporelles liées à la détection de sargasses, la poursuite des travaux s'oriente sur le développement d'indicateurs pouvant consolider la prise de décision.

*Quels indicateurs seraient pertinents à analyser pour améliorer l'anticipation de la dérive et des échouements de sargasses ?*

Plusieurs pistes sont à explorer, notamment sur les indicateurs de changement au niveau de notre zone d'intérêt (Figure 26) allant de 20°S à 30°N et 90°W à 15°E (Bente, 2021).

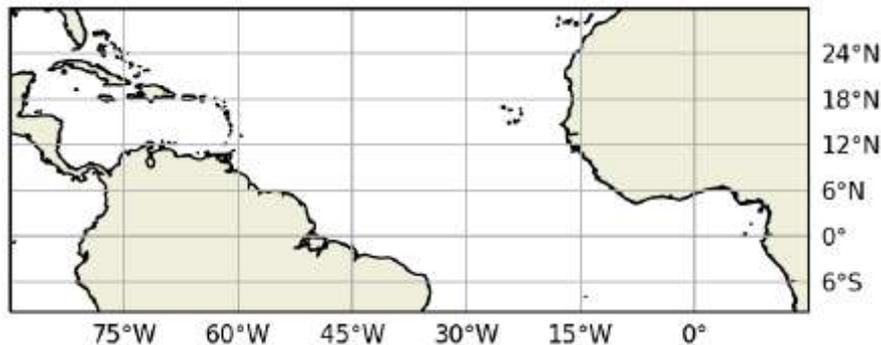


Figure 26 : Zone d'étude Equatoriale - Subtropiques

Afin de pouvoir appuyer la prise de décision, il serait intéressant d'observer les indicateurs de changement prenant en compte la saison mais aussi l'incertitude des données liées à la couverture nuageuse.

D'autres indicateurs seraient intéressants à analyser, comme la concentration d'H<sub>2</sub>S (Figure 27) afin d'attester l'échouement après 48h et vérifier les prévisions.

De nombreuses pistes sont donc à explorer pour améliorer la prévision des échouements de sargasses.

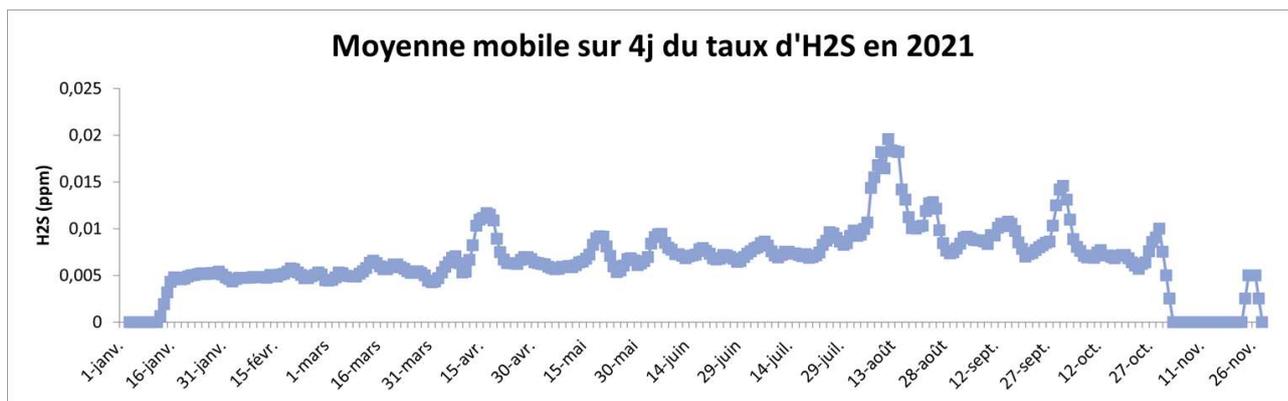


Figure 27 : Evolution du taux de H<sub>2</sub>S sur 1 an

# **III. Analyse de l'évolution possible de la production du bulletin émis à Météo-France**

# A. Conception de géo-indicateurs de changement

## 1. Observations pour prévisions saisonnières (2-3 Mois)

### a. Zones d'observation

D'après (Marsh *et al.*, 2021), deux zones principales ont été relevées pour observer les indicateurs liés à l'évolution des sargasses. La CWA (Centre West Atlantic) et la CENA (Centre Equatorial North Atlantic) (Figure 28). La CWA a été mentionnée par (Wang & Hu, 2016) lors de leur confection de la composite 7 jours.

Selon (Skiriris *et al.*, 2022), d'autres zones d'intérêts révèlent des indicateurs intéressants pour observer l'évolution des bancs de sargasses tels que les zones d'*upwelling*.

Dans cette partie nous allons aborder les indices permettant d'observer la tendance de dérive et de prolifération des sargasses à une échelle temporelle de 2-3 mois, avant qu'elles n'échouent sur les côtes des Antilles françaises.

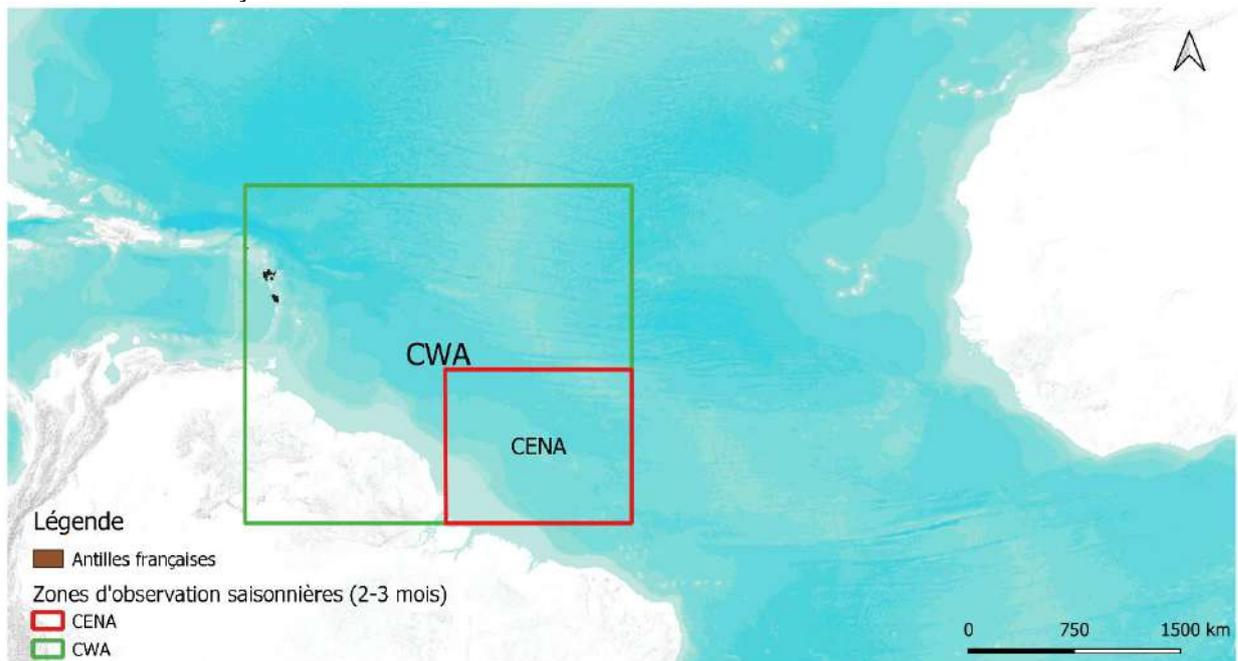


Figure 28 : Cartographie représentant les zones d'observation des sargasses, à 2-3 mois de leurs échouements

#### i. Centre West Atlantic (CWA)

La zone CWA (Figure 28) est située au centre ouest de l'Atlantique (**38-63°W, 0-22°N**). C'est une zone large, qui pourrait être considérée comme zone de référence qui englobe toutes les échelles de temps (*cf.* Observations pour tendances à 2 semaines, Observations pour prévision à 4 jours) lors de l'analyse de l'abondance de sargasses dans des zones d'observations plus fines.

#### ii. Centre Equatorial Atlantique Nord (CENA)

La CENA (Figure 28) est une zone moins large mais intéressante. Elle est située au niveau de la rétroflexion du courant nord brésilien (38–50°W, 0–10°N) (Skiriris *et al.*, 2022). Selon (L. Berline, *et al.* 2020)) un cycle annuel a été observé avec un faible taux de sargasses en hiver, augmentant en juillet et diminuant à nouveau en octobre. Cela serait dû au détachement du courant Nord brésilien des côtes par rétroflexion vers l'est en rejoignant le contre-courant Nord-équatorial (Rudzin *et al.*, 2017).

Dans cette zone, beaucoup d'indices varient et ont un lien avec la prolifération et la dérive des sargasses (Skliris *et al.*, 2022).

### iii. Zones d'upwelling

Les zones d'upwelling sont des zones de « remontée des eaux profondes » qui induisent des remontées de nutriments accompagnées d'anomalies de température de surface de l'océan négatives. A ce jour, il n'existe pas de données d'observation de quantité de nutriments, néanmoins, la chlorophylle-a représente un proxy de disponibilité en nutriments. Plus il y a de nutriments, plus il y a de chlorophylle-a. Cette disponibilité en nutriments influence la croissance des sargasses. (Skliris *et al.*, 2022)

Par ailleurs, le phénomène de remontée d'eau profonde induit une anomalie de température surfacique (la SST : *Sea Surface Temperature*). Grâce aux données de SST nous allons pouvoir calculer l'*Atlantic Meridional Mode* (AMM), en soustrayant la SST de la langue chaude (en orange), à la SST de la langue froide (en bleu) (Figure 29). Cet indicateur a, selon (Skliris *et al.*, 2022), une corrélation avec la prolifération des sargasses. Nous allons développer ces indicateurs par la suite (*cf.* Indices à observer).

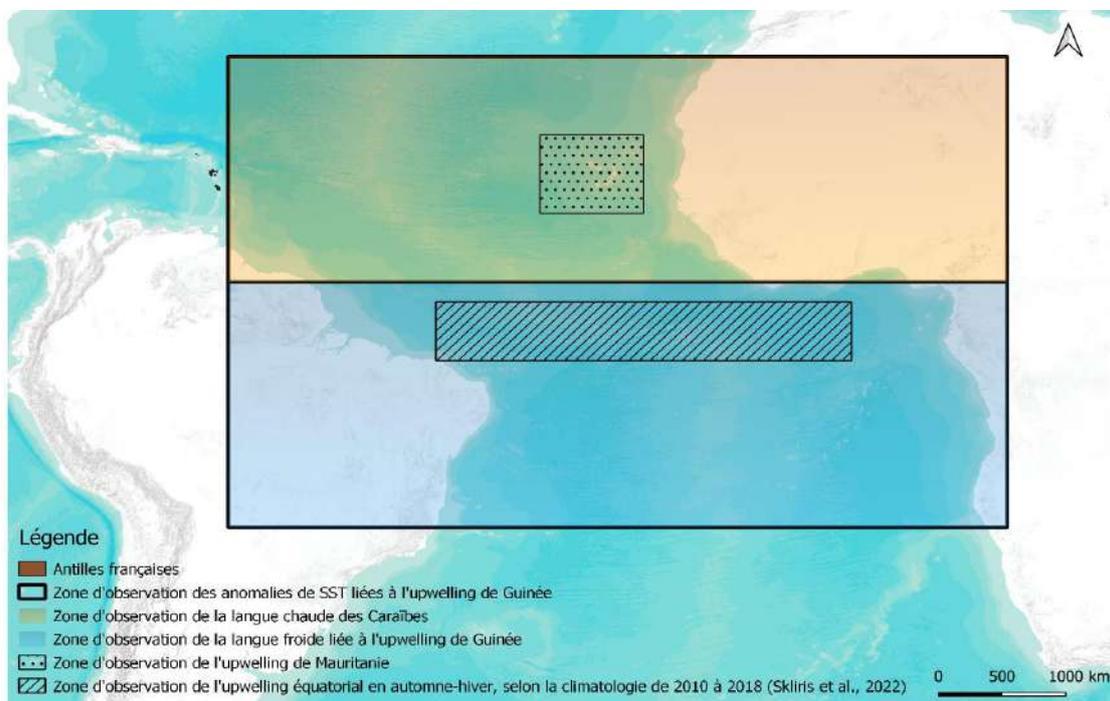


Figure 29 : Cartographie représentant les zones d'observation liées à l'évolution des bacs de sargasses

Trois zones d'upwelling sont ici intéressantes à observer (Figure 29). La première se situe en Afrique du Nord-Ouest : l'upwelling de Mauritanie (**20-30°W 12-20°N**). Dans cette zone nous nous concentrerons sur la présence de chlorophylle-a et donc la disponibilité en nutriments. La deuxième est la zone d'observation de la langue froide liée à l'upwelling de Guinée (**5°N - 28°N, 60°W - 15°W et 20°S - 5°N, 60°W - 15°E**) (Rugg, Foltz & Perez, 2016), nous allons y observer l'AMM. Et enfin la dernière est se trouve au niveau de l'équateur : l'upwelling équatorial (**0-40°W, 3-3°N**) (Skliris *et al.*, 2022) cette zone d'observation est variable en fonction de l'ITCZ (Figure 30), que nous allons examiner.

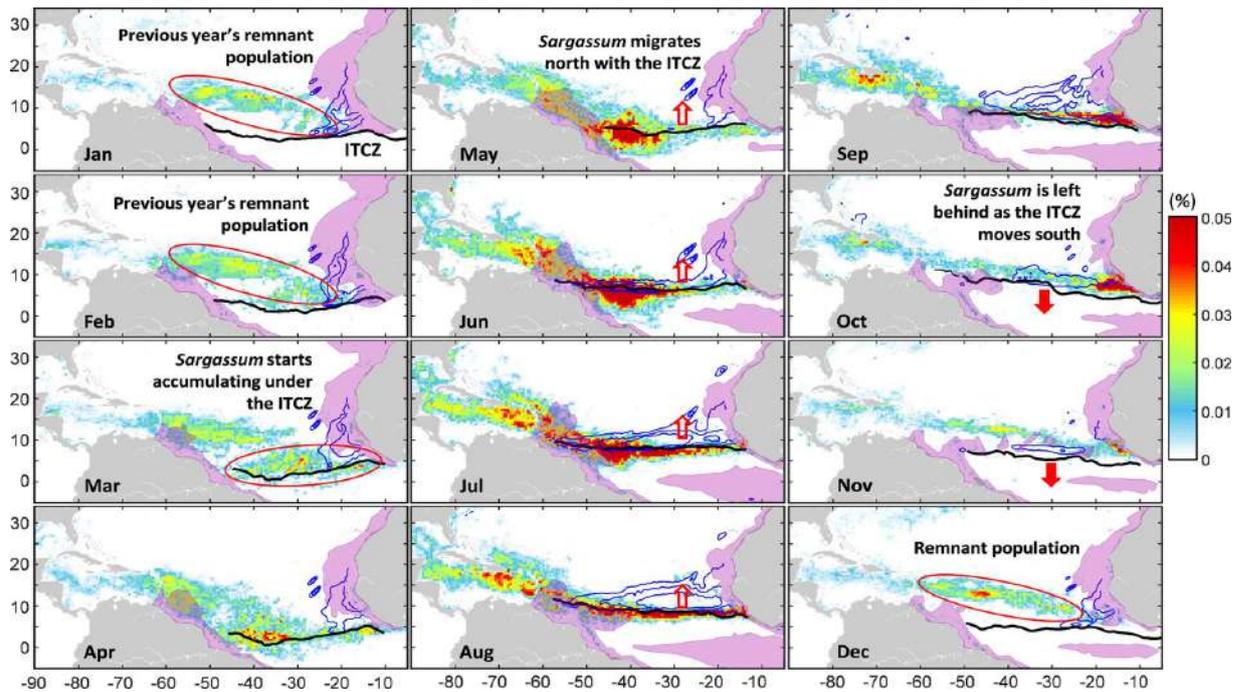


Figure 30 : Climatologie de la dynamique spatio-temporelle de la fraction couverte par les sargasses en fonction de la position de l'ITCZ (ligne noire) et le pompage d'ekman (au niveau de l'upwelling équatorial et de Mauritanie). La barre de couleur correspond au pourcentage de couverture spatiale de sargasses (Johns et al., 2020)

## b. Indices à observer

Plusieurs indices en lien avec l'évolution des sargasses ont été jugés intéressants à analyser.

### i. Alternative Floating Algae Index (AFAI)

L'indice AFAI (*Alternative Floating Algae Index*) est de loin l'indice le plus intéressant à observer, à toutes les échelles. Ses données sont disponibles quotidiennement et à moyenne résolution (1 kilomètre). Cet indice révèle la présence des bancs d'algues à la surface de l'océan (Wang & Hu, 2016). C'est l'indice que nous pouvons utiliser pour évaluer l'abondance surfacique des sargasses dans l'océan et comparer les résultats avec les autres indices.

Cependant il possède tout de même une limite comme tous les indices actuels, l'indice AFAI n'est pas en mesure d'apprécier la quantité volumique des sargasses mais seulement la quantité surfacique.

### ii. Atlantic Meridional Mode (AMM)

Il existe aujourd'hui 2 indices gouvernant la variabilité climatique tropicale : L'*Atlantic Meridional Mode* (AMM) et l'*Atlantic Multidecadal Oscillation* (AMO). Ils se basent tous les deux sur les anomalies en température de surface de la mer, et son gradient méridional.

L'AMM est un proxy du gradient méridional en SST sur les zones d'observation représentées Figure 29. Une AMM négative implique des anomalies froides en SST avec une zone intertropicale de convergence qui descend plus vers l'hémisphère sud engendrant un renforcement des alizées dans les couches basses de l'atmosphère (Chiang & Vimont, 2004).

Selon (Skiriris et al., 2022), les zones d'observation de ce phénomène se trouvent au niveau de la CWA (Figure 28) et de l'upwelling de Guinée (Figure 29), tout comme (Rugg et al., 2016).

Dans cette figure (Figure 31) sont représentés les indices AMM et l'AMO entre 1988 et 2021. Nous pouvons remarquer que lors des années considérées comme sévères en termes d'échouements (bandes vertes en 2015 et 2018), l'AMM est fortement négative et le Niño Atlantique (AMO) positif (Marsh et al., 2021).

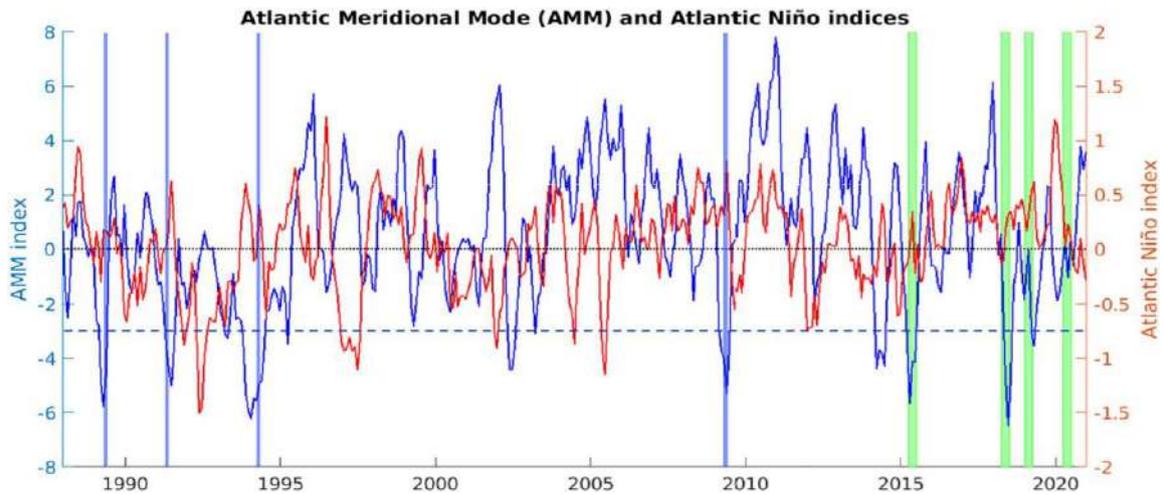


Figure 31 : Atlantic Méridional Mode (AMM) et Atlantic Niño indices (Marsh et al., 2021)

Lors de grandes proliférations de sargasses en 2015, 2018 et 2020 (Figure 32), il y a eu de fortes phases négatives d'AMM (Figure 33), alors qu'il est généralement majoritairement positif (Skiris et al., 2022).

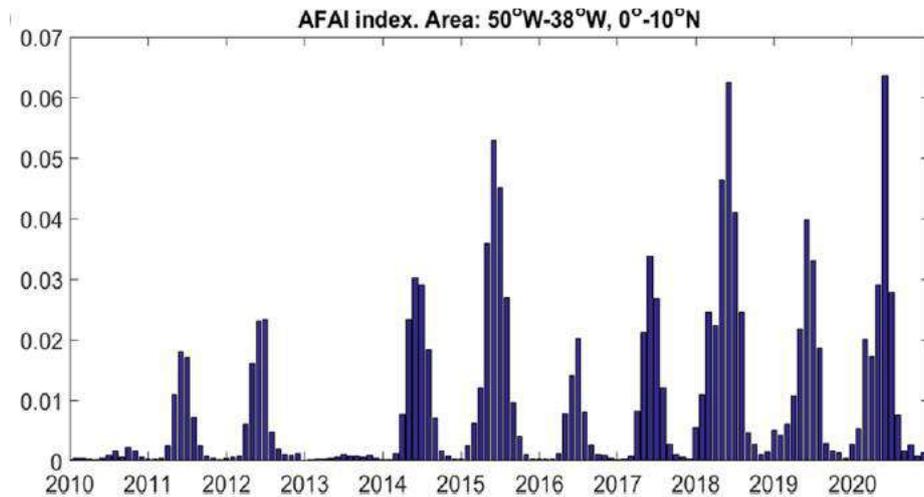


Figure 32 : Pourcentage de couverture de sargasses

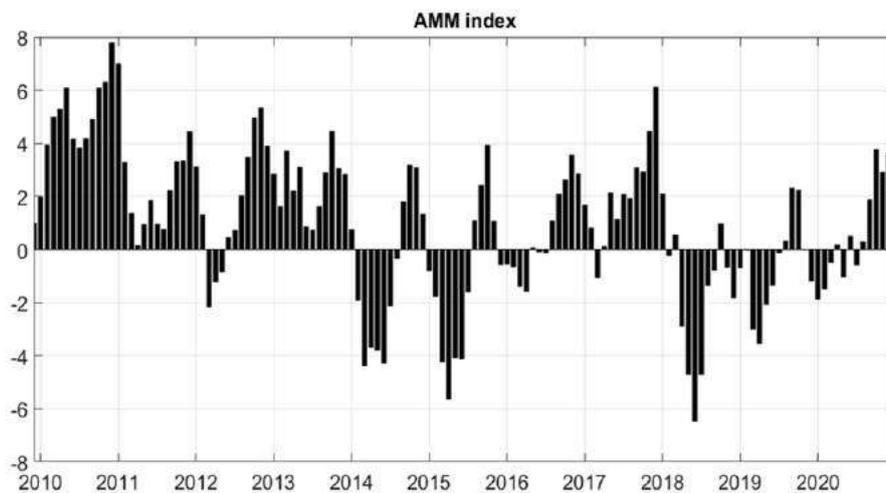


Figure 33 : Séries chronologiques mensuelles d'AMM de 2010 à 2021

Une forte anti-corrélation sur la période avril à août suggère que l'AMM soit un proxy pour la prolifération des sargasses dans le CENA pendant la période d'efflorescence du printemps jusqu'à l'été

(Figure 34). (Skliris *et al.*, 2022) étudie la corrélation entre le signal *AFAI* dans la *CENA* sur la période avril-août climatologique, en illustrant une forte anti-corrélation de l'Amérique du Sud, constituant le couloir de dérive des sargasses à échéance de 2 mois avant leurs potentiels échouement sur les Antilles françaises. Au centre du bassin, les faibles corrélations sont appuyées par une faible significativité de la statistique.

Les pixels comportant des croix correspondent aux pixels dont les données sont incertaines, ne faisant pas partie du couloir principal de circulation des sargasses. Nous pouvons voir qu'à cet endroit l'AMM exerce une influence sur l'abondance des sargasses.

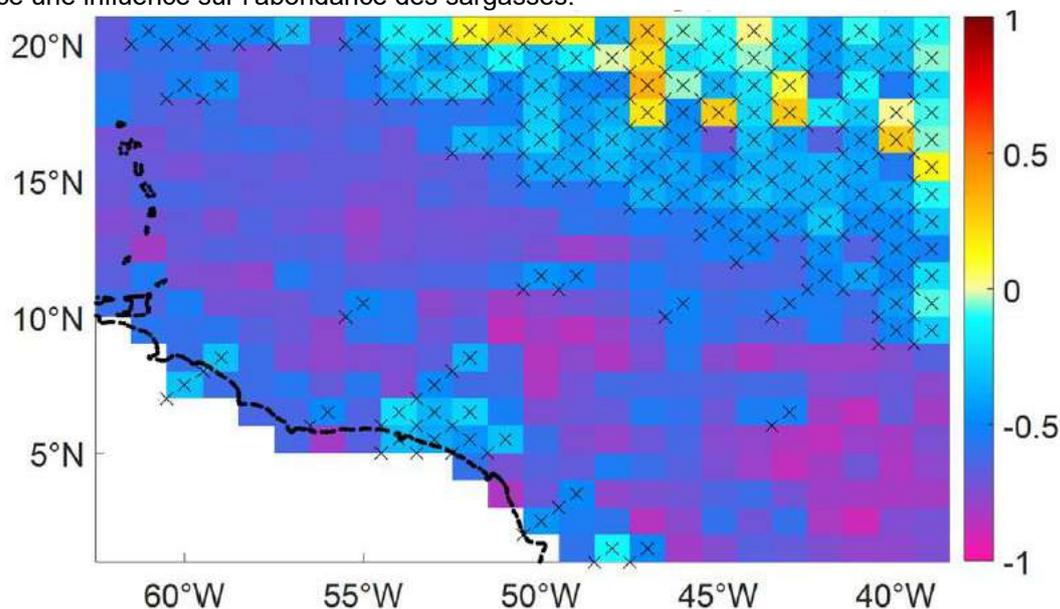


Figure 34 : Corrélation spatiale entre l'AMM et l'AFAI dans le CENA entre avril et août de 2010 à 2020 (Skliris *et al.*, 2022)

### iii. Chlorophylle-a

Comme expliqué plus haut, la prolifération des sargasses est influencée par la disponibilité en nutriments (Marsh *et al.*, 2021). Cependant, nous ne pouvons actuellement pas observer cette disponibilité autrement qu'en utilisant la chlorophylle-a. Cet indicateur est un proxy de la disponibilité en nutriments (Wang *et al.*, 2019).

Dans la zone d'upwelling de Mauritanie (Figure 29), le taux de chlorophylle-a et dans la *CENA* (Figure 28), l'*AFAI* ont été analysés (Figure 35) respectivement de janvier à mars et du printemps à l'été. En observant la tendance générale des courbes superposées, une corrélation entre l'anomalie de l'*AFAI* et de chlorophylle-a sur la période de 2010-2020, est évidente (Skliris *et al.*, 2022). Cela signifie que la disponibilité en nutriments (modélisée par la concentration en chlorophylle-a) en hiver au niveau de la zone d'upwelling de Mauritanie influe sur la prolifération des sargasses lors de la saison d'efflorescence (printemps-été) au niveau de la *CENA*.

Des observations du taux de chlorophylle-a au niveau de la région d'upwelling seraient donc intéressantes pour évaluer la croissance de l'*AFAI* dans la région *CENA*.

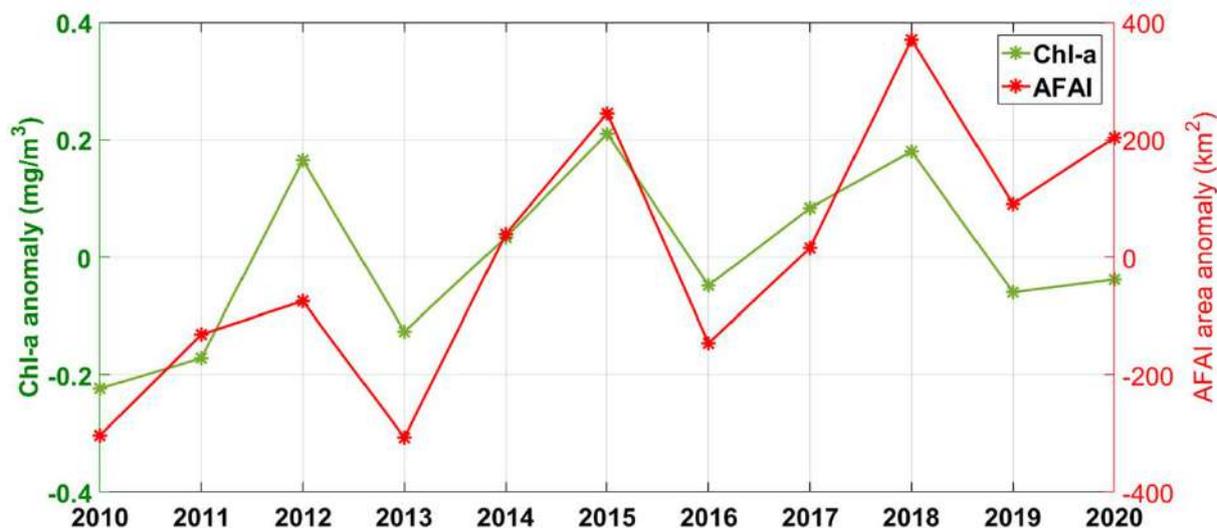


Figure 35 : Moyenne avril-août de l'anomalie de la fraction surfacique AFAI moyennée sur la CENA et moyenne janvier- mars anomalies de la chlorophylle-a (mg/m<sup>3</sup>) en moyenne sur la région d'upwelling étendue (20°W–30°W, 12°N–20°N) (Skiris et al., 2022)

Des observations du taux de chlorophylle-a au niveau de la région d'upwelling seraient donc intéressantes pour évaluer la croissance de l'AFAI dans la région CENA.

### c. Disponibilité des données

Les liens permettant d'accéder aux données pour chaque indice se trouvent ci-dessous (Tableau 2). Les données AFAI ne sont pas disponibles, seules les données de FA-density sont accessibles sur le site de l'Université de Floride du Sud.

Tableau 2 : Indices à observer

Indice	Disponibilité des données	Fournisseur de données	Format
FA-density	Journalière calculée sur la moyenne des 7j depuis janvier 2010	<a href="https://optics.marine.usf.edu/">https://optics.marine.usf.edu/</a>	
AMM	Mensuels de 1948 à aujourd'hui	<a href="https://www.aos.wisc.edu/~dvimont/MModes/Data.html">https://www.aos.wisc.edu/~dvimont/MModes/Data.html</a>	.txt
Chl-a	Journalière de 2002 à 2022	<a href="https://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/directdataaccess/Level-3%20Mapped/Aqua-MODIS">https://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/directdataaccess/Level-3%20Mapped/Aqua-MODIS</a> Fichier récupérable par wget : <a href="https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/docs/obpg_dmp.pdf">https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/docs/obpg_dmp.pdf</a>	.nc
SST	Journalière de 2002 à 2020	<a href="https://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/directdataaccess/Level-3%20Mapped/Aqua-MODIS">https://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/directdataaccess/Level-3%20Mapped/Aqua-MODIS</a> Fichier récupérable par wget : <a href="https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/docs/obpg_dmp.pdf">https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/docs/obpg_dmp.pdf</a>	.nc
Vitesse du courant	De 1991 à 2020 (5 à 4478m de profondeur)	<a href="https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.godas.html">https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.godas.html</a> : liens pour récupérer par wget ou <a href="https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/chlor_a/">https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/chlor_a/</a>	.nc

### d. Représentation des données

#### i. AMM

Selon (Skiris et al., 2022), l'AMM (Atlantic Meridional Mode) a un fort impact sur la prolifération des sargasses dans le CENA principalement pendant la période de floraison (avril-août). Si l'AMM est négative sur la période avril-août, des anomalies positives de AFAI sont attendues. Cependant, ce n'est pas systématique, d'autres dynamiques, telles que l'intensité de la rétroflexion, peuvent entrer en jeu.

L'objectif est de faire des prévisions à 2 mois à l'aide de cette corrélation. Cependant, selon (Skliris *et al.*, 2022), l'AMM et les anomalies de *AFAI* sont corrélés sur 5 mois, d'avril à août. Rien n'indique une corrélation mensuelle potentielle. En partant de cette affirmation, les prévisions d'anomalies de *AFAI* à partir des données d'AMM seraient disponible seulement à partir de fin août. Cependant, la saison d'échouements de sargasses sera quasiment finie, il n'y aura plus d'intérêt à faire des prévisions.

Ainsi, en premier temps, il serait intéressant d'analyser une corrélation potentielle entre l'AMM et les anomalies d'*AFAI* mensuellement à partir de janvier. Une fois les données d'AMM de janvier obtenues, les anomalies d'*AFAI* potentielles 2 mois plus tard (à partir d'avril, le début de la saison d'efflorescence dans la *CENA*) seront calculables. Si les indices ne sont pas corrélés mensuellement, il faudra essayer tous les 2 mois. S'ils ne sont pas corrélés bimensuellement, l'AMM ne pourra pas être exploitée car les données obtenues ne nous permettront pas de faire des prévisions en temps voulu.

Grâce à ces données, un modèle de régression (Figure 36) pourra être mis en place, pour déterminer une fonction de courbe de tendance, et ainsi anticiper les valeurs des données *AFAI*.

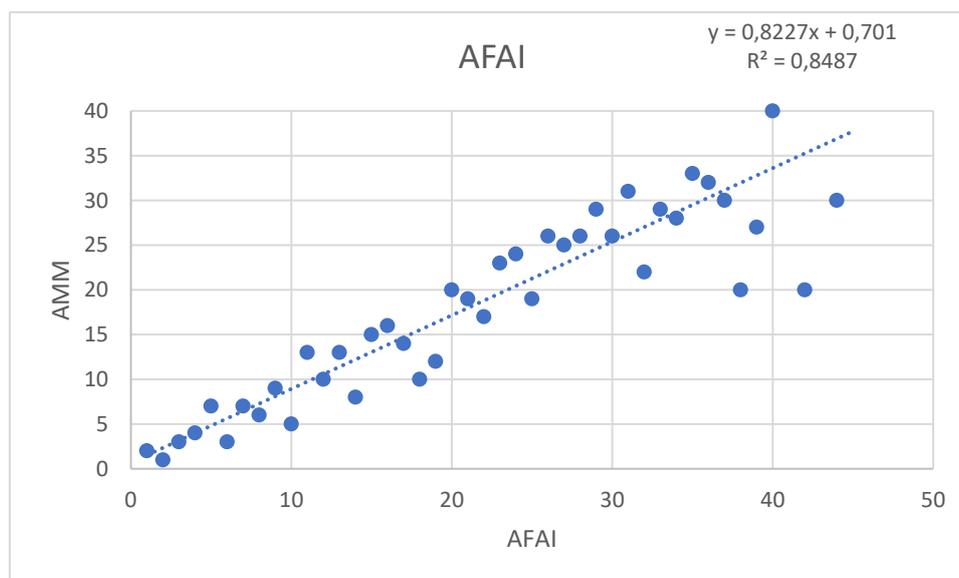


Figure 36 : Exemple de modèle de régression, avec des données fictives

Le machine learning est également envisageable. En fournissant les valeurs mensuelles ou bimensuelles d'AMM, des prévisions spatiales des anomalies de *AFAI* sur la *CWA* seraient possibles.

## ii. Chlorophylle-a

La représentation des résultats se fera sous forme de graphique. Pour la chlorophylle-a il faudra se concentrer sur la période de janvier à mars. C'est cette période qui déterminera le taux d'*AFAI* au printemps/été.

Un graphique représentant le taux de chlorophylle-a observé au niveau de la zone d'*upwelling* de Mauritanie en hiver superposé à la courbe de la tendance d'anomalie *AFAI* de la période d'efflorescence au niveau de la *CENA* prévu et observé, comme (Skliris *et al.*, 2022) serait intéressant à mettre en place. Cela permettrait d'observer la corrélation de ces indicateurs et avoir plus de certitude sur le long terme de l'influence de la disponibilité de nutriments (représenté par le taux de chlorophylle-a) sur l'abondance de sargasses (représenté par l'*AFAI*).

## 2. Observations pour tendances à 2 semaines

### a. Zones d'observations

Les indicateurs exposés dans cette partie, seront calculés dans les boxes d'observation à 15 jours (en orange) représentées ci-dessous. Ces boxes ont été placées en fonction des couloirs de dérive sargasses identifié lors d'une précédente missions au sein de Météo-France.

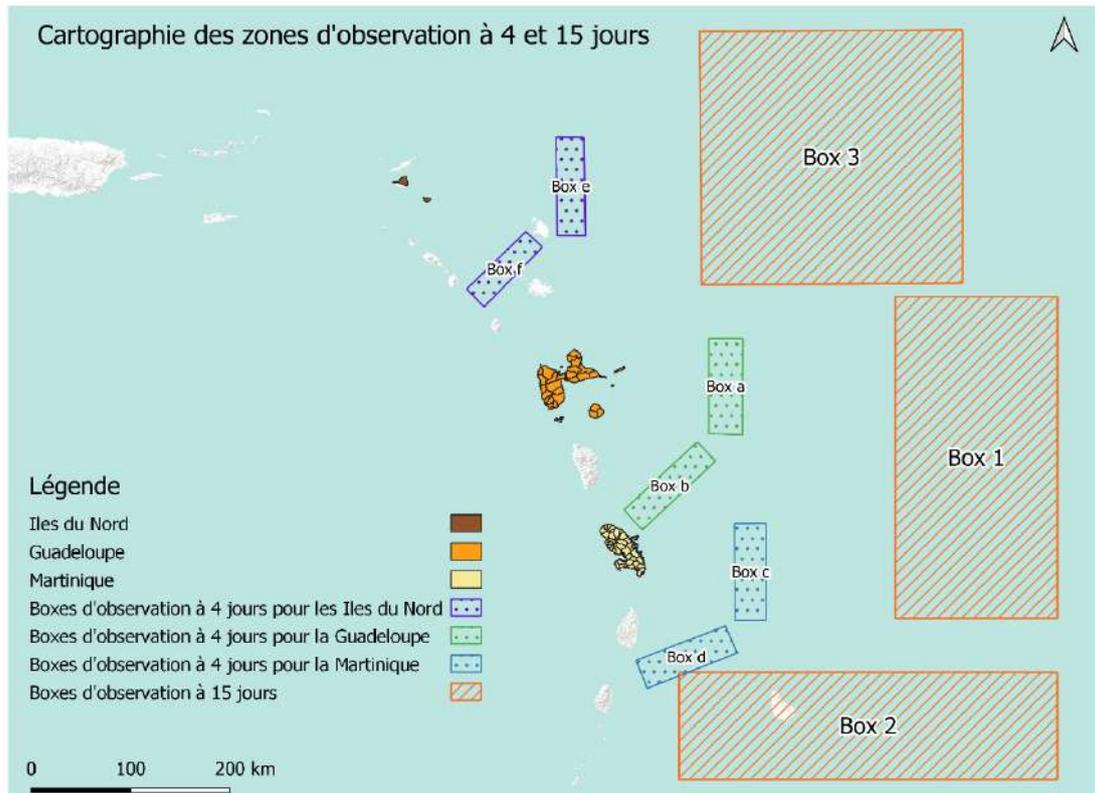


Figure 37 : Cartographie représentant les zones d'observation des sargasses à 4 et 15 jours de leurs échouements

## b. Traitement des données

Les données nécessaires à analyser ici sont les données *AFAI* géo référencés, ainsi que les données *MCI* pour calculer l'abondance des sargasses.

La présence de couverture nuageuse ne signifie pas qu'il n'y a pas de sargasses sous les nuages. Nous proposons d'estimer la quantité de sargasses présente sous la couverture nuageuse par une correction, reposant sur un domaine macro. Pour cela nous ferons plusieurs hypothèses.

1. **Hypothèse 1a** : Plus la zone d'observation est grande (hors présence de brume de sable ou de système organisé de nuage : onde tropicale, dépression, etc.), plus l'activité sargassique est mesurable.

Les observations seront axées sur la zone *CWA* (Figure 28). Elle serait ici notre zone de « référence », car plus grande que notre boîte d'observation à 15 jours (Illustration 11). Cette zone est située au centre ouest de l'Atlantique et ne couvre pas la zone équatoriale. La zone équatoriale a généralement une forte couverture en sargasses. Il faut sélectionner une zone de référence avec une répartition de sargasses la plus homogène possible.

**Exemple de correction** : Si nous estimons une couverture de sargasses de 15 % sur une fenêtre de 15 jours, dans la *CWA*. Alors il faut multiplier le pourcentage de couverture nuageuse présente dans les boîtes 1, 2 et/ou 3 (Illustration 11) au pourcentage de sargasses présentes dans la *CWA* et y ajouter le pourcentage de sargasses visibles dans cette zone (donc hors couverture nuageuse) :

**Formules** :  $E = \text{Estimation de la couverture de sargasses (pourcentage)} = \%C_n * \%S_{CWA} + \%S_v$

Où  $C_n$  = couverture nuageuse dans la box de 15 jours (box 1 et/ou box 2 et/ou box 3)

$\% S_{CWA}$  = pourcentage de sargasses dans le domaine global (nuage+visible) sur 7 jours

$\% S_v$  = Pourcentage de sargasses visibles dans la box d'observation de 15 jours sur 7 jours

- a) Domaine visible =  $1 - C_n$
- b) Nombre de pixels du domaine visible = nombre de pixels dans la box \* a)
- c) % sargasses dans le domaine visible = nombre de points sargasses / b)

L'abondance (A) des sargasses (nombre de points de sargasse) est obtenue par l'expression suivante :  $A = E * P$

Où **P** : nombre de pixels total dans la box d'observation à 15 jours

**Limites** : Les données récoltées ne seront pas valables en début et fin de saison de sargasses, car la répartition des sargasses sur la box ne sera pas homogène. Cette méthode ne peut pas être utilisée tout au long de l'année. Par ailleurs, la présence de système nuageux ou de brume de sable peuvent perturber cette estimation.

De plus, même si la zone de couverture est plus grande et donc le taux d'erreur est plus faible, il reste important. Il faut donc trouver un système pour que les observations du pourcentage de sargasse en CWA soit le plus représentatif possible. Afin de limiter la marge d'erreur, on pourrait estimer la quantité de sargasses en faisant une moyenne cumulée sur 5 jours :

2. **Hypothèse 1b** : Après avoir calculé la potentielle couverture de sargasses, les données peuvent être homogénéisées en faisant un cumul glissant sur 5 jours et moyenner les données :

**Formules** :  $M = \text{Moyenne cumulée} = \frac{[(C_s * x) + \dots + (C_{s-5} * y)]}{(x+y)}$

Où  $C_s$  est la couverture de sargasses du jour d'observation,

$C_{s-5}$  est la couverture de sargasse du cinquième jour précédent,

**x** et **y** les indices de confiance en fonction de la couverture nuageuse :

- a) Si 0 % de visibilité :  $x$  et/ ou  $y = 0$
- b) Si 25 % de visibilité :  $x$  et/ ou  $y = 0,25$
- c) ...
- d) Si 100 % de visibilité :  $x$  et/ ou  $y = 1$

**Limites** : Cette interprétation pourrait également être intéressante sur les jours climatologiques : au lieu de prendre le jour d'avant, prendre le même jour mais climatologique (la tendance observée ce jour-ci sur les années précédentes). Cependant, étant un phénomène récent, les données ne sont pour le moment pas suffisantes pour faire ce postulat. Les données obtenues reposeraient donc sur des estimations bien trop approximatives.

3. **Hypothèse 2** : Une autre estimation peut être envisagée mais serait bien Moins certaine. Si nous nous concentrons sur la box d'observation à 15 jours, il va falloir faire des estimations.

S'il y a une couverture nuageuse dans la box d'observation et que seulement  $y\%$  est visible, un comptage pourra être effectué du nombre de sargasse dans le domaine visible associé au pourcentage de surface du domaine non visible :

$$\text{Nombre de sargasses total} = \frac{n}{x}$$

où  $n$  est le nombre de sargasses dans le domaine visible

$x$  est le pourcentage de surface non visible

**Exemple** : S'il y a 25 % de couverture nuageuse : Nombre de sargasses dans les 75 % de visibles \* 0,25 etc.

**Limites** : Cependant, cela relève tout de même des estimations. Il peut y avoir aucune sargasse dans le domaine visible mais plusieurs bancs peuvent être cachés sous les nuages. Il faudrait donc observer les jours avant / après pour voir si les bancs se sont cachés. (ex : il y a 80 % sargasses dans le domaine visible et 0 sous la couverture nuageuse, alors on va estimer qu'il y a 80 % de sargasses sur toute la zone d'observation et *vice versa*...)

4. **Hypothèse 3** : Par ailleurs, la dérive des sargasses étant imprévisible, malgré ces hypothèses, il serait judicieux de mettre en place un indice de confiance pour les données obtenues en fonction du pourcentage de couverture nuageuse.

**Formules** : La prise en compte des résultats se ferait selon certains paramètres :

- a) Si la visibilité est confuse, les points seront considérés seulement si : (pixels visibles / pixels total) > 70 %
- b) Ensuite, un code couleur serait attribué pour représenter le taux de confiance que nous pouvons attribuer à chaque pixel. Si le taux de visibilité est :
  - i. 70 % < x < 80 %, le point sera orange
  - ii. 80 % < x < 90 %, le point sera jaune
  - iii. 90 % < x < 100 %, le point sera vert

Les résultats seront représentés sous forme de graphique (Figure 38) :

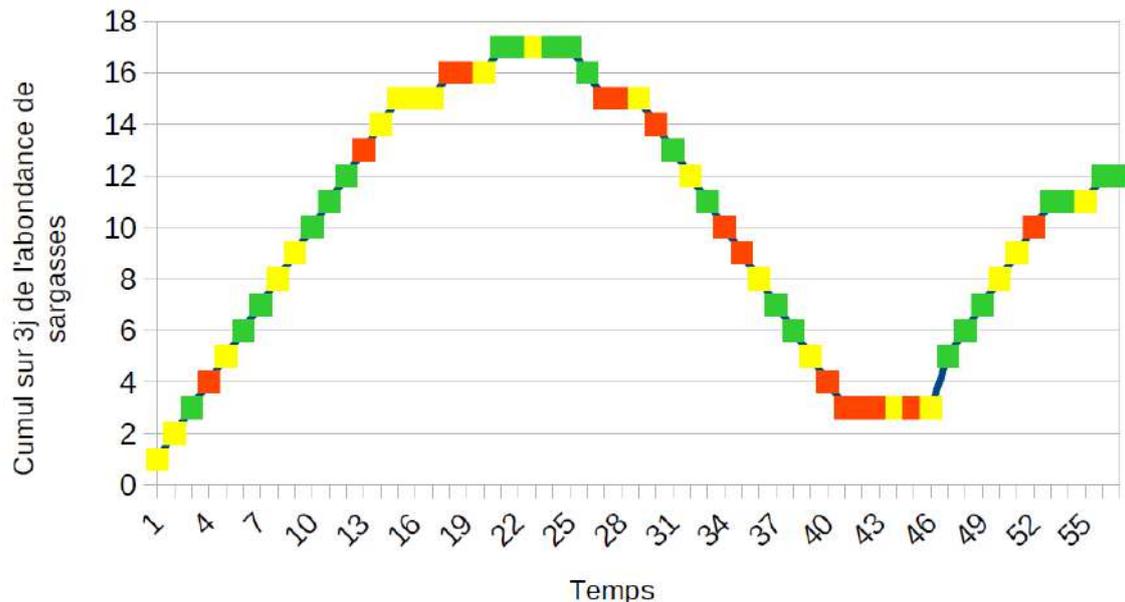


Figure 38 : Exemple de graphique représentant l'évolution de l'abondance de sargasses

Les résultats avec un taux de visibilité inférieur à 70 % ne seront pas pris en compte donc pas représenté sur le graphique. Les points orange<sup>19</sup> seront à prendre avec précaution tandis que les points verts<sup>20</sup>, qui indique un taux de visibilité optimal, fourniront en grande partie la base de données pour la prévision des échouements.

**Limites :** Il faudra faire attention à ne pas perdre trop de données à cause de trop d'exigence avec la qualité de la donnée. En consultant la moyenne de couverture nuageuse lors de la saison des sargasses sur les Antilles françaises, nous pourrions établir des ratios cohérents.

### c. Représentation des données

Un graphique représentant l'abondance des sargasses sur plusieurs années différentes pourrait être intéressant à analyser afin de comparer les tendances entre les années à fortes, faibles et moyennes abondances :

- a) L'abondance (A) des sargasses avec la courbe de l'année en court
- b) La climatologie (moyenne de 2011 à 2022)
- c) L'abondance de l'année 2013 qui représente une année avec peu d'échouements de sargasses.
- d) L'abondance des années 2015 et 2018 qui représentent des années considérées sévères en termes d'échouements

<sup>19</sup> 70 % < x < 80 %

<sup>20</sup> 90 % < x < 100 %

Ainsi nous pourrions voir si l'année en cours est considérée comme sévère, faible ou dans la moyenne en termes d'abondance de sargasses.

### 3. Observations pour prévision à 4 jours

#### *i. Zones d'observations*

Selon les prévisionnistes de Météo – France et le bilan rétrospectif mené par (Bente, 2021), il faut observer à environ une centaine de km pour estimer la quantité de sargasses arrivant sur la côte dans 3-4 jours. Cela varie bien entendu en fonction des courants et de la vitesse des vents.

Chaque zone (Figure 37) représente environ 100 kilomètres sur 30 kilomètres et se situe à environ 100 kilomètres du littoral.

#### *ii. Traitement des données*

Les données sont récoltées à partir des images Sentinel-2, traitées avec un indice mis en place par le CMS<sup>21</sup>. Les données Sentinel-3, traités avec l'indice *MCI* pourrait être intéressantes parallèlement.

Cette partie reprend le traitement des données de la partie (*cf.* Observations pour tendances à 2 semaines). Dans cette partie nous nous concentrons sur les zones d'observation à 4 jours (Figure 37).

- Boxes a et b pour la Guadeloupe (en vert)
- Boxes c et d pour la Martinique (en bleu)
- Boxes e et f pour les îles du Nord (en violet)

Les différents hypothèses abordées pour la tendance à 2 semaines se répète ici. Seul la durée d'observation diffère (3 jours au lieu de 7 jours).

##### 1. Hypothèse 1a :

**Formules :**  $E = \text{Estimation de la couverture de sargasses (pourcentage)} = \%C_n * \%S_{CWA} + \%S_v$

Où  $C_n$  : couverture nuageuse dans la zone de 4 jours

$\% S_{CWA}$  : pourcentage de sargasses dans le domaine global (nuage+visible) sur 3 jours

$\% S_v$  : Pourcentage de sargasses visibles dans la box d'observation 4 jours sur 3 jours

- a) Domaine visible :  $1 - C_n$
- b) Nombre de pixels dans le domaine visible = nombre de pixels dans la box \* a)
- c)  $\% \text{ sargasses ds visible} : \text{nombre de points sargasses} / \text{b)}$

$A = \text{Abondance (nombre de points)} = E * P$

Où  $P$  : nombre de pixels total dans la box d'observation à 4 jours

#### *iii. Représentation des données*

Voir (Représentation des données).

### 4. Observations pour prévisions immédiates et vérifications

#### *i. Zones d'observations*

Jusqu'à aujourd'hui, les images satellites sur le littoral n'étaient pas suffisamment de bonne qualité pour observer précisément les arrivages de bancs. Le satellite Sentinel-2 permet depuis peu, d'obtenir

---

<sup>21</sup> Centre de Météorologie Spatiale

des images de meilleure qualité. Dans le cadre du projet *CESAR*, une amélioration des détections proches de la côte sera possible grâce au satellite Sentinel-3.

En considérant que les observations faites grâce aux caméras du *BRGM* et *Madinidair* sont faites à moins de 5km de la côte, voici les zones qui correspondraient aux prévisions faites sur observations (Figure 39, Figure 40) en cas d'arrivage immédiat et ainsi anticiper le risque d'échouement dans la journée.

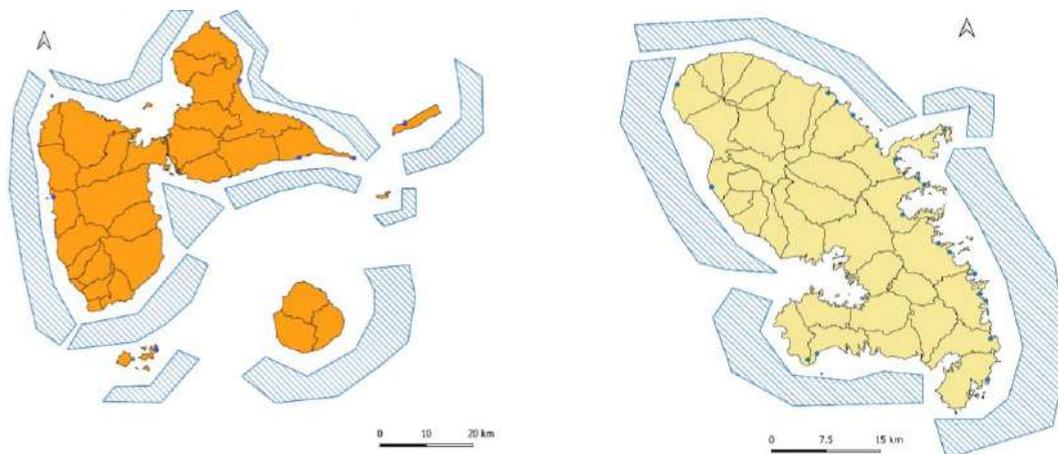


Figure 39 : Zone d'observation directe en Guadeloupe      Figure 40 : Zone d'observation directe en Martinique

Puisqu'aujourd'hui les images satellites ne sont pas suffisamment précises au niveau du littoral, les caméras correspondent au seul moyen d'obtenir des observations. Ci-dessus (Figure 39, Figure 40) sont représentés les zones optimales à observer. Cependant, les images caméras ne couvrent pas la totalité de ces zones. La disponibilité des images obtenues grâce aux caméras est limitée.

Premièrement en termes de répartition spatiale, en Guadeloupe, seulement 6 caméras sont mises en place. Elles sont bien réparties sur l'archipel, mais elles ne couvrent pas suffisamment de surfaces. En Martinique de nombreuses caméras sont en place, cependant il y a un manque de visibilité au niveau de l'Anse au Bois, le Cap Chevalier, l'Anse Trabaud et l'Anse Macabou. De plus, seulement 4 caméras sont disposées côté Caraïbes. Le côté Caraïbe de la Guadeloupe et de la Martinique est bien moins impacté par les sargasses, mais peut subir des échouements occasionnels qui ne pourront ainsi pas être anticipés.

Deuxièmement, la disponibilité de chaque caméra n'est pas optimale. Des pannes peuvent survenir, soit des caméras, soit des mises à jour du site d'observation du *BRGM* et *Madinidair*. Une surveillance de la disponibilité des images devrait être mise en place.

Si l'observation participative est mise en place et fonctionne (à raison d'une image tous les 5 à 10km par jour) alors on pourra considérer que les zones d'observation représentées ci-dessus sont effectives. Aujourd'hui le dispositif *Coast Snap* reçoit 1 image tous les 3-4 jours dans le Morbihan (Robinet, 2022). Selon ces résultats, la solution de l'observation participative semble mise à mal car nous avons des besoins d'images quotidiennes. Cependant, situées sur des îles touristiques, et avec une bonne communication, des images quotidiennes pourraient être obtenues.

Si nous nous fions simplement aux observations possibles grâce aux caméras (en considérant qu'elles fonctionnent toutes), voici les zones observables instantanément :

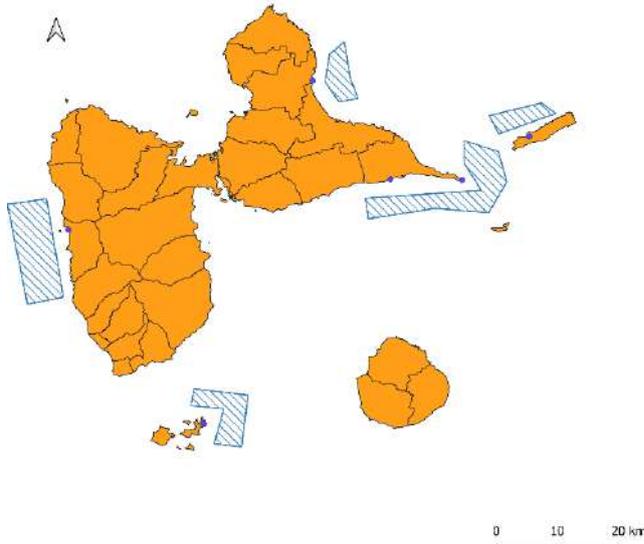


Figure 41 : Zones d'observation possible en avec les caméras Guadeloupe dans l'hypothèse où elles sont toutes exploitables

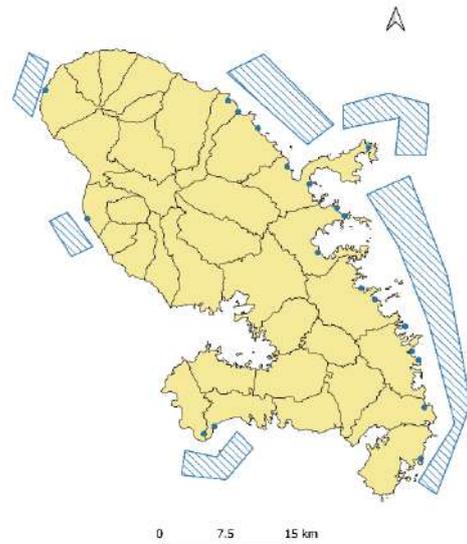


Figure 42 : Zones d'observation possibles avec les caméras en Martinique dans l'hypothèse où elles sont toutes exploitables

## ii. Données disponibles

### Caméras

Les données des images caméras sont aujourd'hui traitées par le BRGM (Illustration 18) sur 3 sites pilotes :

- Le Bourg du Marigot
- La plage du nord de Sainte-Marie
- La Grande Anse Macabou, au Vauclin

La baie du Marigot étant régulièrement envahie par les bancs de sargasses, il n'est pas pertinent de traiter les images de ce site. Cependant, la plage du Nord sera représentative de la zone Nord Est et la Grande Anse Macabou la zone Sud Est lors de la prévision des risques d'échouements.

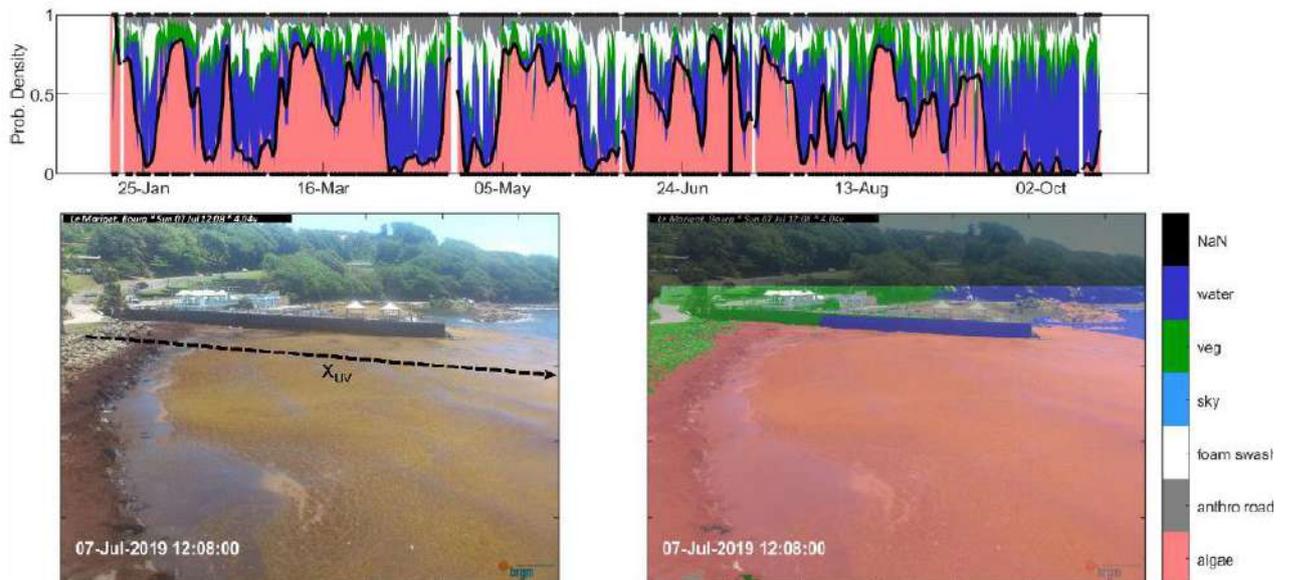


Figure 43 : Evolution temporelle de la densité de probabilité de présence des sargasses à Marigot bourg. Les différentes couleurs représentent les proportions des différentes classes d'intérêt (algue, bâti, écume, ciel, végétation, eau). Exemple d'une image brute

**Hypothèse** : Il serait intéressant de représenter les données d'évolution temporelle de la densité de probabilité de présence de sargasses (Figure 43) sous forme d'histogramme. Dès que certains seuils sont dépassés, des alertes sont diffusées. Ainsi lors de la production du bulletin, les prévisionnistes pourront confirmer ou réfuter leurs prévisions.

Les seuils seraient déterminés en fonction du taux de sargasses recouvrant le sable. La zone à observer correspond à la plage. Ici il faudrait donc additionner la surface occupée par le sable (en jaune) et la surface occupée par les sargasses (en rose) pour avoir la surface de la zone à surveiller.

Les prévisionnistes émettent un bulletin avec un niveau de risque par zone (Figure 44). Il faudrait corréler le **risque** d'échouement avec les échouements **observés**.

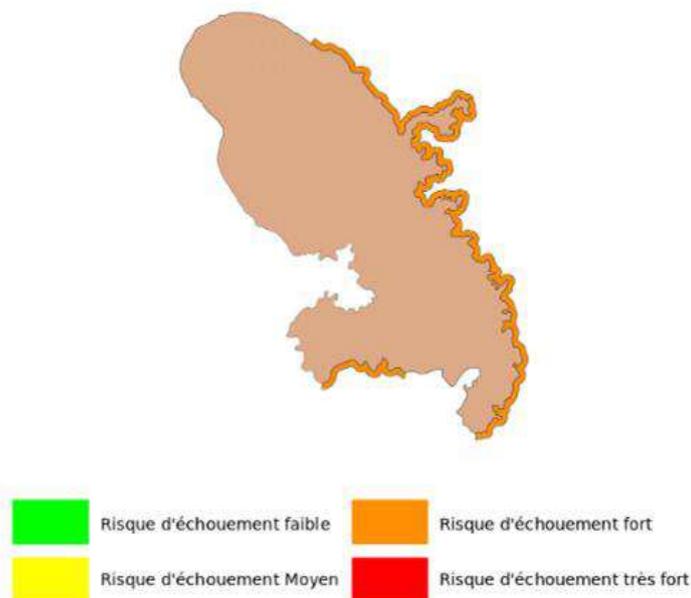


Figure 44 : Carte de risque d'échouement du 27 juin 2022 pour les 4 jours suivants

On estime que le risque d'échouement faible correspond à 1, le risque moyen à 2, le fort à 3 et le risque très fort à 4. Dans la même logique, s'il y a entre 0 et 25 % de surface de la plage recouverte par les sargasses, alors l'indice associé sera 1, entre 25 et 50 % ça sera 2, entre 50 et 75 % correspondront à 3 et entre 75 et 100 % ça sera le numéro 4.

Ainsi, pour évaluer si les prévisions ont été correctes, il suffira de faire ce calcul :

$$\text{Correspondance}_{\text{observé-prévu}} = i_{\text{Observé}} - i_{\text{prévu}}$$

Le but étant de se rapprocher au maximum de 0. Si le résultat est **positif** le risque aura été **surestimé** et si le résultat est **négatif**, le risque d'échouement aura été **sous-estimé**

**Exemple** : S'il y a un risque d'échouement fort et qu'on observe que les sargasses couvrent 30 % de la plage (du site référent) :

$$\text{Correspondance} = 3 - 2 = 1. \text{ Le résultat est positif, le risque d'échouement a été surestimé.}$$

## Sulfure d'hydrogène

Les données H<sub>2</sub>S sont relevées par Madininair. Dès qu'il y a une alerte, un message est désormais transmis au personnel Météo France concernés. Ainsi, les prévisionnistes peuvent recouper ces informations aux bulletins et à la vérification des prévisions précédentes.

## Objectif observation par satellite du littoral

Comme mentionné en section Télédétection, les données satellites proches du littoral sont

difficilement exploitables à cause des herbiers en milieu peu profond qui provoquent des faux signaux sargasses.

Tout d'abord, seules les images venant de Sentinel-2 sont d'une résolution satisfaisante (10 à 60 mètres) pour observer les échouements des sargasses. Cependant, les images du satellite ne sont pas quotidiennes. Son taux de revisite avoisine les 5 jours (Ody et al, 2019). Cela ne permet pas d'observer suffisamment régulièrement les côtes dans un cadre opérationnel.

Il existe deux autres satellites à moyenne résolution (300 mètres) qui pourrait fournir des données complémentaires : Sentinel-3a et 3b. Grâce à la présence de 2 satellites, leur taux de revisite est quasi-quotidien (European Space Agency, s. d.). Dans le cadre du projet *CESAR*, une phase d'amélioration des détections proches de la côte avec Sentinel-3 est en cours de développement.

Pour analyser les données dans le cadre opérationnel, il faudrait représenter les résultats sous forme d'histogramme (Figure 45). Un comptage de points « sargasses » (cf. Observations pour tendances à 2 semaines) sera réalisé grâce aux images satellites et dès que le pourcentage de couverture sargasse dépassera le seuil critique, alors l'histogramme représentera un « pic » représentant le risque d'échouement imminent.

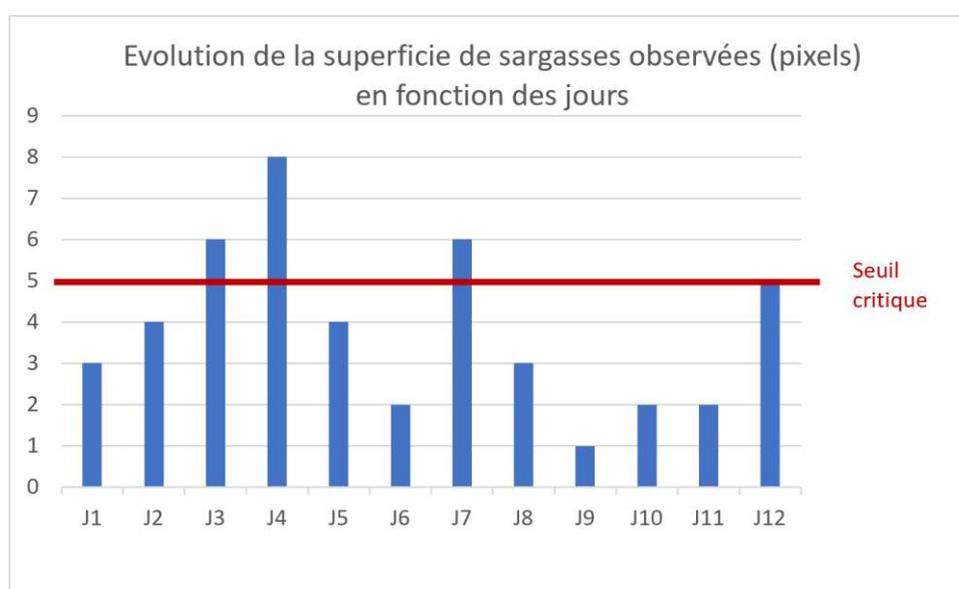


Figure 45 : Exemple d'histogramme (fictif) représentant le seuil critique du nombre de pixels sargasses

Il faut garder à l'esprit que les images satellites peuvent être dégradées par la couverture nuageuse, et ce, pour toutes les images issues de la télédétection. C'est pour cela qu'il faut réussir à combiner les divers moyens d'observations pour prévoir et vérifier les échouements de sargasses.

## **B. Mémoire des événements**

### **1. Objectifs**

Afin d'anticiper au mieux les échouements de sargasses, un bon nombre de projets sont mis en place tel que le projet *CESAR*. Pourtant aujourd'hui les données disponibles ne sont pas suffisantes pour alimenter les recherches en cours.

Après réflexion avec l'équipe Météo-France, il a été convenu qu'une base de données devait être mise en place et alimentée en fonction des événements observés.

Comme expliqué précédemment (Expertise de Météo-France), les bulletins de prévision d'échouements de sargasses sont rédigés une à deux fois par semaine. Afin de rentabiliser le temps de travail, un support a été mis en place permettant de collecter des données de manière homogène et efficace.

Nous avons donc développé un outil permettant d'être complété rapidement par les climatologues / prévisionniste de dérive océanique et ainsi alimenter une base de données interne (cf. Annexe 3).

## 2. Méthodologie

Ce modèle de relevé de situation a été élaboré dans le but de conserver les informations importantes dans le cas d'événements inhabituels.

Tout d'abord, les **zones** concernées devront être renseignées. Les zones sélectionnées correspondent aux zones identifiées dans les articles de (Rugg *et al.*, 2016; Rudzin *et al.*, 2017; L. Berline, *et al.*, 2020; Marsh *et al.*, 2021; Skliris *et al.*, 2022). De la plus grande (CWA) aux plus petites zones (boîtes de prévisions à 4 jours), les prévisionnistes devront sélectionner la ou les zones concernées et préciser si besoin.

Par la suite il faudra comparer les données précédentes aux données actuelles et renseigner si les informations obtenues sont **conformes** aux prévisions effectuées auparavant.

Si les résultats sont non conformes, il faudra évaluer si les prévisions ont été surestimées ou sous-estimées. Il faudra ensuite renseigner la cause de l'erreur potentielle (exemple : la présence de cirrus qui peut fortement ressembler à des bancs de sargasses par image satellite).

La suite du complément d'information dépendra de la situation (prévisions ou observations) et de son inscription dans le temps (données à 4 jours ou à 15 jours). Ainsi l'importance du risque d'échouement ou de l'échouement observé sera évaluée (faible, moyen, fort, très fort) et fonction du barème déjà mis en place dans le bulletin.

Une dernière partie (grisée dans le modèle, Annexe 3) est pensée afin de l'exploiter une fois que les indicateurs précédemment cités (*cf.* Conception de géo-indicateurs de changement) seront développés et utilisés en opérationnels.

## C. Élaboration d'un questionnaire pour les usagers du littoral

Jusqu'au 18 juillet, Météo-France livrait le bulletin de prévision des échouements de sargasses à la DEAL (Samyde, 2022). C'était ensuite à eux de relayer l'information. Aujourd'hui, Météo-France publie ses bulletins de prévisions.

Dans le but d'adapter son bulletin aux usagers et dans le cadre du Projet CESAR, Météo-France s'est joint au travail d'enquête sociale prévue menée dans le cadre du WP2 (*cf.* 3. Projet CESAR & missions) avec le Laboratoire Caribéen des Sciences Sociales (LC2S).

### 1. Méthodologie

Une collaboration avec le LC2S s'est donc mise en place et plusieurs échanges ont eu lieu dans le but d'enrichir les besoins de Météo-France via un questionnaire (*cf.* Annexe 4, Annexe 5).

Différentes parties sont proposées :

#### 1- Profil de l'enquêté

Cela permet d'identifier la personne interrogée, son statut social *etc.*

#### 2- Connaissance du problème sargasse

Cette partie permet d'identifier les connaissances exactes de cet aléa, les risques qui y sont associés et le besoin d'information pour les usagers (notamment à travers le bulletin de prévision).

#### 3- Impact sanitaire, environnementale et économique de la sargasse

Les impacts sanitaires sont actuellement très peu référencés avec peu de données disponibles.

Pourtant, selon l'(Anses, 2017), les effets de H<sub>2</sub>S peuvent être dangereux à forte exposition. C'est pour cela qu'une section générale sur les impacts sanitaires a été réalisée. Il est également intéressant de savoir vers qui les usagers du littoral se tournent en cas de problème de santé. Ainsi, des informations publiées dans le bulletin pourraient être adaptées (insertion d'une liste de contacts par exemple).

#### *4 - Impact de la sargasse sur la vie quotidienne et professionnelle*

Selon le LC2S, certaines écoles ont dû fermer car elles étaient trop impactées par les échouements de sargasses (odeur, remontée de sargasses par les égouts *etc.*). Certains enfants ont dû manquer l'école ou déménager et certains parents ont dû garder leurs enfants au lieu d'aller au travail.

Cet axe a donc pour but d'étudier plus précisément l'impact des échouements de sargasses sur le quotidien des usagers du littoral.

#### *5 - Règlement des problèmes*

Ces divers impacts sont traités de différentes manières en fonction des acteurs (mairie, collectivités, associations *etc.*). Dans cette partie, l'objectif est d'évaluer la vision qu'ils ont sur les moyens mis en place afin de pallier la problématique des sargasses. Les éventuels problèmes de gestion de crise seront alors identifiés et pourront être abordés lors d'échanges avec tous les acteurs impliqués, notamment lors d'un forum (*cf.* Organisation d'un ).

#### *6 - Responsabilités, 7 - Compétences et 8 - Participation - Action*

Cette partie est essentielle à l'évolution du bulletin pour savoir comment l'interlocuteur est informé, par quel biais, quel(s) média(s), à quelle fréquence *etc.* Ainsi, nous pourrions communiquer le bulletin de manière efficace.

Il est également intéressant de connaître le niveau d'information des usagers envers les acteurs responsables de la lutte contre les sargasses (vigilance des échouements, prévention sanitaire, veille de la qualité de l'air *etc.*) et leur propre implication.

Nous pourrions également les interroger sur les actions qu'ils pourraient proposer lors d'échouements nocifs pour la santé et savoir quelles informations ils aimeraient avoir (qualité de l'air, courantologie, organisation du ramassage *etc.*).

## **2. Perspectives de la mission**

L'enquête sociale aurait dû être réalisée lors de ma mission en Martinique, mais pour des raisons de gestion de planning entre le LC2S et les autres collaborateurs du projets *CESAR*, elle aura lieu plus tard dans l'année.

Les résultats obtenus à travers cette enquête serviront de pistes d'amélioration pour le bulletin de prévision des sargasses. Ils permettront d'anticiper au mieux les besoins des usagers.

## **D. Organisation d'un forum**

### **1. Objectifs**

Un bon nombre d'entreprises et collectivités ont mis en place des moyens de lutte, d'observation et de prévention des échouements de sargasses. Cependant, il existe peu de communication entre eux. En capitalisant toutes les données récoltées par chaque organisme, les projets pourraient avancer plus efficacement.

C'est dans cet objectif que l'idée de mettre en place un forum sur l'observation des échouements de sargasses entre tous les acteurs concernés s'est imposé (Annexe 6).

## 2. Méthodologie

### a. Comité scientifique

En premier temps il était intéressant de dresser la liste des membres du comité scientifique pour valider certaines actions lors de l'élaboration du forum tels que la liste des collaborateurs potentiels, le programme du forum et l'organisation générale (en présentiel ou distanciel, payant ou non *etc...*).

Ces membres sélectionnés en fonction de leurs implications sur la problématique, sont pour la plupart des chercheurs ayant un regard extérieur sur le sujet :

- Membres du projet *CESAR* :
  - PALANY Phillipe : Responsable R&D chez Météo-France
  - BARBIER Sarah : Ingénieur R&D chez Météo-France
  - MARECHAL Jean-Philippe : co-pilote du *WP1* du projet *CESAR* et fondateur de Nova Blue Environnement
  
- Membres de la *DEAL* :
  - BRUN Phillipe : Chargé de mission sargasses
  - JAPAUD Aurélien : chercheur en écologie marine
  - VEDIE Fabien : Responsable de la mission Sargasses
  - MIONI Florian : Ingénieur environnement
  
- Membres du *LC2S* :
  - GROS-DESORMEAUX Jean-Raphaël : Directeur
  - MAZUREK Hubert : Chercheur, écologue et géographe
  - PARRA-LEYLAVERGNE Andréa : Chercheure contractuelle sur la gouvernance des sargasses dans les Caraïbes
  - PEREIRAFUENTES Debra : Sociologue
  - DAVID Carine : Enseignante-chercheure
  - DUBOST Isabelle : Anthropologue
  
- Membres de la cellule *PULSAR*
  - JUMEZ Jean-Michel : Sous-préfet de Guadeloupe, en charge de la mission Sargasse
  - JEAN-CHARLES Claire : Directrice du secrétariat général de la Guadeloupe
  - CEI Willy : Chargé de mission pour la mise en valeur des plages et sites touristiques au Syndicat Intercommunal en Guadeloupe

### b. Collaborateurs

Les collaborateurs sélectionnés dans un premier temps correspondent aux intervenants lors du forum. Travaillant sur les moyens d'observation différents, ils pourront ainsi partager leur méthodologie pour récolter les informations nécessaires. Cette liste (Figure 46) devra être validée par le comité scientifique afin d'être la plus pertinente possible.

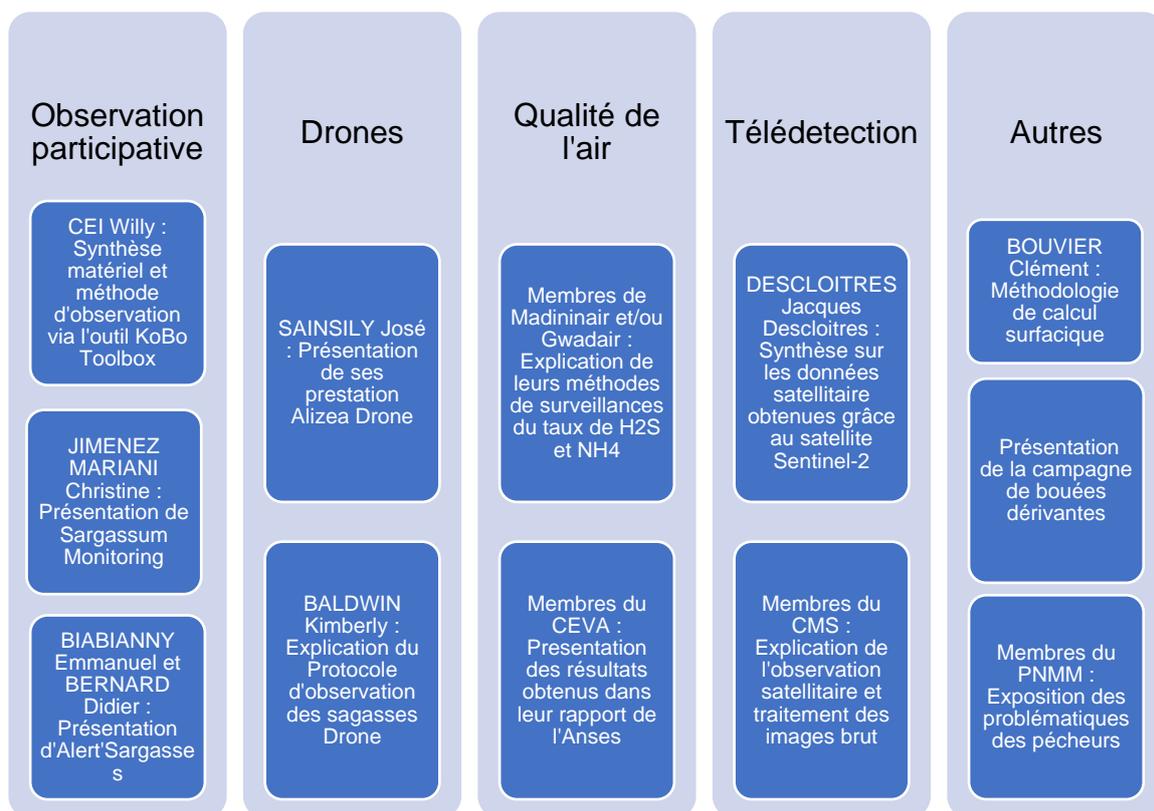


Figure 46 : Liste des collaborateurs potentiels

### c. ***Appel à la communication***

L'appel à la communication (Annexe 7) est à destination des futurs collaborateurs pour les inviter à participer au Forum en tant que conférenciers. L'objectif de cet ouvrage est de contextualiser la problématique des sargasses et exposer le sujet de leur observation. Ils pourront par la suite accepter ou non de participer au Forum.

## 3. Perspectives

Une fois la liste des collaborateurs et les supports (Annexe 6, Annexe 7) proposée, elle devra être approuvée par le comité scientifique. L'appel à la communication pourra alors être lancé. A la suite des retours des collaborateurs potentiels, un programme sera mis en place et les invitations pourront être lancées pour tous les acteurs concernés.

# Conclusion

Dans la perspective d'améliorer le processus de production du bulletin effectué par Météo-France, il était nécessaire en premier lieu de développer des géo-indicateurs. Ces indicateurs ont été sélectionnés en fonction des zones d'observations relevées grâce à la littérature.

Les zones d'observation saisonnière sont la CWA, la CENA et les zones d'upwelling. La CWA représente une large zone englobant les Antilles et l'Atlantique de l'Ouest. Elle comprend la CENA, situé au Sud-Ouest de la CWA.

C'est dans cette zone que l'AFAI, le taux de Chlorophylle-a et l'évolution du taux d'AMM seront observés. Un modèle de régression entre l'AFAI et l'AMM devra être développé pour obtenir une courbe de tendance moyenne et pouvoir anticiper l'évolution du taux de AFAI dans cette zone. Concernant les données de chlorophylle-a, il va falloir observer son influence sur le taux de AFAI hors saison d'efflorescence (de janvier à mars). Si ces deux indices se corrèlent à cette période, alors une prévision à 2-3 mois de la quantité de sargasses arrivant dans la CENA pourra être envisagée.

Les zones d'observations pour tendances à 2 semaines ont été positionnées en fonction des 2 axes principaux de dérives déterminés lors de recherches préliminaires au sein de Météo-France. Les boxes représentées ne sont pas fixes. Leurs éloignements en fonction du littoral des îles à observer varieront en fonction de l'intensité de la dérive observée grâce à Synopsi. La donnée indispensable pour la tendance à 2 semaines, est l'indice AFAI. A cette échelle, comme pour la prévision saisonnière, ce sont principalement les images satellites qui fournissent les données nécessaires à l'observation. Cependant, la couverture nuageuse influence régulièrement les résultats. Il a donc fallu pallier cette problématique. A l'aide de divers calculs, comparant les diverses zones, et considérant les données avec différents indices de confiance, des résultats de plus en plus précis seront exprimés.

Les zones d'observations pour prévisions à 4 jours sont comparables à celles de 2 semaines, celle-ci variant en fonction du courant et du vent. Les mêmes calculs seront à mettre en place pour améliorer les prévisions à 4 jours.

Pour la prévision immédiate, de nouvelles images satellite sont disponibles au sein de Météo-France. Les images GOES-16, S2 et S3 seront nécessaires pour fournir des données exploitables, de par leurs résolution et leurs taux de revisite. Les images du S2 sont d'une résolution excellente sur les côtes mais disponibles seulement tous les 5 jours. Par ailleurs, il faut compléter les images satellites avec les données caméras et d'observation participative. L'observation participative n'est pas encore suffisamment communiquée. C'est un point sur lequel il va falloir se pencher pour pallier les limites des caméras exposées précédemment. Cependant, ces caméras sont indispensables à la prévision d'échouements immédiats. Une alerte devra être émise dès que la couverture surfacique dépasse le seuil acceptable. Les données satellite et d'H<sub>2</sub>S devront être interprétées de la même manière.

Afin de faire évoluer le système de vérification de la prévision de Météo-France pour d'éventuelles recherches, un système de relevé de situation a été mis en place. Après avoir échangé avec les prévisionnistes de dérive océanique, il a été convenu car pertinent, d'instaurer un support de remontée de situation inhabituelles. Ainsi les données récoltées seront homogènes et aisément traitables.

Auparavant, le bulletin de prévision des échouements était à destination de la DEAL. Dans l'optique d'adapter le bulletin de prévision à la population locale, plusieurs points ont été proposés dans le cadre du projet CESAR. Un questionnaire a été élaboré en collaboration avec le LC2S pour comprendre et répondre à leurs attentes. L'enquête est aujourd'hui en attente de réalisation en fonction des planning des partenaires du projet.

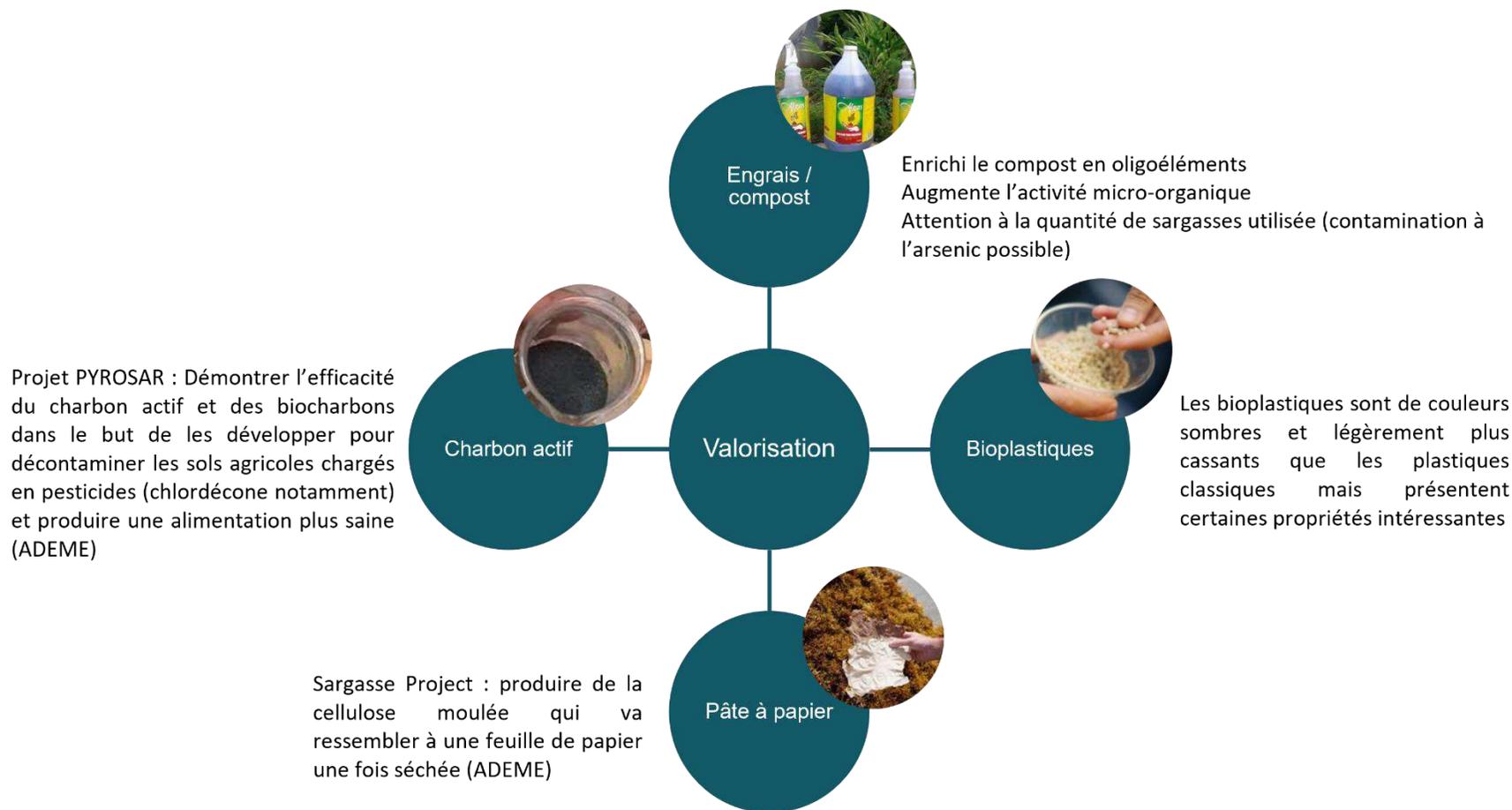
Par ailleurs, l'organisation d'un forum d'observation des sargasses a été proposée afin d'apporter communication, échange et implication des différents acteurs dans le but d'amélioration du bulletin, cohésion des diverses actions entreprises aux Antilles et ainsi faire évoluer la problématique des échouements de sargasses.

## Table des annexes

Annexe 1 : Valorisation des algues (ADEME, 2020).....	52
Annexe 2 Produits déclinés sous Synopsis .....	53
Annexe 3 : Modèle de relevé de situation .....	56
Annexe 4 : Questionnaire Enquête connaissance et expérience sargasses (1/2) .....	61
Annexe 5 : Questionnaire Enquête connaissance et expérience sargasses (2/2) .....	62
Annexe 6 : Affiche d'invitation au Forum de l'Observation des sargasses.....	63
Annexe 7 : Appel à la communication du Forum de l'Observation des sargasses .....	63

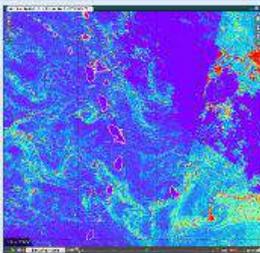
# Annexe

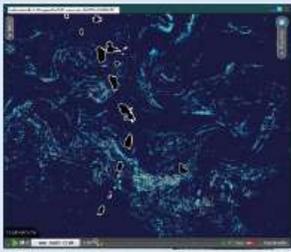
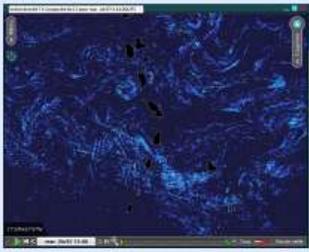
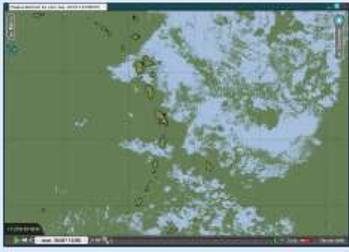
Annexe 1 : Valorisation des algues (ADEME, 2020)

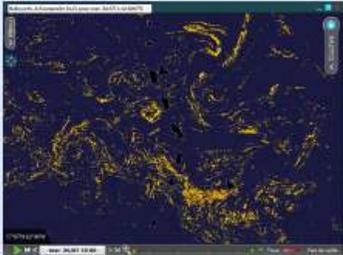
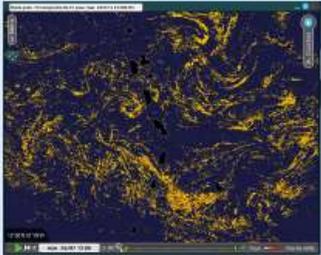
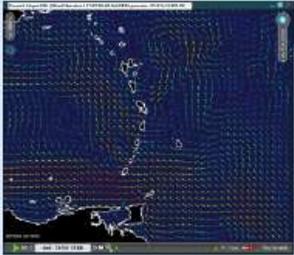


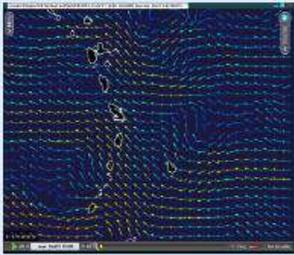
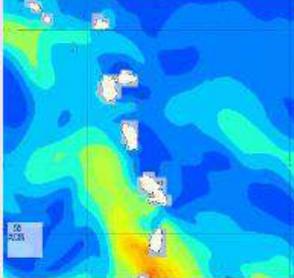
**L'épandage** est fortement déconseillé car aucune propriété fertilisante a pour le moment été démontré & elles peuvent saliniser et contaminer le sol  
Dû à la présence d'arsenic, la **nutrition** animale ou humaine est fortement déconseillée

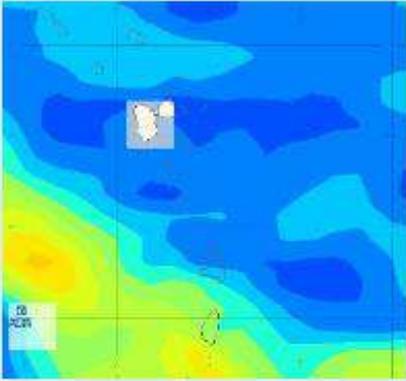
## Annexe 2 Produits déclinés sous Synopsis

Catalogue	Champs	Description	Disponibilité	Aperçu
Satellite	Flag Présence	Pixel binaire de présence de sargasses à partir de la valeur seuillée de l'indice associée au capteur satellite.  Permet d'un premier coup d'oeil apprécier la distribution des bancs dans le bassin d'intérêt.	A 1200UTC sur une profondeur de 7 jours jusqu'à J-1	
Satellite	Indice brut densité	Donnée experte d'indice brut associée au capteur satellite contenant tout les pixels sources d'indice.  Permet de mettre évidence toutes les sources potentiels d'indice ou encore des structures sargasses qui ont pu passé à la trappe du post-traitement	A 1200UTC sur une profondeur de 7 jours jusqu'à J-1	
Satellite	Indice densité	Donnée experte superposée au flag présence. Permet d'apprécier la densité de sargasses présente au sein d'un pixel de détection	A 1200UTC sur une profondeur de 7 jours jusqu'à J-1	
Satellite	Indice densité 3J	Donnée experte composite moyennée sur 3J consécutifs.  Permet d'analyser la dynamique du signal sur 3 jours.	A 1200UTC sur une profondeur de 7 jours jusqu'à J-1	

		Donnée disponible dans le processus Mosaïque pour MODIS AQUA/ TERRA et OLCI Sentinel 3.		
Satellite	Indice densité 7J	Donnée experte composite moyennée sur 3J consécutifs.  Permet d'analyser la dynamique du signal sur 3 jours.  Donnée disponible dans le processus Mosaïque pour MODIS AQUA/ TERRA et OLCI Sentinel 3.	A 1200UTC sur une profondeur de 7 jours jusqu'à J-1	
Satellite	Masque	Masque limitant l'observation de banc de sargasses en mer comprenant : <ul style="list-style-type: none"> <li>• La bande de réfraction solaire : SunGlint</li> <li>• La bande littorale autour des îles</li> <li>• La couverture nuageuse</li> </ul> Donnée disponible pour chaque capteur satellite	A 1200UTC sur une profondeur de 7 jours jusqu'à J-1	
Satellite	Ratio prés. 3J	Rapport du nombre de jour de détection sargasses / 3 Disponible avec le processus Défilants sargasses Peut varier de 0 à 1: 0 signifie qu'aucune sargasses n'a été détecté dans le	A 1200UTC sur une profondeur de 7 jours jusqu'à J-1	

		pixel 1 signifie que durant les trois jours, de la sargasses à été détecté		
Satellite	Ratio près. 7J	Rapport du nombre de jour de détection sargasses / 7 Disponible avec le processus Défilants sargasses Peut varier de 0 à 1: 0 signifie qu'aucune sargasses n'a été détecté dans le pixel 1 signifie que durant les trois jours, de la sargasses à été détecté	A 1200UTC sur une profondeur de 7 jours jusqu'à J-1	
Marine	Courant moyen 24H (49cm)	Donnée de prévision de courant quotidien de surface MERCATOR PSY4 1/12° moyennée sur la journée. Ces données de courants de surface MERCATOR sont extrait du premier niveau du modèle - 49cm- Les couleurs associés au flèche sont proportionnels à l'intensité du courant . Donnée disponible en m.s-1 Donnée disponible en km/h Donnée disponible en km/j	A 1200UTC de J-1 à J+6	

Marine	Courant moyen 24H (49cm)	Donnée d'observation du courant quotidien de surface Globourrent à 0.25° moyennée sur la journée. Ces données de courants de surface Globourrent sont extrait du premier niveau du modèle - 0cm- Les couleurs associés au flèche sont proportionnels à l'intensité du courant . Donnée disponible en m.s-1 Donnée disponible en km/h Donnée disponible en km/j	A J-1 1200UTC	
Marine	FF Courant moyen 24H (49cm)	Champs spatialisés de la force des courants quotidien de surface MERCATOR PSY4 1/12° moyennée sur la journée. Ces données de courants de surface MERCATOR PSY4 sont extrait du premier niveau du modèle - 49cm- Les couleurs associés sont proportionnels à l'intensité du courant . Donnée disponible en m.s-1 Donnée disponible en km/h Donnée disponible en km/j	A 1200UTC de J-1 à J+6	
Marine	FF Courant Moyen 24H (Surface)	Champs spatialisés de la force des courants quotidien de surface Globourrent à 0.25° moyennée sur la journée.	A J-1 1200UTC	

		<p>Ces données de courants de surface Globocurrent à 0.25° sont extrait du premier niveau du modèle - 0cm- Les couleurs associés sont proportionnels à l'intensité du courant . Donnée disponible en m.s-1 Donnée disponible en km/h Donnée disponible en km/j</p>		
Marine	<b>Courant 24H (Surface)</b>	<p>Donnée de prévision de courant quotidien de surface GOFS HYCOM 1/12° moyennée sur la journée. Ces données de courants de surface GOFS HYCOM sont extrait du premier niveau du modèle - 0cm- Les couleurs associés au flèche sont proportionnels à l'intensité du courant . Donnée disponible en m.s-1</p> <p><b>A VENIR</b> Donnée disponible en km/h</p> <p><b>A VENIR</b> Donnée disponible en km/j</p>	A 1200UTC de J-1 à J+6	<b>A VENIR</b>
Marine	<b>FF Courant 24H</b>	<p>Champs spatialisé de la force des courants quotidien de surface GOFS HYCOM 1/12° moyennée sur la journée. Ces données de courants de surface GOFS HYCOM sont extrait du premier niveau du modèle - 0cm- Les couleurs</p>	A 1200UTC de J-1 à J+6	<b>A VENIR</b>
		<p>associés sont proportionnels à l'intensité du courant . Donnée disponible en m.s-1 Donnée disponible en km/h Donnée disponible en km/j</p>		



**3. Zone concernée :**

- CWA
- CENA
- Upwelling équatorial
- Upwelling Mauritanie
- Box 1
- Box 2
- Box a
- Box b
- Box c
- Box d

**Précisez la zone :**

- Conforme aux prévisions ✓
- Non conforme aux prévisions (Faux écho) ✗
  - Sur estimation de la prévision 🟡
  - Sous estimation de la prévision 🟠

**Cause de l'erreur potentielle :**

- Présence de cyanobactérie
- Présence de cirrus
- Couverture nuageuse
  - 80 % < visibilité < 100%
  - 60% < visibilité < 80%
  - 40% < visibilité < 60%
  - 0% < visibilité < 40%

**4. Prévisions à 4 jours**

Risque d'échouement à cette zone : 4 jours

- Faible (1)
- Moyen (2)
- Fort (3)
- Très fort (4)

Date de prévision exploitée : 27 juil. 2022

Territoire concerné : Martinique

**Observations à 4 jours**

Échouement **observé** (Quantifié sur les sites pilotes à l'aide du BRGM)

- Faible (1)
- Moyen (2)
- Fort (3)
- Très fort (4)

Date d'observation : 27 juil. 2022

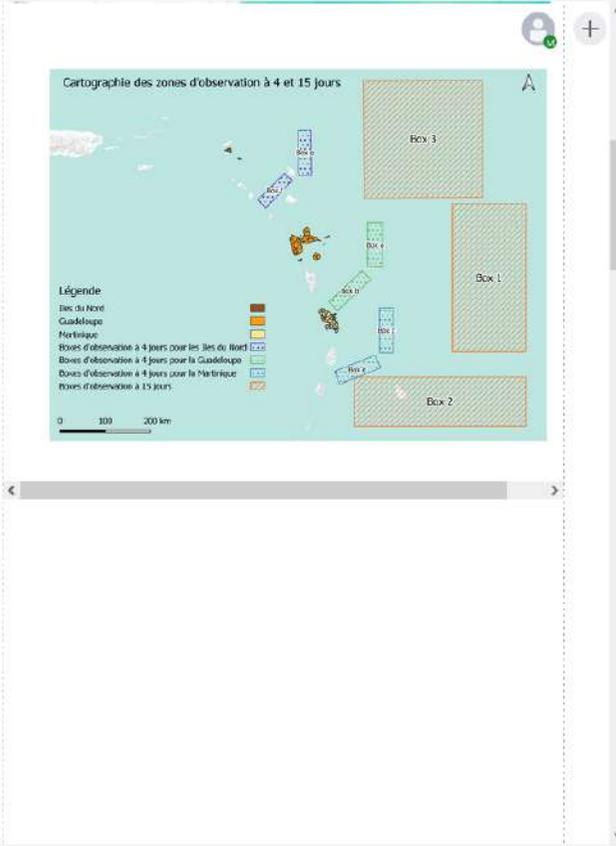
Lieu : Le Marigot

Volet | Déposez l'image d'observation ci-dessous

Cliquez sur l'icône 

Volet | Déposez l'image d'observation ci-dessous

Cliquez sur l'icône 



#### 4. Tendance à 15 jours

Risque d'échouement à cette zone : 2 semaines

- Faible (1)
- Moyen (2)
- Fort (3)
- Très fort (4)

Territoire concerné : *Martinique*

**Volet** | Déposez l'image d'observation ci-dessous

Cliquez sur l'icône



dans la barre d'outil ci-dessus :

#### Tendance observée 15 jours plus tard

Échouement **observé** (Quantifié sur les sites pilotes à l'aide du BRGM)

- Faible (1)
- Moyen (2)
- Fort (3)
- Très fort (4)

Lieu : *Le Mariqot*

**Volet** | Déposez l'image d'observation ci-dessous

Cliquez sur l'icône



dans la barre d'outil ci-dessus :



### 5. Anomalies par rapport aux années précédentes (à voir avec l'amélioration des prévisions)

Commentez :

- **Ouf**
  - Abondance sargassés
    - Plus fort
    - Plus faible
  - Vitesse de courant
    - Upwelling équatorial
      - Anomalie positive
      - Anomalie négative
    - Upwelling de Mauritanie
      - Anomalie positive
      - Anomalie négative
    - Chlorophylle-a
      - Concentration supérieur à 0 mg/m3 (précisez :...)
      - Concentration inférieur à 0 mg/m3 (précisez :...)
      - Taux en croissance
      - Taux en décroissance
    - AMM
      - Phase positive
      - Phase négative
    - H2S
      - Entre 0,07 et 1 ppm
        - *Tere avertir à la population : des ce niveau de concentrations, les populations, notamment les plus vulnérables, seront informées et invitées à suivre les recommandations sanitaires.*
        - *Les personnes vulnérables devront se tenir éloignées des zones affectées et éviter d'être sous le vent des émissions des gazes personnes vulnérables doivent se tenir éloignées*
      - Entre 1 et 5 ppm
        - *Il est recommandé à toute la population de se tenir éloignée des zones affectées et en cas de symptômes irritatifs de s'adresser à un médecin ou un pharmacien.*
        - *Les personnes vulnérables doivent éviter de s'exposer à d'autres substances irritantes ou allergisantes (fumée de tabac, produits d'entretien...).*
        - *Des informations sur les niveaux de pollution et les zones concernées seront disponibles sur les sites Internet de l'APPS et de MétéoMouir*

d'entretien...  
• Des informations sur les niveaux de pollution et les zones concernées seront disponibles sur les sites Internet de l'ARS et de Moûdinair

- Supérieurs à 5 ppm
  - Il est fortement recommandé à la population d'éviter l'accès aux zones à risque et de ne pas se placer sous le vent des émissaires.
  - Les personnes chargées de l'entretien doivent être équipées de moyens de mesure individuels, avec alarmes.
- Non

6. Images complémentaires Précisions

**Volet** | Déposez l'image d'observation ci-dessous.

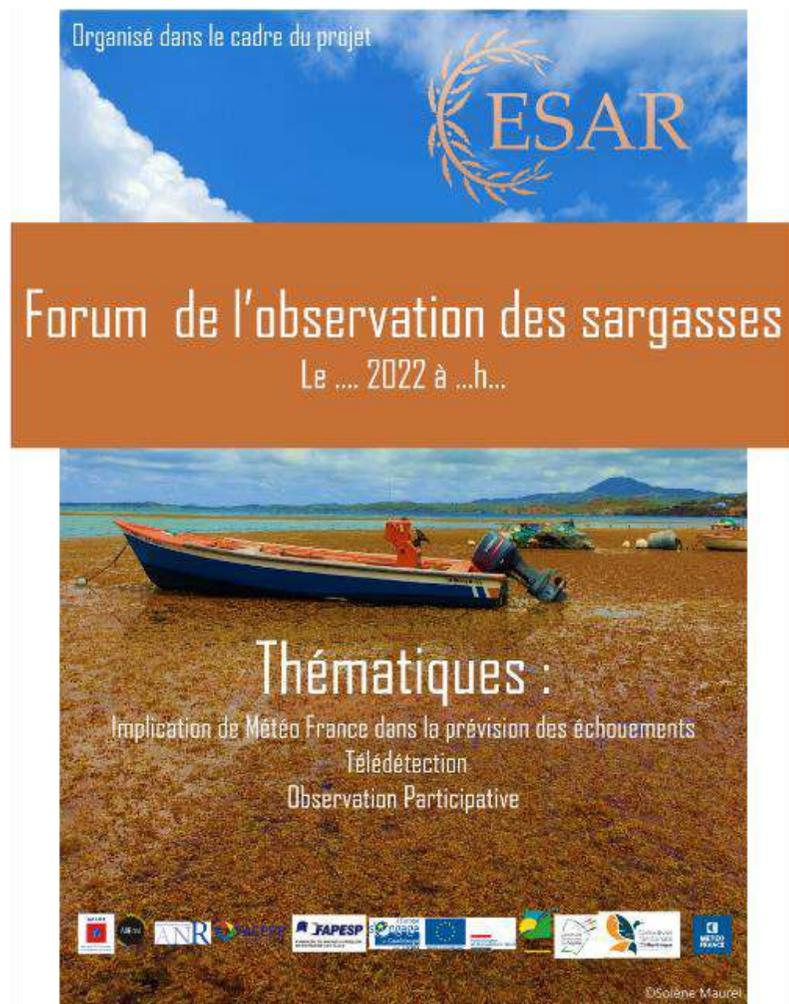
Cliquez sur l'icône 

dans la barre d'outil ci-dessus :

# Annexe 4 : Questionnaire Enquête connaissance et expérience sargasses (1/2)

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: left;">0000 - USAGE INTERNE</th> <th style="text-align: left;">0000 - ENQUÊTEUR</th> </tr> <tr> <td>                 Qualité du questionnaire <input type="checkbox"/> Digitalisation                  Rempli <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> 2                  Clarté <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> 2                  Totalité <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> 2                  À exclure <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> 2             </td> <td>                 CODE                  Prénom                  Nom                  Date / / 2022                  Début (format 24 heures)                  Fin (format 24 heures)             </td> </tr> <tr> <th colspan="2" style="text-align: left;">100 - PROFIL DE L'ENQUÊTÉ(E)</th> </tr> <tr> <td>                 1 - Date de naissance (ou année)                  2 - (Âge)                  3 - Prénom                  4 - Nom                  5 - Genre: Masculin <input type="checkbox"/> 1 Féminin <input type="checkbox"/> 2                  6 - Téléphone: (non obligatoire)                  7 - Email                  8 - Lieu de naissance (municipalité et quartier)                  9 - Municipalité de résidence                  10 - Quartier                  11 - Adresse actuelle                  12 - Habitat: Location <input type="checkbox"/> 1 Propriétaire <input type="checkbox"/> 2 À Disposition <input type="checkbox"/> 3 Nombre de chambres                  13 - Situation de l'habitat: Littoral (&lt;2 km de la côte) <input type="checkbox"/> 1 Intérieur <input type="checkbox"/> 2             </td> <td>                 14 - Situation: Célibataire <input type="checkbox"/> 1 Marié(e) <input type="checkbox"/> 2 Concubinage <input type="checkbox"/> 3 Séparé(e) <input type="checkbox"/> 4 Divorcé(e) <input type="checkbox"/> 5 Veuf(ve) <input type="checkbox"/> 6                  15 - Nombre d'enfants                  16 - En âge scolaire                  17 - Universitaire                  18 - Y a-t-il dans votre foyer des personnes à risque (handicap, maladie, à risque, personnes âgées)                  Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0                  19 - Combien de personnes travaillent dans le foyer?                  Chef de famille <input type="checkbox"/> Époux ou Epouse <input type="checkbox"/>                  20 - Niveau scolaire                  21 - Profession                  22 - Lieu de travail             </td> </tr> </table> <p style="text-align: center;"><b>1- Profil de l'enquêté</b></p>	0000 - USAGE INTERNE	0000 - ENQUÊTEUR	Qualité du questionnaire <input type="checkbox"/> Digitalisation Rempli <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> 2 Clarté <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> 2 Totalité <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> 2 À exclure <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> 2	CODE Prénom Nom Date / / 2022 Début (format 24 heures) Fin (format 24 heures)	100 - PROFIL DE L'ENQUÊTÉ(E)		1 - Date de naissance (ou année) 2 - (Âge) 3 - Prénom 4 - Nom 5 - Genre: Masculin <input type="checkbox"/> 1 Féminin <input type="checkbox"/> 2 6 - Téléphone: (non obligatoire) 7 - Email 8 - Lieu de naissance (municipalité et quartier) 9 - Municipalité de résidence 10 - Quartier 11 - Adresse actuelle 12 - Habitat: Location <input type="checkbox"/> 1 Propriétaire <input type="checkbox"/> 2 À Disposition <input type="checkbox"/> 3 Nombre de chambres 13 - Situation de l'habitat: Littoral (<2 km de la côte) <input type="checkbox"/> 1 Intérieur <input type="checkbox"/> 2	14 - Situation: Célibataire <input type="checkbox"/> 1 Marié(e) <input type="checkbox"/> 2 Concubinage <input type="checkbox"/> 3 Séparé(e) <input type="checkbox"/> 4 Divorcé(e) <input type="checkbox"/> 5 Veuf(ve) <input type="checkbox"/> 6 15 - Nombre d'enfants 16 - En âge scolaire 17 - Universitaire 18 - Y a-t-il dans votre foyer des personnes à risque (handicap, maladie, à risque, personnes âgées) Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0 19 - Combien de personnes travaillent dans le foyer? Chef de famille <input type="checkbox"/> Époux ou Epouse <input type="checkbox"/> 20 - Niveau scolaire 21 - Profession 22 - Lieu de travail	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>                 1 - Savez-vous ce que sont les sargasses? Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0                  Si Non, passer à la page suivante             </td> <td>                 8 - Comment avez-vous connu les sargasses?                  Presse écrite <input type="checkbox"/> 1 TV <input type="checkbox"/> 2 Amis-Famille <input type="checkbox"/> 3 De visu <input type="checkbox"/> 4 Institutions <input type="checkbox"/> 5 Autre <input type="checkbox"/> 6             </td> </tr> <tr> <td>                 2 - La sargasse c'est:                  Une plante aquatique <input type="checkbox"/> 1 Une algue du fond marin <input type="checkbox"/> 2 Une algue de surface <input type="checkbox"/> 3             </td> <td>                 9 - Pensez-vous qu'il y a suffisamment d'information sur les sargasses?                  Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0             </td> </tr> <tr> <td>                 3 - Avez-vous déjà vu des sargasses?                  Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0             </td> <td>                 10 - Connaissez-vous un système d'alerte sur les sargasses? (leur arrivée, leur dangerosité, etc.)                  Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0             </td> </tr> <tr> <td>                 4 - A quelle date apparaissent les sargasses?                  Plutôt l'hiver <input type="checkbox"/> 1 Plutôt au printemps <input type="checkbox"/> 2 Plutôt en été <input type="checkbox"/> 3 Plutôt à l'automne <input type="checkbox"/> 4 Toute l'année <input type="checkbox"/> 5 Ne sait pas <input type="checkbox"/> 99             </td> <td>                 11 - Lequel?                  12 - Quels sont les problèmes qui vous semblent plus préoccupants que les sargasses (3 réponses)                  Éducation <input type="checkbox"/> 1 Santé <input type="checkbox"/> 2 Travail <input type="checkbox"/> 3 Sécurité <input type="checkbox"/> 4 Alimentation <input type="checkbox"/> 5 Écologie <input type="checkbox"/> 6 Aucun <input type="checkbox"/> 0 Ne sait pas <input type="checkbox"/> 99             </td> </tr> <tr> <td>                 5 - Pensez-vous que la sargasse soit dangereuse pour l'humain?                  Échelle de dangerosité de 0 à 10?             </td> <td>                 6 - Pourquoi? (3 réponses possibles)                  Elle tue les animaux <input type="checkbox"/> 1 Elle est toxique comme aliment <input type="checkbox"/> 2 Elle gêne les transports <input type="checkbox"/> 3 Elle émet des odeurs <input type="checkbox"/> 4 Elle empêche la baignade <input type="checkbox"/> 5 Elle est peu esthétique <input type="checkbox"/> 6             </td> </tr> <tr> <td>                 7 - Savez-vous d'où viennent les sargasses?                  De l'Atlantique Nord <input type="checkbox"/> 1 De l'Atlantique Sud <input type="checkbox"/> 2 Des Caraïbes <input type="checkbox"/> 3 De la mer des sargasses <input type="checkbox"/> 4 Ne sait pas <input type="checkbox"/> 99             </td> <td></td> </tr> </table> <p style="text-align: center;"><b>2- Connaissance du problème sargasse</b></p>	1 - Savez-vous ce que sont les sargasses? Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0 Si Non, passer à la page suivante	8 - Comment avez-vous connu les sargasses? Presse écrite <input type="checkbox"/> 1 TV <input type="checkbox"/> 2 Amis-Famille <input type="checkbox"/> 3 De visu <input type="checkbox"/> 4 Institutions <input type="checkbox"/> 5 Autre <input type="checkbox"/> 6	2 - La sargasse c'est: Une plante aquatique <input type="checkbox"/> 1 Une algue du fond marin <input type="checkbox"/> 2 Une algue de surface <input type="checkbox"/> 3	9 - Pensez-vous qu'il y a suffisamment d'information sur les sargasses? Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0	3 - Avez-vous déjà vu des sargasses? Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0	10 - Connaissez-vous un système d'alerte sur les sargasses? (leur arrivée, leur dangerosité, etc.) Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0	4 - A quelle date apparaissent les sargasses? Plutôt l'hiver <input type="checkbox"/> 1 Plutôt au printemps <input type="checkbox"/> 2 Plutôt en été <input type="checkbox"/> 3 Plutôt à l'automne <input type="checkbox"/> 4 Toute l'année <input type="checkbox"/> 5 Ne sait pas <input type="checkbox"/> 99	11 - Lequel? 12 - Quels sont les problèmes qui vous semblent plus préoccupants que les sargasses (3 réponses) Éducation <input type="checkbox"/> 1 Santé <input type="checkbox"/> 2 Travail <input type="checkbox"/> 3 Sécurité <input type="checkbox"/> 4 Alimentation <input type="checkbox"/> 5 Écologie <input type="checkbox"/> 6 Aucun <input type="checkbox"/> 0 Ne sait pas <input type="checkbox"/> 99	5 - Pensez-vous que la sargasse soit dangereuse pour l'humain? Échelle de dangerosité de 0 à 10?	6 - Pourquoi? (3 réponses possibles) Elle tue les animaux <input type="checkbox"/> 1 Elle est toxique comme aliment <input type="checkbox"/> 2 Elle gêne les transports <input type="checkbox"/> 3 Elle émet des odeurs <input type="checkbox"/> 4 Elle empêche la baignade <input type="checkbox"/> 5 Elle est peu esthétique <input type="checkbox"/> 6	7 - Savez-vous d'où viennent les sargasses? De l'Atlantique Nord <input type="checkbox"/> 1 De l'Atlantique Sud <input type="checkbox"/> 2 Des Caraïbes <input type="checkbox"/> 3 De la mer des sargasses <input type="checkbox"/> 4 Ne sait pas <input type="checkbox"/> 99	
0000 - USAGE INTERNE	0000 - ENQUÊTEUR																				
Qualité du questionnaire <input type="checkbox"/> Digitalisation Rempli <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> 2 Clarté <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> 2 Totalité <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> 2 À exclure <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> 2	CODE Prénom Nom Date / / 2022 Début (format 24 heures) Fin (format 24 heures)																				
100 - PROFIL DE L'ENQUÊTÉ(E)																					
1 - Date de naissance (ou année) 2 - (Âge) 3 - Prénom 4 - Nom 5 - Genre: Masculin <input type="checkbox"/> 1 Féminin <input type="checkbox"/> 2 6 - Téléphone: (non obligatoire) 7 - Email 8 - Lieu de naissance (municipalité et quartier) 9 - Municipalité de résidence 10 - Quartier 11 - Adresse actuelle 12 - Habitat: Location <input type="checkbox"/> 1 Propriétaire <input type="checkbox"/> 2 À Disposition <input type="checkbox"/> 3 Nombre de chambres 13 - Situation de l'habitat: Littoral (<2 km de la côte) <input type="checkbox"/> 1 Intérieur <input type="checkbox"/> 2	14 - Situation: Célibataire <input type="checkbox"/> 1 Marié(e) <input type="checkbox"/> 2 Concubinage <input type="checkbox"/> 3 Séparé(e) <input type="checkbox"/> 4 Divorcé(e) <input type="checkbox"/> 5 Veuf(ve) <input type="checkbox"/> 6 15 - Nombre d'enfants 16 - En âge scolaire 17 - Universitaire 18 - Y a-t-il dans votre foyer des personnes à risque (handicap, maladie, à risque, personnes âgées) Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0 19 - Combien de personnes travaillent dans le foyer? Chef de famille <input type="checkbox"/> Époux ou Epouse <input type="checkbox"/> 20 - Niveau scolaire 21 - Profession 22 - Lieu de travail																				
1 - Savez-vous ce que sont les sargasses? Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0 Si Non, passer à la page suivante	8 - Comment avez-vous connu les sargasses? Presse écrite <input type="checkbox"/> 1 TV <input type="checkbox"/> 2 Amis-Famille <input type="checkbox"/> 3 De visu <input type="checkbox"/> 4 Institutions <input type="checkbox"/> 5 Autre <input type="checkbox"/> 6																				
2 - La sargasse c'est: Une plante aquatique <input type="checkbox"/> 1 Une algue du fond marin <input type="checkbox"/> 2 Une algue de surface <input type="checkbox"/> 3	9 - Pensez-vous qu'il y a suffisamment d'information sur les sargasses? Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0																				
3 - Avez-vous déjà vu des sargasses? Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0	10 - Connaissez-vous un système d'alerte sur les sargasses? (leur arrivée, leur dangerosité, etc.) Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0																				
4 - A quelle date apparaissent les sargasses? Plutôt l'hiver <input type="checkbox"/> 1 Plutôt au printemps <input type="checkbox"/> 2 Plutôt en été <input type="checkbox"/> 3 Plutôt à l'automne <input type="checkbox"/> 4 Toute l'année <input type="checkbox"/> 5 Ne sait pas <input type="checkbox"/> 99	11 - Lequel? 12 - Quels sont les problèmes qui vous semblent plus préoccupants que les sargasses (3 réponses) Éducation <input type="checkbox"/> 1 Santé <input type="checkbox"/> 2 Travail <input type="checkbox"/> 3 Sécurité <input type="checkbox"/> 4 Alimentation <input type="checkbox"/> 5 Écologie <input type="checkbox"/> 6 Aucun <input type="checkbox"/> 0 Ne sait pas <input type="checkbox"/> 99																				
5 - Pensez-vous que la sargasse soit dangereuse pour l'humain? Échelle de dangerosité de 0 à 10?	6 - Pourquoi? (3 réponses possibles) Elle tue les animaux <input type="checkbox"/> 1 Elle est toxique comme aliment <input type="checkbox"/> 2 Elle gêne les transports <input type="checkbox"/> 3 Elle émet des odeurs <input type="checkbox"/> 4 Elle empêche la baignade <input type="checkbox"/> 5 Elle est peu esthétique <input type="checkbox"/> 6																				
7 - Savez-vous d'où viennent les sargasses? De l'Atlantique Nord <input type="checkbox"/> 1 De l'Atlantique Sud <input type="checkbox"/> 2 Des Caraïbes <input type="checkbox"/> 3 De la mer des sargasses <input type="checkbox"/> 4 Ne sait pas <input type="checkbox"/> 99																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>                 1 - Avez-vous subi des impacts DIRECTS de la sargasse (destruction, odeur, activité, etc.)                  Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0                  Si NON, passer directement à côté             </td> <td>                 7 - Avez-vous subi des impacts INDIRECTS de la sargasse (économie, tourisme, etc.)                  Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0                  Si NON, passer page suivante             </td> </tr> <tr> <td>                 2 - Quels types d'impacts sur la santé?                  Odeur <input type="checkbox"/> 1 Mal-être (jusqu'au mal de tête) <input type="checkbox"/> 2 Nausées, vomissements <input type="checkbox"/> 3 Dépression <input type="checkbox"/> 4 Colère <input type="checkbox"/> 5 Frustration et sentiment d'impuissance <input type="checkbox"/> 6 Autres <input type="checkbox"/> 9             </td> <td>                 8 - Avez-vous:                  Pensé à déménager <input type="checkbox"/> 1 Déménager <input type="checkbox"/> 2 Aucun <input type="checkbox"/> 0             </td> </tr> <tr> <td>                 3 - Avez-vous reçu une assistance médicale?                  Médecin de famille <input type="checkbox"/> 1 Centre de soin <input type="checkbox"/> 2 Hôpital <input type="checkbox"/> 3 ARS ou organisme de santé <input type="checkbox"/> 4 Associations - OMS <input type="checkbox"/> 5 Autres <input type="checkbox"/> 9             </td> <td>                 9 - Pouvez-vous estimer l'impact Économique (de 0 à 10)?                  Impact:             </td> </tr> <tr> <td>                 4 - Avez-vous eu des dommages matériels?                  Dégradation matérielle (légers, lésions) <input type="checkbox"/> 1 Dégradation moyenne (loisirs, etc.) <input type="checkbox"/> 2 Destruction totale de matériel <input type="checkbox"/> 3 Aucun <input type="checkbox"/> 0 Autres <input type="checkbox"/> 9             </td> <td>                 10 - Pouvez-vous estimer l'impact sanitaire (de 0 à 10)?                  Impact:             </td> </tr> <tr> <td>                 5 - Avez-vous reçu une assistance financière ou matérielle?                  Assurance <input type="checkbox"/> 1 Meilleure <input type="checkbox"/> 2 Associations <input type="checkbox"/> 3 Autres institutions <input type="checkbox"/> 4 Autres <input type="checkbox"/> 9             </td> <td>                 11 - Pensez-vous que les sargasses ont un impact sur l'environnement?                  Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0             </td> </tr> <tr> <td>                 6 - Avez-vous pris des mesures particulières pour lutter contre ces dégradations?             </td> <td>                 12 - De quelle nature?                  Paysage <input type="checkbox"/> 1 Mangrove <input type="checkbox"/> 2 Biodiversité animale <input type="checkbox"/> 3 Biodiversité végétale <input type="checkbox"/> 4 Autre <input type="checkbox"/> 9             </td> </tr> </table> <p style="text-align: center;"><b>3- Impact sanitaire, environnementale et économique de la sargasse</b></p>	1 - Avez-vous subi des impacts DIRECTS de la sargasse (destruction, odeur, activité, etc.) Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0 Si NON, passer directement à côté	7 - Avez-vous subi des impacts INDIRECTS de la sargasse (économie, tourisme, etc.) Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0 Si NON, passer page suivante	2 - Quels types d'impacts sur la santé? Odeur <input type="checkbox"/> 1 Mal-être (jusqu'au mal de tête) <input type="checkbox"/> 2 Nausées, vomissements <input type="checkbox"/> 3 Dépression <input type="checkbox"/> 4 Colère <input type="checkbox"/> 5 Frustration et sentiment d'impuissance <input type="checkbox"/> 6 Autres <input type="checkbox"/> 9	8 - Avez-vous: Pensé à déménager <input type="checkbox"/> 1 Déménager <input type="checkbox"/> 2 Aucun <input type="checkbox"/> 0	3 - Avez-vous reçu une assistance médicale? Médecin de famille <input type="checkbox"/> 1 Centre de soin <input type="checkbox"/> 2 Hôpital <input type="checkbox"/> 3 ARS ou organisme de santé <input type="checkbox"/> 4 Associations - OMS <input type="checkbox"/> 5 Autres <input type="checkbox"/> 9	9 - Pouvez-vous estimer l'impact Économique (de 0 à 10)? Impact:	4 - Avez-vous eu des dommages matériels? Dégradation matérielle (légers, lésions) <input type="checkbox"/> 1 Dégradation moyenne (loisirs, etc.) <input type="checkbox"/> 2 Destruction totale de matériel <input type="checkbox"/> 3 Aucun <input type="checkbox"/> 0 Autres <input type="checkbox"/> 9	10 - Pouvez-vous estimer l'impact sanitaire (de 0 à 10)? Impact:	5 - Avez-vous reçu une assistance financière ou matérielle? Assurance <input type="checkbox"/> 1 Meilleure <input type="checkbox"/> 2 Associations <input type="checkbox"/> 3 Autres institutions <input type="checkbox"/> 4 Autres <input type="checkbox"/> 9	11 - Pensez-vous que les sargasses ont un impact sur l'environnement? Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0	6 - Avez-vous pris des mesures particulières pour lutter contre ces dégradations?	12 - De quelle nature? Paysage <input type="checkbox"/> 1 Mangrove <input type="checkbox"/> 2 Biodiversité animale <input type="checkbox"/> 3 Biodiversité végétale <input type="checkbox"/> 4 Autre <input type="checkbox"/> 9	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>                 1 - La sargasse a-t-elle impacté votre vie QUOTIDIENNE ou celle de vos enfants?                  Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0                  Si NON, passer directement à côté             </td> <td>                 5 - La sargasse a-t-elle impacté votre vie PROFESSIONNELLE ou celle de vos enfants?                  Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0             </td> </tr> <tr> <td>                 2 - Niveau familial                  Impact sur la santé <input type="checkbox"/> 1 Impact matériel <input type="checkbox"/> 2 Impact économique <input type="checkbox"/> 3 Impact psychologique <input type="checkbox"/> 4             </td> <td>                 6 - Niveau Professionnel                  Impact sur la santé <input type="checkbox"/> 1 Impact matériel <input type="checkbox"/> 2 Impact économique <input type="checkbox"/> 3 Impact psychologique <input type="checkbox"/> 4             </td> </tr> <tr> <td>                 3 - Activités qui ont été perturbée (aller à...) ADULTES                  Restaurant <input type="checkbox"/> 1 Plage <input type="checkbox"/> 2 Sport <input type="checkbox"/> 3 Promenade <input type="checkbox"/> 4 Pêche <input type="checkbox"/> 5 Autre (Préciser) <input type="checkbox"/> 9             </td> <td>                 7 - Pour les adultes, ces impacts ont-ils réduit les apports économiques (Salaire, prestations, coût supplémentaires, etc.)                  Perte définitive d'emploi <input type="checkbox"/> 1 Perte temporaire d'emploi <input type="checkbox"/> 2 Perte de chiffre d'affaire <input type="checkbox"/> 3 Augmentation des frais <input type="checkbox"/> 4 Aucun <input type="checkbox"/> 0             </td> </tr> <tr> <td>                 4 - Activités qui ont été perturbée (aller à...) ENFANTS - ADOS                  Voir les amis <input type="checkbox"/> 1 Plage <input type="checkbox"/> 2 Sport <input type="checkbox"/> 3 Déplacement <input type="checkbox"/> 4 Pêche <input type="checkbox"/> 5 Autre (Préciser) <input type="checkbox"/> 9             </td> <td>                 8 - Pour les enfants et adolescents, ont-ils perturbé leur niveau scolaire ou examen?                  Échec à l'examen <input type="checkbox"/> 1 Absentéisme <input type="checkbox"/> 2 Perte de concentration <input type="checkbox"/> 3 Démotivation <input type="checkbox"/> 4 Aucun <input type="checkbox"/> 0             </td> </tr> </table> <p style="text-align: center;"><b>4 - Impact de la sargasse sur la vie quotidienne et professionnelle</b></p>	1 - La sargasse a-t-elle impacté votre vie QUOTIDIENNE ou celle de vos enfants? Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0 Si NON, passer directement à côté	5 - La sargasse a-t-elle impacté votre vie PROFESSIONNELLE ou celle de vos enfants? Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0	2 - Niveau familial Impact sur la santé <input type="checkbox"/> 1 Impact matériel <input type="checkbox"/> 2 Impact économique <input type="checkbox"/> 3 Impact psychologique <input type="checkbox"/> 4	6 - Niveau Professionnel Impact sur la santé <input type="checkbox"/> 1 Impact matériel <input type="checkbox"/> 2 Impact économique <input type="checkbox"/> 3 Impact psychologique <input type="checkbox"/> 4	3 - Activités qui ont été perturbée (aller à...) ADULTES Restaurant <input type="checkbox"/> 1 Plage <input type="checkbox"/> 2 Sport <input type="checkbox"/> 3 Promenade <input type="checkbox"/> 4 Pêche <input type="checkbox"/> 5 Autre (Préciser) <input type="checkbox"/> 9	7 - Pour les adultes, ces impacts ont-ils réduit les apports économiques (Salaire, prestations, coût supplémentaires, etc.) Perte définitive d'emploi <input type="checkbox"/> 1 Perte temporaire d'emploi <input type="checkbox"/> 2 Perte de chiffre d'affaire <input type="checkbox"/> 3 Augmentation des frais <input type="checkbox"/> 4 Aucun <input type="checkbox"/> 0	4 - Activités qui ont été perturbée (aller à...) ENFANTS - ADOS Voir les amis <input type="checkbox"/> 1 Plage <input type="checkbox"/> 2 Sport <input type="checkbox"/> 3 Déplacement <input type="checkbox"/> 4 Pêche <input type="checkbox"/> 5 Autre (Préciser) <input type="checkbox"/> 9	8 - Pour les enfants et adolescents, ont-ils perturbé leur niveau scolaire ou examen? Échec à l'examen <input type="checkbox"/> 1 Absentéisme <input type="checkbox"/> 2 Perte de concentration <input type="checkbox"/> 3 Démotivation <input type="checkbox"/> 4 Aucun <input type="checkbox"/> 0
1 - Avez-vous subi des impacts DIRECTS de la sargasse (destruction, odeur, activité, etc.) Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0 Si NON, passer directement à côté	7 - Avez-vous subi des impacts INDIRECTS de la sargasse (économie, tourisme, etc.) Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0 Si NON, passer page suivante																				
2 - Quels types d'impacts sur la santé? Odeur <input type="checkbox"/> 1 Mal-être (jusqu'au mal de tête) <input type="checkbox"/> 2 Nausées, vomissements <input type="checkbox"/> 3 Dépression <input type="checkbox"/> 4 Colère <input type="checkbox"/> 5 Frustration et sentiment d'impuissance <input type="checkbox"/> 6 Autres <input type="checkbox"/> 9	8 - Avez-vous: Pensé à déménager <input type="checkbox"/> 1 Déménager <input type="checkbox"/> 2 Aucun <input type="checkbox"/> 0																				
3 - Avez-vous reçu une assistance médicale? Médecin de famille <input type="checkbox"/> 1 Centre de soin <input type="checkbox"/> 2 Hôpital <input type="checkbox"/> 3 ARS ou organisme de santé <input type="checkbox"/> 4 Associations - OMS <input type="checkbox"/> 5 Autres <input type="checkbox"/> 9	9 - Pouvez-vous estimer l'impact Économique (de 0 à 10)? Impact:																				
4 - Avez-vous eu des dommages matériels? Dégradation matérielle (légers, lésions) <input type="checkbox"/> 1 Dégradation moyenne (loisirs, etc.) <input type="checkbox"/> 2 Destruction totale de matériel <input type="checkbox"/> 3 Aucun <input type="checkbox"/> 0 Autres <input type="checkbox"/> 9	10 - Pouvez-vous estimer l'impact sanitaire (de 0 à 10)? Impact:																				
5 - Avez-vous reçu une assistance financière ou matérielle? Assurance <input type="checkbox"/> 1 Meilleure <input type="checkbox"/> 2 Associations <input type="checkbox"/> 3 Autres institutions <input type="checkbox"/> 4 Autres <input type="checkbox"/> 9	11 - Pensez-vous que les sargasses ont un impact sur l'environnement? Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0																				
6 - Avez-vous pris des mesures particulières pour lutter contre ces dégradations?	12 - De quelle nature? Paysage <input type="checkbox"/> 1 Mangrove <input type="checkbox"/> 2 Biodiversité animale <input type="checkbox"/> 3 Biodiversité végétale <input type="checkbox"/> 4 Autre <input type="checkbox"/> 9																				
1 - La sargasse a-t-elle impacté votre vie QUOTIDIENNE ou celle de vos enfants? Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0 Si NON, passer directement à côté	5 - La sargasse a-t-elle impacté votre vie PROFESSIONNELLE ou celle de vos enfants? Oui <input type="checkbox"/> 1 Non <input type="checkbox"/> 0																				
2 - Niveau familial Impact sur la santé <input type="checkbox"/> 1 Impact matériel <input type="checkbox"/> 2 Impact économique <input type="checkbox"/> 3 Impact psychologique <input type="checkbox"/> 4	6 - Niveau Professionnel Impact sur la santé <input type="checkbox"/> 1 Impact matériel <input type="checkbox"/> 2 Impact économique <input type="checkbox"/> 3 Impact psychologique <input type="checkbox"/> 4																				
3 - Activités qui ont été perturbée (aller à...) ADULTES Restaurant <input type="checkbox"/> 1 Plage <input type="checkbox"/> 2 Sport <input type="checkbox"/> 3 Promenade <input type="checkbox"/> 4 Pêche <input type="checkbox"/> 5 Autre (Préciser) <input type="checkbox"/> 9	7 - Pour les adultes, ces impacts ont-ils réduit les apports économiques (Salaire, prestations, coût supplémentaires, etc.) Perte définitive d'emploi <input type="checkbox"/> 1 Perte temporaire d'emploi <input type="checkbox"/> 2 Perte de chiffre d'affaire <input type="checkbox"/> 3 Augmentation des frais <input type="checkbox"/> 4 Aucun <input type="checkbox"/> 0																				
4 - Activités qui ont été perturbée (aller à...) ENFANTS - ADOS Voir les amis <input type="checkbox"/> 1 Plage <input type="checkbox"/> 2 Sport <input type="checkbox"/> 3 Déplacement <input type="checkbox"/> 4 Pêche <input type="checkbox"/> 5 Autre (Préciser) <input type="checkbox"/> 9	8 - Pour les enfants et adolescents, ont-ils perturbé leur niveau scolaire ou examen? Échec à l'examen <input type="checkbox"/> 1 Absentéisme <input type="checkbox"/> 2 Perte de concentration <input type="checkbox"/> 3 Démotivation <input type="checkbox"/> 4 Aucun <input type="checkbox"/> 0																				





Annexe 6 : Affiche d'invitation au Forum de l'Observation des sargasses

Forum de l'observation des sargasses 2022

# Présentation

Depuis 2011, les côtes caribéennes connaissent des accumulations d'algues brunes (Desclôitres *et al.*, 2021). Ces sargasses viennent régulièrement s'échouer sur les côtes des Antilles, avec d'importantes répercussions écologiques, économiques et sanitaires (BRGM *et al.*, 2020)

Les échouages peuvent atteindre plusieurs mètres d'épaisseur et couvrir des baies entières. Les données concernant les quantités de sargasses pélagiques dérivantes dans l'océan Atlantique ou même échouées sur les côtes sont très peu nombreuses. Il faut donc tenir compte avec prudence des estimations suivantes qui ont pu être relayées dans la presse. Ainsi, la Guadeloupe a estimé entre 20 000 et 50 000 tonnes (matière sèche) la biomasse de sargasses arrivant sur ses côtes chaque année et la Martinique 58 000 tonnes (matière sèche) d'algues présentes sur ses côtes à un instant t.

La problématique des sargasses est qu'une fois échouées, elles commencent à se décomposer pas voie aérobie. La couche de sargasse supérieure forme ainsi une croûte séchée en surface. Cela va entraîner par la suite une décomposition anaérobie des sargasses se trouvant en dessous de la croûte compacte. Elles vont libérer du H<sub>2</sub>S grâce à ce phénomène (Anses, 2017).

Ces échouements ont donc des impacts sanitaires, environnementaux et bien évidemment économiques. Ils touchent particulièrement les activités liées au tourisme et la pêche. Les sargasses se piègent dans les moteurs, dans les filets, bloquant les bateaux près du rivage, elles impactent une des plus grandes activités économique des îles. En 2015, les pêcheurs ont en moyenne perdu 22 jours de sorties en mer sur le premier semestre 2015. Une perte de 10 800 euros minimum a été estimé pour les marins pêcheurs de Guadeloupe (Fondation tara océan, 2020).

Afin d'anticiper au mieux ces échouements et réagir au plus vite certains moyens ont été mis en place. Des observations sont faites par télé-détection, d'autres par caméras ou encore à l'aide d'observation participative.

L'objectif de ce forum est de réunir tous les acteurs de l'observation ainsi que les usagers du littoral impactés par les échouements de sargasses dans le but d'échanger autour de cette problématique. Les acteurs de l'observation pourront présenter les situations qu'ils ont pu rencontrer, leurs méthodes de gestions des informations et potentiellement des idées pour améliorer le processus d'anticipation des échouements.

Des solutions permettant d'anticiper, et donc gérer au mieux ces échouements pourront ainsi émerger lors de table ronde, réunissant des acteurs de la surveillance, et des acteurs du littoral.

Annexe 7 : Appel à la communication du Forum de l'Observation des sargasses

# IV. Bibliographie

- ADEME** 2020. Algues sargasses url: <https://guadeloupe.ademe.fr/expertises/algues-sargasses>.
- Anses** 2017. Expositions aux émanations d'algues sargasses en décomposition aux Antilles et en Guyane
- Audrey Minghelli , Cristele Chevalier , Jacques Descloîtres , Léo Berline , Philippe Blanc, and Malik Chami** 2021. Synergy between Low Earth Orbit (LEO)—MODIS and Geostationary Earth Orbit (GEO)—GOES Sensors for Sargassum Monitoring in the Atlantic Ocean url: [file://ecmpfnas.dirag.meteo.fr/Etudes/bureautique/3.%20Projets%20et%20prospections/1.%20Projets%20de%20R&D/20180817\\_Projet\\_Sargasses\\_MTES/Travaux\\_C&D\\_amelioration/2020-2023/Stage\\_SarahBarbier/7.Bibliographie/Synergy%20between%20Low%20Earth%20Orbit%20\(LEO\)%E2%80%94MODIS%20and.pdf](file://ecmpfnas.dirag.meteo.fr/Etudes/bureautique/3.%20Projets%20et%20prospections/1.%20Projets%20de%20R&D/20180817_Projet_Sargasses_MTES/Travaux_C&D_amelioration/2020-2023/Stage_SarahBarbier/7.Bibliographie/Synergy%20between%20Low%20Earth%20Orbit%20(LEO)%E2%80%94MODIS%20and.pdf).
- Baldwin K., Oxenford H.A., Weekes J., Small M., Irvine J., Desai A.** 2022. Sargassum Monitoring Protocol
- Beulant A.-L., Minvielle M.** 2017. Etat de l'art et bibliographie sur l'Aléa côtier en Guyane
- Bente N.** 2021. Analyse et conception d'une campagne de mesures pour l'amélioration de la prévision de la dérive de sargasses dans les Antilles françaises. Fort-de-France : DIRAG & Sorbonne Universités
- BRGM, C. Bouvier, T. De Cathelineau, N. Valentini** 2020. Suivi de la dynamique des échouages de sargasses sur le littoral martiniquais - Développement et application des algorithmes
- Chiang J., Vimont D.** 2004. Analogous Pacific and Atlantic Meridional Modes of Tropical Atmosphere–Ocean Variability. *Journal of Climate - J CLIMATE*, **17** : doi: 10.1175/JCLI4953.1.
- DEAL** 2018. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie Échouages de Sargasses en Martinique
- Didier Bernard1, Emmanuel Biabiany2, Raphaël Cécé1, Romual Chery1, and Naoufal Sekkat1** 2021. Clustering analysis of the Sargassum transport process: application to stranding prediction in the Lesser Antilles url: [file://ecmpfnas.dirag.meteo.fr/Etudes/bureautique/3.%20Projets%20et%20prospections/1.%20Projets%20de%20R&D/20180817\\_Projet\\_Sargasses\\_MTES/Travaux\\_C&D\\_amelioration/2020-2023/Stage\\_SarahBarbier/7.Bibliographie/os-2021-109.pdf](file://ecmpfnas.dirag.meteo.fr/Etudes/bureautique/3.%20Projets%20et%20prospections/1.%20Projets%20de%20R&D/20180817_Projet_Sargasses_MTES/Travaux_C&D_amelioration/2020-2023/Stage_SarahBarbier/7.Bibliographie/os-2021-109.pdf).
- Echouage de Sargasses dans les Caraïbes: Des données océanique au secours de l'environnement - Mercator Océan - Ocean Forecasters** 2022. [consulté le 23 août 2022]. [https://www.mercator-ocean.eu/actualites/mercator-ocean-arcan36\\_sargassesmte/](https://www.mercator-ocean.eu/actualites/mercator-ocean-arcan36_sargassesmte/)
- European Space Agency** s. d. Sentinel-3 OLCI User Guide url: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-3-olci>.
- Fondation tara océan** 2020. Comment gérer les invasions d'algues de Sargasses sur le littoral du Panama ?
- Franck MAZEAS Unité biodiversité marine DEAL Guadeloupe** 2015. Note Sargasses url: <file://ecmpfnas.dirag.meteo.fr/Etudes/B90RVA~9/3HTXCL~7/1GMLLH~M/2VBK0A~G/TLBHGT~7/2IMDT6~9/S0YK8P~Y/7WNFAT~7/N4SCZ9~H.PDF>.
- Gouvernement** 2022. Plan national de prévention et de lutte contre les sargasses 2022-2025

- Gower J., Borstad C., King S.** 2006. Ocean color satellites show extensive lines of floating Sargassum in the Gulf of Mexico.
- Gower J., King S.** 2011. Distribution of floating Sargassum in the Gulf of Mexico and the Atlantic Ocean mapped using MERIS
- Hu C., Murch B., Barnes B., Wang M., Maréchal J.-P., Franks J., Johnson D., Lapointe B., Goodwin D., Schell J., Siuda A.** 2016. Sargassum Watch Warns of Incoming Seaweed. *Eos*, **97** : doi: 10.1029/2016EO058355. [consulté le 24 mars 2022] url: file://ecmpfnas.dirag.meteo.fr/Etudes/bureautique/3.%20Projets%20et%20prospections/1.%20Projets%20de%20R&D/20180817\_Projet\_Sargasses\_MTES/Travaux\_C&D\_amelioration/2020-2023/Stage\_SarahBarbier/7.Bibliographie/Hu\_etal\_2016EOS.pdf.
- Johns E.M., Lumpkin R., Putman N.F., Smith R.H., Muller-Karger F.E., T. Rueda-Roa D., Hu C., Wang M., Brooks M.T., Gramer L.J., Werner F.E.** 2020a. The establishment of a pelagic Sargassum population in the tropical Atlantic: Biological consequences of a basin-scale long distance dispersal event. *Progress in Oceanography*, **182** : 102269. doi: 10.1016/j.pocean.2020.102269.
- Johns E.M., Lumpkin R., Putman N.F., Smith R.H., Muller-Karger F.E., T. Rueda-Roa D., Hu C., Wang M., Brooks M.T., Gramer L.J., Werner F.E.** 2020b. The establishment of a pelagic Sargassum population in the tropical Atlantic: Biological consequences of a basin-scale long distance dispersal event. *Progress in Oceanography*, **182** : 102269. doi: 10.1016/j.pocean.2020.102269.
- José Sainsily** 2022. Entretien téléphonique juillet 2022, *Alizea Drone*
- L. Berline, Anouck Ody, Julien Jouanno, Cristele Chevalier, Jean-Michel, André, Thierry Thibaut, Frédéric Ménard** 2020. Hindcasting the 2017 dispersal of Sargassum algae in the Tropical North Atlantic25.
- Marsh R., Addo K.A., Jayson-Quashigah P.-N., Oxenford H.A., Maxam A., Anderson R., Skliris N., Dash J., Tompkins E.L.** 2021. Seasonal Predictions of Holopelagic Sargassum Across the Tropical Atlantic Accounting for Uncertainty in Drivers and Processes: The SARTRAC Ensemble Forecast System. *Frontiers in Marine Science*, **8** : 722524. doi: 10.3389/fmars.2021.722524.
- Mazéas F., Laurent M., DEAL** 2014. Rapport de mission pour la Préfecture de Guadeloupe survol aérien d'une partie du littoral guadeloupéen suite au constat d'échouages de Sargasses
- Météo-France** 2021. Modèle IFS du CEPMMT zone R3000\_MASCA01-MER - Donnée du 2021-06-10 url: [https://services.data.shom.fr/geonetwork/srv/api/records/METEO\\_IFS\\_R3000\\_MASCA01-MER\\_20210610.xml](https://services.data.shom.fr/geonetwork/srv/api/records/METEO_IFS_R3000_MASCA01-MER_20210610.xml).
- Ody et al** 2019. From In Situ to satellite observations of pelagic Sargassum distribution and aggregation in the Tropical North Atlantic Ocean29.
- Prédiction de dérive en mer : le système opérationnel français** 2022. [consulté le 22 août 2022]. <http://www.meteorologie.eu.org/moathy/>
- Putman N.F., Goni G.J., Gramer L.J., Hu C., Johns E.M., Trinanes J., Wang M.** 2018. Simulating transport pathways of pelagic Sargassum from the Equatorial Atlantic into the Caribbean Sea. *Progress in Oceanography*, **165** : 205-214. doi: 10.1016/j.pocean.2018.06.009.
- Robinet A.** 2022. Entretien téléphonique du 20 mai 2022, *Echange sur Coastsnap*, Fort-de-France
- Rosenqvist A., Matsuura N., Igarashi T., Yamamoto H.** 2004. Terrestrial 250-m observations with ADEOS-II Global Imager (GLI) url: [https://www.researchgate.net/publication/252175922\\_Terrestrial\\_250-m\\_observations\\_with\\_ADEOS-II\\_Global\\_Imager\\_GLI#pf3](https://www.researchgate.net/publication/252175922_Terrestrial_250-m_observations_with_ADEOS-II_Global_Imager_GLI#pf3).

- Rudzin J.E., Shay L.K., Jaimes B., Brewster J.K.** 2017. Upper ocean observations in eastern Caribbean Sea reveal barrier layer within a warm core eddy: OCEAN OBSERVATIONS IN CARIBBEAN SEA WCE. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, **122** (2) : 1057-1071. doi: 10.1002/2016JC012339.
- Rugg A., Foltz G., Perez R.** 2016. Role of Mixed Layer Dynamics in Tropical North Atlantic Interannual Sea Surface Temperature Variability. *Journal of Climate*, **29** : doi: 10.1175/JCLI-D-15-0867.1.
- Samyde J.-C.** 2022. Des bulletins de prévisions d'échouement des algues sargasses sur la Martinique sont réalisés par Météo-France url: <https://la1ere.francetvinfo.fr/martinique/des-bulletins-de-previsions-d-echouement-des-algues-sargasses-sur-la-martinique-sont-realises-par-meteo-france-1305924.html>.
- Skliris N., Marsh R., Appeaning Addo K., Oxenford H.** 2022. Physical drivers of pelagic sargassum bloom interannual variability in the Central West Atlantic over 2010–2020. *Ocean Dynamics*, **72** (6) : 383-404. doi: 10.1007/s10236-022-01511-1.
- Tourchon O.** 2021. MOTHY, un modèle mathématique de prévision de la dérive pour sauver des vies en mer url: <https://www.bateaux.com/article/37023/mothy-sauver-des-vies-en-mer-grace-a-ce-modele-mathematique-de-prevision-de-la-dérive>.
- Trinanes J., Putman N.F., Goni G.J., Hu C.** 2021. Monitoring pelagic Sargassum inundation potential for coastal communities.
- Wang M., Hu C.** 2016. Mapping and quantifying Sargassum distribution and coverage in the Central West Atlantic using MODIS observations. *Remote Sensing of Environment*, **183** : 350-367. doi: 10.1016/j.rse.2016.04.019.
- Wang M., Hu C., Barnes B.B., Mitchum G., Lapointe B., Montoya J.P.** 2019. The great Atlantic Sargassum belt. *Science*, **365** (6448) : 83-87. doi: 10.1126/science.aaw7912.
- Wang M., Hu C., Cannizzaro J., English D., Han X., Naar D., Lapointe B., Brewton R., Hernandez F.** 2018. Remote Sensing of Sargassum Biomass, Nutrients, and Pigments. *Geophysical Research Letters*, **45** (22) : 12,359-12,367. doi: 10.1029/2018GL078858.