

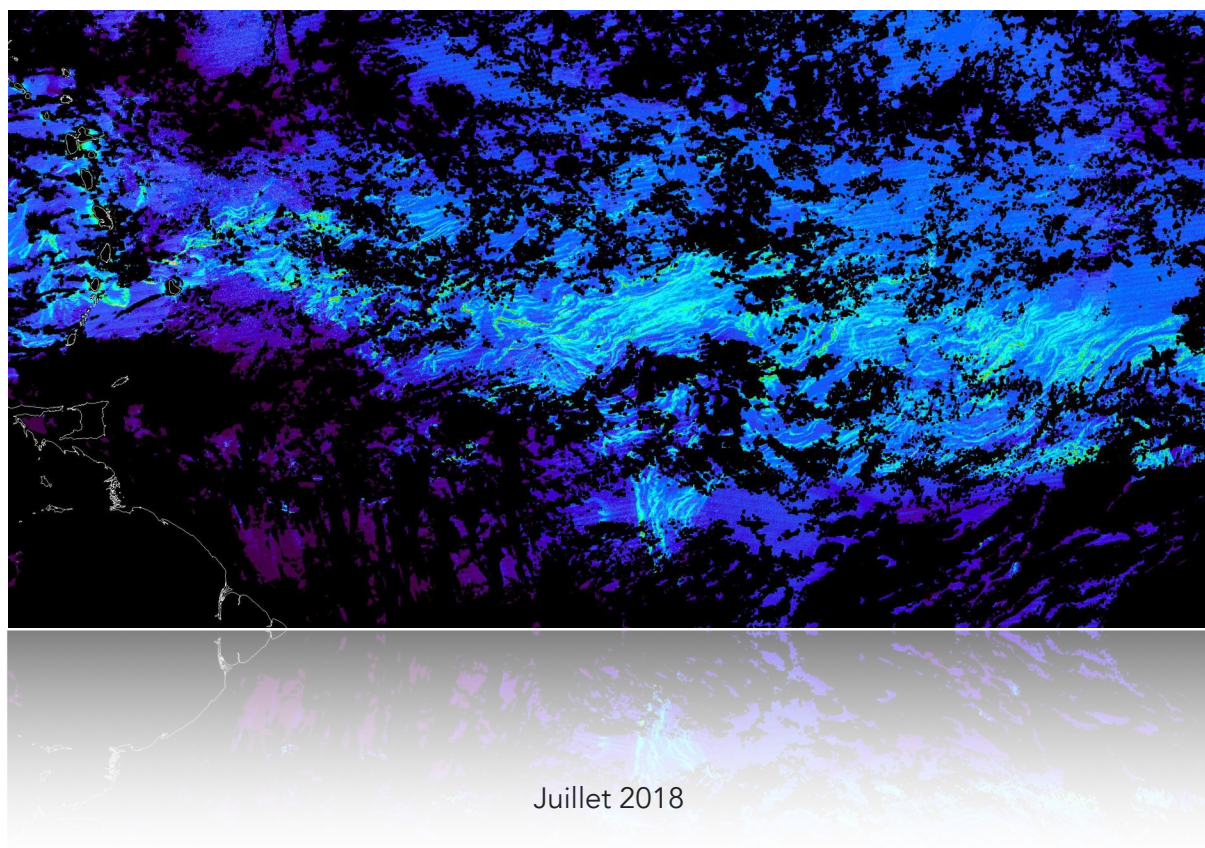


Observatoire du Milieu
Marin Martiniquais

University of Southern
Mississippi

University of South
Florida

Prévision des blooms de sargasses dans la région Caraïbe et les Petites Antilles. Synthèse du projet PSB-CARIB.



Juillet 2018

Jean-Philippe Maréchal, Chuanmin Hu, Mengqiu Wang, James Franks, Donald Johnson

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie



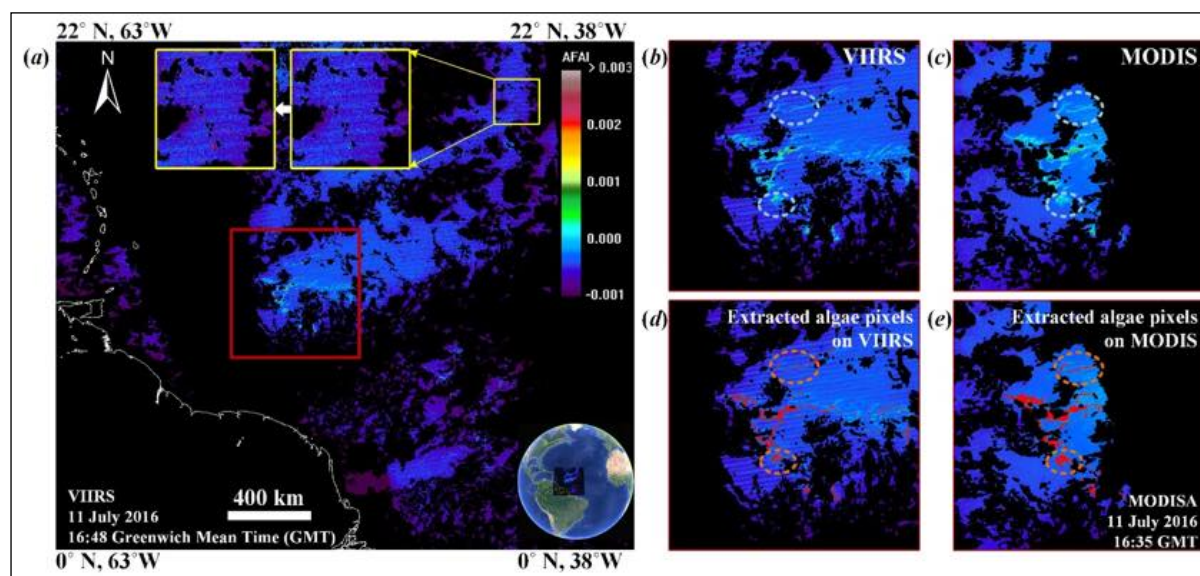
Direction
de l'Environnement,
de l'Aménagement
et du Logement
GUADELOUPE

1. Rappel des objectifs du programme

- Analyse des données satellites de la zone Atlantique est et ouest – collection de 2009 à 2015 (étendu à 2016).
- Analyse des données de courantologie dans la zone de convergence nord équatoriale.
- Corrélation des données satellitaires et des modèles océaniques.
- Production d'un outil préliminaire de prédiction des blooms de sargasses dans la région caraïbe (annuel).

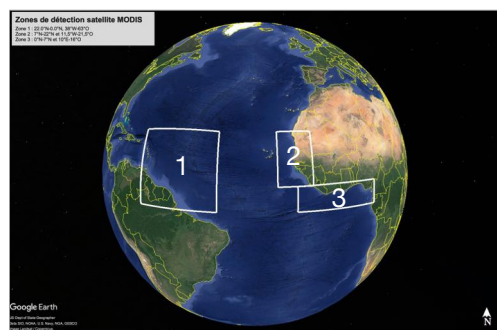
2. Détection des sargasses par satellites

Les outils satellites permettent de détecter et suivre les sargasses pélagiques dans l'atlantique tropical (Hu 2009). Les informations spatiales et temporelles déduites de l'analyse des images ont été utilisées pour retracer l'historique de la présence des sargasses dans l'atlantique équatorial, depuis les premiers événements d'échouages en 2011, et de déduire leur transport à travers l'atlantique.



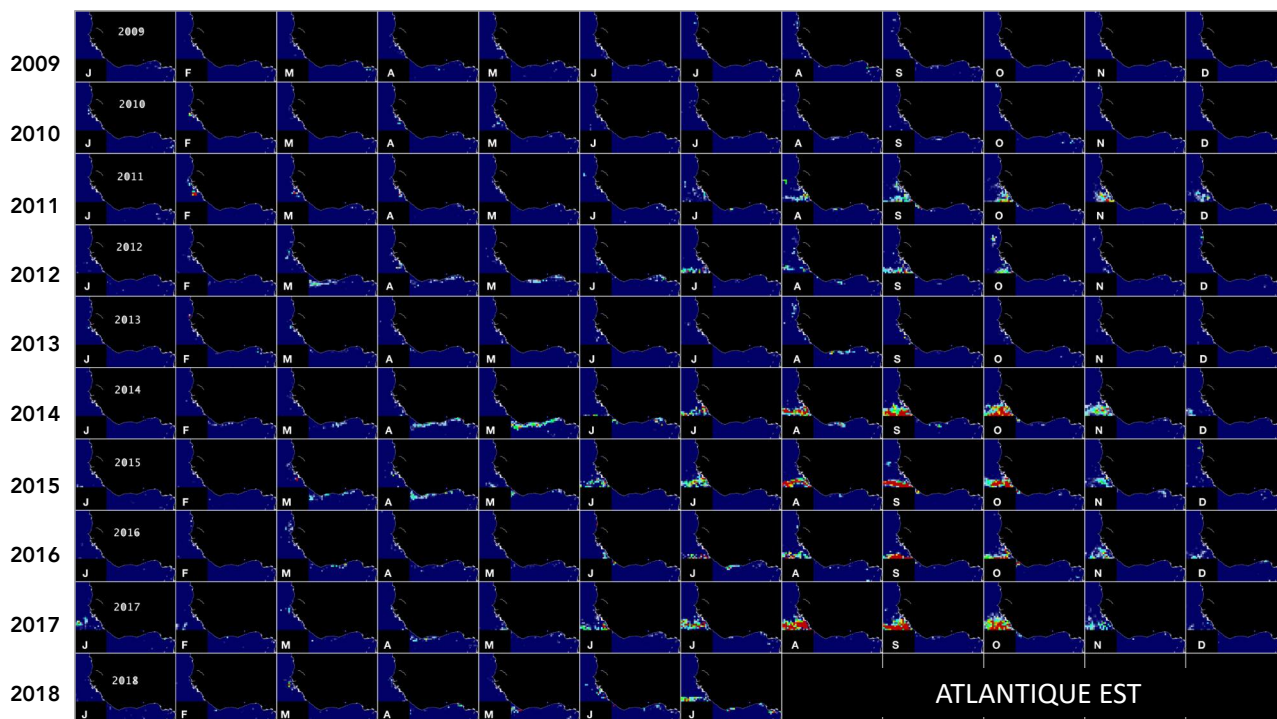
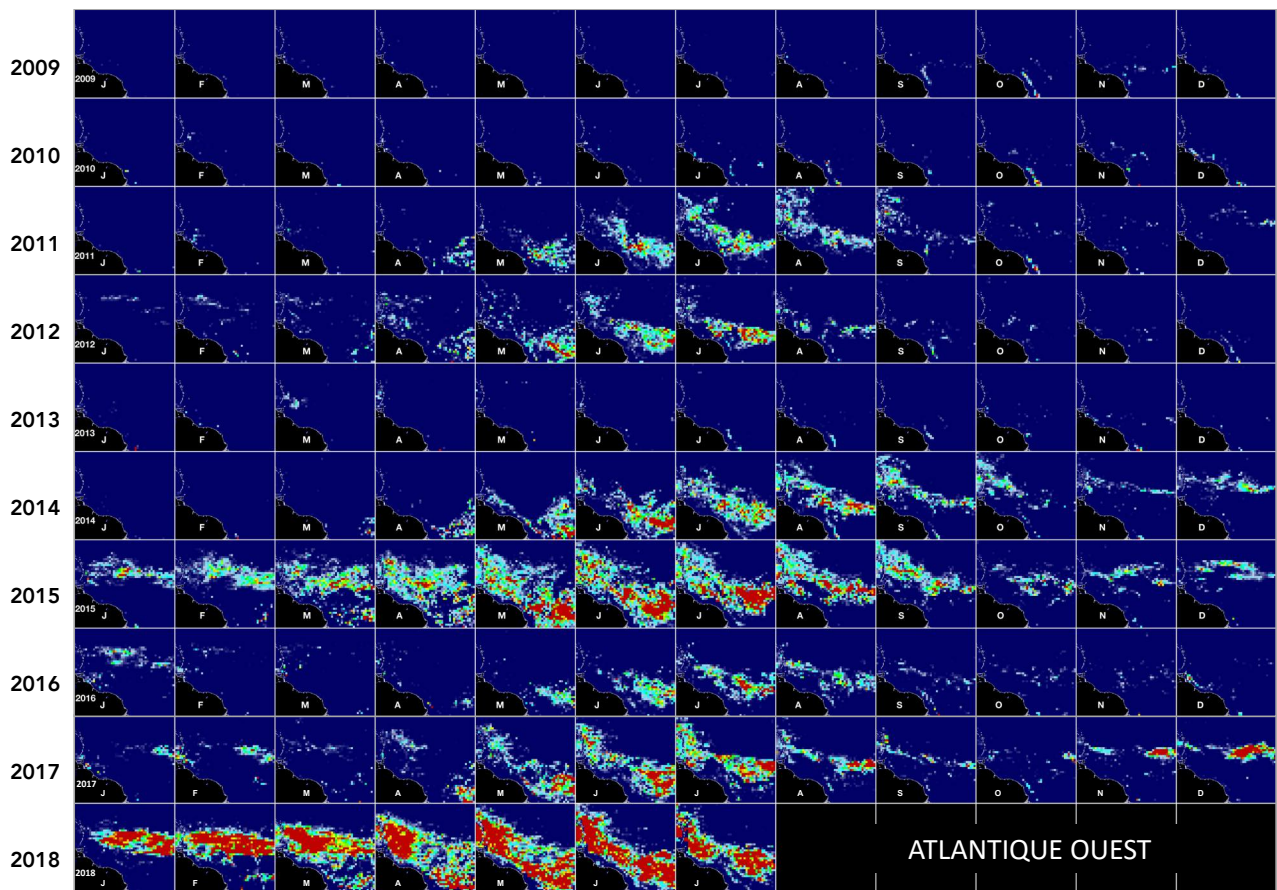
Comparaison des images MODIS et VIIRS AFAI. (a) Image VIIRS AFAI (11 juillet 2016) montrant des radeaux d'algues flottantes dans le cadre rouge. Les cadres jaunes montrent des faux signaux : les pixels de « bruit » sont colorés en rouge. (b) – (c): Images quasi-simultanées (30 minutes) VIIRS AFAI et MODIS AFAI de la même région identifiée par le cadre rouge sur (a). (d) – (e): Pixels « algues » (en rouge) (D'après Wang and Hu 2018).

3. Analyse rétrospective de la présence des sargasses dans l'atlantique équatorial



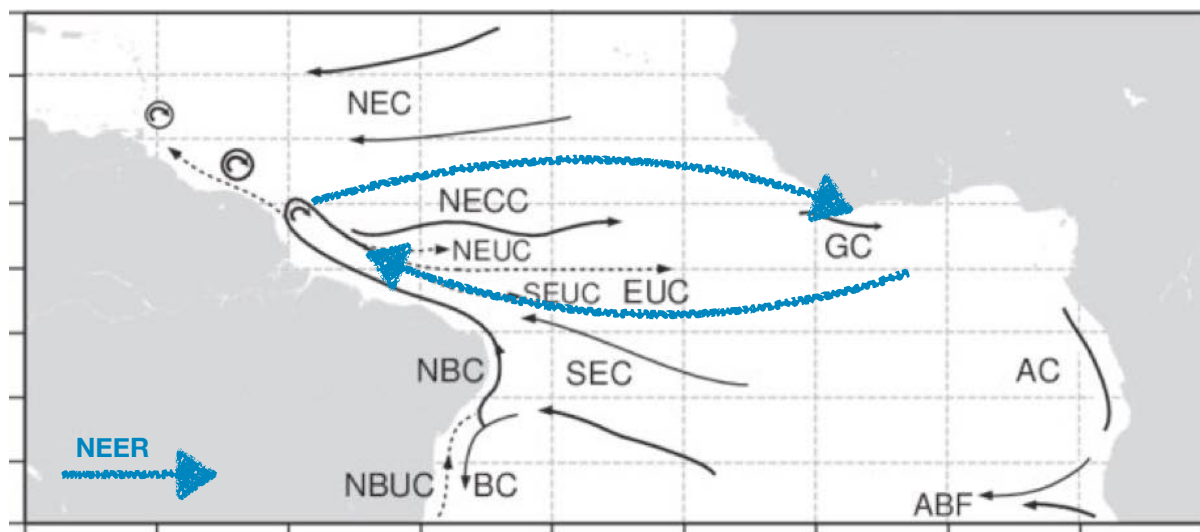
La distribution des sargasses dans l'atlantique central tropical est quasiment identique chaque année depuis le début du phénomène en 2011 (à l'exception de 2013 sans sargasses, qui reste inexplicable). Les images montrent une intensification de la quantité de sargasses détectées, ainsi qu'un accroissement de la durée de leur présence dans les secteurs d'étude, à l'est et à l'ouest de la zone atlantique centrale.

Zone d'étude : les cadres blancs représentent les zones de détections satellites utilisées dans le cadre de ce programme. 1 Atlantique ouest - 2.3 Atlantique est.



Distribution des sargasses (données moyennes mensuelles) dans les secteurs ouest et est atlantique sur la période 2009-2018. Données sargasses issues de l'analyse des images MODIS/VIIRS traitées par l'algorithme AFAI (source HU C. <http://optics.marine.usf.edu/>).

4. Circulation des courants océaniques et transport des sargasses

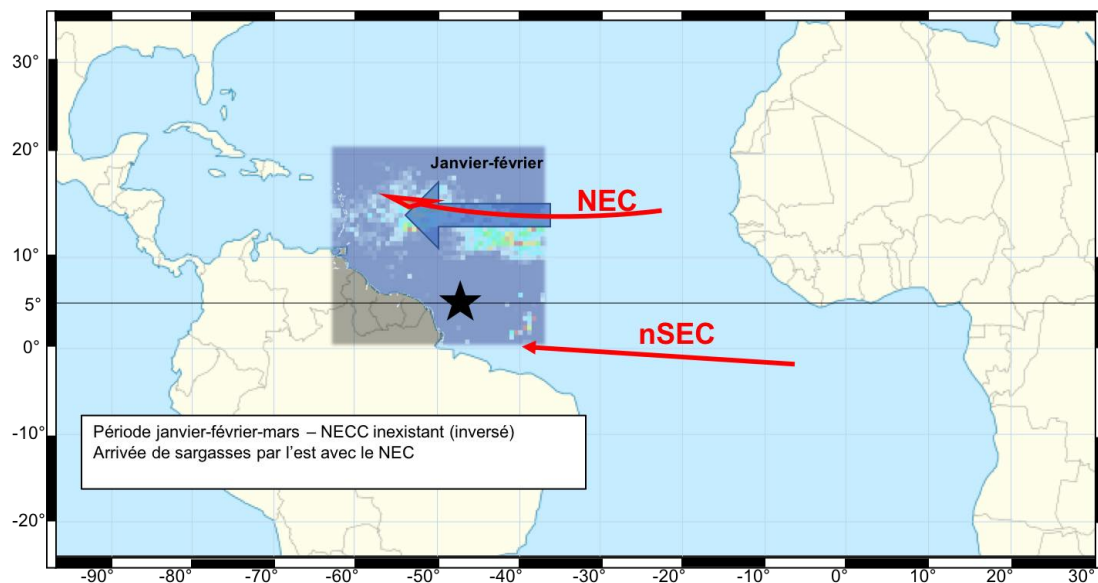


Représentation schématique des principaux courants du système Atlantique tropical. Les courants représentés sont les suivants : courant *nord* équatorial (NEC), courant *sud* équatorial (SEC), contre-courant *nord* équatorial (NECC), la réflexion du courant *nord* du Brésil (NBCR), courant des Guyanes (GuC), courant de Guinée (GC), courant de l'Angola (AC), courant *nord* du Brésil (NBC), courant du Brésil (BC), les sous-courants équatoriaux (*nord* et *sud*) (N / S - EUC) et le front Angola-Benguela (ABF) (Modifié d'après Shouten et al. 2005).

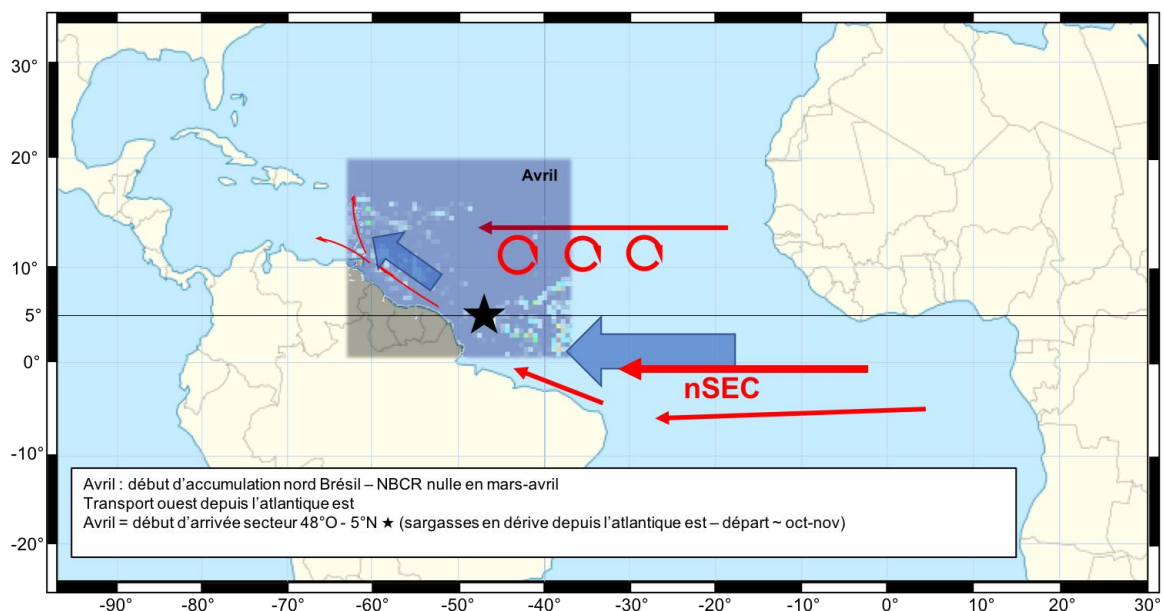
La combinaison des données de détection des sargasses par satellite avec les données numériques des courants de surface (modèle Hycom) dans la région de recirculation *nord* atlantique (NERR) permet de définir les contours du transport annuel des sargasses. La complexité des courants marins, ainsi que leur variabilité interannuelle interfèrent avec une distribution régulière des algues, mais leur localisation annuelle montre des schémas répétitifs fortement corrélés à la dynamique des courants de la NERR. L'atlantique tropical occidental apparaît comme une région d'accumulation qui alimente saisonnièrement la zone Caraïbe, avec des quantités importantes de sargasses. La modélisation rétroverse et les prédictions de dérives suggèrent que les sargasses des échouages dans les Caraïbes orientales et au Brésil au cours des dernières années proviennent de la région équatoriale. Il existe également une connectivité, tout au long de l'année, entre le panache amazonien et les Caraïbes, les eaux provenant de l'Amazone au printemps ayant la plus forte probabilité d'atteindre les Caraïbes.

Cinq périodes relatives à la présence et au déplacement des sargasses sont mises en évidence entre janvier et décembre d'une année, et selon la zone *ouest* ou *est* de l'atlantique.

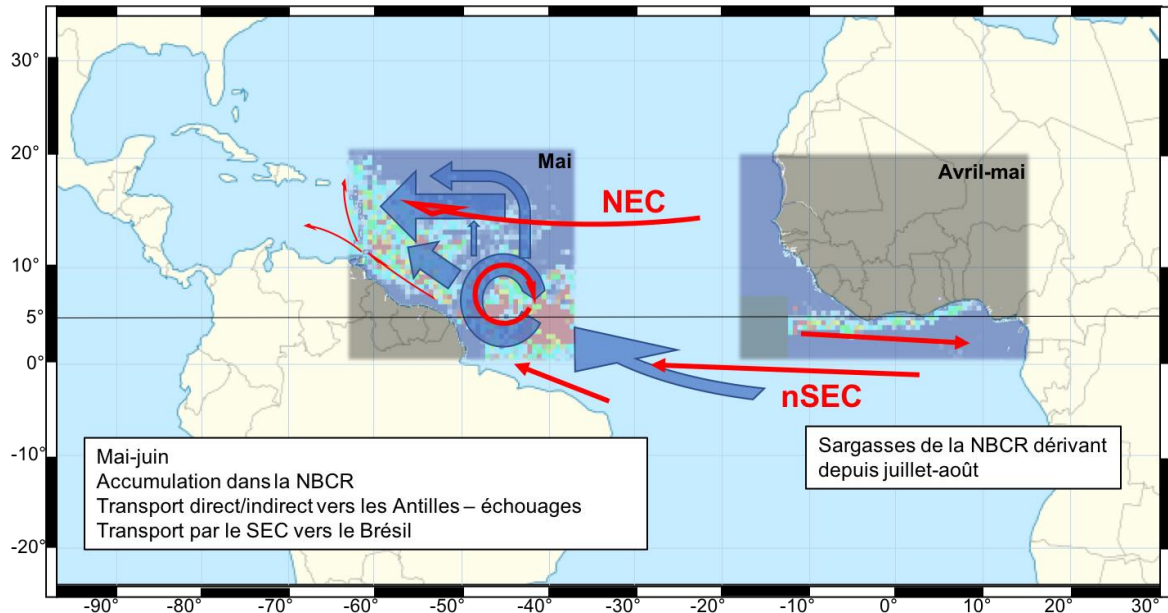
1. **Janvier - mars** : les sargasses sont transportées par le courant nord équatorial (NEC) d'est en ouest et sont détectées par les images satellites au-dessus de la latitude 10°N.



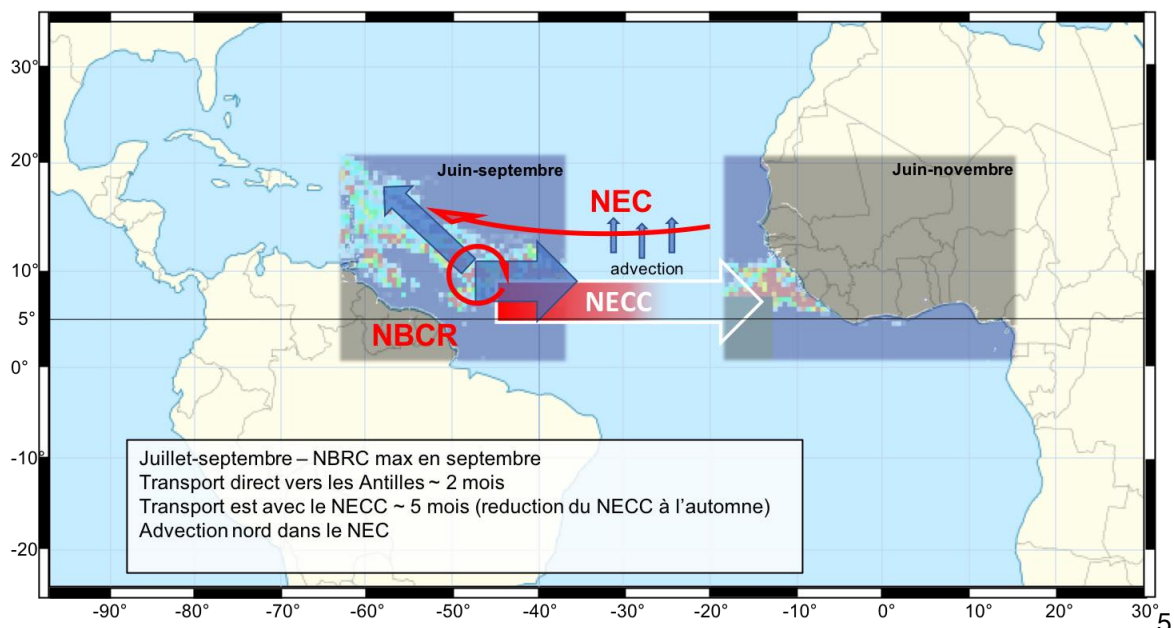
2. **Avril** : des sargasses apparaissent au nord du Brésil (40°O-5°N). A ce moment la réflexion du courant du nord du Brésil (NBCR) n'est pas encore formée. Ces algues sont transportées à la fois par la branche nord du courant sud équatorial (SEC), en dérive depuis les côtes africaines depuis novembre-décembre de l'année précédente et par le NEC, comme en début d'année. A cette période, les courants dans l'atlantique central sont très complexes, avec de nombreuses zones de tourbillons, mais un déplacement général d'est en ouest.



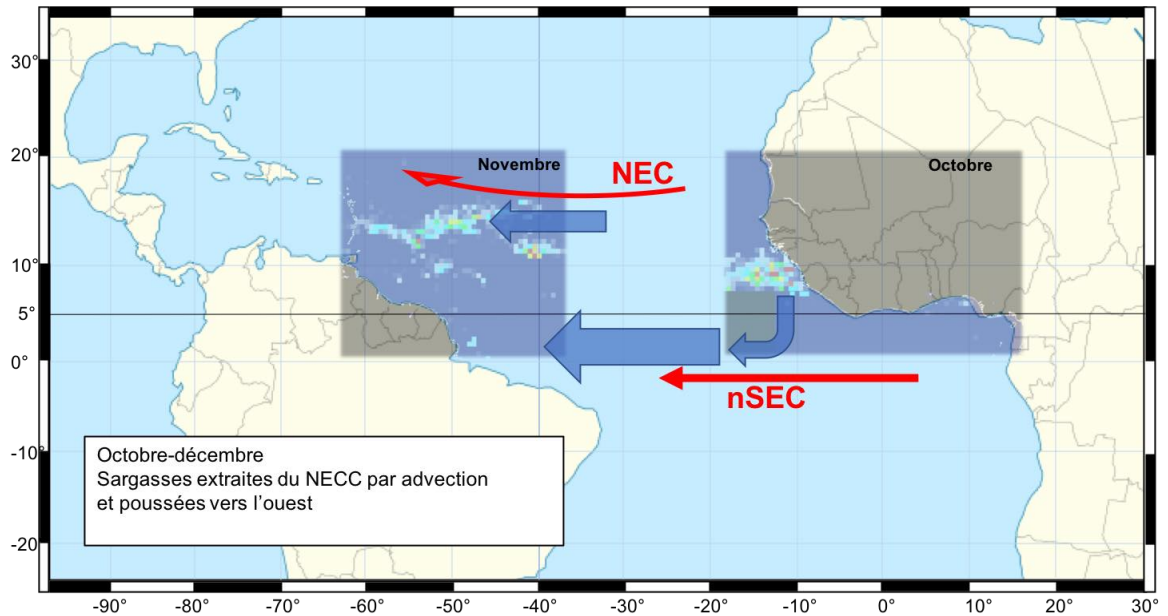
3. **Mai - juin** : avec la formation de la NBCR, les sargasses s'accumulent dans la région 48°O – 5°N. Deux formes de transport sont mises en évidence. Un transport direct vers la zone Antilles par les courants longeant les côtes *nord* de l'Amérique du *sud*, et un transport indirect d'algues qui sont extraites de la NBCR par le *nord*, avec les mouvements d'advection dus au NEC. Ces algues ont un trajet *nord*, puis *ouest* en direction des îles des Antilles.



4. **Juillet - septembre** : la NBCR se renforce et le contre courant nord équatorial (NECC) se forme. Deux routes de transport sont identifiées : un transport *nord-ouest* de sargasses extraites de la NBCR par le NEC et qui suivent une route Barbade-Martinique, et une autre route allant d'*ouest* en *est* avec le NECC. Une partie des sargasses de la NBCR est passivement entraînée vers l'*est* en direction de l'Afrique pour un trajet d'environ 5 mois. Au cours de cette longue traversée, des radeaux sortent de cette route par le *nord* et rejoignent l'atlantique central avec le NEC. Les images satellites montrent des accumulations de sargasses au large du secteur Guinée-Libéria au cours de la même période. A partir de fin novembre, une partie de ces algues est transportée vers le *sud* et reprise par la branche *nord* du SEC, qui les entraînent à nouveau vers l'*ouest*. Une autre partie des algues au large de la Guinée est reprise directement dans le NEC en direction de l'*ouest*.

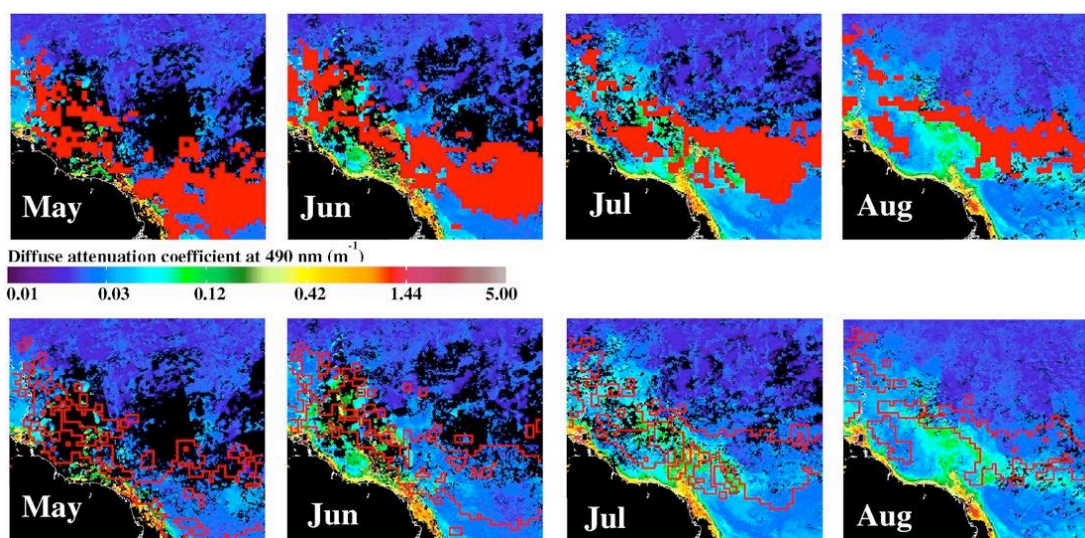


5. **Octobre - décembre** : à partir de fin novembre, une partie des algues présentes au large de l'Afrique est transportée vers le sud et reprise par la branche nord du SEC, qui les entraînent à nouveau vers l'ouest. Une autre partie des algues au large de la Guinée est reprise directement dans le NEC en direction de l'ouest. les détections de sargasses au-dessus de 10°N dans l'atlantique ouest montrent des algues en dérive vers l'ouest.



5. Les sources d'enrichissement favorables à la croissance des sargasses pendant leur parcours.

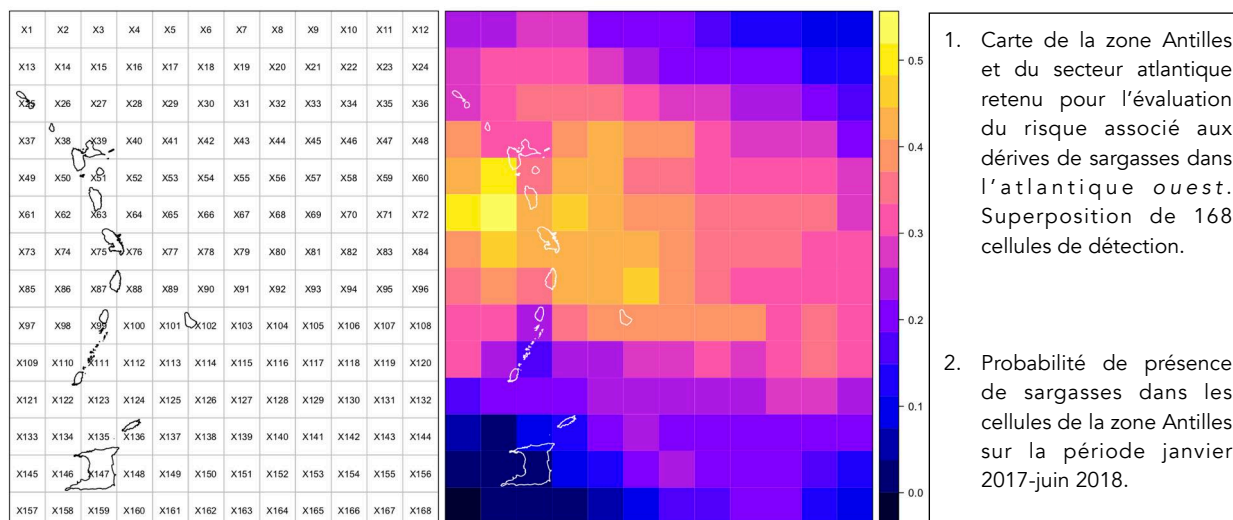
Au cours de leur transport, les sargasses sont soumises à plusieurs sources d'enrichissement pouvant favoriser leur croissance. Bien qu'aucune référence n'ait mis en évidence le lien direct entre la croissance des sargasses et ces sources potentielles, nos travaux montrent que pendant toute la période d'accumulation des sargasses dans la NBCR, elles sont directement en contact avec le flux d'eau douce de l'Amazonie (Wang and Hu 2016). Ce panache charrie des particules et des nutriments, ainsi que d'autres composés qui peuvent aussi contaminer les algues. Toutefois, même si la charge en nutriments peut favoriser la croissance des sargasses localement dans cette région, les concentrations d'azote inorganique du panache de l'Amazonie sont en dessous des limites de détection à 200 km de l'embouchure (Weber et al. 2017).



Images satellite du panache de l'Amazonie (de mai à août 2015) et superposition des localisations de sargasses (zone rouge sur la première ligne d'image et contour rouge sur les images de la deuxième ligne). La couverture en sargasses est donnée pour des proportions de couverture > 0.05% (Wang and Hu, 2016).

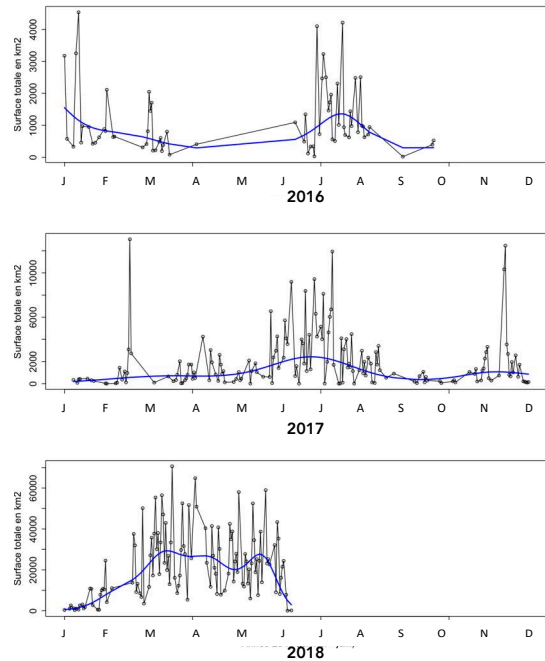
Nous n'avons pas mis en évidence de zone d'accumulation dans le golfe de Guinée et de lien entre la zone d'accumulation au large de la Guinée et des sources d'enrichissement sur la côte ouest africaine (upwelling, embouchures de fleuves...).

6. Les échouages dans la zone Antilles



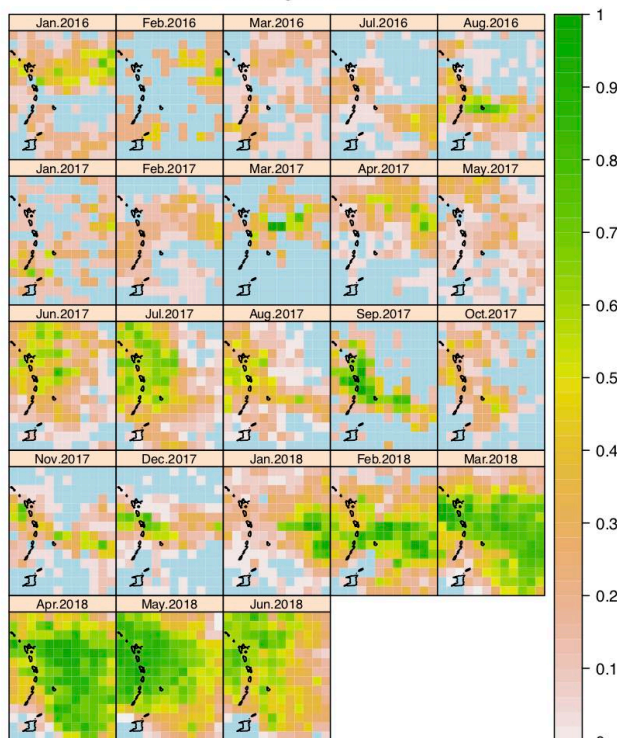
L'analyse des images satellites sur la période janvier 2016 – juin 2018 pour la zone Antilles révèle une différence significative des quantités de sargasses détectées entre les années, et au cours des mois. Le cumul des détections (en surface - km²) par jour de détection depuis le début des analyses montre une distribution irrégulière des sargasses dans la région, confortant les hypothèses de saisonnalité de transport des algues. Les moyennes de surface de sargasses détectées en 2016 et 2017 sont respectivement de 1151,4+/-1054,2 km² et 1917,3+/-2498,1 km². En 2018, la moyenne sur la période janvier-juin est de 22141,3+/-16624,1 km², soit environ 20 fois plus de sargasses détectées dans la région des Petites Antilles au cours des 6 premiers mois de 2018.

Deux périodes apparaissent dans les données de 2016, avec une présence de sargasses dès les premiers mois de l'année. Une seconde période est détectée autour de juin 2016 et jusqu'en août 2016.



Cumul quotidien des surfaces de sargasses détectées dans la zone d'intérêt Petites Antilles au cours des années 2016, 2017 et jusqu'en juin 2018 (échelle des surfaces différentes en fonction des années).

Probabilité sargasses 2016 – 2018



Proportion du nombre de jours de détection de sargasses

Probabilité de présence de sargasses dans les cellules de la zone Antilles sur la période janvier 2017-juin 2018 (seuls les mois avec plus de 5 observations exploitables sont retenus).

En 2017, bien qu'un pic de sargasses soit détecté le 22 février, la fréquence des détections augmente à partir d'avril, avec une accalmie entre mi-mai et début juin. A partir de juin les détections sont régulières et importantes jusqu'à la fin août. Une accalmie est observée entre septembre et novembre. Dès la fin novembre, des radeaux apparaissent à nouveau sur les images de façon significative et jusqu'en fin d'année.

En janvier 2018, la détection moyenne est autour de 3300 km², contre 1500 km² en décembre 2017. A partir de fin janvier, les quantités détectées dépassent largement les moyennes observées en 2016 (1400 km²) et 2017 (318 km²). Des records de détection sont enregistrés dès mars 2018 et jusque fin juin 2018. Ces données montrent une arrivée de plus en plus précoce des sargasses dans les Petites Antilles, associée à des événements d'échouages majeurs de plus en plus tôt dans l'année : juin 2016, mai 2017, puis mars 2018.

7. Conclusions

- La **répartition et le transport des sargasses** dans l'atlantique équatorial permet d'identifier **5 périodes** au cours de l'année et **fonction de la saisonnalité des courants océaniques**. Il semblerait toutefois qu'à certaines périodes, notamment avec l'installation du NECC, des sargasses soient présentes de manière continue entre l'atlantique équatorial est et ouest.
- **Deux secteurs d'arrivée** des algues dans la région caraïbe sont mis en évidence : **est en fin et début d'année / sud ouest à partir d'avril**.
- **Une intensification de la quantité** de sargasses détectées depuis 2011 et un **accroissement de la durée de leur présence** dans les secteurs d'étude (zones est et à ouest atlantique) sont observés.
- La complexité des courants marins, ainsi que leur variabilité interannuelle, interfèrent avec une distribution régulière des sargasses, mais la localisation annuelle des algues montre des **schémas répétitifs** fortement **corrélés à la dynamique des courants de la NERR**.
- L'existence d'une zone d'accumulation dans le golfe de Guinée n'a pas pu être confirmée, mais des **concentrations des sargasses dans la zone marine au large de la zone Guinée - Sierra-Léone - Libéria** sont observées.
- L'**Atlantique tropical occidental** apparaît comme une région qui alimente saisonnièrement la zone Caraïbe avec des quantités importantes de sargasses.
- **Il est difficile de prévoir l'arrivée précise des sargasses dans la caraïbe à des échelles de temps courtes (mois)** en raison des incertitudes dans les observations satellites (nuages) et dans les modèles de dynamique de transport de surface par les courants marins dans les zones proches des îles.
- Il apparaît important d'intégrer les **données de mortalité, de croissance et de reproduction** dans les zones de consolidation afin de mieux comprendre les schémas de distribution saisonnière des sargasses.
- Pendant toute la période d'accumulation des sargasses dans la NBCR, elles sont directement en **contact avec le flux d'eau douce de l'Amazonie**.
- Des travaux sur la **croissance des sargasses en lien avec la composition des eaux de l'atlantique ouest** pendant la période de concentration dans la NBCR apporteraient des éléments cruciaux pour les modèles de circulation des sargasses dans la région intertropicale.
- L'**intégration de la circulation océanique et de la physiologie des sargasses** semble être la clé pour reproduire avec succès la répartition saisonnière de la biomasse des sargasses dans l'atlantique.
- Le **développement de modèles régionaux est nécessaire** pour améliorer les outils de prédiction à proximité des îles (changement d'échelle).
- Ces modèles doivent exploiter toutes **les détections de sargasses par satellite**, sur la base d'une synergie de capteurs et de l'automatisation.

Références

- Hu C. (2009). Remote Sens. Environ., 113: 2118–2129.
- Schouten et al. (2005). Deep Sea Research Part I Oceanographic Research Papers 52(3):477-493.
- Wang and Hu (2017). Geophys. Res. Lett., 44.
- Wang and Hu (2016). Remote Sensing of the Environment 183: 350-367.
- Weber et al. (2017). Limnol Oceanogr 62:618–631.